



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

**Klára Pudová**

Tvorba počítačových 3D modelů segmentů komunikací  
pro vozidlové simulátory

Creation of 3D models of road infrastructure segments  
for vehicle simulators

**Bakalářská práce**

**2017**



**K616.....Ústav dopravních prostředků**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE** (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Klára Pudová**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – ITS – Inteligentní dopravní systémy**

Název tématu (česky): **Tvorba počítačových 3D modelů segmentů komunikací pro vozidlové simulátory**

Název tématu (anglicky): **Creation of 3D Models of Road Infrastructure Segments for Vehicle Simulators**

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Prostudujte požadavky na tvorbu 3D objektů pro scény do interaktivních simulátorů
- Prostudujte možnosti vytváření scénářů pro vozidlové simulátory
- Prozkoumejte dostupné metody generování silniční infrastruktury vhodné pro vozidlové simulátory
- Vytvořte metody automatického generování segmentů komunikací pomocí vhodných nástrojů
- Za pomoci těchto metod vytvořte scénář pro vozidlový simulátor a následně realizujte experiment zaměřený na prozkoumání subjektivního vnímání kvality vytvořeného virtuálního prostředí



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)


Seznam odborné literatury: ŽÁRA, Jiří, Bedřich BENEŠ a Petr FELKEL. Moderní počítačová grafika. Praha: Computer Press, 1998. ISBN 80-7226-049-9.


ORLICKÝ, Adam. Automatická tvorba silniční infrastruktury ve 3D pro vozidlové simulátory. Praha, 2016. Diplomová práce. ČVUT Fakulta Dopravní.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Stanislav Novotný, Ph.D.**  
**Ing. Adam Orlický**

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2016**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **28. srpna 2017**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia  
a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

  
.....  
doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu dopravních prostředků

  
.....  
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

  
.....  
Klára Pudová  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 10. října 2016

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji oběma vedoucím mé bakalářské práce, a to doc. Ing. Stanislavu Novotnému, Ph.D. a Ing. Adamu Orlickému, za odborné vedení a konzultování mé práce a za rady, které mi poskytovali. Dále bych chtěla poděkovat Janu Válkovi, členovi výzkumné skupiny DSRG, za rady a pomoc při psaní bakalářské práce.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou za závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Praze dne 28. srpna 2017

Klára Pudová

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Ústav dopravních prostředků

## **Tvorba počítačových 3D modelů segmentů komunikací pro vozidlové simulátory**

Bakalářská práce

srpen 2017

Klára Pudová

### **Abstrakt**

Předmětem bakalářské práce „Tvorba počítačových 3D modelů segmentů komunikací pro vozidlové simulátory“ je vytvořit metodu efektivního generování silniční infrastruktury pro snadné vytváření scénářů pro vozidlové simulátory.

Teoretická část se zabývá vozidlovými simulátory, počítačovou grafikou a 3D modelováním, a jeho využitím pro vytváření scénářů do vozidlových simulátorů.

V praktické části je vytvořen nástroj (plugin), který umožňuje efektivně vytvářet scénáře pro vozidlové simulátory pomocí segmentů komunikací. V práci je popsán algoritmus pluginu a vysvětlen princip fungování. V samotném závěru práce je proveden experiment, který testuje vnímanou kvalitu scénáře vytvořeného novou metodou.

**Klíčová slova:** 3D modelování, Rhinoceros, RhinoScript, vozidlové simulátory, silniční infrastruktura, segmenty komunikací

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

Department of Vehicle Technology

## **Creation of 3D models of road infrastructure segments for vehicle simulators**

Bachelor thesis

August 2017

Klára Pudová

### **Abstract**

The subject of the bachelor thesis „Creation of 3D models of road infrastructure segments for vehicle simulators“ is to create an efficient method of generating road infrastructure to simply create scenarios for vehicle simulators.

The theoretical part is dealing with vehicle simulators, computer graphics and 3D modelling, and its utilisation in creating scenarios for vehicle simulators.

The practical part describes the creation of a tool (plugin) for Rhinoceros program, which makes it possible to create scenarios for vehicle simulator effectively with road infrastructure segments. The algorithm of the plugin and principle of its work are being described and explained. In the conclusion there is an experiment testing the perceived quality of the scenario created by the new method.

**Key words:** 3D modelling, Rhinoceros, RhinoScript, vehicle simulators, road infrastructure, road infrastructure segments

# Obsah

Obsah.....	5
1 Seznam použitých zkratk: .....	7
2 Úvod .....	8
TEORETICKÁ ČÁST .....	10
3 Interaktivní vozidlové simulátory .....	10
3.1 Problematika HMI .....	10
3.2 Vozidlový simulátor.....	10
3.2.1 Lehké simulátory .....	11
3.2.2 Plnohodnotné simulátory .....	12
3.3 Virtuální scéna.....	12
3.4 Virtuální scénář.....	12
3.5 Experimenty.....	13
3.6 Tvorba scénářů.....	13
3.6.1 Obecné požadavky .....	13
3.6.2 Import do simulátoru .....	14
3.7 Metody generování infrastruktury.....	16
4 Počítačová grafika .....	17
4.1 Popis .....	17
4.2 2D grafika .....	17
4.3 3D grafika .....	17
4.3.1 TIN = Triangulated Irregular Network.....	18
4.3.2 NURBS = Non-Uniform Rational B-Spline.....	19
4.3.3 T-Spline .....	19
4.4 Textury .....	19
3D modelovací program Rhinoceros.....	22
4.5 Rhinoceros .....	22
4.6 Skriptování .....	22
PRAKTICKÁ ČÁST .....	24
5 Plugin pro generování segmentů komunikací .....	24
5.1 Popis modelovací metody.....	24
5.2 Výhody pluginu .....	24

5.3	Princip pluginu .....	24
5.3.1	Základní dlaždice .....	25
5.3.2	Typy vegetace .....	26
5.4	Funkce pluginu .....	26
5.5	Použité metody .....	29
5.6	Pseudokód .....	30
6	Experiment .....	33
6.1	Tvorba scénáře .....	33
6.2	Testování kvality scénáře .....	33
6.3	Výsledky testování .....	36
7	Závěr .....	38
8	Použité zdroje .....	40
8.1	Literatura .....	40
8.2	Internetové zdroje .....	40
9	Seznam obrázků .....	41
10	Seznam tabulek .....	42
11	Seznam příloh .....	43



## 1 Seznam použitých zkratk:

2D	dvojrozměrný
3D	trojrozměrný
BP	bakalářská práce
EEG	elektroencefalogram (biosignál mozku)
EKG	elektrokardiogram (biosignál srdce)
EMG	elektromyografie (biosignál kosterního svalstva)
EOG	elektrookulografie (biosignál okohybných svalů)
HMI	human machine interface
HTML	hyper text markup language
LCD	liquid crystal display
LOD	level of details
NURBS	non-uniform rational basis spline
TIN	triangulated irregular network

## 2 Úvod

V dnešním moderním světě patří výpočetní technika již neodmyslitelně ke každodennímu životu. Takřka každý vědní obor se v posledních letech musel přizpůsobit aktuálnímu trendu, a sice začít pro rozvoj a využitelnost své vědní disciplíny využívat moderní technologie, jako jsou počítače a ostatní elektronická zařízení. Díky tomu mnoho vědních oborů získalo úplně nový rozměr, rozšířily se poznatky i možnosti dalšího výzkumu a vývoje, nebo dokonce vznikly nové vědní disciplíny. Mezi obory, které za svůj vznik vděčí právě rozmachu výpočetní techniky, patří i 3D modelování, které se zabývá zobrazováním reálných objektů či vytvářením modelů navrhovaných objektů ve virtuálním trojrozměrném prostředí.

Virtuální prostředí a 3D modely se staly běžnou součástí našich životů. Právě díky 3D modelování mohly vzniknout mnohé oblíbené animované filmy a počítačové hry. Své místo ale má i v jiných oborech – například v medicíně je v dnešní době nepostradatelným pomocníkem při vytváření modelů kostí podle rentgenových snímků. Průmysloví designéři dokáží modelovat nové součástky mnohem rychleji a s velkou přesností, a díky snadným úpravám jednoduše optimalizují ideální tvary a materiál pro daný objekt. Architekti mohou před začátkem stavby v počítači vymodelovat celý navržený dům, a díky tomu předejít mnoha chybám v průběhu stavebních prací. Bytoví designéři mohou zase navrženou místnost v 3D modelovacím programu ukázat svým zákazníkům a snadno tak pozměnit svůj návrh ke spokojenosti zákazníka. S využitím 3D modelování je možné vytvářet i simulace různých událostí, které by mohly nastat, a zjistit tak jejich možné následky. Jedná se přitom o mnohem bezpečnější a levnější metodu, než jsou reálné zkoušky.

Velké využití našlo 3D modelování i v dopravě, konkrétně například při návrhu či rekonstrukci silničních komunikací. Pro tyto účely je vyvinuto několik programů, které obsahují funkce pro vytváření přesných modelů komunikací včetně všech potřebných stavebních prvků. Využívají je stavební firmy pro tvorbu projektové dokumentace k dopravním stavbám a jejich licence bývají drahé.

Dalším odvětvím dopravního inženýrství, které se bez 3D modelování neobejde, je oblast virtuální reality a její využití ve vozidlových simulátorech. Pro tyto účely je nutné vytvořit co nejreálněji působící virtuální prostředí, ve kterém se řidič sedící ve vozidlovém simulátoru pohybuje. Řidič by se v ideálním případě měl cítit jako ve skutečném vozidle, aby jeho jednání za volantem odpovídalo skutečnosti.

Pro tyto účely jsou využívány 3D modelovací programy, které umožňují export modelu do vozidlového simulátoru. Tyto programy bohužel často neobsahují speciální funkce pro tvorbu silniční infrastruktury, je ale možné je do programu přidat pomocí zásuvných modulů

(pluginů). Kvalitní virtuální prostředí pro vozidlový simulátor musí kromě silničních komunikací obsahovat mnoho dalších objektů, jako jsou různé typy domů, dopravní značení, billboardy, stromy a jiná vegetace, vozidla a mnoho dalších, aby prostředí na řidiče působilo co nejrealističtěji. Modelování všech těchto objektů však je značně časově náročné a vyžaduje pokročilou znalost 3D modelování.

Právě z tohoto důvodu vznikla myšlenka vytvořit uživatelsky přívětivý plugin, který umožní generování silniční infrastruktury v mnohem kratším čase, a navíc bez nutnosti větších znalostí 3D modelování.

Uživatel si v něm vybírá z předem připravené databáze segmentů komunikací, na kterých pomocí několika málo kliknutí vybere i vegetaci v okolí silnice. Tyto segmenty pak bude možné spojovat za sebe a efektivně tak vytvářet virtuální scénu pro využití při experimentu ve vozidlovém simulátoru.

# TEORETICKÁ ČÁST

## 3 Interaktivní vozidlové simulátory

### 3.1 Problematika HMI

HMI neboli Human Machine Interface je vědní disciplína zabývající se problematikou interakce člověk – stroj, tedy tím, jak mezi sebou komunikují lidský operátor a umělý systém. Jedná se o rozhraní, díky kterému je uživatel schopen kontrolovat systém, který obsluhuje. HMI zahrnuje také elektronické komponenty, které slouží ke kontrole činnosti systému a jeho komunikace s uživatelem. [8]

Podoborem HMI je interakce řidiče s vozidlem, která zkoumá problematiky jako je uživatelské rozhraní, hygiena práce a ergonomie a s tím spojený pracovní výkon. Cílem je zvýšit bezpečnost a spolehlivost dopravy optimalizací kokpitu vozidel a použitím varovacích systémů, ale i zpříjemnit řidiči čas strávený za volantem, a to například zvýšením komfortu či intuitivnější obsluhou vozidla. Bezpečnost je omezena hlavně ze strany lidského činitele, protože člověk nemůže, na rozdíl od umělého systému, pracovat bez přestávek, a právě únava a s ní spojené poklesy pozornosti jsou příčinou mnoha selhání a nehod. Proto je nutné zkoumat chování řidiče, ale zároveň i to, jak efektivně umí vozidlo obsluhovat, využívat asistenční systémy či reagovat na varovací systémy.

Pro výzkumy zkoumající chování řidiče v různých situacích, a to jak za standardních podmínek, tak i při zátěži, slouží vozidlové simulátory, díky kterým je možné tato měření provádět v podmínkách naprosto bezpečných pro řidiče i jeho okolí. Zvýšit spolehlivost interakce řidiče s vozidlem lze i použitím speciálních metod trénování řidičů s cílem zvýšit jejich odolnost vůči poklesu pozornosti.

### 3.2 Vozidlový simulátor

Vozidlový simulátor je zařízení, které umí dostatečně dobře simulovat řízení reálného automobilu. Je to systém, ve kterém je použito vozidlo či jeho část pro experimentální účely, a řidič toto zařízení ovládá. Nejčastějším typem vozidlového simulátoru je simulátor s projekcí typu CAVE, při které je vozidlo obklopeno velkoplošnými LCD obrazovkami či promítacími plátny, sestavenými do tvaru krychle nebo kvádra, na kterých se řidiči zobrazuje virtuální scéna. Cílem je vytvořit takové virtuální prostředí, aby řidič měl pocit, že se nachází v reálném provozu. To může být kromě grafické virtuální scény (panoramatický výhled vpřed a do stran, zpětné výhledy) umocněno ještě zvukovými efekty či pohybovou plošinou, která simuluje pohyby a naklánění vozidla a dynamiku pohybu vozidla (např. akcelerace).

Základ simulátoru představuje kokpit vozidla či vozidlo samotné, které je se simulačním systémem oboustranně propojeno. Směrem k simulačnímu systému jsou

odesílány informace o aktuálních polohách volantu, pedálů či zařazeném rychlostním stupni a zpět jsou odesílány informace o rychlosti, otáčkách či nastavení vlastností volantu (moment, tuhost, pružnost). Základní softwarové vybavení simulátoru tvoří matematický model chování vozidla, simulované prostředí virtuální reality, řízení běhu scén a generátor událostí, řízení pohybů plošiny, záznam jízdy a nástroje na vyhodnocení řidičova výkonu.



*Obrázek 1: Simulátor typu CAVE na Fakultě dopravní ČVUT v Praze*

Simulátory byly původně vytvořeny za účelem zdokonalení řidičských schopností běžných řidičů, později pak převážně k výcviku řidičů zvláštních kategorií specializovaných vozidel. V současnosti je díky vyspělým technologiím možné je navíc využívat i jako efektivní nástroj pro různé experimenty v oblasti HMI.

Z hlediska konstrukce je možné vozidlové simulátory dělit na tzv. lehké a plnohodnotné.

### 3.2.1 Lehké simulátory

Při konstrukci lehkého simulátoru je použit jen kokpit vozidla či jeho část. Virtuální scéna je promítána na projekčních plátnech či obrazovkách před vozidlem. Výhodou těchto simulátorů je, že je možné je snadno přestavět podle požadavků konkrétního experimentu nebo dodatečně vybavit přídatnými zařízeními, dají se tedy dobře využít pro mnoho experimentů. Nejedná se ale o celé vozidlo, a proto se zde řidič nemusí cítit jako v realitě,

což může negativně ovlivnit výsledky měření. Je proto nutné snažit se zajistit co nejuvěrohodnější virtuální scénu.

### 3.2.2 Plnohodnotné simulátory

U plnohodnotných simulátorů se využívá celé vozidlo, při experimentu sedí řidič v kokpitu opravdového vozidla, což ho přibližuje k pocitu jízdy v reálném vozidle. Virtuální scéna je promítána na projekční plátna, která jsou umístěna před vozidlem a po jeho stranách, často i zezadu, řidič tedy scénu vidí i ve zpětném zrcátku. Nevýhodou tohoto simulátoru ale je to, že ho nelze jednoduchým způsobem přestavět či upravit pro potřeby konkrétního experimentu.

### 3.3 Virtuální scéna

Je nutné zmínit, že vozidlový simulátor sám o sobě nemá příliš využití. To, co z něj dělá výjimečný nástroj pro zkoumání chování řidiče, je virtuální scéna. Jedná se o virtuální prostředí, které je vymodelované pomocí 3D počítačové grafiky. Toto prostředí se promítá se na plátna či obrazovky před vozidlem a řidič se v něm pohybuje. Je velice důležité, aby virtuální prostředí, ve kterém se řidič pohybuje, co nejvíce připomínalo reálné prostředí.



Obrázek 2: Ukázka virtuální scény

### 3.4 Virtuální scénář

Virtuální scénář je soubor událostí v simulaci, na které musí řidič reagovat. Jedná se o definici trasy, po které se bude vozidlo pohybovat, definici různých překážek na trase jako jsou železniční přejezdy či zúžení, definici dynamických objektů (např. animované billboardy) a simulované události (např. provoz vozidel, chodci), které pomáhají dotvářet prostředí pro potřebu daného experimentu. Oživují statickou virtuální scénu a přidávají na realističnosti.

### 3.5 Experimenty

Při experimentech prováděných na vozidlových simulátorech je zkoumáno chování řidiče, například agresivní chování či měření úrovně pozornosti. Pozornost řidiče se většinou měří nepřímými metodami, mezi nejvýznamnější patří analýza elektroencefalografických (EEG) signálů, která dává přesné a spolehlivé výsledky. Nevýhodou ale je, že měření není v praxi snadno proveditelné, a také že výsledky jsou velice individuální, a proto je obtížné určit přijatelnou hranici úrovně pozornosti, která by seděla na všechny řidiče.

Pozornost řidiče je ve velké míře ovlivněna uspořádáním jednotlivých ovládacích prvků v kokpitu vozidla, provádí se tedy mnoho experimentů zjišťujících ideální polohu těchto prvků, při které je pozornost řidiče ovlivněna co nejméně. Jedná se o systémy vyžadující obsluhu řidičem během jízdy, jako je navigace, klimatizace, nastavení tempomatu a podobně.

Dalším typem experimentů jsou ty, které jsou zaměřené na zkoumání chování řidiče pod zátěží, například pod vlivem alkoholu a omamných látek či při únavě. Ty mají za cíl především varovat před možnými následky jízdy za takových podmínek a zkoumat, ve kterých oblastech je řidičovo chování ovlivněno a jak moc.

Při experimentech jsou ze simulátoru získávána měřená data, ta se dělí na objektivní a subjektivní. Objektivní data je možné dále rozdělit na technická a biologická. Mezi technická data patří rychlost, trajektorie vozu a případné vychýlení z jízdního pruhu, polohu pedálů a z nich odvozené rychlosti reakce řidiče např. při brzdění, aktuální stav ovládacích prvků ve vozidle či úhel natočení volantu, otáčky motoru, zařazený rychlostní stupeň a podobně. Biologická data jsou ta, která se měří na řidiči, jako je EEG, EKG, EOG, EMG, reakční čas, pohyby hlavy či sledování pohybu očí (fokusu zkoumané osoby) pomocí EyeTrackingu. Subjektivní data pak tvoří výsledky z dotazníků a expertních analýz.

Jelikož experimenty bývají dost specifické a zaměřené na měření konkrétního problému, je nutné pro každý experiment připravit scénář sestavený na míru danému tématu. To zahrnuje dlouhé přípravy modelování virtuálního prostředí pro potřebný scénář.

### 3.6 Tvorba scénářů

#### 3.6.1 Obecné požadavky

Základem scénáře je virtuální scéna tvořená 3D objekty, které jsou nejčastěji definovány pomocí metody TIN (bude vysvětleno dále). Tyto objekty by měly být co nejrealističtější, aby dávaly řidiči pocit jízdy ve skutečném světě, ale zároveň se musí dostatečně rychle vykreslovat – v reálném čase během experimentu. To lze zajistit použitím co nejjednodušších modelů, tj. modelů, které jsou tvořeny co nejnižším počtem trojúhelníků a

jednoduchou texturou – tyto objekty se nazývají LOWPOLY objekty/modely. Je proto nutné hledat vhodný kompromis, který zaručí vytvoření kvalitního scénáře.

### 3.6.2 Import do simulátoru

Pro simulátor Fakulty dopravní ČVUT v Praze je vyvinut speciální 3D grafický engine, tj. vizualizační software, u kterého se import modelu výrazně liší v porovnání se stávajícími dostupnými enginey.

Postup tvorby scénáře je následující: nejprve se vymodeluje scéna v libovolném 3D modelovacím softwaru. Vytvořený model virtuální scény se skládá z menších modelů, u kterých je důležité, aby normály ploch byly v náležitém směru pro správné vykreslování. Další důležitou podmínkou je, aby veškeré textury byly uloženy v souborovém formátu dds (Microsoft Direct Draw Surface – grafický formát), jelikož engine jiné formáty textur nepodporuje.

Pokud je vytvořený model, je třeba vytvořit vizualizační a kolizní soubory. Jedná se o souborové formáty PBT a SNT. Vizualizační soubor PBT je textový soubor obsahující texturované UV koordináty trojúhelníků, pozice trojúhelníků (definované pomocí vrcholů), normály trojúhelníků a názvy textur. Kolizní soubor je textový soubor SNT, který obsahuje výčet bodů a k nim přiřazuje trojúhelníky. Používá se k popisu kolizních objektů, tedy těch, kterými řidič nebude moct projet, jako je povrch silnice a všechny objekty, do kterých lze autem narazit.

Dále je třeba vytvořit dva adresáře. Jeden adresář s názvem Data, který obsahuje tři složky: Models (zkomprimované soubory PBTz), Textures (textury ve formátu dds) a Animations (soubory Anim, definice animací). Adresář Data obsahuje také textový soubor Models (názvy objektů), Textures (názvy textur) a World (vizuální chování a různé fixace, např. jas, mlha). Druhý adresář se jmenuje Mesh a obsahuje soubor SNT.

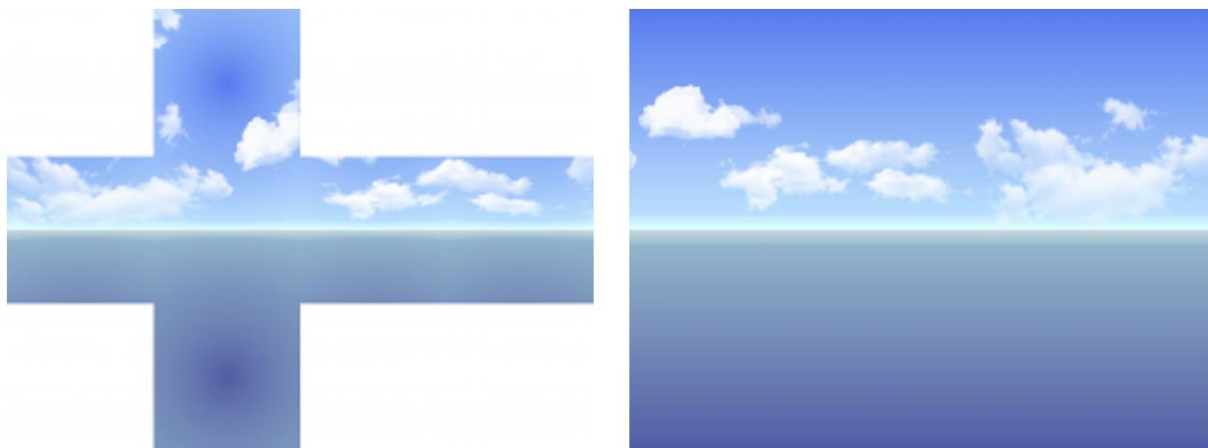
Tyto adresáře s názvem scény se pak nahrají do počítačů simulátoru, adresář Data se vloží do počítače s vizualizací, adresář Mesh do počítače s fyzikou. Nevýhodou tohoto engine je, že neumí sám generovat stíny objektů, a jak je z výkladu zřetelné, postup importu do simulátoru je poměrně složitý a zdlouhavý.

U moderních engineů, jako je např. Unity nebo Unreal Engine, je postup mnohem snazší. Na začátku je vytvořen model prostředí v 3D modelovacím programu (Rhinoceros, 3DS Max apod.), uložený v rozšířeném formátu (3ds, fbx, obj, dae). Použité textury mohou být uloženy ve formátech dds, jpeg nebo tga, engine jich zpravidla podporuje více. Po spuštění engine jsou nahrány všechny soubory a textury. Model se rozpadne na jednotlivé objekty, které byly vytvořeny v 3D modelovacím programu – každému objektu je následně



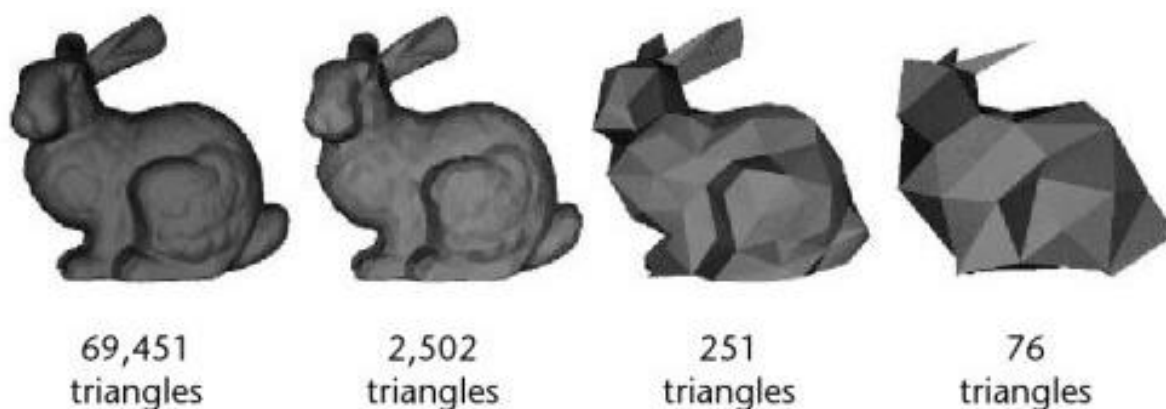
možné přiřadit, zda je kolizní či nikoliv. Dále je možné upravit materiály, tak jako to jde už při 3D modelování.

Výhodou těchto enginů je řada integrovaných funkcí. Například stíny jsou generovány automaticky v závislosti na umístění osvětlení, je možné využít částicové modelování pro tvorbu kouře a dalších věcí, lze vytvářet různé globální prostředí pomocí skyboxu (tj. krychle, složená ze šesti na sebe navazujících čtverců potažených texturou, sloužící k vytvoření oblohy a krajiny).

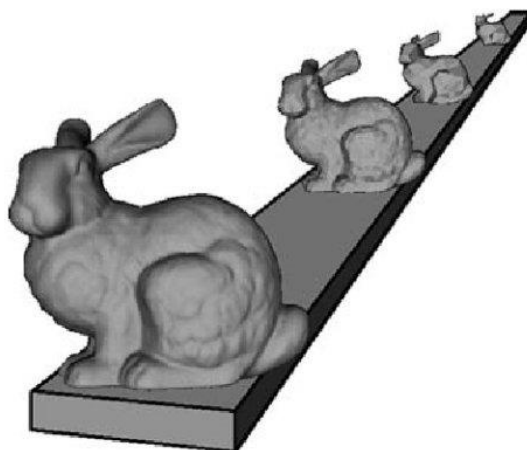


Obrázek 3: Skybox a jeho použití [10]

Další výhodou je integrace LOD – level of details, což je metoda, při které dochází k dynamickému zjednodušení objektů v závislosti na vzdálenosti uživatele od objektu. Tím je docílena značná úspora při vykreslování scény. Chybí zde ale vytvoření provozu, který je nutné naprogramovat zvlášť.



Obrázek 4: LOD (snížení počtu použitých trojúhelníků) [6]



Obrázek 5: LOD (objekty s méně trojúhelníky jsou v pozadí) [6]

### 3.7 Metody generování infrastruktury

Existují dvě základní metody, jak generovat silniční infrastrukturu.

První možností je použití softwarů přímo zaměřených na vytváření silniční infrastruktury. Tyto softwary se používají především pro plánování a navrhování nových silničních komunikací v reálném světě a obsahují funkce pro detailní vykreslení a tvorbu projektové dokumentace. Tyto programy jsou ale často drahé a neumožňují export formátů využívaných pro vozidlové simulátory.

Druhou možností jsou 3D modelovací programy, které však většinou neobsahují funkce pro generování silnic, u některých programů jsou pro tyto účely jen funkce základní. Ty však neumožňují vytvářet silniční infrastrukturu podle normy. Export modelů z těchto softwarů je však bezproblémový.

Některé programy umožňují rozšíření svých funkcí pomocí zásuvných modulů, tzv. pluginů, které mohou velmi usnadnit a urychlit práci při modelování. Pluginy nepracují samostatně, ale v součinnosti s hlavním programem. Nové pluginy jsou vyvíjeny pomocí vývojářských softwarů (Visual Studio a jiné), avšak některé programy umožňují vytváření pluginů pomocí skriptů, tzv. skriptování. Skripty jsou vytvářeny nejčastěji přímo v samotném programu a jejich syntaxe je uživatelsky velmi jednoduchá.

Díky možnosti vytvářet zásuvné moduly do 3D modelovacích programů je možné naprogramovat vlastní funkce umožňující vytvářet silniční infrastrukturu podle normy.

Mezi nejpoužívanější 3D modelovací programy, které umožňují vytváření pluginů pomocí skriptování, patří AutoCAD 3DS Max, CINEMA 4D, Rhinoceros V5, Sketchup a Blender. Jednotlivé programy se liší hlavně množstvím nabízených funkcí a cenou.

## 4 Počítačová grafika

### 4.1 Popis

K vytváření 3D modelů potřebujeme počítačovou grafiku. „*Počítačová grafika je z technického hlediska obor informatiky, který používá počítače k tvorbě umělých grafických objektů a dále také na úpravu zobrazitelných a prostorových informací, nasnímaných z reálného světa (například digitální fotografie a jejich úprava, filmové triky). Z hlediska umění jde o samostatnou kategorii grafiky.*“[9]

Počítačová grafika má v dnešním světě široké využití, a to např. při návrhu a tvorbě reklam, webových stránek, počítačových her, filmů, elektronických publikací či grafiky pro aplikace pro mobilní telefony. Stěžejní význam má ale také právě pro tvorbu virtuálního prostředí pro interaktivní vozidlové simulátory.

Počítačovou grafiku je možné dělit do několika kategorií podle různých kritérií. Z hlediska prostorového vnímání lze počítačovou grafiku dělit na 2D a 3D grafiku, a dále pak do několika podskupin.

### 4.2 2D grafika

2D počítačová grafika řeší hlavně práci s obrázky a fotografiemi a dále se dělí na grafiku rastrovou (bitmapovou) a vektorovou. Rozdíl je ve způsobu záznamu informace. Rastrovou grafiku si lze představit jako pravidelnou síť pixelů (matici bodů), přičemž každý pixel nese informaci o barvě, jasů, průhlednosti atd. Naopak vektorová grafika pracuje s přesnými geometrickými daty, tedy ukládá souřadnice bodů a jejich propojení a plošné geometrické útvary, pomocí kterých je popsán obraz.

### 4.3 3D grafika

3D počítačová grafika řeší reprezentaci objektů v prostoru a jejich zobrazení v počítači, lze pomocí ní virtuálně vytvořit jakýkoliv objekt. Existují zde tři metody reprezentace objektů: objemová reprezentace, procedurální reprezentace a hraniční reprezentace.

Při objemové reprezentaci je těleso popsáno pomocí svého objemu, a sice popisem obsazení prostorových částí. Čím je tato síť prostorových buněk hustší, tím je těleso popsáno kvalitněji (podobně jako u rastrové 2D grafiky).

Při procedurální reprezentaci je objekt definován pomocí algoritmů, díky kterým je možné na základě charakteristik objektu automaticky generovat jeho trojrozměrný model.

Při hraniční reprezentaci těles se popisuje jeho povrch – hranice, tedy množina hraničních geometrických prvků (pomocí bodů, úseček, částí rovin, křivek či ploch). Jedná se

o jeden z nejběžnějších způsobů reprezentace, který je pro lidi přirozený – většinou kreslíme tělesa pomocí jejich obrysu (= podmnožina hranice).

Hraniční reprezentace je nejrozšířenější reprezentací, pracuje s ní většina 3D modelovacích programů a využívá se při ní několik metod popisu povrchu objektu.

Pro tvorbu objektů pomocí hraniční reprezentace existuje mnoho metod, avšak nejrozšířenější metody pro tvorbu scénářů do vozidlových simulátorů jsou metody TIN (triangulated irregular network = nepravidelná síť trojúhelníků), NURBS (non-uniform rational B-spline = neuniformní racionální B-spline) a T-Spline (rozšíření NURBS).

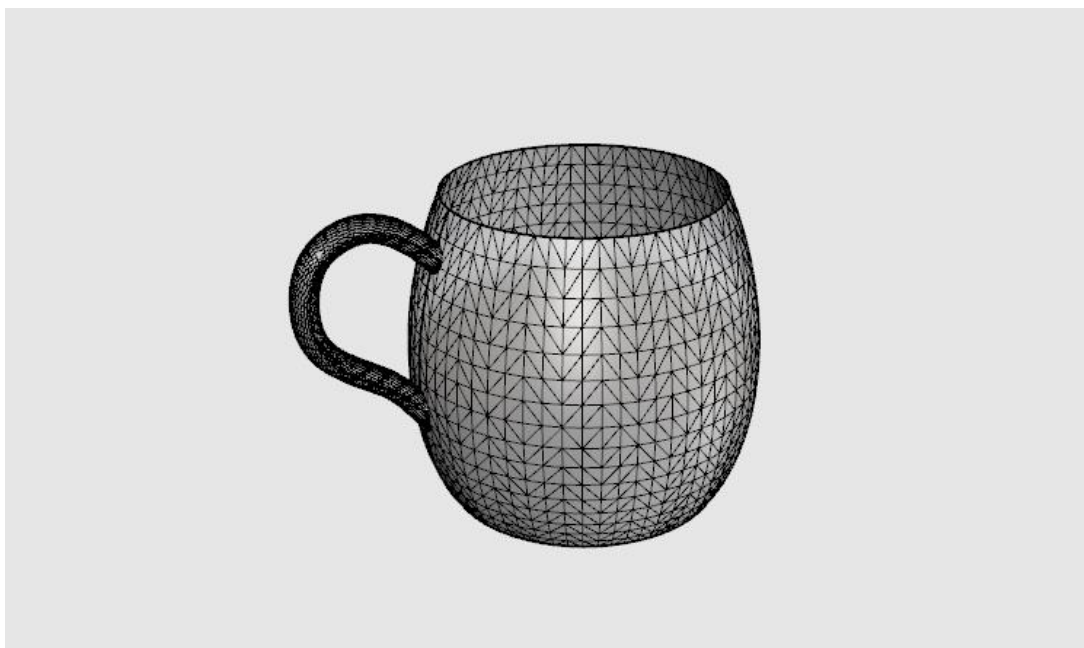
#### 4.3.1 TIN = Triangulated Irregular Network

Při této reprezentaci, která je nejčastější metodou 3D grafiky, je model popsán nepravidelnou trojúhelníkovou sítí (triangulated irregular network), která je vytvořena z množiny bodů v prostoru a je tvarově optimalizována. Trojúhelníky se používají pro své dobré vlastnosti – na rozdíl od jiných mnohoúhelníků všechny jeho vrcholy vždy leží v rovině. Přesnost modelu je určena počtem trojúhelníků – čím více trojúhelníků, tím jemnější síť a přesnější model, ale také náročnější na paměť počítače.

Platí zde Eulerova rovnost:

$$F + V = E + 2$$

Tedy platí, že součet trojúhelníků, tj. stěn ( $F$  – face) a vrcholů ( $V$  – vertex) se rovná počtu hran ( $E$  – edge) povýšených o dva. Každá hrana musí propojovat dva vrcholy, a stěny a hrany se nesmějí protínat. [4]

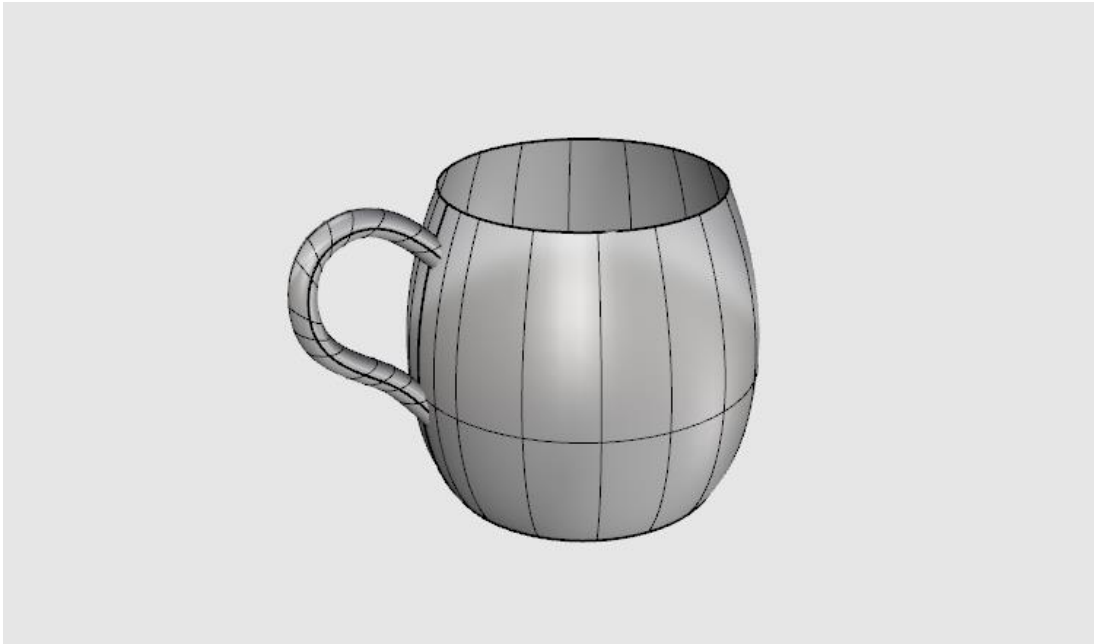


Obrázek 6: Objekt v TIN reprezentaci

#### 4.3.2 NURBS = Non-Uniform Rational B-Spline

Při neuniformní racionální B-spline reprezentaci jsou objekty definovány pomocí sítě matematických křivek, díky nimž je výsledný model přesný, a zároveň nenese o sobě příliš velké množství informací. Křivky jsou definovány pomocí řídicích uzlů a jejich vah.

NURBS modely jsou oproti TIN modelům přesnější, mají hladký povrch bez ostrých přechodů, lze tak vytvářet i modely s přesně definovaným tvarem. Proto se tato metoda často používá pro modelování v průmyslové výrobě.



*Obrázek 7: Objekt v NURBS reprezentaci*

#### 4.3.3 T-Spline

Reprezentace T-Spline je jedna z nejnovějších metod reprezentace objektů. Objekty jsou, stejně jako u NURBS reprezentace, popsány matematickými křivkami, ale k definování objektu je zapotřebí mnohem méně křivek. Jedná se o zobecnění NURBS – v řídicích sítích je povolena existence spoje ve tvaru písmene T, což umožňuje redukci potřebných křivek a lokální zjemnění modelu.

#### 4.4 Textury

Abychom vytvořenému modelu dodali optické vlastnosti a barvu, je nutné ho otexturovat. Texturování je v podstatě potažení 3D modelu texturou, tedy obrázkem (fotografií), který dotváří iluzi reálného objektu. Důležité je i správné mapování, aby byla použita textura ve správném měřítku a s odpovídajícím poměrem stran.

Textury mohou být plošné (dvoudimenzionální), tj. klasické obrázky dodávající objektu pouze barvu, nebo objemové (trojrozměrné), díky kterým objekt navíc získává prostorové vlastnosti.

Pokud chceme použít fotografii jako texturu, je vhodné dodržovat některá základní pravidla. Fotografie je nutné nejprve upravit v grafickém editoru. U fotografie se provádí korekce perspektivy (např. objekty focené z pohledu je nutné vhodně roztáhnout, aby textura odpovídala pohledu zepředu).

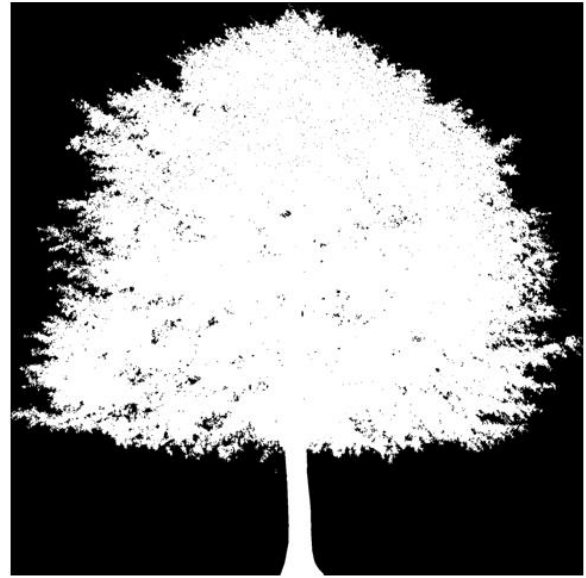
Pro „dlaždicové“ opakující se fotografie se vytváří bezešvé textury, u kterých je důležité odstranit rušivé prvky jako je výrazný list či kamínek – při opakování by to působilo nereálně (např. při texturování dlažby použijeme texturu s malým vzorkem dlaždic, kterou budeme opakovat, proto na sebe musí textury ze všech stran navazovat). Postup tvorby bezešvé textury je vysvětlen na obrázku.



Obrázek 8: Vytváření textury dlažby (1. fotografie, 2. korekce perspektivy, 3. úprava bezešvosti, 4. hotová textura)

Základní textura, která dodává objektu barvy, se nazývá DiffuseMap. Tato textura může obsahovat alfa kanál, který určuje průhlednost textury. Některé programy však nepodporují textury s alfa kanálem a musí být vytvořena speciální textura, která určuje průhlednost. Tato textura se nazývá Transparency Map (černobílá textura s obrysem objektu; černé plochy definují průhledná místa, naopak bílé plochy nesou barvu z Diffuse Map).

Pro vytvoření plastického efektu se používají Bump, Normal a Displacement mapy. Pomocí těchto map lze například vytvořit cihlovou zeď, kde cihly opticky vystupují do prostoru a spáry působí jako hlubší.



*Obrázek 9: Textura stromu s alfa kanálem*

## 3D modelovací program Rhinoceros

### 4.5 Rhinoceros

Rhinoceros je konstrukční 3D modelovací program, který je schopný vytvářet velmi přesné modely. Základním modelovacím prvkem jsou NURBS křivky, které umožňují přesné vytvoření požadovaného tvaru tělesa. Tento program je na trhu od roku 1998.

Pro tuto práci byl Rhinoceros vybrán z důvodu, že je na Fakultě dopravní ČVUT v Praze již delší dobu využíván a byly v něm řešeny některé projekty, a také proto, že do něj byl Ing. Adamem Orlickým vytvořen plugin umožňující modelování silniční infrastruktury podle české normy, což jiné 3D modelovací programy neumožňují.

Program Rhinoceros 5 není volně dostupný, lze zakoupit tři druhy licencí – ty se liší pouze možnostmi svého využití, funkce nejsou omezené. Jedná se o produkty firmy McNeel. Komerční licence je určena pro firmy a je nabízena za 30 323 Kč. Školní licence stojí 6 171 Kč a mohou ji využívat studenti všech škol akreditovaných u MŠMT (Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy), a to i ke komerčním účelům, dokonce i po ukončení studia. Laboratorní multilicence Lab Kit stojí 31 581 Kč a dá se použít pro 30 počítačů v rámci jedné školní učebny nebo laboratoře.

Výše uvedené licence jsou určeny pro operační systém Windows, pro majitele počítačů s operačním systémem OS (operační systém firmy Apple) existují verze Rhino for Mac, komerční licence pro tento druh se dá pořídit za 22 143 Kč, školní licence Rhino for Mac Educational pak za 6 195 Kč. Rhino pro Mac však není totožné s Rhinem pro Windows, největším nedostatkem je absence podpory zásuvných modulů (pluginů). Většina chybějících funkcí ale podle výrobce bude postupně přidávána formou bezplatných upgrade současné verze. [5]

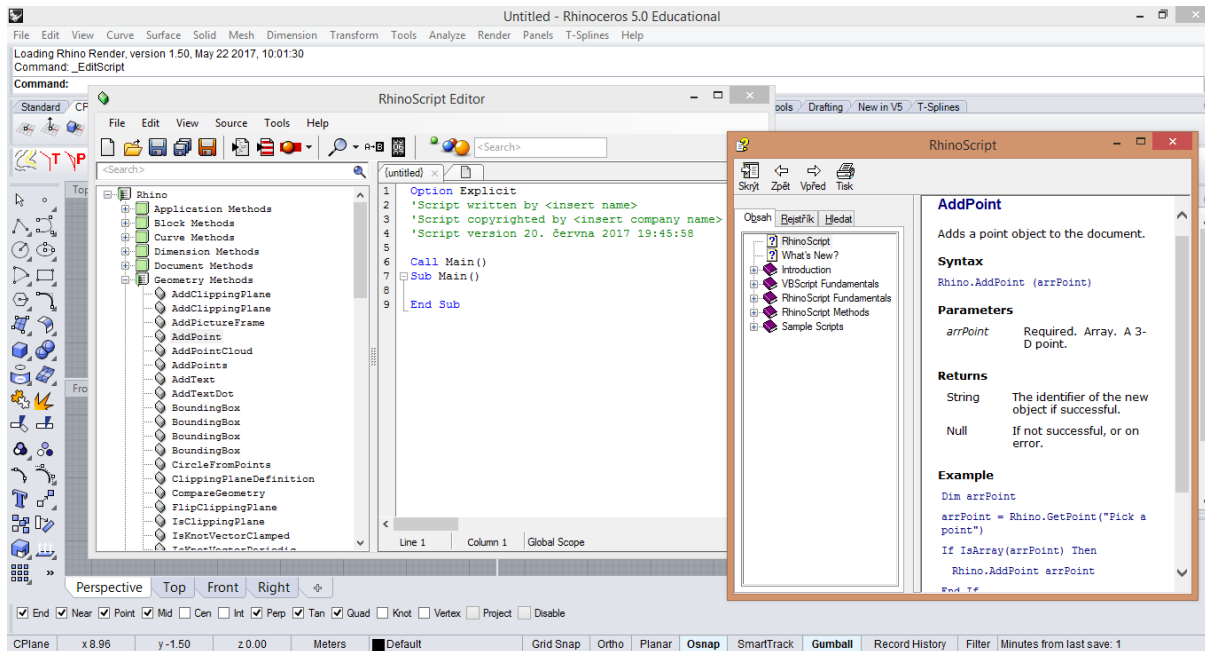
### 4.6 Skriptování

Skriptování je jedním ze způsobů, kterými je možné programy rozšiřovat o nové funkce. S využitím jednoduchého programovacího jazyka, který je navržen tak, aby bylo snadné se s ním naučit pracovat, je možné vyvíjet a doplnit původní program novými funkcemi dle vlastní potřeby. Program napsaný ve skriptovacím jazyce nazýváme skript.

Nejpoužívanějšími skriptovacími jazyky využívanými v 3D modelovacích programech jsou: Python, Ruby, VBScript, Coffee a MAXScript. V programu Rhinoceros je možné vytvářet skripty pomocí dvou jazyků: Python a VBScript. RhinoScript jsou nazývány skripty vytvořené ve skriptovacím jazyce VBScript, které jsou více rozšířené. Tento skriptovací jazyk používá při psaní kódu zjednodušenou syntaxi programovacího jazyka Visual Basic. Při spuštění speciálního okna v programu pro psaní RhinoScriptu se otevře i knihovna



podporovaných příkazů s vysvětlením jejich využití, což velmi usnadňuje samotné psaní skriptu a učení se syntaktických pravidel programovacího jazyka.



Obrázek 10: Ukázka prostředí RhinoScript Editor včetně knihovny příkazů a nápovědy

# PRAKTICKÁ ČÁST

## 5 Plugin pro generování segmentů komunikací

### 5.1 Popis modelovací metody

Obecný princip navrženého systému pro usnadnění vytváření scénářů spočívá ve vytváření virtuální scény sestávající ze silniční komunikace v extravilánu a okolní vegetace, a to pomocí předpřipravených segmentů komunikací, tzv. dlaždic. Tyto dlaždice uživatel skládá za sebe způsobem na principu skládání puzzle a efektivně tak generuje silniční infrastrukturu s okolní vegetací. Základní dlaždice (obsahující silnici a okolní travnaté plochy) jsou předem vymodelovány a připraveny v databázi. Pro správnou funkci metody je nutné, aby všechny dlaždice měly přesně dané rozměry a přesně definované vstupy a výstupy silniční komunikace. Tím je zajištěna možná návaznost mezi jednotlivými segmenty.

### 5.2 Výhody pluginu

Plugin pro vytváření scénářů pro vozidlové simulátory pomocí segmentů silniční infrastruktury má mnoho výhod. Umožňuje tvořit scénáře mnohem rychleji než klasickým modelováním, a to hlavně díky tomu, že základní segmenty jsou již připravené, a skripty pro generování přírody také. Segmenty jsou navíc připraveny tak, aby na sebe perfektně navazovaly. Stačí jen několikrát kliknout a plnohodnotné virtuální prostředí je připravené k použití.

Tato metoda generování má mnohostranné využití, stačí pomocí ní vytvořit základní scénu a vymodelovat do ní další detaily, které jsou potřeba pro konkrétní experiment, pro který tvoříme scénář (např. billboardy). Není tedy třeba se zdržovat zdlouhavým modelováním silnic a lesů, ale je možné využít čas přímo k modelování potřebných detailů.

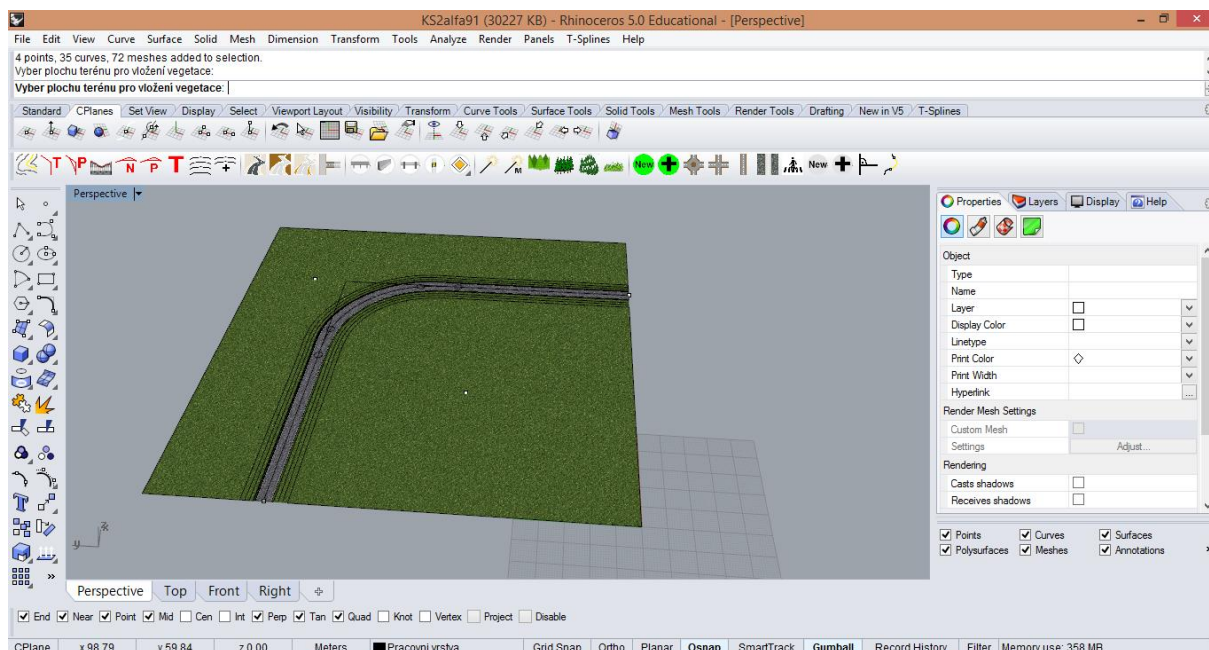
Další nespornou výhodou je uživatelská přívětivost pluginu, díky níž je virtuální scénu schopný vymodelovat i začátečník bez větší znalosti 3D modelování.

### 5.3 Princip pluginu

V rámci této bakalářské práce jsem vytvořila plugin (tj. zásuvný modul) do modelovacího programu Rhinoceros pro tvorbu scénářů pomocí segmentů s pracovním názvem KS software. Součástí tohoto pluginu je databáze objektů pro extravilán (různé modely stromů a keřů, polí, trávy) a databáze základních dlaždic. Každá dlaždice má dané rozměry (100\*100, 100\*200, 200\*200, 200\*300, 300\*300 metrů) a obsahuje část silniční komunikace typu S 7,5, tj. silnice šířky 7,5 metru, zasazené do travnatého terénu, přičemž na každé dlaždici je přesně dáno umístění začátku a konce komunikace (střed je 50 metrů od okraje dlaždice),

aby byla zajištěna přesná návaznost dlaždic na sebe. Z téhož důvodu jsou také všechny dlaždice modelovány v rovině.

### 5.3.1 Základní dlaždice



Obrázek 11: Ukázka jedné ze základních dlaždic – dlaždice se zatáčkou R50

Pro otestování funkčnosti systému jsem vytvořila 16 dlaždic, mezi které patří tři silnice přímé, z toho jedna s přerušovanou středovou čarou umožňující předjíždění, jedna s plnou čarou a jedna s nájezdem na polní cestu, která slouží jako prostředek k vizuálně lepšímu oddělení např. lesa od pole. Dále je v databázi 8 typů silničních oblouků o různém poloměru osy komunikace, od poloměru s rádiusem R30 až po R220, všechny jsou modelované jako silnice se zákazem předjíždění, tedy s plnou čarou. Další dlaždice je „Esko“, tedy dva po sobě jdoucí protisměrné oblouky o poloměru R50. V databázi jsou také dvě křižovatky, tříramenná a čtyřramenná, a dva přechody mezi městem a extravilánem obsahující rozšíření dláždění při vjezdu do města. Všechny použité oblouky jsou modelovány v úhlu 90°, aby byla zajištěna návaznost dlaždic. Každá z vytvořených silnic je osazena směrovými sloupky.

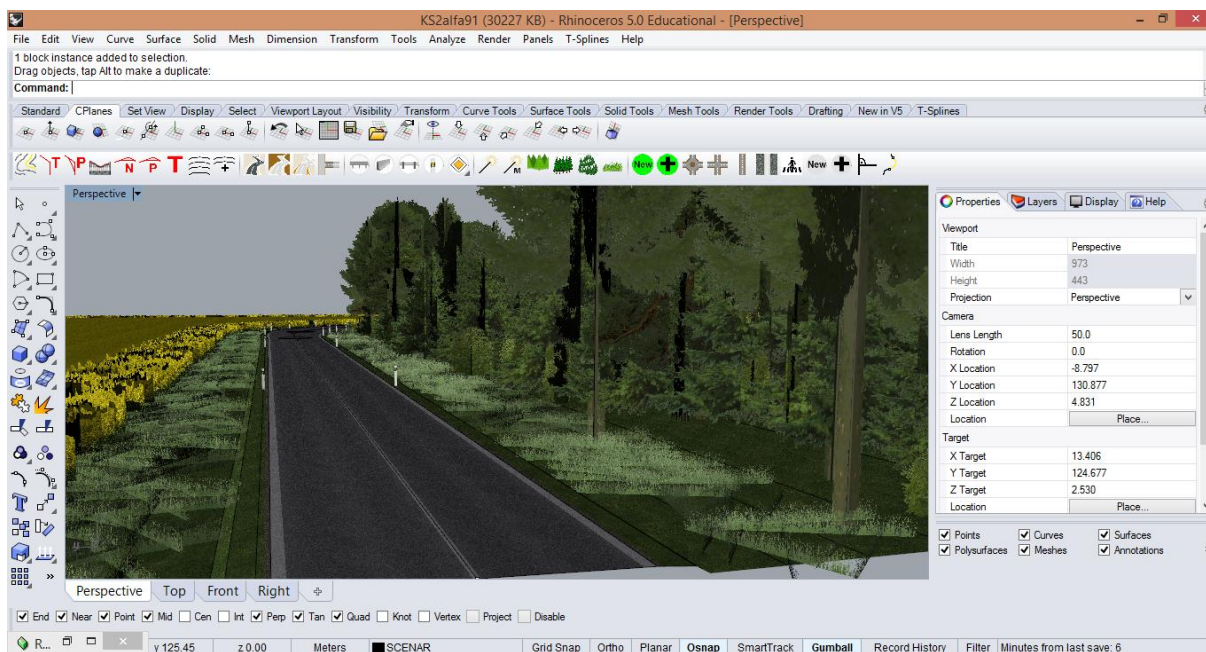
Tabulka vytvořených základních dlaždic je součástí přílohy.

Silniční komunikace na dlaždicích jsem modelovala s využitím pluginu RoadCreator for Rhino, který vytvořil Ing. Adam Orlický v rámci své diplomové práce s názvem „Automatická tvorba silniční infrastruktury ve 3D pro vozidlové simulátory“, silnice tedy odpovídají české technické normě ČSN 73 6101 – Projektování silnic a dálnic a technickým podmínkám.

### 5.3.2 Typy vegetace

Vytvořený plugin umožňuje také vytváření vegetace podél komunikace. Připravila jsem do databáze různé typy vegetace, které mohou být podél komunikace automaticky generovány. Jedná se o několik typů osazení terénu po stranách silnice, ze kterých si uživatel vybírá. Na výběr je několik typů lesů, které jsou vytvořeny skládáním několika druhů stromů a keřů, dále je v databázi řepkové pole či pole s orbou.

Tabulka vytvořených typů vegetace je součástí přílohy.

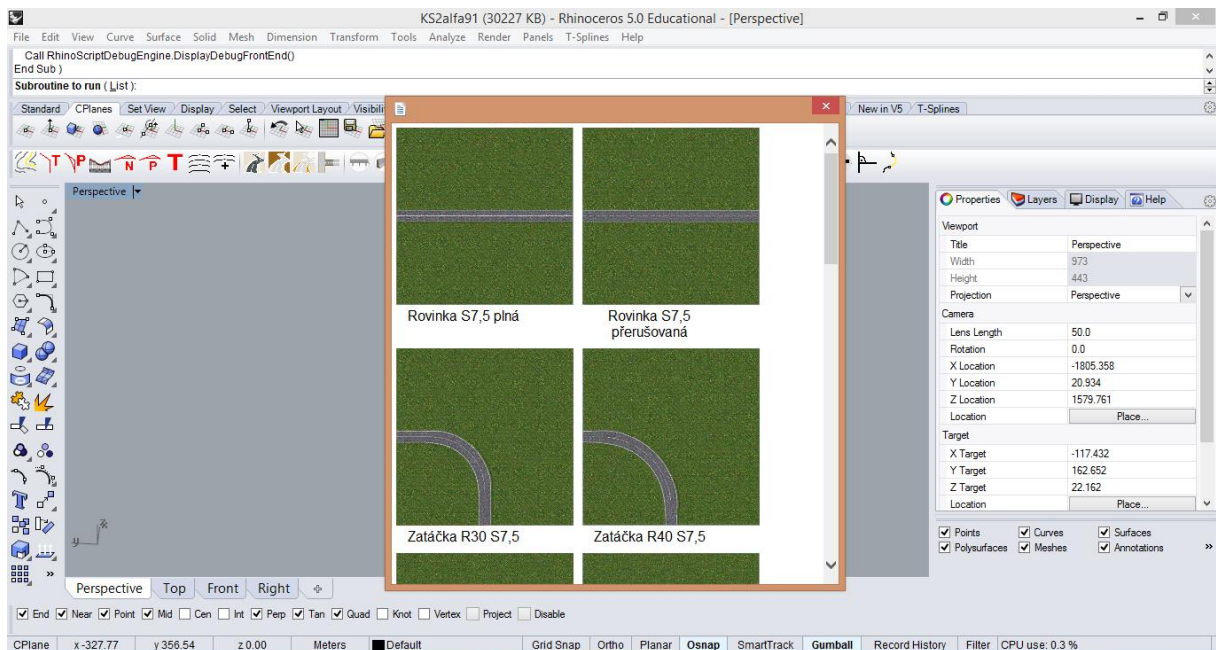


Obrázek 12: Ukázka vegetace: vlevo řepkové pole, vpravo jehličnatý les

### 5.4 Funkce pluginu

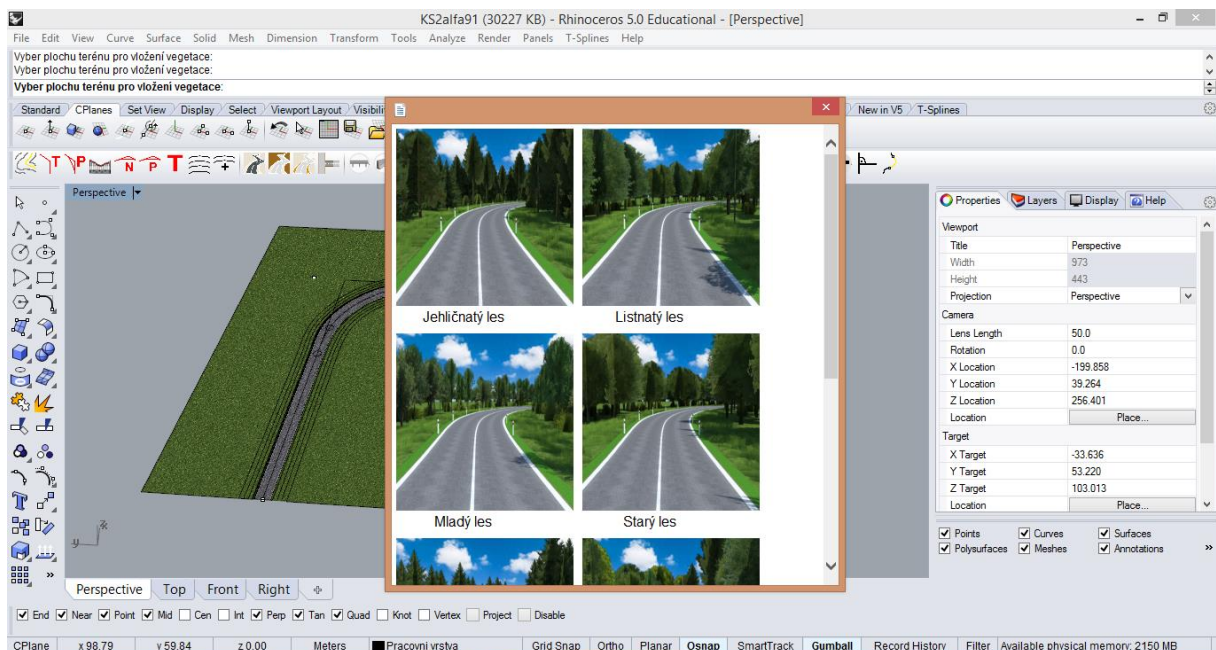
Plugin jsem připravila tak, aby jeho použití bylo co nejvíce intuitivní. Jeho ovládání tak spočívá především ve vybírání předpřipravených modelů z databáze podle obrázků s popisky v HTML rozhraní.

Po spuštění pluginu se uživateli zobrazí okno pro výběr dlaždice s náhledem, jak základní dlaždice vypadá a jak se jmenuje. Uživatel si vybere, kterou dlaždici chce použít a kliknutím na ni ji vybere.



Obrázek 13: Výběr dlaždice

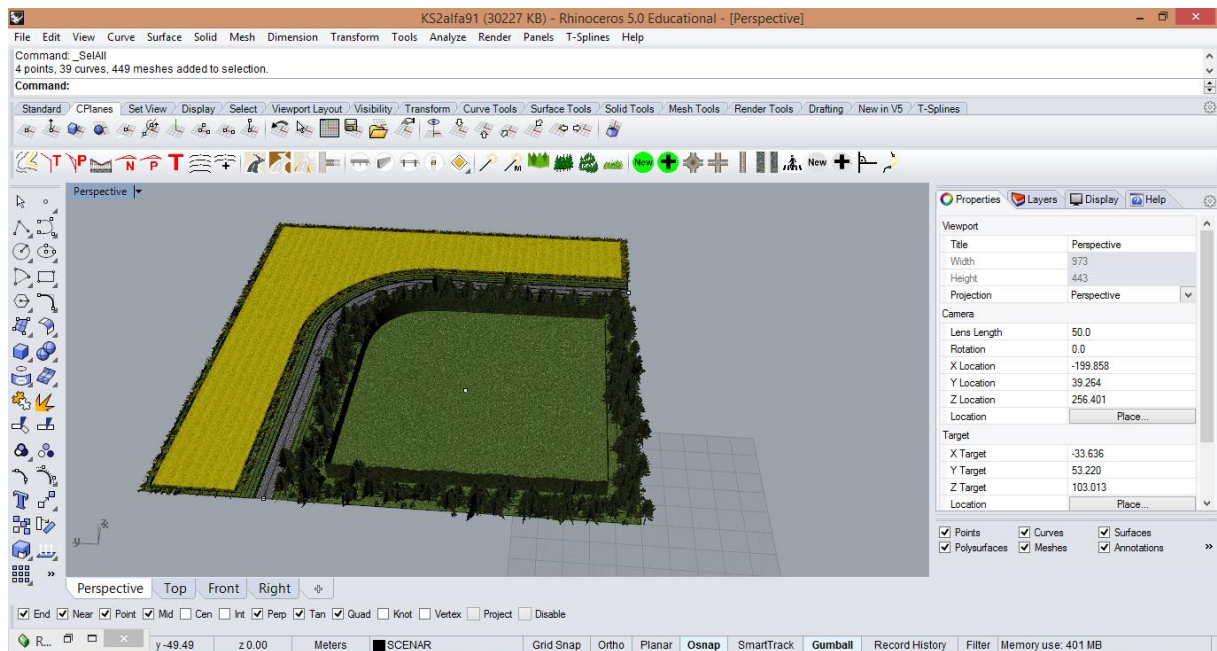
Vybraná dlaždice se mu zobrazí v modelovacím prostředí a v příkazovém řádku se zobrazí pokyn: „Vyber plochu terénu pro vložení vegetace“. Uživatel je tímto vyzván, aby kliknul na plochu po jedné ze stran silnice. Poté se zobrazí další okno, v němž si uživatel zvolí, jaký typ vegetace chce na této ploše vymodelovat (různé druhy lesů, řepka či orba). V tomto okně se opět zobrazují náhledy a názvy.



Obrázek 14: Výběr typu vegetace

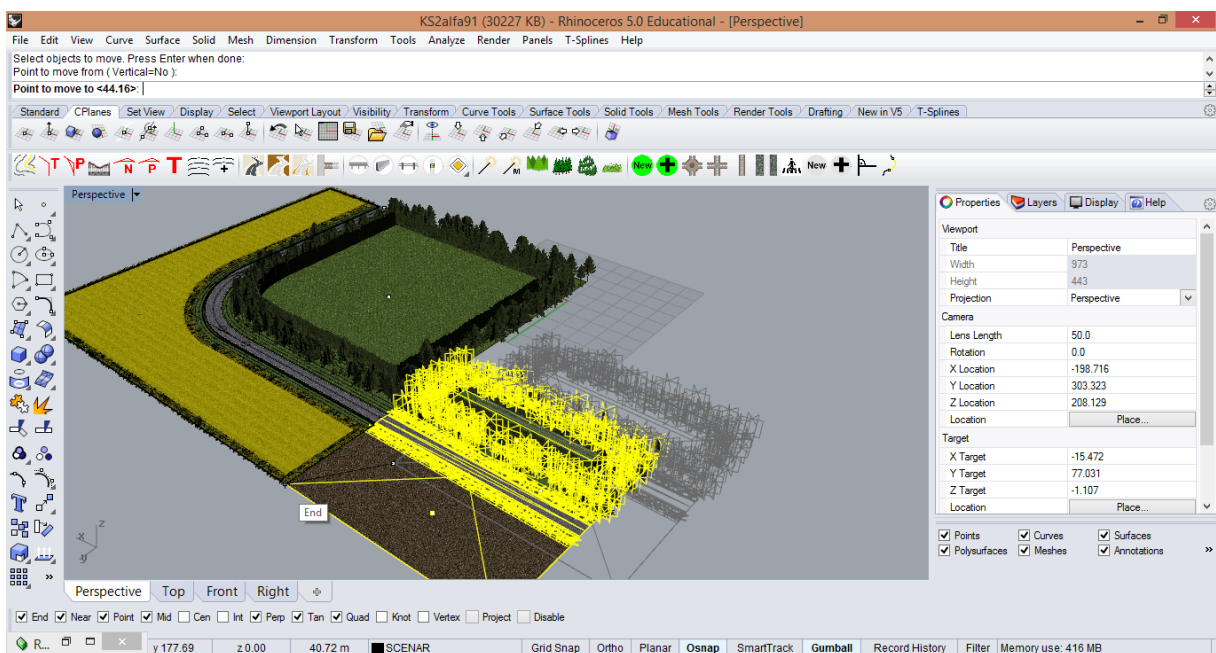
Po výběru kliknutím na daný obrázek se vymodeluje vybraný typ vegetace a opět se zobrazí pokyn k vybrání plochy a postup se opakuje, dokud nejsou vybrány a osazeny všechny plochy na dané dlaždici (v případě rovinky a zatáček jsou plochy dvě – na obou

stranách silnice, v případě T-křižovatky jsou tři atd.). Nakonec se celá dlaždice uloží do jednoho bloku, aby s ní mohl uživatel snadno manipulovat jako s celým celkem, a také proto, aby ji program dokázal vykreslovat rychleji.

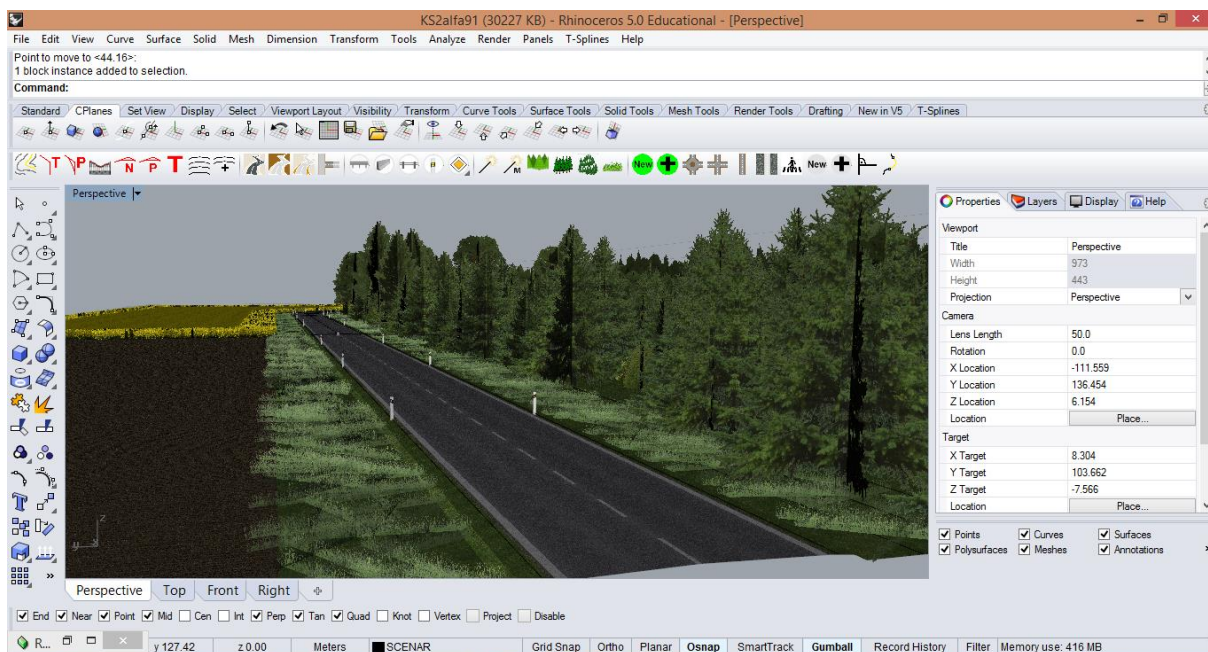


Obrázek 15: Hotová dlaždice

Po vytvoření jedné dlaždice může uživatel spustit plugin znovu a pokračovat v modelování dalších dlaždic a s využitím příkazu Move je skládat za sebe, a postupně tak vytvářet virtuální scénu pro experiment ve vozidlovém simulátoru.



Obrázek 16: Napojování dvou dlaždic



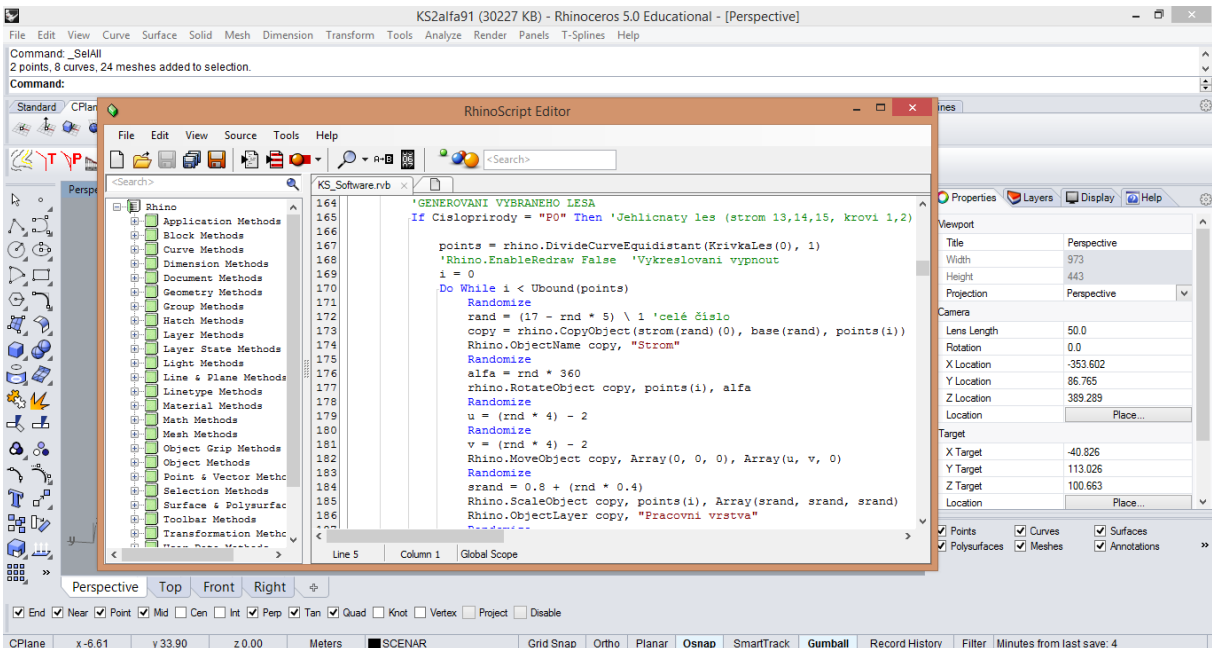
Obrázek 17: Tvorba scénáře napojováním dlaždic

## 5.5 Použité metody

Nejprve jsem vymodelovala všechny základní dlaždice, tj. travnaté plochy s různými typy částí silniční komunikace, rozmístila je do vrstev a každou označila názvem dané dlaždice, aby s nimi bylo možné dále snadno pracovat. Na každé dlaždici jsem připravila také plochy kolem silniční komunikace, křivky pro vkládání trávy a lesa, bod ve středu každé plochy pro jednodušší generování objektů a kulisy pro tvorbu lesů, řepky a orby (ty jsou schované ve vrstvě Kulisy).

Dále jsem vytvořila vrstvu obsahující databázi objektů, ve které jsou na přesně určených místech umístěny stromy, keře atd., přičemž každý objekt má i svůj počáteční bod. Všechny potřebné objekty mají také přesně dán svůj název pro snazší práci s nimi. Nakonec jsem napsala skript, pomocí kterého bude uživatel tyto dlaždice vybírat a dotvářet je podle vlastních potřeb.

Plugin, který jsem v rámci této bakalářské práce vytvořila, je napsaný pomocí programovacího jazyka RhinoScript. Celý skript je v práci přepsán formou pseudokódu. Pseudokód je neformální přepis kódu, který zjednodušeně popisuje algoritmus funkce, k jeho čtení není potřeba znalost daného programovacího jazyka a jeho syntaktických pravidel.



Obrázek 18: Ukázka skriptu

## 5.6 Pseudokód

Hlavní kód skriptu vytvořeného pomocí editoru RhinoScript Editor jsem přepsala do zjednodušené formy pomocí pseudokódu. Pseudokódem jsou popisovány pouze funkční části kódu, jsou vynechány příkazy usnadňující modelování a orientaci v modelu (zapínání/vypínání vrstev, viditelnosti atd.).

Modely trávy jsou generovány na dvou křivkách podél silnice, a to po 80 centimetrech, protože jsem na základě zkoušení různých vzdáleností došla k tomu, že takto vytvořená tráva působí nejvěrohodněji. Ze stejných důvodů je při generování lesů zvoleno odsazení druhé a třetí křivky oproti první o 5 a 8 metrů. Každý les je tvořen třemi řadami stromů a svislou kulisou, která je umístěna za třetí stromovou řadou, což vytváří dojem hustého lesa, který zdánlivě pokračuje do dálky. Stromy jsou na křivkách generovány po náhodné vzdálenosti od 1 do 15 metrů, tedy průměrně 7,5 metru, což je ideální vzdálenost pro přirozeně vypadající les.

Řepka je generována ve dvou řadách, druhá křivka je oproti první odsazena o 2,3 metru a za ní je umístěna vodorovná kulisa ve výšce 1 metr nad povrchem dotvářející dojem velkého řepkového pole sahajícího do dále. Orbu tvoří pouze vodorovná kulisa ve výšce 0,1 metru nad povrchem.

Jednotlivé typy lesů se všechny generují obdobným způsobem (liší se hlavně výběrem jiných stromů a jiným koeficientem posouvání a zvětšování), proto je zde popsán kód pouze na jeden typ, a sice generování jehličnatého lesa.



```

1 //Výběr dlaždice
2 Dlaždice = vyber dlaždici z nabídky přes HTML rozhraní //uživatel klikne na obrázek
3 Copy = zkopíruj Dlaždice do vrstvy PRACOVNÍ VRSTVA
4 Plocha(p) = načti plochy pro tvorbu vegetace dle názvu Dlaždice;  $p_{max}$  = počet ploch
5 //Hlavní algoritmus
6  $p = 0$ 
7 Do While  $p < p_{max}$  //opakuje se pro každou plochu na dlaždici
8 //Výběr plochy – uživatel klikne na plochu
9 Křivka tráva 1, Křivka tráva 2, Křivka les = načti křivky dle názvu objektu Plocha(p)
10 Střed = načti bod středu objektu dle názvu Plocha(p)
11 //Výběr typu vegetace na dané ploše
12 Příroda = vyber přírodu z nabídky přes HTML rozhraní //uživatel klikne na obrázek
13 //Generování trávy – tráva je součástí každého typu vegetace
14 trávamodel = načti objekt trávy dle názvu z databáze
15 Points(i) = rozděl Křivka tráva 1, Křivka tráva 2 na body po 0,8 metru,  $i_{max}$  = počet bodů
16  $i = 0$ 
17 Do While  $i < i_{max}$  //opakuje se pro každý bod na obou křivkách
18 tráva = zkopíruj objekt trávamodel na bod Points(i)
19 rnd = generuj náhodné číslo od 0 do 1
20 pootoč objekt tráva o  $(360 * rnd)$  //otočení modelu trávy v náhodném úhlu  $\langle 0;360^\circ \rangle$ 
21  $i = i + 1$ 
22 Loop
23 //Generování vybraného typu přírody
24 If Příroda = P0 Then //každý typ přírody má přiřazené číslo P0 až P7
25 //Tvorba jehličnatého lesa
26 strom(s) = načti objekty dle názvu z databáze
27 Points(i) = rozděl Křivka les na body po 1 metru,  $i_{max}$  = počet bodů
28  $i = 0$ 
29 Do While  $i < i_{max}$  //opakuje se pro každý bod na křivce
30 rnd = generuj náhodné číslo od 0 do 1
31 //jehličnaté stromy mají číslo 12 až 17
32 copy = zkopíruj objekt strom((17 - rnd*5)\1) na bod Points(i)
33 //otočení modelu stromu v náhodném úhlu  $\langle 0;360^\circ \rangle$ 
34 pootoč copy o  $(360 * rnd)$ 
35 //posunutí modelu stromu o náhodnou vzdálenost  $\langle -2;2 \rangle$ 
36 posuň copy ve směru X, Y o  $((rnd * 4)-2)$ 
37 //zvětšení/zmenšení modelu stromu v náhodném poměru  $\langle 0,8;1,2 \rangle$ 
38 zvětši copy v měřítku  $(0,8 + (rnd * 0,4))$ 
39 //náhodné odsazení stromů na křivce, průměrně 7,5 metru od sebe
40 irand =  $(rnd * 15) \setminus 1$ 
41  $i = i + irand$  //bod pro generování dalšího stromu bude o 1 až 15 metrů dál
42 Loop
43 Odsazenáhranice = odsad' Křivka les o 5 a o 8 metrů k bodu Střed
44 postupuj stejně jako u Křivka les (27-42) //les se generuje ve třech křivkách
45 Sloučeno = zkopíruj copy do vrstvy PRACOVNÍ VRSTVA

```

```

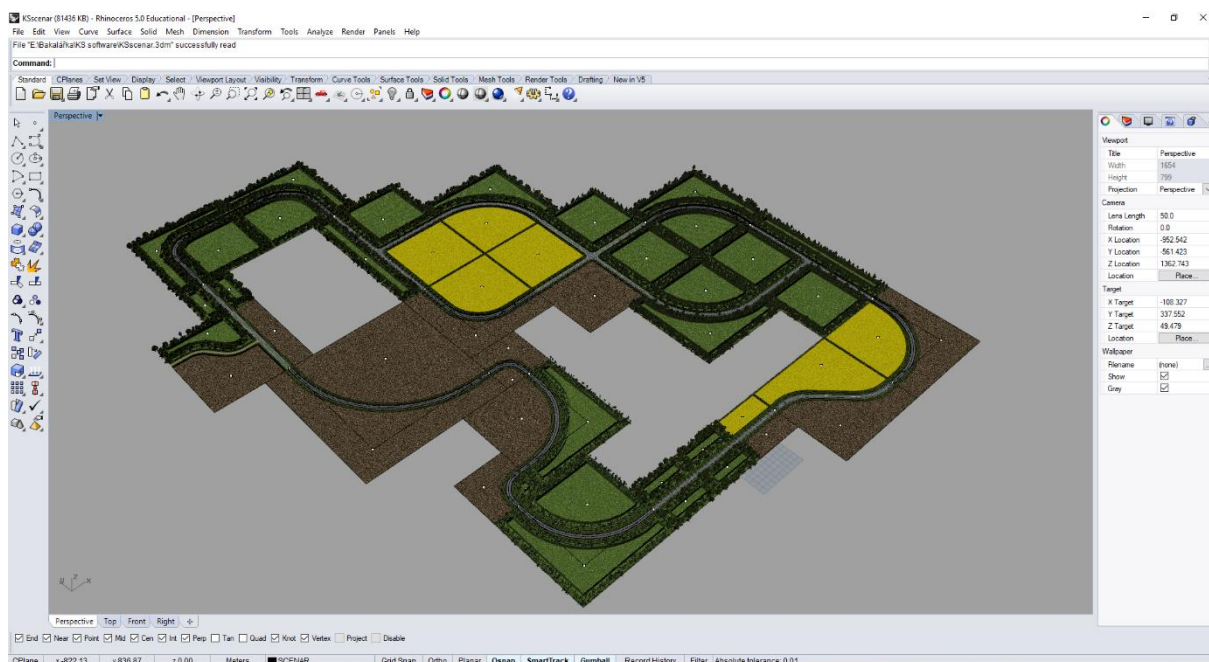
46     Kulisa = načti objekt Jehl dle názvu z vrstvy KULISY
47     Kulisacopy = zkopíruj Kulisa do vrstvy PRACOVNÍ VRSTVA
48     Else If Příroda = P1 Then
49         //Podobný postup pro listnatý les (řádky 26-47) - stromy číslo 1 až 12
50     Else If Příroda = P2 Then
51         //Podobný postup pro mladý les (řádky 26-47) - stromy číslo 8 až 12
52     Else If Příroda = P3 Then
53         //Podobný postup pro starý les (řádky 26-47) - stromy číslo 1 až 7
54     Else If Příroda = P4 Then
55         //Podobný postup pro smrkový les (řádky 26-47) - strom číslo 13
56     Else If Příroda = P5 Then
57         //Podobný postup pro smíšený les (řádky 26-47) - stromy číslo 1 až 15
58     Else If Příroda = P6 Then
59         //Tvorba řepkového pole
60         řepkamodel = načti objekt dle názvu z databáze
61         Points(i) = rozděl Křivka les body po 1 metru,  $i_{max}$  = počet bodů
62          $i = 0$ 
63         Do While  $i < i_{max}$  //opakuje se pro každý bod na křivce
64             copy = zkopíruj objekt řepkamodel na bod Points(i)
65             rnd = generuj náhodné číslo od 0 do 1
66             pootoč copy o  $(360 * rnd)$  //otočení modelu řepky v náhodném úhlu  $\langle 0;360^\circ \rangle$ 
67              $i = i + 1$ 
68         Loop
69         Odsazenáhranice = odsad Křivka les o 2,3 metru k bodu Střed
70         postupuj stejně jako u Křivka les (61-68) //řepka se generuje ve dvou křikách
71         Sloučeno = zkopíruj copy do vrstvy PRACOVNÍ VRSTVA
72         Řepkovépole = sluč objekty sloučeno
73         Kulisa = načti objekt RepkaPl dle názvu z vrstvy KULISY
74         Kulisacopy = zkopíruj Kulisa do vrstvy PRACOVNÍ VRSTVA
75     Else If Příroda = P7 Then
76         //Tvorba orby
77         Kulisa = načti objekt Pole dle názvu z vrstvy KULISY
78         Kulisacopy = zkopíruj Kulisa do vrstvy PRACOVNÍ VRSTVA
79     End If
80      $p = p + 1$ 
81 Loop
82 //Sloučení do bloku
83 Blockobjects = vyber všechny objekty
84 Block = přidej blok a vlož do něj Blockobjects
85 zkopíruj Block do vrstvy SCÉNÁŘ

```

## 6 Experiment

### 6.1 Tvorba scénáře

Pro účely experimentu jsem pomocí nového pluginu v programu Rhinoceros vytvořila virtuální scénu. V této scéně byly využity všechny dlaždice z databáze s různými kombinacemi druhů vegetace, přičemž byly použity všechny typy vegetace pro otestování funkčnosti pluginu. Tímto způsobem byla vytvořena během 45 minut funkční scéna do vozidlového simulátoru, která může být bez dalších úprav použita pro navržený experiment. Scéna se skládá z okruhu o délce 1.5 km se třemi průsečnými křižovatkami.



Obrázek 19: Vytvořený scénář

### 6.2 Testování kvality scénáře

Subjektivní vnímání vizuální kvality virtuálního prostředí závisí kromě vytvořených modelů a textur ve značné míře také na použitém engine, ve kterém scénář prezentujeme. Vytvořený scénář byl proto otestován třemi způsoby.

Prvním způsobem je testování scénáře pomocí engine využívaného na Fakultě dopravní ČVUT v Praze. Postup exportu modelu do engine je zdouhavý a uživatelsky málo přívětivý. Vizuální kvalita vytvořeného virtuálního prostředí je v porovnání s možnostmi dnešní doby velmi zastaralá. Hlavní nevýhodou tohoto virtuálního prostředí je absence stínů a statické chování modelů (chybí pohyb trávy a stromů ve větru). Tyto nedostatky jsou způsobeny starými základy engine. Hlavní výhodou tohoto engine je provoz, který byl do engine doprogramován.



*Obrázek 20: Testování pomocí školního enginu*



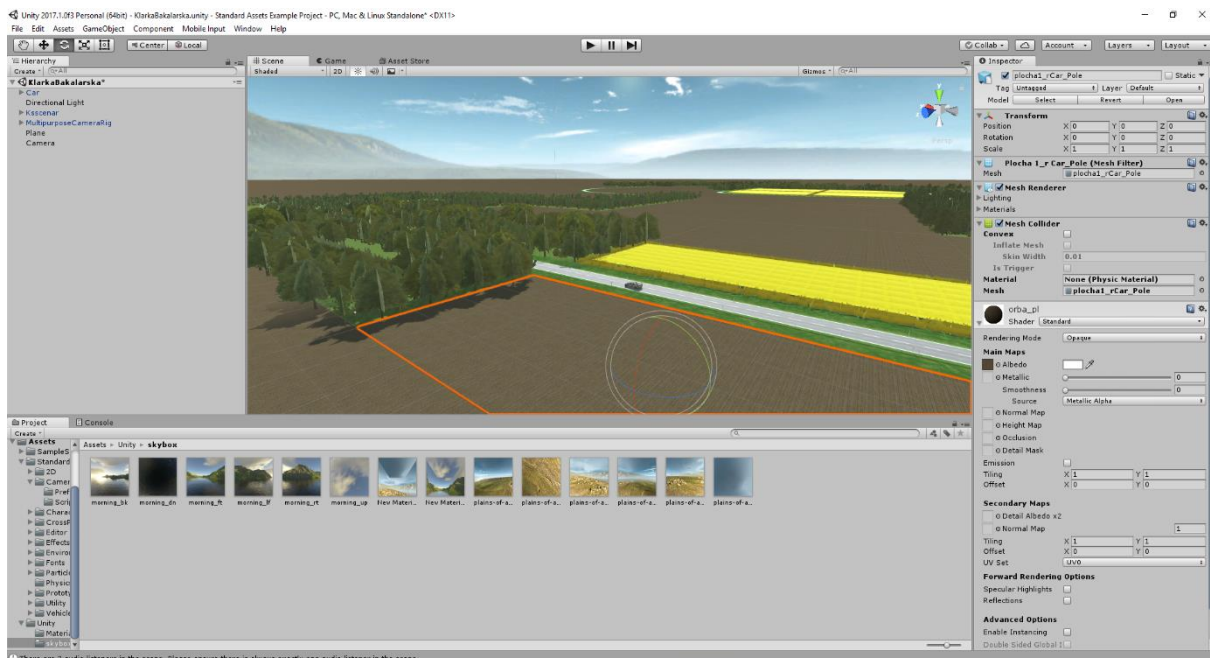
*Obrázek 21: Testování pomocí školního enginu – screenshot*

Pro srovnání byl vytvořený scénář testován také v enginu Unity. Tento engine nabízí uživatelsky přívětivý editor, který umožňuje provádět úpravy virtuálního prostředí pomocí jednoduchých změn parametrů. Tyto změny je navíc možné sledovat v reálném čase. Největší výhodou tohoto enginu je automatické generování stínů a možnost vkládání skyboxů, což scénáři velmi přidává na realističnosti.



Obrázek 22: Testování pomocí engine Unity

Součástí editoru engine je však navíc vlastní modul pro editaci vegetace, a proto byla otestována vytvořená scéna také s využitím vegetace vytvořené přímo v engine Unity.



Obrázek 23: Ukázka prostředí engine Unity



Obrázek 24: Testování pomocí engine Unity s jeho modely vegetace

Pro vytvoření vegetace pomocí vestavěného modulu engine vyžaduje jen textury vložené uživatelem. Následně jsou s využitím těchto textur automaticky generovány modely trávy a stromů. Například travnatou plochu lze snadno vytvořit pomocí štětce, kterým uživatel přejede po ploše, kde chce modely trávy vygenerovat. Výhodou této metody je, že vygenerovaná tráva není statická, ale lze nastavit, aby se pohybovala ve větru, což vytvořené virtuální prostředí ještě více přibližuje k realitě. Další výhodou této metody je to, že engine je pro tyto modely optimalizován a díky tomu disponuje vyšší obnovovací frekvencí.

### 6.3 Výsledky testování

Samotný model scénáře z hlediska jeho vizuální hodnoty po provedeném otestování neobsahuje žádné nedostatky a jeho kvalita je srovnatelná se scénáři, které byly na Fakultě dopravní v předešlých letech vytvořeny. Nejkritičtější bod, přechod mezi dlaždicemi, není v žádném z testovaných engineů rozeznatelný, napojené dlaždice tedy perfektně na sebe navazují a tvoří jednolitě prostředí. Vytvořený plugin lze tedy označit za funkční. Je třeba zmínit i dostatečnou rozmanitost vytvořeného prostředí, a to díky velkému množství kombinací dlaždic a vegetace. Největší výhodou však je rychlost tvorby scénářů, kdy bylo možné testovací scénář s okruhem o délce 1.5 km vytvořit během 1 hodiny.

Shrnutí výsledků testování kvality vytvořeného scénáře v jednotlivých enginech je vyobrazeno v následující tabulce, kde je popsáno, který engine podporuje jednotlivé funkce zlepšující realističnost a kvalitu scénáře.

Tabulka 1: Výsledky testování

	Stíny	Dynamika modelu	Skybox	LOD	Provoz	Animace	Částicové modelování
Engine FD + scénář	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗
Engine Unity + scénář	✓	✗	✓	✓	✗ <sup>*</sup>	✓	✓
Engine Unity + scénář + vegetace	✓	✓	✓	✓	✗ <sup>*</sup>	✓	✓

\* - funkci vkládání provozu lze do enginu Unity doprogramovat

## 7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit metodu pro efektivní generování silniční infrastruktury pomocí segmentů komunikací.

V úvodních kapitolách byla objasněna problematika HMI a vozidlových simulátorů. Byly popsány experimenty, které lze na těchto simulátorech provádět a jaká data z nich lze získat. Pro vozidlový simulátor je třeba vytvořit virtuální scénu, a to s využitím 3D modelování a počítačové grafiky, jejíž základní pojmy a principy byly také v práci vysvětleny. Je přitom nutné využívat takové 3D modelovací programy, které umožňují export vytvořeného modelu do vozidlového simulátoru. Vytvořený scénář je nejčastěji definovaný metodou TIN využívající síť trojúhelníků definujících povrch objektu. Scénář musí být podrobný, aby na řidiče působil co nejvíce realisticky, ale použité modely zároveň musí být co nejjednodušší (s minimálním počtem trojúhelníků), aby se dostatečně rychle vykreslovaly. Je tedy nutné najít optimální cestu pro vytvoření kvalitního výsledného scénáře.

V dalších kapitolách bylo popsáno vytvoření pluginu pro 3D modelovací program, který umožňuje tvorbu scénáře pro vozidlový simulátor generováním segmentů komunikací, které jsou předem připraveny v databázi. Každý segment je dále možné prostřednictvím tohoto pluginu osázet několika druhy vegetace, které jsou rovněž připraveny v databázi. Obě tyto databáze byly vytvořeny v rámci této bakalářské práce. Plugin byl navržen tak, aby jeho ovládání bylo uživatelsky přívětivé a nenáročné.

Jako hlavní program, pro který je plugin navržen, byl vybrán 3D modelovací program Rhinoceros, který umožňuje tvorbu nových pluginů pomocí vlastního editoru RhinoScript Editor, jehož součástí je i knihovna příkazů usnadňující psaní skriptu. Skript popisující nové funkce pluginu je v tomto editoru psán pomocí jazyka VBScript.

Plugin pro generování silniční infrastruktury byl nazván KS software a je tvořen jednou hlavní funkcí, jejíž součástí je propojení s HTML rozhraním, v němž si uživatel podle obrázků vybírá objekty (dlaždice a vegetaci) z databáze. Vytváří tak segmenty komunikací, které pak na principu puzzle skládá za sebe a tvoří rychle a efektivně virtuální scénář pro vozidlový simulátor. Celý skript byl v práci popsán tzv. pseudokódem, což je jednoduchý neformální programátorský jazyk, který objasňuje algoritmus funkce.

Výsledkem práce je funkční plugin, který umožňuje bez větších znalostí 3D modelování vymodelovat kvalitní scénář pro vozidlový simulátor. Největší výhodou této metody je nevyrovnatelná rychlost samotné tvorby scénáře. Podle provedeného experimentu se potvrdilo, že s novým pluginem je možné během 45 minut vytvořit plnohodnotný scénář o



délce 1.5 km, který lze přímo použít pro konkrétní experiment. Úspora času stráveného modelováním je tedy hlavním přínosem této bakalářské práce.

Vytvořený plugin již byl využit pro tvorbu scénáře pro jeden z experimentů prováděných na Fakultě dopravní ČVUT v Praze, a pro jeho efektivitu se jistě stane cenným nástrojem i do budoucna.

Předpokládám, že plugin bude dále rozšiřován, a to hlavně o další databázi dlaždic z prostředí intravilánu a o databázi domů a dalších objektů ve městě. Stejně tak je možné dále rozšiřovat i stávající databáze a zvyšovat tak rozmanitost pluginu a vytvářet nové kombinace dlaždic. Pro zdokonalení je možné přidat také databázi dopravních značek či billboardů.

Jako další rozšíření pak připadá v úvahu funkce generování segmentů silniční infrastruktury v terénu, protože stávající plugin obsahuje dlaždice pouze v rovině.

## 8 Použité zdroje

### 8.1 Literatura

- [1] BOUCHNER, Petr a Stanislav NOVOTNÝ. *DSRG: Experimentální činnost, Interaktivní simulátory dopravních prostředků, Problematika HMI*. Praha, 2017. Ústav dopravních prostředků, Fakulta dopravní, ČVUT.
- [2] NOVOTNÝ, Stanislav. *Vývoj scénářů pro simulátor pro realizaci experimentu*.
- [3] ORLICKÝ, Adam. *Automatická tvorba silniční infrastruktury ve 3D pro vozidlové simulátory*. Praha, 2016. Diplomová práce. Fakulta dopravní, ČVUT. Vedoucí práce Doc. Ing. Stanislav Novotný, Ph.D.
- [4] ŽÁRA, Jiří, Bedřich BENEŠ a Petr FELKEL. *Moderní počítačová grafika*. Praha: Computer Press, 1998. ISBN 80-7226-049-9.

### 8.2 Internetové zdroje

- [5] 3D Software – programy pro 3D grafiku McNeel. *3DSHOP.CZ* [online]. Brno: Dimensio, 2014 [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: <http://www.3dshop.cz/software?mcneel=1>
- [6] Classical LOD algorithms. *Habib's Water Shader* [online]. 2009 [cit. 2017-06-24]. Dostupné z: <http://habib.wikidot.com/techniques>
- [7] Elektrické biosignály lidského těla měřené ISESem. *Souhrnný sborník Veletrhu nápadů učitelů fyziky* [online]. Olomouc: Veletrh nápadů učitelů fyziky 16, 2011 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/16-01-Balek.html>
- [8] Human-machine interface (HMI). *WhatIs.com* [online]. New York: Margaret Rouse, 2016 [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://whatis.techtarget.com/definition/human-machine-interface-HMI>
- [9] Počítačová grafika. *Interdact Online* [online]. Most: Wordpress.com, 2014 [cit. 2017-06-06]. Dostupné z: [http://www.interdact.cz/interdact-online/?page\\_id=786](http://www.interdact.cz/interdact-online/?page_id=786)
- [10] Sky Box – Sunny Day. *OpenGameArt.org* [online]. The Chayed - KIIRA, 2015 [cit. 2017-06-20]. Dostupné z: <https://opengameart.org/content/sky-box-sunny-day>
- [11] *T-Splines* [online]. Utah: Autodesk, 2013 [cit. 2017-06-06]. Dostupné z: <http://www.tsplines.com/>

## 9 Seznam obrázků

Obrázek 1: Simulátor typu CAVE na Fakultě dopravní ČVUT v Praze .....	11
Obrázek 2: Ukázka virtuální scény .....	12
Obrázek 3: Skybox a jeho použití (zdroj: <a href="https://opengameart.org/content/sky-box-sunny-day">https://opengameart.org/content/sky-box-sunny-day</a> ) .....	15
Obrázek 4: LOD (snížení počtu použitých trojúhelníků) (zdroj: <a href="http://habib.wikidot.com/techniques">http://habib.wikidot.com/techniques</a> ) .....	15
Obrázek 5: LOD (objekty s méně trojúhelníky jsou v pozadí) (zdroj: <a href="http://habib.wikidot.com/techniques">http://habib.wikidot.com/techniques</a> ) .....	16
Obrázek 6: Objekt v TIN reprezentaci .....	18
Obrázek 7: Objekt v NURBS reprezentaci .....	19
Obrázek 8: Vytváření textury dlažby (1. fotografie, 2. korekce perspektivy, 3. úprava bezešvosti, 4. hotová textura) .....	20
Obrázek 9: Textura stromu s alfa kanálem .....	21
Obrázek 10: Ukázka prostředí RhinoScript Editor včetně knihovny příkazů a nápovědy .....	23
Obrázek 11: Ukázka jedné ze základních dlaždic – dlaždice se zatáčkou R50 .....	25
Obrázek 12: Ukázka vegetace: vlevo řepkové pole, vpravo jehličnatý les .....	26
Obrázek 13: Výběr dlaždice .....	27
Obrázek 14: Výběr typu vegetace .....	27
Obrázek 15: Hotová dlaždice .....	28
Obrázek 16: Napojování dvou dlaždic .....	28
Obrázek 17: Tvorba scénáře napojováním dlaždic .....	29
Obrázek 18: Ukázka skriptu .....	30
Obrázek 19: Vytvořený scénář .....	33
Obrázek 20: Testování pomocí školního enginu .....	34
Obrázek 21: Testování pomocí školního enginu – screenshot .....	34
Obrázek 22: Testování pomocí enginu Unity .....	35
Obrázek 23: Ukázka prostředí enginu Unity .....	35
Obrázek 24: Testování pomocí enginu Unity s jeho modely vegetace .....	36

## 10 Seznam tabulek

Tabulka 1: Výsledky testování .....	37
-------------------------------------	----

## 11 Seznam příloh

Příloha 1: Připravené typy dlaždic.....	44
Příloha 2: Připravené typy vegetace .....	47

### Obsah CD

#### Plugin

Hlavní skript:

- KS\_Software.rvb

Soubory pro rozhraní HTML:

- index\_venkov\_dlazdice.html
- index\_venkov\_priroda.html
- obrázky dlaždic, vegetace

Výchozí soubor pro použití skriptu v programu Rhinoceros:

- KS.3dm

Scéna vytvořená pro experiment:

- KSscenar.3dm

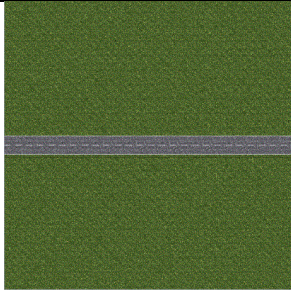
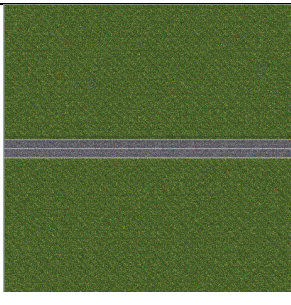
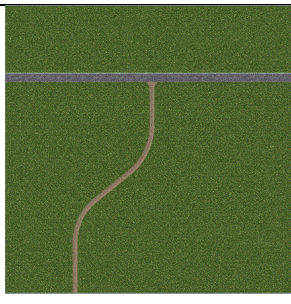
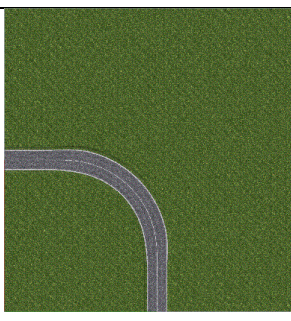
#### Textury

#### Bakalářská práce

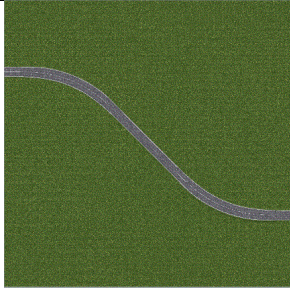

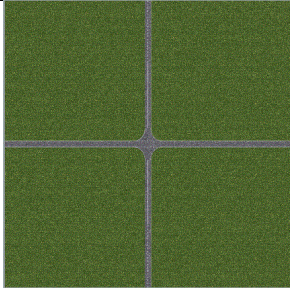
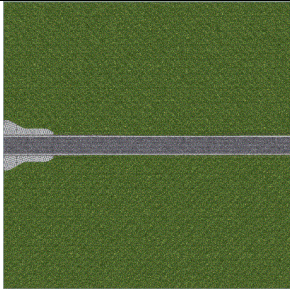
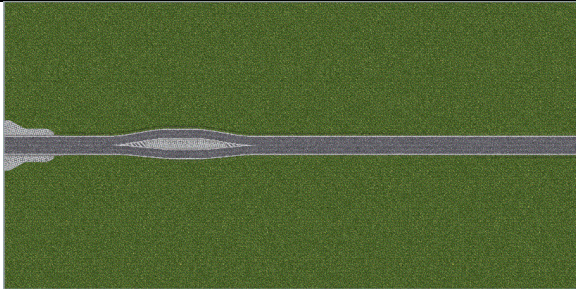
- KS\_Software.pdf

Veškeré obrázky, tabulky a přílohy, které nemají uvedený zdroj, byly vytvořeny autorkou práce.

Příloha 1: Připravené typy dlaždic





Typ dlaždice	Rozměr [m]	Náhled
Rovinka přerušovaná	100*100	
Rovinka plná	100*100	
Rovinka nájezd	200*200	
Zatáčka R30	100*100	
Zatáčka R40	100*100	




Zatáčka R50	200*200	
Zatáčka R80	200*200	
Zatáčka R100	200*200	
Zatáčka R125	200*200	
Zatáčka R130	200*200	
Zatáčka R220	300*300	

Esko R50	200*200	
T-křižovatka	200*300	
X-křižovatka	300*300	
Přechod 1	100*100	
Přechod 2	100*200	



Příloha 2: Připravené typy vegetace

Typ vegetace	Náhled
Jehličnatý les	
Listnatý les	
Mladý les	
Starý les	

<p>Smrkový les</p>	
<p>Smíšený les</p>	
<p>Řepka</p>	
<p>Orba</p>	