

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

VYUŽITÍ VIRTUÁLNÍ REALITY V DYNAMICE VOZIDEL

THE USE OF VIRTUAL REALITY IN VEHICLE DYNAMICS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. BŘETISLAV MACH

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR PORTEŠ, Dr.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Břetislav Mach

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Využití virtuální reality v dynamice vozidel

v anglickém jazyce:

The Use of Virtual Reality in Vehicle Dynamics

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Využijte nástrojů Matlab/Simulink a Virtual Reality Toolbox k vytvoření virtuální reality jízdy vozidla. Vstupem pro animaci budou změřená nebo vypočtená data. Úkolem je zobrazit pohyb vozidla a veličiny charakterizující dynamické vlastnosti vozidla způsobem vhodným pro analýzu chování vozidla.

Dle možnosti proveďte měření zkušebního polygonu nebo závodního okruhu pomocí GPS. Naměřená data použijte pro vytvoření modelu vozovky pro virtuální model.

Cíle diplomové práce:

Cílem je diplomové práce je využití virtuální reality pro analýzy jízdních vlastností vozidel.

Seznam odborné literatury:

VLK, F. Dynamika motorových vozidel. ISBN 80-238-5273-6, Nakladatelství VLK, Brno 2000.
Virtual Reality Toolbox, User's Manual, Humusoft, Praha 2000. ISBN 80-7080-373-8

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Porteš, Dr.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 18.11.2008

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Anotace

Cílem této diplomové práce je využití virtuální reality pro analýzu a zobrazení vozidla a veličin charakterizujících dynamické vlastnosti automobilu. Pro simulaci jsou využity programové nástroje Matlab/Simulink a Virtual Reality Toolbox pro ztvárnění virtuálního prostředí. Vstupem pro simulaci budou změřená nebo vypočtená data.

Annotation

The aim of this master's thesis is to use virtual reality to analyze and display the vehicle and the quantities characterizing the dynamic properties of the vehicle. The simulation software tools are used Matlab/Simulink and Virtual Reality Toolbox. The measured or calculated data will be the input for the simulation. The dissertation is aimed to create a virtual scene and a dynamic system for the movement of file.

Klíčová slova:

dynamika vozidla, virtuální realita, simulace, jazyk VRML, program Matlab/Simulink, Virtual Reality Toolbox

Klíčová slova – anglicky:

vehicle dynamics, virtual reality, VRML language, the Matlab/Simulink, Virtual Reality Toolbox

Bibliografická citace

MACH, B. *Využití virtuální reality v dynamice vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 77 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Porteš, Dr.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci *Využití virtuální reality v dynamice vozidel* vypracoval samostatně, na základě uvedené literatury a za pomoci vedoucího diplomové práce Ing. Petra Porteše, Dr.

V Brně dne

.....
Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Petru Portešovi, Dr, za jeho odborné vedení při tvorbě práce, za jeho cenné rady a připomínky. A také bych rád poděkoval svým rodičům, kteří mě podporovali při studiu.

Obsah

Úvod	11
1. Struktura Práce	12
1.1 Matlab	12
1.2 Simulink	14
1.3 Virtual Reality toolbox	15
1.4 V-Realm Builder 2.0	17
2 Modelování scény	18
2.1 Programovací jazyk VRML	18
2.2 Struktura souboru VRML	18
2.3 Orientace ve virtuálním světě	19
2.4 Základní nastavení	19
2.4.1 NavigationInfo	19
2.4.2 WorldInfo	20
2.4.3 Viewpoint	20
2.5 Iluze prostoru	21
2.5.1 Zdroj světla	21
2.5.2 BackGround	22
2.5.3 Fog	23
2.6 Modelování objektů	23
2.6.1 Model kužele	24
2.6.2 Povrch kužele	25
2.6.3 Zapsání kužele v jazyce VRML	28
3 Modelování vozidla	31
3.1 Souřadný systém vozidla	32
3.1.1 Souřadný systém ISO	32
3.2 Stromová struktura vozidla	34
3.3 Sken vozidla	35
3.3.1 3D scanner ATOS I	35
3.3.2 Skenování Vozidla	35
3.4 Úprava skenu	36
3.4 Grafické prvky	37
3.5 Modelované prvky	37
3.5.1 Kola	37
3.5.2 Zpětná zrcátka	38
3.6 Hotový model vozidla ve virtuálním světě	38
4 Model vozovky	39
4.1 Silnice s kužely	39
4.1.1 Manévr ISO 3888-2	39
4.1.2 Manévr v diplomové práci	40
4.1.1 Příkazy DEF a USE	40
4.2 Obecný rovinný povrch	41
4.3 Návrh vozovky pomocí GPS	42
5. Prvky dynamiky vozidla	43
5.1 Stromová struktura prvků	43
5.2 HUDPos	44
5.2.1 Proximity Sensor	44

5.2.2 Text	45
5.2.3 Zobrazení HUDPos	46
5.3 Zobrazení dynamiky vozidla	47
5.3.1 Indexed Line Set	47
5.3.2 Zapsání čtyř čar pro zobrazení pomocných os v jazyce VRML	48
5.3.3 Zobrazení prvků dynamiky ve virtuálním světě	48
6 Finální úprava scény	49
6.1 ROUTE	49
7 Dynamika vozidla	52
7.1 Veličiny trajektorie vozidla	52
7.2 Boční síla	53
7.3 Kamova kružnice	54
7.4 Výpočtový model dynamiky	55
7.5 Znázornění dynamiky vozidla v animaci	58
7.5.1 Zapsání dat	58
7.5.2 Zobrazení dat dynamiky vozidel	59
8 Matlab / Simulink	63
8.1 Systém dynamiky vozidla v Matlab / Simulink	64
8.2 Načtení dat matic	65
8.3 Signály	65
8.4 Signály vstupující do virtuální reality	65
8.4.1 Signál translace	65
8.4.2 Signál rotace	66
8.4.3 Signál měřítka	66
8.5 Transformace bodů mezi souřadnými systémy	66
8.6 Zpracování dat pro translační a rotační signál vozidla	67
8.7 Zpracování dat dynamiky vozidla	68
8.8 Vstup dat signálů do virtuální reality	69
8.9 Spuštění animace	71
9 Závěr	72
Seznam použitých zdrojů	73
Seznam použitých symbolů	74
Seznam zkratk	75
Seznam obrázků	76
Seznam tabulek	77
Seznam příloh	77

Úvod

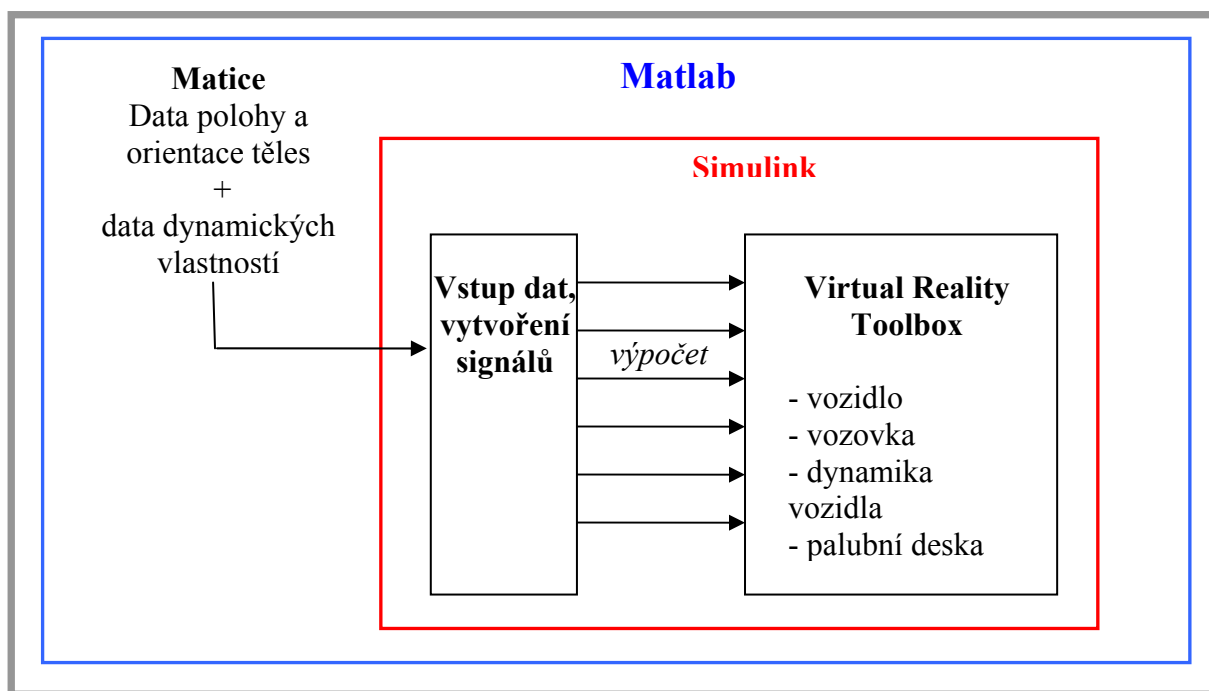
Téma diplomové práce se zabývá využitím prostředků virtuální reality k vytvoření simulace průjezdu vozidla různými druhy tratí a zobrazení dynamických vlastností vozidla. Většina práce je zaměřena na vytvoření virtuálního prostředí a znázornění dynamických účinků a sil na vozidlo. K tomu jsou využity softwarové nástroje Matlab/ Simulink, které slouží k interakci mezi vstupními daty a virtuálním prostředím zobrazeném Virtual Reality Toolboxem, jenž je jeden z nástrojů Matlab/Simulink.. Samotné virtuální prostředí je vytvořeno v programu V-Ream Builder 2.0, který je rovněž součástí instalačního balíčku Matlabu. Všechna data sloužící k rozpohybování vozidla a zobrazení dynamických vlastností budou změřené a následně dopočítané hodnoty. Tato data slouží jako řídicí signál v reálném čase.

Téměř všechny dynamické účinky při pohybu automobilu jsme schopni ze statických a dynamických veličin vypočítat pro jakýkoliv okamžik, ale tyhle údaje se špatně představují a prezentují, obzvlášť při jejich velkém množství. Výsledkem této práce je virtuální model pro znázornění a lepší pochopení dynamických vlastností při pohybu automobilu. Bude se jednat o kompaktní model, který může znázornit jakýkoliv manévr, průjezd či normovanou zkoušku. Vstupní data a geometrie vozovky se mohou jednoduše nahradit za požadovanou simulaci.

Práce bude zaměřená na vytvoření virtuálního prostředí, které se dělí na dvě části. Vytvoření virtuálního světa, který představuje vytvoření základních tratí. Zároveň je zapotřebí vzbudit iluzi reálného světa a prostorového vjemu. Druhá část se zabývá vytvořením modelu vozidla a vůči tomu pohyblivých částí (kola, volant) a znázornění dynamických vlastností (síly působící mezi vozovkou a jednotlivými koly, Kamova kružnice, zrychlení, rychlost...). Všechny prvky v druhé části jsou během simulace rozpohybovány nástrojem Matlab/Simulink, který vytváří řídicí signál přenesením a přepočítáním dat. Tato data poskytuje matematická část Matlabu a jedná se o vícerozměrné matice, které jsou součástí zadání.

1. Struktura Práce

První kapitola je věnována k seznámení programů, ve kterých je práce tvořena a popsání uživatelského prostředí. V práci je využito prostředí Matlab / Simulink, toolboxu Virtual Reality a nástroje pro vytvoření virtuální reality V-Realm Builder 2.0. Na obrázku 1.1 je znázorněné programové rozhraní Matlabu a jeho Toolboxů. Informace použité v této kapitole jsou čerpány ze zdroje [1].



Obr. 1.1 Programové rozhraní

1.1 Matlab

Je zkratkou z anglického *MATrix LABoratory* – maticová laboratoř. Jedná se o výkonné interaktivní prostředí sloužící pro vědeckotechnické výpočty, simulace, modelování, měření a zpracování signálu, návrhy algoritmů, analýzu a prezentaci dat. Spojuje vysokoúrovňový programovací jazyk, technické výpočty a vizualizaci dat. Součástí Matlabu je velké množství toolboxů, se kterými tvoří ideální nástroj pro výpočty vědců, matematiků a inženýrů v mnoha oblastech. [1]

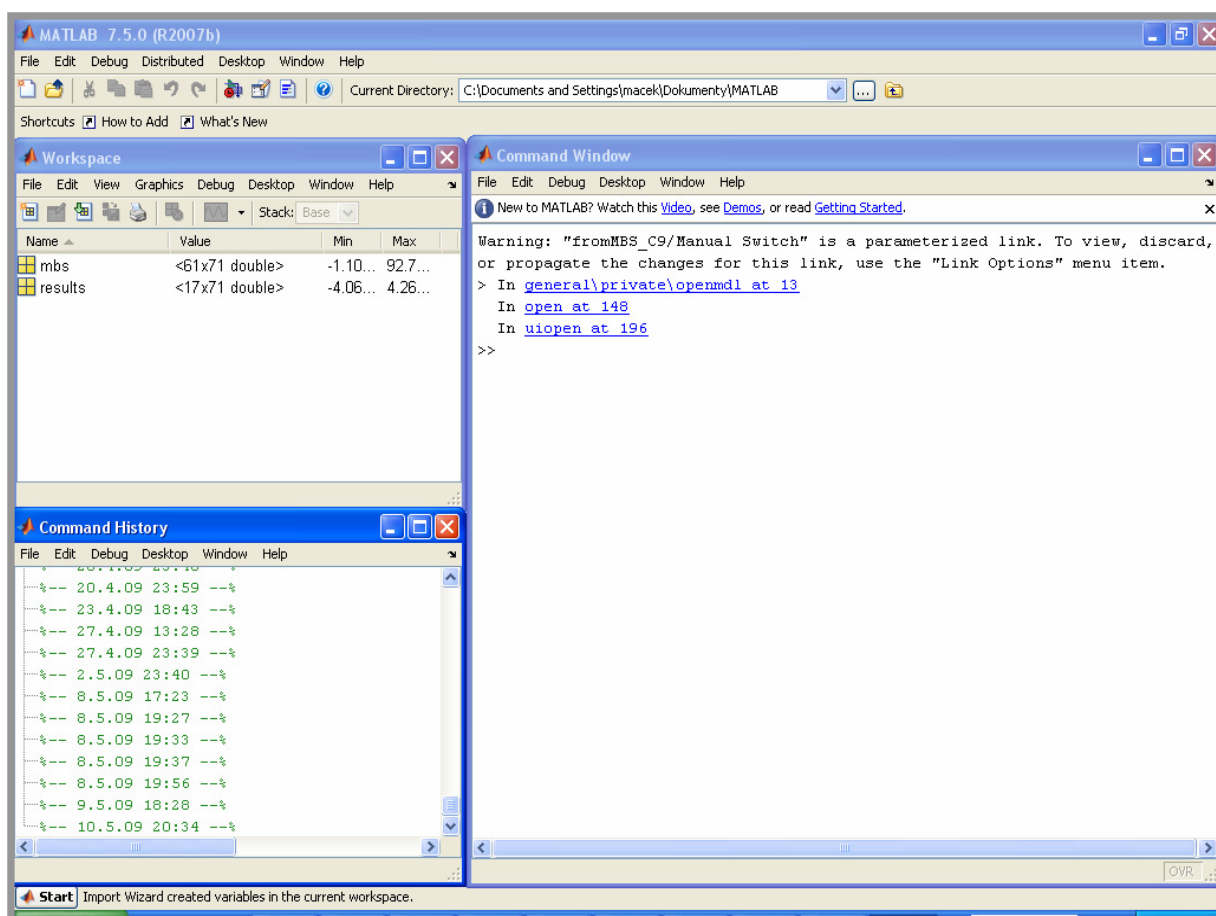
Klíčové vlastnosti Matlabu: [1]

- Vysokoúrovňový jazyk pro technické výpočty
- Otevřený a rozšiřitelný systém
- Velké množství aplikačních knihoven
- Podpora vícerozměrných polí a datových struktur
- Interaktivní nástroje pro tvorbu grafického uživatelského rozhraní
- Import a export dat do mnoha formátů
- Komunikace s externími měřicími a monitorovacími přístroji v reálném čase
- Rozšiřitelnost modulů jazyky C, C++, Fortran, Jawa

Systém Matlabu je složen z pěti hlavních částí:

- Knihovna matematických funkcí
- Vývojové prostředí
- Aplikace programového rozhraní
- Jazyk Matlab
- Grafika

Program Matlab se spouští v operačním systému Windows. Po spuštění se objeví pracovní prostředí, viz obr. 1.2, které se dělí do několika oken. Nastavení a přepsání pracovního adresáře pro ukládání práce se provádí v kolonce *Current Direktory* – umístěné v horní liště. Nejdůležitější a nejvyužívanější částí je okno s názvem *Command Windows* – příkazové okno vpravo. Toto okno slouží pro komunikaci mezi Matlabem a výpočetním jádrem. Zde se provádí většina práce jako například zadávání příkazů uživatelem, výpis vstupu funkcí, výpis chybových hlášení, výpis obsahu proměnných nebo varování. Vlevo dole je okno *Command History* – historie příkazů. V tomhle okně se ukládají a vypisují příkazy zadané v příkazovém okně. Třetí Okno vlevo nahoře s názvem *Workspace* - pracovní plocha slouží pro sledování použitých proměnných. Jako většina programů obsahuje i Matlab nápovědu *Matlab Help*. Jedná se o velice rozsáhlou nápovědu v anglickém jazyce, která mimo všech důležitých kapitol obsahuje i velké množství příkladů a návod pro začátečníky. [1]



Obr. 1.2 Náhled okna Matlabu

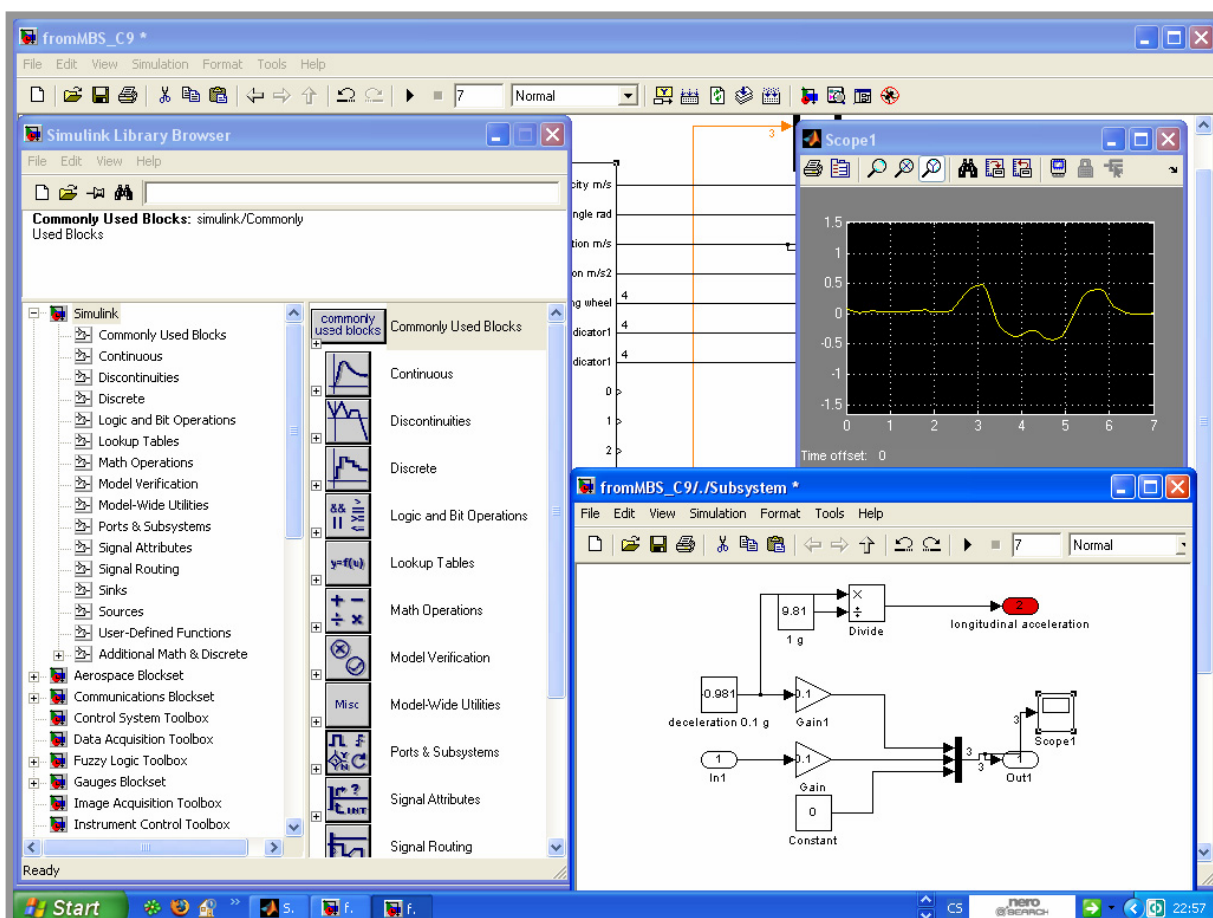
V případě diplomové práce se v pracovní ploše zadávají a provádí úpravy s vícerozměrnými maticemi, které slouží jako vstup dat.

- mbs - matice s daty pro pohyb vozidla a kamer
- results - matice s daty pro zobrazení dynamiky vozidla

Ovšem tyto matice není nutné tvořit a zadávat přímo programem Matlab, ale lze je načíst i z jiných matematických programů jako například Microsoft Excel.

1.2 Simulink

Jeden z nejrozšířenějších a nejpoužívanějších toolboxů Matlabu. Je zkratkou z anglického SIMulation and LINK – simulace a spojení. Tváří se jako analogový počítač, který využívá k výpočtům Matlab. Slouží pro simulaci, modelování a analýzu dynamických systémů. Nabízí uživateli rychle a snadno tvořit modely v grafickém prostředí pomocí blokových schémat. Tvorba modelů je velmi rychlá a díky množství předdefinovaných bloků také intuitivní. Většina dynamických systémů je tvořena zmiňovanými bloky, které jsou v knihovně *Simulink Library Browser* a jsou uspořádány na 13 tématických okruhů dle počtu nainstalovaných a dostupných toolboxů. Tyto bloky tvoří systémy a subsystemy, jejichž signály jsou propojené. [1]



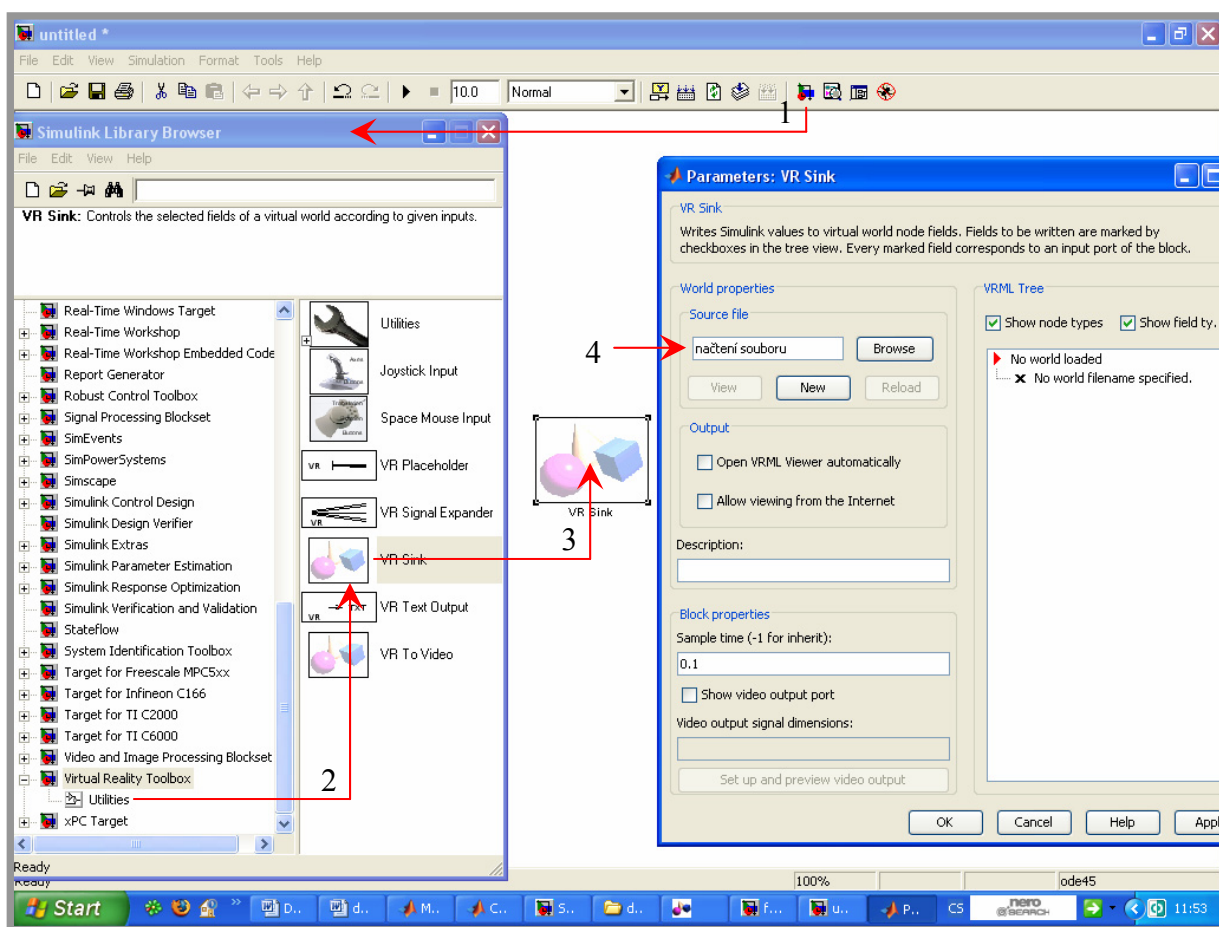
Obr. 1.3 Náhled okna Simulink

1.3 Virtual Reality toolbox

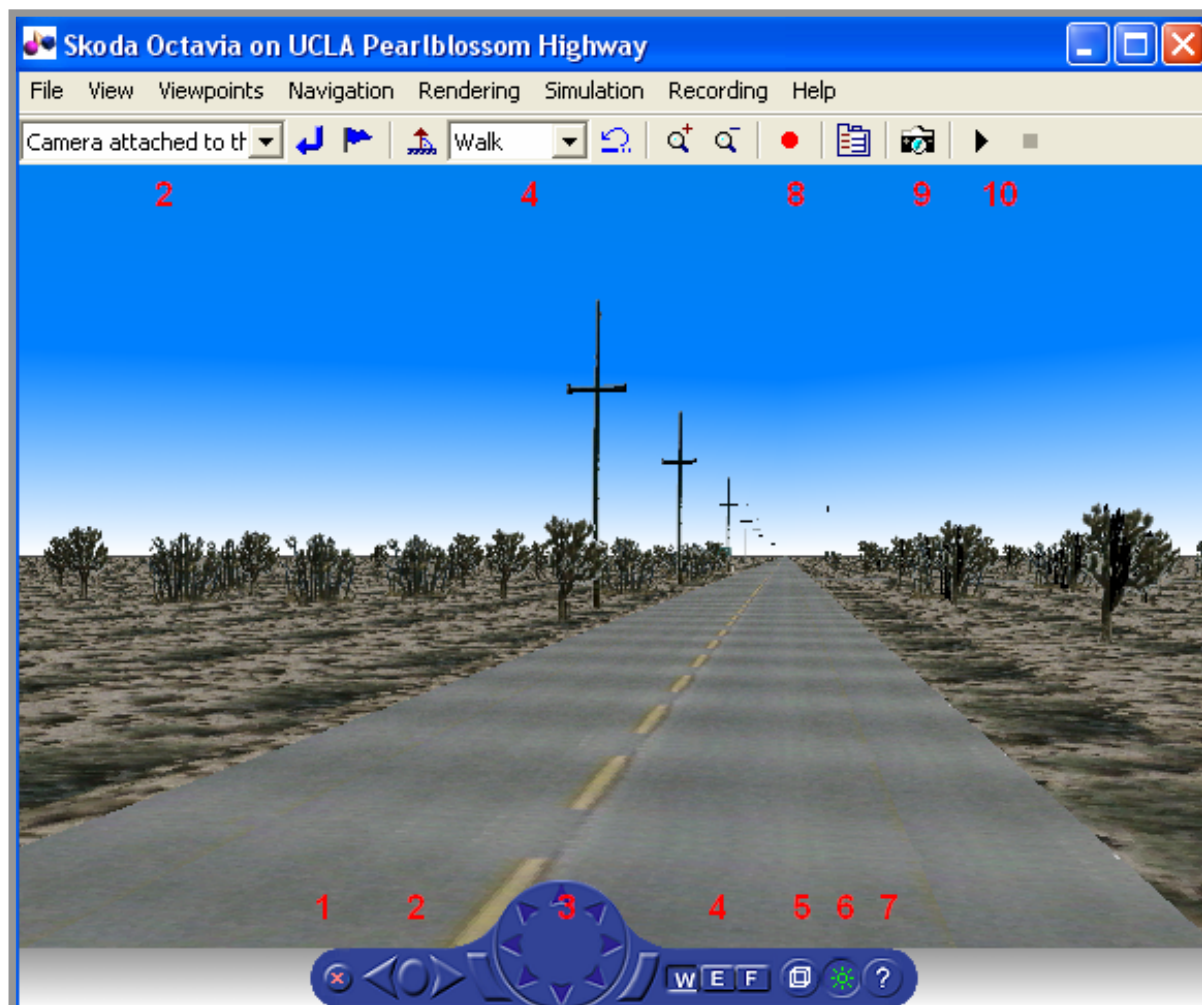
V současné době je neodmyslitelnou součástí výpočtů a vizualizací dat 3D grafika. Tento toolbox umožňuje obousměrnou interakci prostředí Matlab / Simulink s prostředím prohlížeče virtuální reality VRML (Virtual Reality Modeling Language). Modely dynamických systémů vytvořené v Simulinku je možné realisticky vizualizovat v třírozměrném prostředí a získat tak lepší prostorovou představu o tom, jak fungují. Během simulace se uživatel může pohybovat ve virtuální scéně, pozorovat simulovaný systém z různých pohledů, být jeho součástí a dokonce jej z prostředí virtuální reality ovládat pomocí senzorů a interpolátorů.

Do virtuálního prostředí lze vstoupit i pomocí jiných VRML prohlížečů, které ale neslouží pro interaktivní propojení s Matlab / Simulink. Jedná se o programy, které převádějí textový soubor VRML do prostorového obrazu virtuálního světa, kde se můžeme jako účastník (avatar) pohybovat a hýbat věcmi v reálném čase. Díky blízkému vztahu VRML a WWW je většina prohlížečů součástí WWW stránek (například Internet Explorer).

Virtual relity Toolbox se spouští v Simulinku v knihovně nástrojů viz obr. 1.4, kde je číselně daný postup. V bodě 4 se nastaví cesta k požadovanému souboru VRML. Takhle načtený soubor virtuálního světa si můžeme hned prohlédnout po kliknutí na *ok* a otevření VR Sink. Ovládání prvků Simulinkem bude popsáno v poslední kapitole. Náhled na virtuální realitu prohlížeče je na obrázku 1.5. Jedná se o příklad využití virtuální reality a Simulinku z příkladů Matlabu. [1]



Obr. 1.4 Spuštění Virtual Reality Toolbox v Simulinku



Obr. 1.5 Náhled okna Virtual Reality Toolbox

Ovládací prvky prohlížeče:

- 1) Odstranění ovládacího panelu
- 2) Změna přednastavených stanovišť avatara a návrat k výchozí pozici
- 3) Manuální ovládání pohybu (lze se také pohybovat pomocí myši nebo joystiku)
- 4) Přepínání režimu pohybu:
 - a) W - walk, běžná chůze, při které se avatar pohybuje po zemi a přesně ji kopíruje, dokud nedojde ke kolizi s objektem. Na avatara působí přitažlivost.
 - b) E - examine, při tomto režimu je avatar nejméně omezen fyzikálními zákony. Slouží pro zkoumání objektů
 - c) F - fly podobný režim jako Walk s tím rozdílem, že na avatara nepůsobí přitažlivost
- 5) Přepnutí objektů do síťované struktury
- 6) Zapnutí čelní baterky avatara
- 7) Náповěda
- 8) Nahrávání simulace (i do formátu avi)
- 9) Pořízení snímku
- 10) Spuštění, zastavení a pozastavení simulace

1.4 V-Realm Builder 2.0

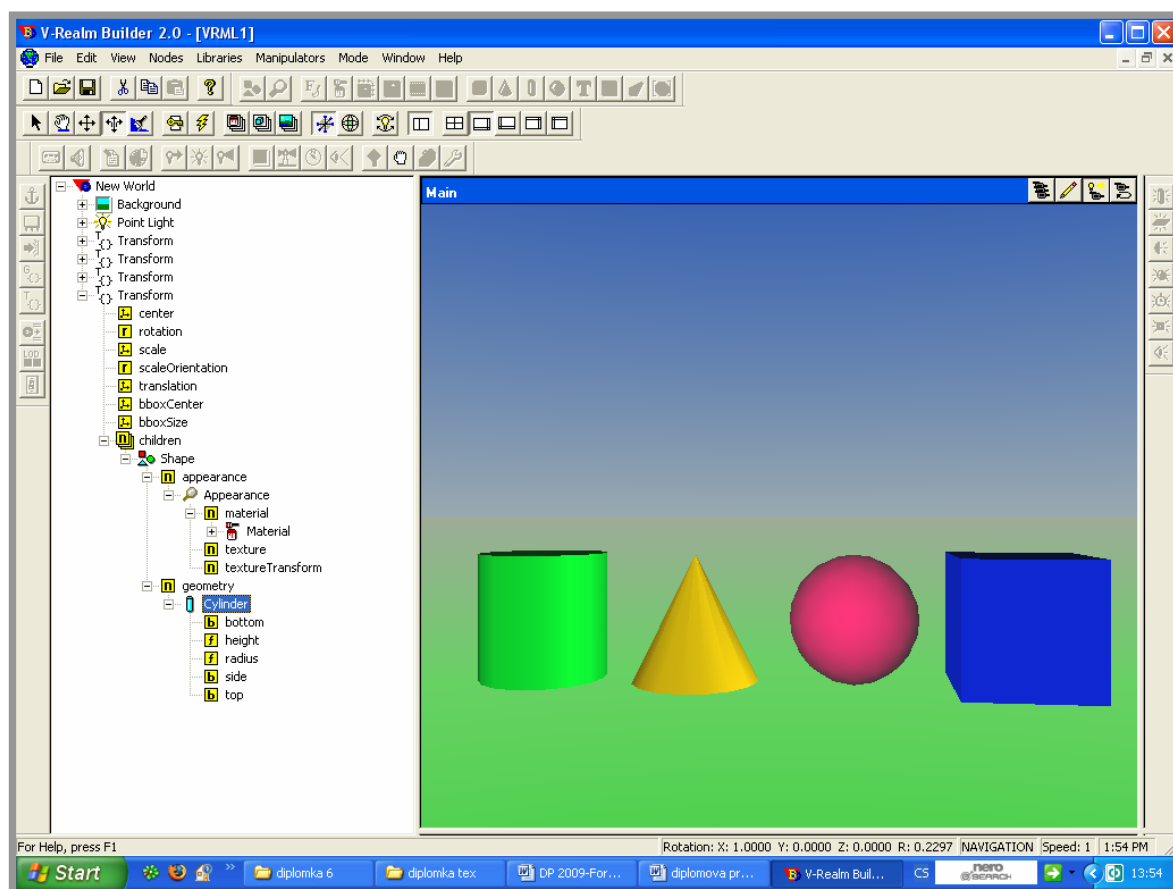
Existují dva způsoby vytvoření virtuálního světa. V prvním případě se jedná o programování v textovém editoru, v němž se pomocí přesných názvů, kódů a symbolů vytvoří virtuální svět. Tento soubor musí mít příponu *wrl*, aby se následně zobrazil v prohlížeči. Tento způsob je velice složitý a časově náročný. Navíc při tak velkém počtu dat hrozí velké riziko chyby a vznikají problémy s komprimací.

Druhým způsob je uživateli mnohonásobně srozumitelnější a rychlejší. Jedná se o programy, ve kterých uživatel za pomoci definovaných prvků přímo vytváří modely, které ihned vidí jako by byly v prohlížeči. Program vytvářený virtuální svět automaticky převádí v jazyce VRML do souboru textového tvaru s příponou *wrl*. V některých případech je ovšem třeba zasáhnout do souboru manuálně (přepsání textu souboru *wrl*) a provést případné úpravy a korekce, které program sám nezvládne, nebo by byly příliš složité. V případě této práce se jedná o namodelování zobrazení dynamiky vozidla, zobrazení sil, atd.

Pro modelování virtuálního světa v této práci je využit program V-Realm Builder 2.0. Tento program je součástí instalačního balíčku VR Toolbox softwaru Matlab. Uživatelské prostředí je na obrázku 1.6.

V levé části je struktura stavby virtuálního světa, kde se upřesňují a zadávají přesné hodnoty rozměrů, umístění, natočení, měřítko, barvy a spoustu dalších specifických hodnot. V pravé části je náhledové okno zobrazující tělesa virtuálního světa.

Všechny programy jsou distribuovány firmou Mathworks, která poskytuje i návody, vzdálenou pomoc a příklady na stránkách www.mathworks.com nebo www.humusoft.com.



Obr. 1.6 Okno V-Realm Builder 2.0

2 Modelování scény

2.1 Programovací jazyk VRML

Jazyk VRML (Virtual Reality Modeling language) definuje způsob zápisu virtuálních světů do souboru v textovém tvaru. Můžeme jej tedy přirovnat k formátům *bmp* nebo *jpeg*. Jazyk VRML je výsledkem společného úsilí mnoha firem a odborníků z celého světa. Koncem roku 1997 je jazyk VRML oficiálně přijat za standard ISO s označením ISO/IEC 14772-1:1997. Jestliže se setkáme s názvem VRML 2.0, jedná se pouze o programátorské označení jazyka VRML 97. Současné prohlížeče obsahují automatický převodník pro přečtení starší verze jazyka VRML 1.0 a přepsání do VRML 97 (VRML 2.0). Tento jazyk je psán formou case sensitive, tudíž záleží na velikosti písmene. Jazyk VRML je možné prohlédnout pomocí WWW prohlížečů bez zvláštního instalování dodatečných softwarů. Lze se setkat i s internetovými stránkami, které přímo pracují na zobrazení virtuálního světa. Uživatel po vstupu na tuhle stránku nevidí na monitoru klasické dvourozměrné zobrazení dat, ve kterém se pohybuje, ale vstupuje do prostorového světa, ve kterém se může pohybuje a vstupovat do různých prostředí. Například si lze představit, že místo klasického zobrazení stránek www.vut.fsi.cz lze navíc přejít do virtuálního prostředí, kde se avatar nachází před vstupem do budovy A1, ovládáním myši a šipkami na klávesnici umožní pohyb a může si prohlédnout celou budovu a při vstupu na určitou pozici (informace, kanceláře profesorů, knihovna...) aktivuje vstup do dalšího prostředí, kde jsou k dispozici vizualizace dat stejně jako je tomu v klasickém zobrazení.

V práci je virtuální svět vytvořen a zapsán do jazyka VRML pomocí programu V-Realm Builder 2.0 a následnou úpravou v textovém tvaru. Takto zapsaný textový zápis je možné zobrazit jako virtuální svět v mnoha prohlížečích jako jsou například Navigátor, Cosmoplayer, Cortona nebo prohlížeč Internet Explorer. Ovšem v případě rozpohybování virtuálního světa v matlab / Simulink slouží interaktivní prohlížeč Virtual Reality Toolbox. Informace použité v kapitole 2 jsou čerpány ze zdroje [2].

2.2 Struktura souboru VRML

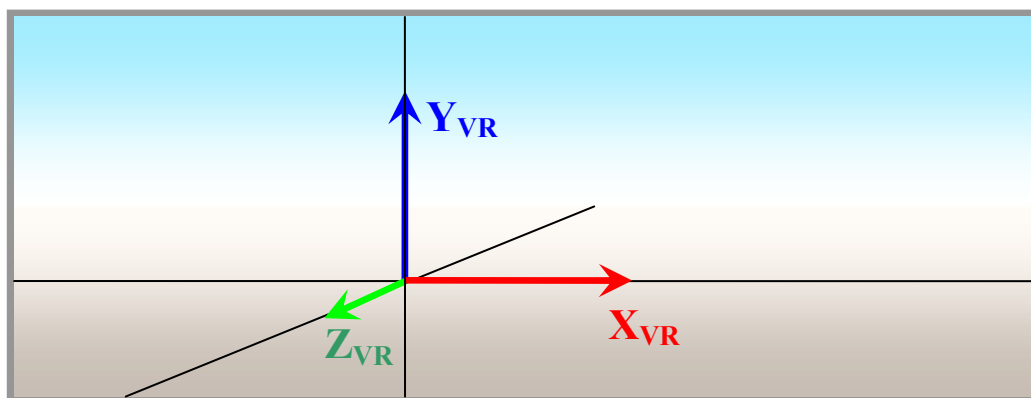
Každý soubor obsahující virtuální svět, napsaný v jazyce VRML, se dělí na několik odlišných částí. V prvním řádku je vždy hlavička souboru, která má neměnný tvar `#VRML V2.0 utf8`. Tímto řádkem začíná každý soubor s virtuálním světem. Je v ní uvedeno o jaký typ souboru a jakou verzi jde, zkratka `utf8` znamená typ kódování znaků UTF-8 (známé jak Unicode) využívající osmi bitů. Za symbolem `#` je kromě prvního řádku komentář. Dalším řádkem bývají nejčastěji údaje popisující vlastnosti virtuálního světa (`WorldInfo`, `Viewpoint`).

<code>#VRML V2.0 utf8</code>	Hlavička souboru VRML
<code>WorldInfo { ... }</code> <code>Viewpoint { ... }</code>	Úvodní všeobecné informace o virtuálním světě
<code>Transform { ... }</code> <code>Group { ... }</code> <code>PositionInterpolator { ... }</code>	Popis těles, jejich vlastností, definice prvků potřebných pro animaci a interakci, nejrozsáhlejší část souboru
<code>ROUTR ... TO ...</code>	Propojení dynamických a statických prvků z předchozích částí

Tab. 2.1 Členění souboru VRML [2]

2.3 Orientace ve virtuálním světě

Soustava souřadnic virtuálního světa je pravotočivá. Směr nahoru je kladná osa Y_{VR} , podlaha či země virtuálního světa je tvořena osami X_{VR} a Z_{VR} , přičemž kladná osa X_{VR} míří při otevření virtuálního světa doprava a kladný směr osy Z míří k nám, viz obrázek 2.1. K tomuto systému je podřízen pohyb avatara v režimu walk (gravitační zrychlení působí v záporném směru osy Y). Všechny hodnoty jsou zadávány v normě ISO (vzdálenost –metry, čas –sekundy, úhly –radiány).



Obr. 2.1 Orientace ve virtuálním prostoru

2.4 Základní nastavení

V každém virtuálním světě je lepší uvést základní informace pro prohlížeč software. Jedná se o informace upřesňující nastavení výchozího pohledu, pohybu avatara, jména, data a autora virtuálního světa. Všechny prvky popsané v kapitole 2 jsou vytvářeny v programu V-Realm Builder 2.0.

2.4.1 NavigationInfo



Zde se nastavují základní vlastnosti avatara, který představuje virtuálního zástupce nás samých při procházení virtuálním světem. Tyto vlastnosti se co nejvíce snaží přiblížit chování avatara k člověku (doslova nahrazuje tělesnou schránku). V některých případech je třeba definovat více navigačních uzlů. Například pro základní prohlížení je definován jeden uzel a další pro prohlížení například zmenšených prostor, kam by jsme se původním avatarem nedostali. Přitom je při spuštění použit první navigační uzel. Program V-Realm Builder 2.0 má takové uzly předdefinované, ale v mnoha případech se musí doladit.

avatarSize		Zadání rozměrů avatara
- Collide Distance	0.25	- vzdálenost osy avatara k překážce (poloměr těla)
- Avatar Height	1.7	- výška očí avatara v ose Y
- Step Height	0.75	- maximální výška překročitelná avatarem
headlight	TRUE	Prísvit čelní baterkou TRUE-zapnuto
speed	1.0	Rychlost pohybu [ms^{-1}]
type		Způsob pohybu avatara
- WALK		- běžná chůze 1 [ms^{-1}], působení gravitace
- FLY		- stejné jako chůze, ale bez gravitace
- EXAMINE		- žádné omezení pohybu
visibilityLimit	0.0	Dohled v metrech, 0.0- viditelnost do nekonečna

Tab. 2.2 Parametry uzlu NavigationInfo

2.4.2 WorldInfo



Tento uzel není příliš významný, má pouze informativní charakter a umísťuje se na začátek souboru hned za hlavičku souboru VRML (#VRML V2.0 utf8). Parametry uvedené v tomto uzlu se mohou, ale nemusí uvádět v okně prohlížeče.

Info	Údaje o práci
- VUT FSI UADI	- textových řetězců může být neomezený počet
- Autor: Bc Mach Břetislav	
- Datum: 29.5.2009	
Title Vehicle dynamics	Název virtuálního světa

Tab. 2.3 Parametry uzlu WorldInfo

2.4.3 Viewpoint



Tento uzel slouží pro natavení umístění a orientaci několika výchozích pozorovacích stanovišť avatara. Každé takové stanoviště se nazývá ViewPoint a má své pojmenování, dle kterého nás prohlížeč automaticky dopraví ze stávajícího stanoviště na stanoviště nové. Výběr stanoviště se přepíná dle nastaveného pořadí nebo zadání konkrétního názvu stanoviště. První stanoviště definované v souboru má název start a nastavuje iniciálně pohled při vstupu do virtuálního světa, jedná se o výchozí pohled.

V souboru diplomové práce je použito 8 pohledů (ViewPointů) pro zobrazení vozidla a dynamiky. Jedná se o základní pohledy:

- View from above - pohled shora
- View from above ahead - pohled zepředu
- View from behind - pohled zezadu
- View from left side - pohled z levé strany
- View from right side - pohled z pravé strany

Doplňkové pohledy:

- Start - pohled na scénu na startu
- Detail - pohled na detail levého předního kola
- Driver - pohled z pozice řidiče

fieldOfView	0.785398	Šířka záběru 45° , $\pi/4$
jump	FALSE	Plynulý přechod do dalšího stanoviště
orientation	0- 1 0 18	Směr pohledu, vektor osy natočení + úhel [°] pozn. Jazyk VRML pracuje s radiány, ale vytváření ve V-Raelm Builder 2.0 se zadává ve stupních
position	-3 2 6.6	Souřadnice umístění stanoviště x, y, z [m]
deskription	Start	Název stanoviště
set_bind	TRUE	

Tab. 2.4 Parametry uzlu ViewPoint

Stanoviště start je stacionární, všechna ostatní stanoviště se ve virtuálním světě pohybují s vozidlem.

2.5 Iluze prostoru

Virtuální svět jen s tělesy nebude nikdy vypadat věrohodně bez použití uzlů k vytvoření iluze prostorového vjemu. Stejně jako je tomu ve skutečném světě, je i ve virtuální realitě zapotřebí určit hranice viditelnosti země a nebe a abychom mohli vůbec zemi spatřit, je zapotřebí zdroj světelného záření. Tyto uzly se v souboru řadí hned za úvodní všeobecné informace o virtuálním světě, ale není to pravidlem.

2.5.1 Zdroj světla



Zdroj světla je ve virtuální realitě jedním z nejdůležitějších uzlů, pokud ovšem nevytváříme virtuální svět tmavé noci nebo podzemních tunelů s přísvitkem avatarovi baterky. Ve virtuálním světě existují 4 základní druhy světelného zdroje:

- Čelní baterka avatara - každý avatar je vybaven zdrojem světla (headlight). Jedná se o zdroj světla umístěném v úrovni pohledu avatara, Tento zdroj sleduje směr pohledu avatara a osvětluje bílým světlem právě sledovanou část virtuálního světa. Zapnutí či vypnutí se nastavuje v uzlu NavigationInfo (TRUE / FALSE) a v prohlížeči dle libosti.
- DirectionalLight - zdroj rovnoběžných paprsků. Jedná se o zdroj rovnoběžných paprsků vstupujících do virtuálního světa z nekonečna. Směr paprsků určuje vektor. Používá se pro osvětlení pouze těch objektů, které mají stejný rodičovský uzel.
- PointLight - bodový zdroj světla. Má definované umístění v prostoru. Paprsky se šíří všemi směry a není ovlivněn umístěním ve stromu - osvětluje všechny objekty. Tento uzel se používá nejčastěji k nahrazení slunečního záření nebo lustrů v místnostech.
- SpotLight - směrový zdroj, reflektor. Má definované umístění v prostoru a určenou osu světelného kužele. Tok paprsků je homogenní a intenzita klesá s přímou vzdáleností od zdroje. Může se využít k simulování předních světlometů.

V práci je využit pouze jeden uzel světelného záření – PointLight, který ztvárňuje sluneční svit. Jedná se o abstraktní náhražku, slunce není vidět. K osvětlení palubní desky je využit přísvit avatarovi baterky.

ambientIntensity	1	Množství nepřímého všesměrového světla [0 až 1]
attenuation	1 0 0	Trojice nezáporných koeficientů pro výpočet útlumu světla
color	1 0.99 0.9	Barva paprsků vyjádřená v RGB (Red, Green, Blue)
intensity	1	Iniciální intenzita paprsků v rozsahu [0 až 1]
location	-20 200 20	Umístění zdroje světla v prostoru [m]
on	TRUE	Zapnutí / vypnutí světelného zdroje
radius	100	Nezáporný dosah světla

Tab. 2.5 Parametry uzlu PointLight

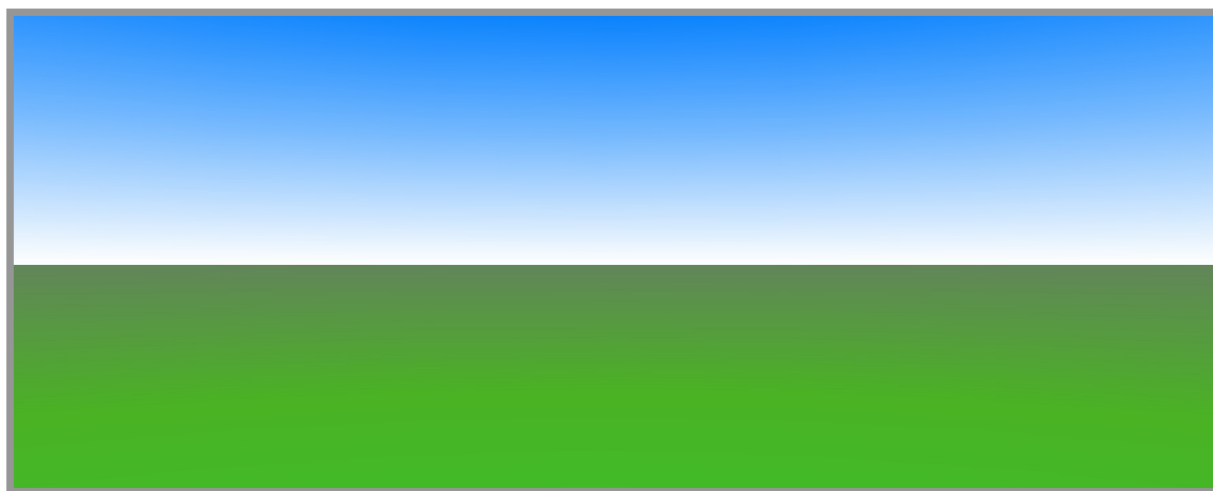
2.5.2 BackGround



Tento uzel vytváří skutečný prostorový vjem a hloubku prostředí. Nahrazuje původně nastavený nekonečný prostor s černou barvou efektem země s oblohou. Lze jej použít několika způsoby. Prvním způsobem je jednobarevná výplň prostředí. Složitější způsob nabízí výplň pozadí celou škálou barev, které se mění s horizontální výškou. Tento způsob je použitý v diplomové práci, viz tab. 2.6 a obr. 2.2. Posledním a nejlépe vypadajícím způsobem je obklopení virtuálního světa obrázky okolního prostředí z šesti stran k vytvoření krychle. Pro poslední způsob jsou nejvhodnější obrázky ve formátu *jpg* s co nejvyšším rozlišením.

groundAngle	[]	Rostoucí posloupnost barev pro barvy země
groundColor	[]	Seznam barev pro postupné přechody země
backUrl	bottomUrl	Seznam adres odkazujících na obrázky jednotlivých stěn obklopující krychle
frontUrl	leftUrl	
rightUrl	topUrl	
skyAngle	[]	Rostoucí posloupnost barev pro barvy nebe
skyColor	[]	Seznam barev pro postupné přechody nebe
Set_bind	TRUE	

Tab. 2.6 Parametry uzlu BackGround



Obr. 2.2 Pozadí vytvořené postupným přechodem osmi barev

2.5.3 Fog



Uzel zaměřený na popis mlhy a kouře. Vytváří věrohodné prostředí, které opticky ovlivňuje celkový obraz pozorovaného virtuálního světa. Vzdálenější objekty se postupně přibývající vzdáleností od avatara ztrácejí v mlze. Princip spočívá v míchání barvy objektu s barvou mlhy. V těsné blízkosti avatara je barva objektu nezměněna. Uzel Fog se nepoužívá jen k dosažení věrohodnosti okolního světa, ale má příznivý vliv na výpočty a rychlost zobrazení, protože u vzdálenějších objektů není třeba vyhodnocovat barvy a textury.

color	1 1 1	Barva mlhy ve složkách RGB (bílá)
fogType	Linear / Exponencial	Způsob houstnutí mlhy, exponenciální koeficient je více agresivní, mlha houstne velmi rychle
VisibilityRange	300	Nezáporná vzdálenost maximálního barevného dohledu

Tab. 2.7 Parametry uzlu Fog

2.6 Modelování objektů

Po vytvoření základního nastavení a iluze prostoru přichází na řadu modelování samotných objektů. Abychom mohli do virtuálního světa vkládat a vytvářet tělesa, je nejprve zapotřebí vytvořit hierarchickou strukturu práce. Jedná se o takzvaný strom uzlů Transform nebo Group. Tyto uzly udávají popis těles, jejich vlastnosti, umístění ve virtuálním světě, natočení, měřítko a interakci s okolím.

center	0 0 0	Umístění centra uzlu Transform
Rotation	0 0 1 0	Orientace v prostoru, vektor osy natočení + úhel [rad] pozn. Jazyk VRML pracuje s radiány, ale vytváření ve V-Raelm Builder 2.0 se zadává ve stupních
Scale	1 1 1 0	Měřítko uzlu Transform, koeficient ve směru os x y z, + koeficient měřítka
translation	0 0 0	Umístění uzlu ve virtuálním světě
children		Seznam potomků

Tab. 2.8 Parametry uzlu Transform

Každý uzel Transform může obsahovat několik potomků (například další uzly Transform, Group, nebo přímo určité těleso). Podle vzájemného uspořádání uzlů hovoříme o vztazích: rodič, potomek a sourozenec. Je-li potomkem uzlu Transform opět uzel Transform, pak vlastnosti potomka se nevztahují k souřadnému systému virtuální reality, ale k souřadnému systému rodiče. V praxi to znamená, že hýbeme-li uzlem rodiče, pohybují se i potomci.

Dalším uzlem je Shape. Tento uzel je potomkem uzlu Transform nebo Group a slouží pro nastavení tvaru a vzhledu povrchu geometrického tělesa.

appearance	prázdný uzel	Vzhled povrchu
geometry	prázdný uzel	Tvar povrchu (vlození geometrie tělesa)

Tab. 2.9 Parametry uzlu Shape

V programu V-Realm Builder se všechna tělesa tvoří pomocí osmi prvků, které jsou v první příkazové liště vpravo.



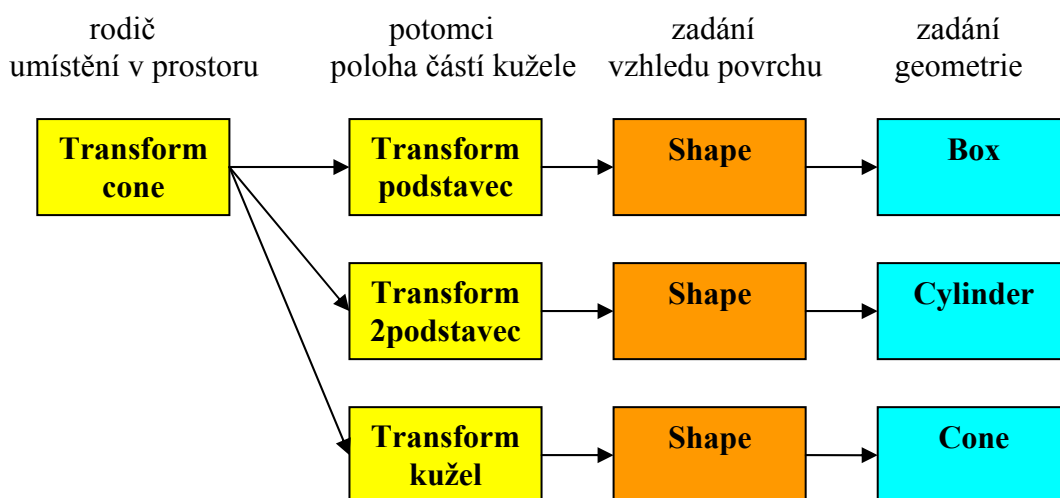
Jedná se o:

- | | |
|--------------------|---|
| - box | - slouží pro modelování tělesa |
| - cone | - slouží pro modelování tělesa |
| - cylinder | - slouží pro modelování tělesa |
| - sphere | - slouží pro modelování tělesa |
| - text | - slouží pro zadání textu |
| - elevation grid | - slouží pro namodelování povrchu země |
| - extrusion | - slouží pro namodelování složitějších tvarů vytáhnutím |
| - indexed face set | - slouží pro namodelování tělesa pomocí bodů |

Souřadný systém prvků je v těžišti.

2.6.1 Model kužele

Ve V-Realm Builder 2.0 se vymodeloval 1 kužel dle přesných rozměrů. Kužel je vytvořen čtyřmi uzly Transform a třemi uzly Shape. V uzlech potomků jsou zadány umístění geometrických prvků tak, aby tvořily kužel. V podstatě se jedná o sestavu, kterou lze pomocí rodiče přemísťovat kamkoli chceme.



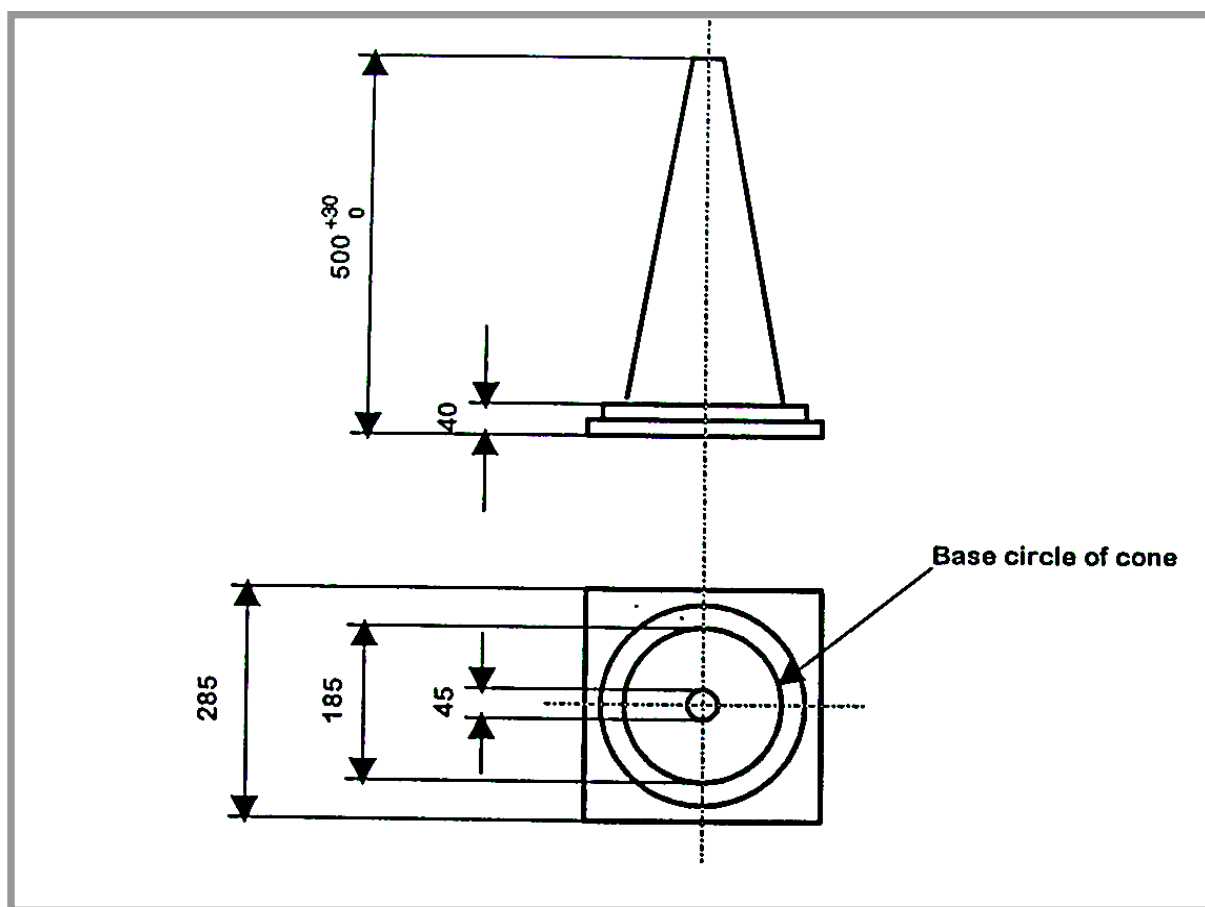
Jedná se o tři tělesa, která tvoří kužel. Podstavec je tvořen kvádrem a válcem, vrch je tvořen kuželem. Tyto tvary byly zhotoveny pomocí prvků box, cylinder a cone. Přesné rozměry byly zadávány v uzlu Shape-geometry v jednotlivých geometrických prvcích.

V prvku Box se v kolonce Size zadaly hodnoty x y z 0.285 0.01 0.285 [m]

V prvku Cylinder se v kolonce height zadala hodnota 0.03 [m] a v raduje 0.125 [m]

V prvku Cone se v kolonce bottomradius zadala hodnota 0.0925 [m] a v height 0.46 [m]

U prvků Cylinder a Cone je možné jednotlivé plochy odstranit podstavce (jelikož nejsou vidět), čímž dojde ke snížení počtu zobrazených ploch a urychlení výpočtu. Odstranění těchto ploch se docílí nastavením aktuálních ploch na logickou hodnotu FALSE.



Obr. 2.3 Rozměry kužele [6]

2.6.2 Povrch kužele

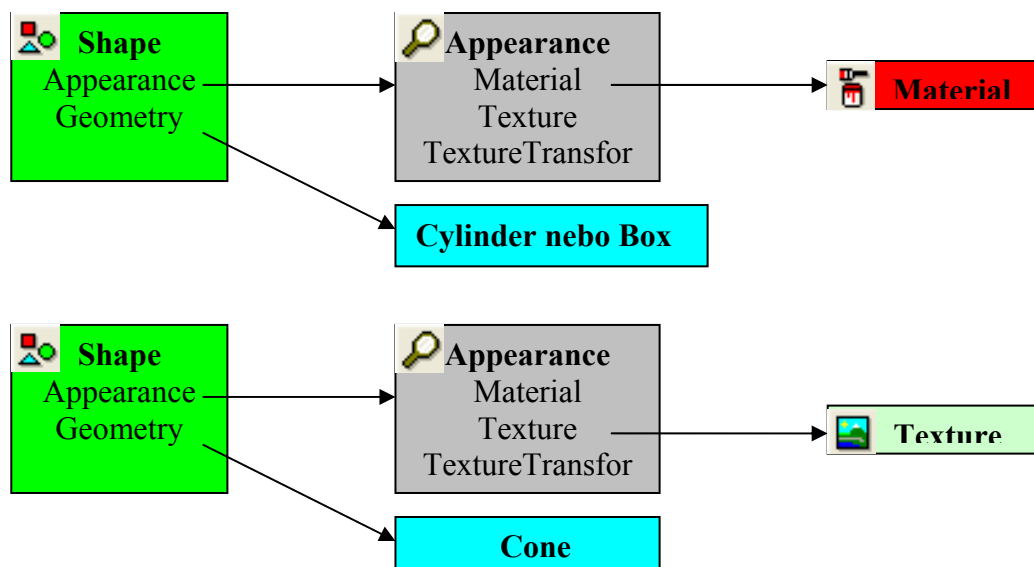
Natavení vzhledu povrchu určuje uzel appearance, který je v uzlu Shape pod názvem appearance. Tento uzel má zásadní vliv na zobrazení barvy, emisí barvy, průhlednosti povrchu, textury nebo dokonce animací. Povrch kužele je kombinací červených a bílých pruhů. V případě podstavce se jedná o přiřazení červené barvy geometrickým prvkům Box a Cylinder, ale u vrchní části kužele je situace složitější. Nestačí jen přiřazení jedné barvy, proto je potřeba využít textury.

Uzel appearance



material	prázdný uzel	Zadání barvy celého povrchu Lze přiřadit pouze uzel Material
texture	prázdný uzel	Pokrytí povrchu obrázky. Lze přiřadit ulzy ImageTexture, PixelTexture a MovieTexture
textureTransform	prázdný uzel	Rozvržení textury na povrchu prvku Lze přiřadit pouze uzel TextureTransform

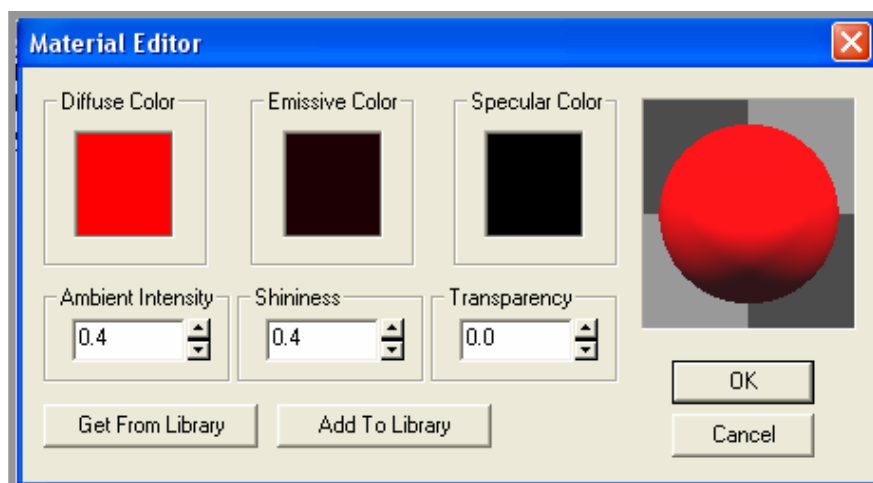
Tab. 2.10 Parametry uzlu Appearance



Material

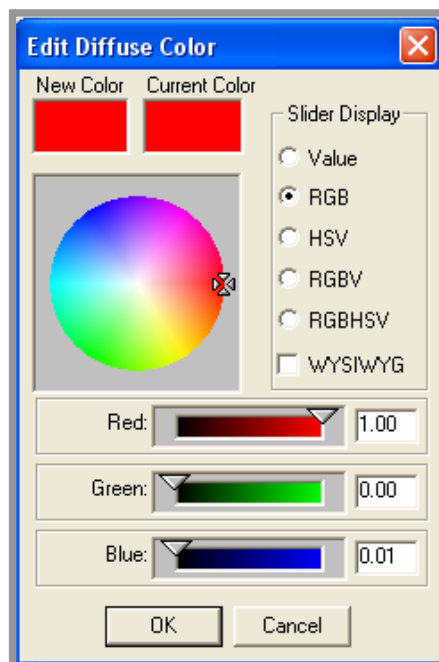
Na stromu uzlů je znázorněné přiřazení pro jednotlivá geometrická tělesa. Podstavec kužele složený z dvou prvků má jedno barevné nastavení, proto stačí vytvořit pouze jeden uzel appearance, například u geometrického prvku box a nakopírovat do uzlu Shape geometrického prvku Cylinder. V uzlu Material se zadává barevná charakteristika povrchu pomocí šesti hodnot, kterými se zadá nejen základní barva, ale i barevný vjem ovlivňovaný světlem virtuálního světa. Panel uzlu Materiál je na obrázku 2.4.

- Diffuse Color - základní složení barvy povrchu [RGB]
- Emissive Color - svítivá barva povrchu [RGB]
- Specular Color - výběr barvy dopadajícího světla, kterou povrch odráží [RGB]
- Ambient Intensity - zesvětlení povrchu celkovým jasnem prostoru [0-1]
- Shininess - ostrost odrazu pro předchozí parametr [0-1]
- Transparency - průhlednost [0-1]



Obr. 2.4 Panel nástrojů uzlu Material

V pravé části okna je orientační náhled s aktuálně nastavenou barvou povrchu kužele při odlesku světla. Nastavení prvních třech polí se určuje poměrem RGB, který se zadává manuálně z grafického spektra barev nebo číselně. Vše viz obr. 2.5.



Obr. 2.5 Zadání barvy v RGB

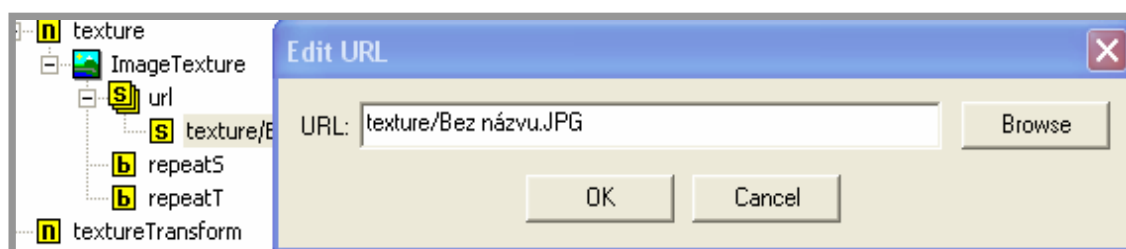
Texture



Textura je obrázkový vzorek, který se nanáší na povrch tělesa. Používá se tam, kde si nevystačíme jen s barvou, nebo chceme mít co nejvěrohodnější vzhled povrchu. Při mapování dvourozměrného obrázku na trojrozměrný objekt vzniká řada deformací. Tyto deformace se kompenzují v uzlu TextureTransform, kde se definují poloha, posunutí, úhel a změna velikosti a počtu obrázků na plochu textury. Jako texturu lze použít:

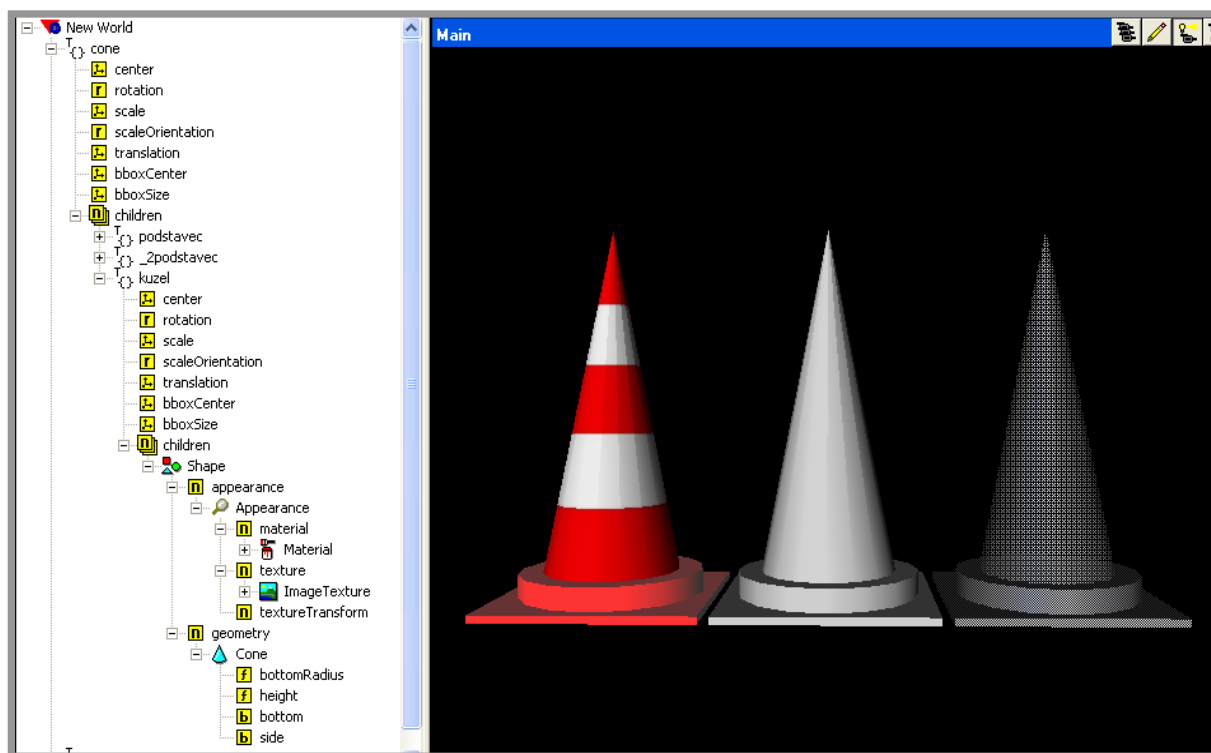
- ImageTexture - mapu tvoří obrázek ve formátu *jpeg (jpg)*, *gif*, *png*
- PixelTexture - mapu tvoří opakující se kombinace barev
- MovieTexture - mapu tvoří přehrávání video sekvence ve formátu *mpeg-1*

Načtení ať už obrázků nebo video sekvencí provádí parametr URL-Uniform resource Locator. V URL se zadává cesta k adrese se soubory. V diplomové práci jsou všechny soubory ve složce *texture*.



Obr. 2.6 Zadání cesty k souboru

Obrázek textury kužele je pruhovaný obrázek *jpg* o velikosti 512x384 pixelů vytvořený v aplikaci *malování*. Na obrázku 2.7 je náhled okna V-Realm Builder 2.0, ve kterém je pomocí předchozích kroků vymodelován 1 hotový kužel. Pro srovnání je kužel dvakrát nakopírovaný a posunutý uzlem Transform v kladném směru osy x. Kužel uprostřed je čistý geometrický model bez povrchové úpravy. Vpravo je zobrazen kužel s poloprůhlednou povrchovou úpravou pomocí parametru Transparency. V levé části okna se nachází stromová struktura hotového kužele.



Obr. 2.7 Hotový kužel ve V-Realm Builder 2.0

2.6.3 Zapsání kužele v jazyce VRML

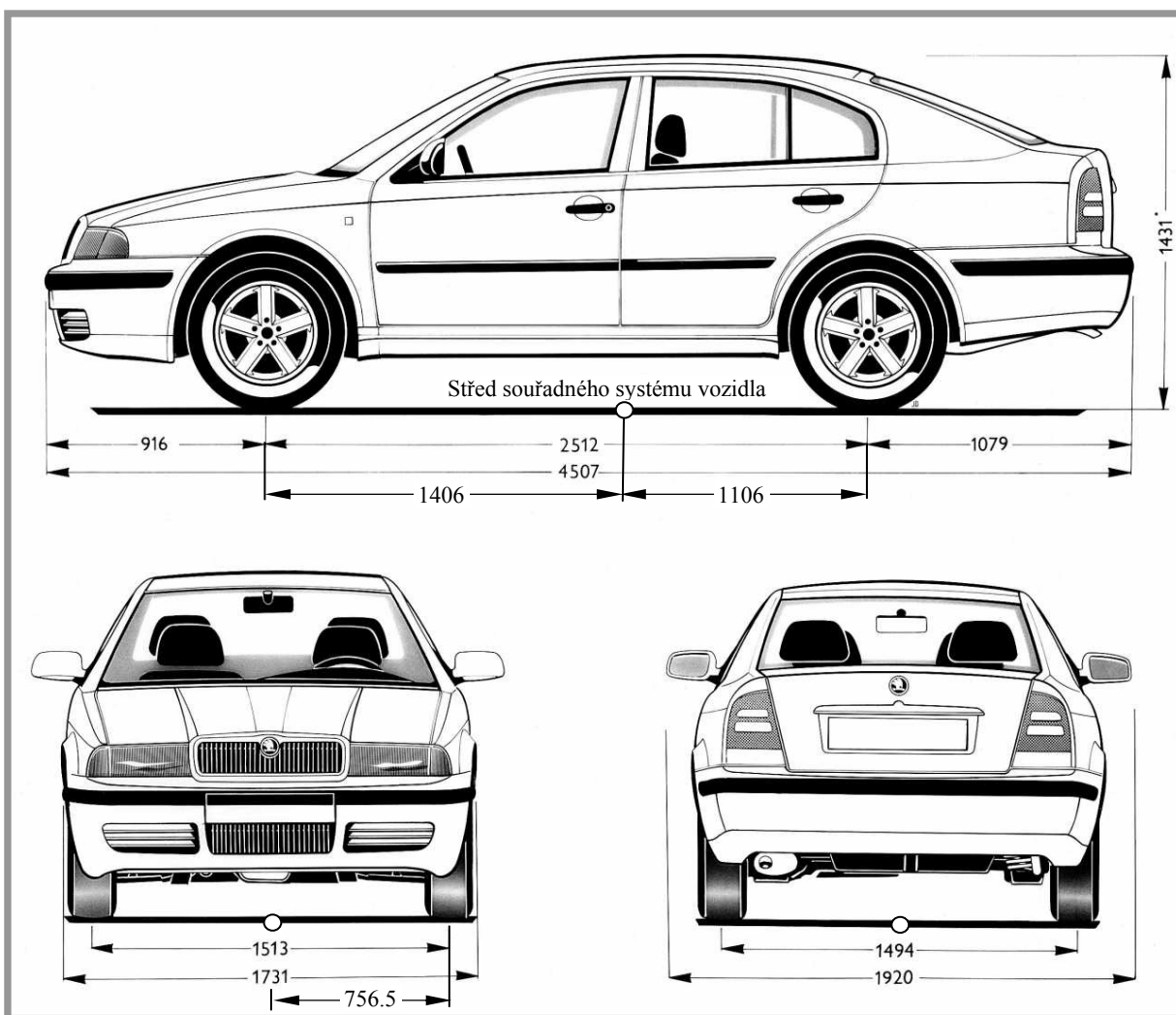
```
#VRML V2.0 utf8
#Created with V-Realm Builder v2.0
#Integrated Data Systems Inc.
#www.ids-net.com
DEF cone Transform {
  children [
    DEF podstavec Transform {
      translation 0 0.005 0
      children Shape {
        appearance Appearance {
          material Material {
            ambientIntensity 0.4
            diffuseColor 1 0 0.0100002
          }
        }
      }
    }
  ]
}
```

```
        emissiveColor 0.11 0.00166187 0.0123997
        shininess 0.4
    }
}
geometry Box {
    size 0.285 0.01 0.285
}
}
}
DEF _2podstavec Transform {
    translation 0 0.025 0
    children Shape {
        appearance Appearance {
            material Material {
                ambientIntensity 0.4
                diffuseColor 1 0 0.0100002
                emissiveColor 0.1 0.00151079 0.0112725
                shininess 0.4
            }
        }
        geometry Cylinder {
            height 0.03
            radius 0.125
            bottom FALSE
        }
    }
}
}
DEF kuzel Transform {
    translation 0 0.27 0
    children Shape {
        appearance Appearance {
            material Material {
                ambientIntensity 0.7
                shininess 0.5
            }
            texture ImageTexture {
                url "texture/Bez nřu.JPG"
            }
        }
        geometry Cone {
            bottomRadius 0.0925
            height 0.46
            bottom FALSE
        }
    }
}
}
]
```

Výše uvedeným způsobem se modeluje většina objektů ve virtuálním světě dynamiky vozidla. V některých případech si ale s osmi základními geometrickými prvky nevystačíme. Jde o složitější tvary jako například karoserii vozidla, volant, kola, zpětná zrcátka, silnice, značky, linky pro zobrazení dynamických účinků a mnoho dalších. Tyto prvky jsou naskenovány nebo vymodelovány v jiných 3D softwarech a vyexportovány do souboru wrl. Nebo přímo vytvořeny textovým editorem v jazyce VRML 97.

3 Modelování vozidla

Model vozidla Škoda Octavia je složen ze skenů karoserie, základních geometrických prvků zobrazujících detaily a vymodelovaných prvků v 3D softwarech. Model není určen k zobrazení interiéru. Ten tvoří pouze černý kvádr, aby nebylo vidět skrze skla až na vozovku. Veškerá grafika je tedy věnována karoserii a přesným rozměrům geometrie vozidla.



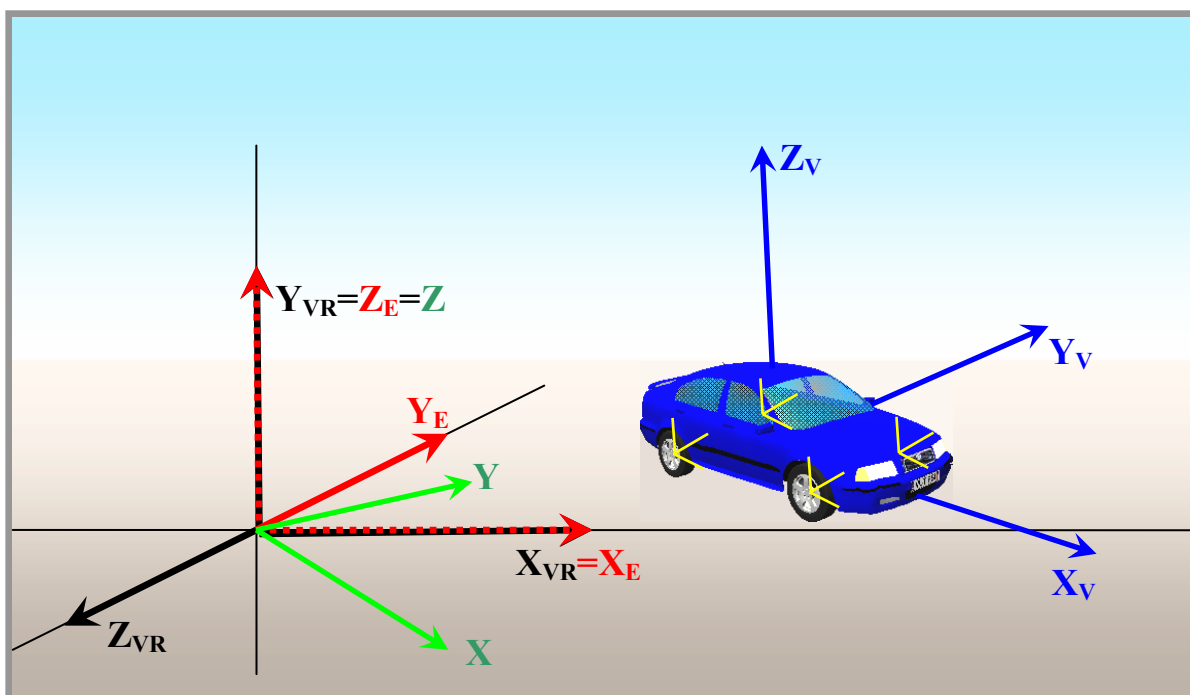
Obr. 3.1 Rozměry vozu Škoda Octavia a umístění souřadného systému vozidla [3]

3.1 Souřadný systém vozidla

Všechny díly vozidla a prvky zobrazení dynamických účinků jsou z praktických důvodů zaváděny v jiném souřadném systému než je virtuální realita. Jde o souřadný systém ISO, který je k souřadnému systému virtuální reality pootočen kolem osy X o -90° .

3.1.1 Souřadný systém ISO

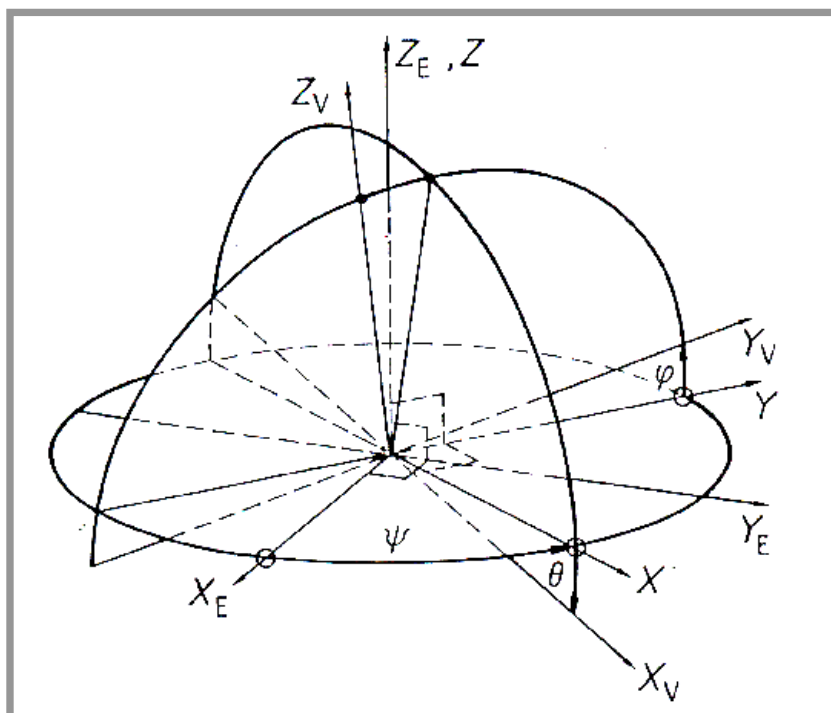
- Pevný souřadný systém Země (X_E, Y_E, Z_E)
 - pravotočivý, pravoúhlý souřadný systém pevně spjatý se zemí
 - osy X_E a Y_E jsou ve vodorovné rovině, tvoří zemský povrch
 - osa Z_E směřuje nahoru
 - shodný počátek se souřadným systémem virtuální reality
- Souřadný systém vozidla (X_V, Y_V, Z_V)
 - pravotočivý, pravoúhlý souřadný systém pevně spjatý s vozidlem
 - osa X_V je vodorovná, směřuje vpřed a je v podélné rovině souměrnosti vozidla
 - osa Y_V je vodorovná, směřuje od řidiče doleva a je kolmá k podélné rovině souměrnosti
 - osa Z_V směřuje vzhůru
- Pomocný souřadný systém (X, Y, Z)
 - pravotočivý, pravoúhlý souřadný systém
 - rovina XY se shoduje s rovinou $X_E Y_E$
 - osa X je průmětnou osy X_V na rovinu $X_E Y_E$
 - osa Z směřuje nahoru
- Souřadný systém jednotlivých kol ($X_{..}, Y_{..}, Z_{..}$ – indexy dle pozice kol)
 - pravotočivý, pravoúhlý souřadný systém pevně spjatý s kolem



Obr. 3.2 Orientace souřadného systému ISO a virtuální reality

Úhly:

- Úhel stáčení Ψ
- natočení (X_E, X) kolem osy Z_E
- Úhel klonění Θ
- natočení (X, X_V) kolem osy Y
- Úhel klopení φ
- natočení (Y, Y_V) kolem osy X_V

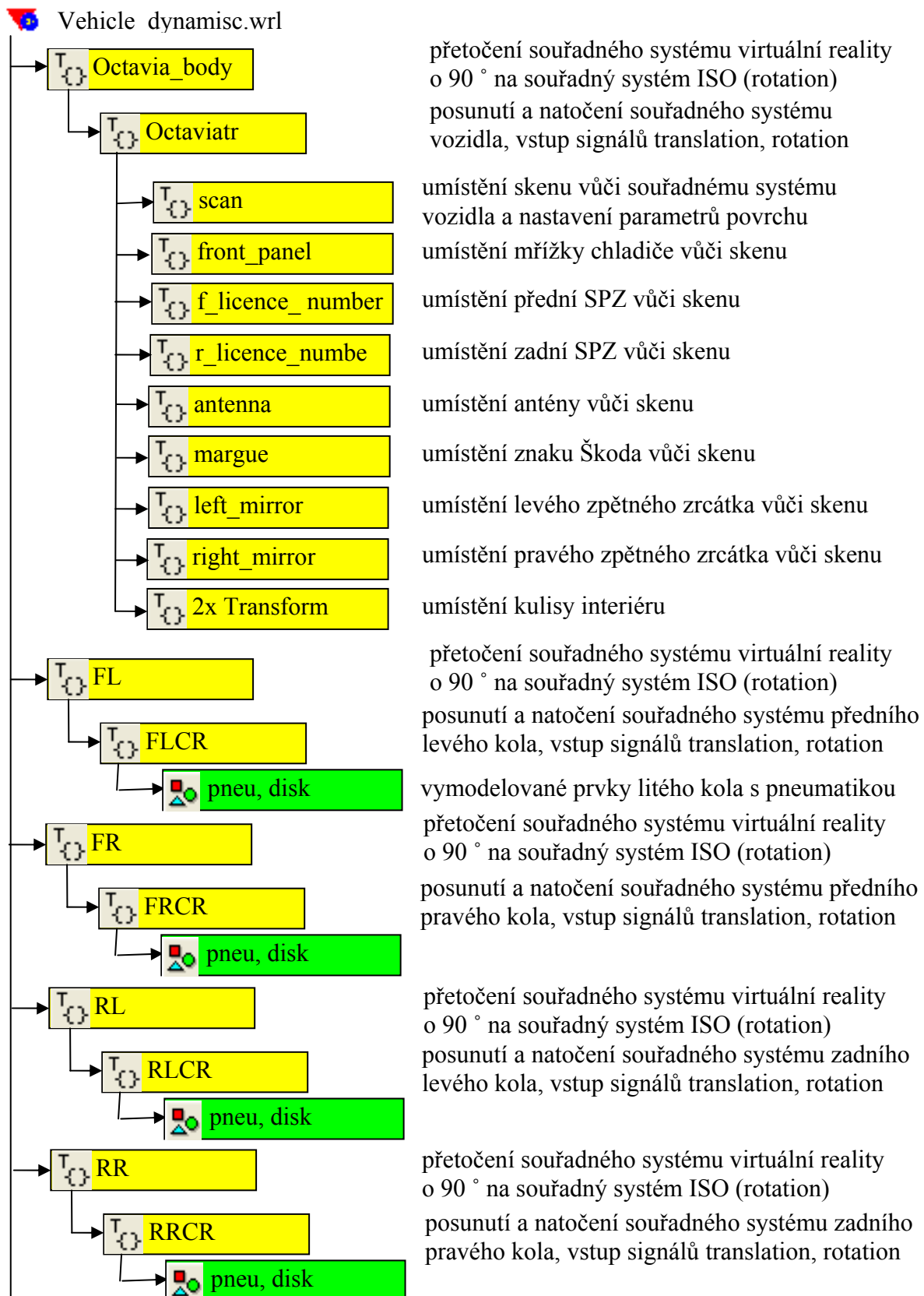


Obr. 3.3 Definice úhlů [8]

Natočení souřadného systému ISO je docíleno přidáním uzlu Transform jako rodiče do všech stromových struktur vyžadující tento souřadný systém. Nastavením parametru rotation na $[-1 \ 0 \ 0 \ 90]$ dojde k natočení všech potomků (uzlů) do souřadného systému země (X_E, Y_E, Z_E).

Souřadný systém vozidla (X_V, Y_V, Z_V) je potomkem souřadného systému země. Souřadnice (X_V, Y_V, Z_V) a úhly natočení (Ψ, Θ, φ) vůči souřadnému systému země se zadávají v uzlu Transform pojmenovaném *octaviatr*, jehož potomky jsou prvky vozidla. Stejný systém uspořádání a natočení souřadných systémů mají jednotlivá kola, která mají počátek svého souřadného systému v ose rotace ve středu kola. Na obrázku 3.2 žluté souřadné systémy. Souřadný systém vozidla leží na začátku animace v souřadném systému země a souřadné systémy kol mají stejné natočení os jako souřadný systém země, ale počátky leží v souřadnicích, které odpovídají umístění kol vůči souřadnému systému vozidla.

3.2 Stromová struktura vozidla



3.3 Sken vozidla

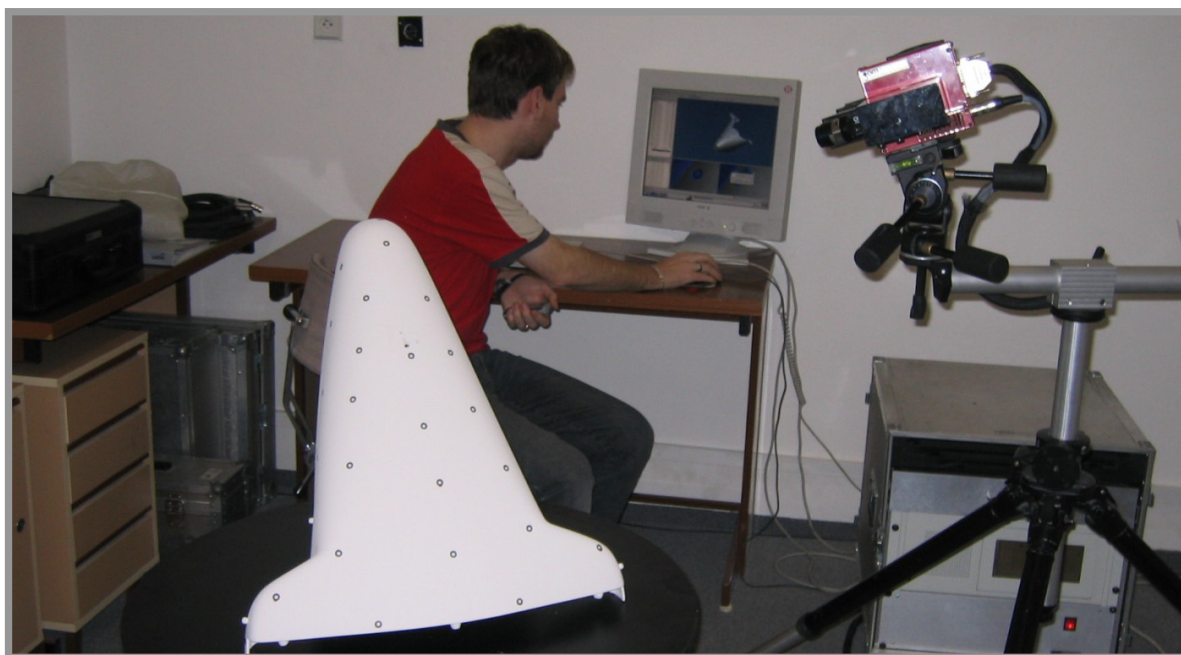
Jedná se o sken Škody Octavie RS vytvořený Ing. Tomášem Rochlou na Ústavu automobilního a dopravního inženýrství Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně zařízením ATOS I.. Sken byl Ústavem automobilního a dopravního inženýrství zapůjčen pro zobrazení karoserie vozidla. Sken není součástí příloh.

3.3.1 3D scanner ATOS I

Jedná se o mobilní bezdotykový aktivní optický 3D skener vyvinutý firmou GOM. ATOS I je určený pro základní aplikace nevyžadující příliš vysokou přesnost a kvalitu výstupních dat. Rozlišení je 800 000bodů na 1 záběr. Využívá snímání modelu dvěma kamerami. Maximální měřicí rozsah je 1000x800mm při rozlišení 1bod na 1mm. Nejširší využití systému ATOS je v oblastech CAD, CAM a FEM. Zde je požadováno měření skutečných objektů a následné porovnání s teoretickými modely. Oblast využití systému ATOS je v mnoha oblastech. Jednou z nich je i virtuální realita. [4]

3.3.2 Skenování Vozidla

Skener ATOS I snímá pouze bílé povrchy. Je tedy nejprve zapotřebí nastříkat karoserii lakýrnickou pistolí směsí plavené křídý s denaturovaným lihem v poměru 1:1. Lze použít i speciální sprej, ale oproti křídové směsi je ekonomicky nevýhodný. Po dokončení skenování lze směs jednoduše umýt. Dalším krokem je nalepení referenčních bodů (vzdálenost mezi body je 15 až 20 cm). Před použitím skeneru je třeba zařízení kalibrovat pomocí kalibračních desek pro jednotlivé kombinace kamer a objektivů. Objekt se snímá z několika pohledů, kde v každém novém snímku musí být alespoň 4 referenční body z předešlého. Připojená stanice vyhodnotí získané snímky a provede výpočet polohy bodů a tvaru povrchu. [5]



Obr. 3.4 3D skener ATOS s výpočetní stanicí v pozadí, skenovaná špice Formule Ford [5]

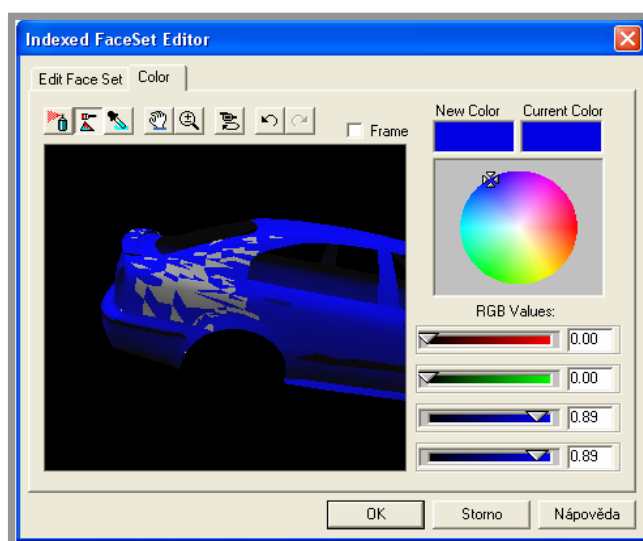
3.4 Úprava skenu

Sken je soubor dat vyexportovaný z formátu stl do formátu wrl. Sken je v měřítku 1:1 v souřadném systému ISO s počátkem u levého zadního nárazníku. Ten je uzlem Transform – scan posunutý do souřadného systému vozidla, který je v geometrickém středu vozidla, přičemž rovina X_v, Y_v leží v úrovni vozovky, viz obrázek 3.6. Je rozdělený do šesti skořepinových prvků:

- karoserie
- přední a boční skla
- zadní sklo
- zadní lampy
- přední blinkry
- světlomety

Tyto prvky jsou ve virtuální realitě zapsány jako uzel Indexed Face set, neboli množina ploch. Narozdíl od jednoduchých těles mají tyto uzly poměrně složitou strukturu, ale je s nimi možné libovolné tvarování objektů. Definiuje libovolně zakřivenou plochu tím, že popisuje její malé plošky. Jednotlivé plochy se skládají z vrcholů tvořící konvexní trojúhelníkový tvar. Uzel tyto plochy zapisuje tak, že zapíše souřadnice vrcholů, normály k plochám, barvy ploch a přiřadí jim index (pořadí). Je-li pak jeden vrchol sdílen více plochami, nebo mají plochy stejnou barvu, nemusí se pokaždé zapisovat znovu. Stačí si ji dle indexu najít v seznamu. Uvedeným principem je docíleno úspory paměti.

Každý uzel skenu je potomkem uzlu Shape, kde se v uzlu appearance nastaví vzhled tělesa. Nejednodušší je nastavení předních blinkrů. Zde se nastaví pouze základní složení barvy povrchu. Světlomety jsou nastaveny základní a fluorescenční barvou, s kterou budí dojem jakoby vyzařovaly světlo. Přední, boční a zadní skla jsou nastaveny podobně jako světlomety, ale s použitím minima fluorescenční barvy. Průhlednost je výsledkem nastavení parametru transparency na 0.4. V případě zadních lamp a karoserie nelze použít jednobarevný odstín ani texturu, jelikož celá plocha těchto prvků obsahuje více barev. U zadních lamp je to světlo zařazení zpětné rychlosti a blinkry a u karoserie velmi mnoho detailů jako například lemy, mlhovky, kliky... . Zadání barvy se nenastavuje v uzlu appearance, ale v panelu nástrojů uzlu indexed face set, kde se výběrem barvy vybarví nebo nastříkají trojúhelníkové plošky, viz obrázek 3.4.



Obr. 3.4 Panel nástrojů uzlu indexed face set

3.4 Grafické prvky

Dodatečné grafické prvky mají za úkol dodat vzhledu vozidla co nejreálnější podobu. Jsou vytvořeny základními geometrickými prvky, na které je nanесena textura. Textury jsou vytvořeny nafocněním skutečných částí vozu Škoda Octavia a následnou úpravou a ořezáním v grafickém software pro úpravu fotek. Poté jsou uzly Transform přemístěny a natočeny na přesně určené souřadnice v souřadném systému vozidla, viz stromová struktura vozidla. Jedná je o součásti:

- státní poznávací značky
- mřížka chladiče
- znak automobilky
- anténa

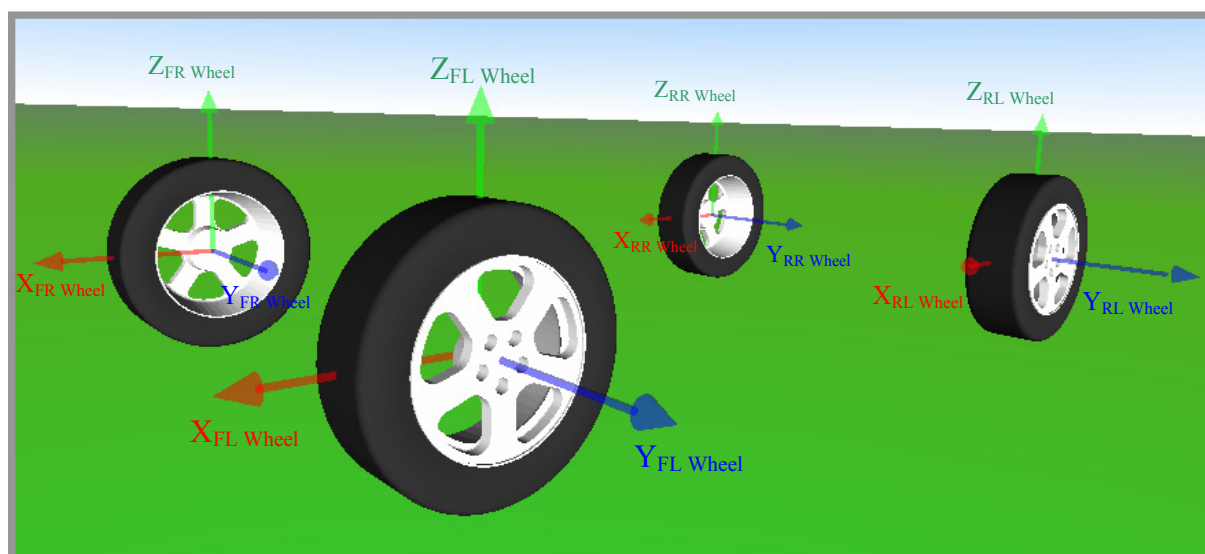
3.5 Modelované prvky

Jsou prvky, které nebylo možné vymodelovat v rámci V-Realm Bulderu 2.0, ani nebyli součástí skenu. Prvky byli modelovány dle rozměrů jako plná tělesa v programu SolidWorks 2008 SP0.0 a poté tímto softwarem vyexportovány v jazyce VRML do souboru wrl jako geometrický prvky Indexed face set (množina ploch). Poté jsou uzly transform přemístěny a natočeny na přesně určené souřadnice v souřadném systému vozidla a jednotlivých kol, viz stromová struktura vozidla. Modelování vycházelo ze souřadného systému ISO.

3.5.1 Kola

Kola jsou modelována dle přesných rozměrů pneumatiky a litého disku vozu Škoda Octavia
Pneumatiky 195/65 R15 91V
Litá kola 6J x 15" ET 38

Z důvodu zrychlení výpočtu zobrazení grafiky jsou vynechány některé detaily a zaoblení, například vzorek běhounu pneumatiky.



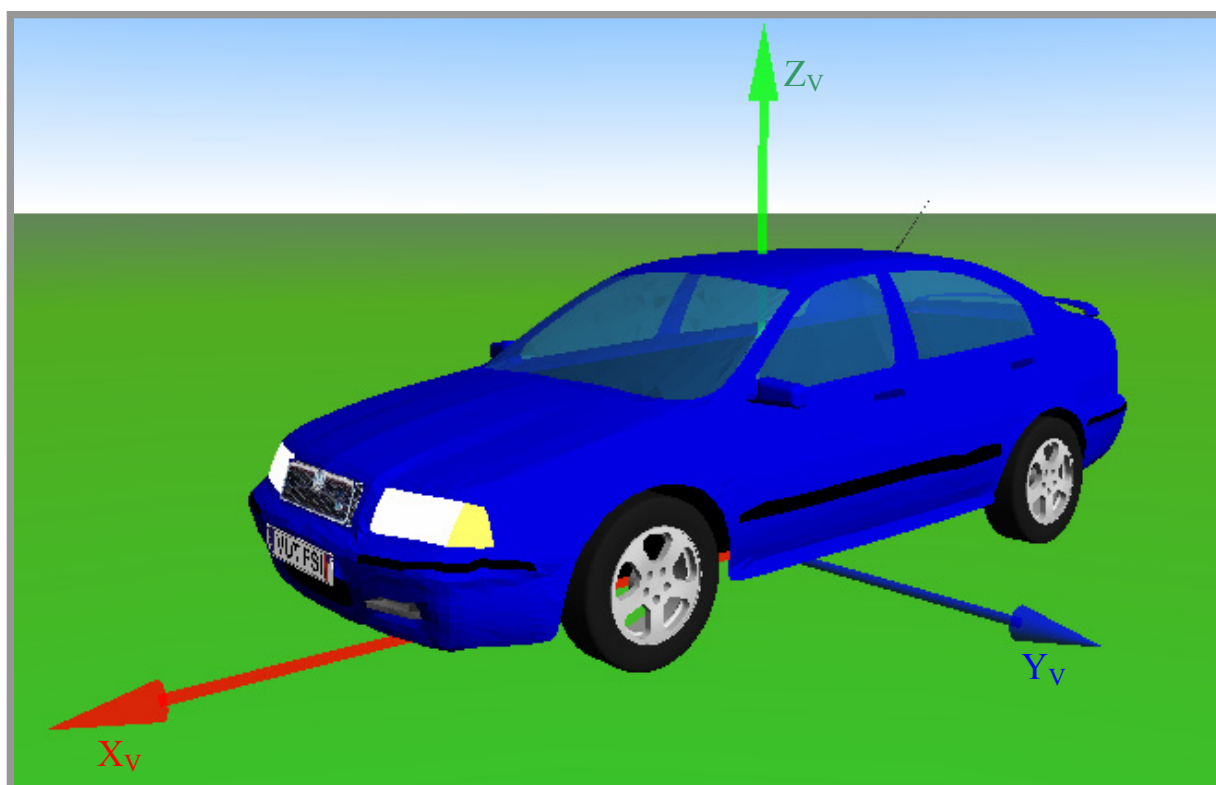
Obr. 3.5 Modely kol s jejich souřadnými systémy

3.5.2 Zpětná zrcátka

Namodelována dle přibližných rozměrů. Přesný model by se skládal z velkého počtu zaoblení a zakřivení, které by se negativně projevíly počtem uložených dat. Nakloněna a umístěna uzly Transform k souřadnému systému vozidla. Barevný povrch má stejné parametry jako sken karoserie.

3.6 Hotový model vozidla ve virtuálním světě

Na obrázku 3.6 je model vozidla s jeho souřadným systémem (X_v , Y_v , Z_v). Obrázek je z prohlížeče Internet Explorer. Pomocí avatara je možné prohlížet model ze všech stran a přepnutím způsobu pohybu na Examene je možné do modelu vstoupit.



Obr. 3.6 Model vozidla se souřadným systémem

4 Model vozovky

Diplomová práce je dělána jako univerzální virtuální prostředí pro zobrazení dynamiky vozidla průjezdem nejrůznějšími druhy tratí. Záleží tedy na vstupu dat trajektorie vozidla a geometrie aktuální tratě. Změna vstupu dat trajektorie a dynamiky vozidla se provádí v prostředí Matlab / Simulink a změna geometrie vozovky nakopírováním rodičovského uzlu Transform (aktuální geometrie tratě ze samostatného souboru wrl.) do souboru Vehicle_Dynamics.wrl v programu V-Realm Builder 2.0 nebo v textovém editoru v jazyce VRML. Zároveň se musí vymazat původní uzel tratě.

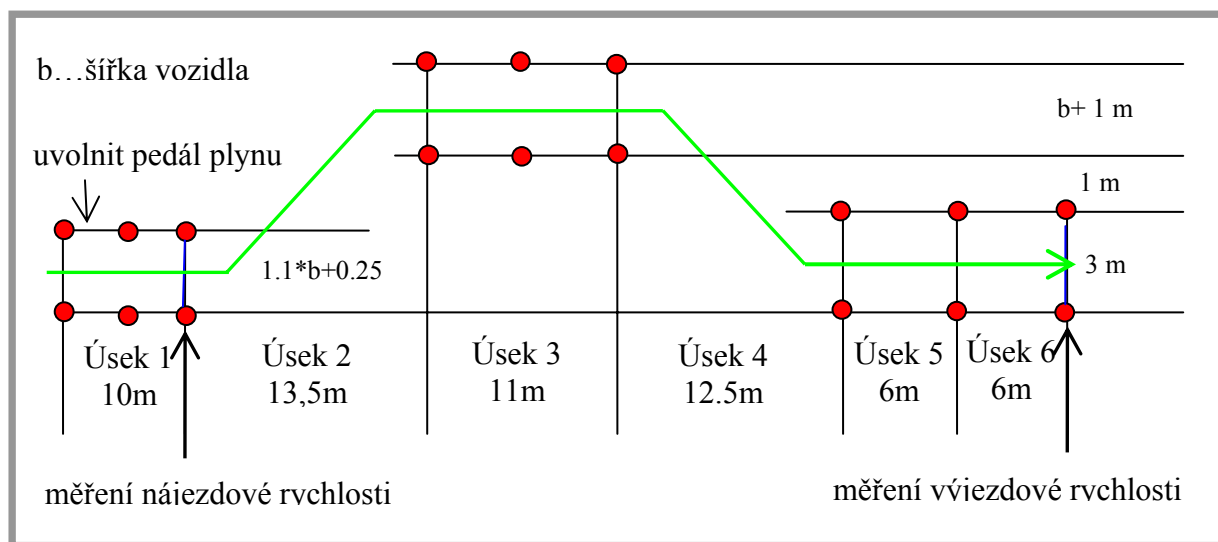
Součástí diplomové práce jsou 2 modely vozovek:

- road_with_cones - původní trať uložená v souboru Vehicle_Dynamics.wrl
- mesh_face - uloženy v souboru mesh face.wrl

4.1 Silnice s kužely

4.1.1 Manévr ISO 3888-2

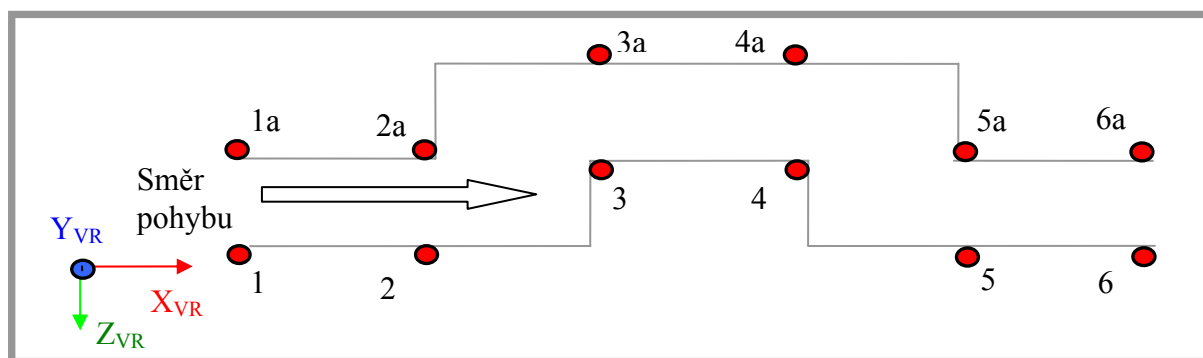
Tento jízdní test je jedním z celé řady zkoušek zkoumajících stabilitu a ovladatelnost silničních vozidel v mezních stavech za nestacionárních podmínek. Tento test simuluje vyhýbací manévr, také nazývaný jako VDA test. Principem testu je co nejrychleji projet dráhu vytyčenou kužely. Při vjezdu do dráhy má vozidlo přesně stanovenou nájezdovou rychlost, poté je vyřazen rychlostní stupeň. Hodnotí se dosažená rychlost v daných bodech manévru a styl, kterým vozidlo manévr projede. [6]



Obr. 4.1 Rozmístění kuželů dle ISO 3888-2 [6]

4.1.2 Manévr v diplomové práci

Manévr byl proveden Ústavem soudního inženýrství ve spolupráci s Ústavem automobilního a dopravního inženýrství VUT v Brně [7]. Jedná se o modifikovaný test dle ISO/VDA 3888-2, 1999 (E), kde se dráha, rozmístění kuželů a styl jízdy liší.



Obr. 4.2 Rozmístění kuželů [7]

	1	1a	2	2a	3	3a	4	4a	5	5a	6	6a
X_{VR} [m]	27	27	39	39	52,5	52,5	63,5	63,5	76	76	88	88
Z_{VR} [m]	0,5	-2,5	0,5	-2,5	-2,5	-5,5	-2,5	-5,5	-0,5	-3,5	-0,5	-3,5
Y_{VR} [m]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 4.1 Souřadnice kuželů v souřadném systému virtuální reality [7]

Tato trať je uložena jako výchozí. Jedná se o silnici s rovným povrchem, na které jsou rozmístěny kužely dle přesných souřadnic. Okolí silnice doplňuje výšková mapa. Trať je modelována v souřadném systému virtuální reality (X_{VR} , Y_{VR} , Z_{VR}), kde start animace je v počátku a výška povrchu silnice v $Y_{VR}=0$.

Při spuštění animace projíždí vozidlo mezi kužely s počáteční rychlostí 50 km/h a vyřazeným rychlostním stupněm. Animace trvá 7 sekund.

Silnice, výšková mapa, značka a nápis je vytvořen základními geometrickými prvky s nanesenými a rozmístěnými texturami. Kužely jsou rozmístěny uzly Transform, ve kterých je nakopírovány kužel popsany v kapitole 2.6. Ke kopírování kužele je využito příkazu USE.

4.1.1 Příkazy DEF a USE

Tyto příkazy slouží k opakovanému zapsání jedné informace. Princip spočívá v tom, že se daný uzel nekopíruje, ale poukazuje na již vytvořený uzel. Všeobecně se použití těchto příkazů doporučuje, protože mají význam na snížení velikosti souboru a urychlení zobrazení. Příkaz DEF slouží k pojmenování jakéhokoliv uzlu. V souboru Vehicle_Dynamics.wrl jsou příkazem DEF pojmenovány všechny významné uzly. V kapitole 2.6 je takhle pojmenovaný celý strom kužele názvem cone. Vytvoření jeho kopie je v další části souboru příkazem USE. V tomto příkazu je nutné uvést jméno uzlu cone. Můžeme tak vytvářet nejen kopie samotných uzlů (materiál, těleso ...), ale i celých stromových struktur.



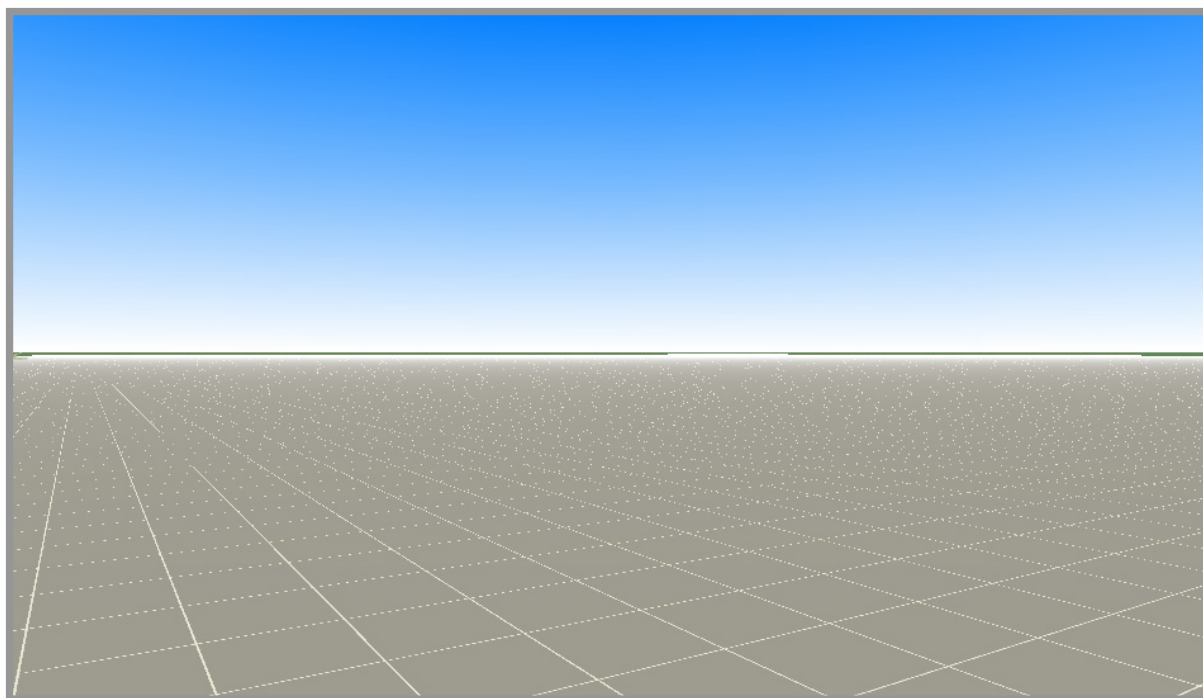
Obr. 4.3 Vozovka s kužely ve virtuálním světě

4.2 Obecný rovinný povrch

Druhý model vozovky je obecné rovinná plocha, na které lze simulovat průjezd s nulovou translací v ose Z souřadného systému ISO. Lze na ní simulovat test jízdy v kruhu nebo jakoukoliv plošnou trajektorii.

Je tvořený jen jedním základním geometrickým prvkem Box, na který je nanесena textura s tvarem čtverce s bílými okraji. Rovina povrchu je shodná s rovinou souřadného systému virtuální reality (X_{VR} , Y_{VR}). Základní rozměry jsou 1000x1000 metrů a jsou zadány rozměrem uzlu Box. Stejný počet je zadán v uzlu textury Texture transform parametrem scale. Tím je zaručeno, že jednomu čtverci v síti odpovídá 1 m². Pokud je potřeba větší plochy, zadají se její rozměry v obou uzlech.

Tento povrch se jmenuje mesh_face a je uložený v samostatném souboru mesh_face.wrl.



Obr. 4.4 Síťový povrch ve virtuálním světě

4.3 Návrh vozovky pomocí GPS

Data souřadnic vozovky měřené pomocí GPS nebyly v diplomové práci k dispozici. Lze ale dle nich vymodelovat jakoukoliv trať.

Kroky vytvoření tratě:

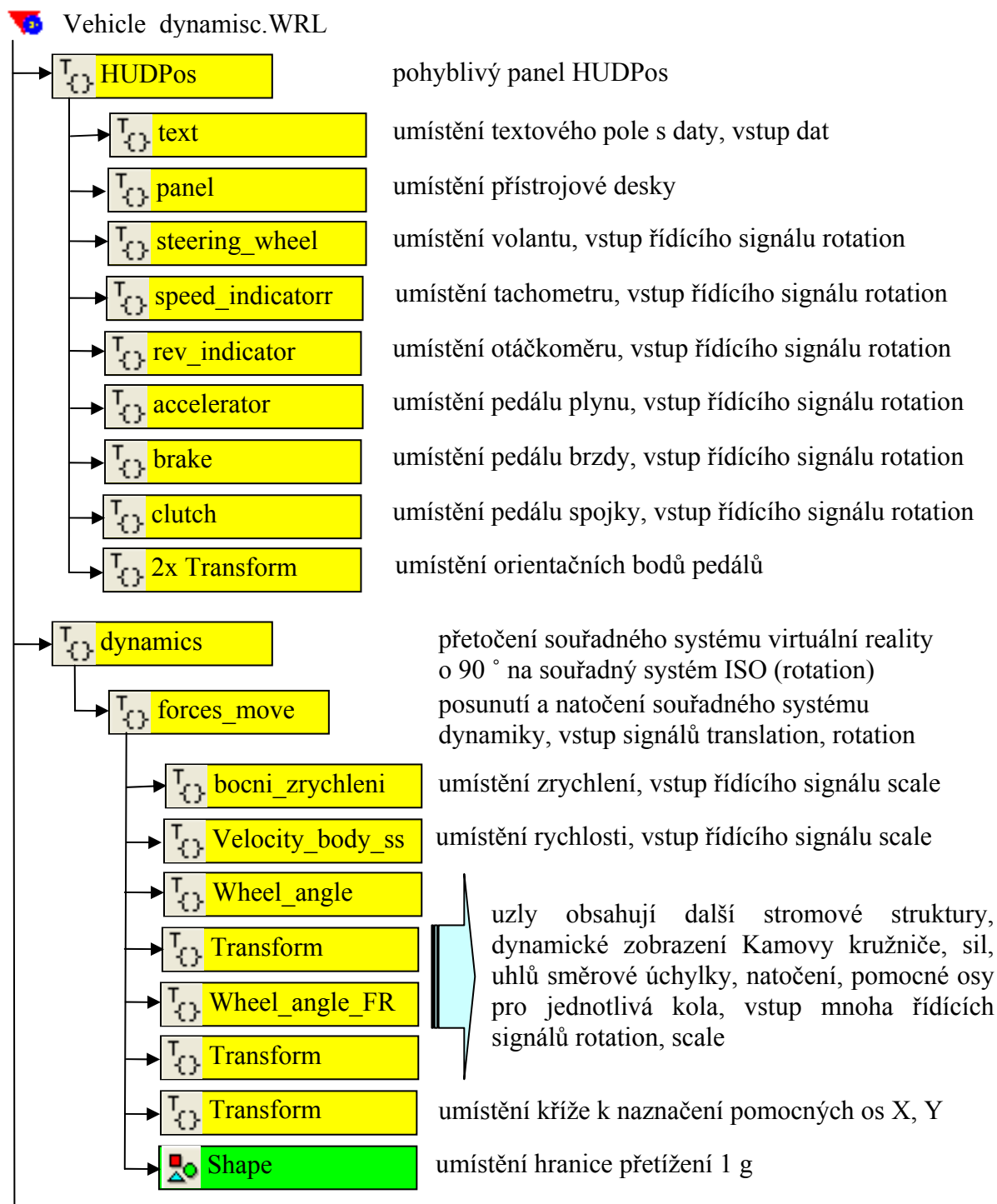
- 1) Na reálné trati se změří souřadnice polohy bodů pomocí GPS po obou krajnicích po cca 1 metru. Trať je možné projet malou rychlostí autem po obou krajích.
- 2) Souřadnice polohy bodů GPS se přepočítají k odpovídajícímu souřadnému systému ISO (v metrech) se zvoleným počátkem.
- 3) Trať se ve virtuálním světě vymodeluje geometrickým prvkem Indexed face set, viz kapitola 3.4. Všechny údaje se zapisují v textovém editoru. Celá trať je složena z trojúhelníkových ploch, jejíž vrcholy jsou body na krajnicích. Všem plochám stačí přiřadit jednu barvu.

Dalším způsobem je projetí tratě středem. Data polohy GPS se opět převedou do příslušného souřadného systému. V 3D aplikaci (například SolidWorks, Pro Engineer) se body načtou a vytvoří se křivka, podle které se vytáhne geometrický tvar (šířka silnice) vztažený k rovině XY. Následně se vyexportuje do souboru wrl. Nevýhoda je, že takto namodelovaná trať nemá oproti předchozí trati naklonění.

5. Prvky dynamiky vozidla

Prvky dynamiky vozidla slouží pro popis dynamických účinků vozidla a prvků informativního charakteru. Kapitola je věnována pouze vytváření těchto prvků. Jejich podrobný účel a funkce jsou popsány v následujících kapitolách.

5.1 Stromová struktura prvků



5.2 HUDPos

Název uzlu je zkratkou Head Up Display Position. Všechny prvky ve stromové struktuře uzlu HUDos zůstávají při pohybu scénou ve stále poloze vůči pozorovateli. Ve vrchní části struktury souboru virtuální reality je vložen Proximity Sensor, který hlídá pozici a orientaci avatara v prostoru. Parametry polohy a orientace uzlu HUDPos jsou odkázány příkazem ROUTE na Proximity Sensor.

Polovina prvků je modelována a vyexportována do souboru wrl v programu SolidWorks 2008 SP0.0. Jedná se o prvky:

- steering wheel
- speed Indicator
- revolution indicator
- accelerator
- brake
- clutch

Ostatní prvky jsou modelovány základními geometrickými prvky v V-Realm Builder 2.0. Jedná se o prvky:

- text
- panel
- znak Škoda na volantu
- orientační body pedálů

U prvků panel a znak jsou místo nastavení barev povrchu nanесeny textury upravených obrázků přístrojové desky a znaku. Doposud byly všechny prvky s texturou doprovázeny nastavením barvy povrchu z důvodu stínování. Odejmutím barevného nastavení materiál v uzlu appearance se dosáhne záření textury a nulového ovlivnění okolními světelnými zdroji. Přístrojový panel vypadá podsvíceně. Prvky jsou uzly Transform umístěné a natočené tak, aby byly rozmístěné při animaci v levé části okna, viz obrázek 5.1

5.2.1 Proximity Sensor

Virtuální světy je možné doslova zaplavit různými manipulátory, detektory a interpolátory, které slouží k provádění různých dynamických akcí. Proto jsou virtuální světy nazývané interaktivním prostředím. Ve virtuálním světě diplomové práce je zapotřebí pouze jednoho senzoru. Veškeré dynamické akce zprostředkovává interaktivní rozhraní Matlab / Simulink s Virtual Reality Toolbox a příkaz ROUTE.

Proximity Sensor je detektor přítomnosti, viz [2]. Sleduje polohu a orientaci avatara v prostoru omezenou pomyslným kvádrem. Tento senzor je pojmenován příkazem DEF názvem User.

center	0 0 0	Těžiště kvádra vymezující sledovanou oblast
size	1000000 1000000 1000000	Nezáporné rozměry kvádra
enabled	TRUE	Povolení práce detektoru

Tab. 5.1 Parametry uzlu Proximity Sensor [2]

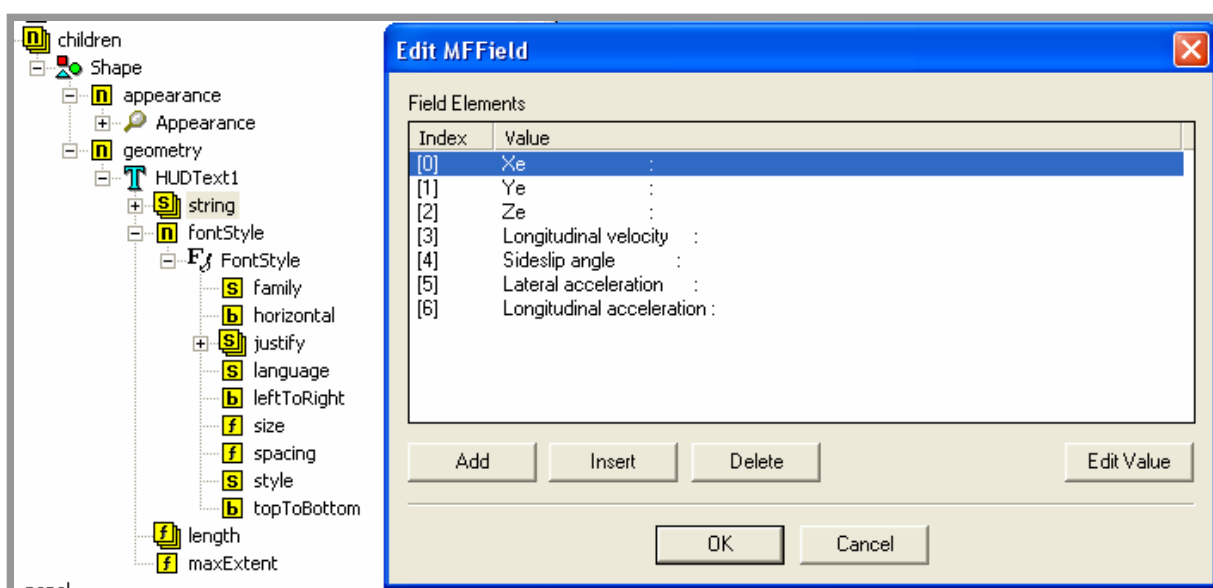
5.2.2 Text

Je využit pro vypsání údajů dynamiky vozidla a polohy vozidla v souřadném systému země ISO. Barva textu je nastavena stejně jako u ostatních prvků v uzlu appearance. Uzel je pojmenován příkazem DEF názvem HUDText1.

Uzel Text je plochý nápis umístěný do prostoru, viz [2]. Texty se zapisují do parametru string, ve kterém jsou i odděleny do sedmi řádků.

string		Posloupnost textových řetězců, zadání textu
fontStyle		Zadání stylu písma, výšky písma, vzdálenosti mezi řádky, zarovnání textu, ...
length	0	Seznam nezáporných délek pro každý z řetězců 0 = libovolná délka
maxExtent	0	Nezáporná hodnota omezující maximální rozměr nápisu ve směru daném stylem písma, hodnota 0 ruší jakékoliv omezení

Tab. 5.2 Parametry uzlu Text [2]



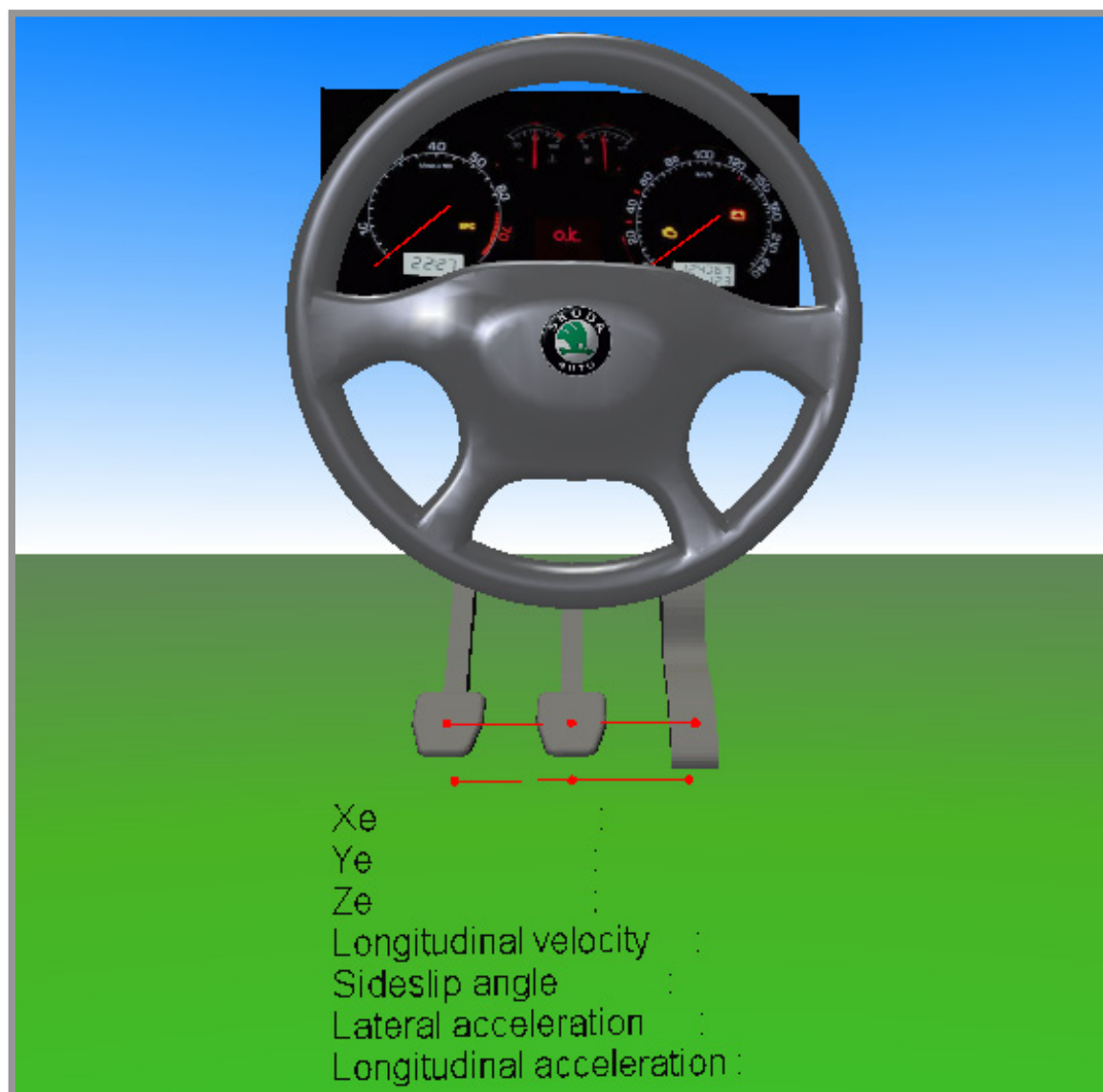
Obr. 5.1 Zapsání textu v parametru string

5.2.3 Zobrazení HUDPos

Volant, rafičky a pedály jsou otáčeny vstupními signály, které vstupují jako koeficienty parametru orientation v příslušných uzlech stromové struktury HUDPos. V prohlížeči je HUDPos umístěn v levé části okna, takže prvky nejsou natočeny přímo k pozorovateli, jak je vidět na obrázku 5.2, ale jsou natočeny mírně ze strany. Díky tomu se lépe pozoruje sešlápnutí pedálů. Hranice natočení pedálů jsou navíc označeny červenými body.

Při spuštění animace jsou za dvojtečkami textu vypsány jejich hodnoty a jednotky:

- X_e, Y_e, Z_e [m] - poloha vozidla v souřadném systému země ISO
- Longitudinal velocity [m.s⁻¹] - podélná rychlost vozidla
- Sideslip angle [°] - úhel směrové úchylky vozidla
- Laterál acceleration [g] - boční zrychlení vozidla
- Longitudinal acceleration [g] - podélné zrychlení vozidla



Obr. 5.2 HUDPos ve virtuálním světě

5.3 Zobrazení dynamiky vozidla

Zobrazení dynamických vlastností vozidla je znázorněno soustavou linek a ploch, jejichž natočení a velikost závisí na vstupních signálech, které vstupují jako koeficienty parametrů orientation a scale v příslušných uzlech stromové struktury dynamics. Dynamika je tvořena prvky:

- Indexed Line Set - zobrazení velikosti sil, rychlosti, zrychlení, úhlů směrových úchylek a jejich natočení, pomocné osy
- Indexed Face Set - zobrazení Kamových kružnic a hranice přetížení 1g

Prvky Indexed Face Set jsou modelovány a vyexportovány do souboru WRL v programu SolidWorks 2008 SP0.0. Všechny prvky jsou uzly Transform umístěné v souřadném systému vozidla tak, aby byly při animaci dobře viditelné.

5.3.1 Indexed Line Set

Ke grafickému zobrazení velikosti nějakého parametru (síly, rychlosti ...) se nejvíce hodí prvek Indexed Line Set, viz [2]. Tento prvek nemá charakter tělesa. Je to množina čar, které nepodléhají kolizím s avatarem, pokrytí texturou a osvětlení ze zdrojů světla. Výhodou je, že ze změnou parametru scale se tloušťka čar nemění, jelikož velikost bodů a tloušťku čar nelze stanovit. Tyto hodnoty vycházejí z velikosti jednoho bodu na obrazovce.

Doposud byly geometrické prvky modelovány ve V-Realm Builder 2.0 nebo SolidWorks 2008 SP0.0. Tento prvek je ale nutné vytvořit zapsáním přesně stanovenými kódy a názvy jazyka VRML v textovém editoru.

coord	[]	Seznam bodů v uzlu Coordinate
color	[]	Seznam barev v uzlu Color RGB
coordIndex	[]	Posloupnost indexů vrcholů jednotlivých čar (zakočené číslem -1)
colorIndex	[]	Posloupnost indexů barev pro jednotlivé vrcholy či celé čáry
colorPerVertex	TRUE	Barvy v parametru colorIndex se vztahují na vrcholy, jinak na čáry

Tab. 5.3 Parametry uzlu Indexed Line Set [2]

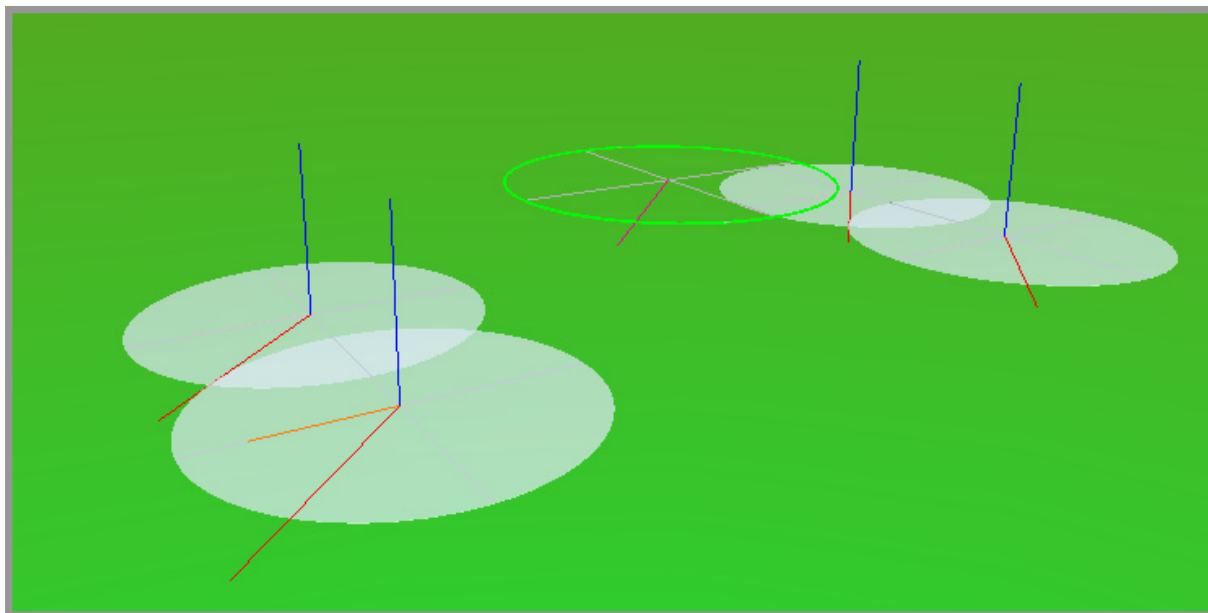
Systém funguje na zapsání seznamu polohy bodů a seznamu barev, ze kterých se pomocí indexů v dalších parametrech sestaví čáry. Podobně jako v prvku Indexed Face Set. Do seznamu bodů byly zapsány polohy rohů krychle o délce hrany 1, přitom záleželo na kvadrantu, ve kterém je pomyslná krychle. Délka 1m je použita záměrně kvůli přepočítání koeficientů měřítka pro změnu délky čáry. V seznamu barev jsou zapsány barvy ve složení RGB dle potřebného množství. Barvy a body jsou číslovány indexy od nuly. V parametru coordIndex jsou zapisovány trojčíslí indexů, které vytváří čáry (například 2,4,-1, vytvoří čáru mezi třetím a pátým bodem, každé trojčíslí končí číslem -1). Barvy se přiřazují čárám dle pořadí vytvoření čar indexem barvy.

5.3.2 Zapsání čtyř čar pro zobrazení pomocných os v jazyce VRML

```
IndexedLineSet {  
  color Color {  
    color 0.5 0.5 0.5  
  }  
  coord Coordinate {  
    point [ 0 0 0,  
            1 0 0,  
            0 1 0,  
            -1 0 0,  
            0 -1 0 ]  
  }  
  colorPerVertex FALSE  
  coordIndex [ 0, 1, -1, 0, 2, -1, 0, 3,  
              -1, 0, 4, -1 ]  
  colorIndex [ 0, 0, 0, 0 ]  
}
```

5.3.3 Zobrazení prvků dynamiky ve virtuálním světě

Některé čáry nejsou vidět, protože splývají s ostatními. Celkem je použito 34 čar.



Obr. 5.3 Prvky dynamiky ve virtuálním světě

6 Finální úprava scény

Vytvořená virtuální scéna v předešlých kapitolách má statický charakter. Konečnou úpravou souboru je nastavení předávání událostí mezi dynamickými uzly ovládané vstupem signálů z Matlab / Simulink a statickými uzly. Tento systém značně redukuje počet potřebných vstupních signálů na minimum. K předání událostí mezi uzly slouží příkaz ROUTE. V práci je příkaz ROUTE využit k translaci, orientaci a změně měřítka uzlů, které jsou těmito událostmi spjaty.

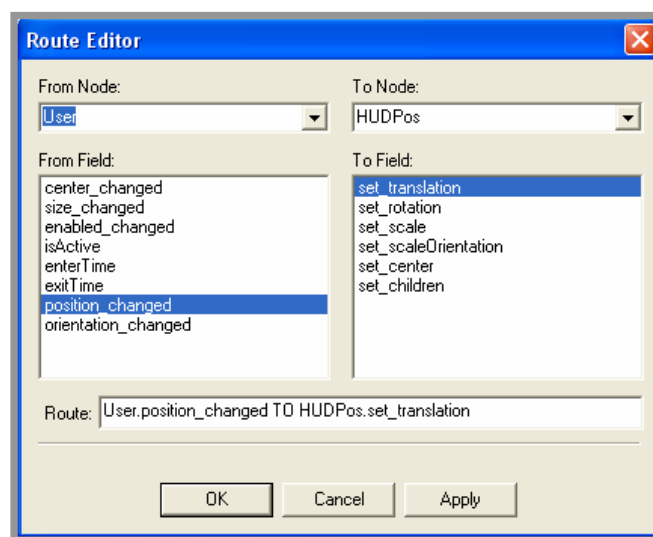
6.1 ROUTE

Událost je základním prostředek sloužící k rozhýbání uzlů. Lze si ji představit jako datový záznam, který je předáván mezi uzly v okamžiku změny hodnoty nějakého parametru uzlu. Jeden uzel vyšle událost a příkaz ROUTE tuto událost pošle do dalšího uzlu, ve kterém se událost uloží do parametru, viz [2].

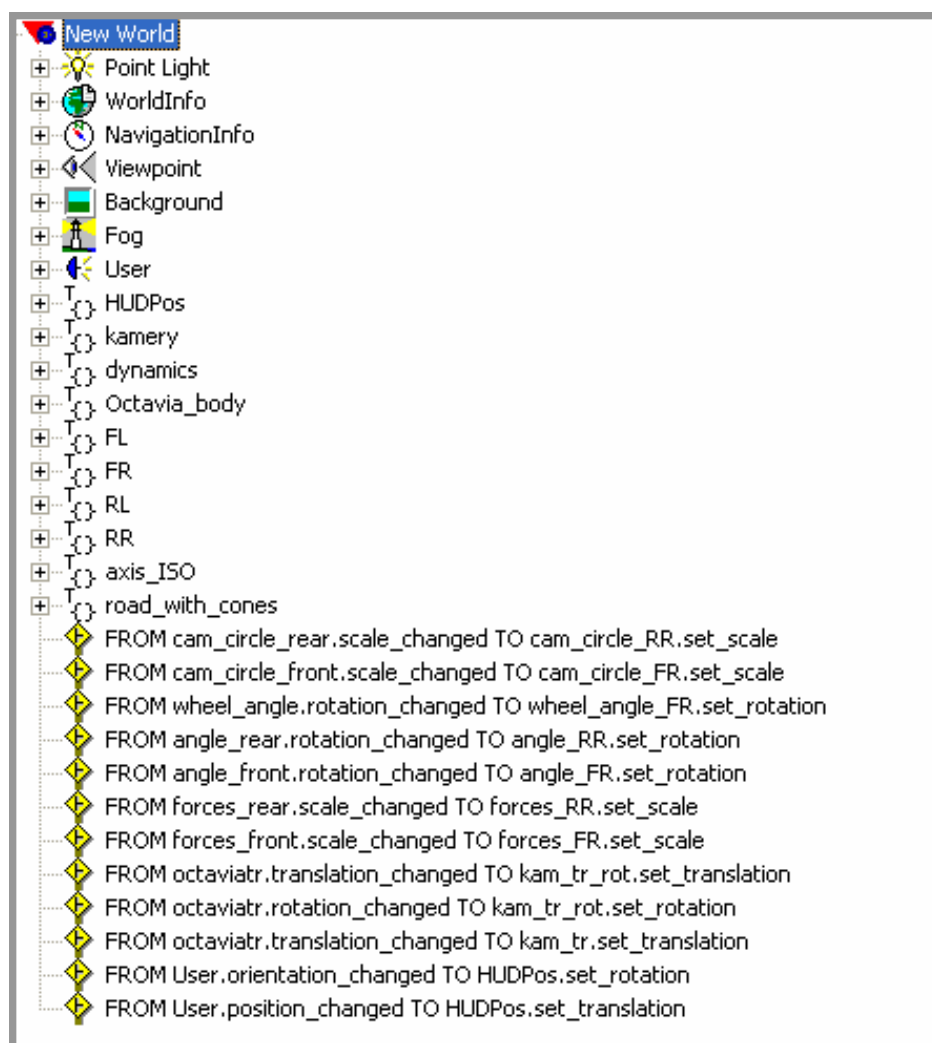
Základem spolupráce uzlů a správné funkce ROUTE je pojmenování uzlů příkazem DEF. V příkazu ROUTE se vyberou dvojice uzlů. První uzel událost vysílá a druhý uzel událost přijímá.

Typy událostí uzlů Transform a Proximity Sensor předávané příkazem ROUTE:

- translation
- rotation
- scale
- scale orientation
- center
- children
- size
- enabled
- is active
- enter time
- exit time

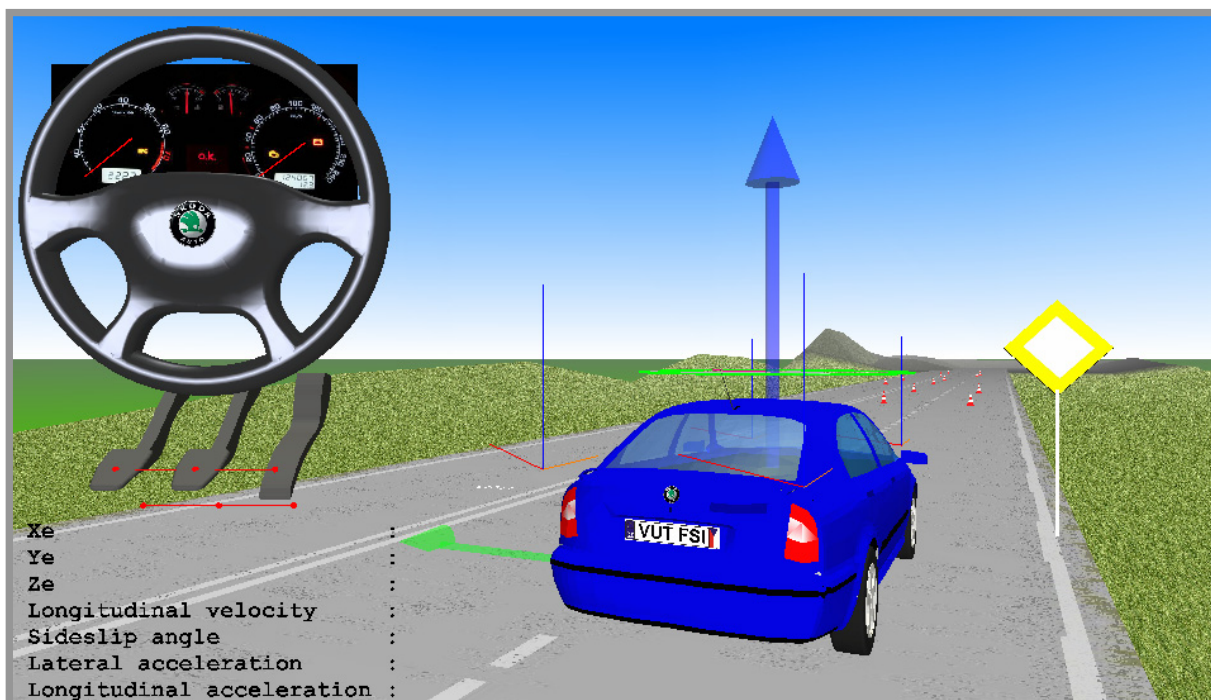


Obr. 6.1 Panel příkazu ROUTE

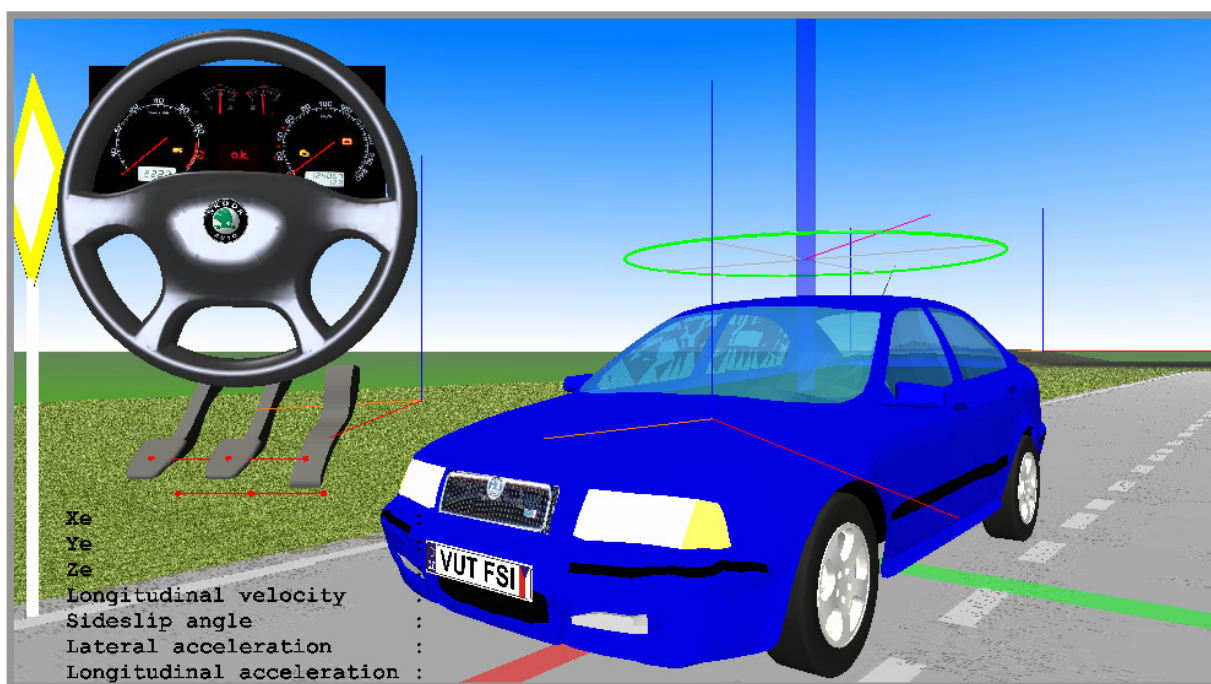


Obr. 6.2 Strom uzlů souboru vehicle_dynamics.wrl

Po konečné úpravě příkazem ROUTE je virtuální scéna zcela dokončena a připravena pro otevření prohlížečem Virtual Reality Toolbox a vstup signálu z Matlab /Simulink. Soubor je součástí příloh a má název vehicle_dynamics.wrl. Jeho velikost je 2 465 kB. V textovém editoru je soubor rozepsán na 60 083 řádků a obsahuje 1 580 066 znaků. V příloze je uložen další soubor virtuální reality nazvaný mesh_face.wrl. Soubor obsahuje síťovou plochu, která nakopírováním nahradí původní trať road_with_cone.



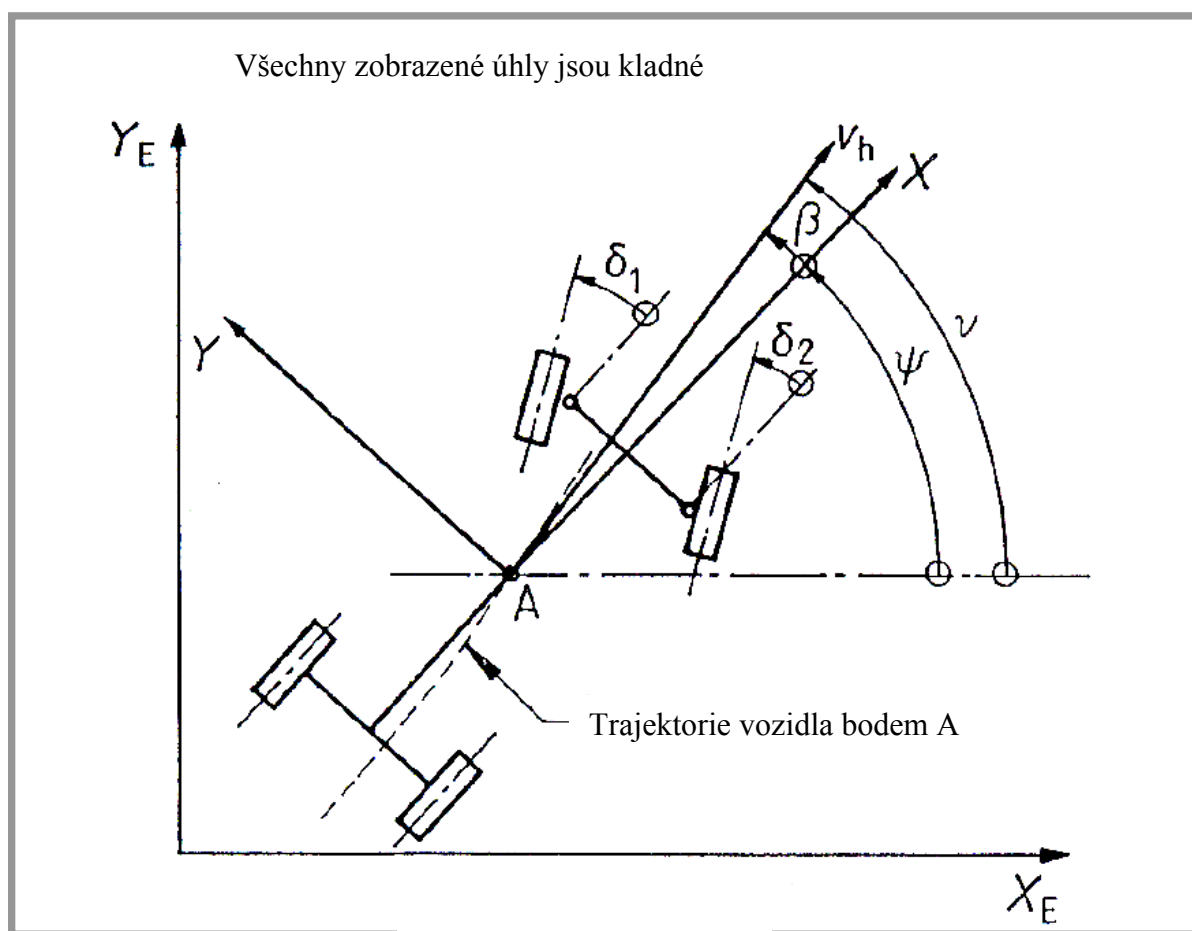
Obr. 6.3 Obecný pohled scény souboru Vehicle_dynamics.wrl



Obr. 6.4 Pohled „detail“ scény souboru Vehicle_dynamics.wrl

7 Dynamika vozidla

7.1 Veličiny trajektorie vozidla



Obr. 7.1 Veličiny trajektorie vozidla v souřadném systému ISO [8]

δ_1 a δ_2 jsou směrové úhly kol

Horizontální rychlost vozidla v_h

$$v_h = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

kde:

v_h [ms⁻¹] je horizontální rychlost vozidla
 v_x [ms⁻¹] - podélná rychlost vozidla
 v_y [ms⁻¹] - boční rychlost vozidla

Úhel směrové úchytky vozidla β

Úhel z osy X ke směru horizontálních rychlostí okolo pomocné osy Z.

$$\beta = \arctan \frac{v_x}{v_y} \quad [8]$$

kde:

β $[\circ]$ je úhel směrové úchytky
 v_x $[\text{ms}^{-1}]$ - podélná rychlost vozidla
 v_y $[\text{ms}^{-1}]$ - boční rychlost vozidla

Směrový úhel ψ

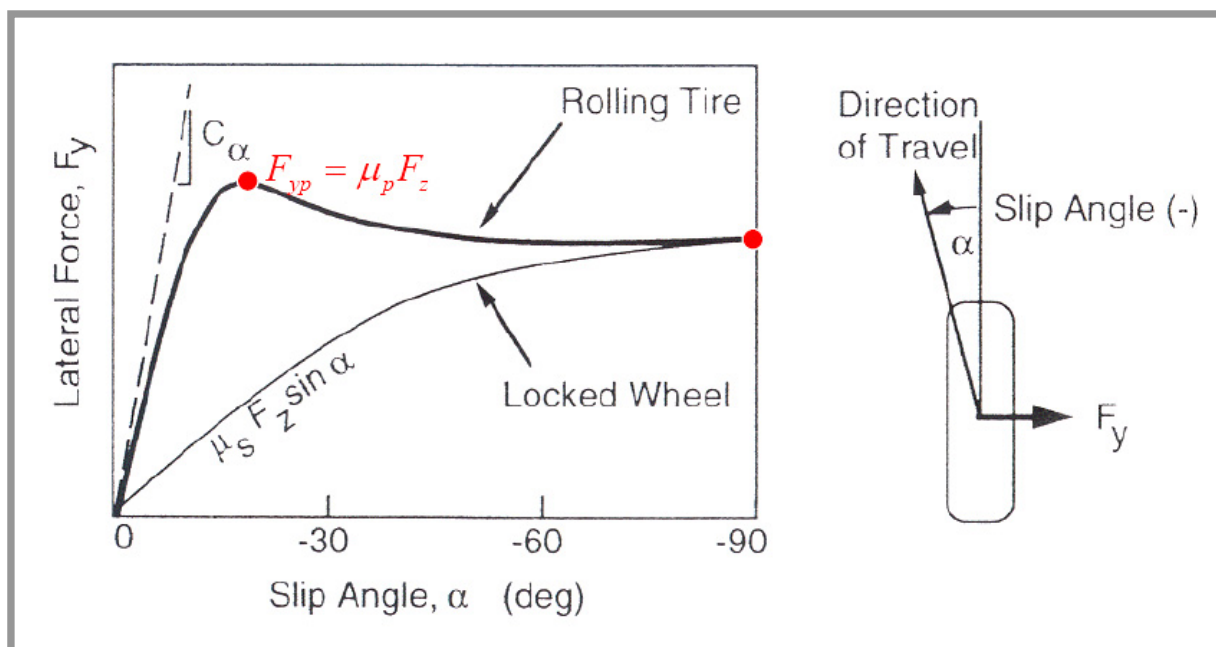
Úhel z osy země X_E do směru horizontální rychlosti okolo osy Z.

$$\psi = \psi + \beta \quad [8]$$

kde:

ψ $[\circ]$ je směrový úhel vozidla
 Ψ $[\circ]$ - úhel stáčení vozidla
 β $[\circ]$ - úhel směrové úchytky

7.2 Boční síla



Obr. 7.2 Graf závislosti boční síly na úhlu směrové úchytky [9]

Tuhost při zatáčení

sklon křivky hodnocený k nulovému úhlu směrové úchytky

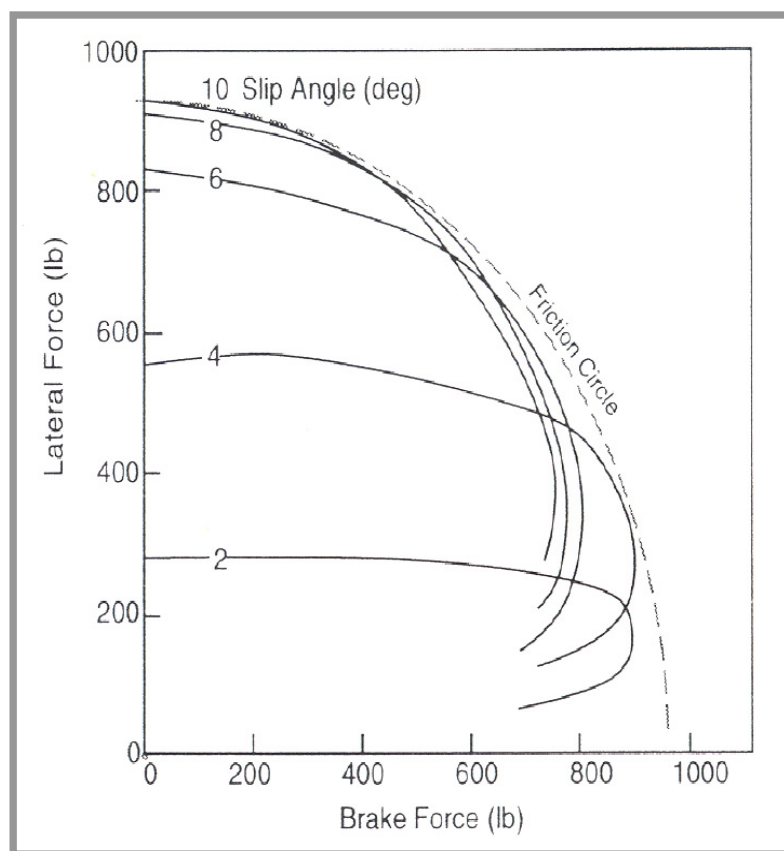
$$C_{\alpha} = -\frac{\delta F_y}{\delta \alpha} \int_{X=0} \quad [9]$$

kde:

C_{α} [-] je koeficient zatáčení
 F_y [N] - boční síla
 α [°] - úhel směrové úchytky

7.3 Kamova kružnice

Představuje kruh znázorňující třecí limit pro pneumatiku. Závisí na zatížení kola a koeficientu tření mezi vozovkou a pneumatikou. Výsledná síla složená z boční a podélné síly vytváří vektor. Pneumatika má s vozovkou dostatečné adhezní podmínky, dokud zůstane výsledný vektor sil v kruhu. Překročí-li výsledný vektor sil Kamovu kružnici, pneumatika se začne smýkat.



Obr. 7.3 Graf závislosti boční síly na brzdě síle [9]

$$F_P = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} = \mu_P \cdot F_Z \quad [9]$$

kde:

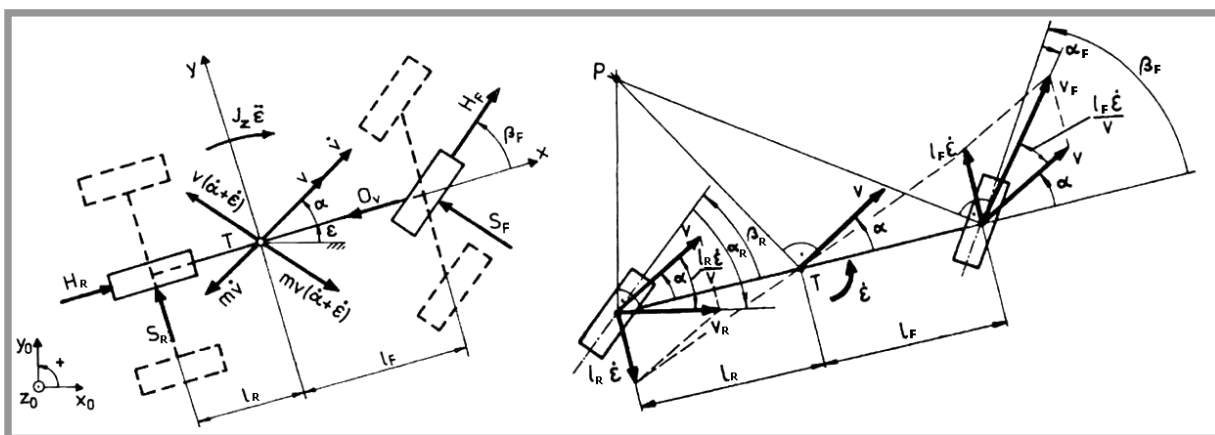
F_P	[N]	je přenášená síla pneumatiky
F_X	[N]	- boční síla
F_Y	[N]	- podélná síla
F_Z	[N]	- svislá síla
μ_P	[-]	- součinitel tření

7.4 Výpočtový model dynamiky

Výpočty veličin dynamiky vozidla vychází z jednostopého vozidla. Tento model je základem pro animace. V budoucnu se předpokládá, že tento výpočtový model nahradí multi-body systém.

Parametry vozidla: [7]

➤ hmotnost vozidla	1446	[kg]
➤ moment setrvačnosti kolem svislé osy	2319	[kg.m ⁻²]
➤ převod řídicího ústrojí	21	[-]
➤ směrová tuhost pneumatik přední nápravy	88107,7	[N.rad ⁻¹]
➤ směrová tuhost pneumatik zadní nápravy	88107,7	[N.rad ⁻¹]



Obr. 7.4 Jednostopý model vozidla [10]

Následující informace jsou čerpány a přeloženy ze zdroje [10].

V tomto modelu je zjednodušení, aby se linearizoval stav popisu tak, že by mohl být použit lineární Kalmanův filtr. Mezi hlavní zjednodušení patří především předpoklad malých úhlů, jejichž použitím je možné popsat dynamiku vozidla následujícími rovnicemi: [10]

Jak jsme zkoumali vozidlo pohybující se konstantní rychlostí (tj. $\dot{v} = 0$), pohyb vozidla může být popsán pouze v následujících dvou rovnicích:

$$\left(mv + \frac{C_{\alpha_F} l_F - C_{\alpha_R} l_R}{v} \right) r + mv\dot{\alpha} + (C_{\alpha_F} + C_{\alpha_R})\alpha - C_{\alpha_F}\beta_F = 0$$

$$J_Z \dot{r} + \frac{C_{\alpha_F} l_F^2 - C_{\alpha_R} l_R^2}{v} r + (C_{\alpha_F} l_F + C_{\alpha_R} l_R)\alpha - C_{\alpha_F} l_F \beta_F = 0$$
[10]

kde:

m	[kg]	- hmotnost vozidla
v	[m.s ⁻¹]	- rychlost vozidla
C _{αF}	[N.rad ⁻¹]	- směrová tuhost pneumatik přední nápravy
C _{αR}	[N.rad ⁻¹]	- směrová tuhost pneumatik zadní nápravy
r	[rad. s ⁻¹]	- stáčivá rychlost
r'	[rad. s ⁻²]	- derivace stáčivé rychlosti
α	[rad]	- úhel skluzu
α'	[rad. s ⁻¹]	- derivace úhlu skluzu
β _F	[rad]	- úhel natočení kol
J _Z	[kg.m ⁻²]	- moment setrvačnosti kolem svislé osy
l _F	[m]	- vzdálenost mezi těžištěm a přední nápravou
l _R	[m]	- vzdálenost mezi těžištěm a zadní nápravou

Vektor rychlosti v těžišti v použitý při pohybu je vyjádřen formou komponent:

$$\mathbf{v} = [U, V]$$
[10]

kde:

v	[-]	je vektor rychlosti
U	[m.s ⁻¹]	- dopředná rychlost
V	[m.s ⁻¹]	- boční rychlost

Vektor rychlosti se odchyluje od podélné osy v úhlu stáčení α. Proto jsou složky vektoru rychlosti takto:

$$\tan \alpha = \frac{V}{U}$$
[10]

kde:

α	[rad]	je úhel skluzu
U	[m.s ⁻¹]	- dopředná rychlost
V	[m.s ⁻¹]	- boční rychlost

Pokud budeme předpokládat malé úhly, tento vztah může být vyjádřen jako:

$$\alpha = \frac{V}{U}$$
[10]

kde:

α	[rad]	je úhel skluzu
U	[m.s ⁻¹]	- dopředná rychlost
V	[m.s ⁻¹]	- boční rychlost

Vektor rychlosti vychází také ve vztazích z úhlů skluzu na přední a zadní nápravě (α_D , α_R) tak, že v tomto případě se po jednoduché úpravě vyjádří jako:

$$\alpha_F = -\frac{V + rl_F}{U} + \frac{\beta_V}{i_r} \quad [10]$$

kde:

α_F	[rad]	je úhel skluzu na přední nápravě
U	[m.s ⁻¹]	- dopředná rychlost
V	[m.s ⁻¹]	- boční rychlost
r	[rad. s ⁻¹]	- stáčivá rychlost
l_F	[m]	- vzdálenost mezi těžištěm a přední nápravou
β_V	[rad]	- úhel natočení kol
i_r	[-]	- převodový poměr

$$\alpha_R = -\frac{V + rl_R}{U} \quad [10]$$

kde:

α_R	[rad]	je úhel skluzu na zadní nápravě
U	[m.s ⁻¹]	- dopředná rychlost
V	[m.s ⁻¹]	- boční rychlost
r	[rad. s ⁻¹]	- stáčivá rychlost
l_F	[m]	- vzdálenost mezi těžištěm a přední nápravou

Podoba Rovnice Výsledné matice popisující boční dynamiku jednostopého vozidla může vypadat takto:

$$\begin{bmatrix} \dot{V} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-C_{\alpha_F} - C_{\alpha_R}}{Um} & \frac{-C_{\alpha_F} l_F + C_{\alpha_R} l_R - U^2 m}{Um} \\ \frac{-C_{\alpha_F} l_F + C_{\alpha_R} l_R}{UJ_Z} & \frac{-C_{\alpha_F} l_F^2 - C_{\alpha_R} l_R^2}{UJ_Z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ r \end{bmatrix} + \beta_V \begin{bmatrix} \frac{C_{\alpha_F}}{mi_r} \\ \frac{C_{\alpha_F} l_F}{i_r J_Z} \end{bmatrix} \quad [10]$$

kde:

U'	[m.s ⁻²]	- derivace dopředné rychlosti
r'	[rad. s ⁻²]	- derivace stáčivé rychlosti
C_{α_F}	[N.rad ⁻¹]	- směrová tuhost pneumatik přední nápravy
C_{α_R}	[N.rad ⁻¹]	- směrová tuhost pneumatik přední nápravy
U	[m.s ⁻¹]	- dopředná rychlost
V	[m.s ⁻¹]	- boční rychlost
m	[kg]	- hmotnost vozidla
r	[rad. s ⁻¹]	- stáčivá rychlost
β_V	[rad]	- úhel natočení kol
J_Z	[kg.m ⁻²]	- moment setrvačnosti kolem svislé osy
l_F	[m]	- vzdálenost mezi těžištěm a přední nápravou
l_R	[m]	- vzdálenost mezi těžištěm a zadní nápravou
i_r	[-]	- převodový poměr

Za účelem určení okamžité polohy modelu vozidla, rychlost $[U, V]$ musí být transformována do základního souřadného systému $[x_0, y_0]$, který se odchýlil od souřadnicového systému vozidla o úhel ε . Rychlost komponentů má pak v základním souřadném systému následující podobu:

$$\begin{bmatrix} U_0 \\ V_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon & -\sin \varepsilon \\ \sin \varepsilon & \cos \varepsilon \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ V \end{bmatrix}. \quad [10]$$

kde:

U_0	$[\text{m.s}^{-1}]$	- dopředná rychlost v základním souřadném systému
V_0	$[\text{m.s}^{-1}]$	- boční rychlost v základním souřadném systému
ε	$[\text{rad}]$	- úhel natočení mezi souřadnými systémy
U	$[\text{m.s}^{-1}]$	- dopředná rychlost
V	$[\text{m.s}^{-1}]$	- boční rychlost

7.5 Znázornění dynamiky vozidla v animaci

7.5.1 Zapsání dat

Hodnoty dynamických účinků jsou počítány pro model jednostopého vozidla a uloženy do vícerozměrné matice. V prvním řádku matice je čas animace odstupňovaný po 0,1 s. V dalších řádcích jsou zapsány hodnoty dynamických veličin:

1. úhel natočení volantu	$[\text{rad}]$
2. úhel natočení předních kol	$[\text{rad}]$
3. boční rychlost v souřadném systému vozidla	$[\text{m.s}^{-1}]$
4. stáčivá rychlost	$[\text{m.s}^{-1}]$
5. úhel stáčení vozidla	$[\text{rad}]$
6. derivace boční rychlosti v souřadném systému vozidla	$[\text{m.s}^{-2}]$
7. derivace stáčivá rychlost	$[\text{m.s}^{-2}]$
8. derivace úhel stáčení vozidla	$[\text{rad.s}^{-1}]$
9. podélná rychlost v souřadném systému vozidla	$[\text{m.s}^{-1}]$
10. horizontální rychlost vozidla	$[\text{m.s}^{-1}]$
11. úhel měrové úchyly vozidla (v těžišti)	$[\text{rad}]$
12. boční zrychlení	$[\text{m.s}^{-2}]$
13. úhel směrové úchyly předních kol	$[\text{rad}]$
14. úhel směrové úchyly zadních kol	$[\text{rad}]$
15. boční síla na přední nápravě	$[\text{N}]$
16. boční síla na zadní nápravě	$[\text{N}]$
17. podélná síla na přední nápravě	$[\text{N}]$
18. podélná síla na zadní nápravě	$[\text{N}]$
19. otáčky motoru	$[\text{ot.min}^{-1}]$
20. úhel natočení pedálu akceleraace	$[\text{rad}]$
21. úhel natočení pedálu brzdy	$[\text{rad}]$
22. úhel natočení pedálu spojky	$[\text{rad}]$

Matice je uložena pod názvem results.mat v matematické části Matlabu. Základní hodnoty dynamických účinků jsou získány při měření modifikovaného testu dle ISO/VDA 3888-2, 1999 (E). Zbývající hodnoty v matici jsou dopočítány. Test trval 7 s a hodnoty se zapisovali po 0,1 s. Matice je tedy ve velikosti 23 řádků a 71 sloupců.

7.5.2 Zobrazení dat dynamiky vozidel

Data matice souboru results.mat převedl Matlab / Simulink na signály přepisující parametry uzlů ve virtuálním světě. Na následujících snímkách je vysvětlen význam prvků virtuální scény pro zobrazení dynamiky. Snímky jsou pořízeny zastavením animace v čase 2.9 s. V tomto okamžiku vozidlo zatáčí doleva na přelomu druhého a třetího úseku manévru, viz. obrázek rozmístění kuželů 4.1. Je zřejmé, že při zatáčení působí na vozidlo největší dynamické účinky.

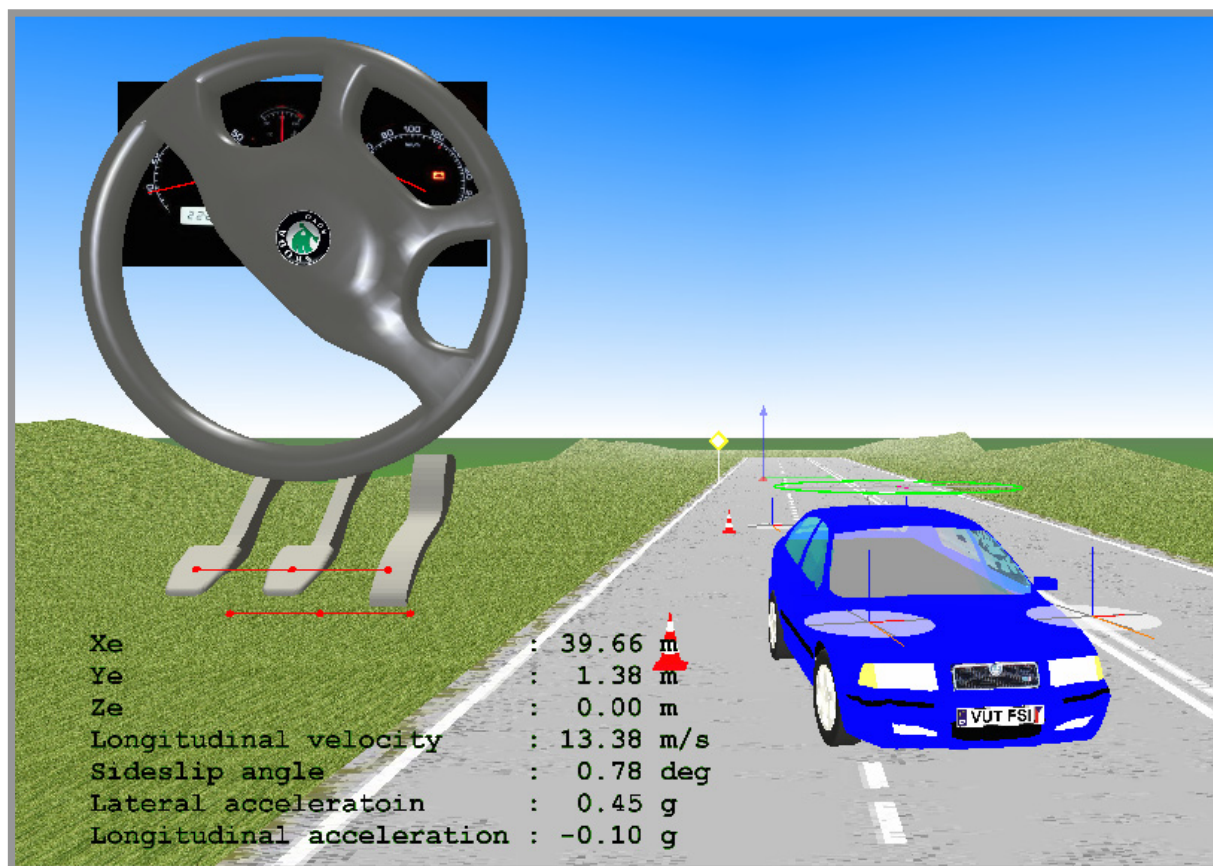
Pro přehlednost jsou snímky orientovány tak, že směr pohybu vozidla míří k horní části obrázků, kromě zobrazení HUDPos.

Některé prvky znázorňují úhly natočení a mají konstantní geometrický rozměr. Ostatní prvky znázorňují veličiny v přesných hodnotách jejich jednotek. Hodnoty jednotek jsou vztaženy k jednotce metru:

➤ pro síly	1 [N]	=	0.1 [mm]	nebo stejné	10 [kN]	=	1 [m]
➤ pro rychlost	1 [km.h ⁻¹]	=	1 [cm]	nebo stejné	100 [km.h ⁻¹]	=	1 [m]
➤ pro zrychlení	1 [m.s ⁻²]	=	1 [dm]	nebo stejné	10 [m.s ⁻²]	=	1 [m]
➤ pro přetížení	1 [g]	=	9.81 [cm]	nebo stejné	10,2 [g]	=	1 [m]

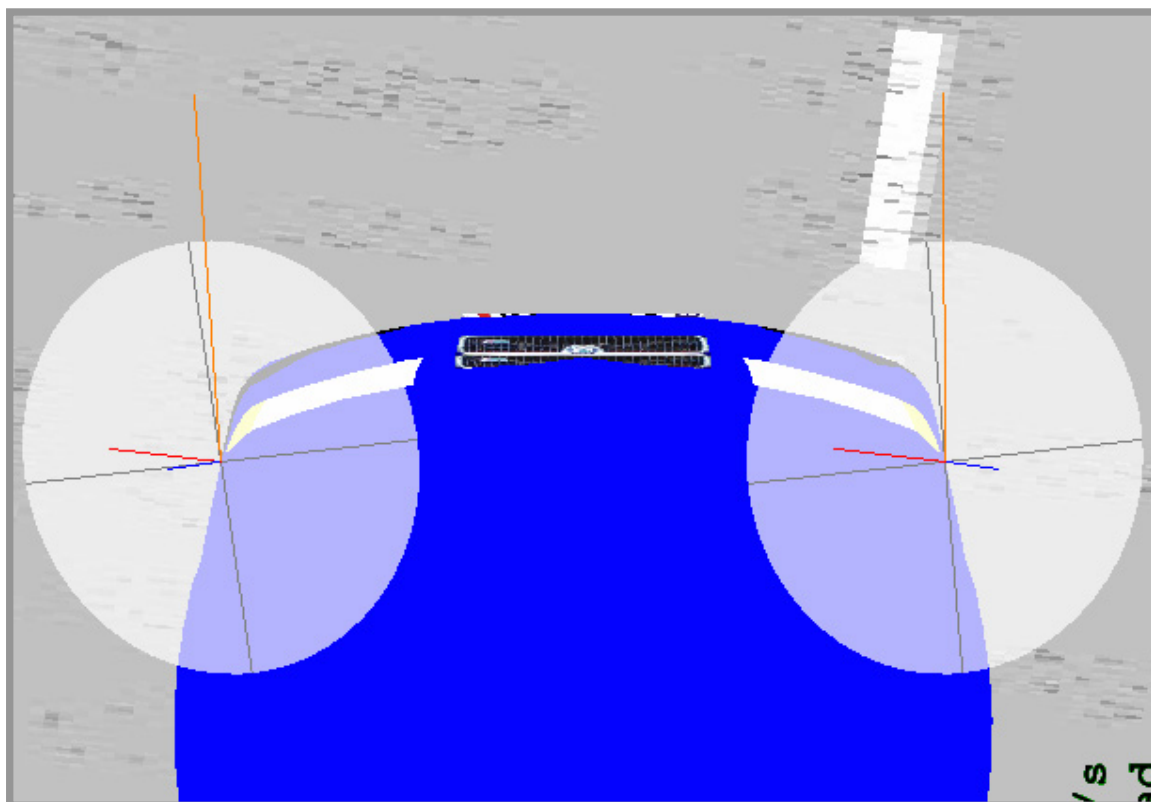
HUDPos zobrazuje grafickou částí ovládání vozidla řidičem a textovou částí informace o poloze vozidla s vybranými veličinami dynamiky vozidla. Ve stopnutém okamžiku animace je vidět přesné natočení volantu vycházející z úlu natočení předních kol. Poloha rafičky tachometru vychází z podélné rychlosti vozidla. Jen bylo třeba metodou „pokus omyl“ zjistit správnou konstantu pro přepočítání hodnoty rychlosti na úhel natočení. Pro natočení pedálů a otáčkoměru jsou v matici příslušná data nastavena dle odhadu, jelikož je nelze z dostupných dat vypočítat. Při manévru byl vyrazen rychlostní stupeň a z dostupných dat je zřejmé, že nebyl použit ani brzdový pedál. Všechny pedály jsou nastaveny do výchozí polohy a rafička otáčkoměru odpovídá volnoběžným otáčkám, viz obrázek 7.5.

Informativní text je rozepsán do sedmi řádků, které vypisují hodnoty v aktuálním čase. V případě požadavku zobrazení jiných veličin je nutné v textu přepsat (text se musí přepsat v Simulinku, dodatečně v souboru virtuální reality) názvy veličin a jejich jednotky a přivést k nim v Simulinku požadované signály. Je možné i rozšíření počtu veličin, to je ovšem složitější.



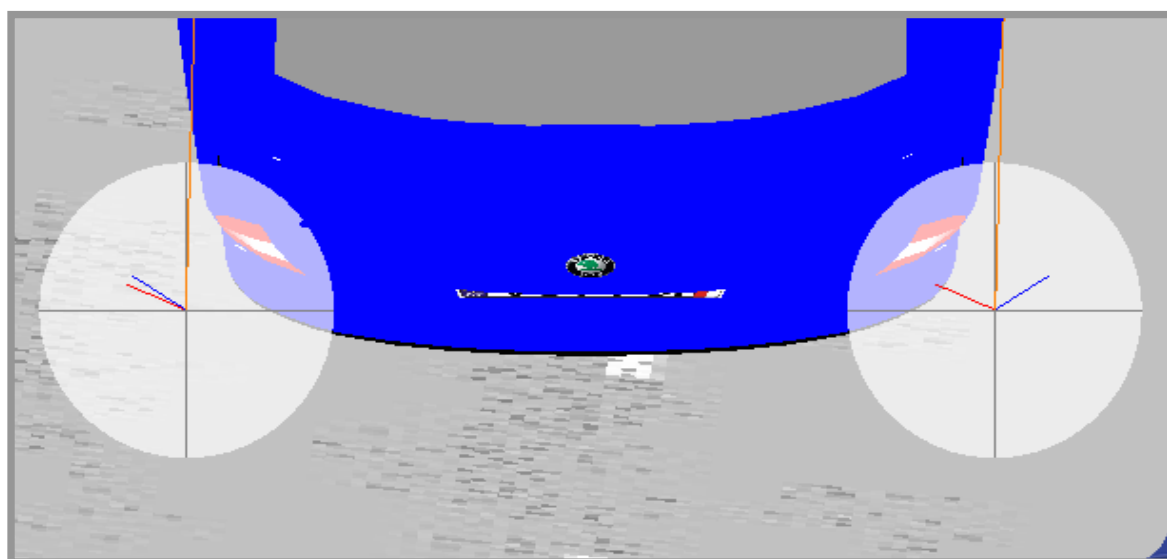
Obr. 7.5 HUDPos v pohledu View from above ahead

Zobrazení dynamických účinků na přední kola je vidět na obrázku 7.2. Je rozděleno na dvě totožné skupiny dynamických účinků. Dynamika vozidla je počítána pro jednostopé vozidlo, takže je zatížení na přední nápravu rozděleno rovnoměrně na každé kolo. Šedé kruhy znázorňují Kamovy kružnice. Kamovy kružnice a svislá zatížení jako jediné nevycházejí z matice dat dynamiky vozidla, ale z dodatečného zadání váhy vozidla a koeficientů tření v podélném a příčném směru pneumatiky. Tyto koeficienty mají statický charakter, takže se jejich velikost v průběhu jízdy nemění. Kamovu kružnici doplňuje pomocný souřadný systém znázorněný šedými linkami. Modré čáry znázorňují velikost svislého zatížení na jednotlivé kola. Červené čáry znázorňují velikost výsledné síly, tj. výslednice boční a podélné síly působící na kola. Podélná síla je rovna nule, ale pro demonstraci je použita smyšlená nenulová hodnota. Oranžová čára má konstantní velikost 0.7 m a znázorňuje úhel směrové úchylky předních kol. Celá soustava dynamiky předních kol je stejně natočena jako kola. Soustava ukazuje, jak se kola chovají při zatáčení a lze jednoduše rozpoznat, kdy je kolo ve smyku. Překročí-li červená výslednice sil Kamovu kružnici v jakémkoliv směru, ztratí pneumatika potřebnou adhezi s vozovkou a kolo je ve smyku. To stejné platí i pro příliš velký úhel směrové úchylky.



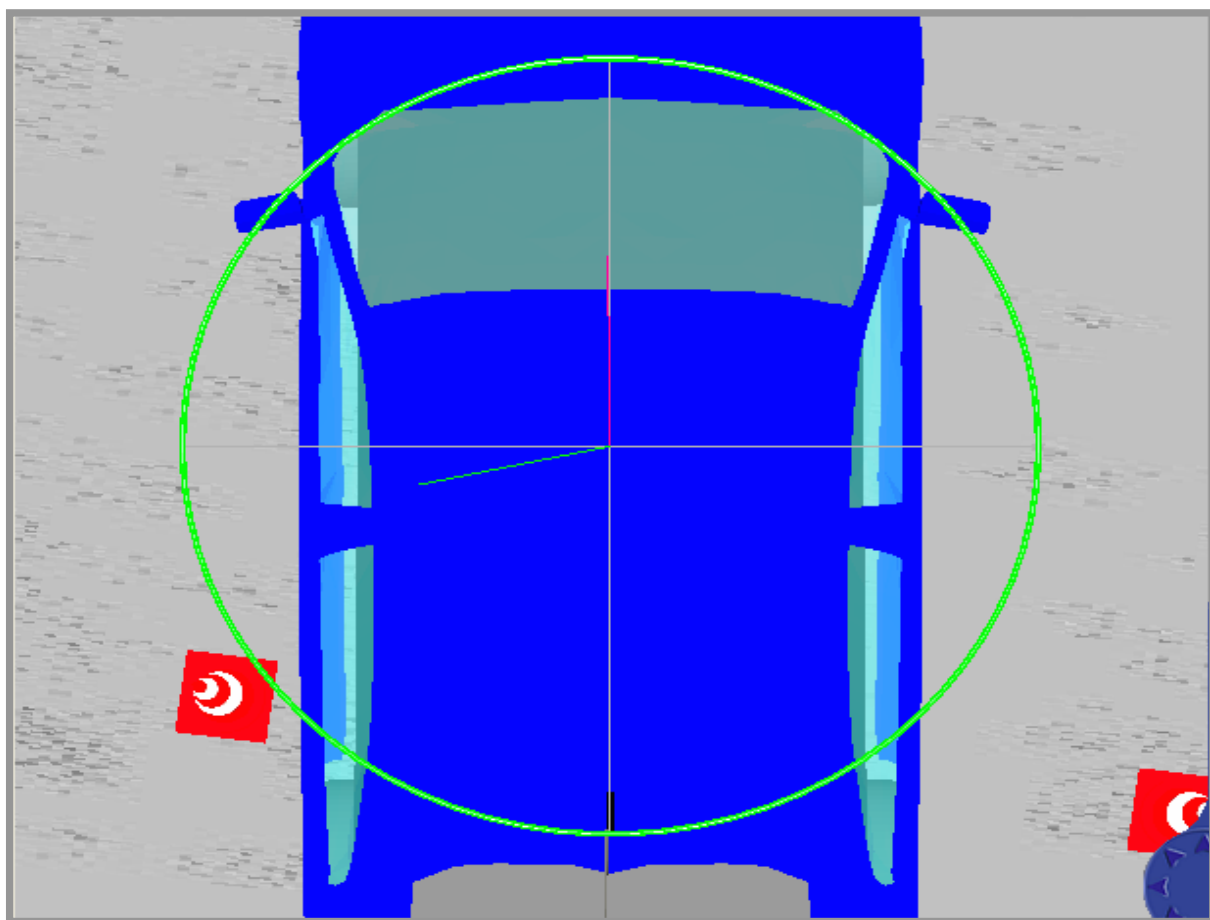
Obr. 7.6 Zobrazení dynamických účinků předních kol

Stejně jsou popsány i dynamické účinky na kolech zadní nápravy s tím rozdílem, že pomocné osy souřadného systému se nenatáčí. Kamovy kružnice a svislé zatížení kol zadní nápravy je menší. Důvodem je větší zatížení kol přední nápravy, kde se nachází motor. Dynamické účinky kol zadní nápravy je na obrázku 7.7.



Obr. 7.7 Zobrazení dynamických účinků zadních kol

Posledními dynamickými účinky jsou rychlost a zrychlení. Střed působení těchto veličin vychází ze středu souřadného systému vozidla. Jejich grafické znázornění je ale posunuto ve směru osy Z_E . Stejně jako u kol je i zde pomocný souřadný systém. Zelená čára znázorňuje velikost a směr výslednice bočního a podélného zrychlení. Podélné zrychlení (zpomalení) je pro demonstraci smyšlená hodnota 0.1 g. Zelený kruh značí hranici přetížení 1 g a zároveň rychlost 98 km.h⁻¹. Na snímku je vidět, že v danou chvíli vozidlo zpomaluje. Červená čára znázorňuje velikost a směr horizontální rychlosti vozidla, která je výslednicí boční a podélné rychlosti v souřadném systému vozidla, viz obrázek 7.8.

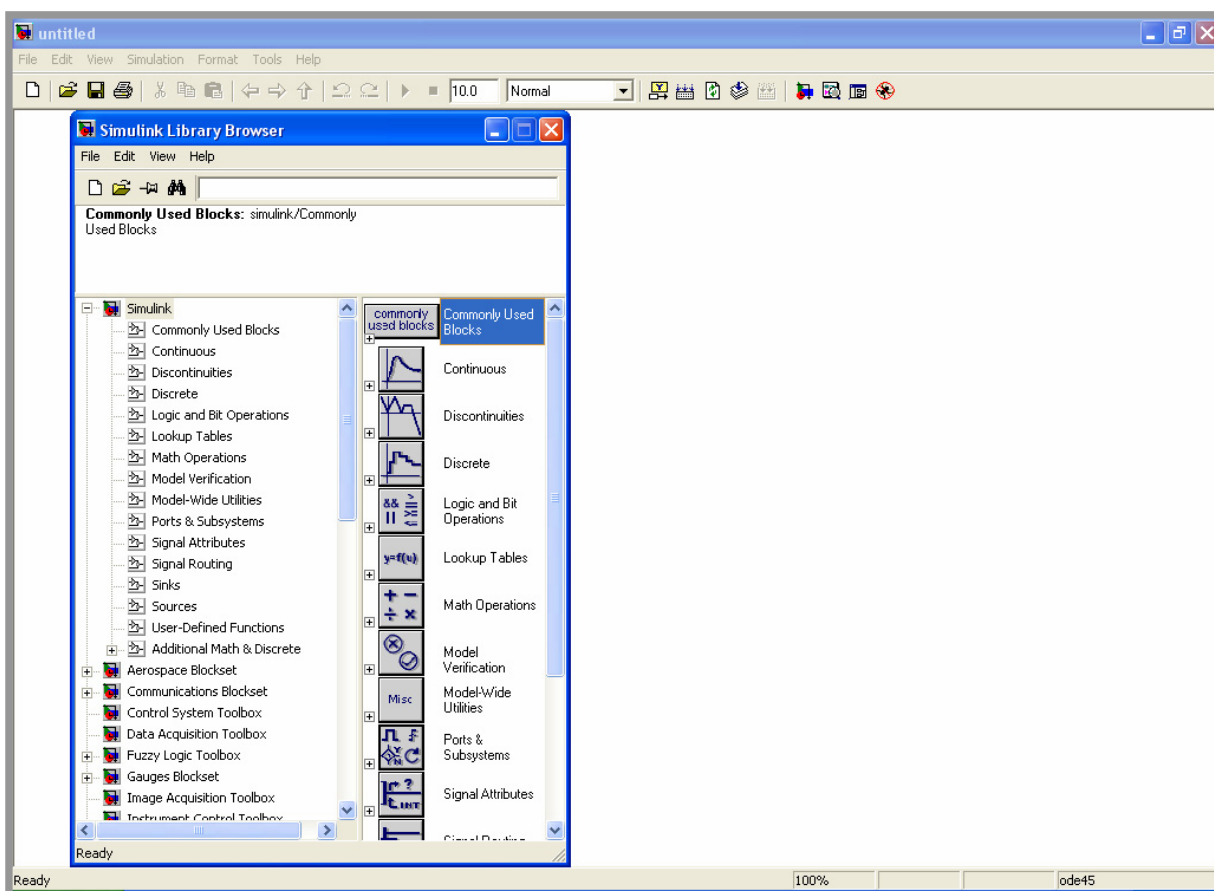


Obr. 7.8 Zobrazení dynamických účinků v souřadném systému

8 Matlab / Simulink

Posledním krokem je zpracování dat z matic, které se převedou na signály vstupující do virtuální reality. Jedná se o modelování dynamického systému, který je popsán blokovými schématy. Pohyb vozidla a zobrazení dynamických účinků je zprostředkován interakcí Matlab / Simulink a prohlížeče Virtual Reality Toolbox. Data trajektorie vozidla a dynamických veličin jsou ve formě vícerozměrných matic, které jsou uloženy v pracovní ploše (Workspace) programu Matlab.

Systém je tvořen bloky, které se vkládají do grafického prostředí (editoru) Simulinku. Bloky se nacházejí v knihovně bloků zvané Simulink Library Browser, která je součástí Simulinku. Tyto bloky jsou přesně definované a jsou rozděleny do několika tematických částí.

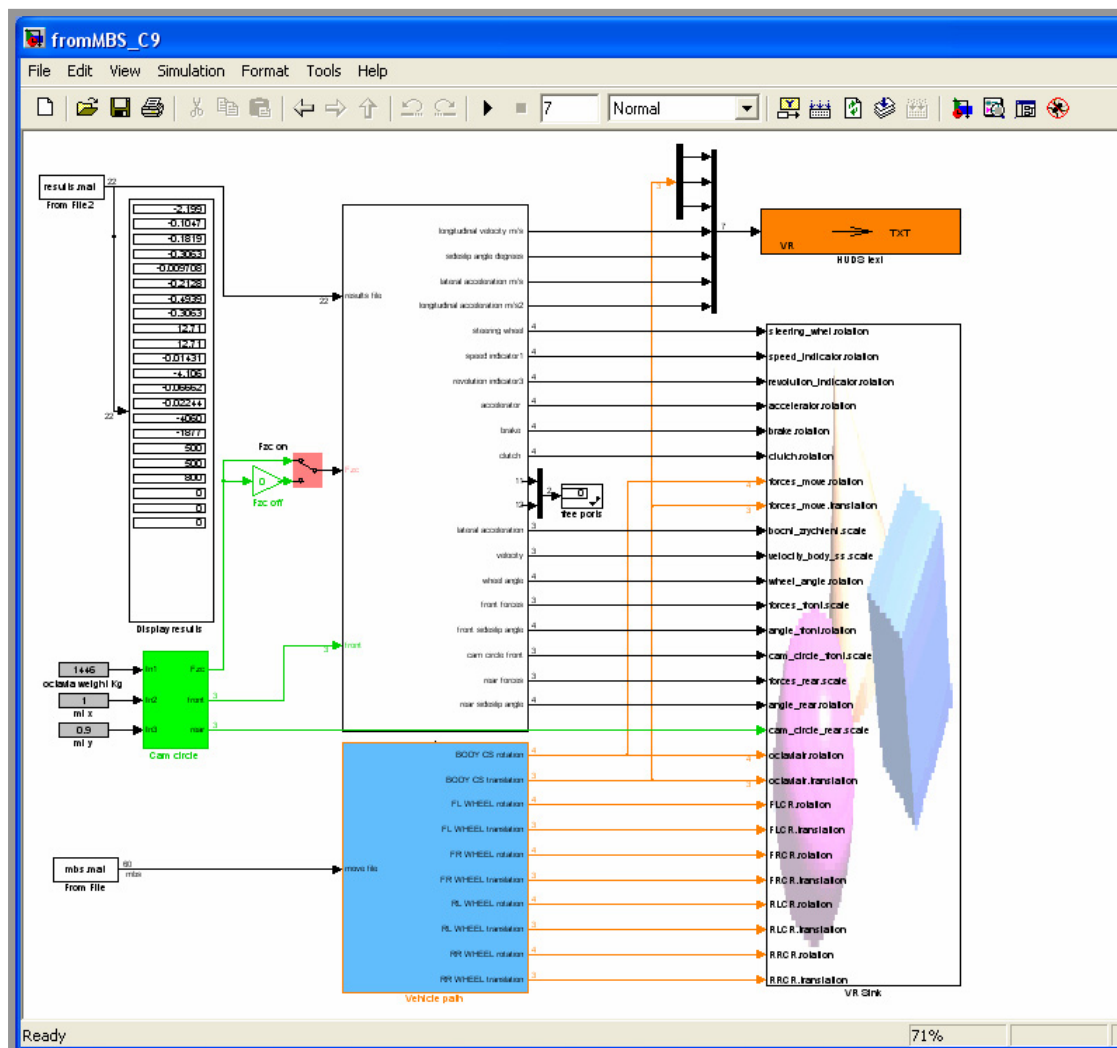


Obr. 8.1 Editor Simulinku a okno knihovny bloků

Vybraný blok se překopíruje myší do pracovní plochy. Každý blok má dvě funkce. Počítá výstupy a předává signály do dalšího bloku. Bloky jsou navzájem propojeny čarami (signály). Vše probíhá v simulačním čase, který je v případě diplomové práce stejný jako čas reálný. Simulink je provázán s pracovním prostorem Matlabu, ze kterého jsou načítána data matic dle času simulaci. Navíc Simulink využívá Matlab ke splnění svých funkcí a řešení rovnic. Popsání prostředí Matlab /Simulink a jejich funkcí by bylo velmi náročné a značně by přesahovalo cíle diplomové práce, proto jsou stručně popsány jen zásadní kroky ztvárnění dynamického systému v diplomové práci.

8.1 Systém dynamiky vozidla v Matlab / Simulink

Systém je tvořen načtením dat, jejich následnou úpravou a posláním do prohlížeče virtuální reality, viz obrázky programového rozhraní 1.1 v první kapitole. Data jsou načtena ze dvou vícerozměrných matic nacházejících se v pracovní ploše Matlabu (na obrázku 8.2 vlevo, results.mat a mbs.mat). V prvním řádku matic je čas simulace po 0.1s. Systém posílá data ke zpracování postupně. Čas odpovídající trvání simulaci odpovídá času v maticích. Čím jemnější budou časové rozdíly, tím plynulejší bude simulace. Spuštění simulace vyžaduje ještě doplňková data, kterými jsou hodnoty váhy vozidla a koeficientů tření v podélném a bočním směru pneumatik (na obrázku 8.2 šedé bloky vlevo). Prostřední část editoru je výpočtová. Je tvořena Subsystémy, které pomocí blokových funkcí a konstant přepočítávají vstupní data a vytvářejí signály pro interakci s Virtual reality Toolbox. Modrý blok subsystému vytváří signály pro translaci vozidla a jednotlivých kol. Zelený blok subsystému vytváří signály pro zobrazení dynamických účinků Kamových kružnic a svislých sil působících v kolech. Bílý blok subsystému je nejrozsáhlejší. Vytváří signály většiny dynamických účinků a data pro zobrazení textu. Všechny signály vystupující ze subsystémů vstupují přímo do virtuální reality prostřednictvím Virtual Reality Toolbox (na obrázku 8.2 vlevo).



Obr. 8.2 Blokové schéma systému v editoru Simulinku

8.2 Načtení dat matic

Data z matic Matlabu se do editoru Simulinku vloží blokem From file z knihovny bloků Simulink – Sources. Po rozkliknutí bloku se zobrazí okno, kde se zadá název matice dat a výpočtový čas. Načtené matice:

- results.mat - data dynamických veličin velikost matice 23x71 (n x m)
- mbs.mat - data trajektorie vozidla a kol velikost matice 61x71 (n x m)

Data matice se načítají po sloupcích, kde v prvním řádku je zapsán čas, podle kterého se data načítají. Čas simulace se v matici zapisuje od hodnoty 0. Data matice musí být ve tvaru:

$$\begin{bmatrix} t_1 & t_2 & \dots t_m \\ u1_1 & u1_2 & \dots u1_m \\ un_1 & un_2 & un_m \end{bmatrix}$$

kde:

t	[s]	je čas
u	[-]	- data
m	[-]	- počet sloupců
n	[-]	- počet řádků

8.3 Signály

Signály jsou v grafické podobě čáry mezi bloky. Přenášejí výstupní hodnoty z bloku. Obsahuje atributy:

- jméno
- datový typ - 8-bit, 16-bit, 32bit
- číselná hodnota - *real* nebo *complex*
- rozměr - jednorozměrné nebo dvourozměrné pole

8.4 Signály vstupující do virtuální reality

V subsystémech jsou vytvářeny signály, které pro vstup do virtuální reality musí mít přesně stanovené rozměry. V diplomové práci jsou využity 3 typy signálů, které přepisují parametry v definovaných uzlech Transform souboru virtuální reality. Hodnoty signálů jsou čísla v maticovém tvaru, která jsou vztažena k souřadnému systému a základním jednotkám SI (vzdálenost –metry, úhly –radiány).

8.4.1 Signál translace

Tento signál přepisuje parametr translation uzlu Transform. V práci představuje tento signál translaci vozidla, jednotlivých kol a kamer

$$\begin{bmatrix} r_X & r_Y & r_Z \end{bmatrix}$$

kde:

r_X	[m]	je číselná hodnota posunutí uzlu ve směru osy x
r_Y	[m]	- číselná hodnota posunutí uzlu ve směru osy y
r_Z	[m]	- číselná hodnota posunutí uzlu ve směru osy z

8.4.2 Signál rotace

Tento signál přepisuje parametr rotation uzlu Transform. V práci představuje tento signál natočení kol, vozidla a většiny prvků dynamiky. Skládá se z jednotkového vektoru osy rotace a úhlu natočení

$$\begin{bmatrix} e_X & e_Y & e_Z & \varphi \end{bmatrix}$$

kde:

e_X	[m]	je velikost jednotkového vektoru ve směru osy x
e_Y	[m]	- velikost jednotkového vektoru ve směru osy y
e_Z	[m]	- velikost jednotkového vektoru ve směru osy z
φ	[rad]	- úhel natočení

8.4.3 Signál měřítka

Tento signál přepisuje parametr scale uzlu Transform. V práci představuje tento signál změnu velikosti geometrie prvků dynamiky vozidla (Indexed line set – síly, rychlost a zrychlení, Indexed face set – Kamova kružnice). Všechny geometrické prvky nají nastavené měřítko na [1 1 1].

$$\begin{bmatrix} s_X & s_Y & s_Z \end{bmatrix}$$

kde:

s_X	[-]	je koeficient změny měřítka ve směru osy x
s_Y	[-]	- koeficient změny měřítka ve směru osy y
s_Z	[-]	- koeficient změny měřítka ve směru osy z

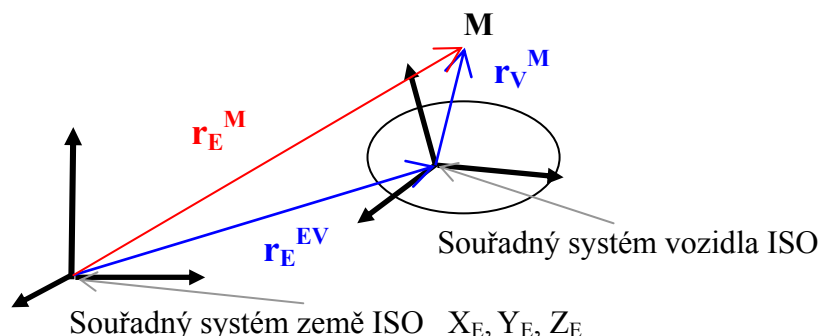
8.5 Transformace bodů mezi souřadnými systémy

Jde o přepočítání poloh těles z jednoho souřadného systému do druhého. Při animaci jde o to, že souřadnice bodů, které definují tvar tělesa a jejich polohu je určena vůči souřadnému systému tohoto tělesa se přepočítávají během animace do souřadnic souřadného systému země. Pro transformaci mezi souřadným systémem země (globální souřadný systém) a souřadného systému tělesa platí rovnice:

$$r_E^M = C_{EV} \cdot r_V^M + r_E^{EV}$$

kde:

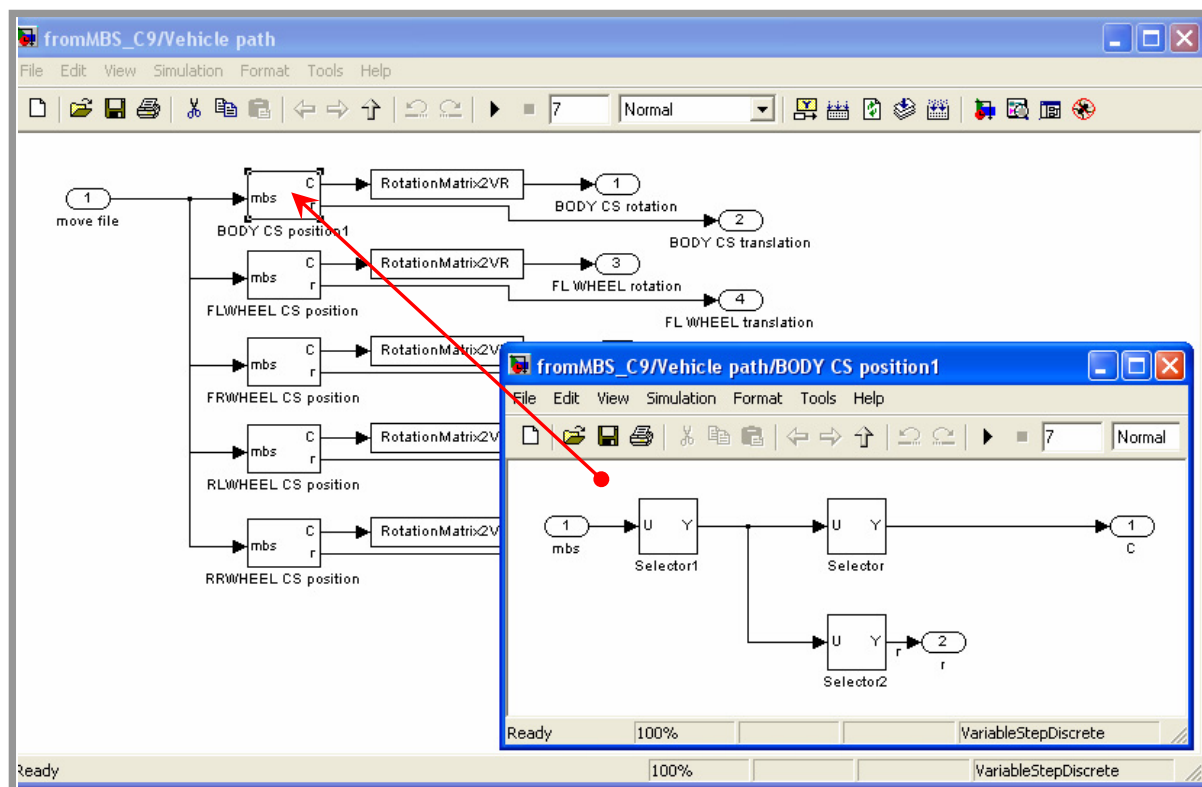
r_E^M	[m]	je polohový vektor bodu M vyjádřený ve složkách souřadného systému E
C_{EV}	[-]	- transformační matice (matice směrových kosínů) ze souřadného systému V do souřadného systému E
r_V^M	[m]	- polohový vektor bodu M vyjádřený ve složkách souřadného systému V
r_E^{EV}	[m]	- je polohový vektor počátku souřadného systému V vzhledem k počátku souřadného systému E vyjádřená ve složkách souřadného systému E



Z rovnice je patrné, že polohu tělesa V určují vektor r_E^{EV} a matice C_{EV} . Vstupem do uzlů transform VR je přímo vektor r_E^{EV} pro translaci a pro rotaci matice C_{EV} . VR toolbox nepoužívá pro pole orientation přímo transformační matice 3x3, ale orientace je udávána pomocí 4 parametrů, vektoru ve směru osy a úhlu natočení (viz. kap. 8.4.2). Přepočítání mezi oběma způsoby vyjádření orientace zajišťuje blok RotationMatrix2VR.

8.6 Zpracování dat pro translační a rotační signál vozidla

Data translace a rotace vozidla s jednotlivými koly jsou uložena v matici mbs.mat o velikosti 61x71 (n x m). Ke každému uzlu přísluší 9 hodnot z matice, které se musí nejdříve rozřadit a přepočítat na příslušné signály rotace a translace. Všechny popsané úkony jsou v subsystému nazvaném vehicle path. (na obrázku 8.2 modrý blok). Data z matice jsou rozvedena k pěti dalším subsystémům ve kterých jsou vybrána data pro translaci a rotaci vždy jednoho uzlu ve virtuální realitě (vrchní subsystém pro karoserii vozidla a zbývající 4 pro jednotlivá kola dle jejich názvu). Výběr dat provádí bloky Selector. Na obrázku 8.3 je Subsystém vehicle path s jedním jeho subsystémem BODY CS position1. Všechny 5 subsystémů má stejnou funkci. Selector1 vybere z matice 9 dat a pošle je dál. Selector2 vybere 3, které rovnou tvoří signál translace a není třeba je dál upravovat. Selector upraví pořadí dat a pošle je k přepočítání na signál rotace. Signály rotace a translace karoserie vozidla vstupují navíc do parametru uzlu kamer.

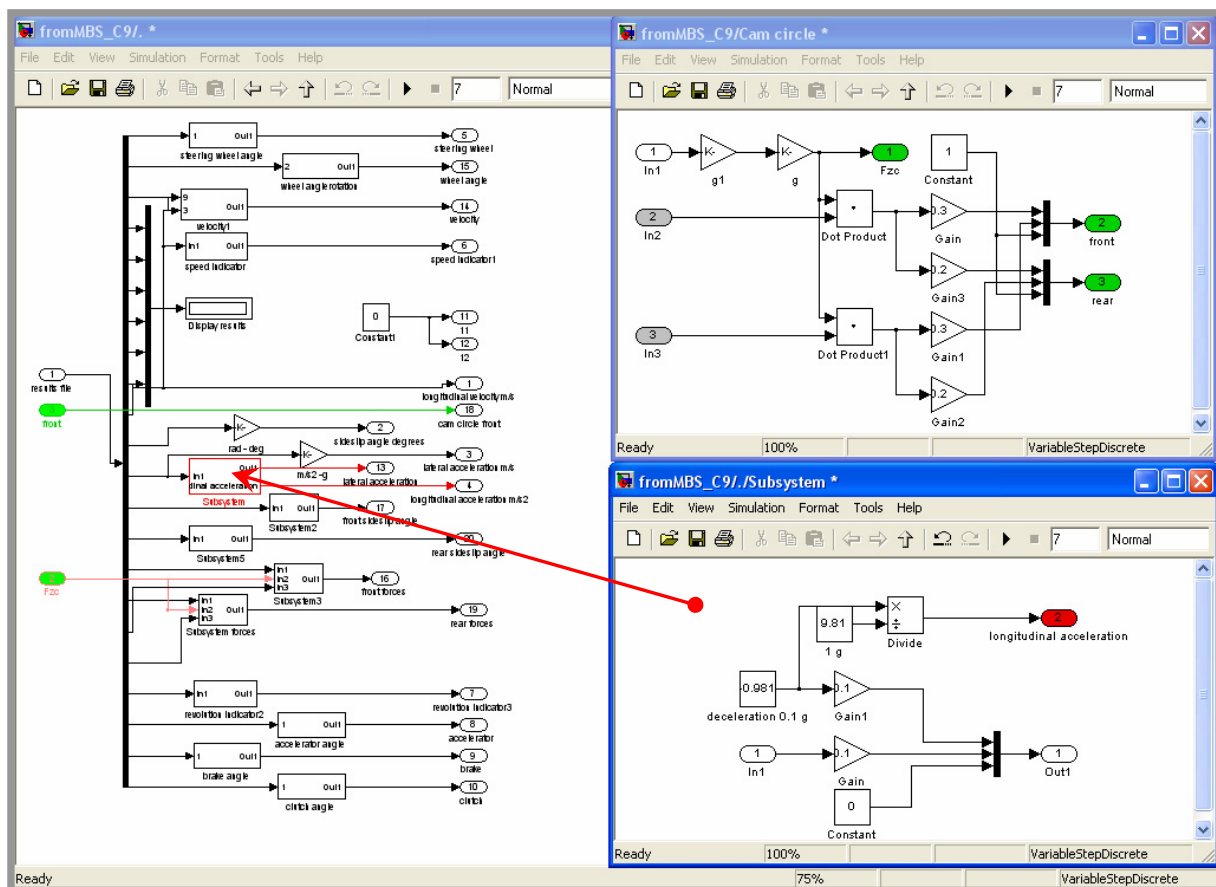


Obr. 8.3 Subsystém vehicle path a jeho subsystém BODY CS position 1

8.7 Zpracování dat dynamiky vozidla

Data dynamiky vozidla z matice results.mat a koeficienty tření s váhou vozidla vstupují do dvou subsystémů (na obrázku 8.2 zelený blok vlevo a bílý blok uprostřed), kde jsou roztržena do dalších subsystémů. K vytvoření signálů vstupujících do virtuální reality je třeba k jednorozměrnému datu doplnit zbývající údaje signálu.

- signály rotace jsou doplněny jednotkovými vektory, které tvoří konstanty. Úhly jsou data z matice.
- signály měřítka jsou doplněny zbývajícím koeficienty, které tvoří konstanty. Ostatní koeficienty měřítka jsou data vynásobená hodnotou, která upravuje veličiny dat vůči měřítku.

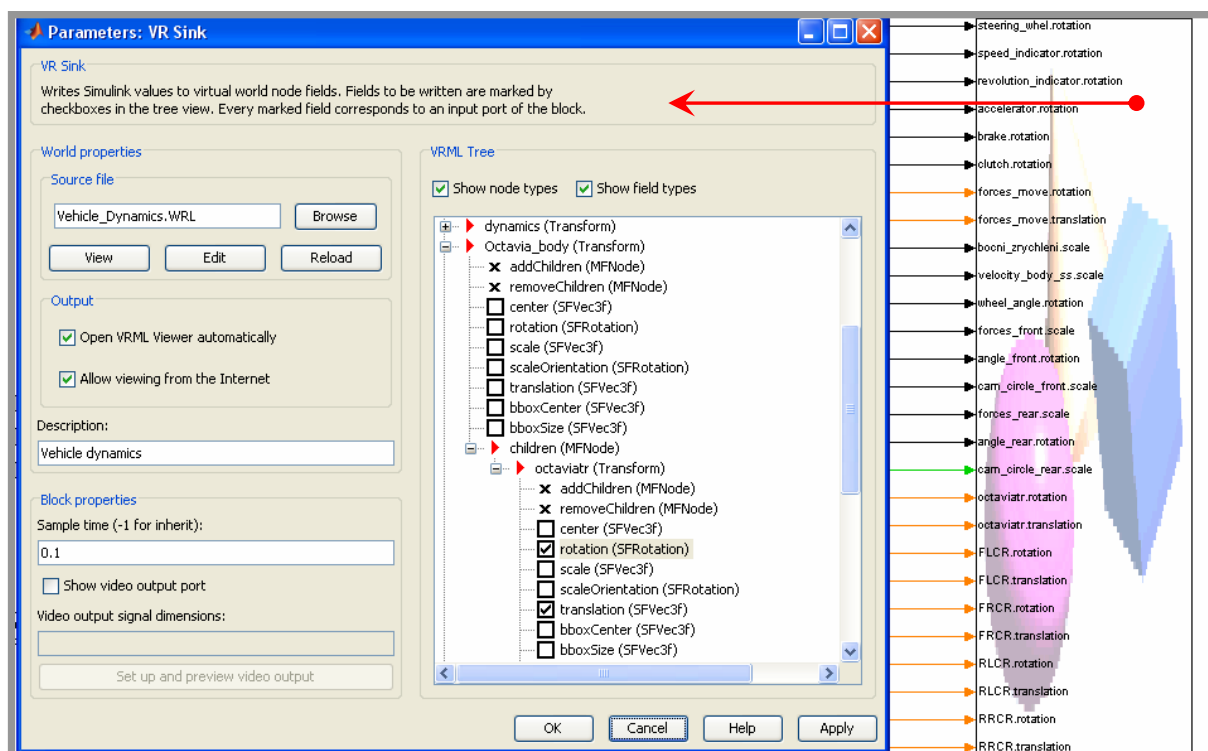


Obr. 8.4 Subsystémy dynamiky vozidla a subsystém Kamovy kružnice (nahore vpravo)

8.8 Vstup dat signálů do virtuální reality

Vstup dat a signálů umožňují nástroje Virtual Reality Toolbox. Tyto toolboxy umožňují obousměrnou interakci prostředí Matlab / Simulink s prostředím prohlížeče virtuální reality VRML (Virtual Reality Modeling Language)

Signály rotace, translace a měřítka vstupují do bloku VR Sink z knihovny bloků Virtual Reality Toolbox. V panelu nástrojů bloku je uvedena adresa souboru virtuální reality a výpočtový čas. V pravé části je zobrazena stromová struktura souboru virtuální reality, kde se vyberou parametry uzlů, které jsou přepisovány vstupními signály. Nutnou podmínkou pro přepsání parametrů je pojmenování uzlů příkazem DEF.



Obr. 8.5 Panel nástrojů VR Sink

Dalším vstupem do virtuální reality jsou data vybraných veličin dynamiky vozidla a souřadnice polohy souřadného systému vozidla vůči souřadnému systému země. Tato data vstupují do virtuální reality pomocí bloku nástroje VR Text Output z knihovny Virtual Reality Toolbox. VR Text Output přepisuje text v souboru virtuální reality, viz. Obrázek 8.6.

V panelu nástrojů se nastaví:

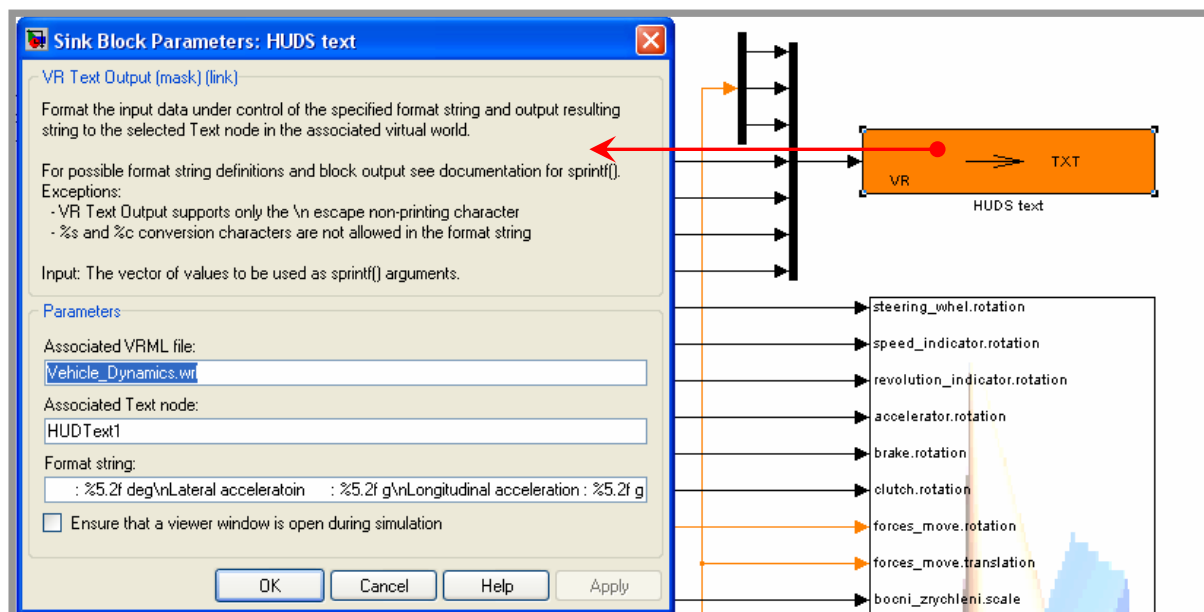
- jméno souboru virtuální reality, kde se přepisovaný text nachází
- jméno textu (pojmenovaný prvek příkazem DEF)
- kód pro přepsání textu:

X_e : %5.2f m\n Y_e : %5.2f m\n Z_e : %5.2f m\n
 m \nLongitudinal velocity : %5.2f m/s\nSideslip angle : %5.2f deg\nLateral
 acceleratoin : %5.2f g\nLongitudinal acceleration : %5.2f g

kde:

%5.2f je kód místa zobrazení data, 5.2 je přiřazení míst před a za desetinou čárkou
 \n - kód pro oddělení řádku

Ostatní znaky jsou veličiny a jejich jednotky zobrazené stejně jako ve výchozím textu souboru virtuální reality.



Obr. 8.6 Panel nástrojů VR Text Output

8.9 Spuštění animace

Všechny potřebné soubory jsou uloženy ve složce:

2009_DP_Mach_Bretislav_87406_přilohy

- texture - složka s obrázky textur
- fromMBS_C9.mdl - soubor dynamického systému Matlab / Simulink
- results.mat - matice Matlabu, data dynamiky vozidla
- mbs.mat - matice Matlabu, data trajektorie vozidla
- vehikle_dynamics.wrl - soubor virtuální reality, scéna dynamiky vozidla (sken vozidla není součástí příloh)
- mesh_face.wrl - soubor virtuální reality, síťový povrch

Animace se spustí souborem *fromMBS_C9.mdl*. Matlab automaticky načte z pracovního adresáře matice dat a spustí všechny toolboxy. Poté se v prohlížeči Virtual Reality Toolbox ovládá podrobné zobrazení a průběh animace, viz kapitola 1.3.

9 Závěr

Výsledkem diplomové práce je simulace průjezdu vozidla různými druhy tratí a zobrazení dynamických účinků působících na vozidlo ve virtuálním prostředí. Zobrazení dynamických účinků poskytují přehledné grafické prvky, které pozorovatele seznámí s aktuálním stavem. Dynamické účinky vychází z modelu jednostopého vozidla, ale v budoucnu se počítá s použitím modelu dvoustopého. Bude ovšem třeba upravit dynamický systém programu Matlab / Simulink a soubor virtuální reality. Systém simulace je univerzální a lze použít pro průjezd jakékoliv trati. Stačí nahradit aktuální geometrii trati ve virtuálním souboru a vložit nová data do matic Matlabu.

Velké úsilí bylo věnováno k seznámení s použitými programy Matlab / Simulink a jeho toolboxů. Nezbytnou součástí bylo proniknutí do systému tvoření virtuálních světů a podrobné nastudování jazyka VRML, který je „základním kamenem“ pro jejich tvorbu.

Jedním z úkolů bylo použít data GPS pro vytvoření modelu vozovky. Tato data nebyla k dispozici, ale v práci je zmíněn návrh pro zpracování dat GPS k vytvoření geometrie virtuálního modelu vozovky.

Výsledky práce je možné využít pro simulování průjezdu zkušebního polygonu, závodního okruhu, nebo simulaci normovaných zkoušek, kde se zkoumá dynamika vozidla za nestacionárních podmínek. Například pro závodní jezdce by bylo velkou výhodou, kdyby po projetí okruhu detailně zhodnotili vlastnosti dynamiky formule. Podobný princip je možné aplikovat při vývoji automobilu.

Jednou z myšlenek bylo rozšíření dynamického systému Matlab / Simulink o aktivní vstupy představující hardware volantu s pedály, jejichž signály by byli přepočítány v reálném čase a poslány do virtuální reality.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Karban P.: Matlab a Simulink. Computer press, a.s. Brno 2006. 220 s. ISBN 978-80-251-1448-3
- [2] Žára J.: VRML 97. Computer press, a.s. Brno 1999. 238 s. ISBN 80-7226-143-6
- [3] Škoda techweb - stránky zabývající se technikou vozů Škoda [on-line], [cit. 2009-5-11]. Dostupné z: <<http://www.skoda.panda.cz>>
- [4] MCAE Systems, s.r.o.- česká firma se zaměřením na rozvoj nových technologií [on-line], [cit. 2009-5-15]. Dostupné z: <<http://www.mcae.cz>>
- [5] VANČURA, J. *Výpočet aerodynamiky závodního automobilu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 77 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Porteš, Ph.D.
- [6] ISO 3888-2: 1999. Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.
- [7] Kledus, R., Porter, P., Vémola, A., Zelinka, A. (2001), měření manévrů vozidel, in: 10. EVU výroční zasedání Evropské asociace pro výzkum a Úrazové analýzy (EVU) Brno / Česká Republika, pp.6-45, Ústav soudního inženýrství Vysokého učení technického v Brně
- [8] Silniční vozidla - Dynamika vozidel a řídicích schopnosti - slovník, ISO 8855: 1901 (E / F), Mezinárodní organizace pro Normalizaci, Švýcarsko
- [9] Gillespie, T.D. *Základy dynamiky vozidla*, společnost Automotive Engineers, Warrendale, PA, 1992. ISBN 1-56091-199-9.1
- [10] Portes, P.; Laurinec, M.; Blaťák (2007) O. Analýza dynamiky vozidla pomocí Kalmanova filtru. V simulaci modelování Mechatronic Systems III. Mechatronika. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, s. 215-232. ISBN: 978-80-214-3559-9.1

Seznam použitých symbolů

b	[m]	- šířka vozidla
C_α	[-]	- koeficient zatačení
$C_{\alpha F}$	[N.rad ⁻¹]	- směrová tuhost pneumatik přední nápravy
$C_{\alpha R}$	[N.rad ⁻¹]	- směrová tuhost pneumatik přední nápravy
C_{EV}	[-]	- transformační matice (matice směrových kosínů) ze souřadného systému V do souřadného systému E
e_X	[m]	- velikost jednotkového vektoru ve směru osy x
e_Y	[m]	- velikost jednotkového vektoru ve směru osy y
e_Z	[m]	- velikost jednotkového vektoru ve směru osy z
F_P	[N]	- přenášená síla pneumatiky
F_X	[N]	- boční síla
F_Y	[N]	- podélná síla
F_Z	[N]	- svislá síla
g	[ms ⁻²]	- konstanta gravitačního zrychlení 9.81 ms ⁻²
i_r	[]	- převodový poměr
J_Z	[kg.m ⁻²]	- moment setrvačnosti kolem svislé osy
l_F	[m]	- vzdálenost mezi těžištěm a přední nápravou
l_R	[m]	- vzdálenost mezi těžištěm a zadní nápravou
m	[kg]	- hmotnost vozidla
r	[rad. s ⁻¹]	- stáčivá rychlost
r'	[rad. s ⁻²]	- derivace stáčivé rychlosti
r_E^M	[m]	- polohový vektor bodu M vyjádřený ve složkách souřadného systému E
r_V^M	[m]	- polohový vektor bodu M vyjádřený ve složkách souřadného systému V
r_E^{EV}	[m]	- je polohový vektor počátku souřadného systému V vzhledem k počátku souřadného systému E vyjádřená ve složkách souřadného systému E
r_X	[m]	- číselná hodnota posunutí uzlu ve směru osy x
r_Y	[m]	- číselná hodnota posunutí uzlu ve směru osy y
r_Z	[m]	- číselná hodnota posunutí uzlu ve směru osy z
s_X	[-]	- koeficient změny měřítka ve směru osy x
s_Y	[-]	- koeficient změny měřítka ve směru osy y
s_Z	[-]	- koeficient změny měřítka ve směru osy z
t	[s]	- čas
U	[m.s ⁻¹]	- dopředná rychlost
U'	[m.s ⁻²]	- derivace dopředné rychlosti
U_0	[m.s ⁻¹]	- dopředná rychlost v základním souřadném systému
v	[m.s ⁻¹]	- rychlost vozidla
$\mathbf{v}$	[-]	- vektor rychlosti
V	[m.s ⁻¹]	- boční rychlost
V_0	[m.s ⁻¹]	- boční rychlost v základním souřadném systému
v_h	[ms ⁻¹]	- horizontální rychlost vozidla
v_x	[ms ⁻¹]	- podélná rychlost vozidla
v_y	[ms ⁻¹]	- boční rychlost vozidla
α	[rad]	- úhel skluzu
α'	[rad. s ⁻¹]	- derivace úhlu skluzu
α_F	[rad]	- úhel skluzu na přední nápravě

α_R	[rad]	- úhel skluzu na zadní nápravě
β	[°]	- úhel směrové úchylky
β_F	[rad]	- úhel natočení kol
β_V	[rad]	- úhel natočení kol
ε	[rad]	- úhel natočení mezi souřadnými systémy
θ	[°]	- úhel klonění vozidla
μ_P	[-]	- součinitel tření
υ	[°]	- směrový úhel vozidla
φ	[°]	- úhel klopení vozidla
ϕ	[rad]	- úhel natočení
Ψ	[°]	- úhel stáčení vozidla

Seznam zkratek

3D	3 – Dimension – trojrozměrný
CAD	- Computer Aided design
CAM	- Computer Aided Manufacturing
DEF	- Define
E	- Examine
FEM	- Finite Element Method
FL	- Front Left
FLY	- Fly
FR	- Front Right
GPS	- Global Positioning System
HUDPos	- Head Up Display Positron
ISO	- International Organization for Standardization – mezinárodní organizace pro standardizaci
RGB	- Red Green Blue
RL	- Rest Left
RR	- Rear Right
SI	- Système International des Unités – mezinárodní soustava jednotek
UCS	- Universal Character Set
URL	- Uniform resource Locator
UTF	- UCS Transformation Format
VDA	- Verband Der Automobilindustri – svaz automobilového průmyslu
VR	- Virtual reality
VRML	- Virtual Reality Model language
W	- Walk

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Programové rozhraní	12
Obr. 1.2 Náhled okna Matlabu	13
Obr. 1.3 Náhled okna Simulink	14
Obr. 1.4 Spuštění Virtual Reality Toolbox v Simulinku	15
Obr. 1.5 Náhled okna Virtual Reality Toolbox	16
Obr. 1.6 Okno V-Realm Builder 2.0	17
Obr. 2.1 Orientace ve virtuálním prostoru	19
Obr. 2.2 Pozadí vytvořené postupným přechodem osmi barev	22
Obr. 2.3 Rozměry kužele [6]	25
Obr. 2.4 Panel nástrojů uzlu Material	26
Obr. 2.5 Zadání barvy v RGB	27
Obr. 2.6 Zadání cesty k souboru	27
Obr. 2.7 Hotový kužel ve V-Realm Builder 2.0	28
Obr. 3.1 Rozměry vozu Škoda Octavia a umístění souřadného systému vozidla [3]	31
Obr. 3.2 Orientace souřadného systému ISO a virtuální reality	32
Obr. 3.3 Definice úhlů [8]	33
Obr. 3.4 3D skener ATOS s výpočetní stanicí v pozadí, skenovaná špice Formule Ford [5]	35
Obr. 3.4 Panel nástrojů uzlu indexed face set	36
Obr. 3.5 Modely kol s jejich souřadnými systémy	37
Obr. 3.6 Model vozidla se souřadným systémem	38
Obr. 4.1 Rozmístění kuželů dle ISO 3888-2 [6]	39
Obr. 4.2 Rozmístění kuželů [7]	40
Obr. 4.3 Vozovka s kužely ve virtuálním světě	41
Obr. 4.4 Síťový povrch ve virtuálním světě	42
Obr. 5.1 Zapsání textu v parametru string	45
Obr. 5.2 HUDPos ve virtuálním světě	46
Obr. 5.3 Prvky dynamiky ve virtuálním světě	48
Obr. 6.1 Panel příkazu ROUTE	49
Obr. 6.2 Strom uzlů souboru vehicle_dynamics.wrl	50
Obr. 6.3 Obecný pohled scény souboru Vehicle_dynamics.wrl	51
Obr. 6.4 Pohled „detail“ scény souboru Vehicle_dynamics.wrl	51
Obr. 7.1 Veličiny trajektorie vozidla v souřadném systému ISO [8]	52
Obr. 7.2 Graf závislosti boční síly na úhlu směrové úchylky [9]	53
Obr. 7.3 Graf závislosti boční síly na brzdě síle [9]	54
Obr. 7.4 Jednostopý model vozidla [10]	55
Obr. 7.5 HUDPos v pohledu View from above ahead	60
Obr. 7.6 Zobrazení dynamických účinků předních kol	61
Obr. 7.7 Zobrazení dynamických účinků zadních kol	61
Obr. 7.8 Zobrazení dynamických účinků v souřadném systému vozidla	62
Obr. 8.1 Editor Simulinku a okno knihovny bloků	63
Obr. 8.2 Blokové schéma systému v editoru Simulinku	64
Obr. 8.3 Subsystém vehicle parh a jeho subsystém BODY CS position 1	68
Obr. 8.4 Subsystémy dynamiky vozidla a subsystém Kamovy kružnice (nahore vpravo)	69
Obr. 8.5 Panel nástrojů VR Sink	70
Obr. 8.6 Panel nástrojů VR Text Output	71

Seznam tabulek

Tab. 2.1 Členění souboru VRML [2]	18
Tab. 2.2 Parametry uzlu NavigationInfo	20
Tab. 2.3 Parametry uzlu WorldInfo	20
Tab. 2.4 Parametry uzlu ViewPoint	21
Tab. 2.5 Parametry uzlu PointLight	22
Tab. 2.6 Parametry uzlu BackGround	22
Tab. 2.7 Parametry uzlu Fog	23
Tab. 2.8 Parametry uzlu Transform	23
Tab. 2.9 Parametry uzlu Shape	23
Tab. 2.10 Parametry uzlu Appearance	25
Tab. 4.1 Souřadnice kuželů v souřadném systému virtuální reality [7]	40
Tab. 5.1 Parametry uzlu Proximity Sensor [2]	44
Tab. 5.2 Parametry uzlu Text [2]	45
Tab. 5.3 Parametry uzlu Indexed Line Set [2]	47

Seznam příloh

Soubory:

- texture
- fromMBS_C9.mdl
- results.mat
- mbs.mat
- vehikle_dynamics.wr
- mesh_face.wrl