



# Fotorealistická vizualizace v automotive – aplikace VRED vs. DELTAGEN

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

B6209 Systémové inženýrství a informatika

*Studijní obor:*

Manažerská informatika

*Autor práce:*

**Nikolas Hák**

*Vedoucí práce:*

Ing. Petr Weinlich, Ph.D.

Katedra informatiky







## Zadání bakalářské práce

# Fotorealistická vizualizace v automotive – aplikace VRED vs. DELTAGEN

*Jméno a příjmení:* **Nikolas Hák**  
*Osobní číslo:* E17000012  
*Studijní program:* B6209 Systémové inženýrství a informatika  
*Studijní obor:* Manažerská informatika  
*Zadávající katedra:* Katedra informatiky  
*Akademický rok:* 2019/2020

### Zásady pro vypracování:

1. Aktuální trendy vizualizací v automotive
2. Aplikace VRED a DELTAGEN
3. Výkon, rychlost, dávkové zpracování renderingů aplikací
4. Render vs. fotografie – porovnání aplikací VRED a DELTAGEN
5. Zhodnocení a doporučení

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

30 normostran  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

- KERLOW, Isaac Victor. 2011. Mistrovství 3D animace: ovládněte techniky profesionálních filmových tvůrců! Brno: Computer Press, Mistrovství. ISBN 978-80-251-2717-9.
- ORŠULÁK, Tomáš a Jan PACINA. 2012. 3D modelování a virtuální realita Ústí nad Labem: Tomáš Mikulenka. ISBN 978-80-904927-4-5.
- CHARVÁT, Martin. 2017. O nových médiích, modularitě a simulaci Praha: Togga. ISBN 978-80-7476-121-8.
- CARDOSO, Jamie. 2017. 3D photorealistic rendering: interiors exteriors with V-Ray and 3ds Max. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-138-78072-9.
- PROQUEST. 2019. Databáze článků ProQuest [online]. Ann Arbor, MI, USA:ProQuest.[cit. 2019- 09-26]. Dostupné z: <http://knihovna.tul.cz>

Konzultant - Ing. Leoš Červený

*Vedoucí práce:*

Ing. Petr Weinlich, Ph.D.  
Katedra informatiky

*Datum zadání práce:*

31. října 2019

*Předpokládaný termín odevzdání:*

31. srpna 2021

prof. Ing. Miroslav Žižka, Ph.D.  
děkan

L.S.

doc. Ing. Klára Antlová, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 31. října 2019

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

30. července 2020

Nikolas Hák



## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá porovnáním fotorealistických vizualizačních aplikací VRED a Deltagen. V teoretické části jsou představeny aktuální trendy vizualizace v automotive odvětví a porovnání programů z pohledu běžného využití uživatelem. Praktická část je zaměřena na porovnání z hlediska výpočetního výkonu aplikací a porovnání renderů s fotografiemi. Závěrem jsou aplikace vyhodnoceny na základě vlastního testování, řízeného rozhovoru a dotazníkového šetření.

### **Klíčová slova**

VRED, Deltagen, fotorealistická vizualizace, renderování, rasterizace, raytracing, virtuální realita, render vs. fotografie, 3D model, HDRI prostředí, virtuální materiály, CAD, pracovní stanice, cluster, dotazník

## **Annotation**

### **Photorealistic visualisation in automotive – applications VRED vs. DELTAGEN**

This bachelor thesis aims to provide comparison of photorealistic visualization software VRED and DELTAGEN. The theoretical part presents current trends in visualization in automotive industry and compares software in terms of regular application by the user. The practical part focuses on comparison with respect to computing power of applications as well as renders with photographs. The final part of the thesis evaluates the above mentioned applications based on own testing procedures, guided interview and questionnaire survey.

### **Keywords**

VRED, Deltagen, photorealistic visualisation, rendering, rasterization, raytracing, virtual reality, render vs. photography, 3D model, HDRI environment, virtual materials, CAD, workstation, cluster, survey



## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Petru Weinlichovi, Ph.D. za jeho trpělivost, ochotu, veškeré cenné rady a čas, který mi věnoval při konzultacích této bakalářské práce. Mé poděkování dále patří zaměstnancům společnosti ŠKODA AUTO a.s., konkrétně Ing. Leoši Červenému a kolegům z oddělení FIE/4 za velkou podporu a rady vedoucí k úspěšnému dokončení této práce. A nakonec bych chtěl poděkovat celé mé rodině a přátelům, kteří mě během studia podporovali.



# Obsah

Seznam obrázků .....	13
Seznam tabulek .....	15
Seznam použitých zkratek .....	16
Úvod .....	17
1 Aktuální trendy vizualizací v automotive .....	18
1.1 Využití vizualizace v automotive .....	18
1.2 Rendering .....	21
1.2.1 Rasterizace .....	21
1.2.2 Ray tracing .....	22
1.3 Virtuální realita .....	24
2 Aplikace VRED a Deltagen .....	28
2.1 Manuál, podpora a dokumentace .....	28
2.2 Import .....	29
2.3 Rozhraní a navigace .....	30
2.4 Manipulace s modelem .....	32
2.5 Materiály .....	33
2.5.1 Aplikace materiálů .....	33
2.5.2 Tvorba a úprava materiálů .....	34
2.5.3 Přepínače .....	35
2.6 Kamera .....	36
2.7 Prostředí .....	36
2.8 Světla .....	37
2.9 Animace .....	38
3 Výkon, rychlost, dávkové zpracování renderingů aplikací .....	40
3.1 Testování na pracovní stanici .....	40
3.1.1 Testovaná data .....	40

3.1.2	Použité materiály .....	41
3.1.3	Testované parametry .....	42
3.1.4	Výsledky materiálů z pracovní stanice.....	43
3.1.5	Textury .....	44
3.2	Testování na výpočetním clusteru .....	45
3.2.1	Testovaná data.....	46
3.2.2	Použité materiály .....	46
3.2.3	Testované parametry .....	46
3.2.4	Deltagen – vypnutý/zapnutý post-processing .....	46
3.2.5	Výsledky z výpočetního clusteru .....	48
4	Render vs. Fotografie – porovnání aplikací VRED a Deltagen.....	50
4.1	Skylight.....	51
4.2	Virtuální fotoaparát .....	52
4.3	Render vs. fotografie .....	52
5	Zhodnocení a doporučení.....	55
5.1	Vlastní poznatky .....	55
5.1.1	VRED.....	55
5.1.2	Deltagen .....	56
5.2	Vyhodnocení dotazníkového šetření .....	57
5.3	Řízený rozhovor .....	61
5.4	Zhodnocení.....	63
	Závěr.....	64
	Seznam použité literatury .....	65
	Seznam příloh.....	68
	Přílohy práce .....	69

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Polygonová síť .....	21
Obrázek 2: Proces rasterizace .....	22
Obrázek 3: Šíření paprsků ve scéně .....	23
Obrázek 4: Vyslání paprsku pixelem v průmětně.....	23
Obrázek 5: Druhy paprsků ve scéně .....	24
Obrázek 6: První využití virtuální reality .....	25
Obrázek 7: Virtuální testování interiéru vozu .....	26
Obrázek 8: Virtuální přejímka vozu .....	26
Obrázek 9: Vlevo rozhraní VRED, vpravo rozhraní Deltagen.....	31
Obrázek 10: Univerzální manipulátor - vlevo Deltagen, vpravo VRED.....	32
Obrázek 11: Textura vzorku pneumatiky .....	33
Obrázek 12: Odlišné materiály rozděleny barvami .....	34
Obrázek 13: Tvorba materiálu – VRED .....	34
Obrázek 14: Tvorba materiálu – Deltagen.....	35
Obrázek 15: Defaultní HDRI prostředí „studio“ .....	37
Obrázek 16: Možnosti tvorby světél.....	38
Obrázek 17: Ukázka modelů: zleva brzdový spínač držáku, náprava a karoserie.....	40
Obrázek 18: Defaultní materiál .....	41
Obrázek 19: Ukázka efektu flip-flop.....	41
Obrázek 20: Metalický flip-flop lak .....	42
Obrázek 21: Červené sklo.....	42
Obrázek 22: Rendery nápravy v metalickém laku – vlevo VRED, vpravo Deltagen .....	44
Obrázek 23: Textura pneumatiky na kouli .....	45
Obrázek 24: Rozdělení scény do segmentů .....	45
Obrázek 25: Graf hodnot FPS při vypnutém post-processingu .....	47
Obrázek 26: Graf hodnot FPS při zapnutém post-processingu .....	47
Obrázek 27: Graf hodnot FPS: VRED vs. Deltagen.....	49
Obrázek 28: Graf hodnot přenosových rychlostí – VRED vs. Deltagen.....	49
Obrázek 29: Fotografie ovladače HTC Vive .....	50
Obrázek 30: Ukázka určení lokace pro skylight .....	51
Obrázek 31: Vytvořené skylight HDRI prostředí.....	51
Obrázek 32: Nastavitelné parametry virtuálního fotoaparátu.....	52

Obrázek 33: Gamepad – nahoře fotografie, vlevo render Deltagen, vpravo render VRED	53
Obrázek 34: Výřez špendlíku – Zleva fotografie, render VRED, render Deltagen .....	54
Obrázek 35: Skupina 1: Otázka č. 1-5 Který obrázek je fotografie? .....	58
Obrázek 36: Skupina 1 - Vyhodnocení otázek č. 6-10 Který render vypadá lépe/reálněji?	59
Obrázek 37: Skupina 2 - Vyhodnocení otázek č. 1-5 Který obrázek je fotografie? .....	60
Obrázek 38: Skupina 2 - Vyhodnocení otázek č. 6-10 Který render vypadá lépe/reálněji?	61

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Klady a zápory podpory .....	29
Tabulka 2: Klady a zápory importu .....	30
Tabulka 3: Klady a zápory rozhraní .....	31
Tabulka 4: Klady a zápory manipulace .....	32
Tabulka 5: Klady a zápory materiálů .....	35
Tabulka 6: Klady a zápory kamery .....	36
Tabulka 7: Klady a zápory prostředí .....	37
Tabulka 8: Klady a zápory světla .....	38
Tabulka 9: Klady a zápory animací .....	39
Tabulka 10: Počet trojúhelníků a dílů modelů .....	40
Tabulka 11: Výsledky materiálů z pracovní stanice .....	43
Tabulka 12: Náročnost textury oproti materiálům .....	44
Tabulka 13: Vliv post-processingu na FPS .....	48
Tabulka 14: Skupina 1: Otázka č. 1-5 Který obrázek je fotografie? .....	57
Tabulka 15: Skupina 1: Otázka č. 6-10 Který render vypadá lépe/reálněji? .....	58
Tabulka 16: Skupina 2 -Vyhodnocení otázek č. 1-5 Který obrázek je fotografie? .....	59
Tabulka 17: Skupina 2 - Vyhodnocení otázek č. 6-10 Který render vypadá lépe/reálněji? .....	60

## **Seznam použitých zkratk**

CAD	-Computer aided design
CAVE	-Cave Automated Virtual Enviroment
CRT	-Cathode ray tube
DG	-Deltagen
FPS	-Frames per second
HDRI	-High dynamic range imaging
VR	-Virtuální realita



## Úvod

S rozvojem počítačové grafiky a vizualizačních systémů jsme se dostali do doby, kdy může být nemožné rozeznat fotorealistický render od reálné fotografie. Tyto nástroje jsou využívány při vytváření počítačových her, filmů, vizualizace architektury nebo jako prostředek pro design a prezentaci automobilů. V automobilovém průmyslu je vizualizace používána od koncepčního návrhu po výrobu. Umožňuje reálnou představu o tom, jak bude vůz skutečně vypadat bez potřeby fyzického prototypu. Pomáhá odhalit chyby jak designové, tak chyby fyzické, které by způsobily problémy během sestavení na výrobní lince.

První část bakalářské práce se zaměřuje na seznámení čtenáře s aktuálními trendy vizualizací. Je vysvětleno, jak je vizualizace využívána napříč automobilovým průmyslem. Dále jsou popsány dvě hlavní metody renderování, na jakém principu pracují a jak jsou využívány. S vizualizací je úzce spojena technologie virtuální reality, z toho důvodu je popsáno praktické využití těchto dvou technologií ve společnosti ŠKODA AUTO a.s.

V druhé části bakalářské práce jsou rozebrány porovnávané programy VRED a Deltagen z hlediska běžného využití uživatelem. Jedná se např. o to, jakou mají programy podporu, jak přehledné je rozhraní nebo jak dobře se pracuje s virtuálními materiály. Každá tato kapitola obsahuje výpis kladů a záporů jednotlivých programů.

Praktická část je zaměřena na porovnání z hlediska výpočetního výkonu aplikací. Jsou zde uvedeny výsledky ze dvou výpočetních zařízení – pracovní stanice a výpočetního clusteru. Dále jsou aplikace porovnávány z hlediska tvorby a kvality renderů. Pro účely testování bylo vyfoceno pět objektů a v každém z programů byl vytvořen co nejpodobnější render.

Poslední část bakalářské práce je věnována vyhodnocení získaných dat. Jsou zde popsány vlastní poznatky autora práce. Následuje zpracování výsledků dotazníku, ve kterém respondenti rozpoznávali fotografii od renderů a určovali, který render působí reálněji. Rendery jsou poté posouzeny odborníkem z oboru na základě řízeného rozhovoru. Na závěr jsou všechny poznatky využity k určení vhodnějšího softwaru pro fotorealistickou vizualizaci.

# 1 Aktuální trendy vizualizací v automotive

Vizualizace je velice široký pojem. Jedná se o techniku tvorby obrázků, které předávají informace z různých dat a procesů. Díky neustálému technologickému pokroku jsme schopni sbírat stále komplexnější data. A právě vizualizace nám umožňuje je interpretovat takovým způsobem, abychom jim co nejlépe porozuměli. Zatímco počítačová vizualizace je poměrně nový obor, tak její princip – předání informací pomocí obrazu je tu s námi od nepaměti. Jako příklad lze uvést pravěké jeskynní malby, nebo poznámky Leonarda da Vinci, v kterých ilustroval své komplexní vynálezy. (Hansen, 2005)

## 1.1 Využití vizualizace v automotive

Automobilový průmysl je velice kompetitivní. Všichni se předhánějí, aby navrhli co nejnovativnější vozidla a uvedli je na trh rychleji jak konkurence. Za návrhem kvalitního a pěkného vozu je však nespočet konceptů, návrhů a změn. Změny však mohou být časově nákladné a zdlouhavé. Zde přichází na řadu nástroje, pomocí kterých lze vizualizovat vozidlo od koncepčního návrhu po výrobu. (Kahl, 2015)

### Ulehčení komunikace

Od raných fází vývoje musí návrháři komunikovat a předkládat návrhy managementu. Virtuální prototypy zdatelně pomáhají představám, jak bude vůz skutečně vypadat, což jsou nedocenitelné informace při rozhodování.

### Prototypy

Dříve se velice spoléhalo na fyzické prototypy. Počáteční modely se dělají z pěny nebo sochařské hlíny. Takový model je nákladný, ale mohl být vytvořen poměrně rychle. Později v procesu se staví před sériový model automobilu, což je extrémně časově i finančně náročné. Důvodem je jeho jedinečnost. Musí být postaveno zařízení, které bude schopné vyrábět díly pouze pro prototyp. Výsledkem je pak pouze jedna konfigurace vozidla, kterou nelze jednoduše měnit a zkoumat. Vizualizací automobilu se značně šetří náklady i čas v porovnání s fyzickými prototypy. Další velkou výhodou je možnost návrhu mnoha variací při mnohem méně úsilí. (Autodesk, 2013)

### Koncepční návrhy

Design automobilu se rozhoduje v raných fázích vývoje. Vytváří se spousta návrhů, které je potřeba představit a prověřit. Vizualizace pomáhá představit neexistující produkty fotorealistickým způsobem, což umožňuje lépe prezentovat a propagovat koncepční návrh.

Nemusí se spoléhat na jediný prototyp, ale je možné jednoduše vytvořit více konfigurací vozu v 3D prostředí. Fotorealistický vzhled umožňuje zhodnocení estetické formy a proveditelnost jednotlivých návrhů za méně času, a přitom zvažuje více možností než kdy jindy. (Autodesk, 2013)

### **Návrhy detailů**

Po koncepčním návrhu se přechází do fáze podrobného návrhu. Vizualizace zde napomáhá designérům zhodnotit chování a vzhled materiálů, jak budou skutečně vypadat. Designéři mohou přepínat mezi barvami nebo prostředím a pozorovat, jak bude produkt v různých variacích působit. Přepíná se mezi různými interiéry a exteriéry a zvažují se kombinace materiálů, obložení nebo osvětlení. (Autodesk, 2013)

### **Kontrola povrchů**

Kontrola povrchů pomáhá při přechodu z konceptu k výrobě. Návrháři kontrolují a optimalizují chování odrazů, stínů a celkové vnímané kvality. Například společnosti tráví spoustu času na udržení konzistentních mezer v karoserii. Při návrhu může být design dokonalý, ale projdeme-li se kolem vozidla ve virtuální realitě, tak můžeme objevit nekonzistentnost, která by byla objevena až při fyzickém prototypu. Lze se také podívat přímo do mezer, a pozorovat viditelnost svárů či upevňovacích prvků, které také mohou ovlivnit vnímání kvality vozu jako celku. (Autodesk, 2013)

## **Marketing**

Další velké odvětví, kde vizualizace hraje velkou roli, je marketing, díky velkému snížení nákladů na propagaci nových vozidel. Fotorealistické vyrenderované obrázky nebo animace lze použít pro propagační materiály a videa ještě před výrobou vozidla. Model je možné vyrenderovat v jakémkoliv prostředí, od slunečné pláže po zamrzlé tundry. Dříve bylo při propagaci potřeba koordinovat fyzické focení s prototypy vozů. Prostředí bylo omezené lokálně, nebo bylo nutné vůz zamaskovat a tajně přepravovat po celém světě. Místo toho může oddělení marketingu propagovat více konfigurací vozidla v různých variantách nastavení. A to levněji, rychleji a bez nebezpečí nechtěného odhalení designu. (Autodesk, 2013)

## **Prodej**

Stále více zákazníků se zapojuje do nákupu automobilů online. Online konfigurátor využívající fotorealistickou vizualizaci dokáže být velice mocný nástroj k přiměnění zákazníka ke koupi vozu. Z pohodlí domova uvidí skutečný obraz vozidla, které by si chtěl koupit. Může si vyzkoušet různé barvy a interiéry. S kombinacemi může experimentovat, aby získal přesně to, co chce. Tvorba kombinací je rychlá, a render obrázků běží za chodu, což znamená, že si zákazníci mohou vyzkoušet libovolný počet kombinací. To vše umocňuje pocit důvěry a pomáhá s konečným rozhodnutím. (Autodesk, 2013)

## **Virtuální crashtesty**

Pomocí vizualizace crashtestů je možné vzít data ze simulace srážky a vytvořit z nich sérii obrázku, nebo animaci, jak by to vypadalo, kdyby se to reálně stalo. Technici vědí, co znamenají sesbíraná data, ale chtějí-li komunikovat např. s designéry nebo managementem, tak vizualizace crashtestu je mnohem efektivnější. Výsledky zas poslouží k testování bezpečnosti různých designů, a to rychleji, levněji a efektivněji jak crashtesty s reálnými vozidly. (Autodesk, 2013)

## 1.2 Rendering

Renderování je proces tvorby nefotorealistického nebo fotorealistického obrázku modelu za pomoci výpočtu počítačového programu. Metod renderování je mnoho. Níže představím ty metody, se kterými jsem se setkal při vizualizaci v programech VRED a Deltagen.

### 1.2.1 Rasterizace

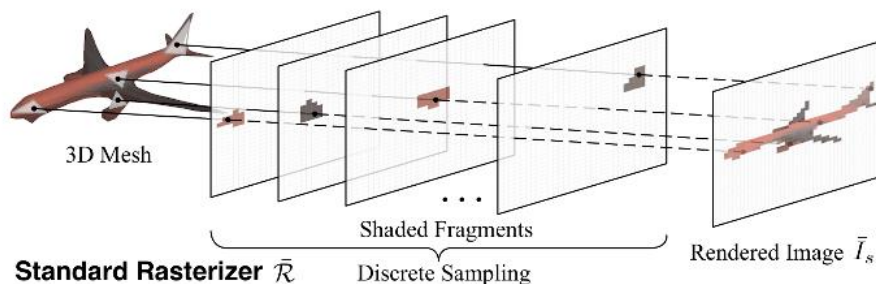
Renderování pomocí rasterizace je nejrozšířenější metoda zobrazení objektu z 3D prostoru do 2D roviny. Objekty ve scéně jsou tvořeny sítí virtuálních trojúhelníků/polygonů které tvoří 3D modely objektů. Každý polygon má rohy, které se nazývají vrcholy. Ty se protínají s dalšími vrcholy polygonů různých velikostí a tvarů. S každým vrcholem je spojeno mnoho informací, od jeho polohy v prostoru po normálový vektor, který říká, jakým směrem je povrch obrácen.



Obrázek 1: Polygonová síť

Zdroj: vlastní zpracování

Proces rasterizace rozdělí celý obraz do bodů (pixelů) na 2D obrazovce. Každému pixelu lze přidělit počáteční barvu z informací uložených ve vrcholech polygonů. Při přechodu do 2D však ztrácíme informace vzdálenosti mezi pozorovatelem a objekty. Ztrácíme tedy hloubku ostrosti. Aby se tomu zabránilo, barva pixelů se dále zpracovává, např. pomocí stínování aplikujeme textury a měníme barvu pixelů dle dopadu světla ve scéně. Kombinací všech těchto úprav získáváme konečnou barvu pixelu. Výpočtem a spojením všech pixelů dostáváme vyrenderovaný obrázek. (Caulfield, 2018)



Obrázek 2: Proces rasterizace

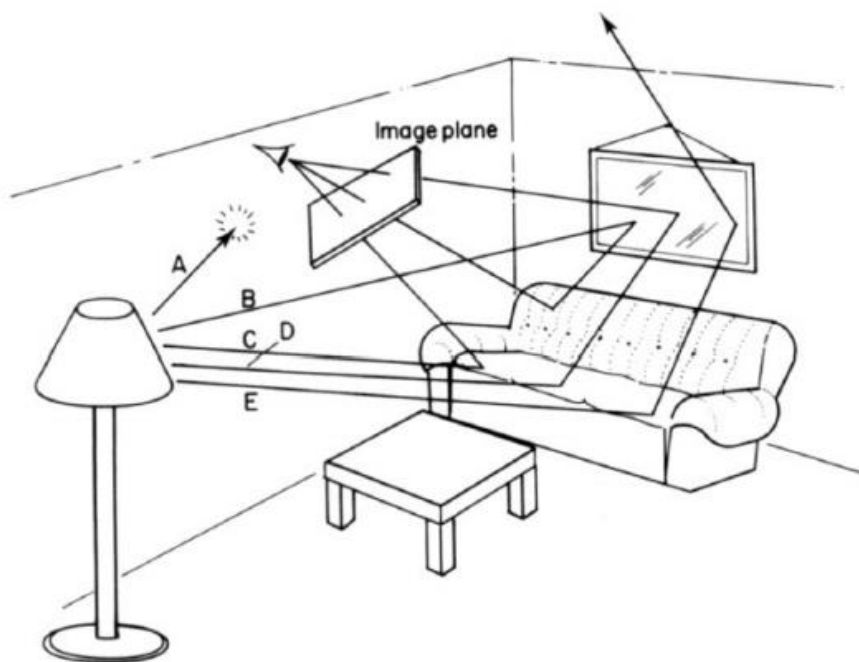
Zdroj: (Schrute,2019)

Tato metoda je např. oproti ray tracingu mnohem méně náročná z hlediska výpočtu. To je důvodem, proč je celosvětově nejrozšířenější technikou pro vykreslování obrázků 3D scén včetně vykreslování v reálném čase. Jako právě např. při práci s vizualizačními programy. Kde při vysoké náročnosti modelu je manipulace za rozumných FPS možná jen v modu renderování rasterizací. (Caulfield, 2018)

### 1.2.2 Ray tracing

Ray tracing je metoda renderování 3D objektů, která se zakládá na sledování světelných paprsků. Právě díky této metodě je možné dosáhnout fotorealistických výsledných obrázků. Nevýhodou je vysoká výpočetní náročnost. Z tohoto důvodu je zatím ray tracing využíván hlavně v aplikacích pro renderování obrázků, popřípadě animací. Jeho využití v reálném čase je dosti limitované u náročných modelů. I za použití výpočetního clusteru běžela náročná scéna, což je např. automobil, pod 24 FPS. Tato hodnota se bere jako hranice, nad kterou lidské oko již nerozezná jednotlivé snímky a obraz se zdá plynulý.

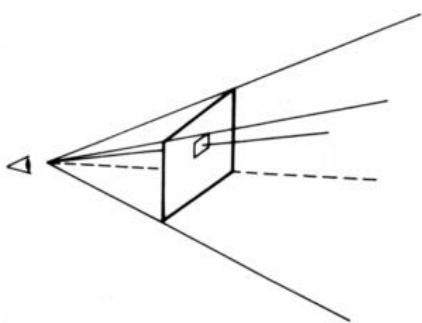
V reálném světě jsou objekty, které vidíme osvětleny světelnými zdroji. Z nich vychází paprsky světla, které se od objektů odráží a lámou, dokud nedorazí do našeho oka. A právě na tomto principu je ray tracing založen. Existují dvě techniky, jak šíření paprsků počítat pomocí geometrické optiky. Je možné sledovat šíření fotonů od zdroje, nebo naopak sledovat paprsky směrem od pozorovatele. Technikou sledování fotonů sledujeme vysílané paprsky ze světelného zdroje. Pozorujeme, s jakými tělesy interagují, jakým směrem se odráží, jak se lámou nebo jestli jsou povrchem absorbovány. Mohou nastat pouze dva výsledky. Foton nakonec protne průmětnu a je zaznamenána jeho barva v protnutém pixelu. Nebo se foton s průmětnou vůbec neprotne a jeho sledování bylo tím pádem bezvýsledné. To je velkou nevýhodou této techniky a důvod, proč není často využívána pro ray tracing. Využití však najde např. při tvorbě fotonových map. (Strachota, 2015)



Obrázek 3: Šíření paprsků ve scéně

Zdroj: <http://saint-paul.fjfi.cvut.cz/base/sites/default/files/POGR/POGR2/12.raytracing.pdf>

Druhou technikou je sledování paprsků směrem od pozorovatele, při které vysíláme paprsky skrz průmětnu do scény. Zjišťujeme, jakou barvu bude mít paprsek, který přilétá k pozorovateli z daného pixelu. Na barvu paprsku má vliv více fotonů, u kterých zkoumáme, jak moc každý z nich ovlivňuje konečnou barvu paprsku. (Strachota, 2015)



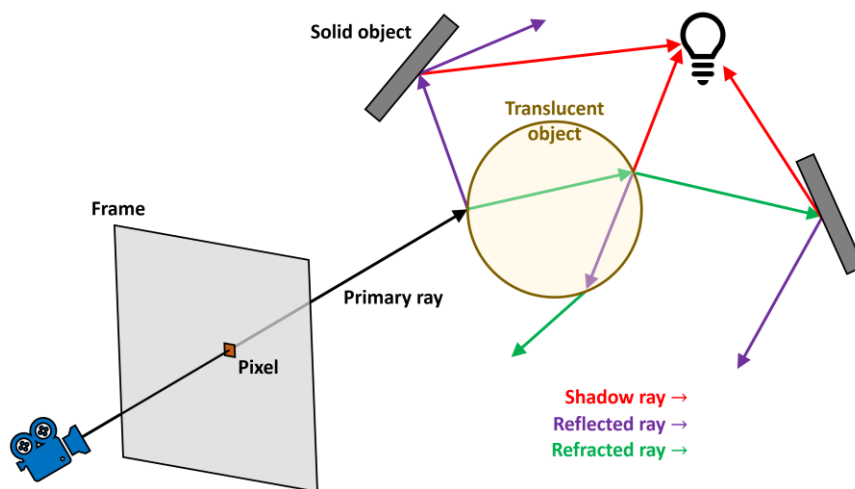
Obrázek 4: Vyslání paprsku pixelem v průmětně

Zdroj: <http://saint-paul.fjfi.cvut.cz/base/sites/default/files/POGR/POGR2/12.raytracing.pdf>

Před stanovením barvy první musíme zjistit, jak paprsek procházející určitým pixelem vznikl. Hledáme nejbližší povrch, se kterým se paprsek protíná. Z místa protnutí paprsek přichází. Vlastnosti povrchu dále ovlivňují, jaké složky světlo paprsku tvoří.

Pavel Strachota složky rozděljuje takto: „ambientní osvětlení, světlo vzniklé přímým difuzním odrazem světelných zdrojů od povrchu, světlo vzniklé přímým zrcadlovým odrazem světelných zdrojů, zrcadlový odraz paprsku přicházejícího od jiného objektu v odpovídajícím směru, světlo lomené na povrchu (průhledného) objektu“. (Strachota, 2015)

Paprsky také rozdělujeme do několika druhů. Primární paprsek vysíláme od pozorovatele skrz pixel průmětny do scény. Zajímáme se hlavně o jeho barvu. Z místa dopadu primárního paprsku jsou dále vyslány další druhy paprsků. Stínové paprsky (shadow ray), které jsou vyslány z místa dopadu ke každému světelnému zdroji. Kontrolují, jestli v cestě nestojí nějaká překážka, resp. jestli je bod zdrojem osvětlen. Odražené paprsky (reflected ray) jsou vyslány do směru, odkud musí přicházet světlo, aby se mohlo odrazit k pozorovateli. A poslední, lomené paprsky (refracted ray) jsou vyslány do směru, odkud musí světlo procházet nějakým povrchem objektu, aby se mohlo odrazit k pozorovateli. (Strachota, 2015)



Obrázek 5: Druhy paprsků ve scéně

Zdroj: (Evanson, 2019)

### 1.3 Virtuální realita

Virtuální realita je mocný nástroj pro zobrazení a prezentaci vizualizace. Její využití v automobilovém průmyslu je proto velice populární. Díky povinné roční praxi na oddělení virtuální reality ve společnosti ŠKODA AUTO, a.s. jsem získal zkušenosti, které využiji jako podklad pro tuto kapitolu. Na společnosti také ukáží příklady využití virtuální reality a vizualizace v praxi.



První využití virtuální reality ve společnosti proběhlo již roku 1998 na vizualizaci designu modelu Škoda Fabia. Výpočet měl na starost skříňový počítač SGI Onyx a promítána byla pomocí analogových CRT projektorů. Ačkoliv kvalita vizualizace nebyla nijak převratná, začínalo se ukazovat, jak může vizualizace ušetřit čas a peníze oproti fyzickému modelu. Jako jednu z výhod lze uvést možnost vizualizace mnoha variant exteriéru a interiéru. (Interní dokumentace)



*Obrázek 6: První využití virtuální reality*

Zdroj: interní dokumentace ŠKODA AUTO, a. s.

Roku 2006 byl poprvé ve společnosti využit CAVE systém (Cave Automated Virtual Environment). CAVE si lze představit jako krychli o délce strany kolem 2,5m uvnitř další větší místnosti. Na její stěny tvořené z plátna, popřípadě i podlahu a strop je z vnějšku promítán pomocí projektorů a zrcadel obraz virtuální scény. Uživatelé se nacházejí uvnitř se speciálními brýlemi, které vytvářejí iluzi 3D obrazu a pocit přítomnosti ve virtuálním světě. Díky sofistikovaným systémům je zohledňována i pozice uživatele v prostoru, které dopočítávají perspektivu nebo stíny. Za pomoci ovladačů a gest je možné s virtuálním prostředím interagovat. CAVE podporuje vstup více uživatelů, kteří pak sdílí imerzní pocit přítomnosti ve virtuální scéně a vidí to stejné. To představuje velký rozdíl oproti VR headsetům, u kterých tento skupinový přístup není tak jednoduchý. (Interní dokumentace)

V současné době jsou kromě CAVE používány také VR headsety a Powerwall. Nejčastější uplatnění nachází tyto technologie v oblastech vývoje a designu vozu.

Pro testování interiéru vozu se používá VR headset společně s fyzickou autosedačkou, volantem a pedály. Tomuto spojení se říká „Sitzkiste“. Možností se do virtuálního interiéru

posadit a šáhnout si na určité prvky lze docílit velmi reálného pocitu vizualizace a tudíž co nejlepších výsledků testování. Samotný VR headset lze zas využít při přímém designu a korektuře vozu. Ve virtuálním 3D prostoru se nachází vůz ve velikosti 1:1 a v reálném čase je možné s ním manipulovat či měnit jeho vzhled. (Interní dokumentace)



*Obrázek 7: Virtuální testování interiéru vozu*

Zdroj: interní dokumentace ŠKODA AUTO, a. s.

Kombinací sitzkiste a technologií CAVE se provádí Virtuální noční jízda, což je název zkoušky designu světlometů. Za pomoci volantu je možné vozidlo ovládat a projíždět se po virtuální mapě. Testuje se osvětlení dopravního značení, vozovky, automobilů a náležitostí s tím spojených. Renderování osvětlení je fotorealistické, což zaručuje přesná data o světlometu a pomáhá určit, zdali je vše v pořádku. Na stejném principu se také provádí Virtuální přejímka vozu. Ta však není zaměřená pouze na světla, ale probíhá kompletní virtuální jízdní test, při kterém je hodnocen celý automobil. (Interní dokumentace)



*Obrázek 8: Virtuální přejímka vozu*

Zdroj: interní dokumentace ŠKODA AUTO, a. s.

Ještě předtím než je automobil poprvé sestaven, probíhá virtuální montáž vozu. Úkolem je zjistit, zdali bude možné fyzický model dle plánů na výrobní lince sestavit. Zkoumá se, jestli veškeré díly pasují tak jak mají a jestli nevznikají kolize. Může se totiž stát, že v průběhu montáže bude usazení nějakého dílu zablokováno dílem z předchozích kroků. Pokud jsou nějaké chyby odhaleny, je změněn postup montáže nebo přenastaveny operace výrobní linky. Až po bezchybné virtuální montáži vozu je možné přejít k fyzické montáži. (Interní dokumentace)

## 2 Aplikace VRED a Deltagen

Za vývojem softwaru VRED stojí nadnárodní americká společnost Autodesk Inc. založena roku 1982. Hlavním oborem působnosti jsou softwarová řešení pro 2D/3D modelování a vizuální postprodukce. Jako nejvýznamnější software lze považovat AutoCAD, který patří mezi celosvětově nejpoužívanější CAD programy. Portfolio produktů Autodesku je opravdu velké, mezi ty nejznámější patří dále třeba Maya nebo 3Ds Max. (Autodesk Inc., 2020)

VRED je aplikace používaná pro tvorbu produktových 3D vizualizací a prototypů. Jedna z hlavních funkcí je podpora virtuální reality, která dokáže zobrazit vizuálně přesný model v reálném měřítku. Takováto možnost prezentace vlastních myšlenek v reálném čase designerskému týmu nebo zákazníkovi může značně urychlit komunikaci. Práce je psána pro verzi programu VREDPro 2020.1. (Cadstudio, 2020)

Za vývojem softwaru 3Dexcite Deltagen stojí francouzská společnost Dassault Systèmes SE založena roku 1981. Hlavním oborem působnosti jsou softwarová řešení 3D designu, 3D digitální mockup a management životního cyklu výrobku. Mezi nejznámější produkty můžeme zařadit CATIA, Solidworks nebo DELMIA. (Dassault Systèmes SE, 2019)

3DEXCITE Deltagen je aplikace používaná pro tvorbu produktových 3D vizualizací a prototypů. Jedna z velkých předností je kompatibilita hotových modelů pomocí pluginů s herními enginy jako Unreal engine nebo Unity. Práce je psána pro verzi programu Deltagen 2020x.

### 2.1 Manuál, podpora a dokumentace

Oba programy mají rozsáhlou 500+ stránkovou dokumentaci, která pokrývá vše týkající se programu. Dokumentace jsou pro 2. nejnovější verze.

Kurz VRED obsahuje 310 stránkový manuál ve formátu pdf a všechny potřebné dokumenty jako modely nebo HDRI prostředí. Tyto výukové materiály jsou volně dostupné.

Manuál je rozdělený do 5 kapitol. A to základní představení, příprava dat, materiály, kamera/světlo a renderování. První 2/3 manuálu jsou teoretické informace a 1/3 praktické procvičování v programu. Každá praktická část má určité cíle a je přesně krok po kroku popsáno, jak jich dosáhnout. Manuál je pro verzi programu VREDPro 2015. Z toho důvodu se objevilo pár nesrovnalostí mezi verzemi. Pracuje se s hotovým modelem. Na konci každé kapitoly se nachází krátký znalostní test, ve kterém si lze ověřit, jestli se uživatel opravdu naučil to nejdůležitější.

VRED má spoustu pokročilejších uživatelských návodů a webinářů na platformě Youtube a aktivní VRED fórum, na kterém se nachází přes 6900 postů či FAQs.

Pro získání tréninkového manuálu pro Deltagen je nutné zažádat na webových stránkách programu. Obsahuje 187 stránkový manuál ve formátu pdf, všechny potřebné dokumenty a pár video tutoriálů vysvětlujících základy práce v programu.

Manuál je rozdělený do 11 malých kapitol. Ještě před začátkem kapitol je shrnutí základního ovládání. Průchod kapitolami začíná na polovině modelu bez textur a končí na realisticky vypadajícím vozidle, které je v průběhu manuálu postupně sestaveno. Každá kapitola má přesně krok po kroku popsáno, jak dosáhnout daných cílů. Manuál je pro verzi programu Deltagen 2019x. Mezi dokumenty se také nachází uložené veškeré fáze modelu, takže je možné určité kapitoly či podkapitoly přeskočit, a přesto plynule navázat na další.

Na platformě Youtube nejsou téměř žádná uživatelská videa, jen pár návodů přímo od kanálu Dassault Systèmes 3DExcite GmbH. Deltagen své vlastní forum nemá.

*Tabulka 1: Klady a zápory podpory*

VRED	Deltagen
+ Trénink přístupný bez nutnosti zažádání	+Trénink koncipovaný jako složení modelu
+ Rozsáhlé VRED fórum	- Nutná registrace/zažádání o manuál
+ Velké množství Youtube návodů	- Absence fóra
- Trénink není pro aktuální verzi	- Malá komunitní podpora

Zdroj: vlastní zpracování

## **2.2 Import**

Jelikož jsou VRED a DG vizualizační a ne modelovací programy, je vždy nutné objekt scény importovat z CAD souboru. Na trhu se nachází nespočet modelovacích programů, které mají různé typy výstupních dat. Proto je potřebná kompatibilita alespoň s těmi nejpobulárnějšími.

DG dokáže importovat již přes funkci OPEN, tato funkce si však nedokáže poradit s velkými sestavami. Na ty je nutné použít další program, který je součástí instalačního balíčku – 3DEXCITE DELTABATCH. VRED přes funkci OPEN dokáže otevřít jen nativní soubory a je nutné využít vestavěné funkce IMPORT. Použitá CAD data byla ve formátech CATPRODUCT a CATPART, což jsou výstupní formáty programu Catia.

VRED dokázal bez problémů importovat jednoduché i složité sestavy. Menu funkce má veškeré základní důležité nastavení. Součástí je seznam všech importovaných částí sestavy, který se během importu aktualizuje podle toho, co vše bylo dokončeno. Import nikdy nesešel.

S ohledem na velké sestavy bylo nutné u DG používat DELTABATCH, který je pro běžné použití zbytečně složitý. Mnohokrát se stalo, že importovaný soubor nešel v DG otevřít. Soubor nelze otevřít přes průzkumníka souborů, je nutné ho otevřít v DG přes funkci OPEN. Nelze ani odhadnout trvání importu kvůli nepřítomnosti jakéhokoliv ukazatele průběhu.

U jednodušší sestavy nápravy se 150 částmi a počtem polygonů kolem 3 milionů byl VRED rychlejší s časem 5 minut a 8 vteřin. Import stejného modelu v DG trval 8 minut a 50 vteřin. Složitější sestava karoserie s 1200 částmi a počtem polygonů kolem 20 milionů trvala téměř stejně dlouho. DG byl trochu rychlejší s časem 40 minut a 12 vteřin. VRED měl čas importu 40 minut a 33 vteřin.

Tabulka 2: Klady a zápory importu

VRED	Deltagen
+ Pro import není potřeba další software	- Na velké sestavy je potřeba další software Deltabatch
+ Rychlejší import menších sestav	-Deltabatch nemá ukazatel průběhu
+Jednoduché, ale dostačující import nastavení	-Deltabach je příliš složitý
+ Import se vždy podařilo otevřít	-Importované soubory nelze otevřít z průzkumníka souborů

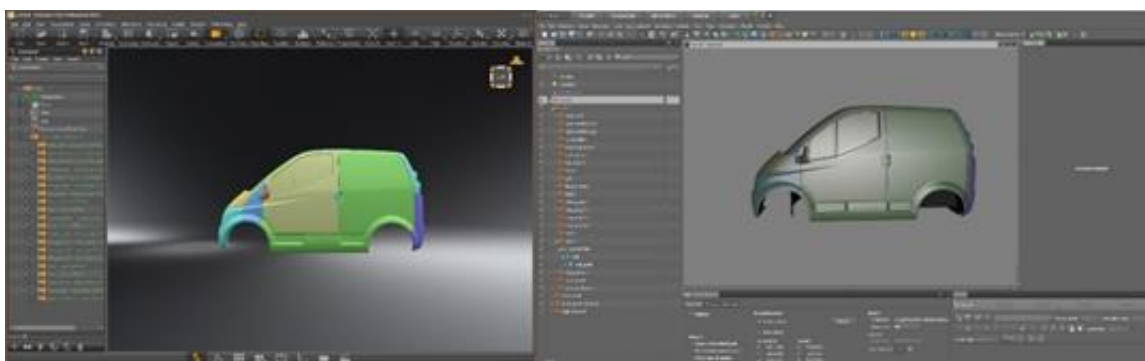
Zdroj: vlastní zpracování

### 2.3 Rozhraní a navigace

Jak lze vidět na obrázcích níže, rozhraní obou programů je podobné. Přesto jsou zde drobné rozdíly, které značně ovlivňují workflow. První věc, které si uživatel všimne, je renderovací okno a v něm zobrazený model. Chci-li s modelem rotovat, ve VREDu stačí držet levé tlačítko a pohybovat myší. Pro přiblížení/oddálení zas otáčíme kolečkem dopředu/dozadu. V DG musíme při rotaci držet navíc klávesu CTRL a při přiblížení/oddálení CTRL a pohyb myší dopředu/dozadu. To působí nepřírodně oproti běžnému ovládání scény. Jako velice užitečnou funkci bych hodnotil navigační krychli, kterou lze nalézt v pravém horním rohu

renderovacího okna v programu VRED. Nejenže popisuje pozici vůči modelu/vybrané části (zepředu, zleva), ale také jí lze kliknutím přepnout. Toho lze v DG docílit jen pomocí zkratk SHIFT + F1-F6, a to pouze na globální scéně.

Nevhodně také působí umístění funkcí. Většina je zabalená v horním hlavním menu. Ty nejčastěji používané se nachází v liště nástrojů. Jsou však zobrazeny malými zprvu nic neříkajícími ikonkami, na které je potřeba najet myší, aby se zobrazil jejich název. VRED má tuto lištu nástrojů přehlednou s velkými ikonami a názvem funkce. Dole se nachází lišta rychlého přístupu s moduly. Moduly jsou okna, která se dají ukotvit a obsahují informace a nastavení k určitým procesům. Ty jsou logicky seřazeny tak, jak bychom je použili při tvorbě od základního modelu po finální vizualizaci.



Obrázek 9: Vlevo rozhraní VRED, vpravo rozhraní Deltagen

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 3: Klady a zápory rozhraní

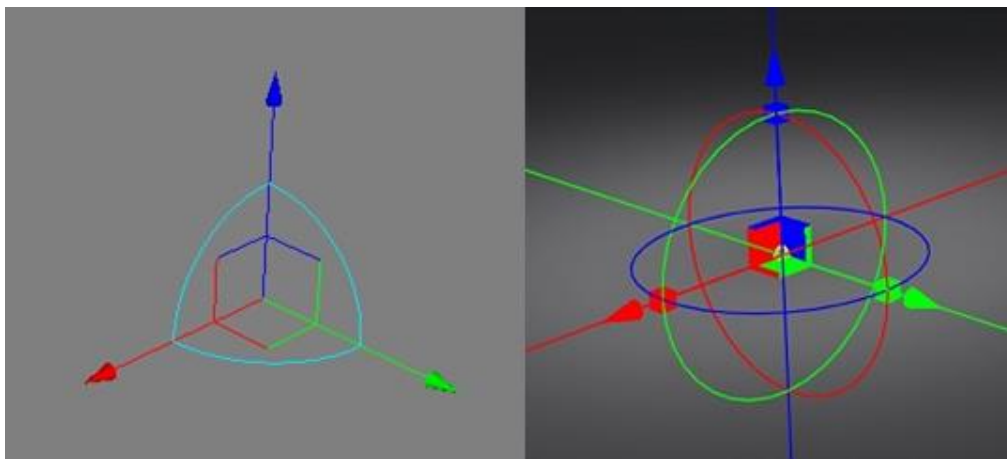
VRED	Deltagen
+ Přirozená navigace po scéně	+ Horní lišta úkonů
+ Navigační krychle	- Neobvyklá navigace po scéně
+ Přehledné rozhraní	- Nepřehledné rozhraní
+ Lišta rychlého přístupu	- Spousta často používaných funkcí je schovaných

Zdroj: vlastní zpracování

## 2.4 Manipulace s modelem

Manipulace s modelem, či jeho částí je možná pomocí dvou metod, transformačním manipulátorem, nebo modulem (tabulkou). Chceme-li určitou část vybrat, klikneme na ní buď ve stromu scény, nebo přímo v renderovacím okně. Ve VREDu je při kliknutí nutné držet klávesu SHIFT. Možnostmi výběru lze upřesnit výběr. Lze vybrat jen plochu, ale i objekt, do kterého plocha patří, nebo třeba všechny části se stejným materiálem.

Mezi manipulace patří změna pozice, velikosti a rotace. Na obrázcích níže lze vidět univerzální manipulátory, aby se mezi nimi nemuselo stále přepínat. VRED má obsažené všechny manipulace a v DG chybí změna velikosti (krychlová táhla pod šipkami). Kromě tohoto detailu jsou manipulace v obou programech téměř totožné. Manipulátory se používají, nejde-li o přesné změny. Na ty se využívá modul, ve kterém lze vše přesně zadat. Např. podle které osy a o kolik stupňů rotujeme. Bod rotací se nachází ve středu manipulátoru, který se dá kamkoliv přesunout.



Obrázek 10: Univerzální manipulátor - vlevo Deltagen, vpravo VRED

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 4: Klady a zápory manipulace

VRED	Deltagen
+ Kompletní univerzální manipulátor	+ Výběr objektů jen kliknutím
+ Funkce položení modelu „na zem“	

Zdroj: vlastní zpracování



## 2.5 Materiály

Tvorba uvěřitelné vizualizace se velice zakládá na přiřazení materiálů částem modelu. Materiály rozhodují o barvě, průhlednosti a nespočtu dalších vlastnostech. Materiály také kontrolují interakci ploch se světelnými zdroji. Paprsky světla se mohou odrážet, být převážně pohlceny nebo materiálem projít. Vše záleží na vybraném materiálu a jeho komplexním nastavení atributů. Pomocí textur lze zas dosáhnout třeba iluze prostorového materiálu a struktury, aniž bychom zasáhli do plochy modelu. Např. u vzorku na pneumatice se zdá, že má určitou hloubku i přes to, že plocha je naprosto hladká. 5

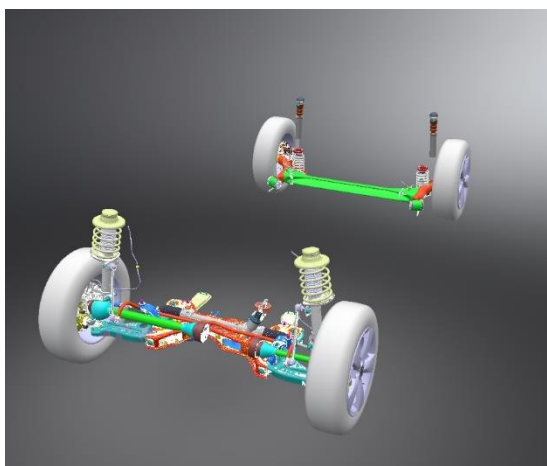


Obrázek 11: Textura vzorku pneumatiky

Zdroj: vlastní zpracování

### 2.5.1 Aplikace materiálů

Ve většině případů začínáme na čistě šedivém modelu, případně jsou části s rozdílnými materiály odděleny barevnými odstíny. Aplikace materiálu je v programech totožná a to pomocí „drag and drop“. V knihovně zvolíme materiál a přetáhneme ho na určitou část modelu, na níž se hned aplikuje. Materiály vybíráme ze základní knihovny nejpoužívanějších materiálů pro automotive. V programu VRED je tuto knihovnu nutné doinstalovat. Při testování bylo potřeba celou sestavu převést do jednoho materiálu. Zatímco VRED aplikoval materiál na celou sestavu během deseti vteřin, Deltagen aplikoval materiál v rámci minut. U sestavy karoserie bylo nutné aplikovat materiál po částech jinak se program zasekl na načítání a přestal pracovat.



*Obrázek 12: Odlišné materiály rozděleny barvami*

Zdroj: vlastní zpracování

### **2.5.2 Tvorba a úprava materiálů**

Jen se základními materiály by nebylo možné vizualizovat fotorealistický model. S tím nám pomůže funkce vytvořit materiál. Materiálu vybereme jednu z před vytvořených kategorií jako např. kov, plast, sklo nebo materiál emitující světlo. Každá kategorie má unikátní nastavení úpravy atributů dle vlastností v reálném světě. U skla lze třeba určit průhlednost což u kovu nelze. Každý materiál má náhledový obrázek, který zobrazuje aktuální podobu. Ten se aktualizuje v reálném čase dle úprav, tudíž nemusíme materiál aplikovat pro pozorování změn. Níže jsou příklady tvorby vlastního materiálu.

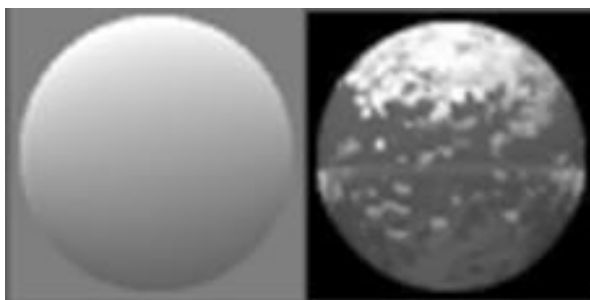
Začal jsem zvolením základní kategorie plast. Upravil jsem reflektivitu, barvu a vložil texturu dřeva, čímž jsem vytvořil materiál simulující dřevo ve VREDu.



*Obrázek 13: Tvorba materiálu – VRED*

Zdroj: vlastní zpracování

Materiály lze stejně tvořit v DG. Základní kategorií v tomto případě byla metalická barva. Změnil jsem podkladovou barvu a povolil možnost metalických vloček, u nich jsem upravil barvu, velikost a jejich hustotu rozmístění v materiálu.



Obrázek 14: Tvorba materiálu – Deltagen

Zdroj: vlastní zpracování

### 2.5.3 Přepínače

Často je potřeba mít více variací modelu. U auta jsou to laky, odstíny skel, barevné provedení interiéru atd. Avšak pro každou variaci ručně měnit materiál každé části modelu je neefektivní. Proto existuje funkce přepínačů, kam přiřadíme všechny části patřící do stejné materiálové skupiny. Do přepínače následně vložíme všechny chtěné variace materiálů. Změnu lze nastavit na stisknutí specifického tlačítka. Jediným stiskem následně dokážeme měnit např. barvu celého auta.

Tabulka 5: Klady a zápory materiálů

VRED	Deltagen
+ Přehledné materiálové menu	+ Základní knihovna materiálů
+ Komplexní tvorba materiálu	+ Kopírování materiálů mezi modely
+ Podpora Adobe Substance	- Menší výběr materiálových kategorií
+ Jednoduchá tvorba přepínačů	- Složitá tvorba přepínačů
- Potřeba instalace knihovny materiálů	- Nevzhledný náhled materiálu
	- Nevládá aplikovat jeden materiál na rozsáhlé sestavy

Zdroj: vlastní zpracování

## 2.6 Kamera

Kamera je „oko“ které zprostředkovává obraz 3D modelu. Je možné nastavit úhel, vzdálenost, zorné pole a následně si pozici uložit. To nám umožní render vždy totožného obrazu např. jen v jiné variaci. Krom prostorových možností je tu i fotografické nastavení, které nabízí velké množství atributů objektivu a senzoru. Díky tomu lze přesně renderovat obrázky, jako kdyby byly vyfoceny určitým modelem digitální zrcadlovky. Mimo jiné je možné použít efekty jako hloubka ostroty, rychlost uzávěrky nebo odlesky z objektivu (lens flare), které přidávají na uvěřitelnosti.

Tabulka 6: Klady a zápory kamery

VRED	Deltagen
+ Příklady reálných zrcadlovek u senzorů	+ Funkce zašpinění objektivu
+ Možnost simulace mlhy	+ Histogram
+ Animace kamerových přechodů	

Zdroj: vlastní zpracování

## 2.7 Prostředí

Prostředí je nedílnou součástí fotorealistické vizualizace, zlepšuje vizuální vzhled a zvedá realismus. Stojí za osvětlením, stíny a odrazy. Při otevření modelu v DG je základní prostředí prázdný šedivý prostor, který plní jen funkci pozadí. VRED otevírá model v základním prostředí nazvaném „studio“, které patří mezi HDRI prostředí.

HDRI obrázek/fotografie je namapovaná na polokouli, která plně obklopuje model, jak lze vidět na obrázku. HDRI vyzařuje na model světlo podle hodnot RGB každého pixelu. Toto prostředí určuje osvětlení povrchu modelu realistickými světelnými efekty. Prostředí lze namapovat i na jiné tvary nežli polokoule, např. na kouli nebo krychli. Také je možné jej plně transformovat či barevně upravit od teploty barev po sytost. VRED má defaultně nově vytvořené HDRI prostředí zrcadlově otočené. Tohoto jevu se lze zbavit nastavením hodnoty scale x na -1. Pro načtení HDRI prostředí v DG je nutné, aby soubor končil koncovkou `_LL`.

Pro viditelnost stínů v režimu FGI z prostředí je potřeba takzvaný shadow catcher. Což je neviditelná rovina, na kterou se stín promítá. VRED má shadow catcher automaticky aplikovaný na rovinu v úrovni země. Nic takového se však v Deltagenu nenachází. Je potřeba vytvořit rovinu, vodorovně jí srovnat s úrovní země, nastavit optimální velikost a zaškrtnout vlastnost shadow catcher.



Obrázek 15: Defaultní HDRI prostředí „studio“

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 7: Klady a zápory prostředí

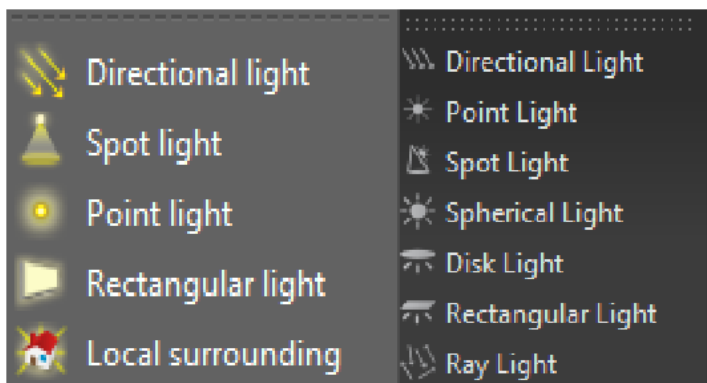
VRED	Deltagen
+ Základní prostředí je HDRI	- Složitá tvorba HDRI prostředí
+ Jednoduchá tvorba HDRI prostředí	- Prostedí patří do kategorie osvětlení
+ Možnost barevné korekce	- HDRI potřebuje _LL koncovku souboru, ale není to zmíněno
+ Automatické FGI stíny	- Nutnost tvorby shadow catcher
- Zrcadlově otočené HDRI	

Zdroj: vlastní zpracování

## 2.8 Světla

Ve výchozím nastavení hlavní osvětlení modelu pochází z HDRI prostředí. Navíc je tu však možnost přidat další světelné zdroje. Díky nim je v DG model i v základním prostředí bez HDRI osvětlení. Světelné zdroje slouží k zesvětlení, zvýraznění a celkově k doladění nádechu, jakým scéna bude působit. Jejich vlastnosti se také dají detailně upravit, což je často nutné pro získání kýženého efektu.

Jsou různé druhy světelných zdrojů např. směrové světlo, které simuluje denní svit a nezáleží na jeho vzdálenosti vůči objektu, jen na jeho úhlu. Naopak u reflektorového světla záleží na celkové pozici v prostoru, včetně velikosti simulovaného reflektoru.



Obrázek 16: Možnosti tvorby světel

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 8: Klady a zápory světel

VRED	Deltagen
+ Více druhů světel	+ Různé jednotky svítivosti
+ Komplexní nastavení	+ Možnost nastavení směrového světla dle místa, času a data
+ Podpora IES světelných profilů	- Menší možnosti nastavení
- Svítivost lze určit jen intenzitou	

Zdroj: vlastní zpracování

## 2.9 Animace

Pomocí animací lze ještě lépe představit produkt a umocnit pocit reálnosti. Animace vynikají např. v interaktivních prezentacích, kde umožňují zvýraznit detaily, které na první pohled nemusí být zřejmé. Dále v zobrazení částí, které nejsou viditelné, protože jsou schovány třeba pod kapotou. Nebo při simulaci jízdy, zatímco se model zobrazí ze všech úhlů a vzdáleností.

Tvorba animací funguje v programech na stejném principu. Pomocí klíčových snímků zaznamenáváme v určitém čase počáteční a konečnou polohu objektu či jeho části, např. vytvoříme počáteční snímek a nastavíme čas na tři vteřiny při 30 FPS. Pomocí manipulátoru otevřeme dveře do chtěné polohy a vytvoříme konečný snímek. Program poté spočítá 90 mezipoloh mezi počáteční a konečnou pozicí a vznikne animace. Tu je možné vyrenderovat do videa. Render animací je však extrémně náročný, jelikož se 1 vteřina renderuje stejně dlouho, jak počet obrázků dle vybraného FPS.

Tabulka 9: Klady a zápory animací

VRED	Deltagen
+ Jednodušší tvorba animací	+ Animace zahrnuty v tréninku
+ Chytrá funkce animační wizard	- Složitější tvorba animací

Zdroj: vlastní zpracování

### 3 Výkon, rychlost, dávkové zpracování renderingů aplikací

Fotorealistická vizualizace v globální iluminaci je extrémně náročná úloha na výpočet. Náročnost stoupá se složitostí sestavy. Kompletní sestavy automobilů jsou tak náročné, že je nebylo možné testovat na pracovní stanici. Takto složité sestavy se počítají na výpočetních clusterech.

#### 3.1 Testování na pracovní stanici

Testování probíhalo na pracovní stanici HP Z840. Mezi její nejdůležitější parametry patří dva procesory Intel Xeon E5-2680 v3, 128 GB RAM a grafická karta NVIDIA QUATRO P6000.

##### 3.1.1 Testovaná data

Pro testování jsem zvolil tři obtížnosti dat. Mají různý počet částí a polygonů. Nastavení teselace při importu mají oba programy rozdílné. I přes snahu totožného nastavení a výsledků mají VRED modely vždy více trojúhelníků, jak lze pozorovat v tabulce. Pro jednoduchou obtížnost jsem vybral jedinou součástku, a to brzdový spínač držáku. Ten jsem získal ze sestavy nápravy. Pro střední obtížnost jsem vybral sestavu nápravy automobilu Škoda, která se skládá ze 150 částí. A pro vysokou obtížnost jsem použil sestavu karoserie Škoda Octavia III skládající se z 1200 částí.

Tabulka 10: Počet trojúhelníků a dílů modelů

	Triangles VRED	Triangles Deltagen	Počet dílů sestavy
Brzdový spínač držáku	2880	1290	1
Náprava	5 357 058	2 248 771	150
Karoserie	25 575 927	9 506 879	1200

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 17: Ukázka modelů: zleva brzdový spínač držáku, náprava a karoserie

Zdroj: vlastní zpracování



### 3.1.2 Použité materiály

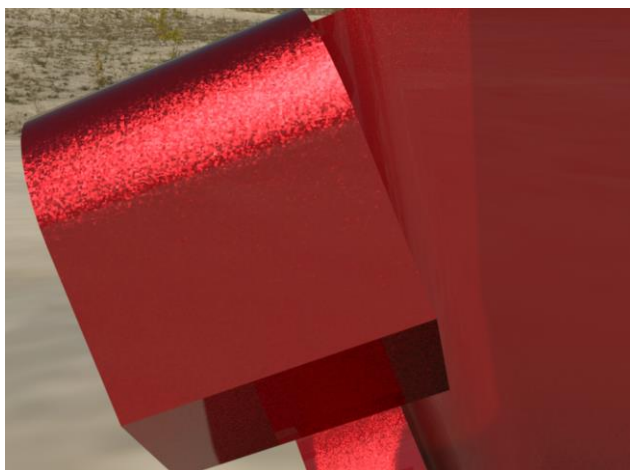
Materiály hrají důležitou roli v náročnosti výpočtů. Pro každý model jsem testoval tři materiály. První materiál byl defaultní, s kterým se model zobrazil po importu. U sestav mají části či jejich bloky různé barvy kvůli odlišení. Ve VREDu byl tento materiál zařazený do kategorie plastu, zatímco v Deltagenu má vlastní kategorii konverze.



*Obrázek 18: Defaultní materiál*

Zdroj: vlastní zpracování

Následující materiály bylo nutné vytvořit. Nastavení a parametry materiálu však nejsou v programech totožné. Právě tyto rozdílné parametry hráli roli v nedosažitelnosti naprosto stejného vzhledu. Druhý materiál je metalický lak na auto s flip-flop vložkami. Efekt flip-flop znamená, že v závislosti na úhlu pozorování a dopadu světla můžeme pozorovat různé barevné změny.



*Obrázek 19: Ukázka efektu flip-flop*

Zdroj: vlastní zpracování

Jako podkladová barva byla použita tmavě červená. Pro flip-flop vložky červená a černá barva. Poslední vrchní vrstva je lesklý průzračný lak.



Obrázek 20: Metalický flip-flop lak

Zdroj: vlastní zpracování

Poslední materiál je sklo, které je výpočetně nejnáročnější. Důvodem je, že se řadí mezi refrakční materiály a obvykle zahrnuje také odrazy. Jelikož je tabule skla průhledná a má dvě strany, vyžaduje vícenásobné výpočty lomu světla. Při vykreslování obrazu je potřeba vypočítat všechny vrstvy, aby bylo možné skrz sklo vidět. Například pro obraz skrz dvě tabule skla je nutné vypočítat čtyři lomy světla. Pro lepší viditelnost modelů jsem zvolil červený odstín.



Obrázek 21: Červené sklo

Zdroj: vlastní zpracování

### 3.1.3 Testované parametry

Testy probíhaly v globální iluminaci. Pro každou ze součástí byla vytvořena animace, aby byl pohyb modelů totožný. Po dobu 25 vteřin model rotoval kolem osy Z s bodem počátku ve středu sestavy. Každých 5 vteřin se model otočil o 360 stupňů. Byla zaznamenávána průměrná FPS během animace, pro jejichž testování byly použity dvě scény. První, méně náročná, bez HDRI prostředí jen s umělým osvětlením. A druhá obsahující HDRI prostředí písečného lomu v 16K rozlišení. Po testech FPS v reálném čase se také testovala doba, za jak dlouho se daná scéna vyrenderuje. Tento test probíhal jen pro scénu s HDRI prostředím. Obrázek byl renderován v rozlišení 1920x1080 a pro antialiasing bylo použito 512 samplů.

V původním plánu bylo obsaženo i testování vnitřku karoserie. Při něm se však renderuje 100% obrazovky, což je tak náročné, že pracovní stanice nemá na toto testování výkon. Při rotační animaci v interiéru se FPS pohybovali mezi hodnotami 0,2 – 0,5. Programy byly velice zpomalené, až neovladatelné. Občas přestaly pracovat úplně.

### 3.1.4 Výsledky materiálů z pracovní stanice

Tabulka 11: Výsledky materiálů z pracovní stanice

	VRED	DG	VRED	DG	VRED	DG
	FPS		FPS HDRI		RENDER TIME HDRI	
<b>BRZDOVÝ SPÍNAČ DRŽÁKU</b>						
IMPORTOVANÝ MATERIÁL	60	23,6	25,4	5,8	29,1 s	119,6 s
METALICKÝ LAK	60	13,6	18,3	5,2	33,4 s	133,1 s
SKLO	60	12,5	17,5	4,5	40,5 s	145,2 s
<b>NÁPRAVA</b>						
IMPORTOVANÝ MATERIÁL	23,2	6,7	10,2	2,7	67,3 s	232,9 s
METALICKÝ LAK	23	6	9,7	3	78,3 s	196,3 s
SKLO	7,6	5,8	3,6	2,3	220,3 s	263 s
<b>KAROSERIE</b>						
IMPORTOVANÝ MATERIÁL	8,9	2,5	4,7	1,8	116,2 s	272,5 s
METALICKÝ LAK	8,8	2,8	4,5	2	120,8 s	244 s
SKLO	2,1	2,2	1,1	1,4	1018,2 s	451,7 s

Zdroj: vlastní zpracování

Ze sesbíraných dat lze vypořadovat, že VRED má ve všem mnohonásobně lepší výsledky jak Deltagen. Jediná výjimka je karoserie se skleněným materiálem, kde dosáhl Deltagen lepších hodnot.

VRED dosáhl předpokládaných výsledků. Hodnoty FPS klesají, u renderu stoupají dle náročnosti materiálu. Metalický lak byl téměř stejně náročný jako importovaný materiál. Překvapivé je 60 FPS u brzdového spínače držáku bez HDRI pro všechny materiály.

Deltagen se trochu odchýlil od předpokládaných výsledků. Metalický lak měl v polovině případů lepší FPS jak importovaný materiál, který by měl být výpočetně méně náročný. Hodnoty od sebe nejsou tak moc vzdáleny. Můžeme vyvodit, že materiál v Deltagenu nemá tak velký dopad na výkon.



Obrázek 22: Rendery nápravy v metalickém laku – vlevo VRED, vpravo Deltagen

Zdroj: vlastní zpracování

### 3.1.5 Textury

Textury se dají považovat za specifický druh materiálu. Jelikož se textura využívá pro specifické části modelu, nepovažoval jsem za vhodné testovat náročnost textury stejným způsobem jako předchozí materiály. Tedy aplikací materiálu na celé sestavy. Textura byla aplikována na kouli, která se dá v každém z programů vytvořit z kategorie jednoduchých geometrických prvků. Jako textura pro testování byl použit vzorek pneumatiky. Kvůli porovnání náročnosti byla koule otestována i s každým materiálem z předchozího testu. Jelikož koule byla vytvořena, neměla importovaný materiál. Z tohoto důvodu byl vytvořen materiál se stejnými vlastnostmi, aby byly materiály v testech totožné. Krom jiného objektu testy probíhaly stejně jako ty předchozí. Stejná rotační animace i HDRI prostředí.

Tabulka 12: Náročnost textury oproti materiálům

	VRED	DG	VRED	DG	VRED	DG
	FPS		FPS HDRI		RENDER TIME HDRI	
<b>KOULE</b>						
TEXTURA PNEUMATIKA	60	16,4	27,6	6,6	29,6 s	99,4 s
IMPORTOVANÝ MATERIÁL	60	18,2	34	7,2	23,9	94,2
METALICKÝ LAK			30	7		
SKLO			27,1	6,2		

Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce č.12 lze pozorovat, že textury mají nemalý dopad na výkon. Se svojí náročností se řadí poměrně blízko sklu.

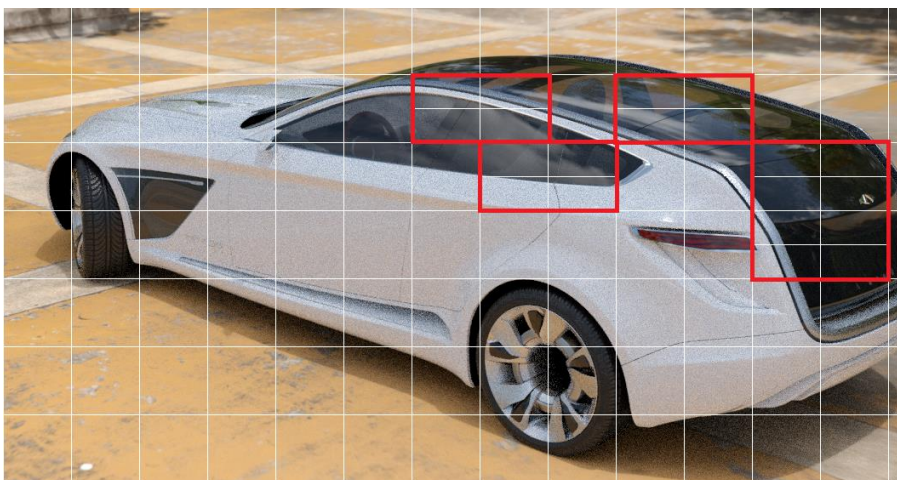


Obrázek 23: Textura pneumatiky na kouli

Zdroj: vlastní zpracování

### 3.2 Testování na výpočetním clusteru

Na výpočetních clusterech se počítají všechny náročné úlohy. Výhodou této metody je, že renderování neprobíhá jen na jedné počítači, ale společnou silou více počítačů. Výpočet je mezi nimi sdílen. Scéna je rozdělena do částí, jejichž výpočet je poslán na některý z přidělených počítačů. Každý segment má rozdílnou náročnost. Pro optimální výsledky jsou složitější segmenty dle potřeby rozděleny na více částí. Toho si lze všimnout na obrázku v červeně vyznačených segmentech. Po dokončení je výsledek posílán zpět, kde je spolu s dalšími částmi složen do výsledné podoby. Výsledek je hlavně ovlivněný schopností programu pracovat s přidělenými zdroji. Následně také přenosovou rychlostí a clusterem samotným.



Obrázek 24: Rozdělení scény do segmentů

Zdroj: vlastní zpracování

### **3.2.1 Testovaná data**

Pro testování byly použity sestavy modelu automobilu Škoda. Deltagen není v Škoda Auto tak hojně využíván pro finální vizualizaci jako VRED. Nepodařilo se sehnat totožné sestavy pro oba programy. Pro Deltagen měl automobil hotový celý exteriér, bez interiéru. Počet trojúhelníků celé sestavy je 13 347 015. Sestava automobilu pro VRED byla včetně kompletního interiéru s počtem trojúhelníků 37 139 954.

### **3.2.2 Použité materiály**

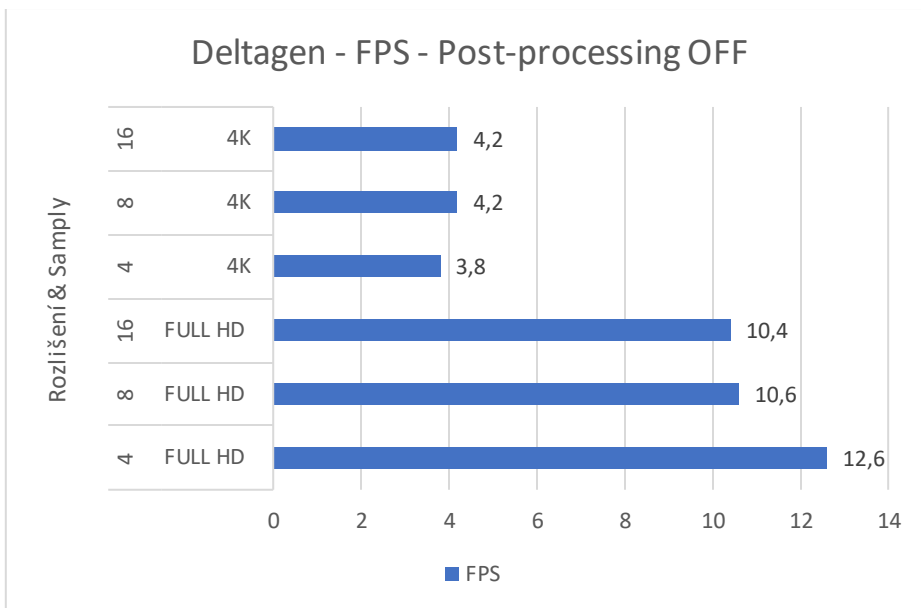
Sestavy byly hotové i z materiálové stránky. Model tedy obsahoval různé materiály dle reálné předlohy automobilu. Od skleněných oken, lakovaných plechů, nebo gumových pneumatik.

### **3.2.3 Testované parametry**

Na testovaném clusteru je možné využít 10-160 nodů, přičemž každých 10 nodů přináší sílu 240 jader. Testování probíhalo v globální iluminaci na všech 160 nodech v reálném čase pro čtyři, osm a šestnáct samplů. Pro představu náročnosti se na pracovní stanici kvůli nedostatečnému výkonu testoval v reálném čase jen jeden sample. Pro zjišťování průměrných FPS byla použita stejná animace jako při testování na pracovní stanici. Testovaná rozlišení byla FULL HD, 4K a 8K pro VRED. Pro Deltagen nebylo možné rozlišení 8K testovat, protože změna měřítka renderovacího okna nepodporuje takto vysoké rozlišení.

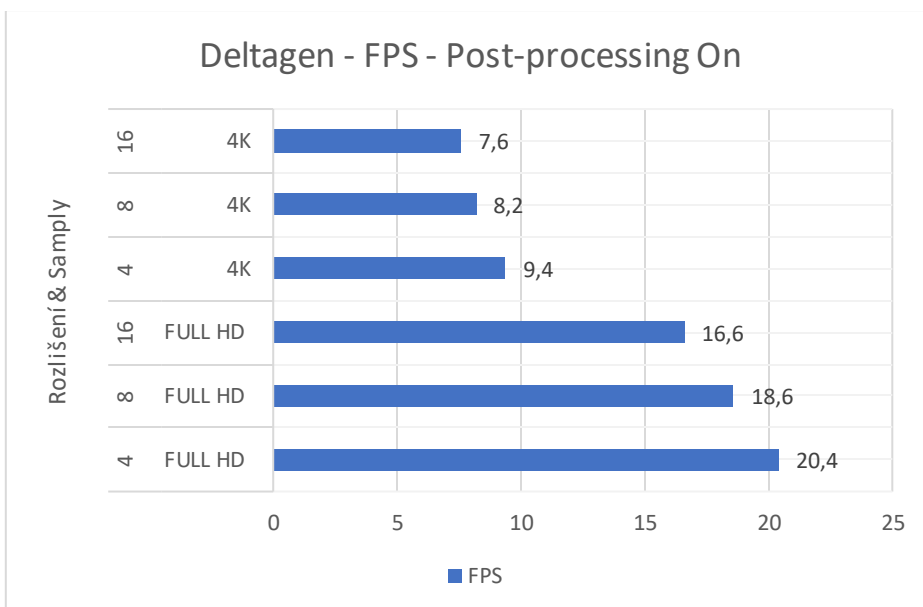
### **3.2.4 Deltagen – vypnutý/zapnutý post-processing**

Během testování byly výsledky Deltagenu nečekaně nízké. Výsledky byly konzultovány s podporou Dassault Systèmes. Obdrželi jsme radu, že pro lepší výsledky při počítání na clusteru máme zapnout post-processing. Zapnutí této funkce výsledky značně zlepšilo, jak je možné pozorovat na grafech níže.



Obrázek 25: Graf hodnot FPS při vypnutém post-processingu

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 26: Graf hodnot FPS při zapnutém post-processingu

Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce lze pozorovat, že zapnutí post-processingu opravdu zlepšilo výsledky. Průměrně byly výsledky FPS zlepšeny o 86,8 %.

Tabulka 13: Vliv post-processingu na FPS

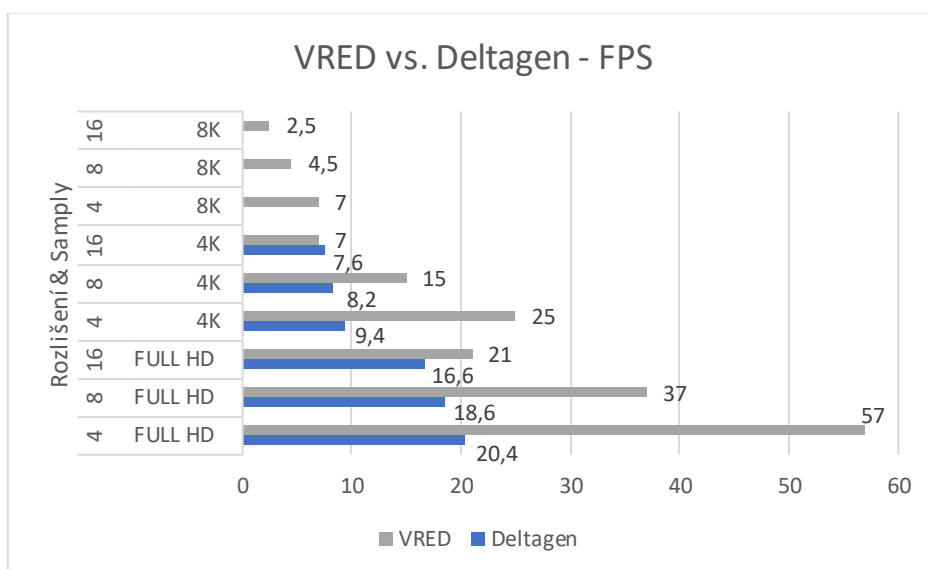
FPS POST-PROCESSING OFF	+%	FPS POST-PROCESSING ON
12,6	+61,9 %	20,4
10,6	+75,5 %	18,6
10,4	+59,6 %	16,6
3,8	+147,4 %	9,4
4,2	+95,2 %	8,2
4,2	+81 %	7,6

Zdroj: vlastní zpracování

### 3.2.5 Výsledky z výpočetního clusteru

Kompletní výsledky z výpočetního clusteru vychází ve prospěch programu VRED. Nejenže celkem obstojně dokázal renderování při rozlišení 8K, ale také má lepší průměrná FPS při téměř každém rozlišení a počtu samplech. Hodnoty průměrných FPS pro Deltagen byly brány se zapnutým post-processingem. Stejně jak při testování na pracovní stanici, výkyvy průměrných FPS jsou u Deltagenu mnohem menší. To je dáno malými hodnotami FPS, jelikož udržení vysokých je náročnější. Nejvíce se to projevuje při 16 samplech, kde se průměrné hodnoty nejvíce přibližují. Při 16 samplech v 4K rozlišení jedinkrát dosáhl Deltagen lepších hodnot.

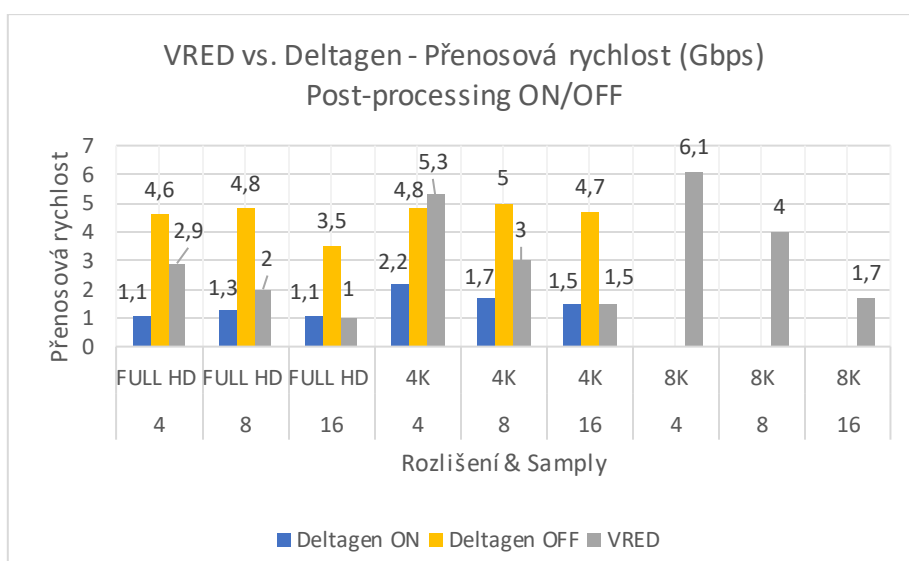




Obrázek 27: Graf hodnot FPS: VRED vs. Deltagen

Zdroj: vlastní zpracování

Přenosová rychlost dat je jeden z parametrů, který ukazuje náročnost vizualizace. Kolik dat a jak dobře dokáže pracovat s přidělenými zdroji a rozdělit si počítání scény. Čím menší je počet samplů, tím více je obraz zrnitý. Což znamená větší velikost přenášených dat. S navyšujícím se počtem samplů se snižuje zrnitost a také hodnota průměrných snímků za vteřinu což má za následek pokles přenosové rychlosti. Ideální poměr hodnot jsou co nejvyšší průměrné snímky při co nejnižší přenosové rychlosti.



Obrázek 28: Graf hodnot přenosových rychlostí – VRED vs. Deltagen

Zdroj: vlastní zpracování

## 4 Render vs. Fotografie – porovnání aplikací VRED a Deltagen

Výstupem této kapitoly je několik fotografií objektů a jejich renderů. Úkolem bylo se co nejvíce přiblížit fotografii. V původním plánu se počítalo s nafocení automobilu Škoda ve fotostudiu. Pro render mělo být použito HDRI prostředí studia a přesný model foceného automobilu. Z důvodu koronavirové epidemie, která zasáhla i Škoda Auto a.s. však nebyl tento plán proveditelný.

Bylo nutné vymyslet náhradní plán. Přišel s nápadem využití každodenních objektů. Nalezl jsem několik objektů, jejichž 3D model byl volně dostupný. Také bylo nutné hledět na materiály objektu, jestli bude možná je alespoň částečně napodobit. Např. objekt nesměl mít zrcadlové plochy, jelikož bych nebyl schopný replikovat odrazy prostředí jako ve fotografii.

Objekty jsem volil tak, aby prezentovaly různé druhy materiálů a komplexnosti. Jako zástupce plastu a zároveň větší složitosti jsem vybral gamepad pro herní konzoli PS4 a ovladač pro virtuální realitu HTC Vive. Lesklý kov byl ukázán na pinzetě. Kombinace více materiálů včetně dřeva je vidět na renderu tužky. A pro ukázkou více objektů jsem využil dva kancelářské špendlíky.

Objekty bylo nutné vyfotit v neutrálním prostředí na styl produktových fotografií. Zvolil jsem bílý podklad vytvořený z papírů. Fotilo se pod specifickým úhlem, aby bylo na fotce kolem objektu jen bílé pozadí. Focení probíhalo venku, za přírodního osvětlení, které jsem byl schopný napodobit pomocí funkce Skylight. Zaznamenával jsem pozici objektu vůči světovým stranám a vzdálenost focení, abych byl schopný co nejlépe nasimulovat scénu.

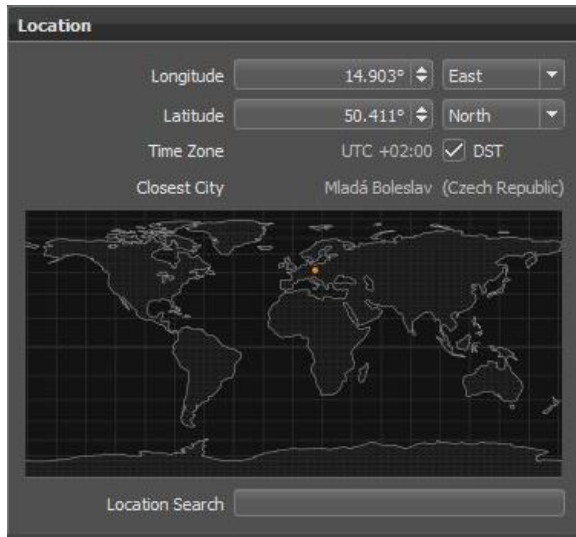


Obrázek 29: Fotografie ovladače HTC Vive

Zdroj: vlastní zpracování

## 4.1 Skylight

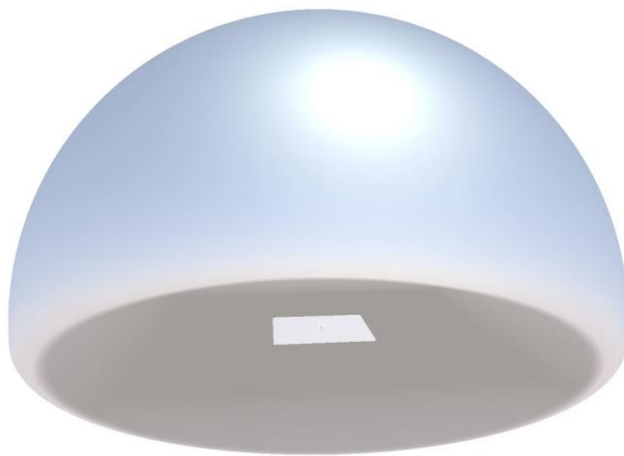
Funkce skylight softwaru VRED umožňuje vytvořit HDRI prostředí, které věrohodně simuluje venkovní osvětlení. Potřebuje k tomu přesné zeměpisné souřadnice, datum a čas. Všechny tyto parametry značně ovlivňují pozici a svítivost slunce.



Obrázek 30: Ukázka určení lokace pro skylight

Zdroj: vlastní zpracování

Je vytvořena kopule, na které je v závislosti na parametrech vyobrazena obloha bez oblačnosti se sluncem. Oblačnost je možné zvýšit, což se projeví zamlžením slunce a měkčími stíny. Na obrázku je možné vidět, jak taková scéna vypadá. Bílý čtverec uprostřed kopule nahrazuje papírový podklad z reálné fotografie. Slouží také k promítnutí stínů vrhaných sluncem.

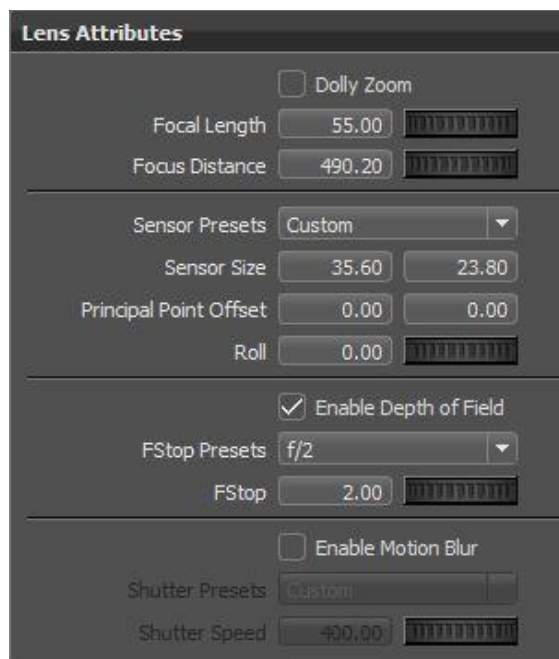


Obrázek 31: Vytvořené skylight HDRI prostředí

Zdroj: vlastní zpracování

## 4.2 Virtuální fotoaparát

Stejně jako světelné podmínky je nastavení virtuálního fotoaparátu důležité k dosažení perfektní podobnosti. Jako první bylo potřeba nastavit ohniskovou vzdálenost, abych dosáhl stejné perspektivy při totožné vzdálenosti focení. Dále velikost senzoru fotoaparátu. A jako poslední clonové číslo s ostřícím bodem pro simulaci hloubky ostrosti. Bylo důležité dávat pozor na velikost modelu. Ve scéně není s čím model porovnat, tudíž nelze pouze pohledem poznat, zdali má model správné rozměry.



Obrázek 32: Nastavitelné parametry virtuálního fotoaparátu

Zdroj: vlastní zpracování

## 4.3 Render vs. fotografie

Pro ukázkou porovnání renderů a fotografie v této kapitole jsem zvolil gamepad. Všechny další rendery a fotky jsou využity v dotazníku a je možné si je prohlédnout v příloze.

Na první pohled se všechny tři obrázky mohou zdát velice podobné. Při bližším prozkoumání je však možné si všimnout rozdílů v detailech. Za největší odlišnost považuji barvy. Respektive virtuální materiály a jejich vlastnosti. Ty krom barvy také ovlivňují chování materiálu na světle. Např. jak moc se bude lesknout, nebo jakou barvu tyto odlesky budou mít. Materiály bylo potřeba ručně vytvořit. Ale v každém z programů má i totožný materiál rozdílné parametry, takže je téměř nemožné ho vytvořit identicky. Tento nedostatek by bylo možné vyřešit zakoupením profesionálních knihoven s materiály. Další nedokonalost způsobují 3D modely, které nejsou perfektní replikou reálného objektu. To způsobuje, že je

někdy možné rozpoznat rendery jen na základě fyzické rozdílnosti. Jako poslední větší nedostatek bych zmínil stíny. Focení probíhalo, když bylo zataženo. Z toho důvodu jsou stíny na fotografiích měkké a nevýrazné. Oproti tomu mají rendery stíny výraznější. To je způsobeno vytvořeným prostředím skylight, které i přes hodnotu největší možné oblačnosti simulovalo slunce s větší svítivostí, nežli byla při focení.



*Obrázek 33: Gamepad – nahoře fotografie, vlevo render Deltagen, vpravo render VRED*

Zdroj: vlastní zpracování

Za skvělý výsledek považuji téměř identickou perspektivu modelů a fotky. Toho jsem dosáhl totožným nastavením virtuálního a reálného fotoaparátu a také stejnými pozicemi v prostoru. I hloubka ostrosti a s ní spojené rozostření části modelů odpovídá fotografii. Bylo velkým překvapením, jak dobře se dokázal virtuální fotoaparát přiblížit reálnému.

Odrazy prostředí byly největším problémem, jelikož bez HDRI prostředí lokace focení je nemožné odrazy vyrenderovat. Na výřezu fotografie špendlíku vlevo je možné pozorovat

nejen odraz nebe, ale i okolního prostředí vyznačující se tmavší červenou barvou. Oproti tomu na renderech lze pozorovat pouze světlý body, což jsou odrazy simulovaného slunce.



*Obrázek 34: Výřez špendlíku – Zleva fotografie, render VRED, render Deltagen*

Zdroj: vlastní zpracování

## 5 Zhodnocení a doporučení

V této závěrečné části bakalářské práce se zaměřuji na vyhodnocení všech získaných poznatků a dat. S jejichž pomocí se pokusím objektivně vyhodnotit, který z porovnávaných softwarů mohu určit jako lepší. Vycházet budu z vlastních zkušeností nabytých od začátku praxe, kdy jsem se každý z programů postupně učil ovládat. A postřehů získaných při testování výkonu či renderování obrázků. Dále bude hodnocení ovlivněno údaji z dotazníku. Jako poslední ovlivní hodnocení řízený rozhovor se zaměstnancem Škoda Auto a.s., který s rendery pracuje.

### 5.1 Vlastní poznatky

S programy jsem pracoval přibližně deset měsíců. Za tu dobu jsem se z úplného začátečníka vypracoval na uživatele, který programy ovládá na pokročilé úrovni.

#### 5.1.1 VRED

VRED jsem se učil používat jako první. Tréninkový manuál je přehledný a má logickou stavbu. Po měsíci výuky a dokončení manuálu jsem zvládal základní úkony. Na rozhraní aplikace jsem si velice rychle zvykl. Lišta rychlého přístupu s nejčastěji používanými funkcemi značně urychluje průběh práce. Navigace po scéně je velice přirozená. Během testování výkonu jsem nenarazil na komplikace. Testované modely bylo možné jednoduše naimportovat. Tvorba materiálů je intuitivní a má dostatečně velký náhled materiálu. Menší problém se vyskytl při přenášení materiálu mezi soubory modelů. Ale stejně jako u všech ostatních problémů, na které jsem narazil, bylo možné řešení téměř okamžitě najít díky rozsáhlé online podpoře. Díky funkci „animační wizard“ byla tvorba animace pro testování jednoduchá. I při práci s náročnými sestavami byl VRED responzivní a dobře ovladatelný.

Za projekt, který nejlépe prověřil, jak se s programy pracuje, považuji tvorbu renderů dle fotografie. Stažené modely zvládl VRED naimportovat nehledě různých 3D formátů. Vytvořenými materiály se mi podařilo velice přiblížit materiálům reálným. Tvorba HDRI prostředí pomocí funkce skylight byla pro projekt kritická. Její zpracování je naštěstí precizní a jednoduché na naučení. A kromě vyšší svítivosti slunce odpovídají světelné podmínky fotografii. Vyzdvihl bych také správu virtuálních fotoaparátů, které bylo možné duplikovat a ukládat jejich pozici ve scéně. To umožnilo mít všechny modely ve stejné scéně, každému přiřadit fotoaparát a následně mezi nimi jen přepínat.

Celkově se mi s aplikací pracovalo perfektně. Díky jednoduchému stylu, přehledně zpracovanému rozhraní a intuitivním funkcím jsem bez větších problémů dokončil všechny projekty.

### **5.1.2 Deltagen**

Deltagen jsem se učil používat jako druhý. Tréninkový manuál však nebyl volně dostupný a bylo nutné si o něj zažádat. Manuál je zajímavě pojat díky principu postupného sestavení automobilu. Po měsíci výuky jsem manuál dokončil a zvládal základní úkony. Rozhraní aplikace působí nepřehledně. Frekventovaně využívané funkce jsou nelogicky schované v záložkách. Často jsem trávil zbytečně moc času jejich hledáním. Na navigaci po scéně jsem si musel dlouho zvykat, jelikož je odlišná od navigace běžně využívané v 3D CAD programech. Během testování výkonu jsem narazil na několik komplikací hlavně u velkých sestav. Prvně, když Deltagen nebyl schopen naimportovat větší sestavy samostatně a bylo potřeba se naučit a použít přídatný software Deltabach. Při aplikaci materiálu na celou sestavu přestal program úplně odpovídat. Materiál bylo nutné opatrně aplikovat po částech, což byl velice zdoluhavý proces. Tvorba materiálu je dostačující, jen náhledový obrázek materiálu je tak malý, že nemá téměř žádnou informační hodnotu. Velké sestavy také znatelně ovlivňovaly odezvu po kliknutí, až v rozsahu několika vteřin.

Tvorba renderů podle fotografie se také neobešla bez komplikací. Jako zásadní problém se ukázala neschopnost importu mnoha 3D formátů, které však dle oficiální dokumentace mají být podporované. To mě velice omezovalo při výběru vhodných 3D modelů. V Deltagenu se nenachází funkce jako skylight, tudíž bylo HDRI prostředí importováno z VREDu. Aby Deltagen zvládl prostředí zobrazit, je nutné do názvu souboru připsat speciální koncovku. Tato informace však není v manuálu zmíněna. Prostředí se poté jen načte, ale nezobrazí. A není úplně lehké identifikovat, kde nastala chyba. Obecně funkce prostředí působí zmatečně, jelikož i se správnou koncovkou jsou potřeba další tři kroky k jeho zobrazení. Virtuální fotoaparát je možné mít pro scénu jen jeden. Z toho důvodu bylo nutné pro každý model vytvářet scénu a fotoaparát zvlášť.

Celkově se mi s aplikací npracovalo moc dobře. Interface působí nepřehledně, funkce jsou zbytečně složité a špatně přístupné. Ačkoliv jsem byl schopen dokončit všechny projekty, průběh práce byl pomalý z důvodu neustálého výskytu problému. Které nebylo vždy jednoduché vyřešit kvůli nedostatečné internetové podpoře.



## 5.2 Vyhodnocení dotazníkového šetření

Průzkum byl proveden dotazníkovým šetřením. Dotazník je rozdělen na dvě části. V první respondenti hádali, který ze tří obrázků je fotografie. V druhé části hlasovali, který ze dvou renderů vypadá realističtěji. Dotazník jsem rozeslal mezi dvě skupiny respondentů. Do **skupiny 1** patří zaměstnanci Škoda Auto a.s., kteří se s fotorealistickými rendery setkali v praxi. V této skupině jsem získal čtyřicet tři odpovědí.

**Skupinou 2** je široká veřejnost, kde předpokládám minimální zkušenosti s rendery. Dotazník jsem rozeslal mezi přátele na sociální síti Facebook. V této skupině jsem získal šedesát pět odpovědí. Výsledky dotazníku jsou řešeny formou jednoduchých tabulek a grafů. Odpovědi respondentů jsou zcela subjektivní. Výsledky šetření jsou spíše orientační.

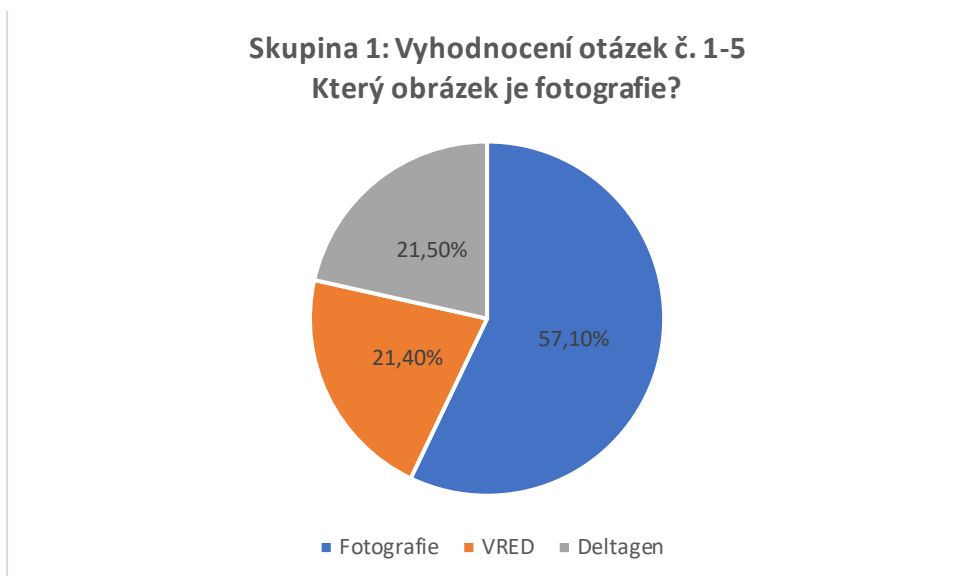
### Skupina 1 - Vyhodnocení otázek č. 1-5 Který obrázek je fotografie?

Respondenti byli schopni rozpoznat fotografii s 57,1% úspěšností. Ve čtyřech z pěti případů hlasovali respondenti nejvíce pro fotografii. Jen u špendlíků získal více hlasů render. VRED dokázal průměrně zmást 21,4 % respondentů, zatímco pro Deltagen jich průměrně hlasovalo 21,5 %.

Tabulka 14: Skupina 1: Otázka č. 1-5 Který obrázek je fotografie?

	Fotografie	VRED	Deltagen
Gamepad	74,4 %	9,3 %	16,3 %
Pinzeta	65,1 %	11,6 %	23,3 %
Špendlíky	39,5 %	44,2 %	16,3 %
Tužka	41,5 %	24,4 %	34,1 %
HTC Vive ovladač	65,1 %	16,3 %	18,6 %

Zdroj: Vlastní zpracování



*Obrázek 35: Skupina 1: Otázka č. 1-5 Který obrázek je fotografie?*

Zdroj: Vlastní zpracování

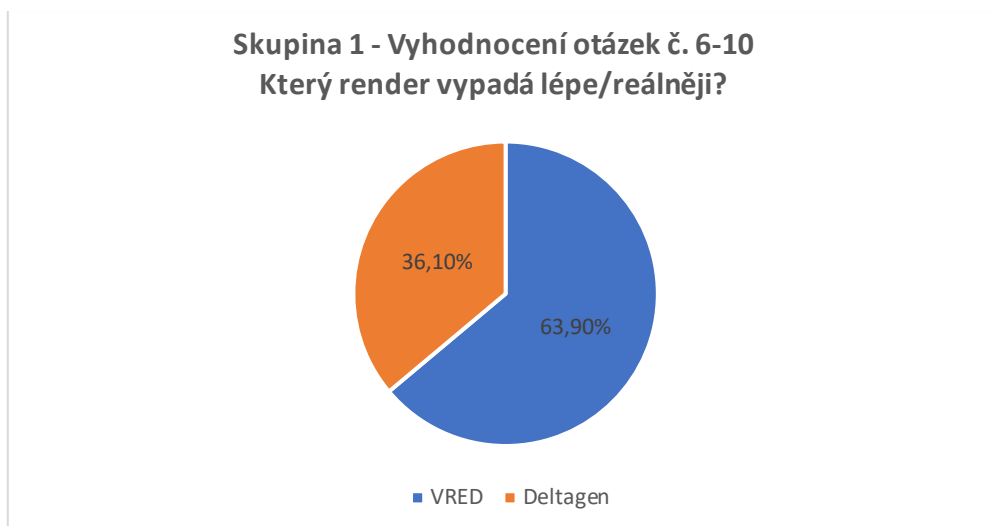
### **Skupina 1 - Vyhodnocení otázek č. 6-10 Který render vypadá lépe/reálněji?**

Respondenti hlasovali pro VRED v 63,9 % případů, zatímco pro Deltagen jich průměrně hlasovalo pouze 36,1 %. U gamepadu, špendlíků a tužky výrazně zvítězil VRED. U pinzety s ovladačem zvítězil Deltagen, avšak hlasování bylo mnohem více vyrovnané.

*Tabulka 15: Skupina 1: Otázka č. 6-10 Který render vypadá lépe/reálněji?*

	VRED	Deltagen
Gamepad	81,4 %	18,6 %
Pinzeta	47,6 %	52,4 %
Špendlíky	79,1 %	20,9 %
Tužka	67,4 %	32,6 %
HTC Vive ovladač	44,2 %	55,8 %

Zdroj: Vlastní zpracování



Obrázek 36: Skupina 1 - Vyhodnocení otázek č. 6-10 Který render vypadá lépe/reálněji?

Zdroj: vlastní zpracování

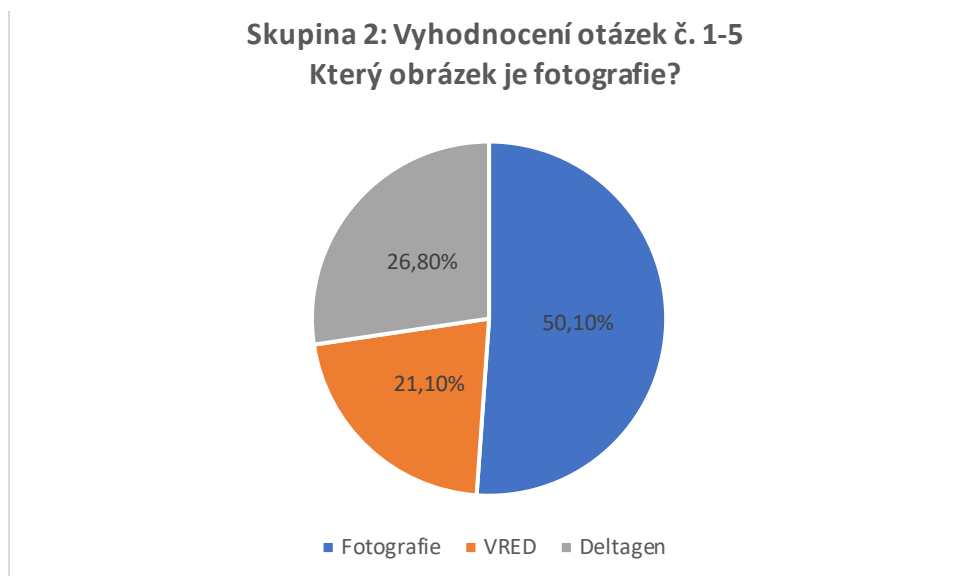
### Skupina 2 - Vyhodnocení otázek č. 1-5 Který obrázek je fotografie?

Respondenti byli schopni rozpoznat fotografii s 50,1 % úspěšností. Což je o 7 % menší úspěšnost oproti skupině 1, ve které se lidé s rendery prakticky setkali. Ve všech případech měla nejvíce hlasů fotografie. Dotazované průměrně přesvědčil VRED v 21,1 % případů, zatímco Deltagen se to povedlo v 26,8 % případů.

Tabulka 16: Skupina 2 - Vyhodnocení otázek č. 1-5 Který obrázek je fotografie?

	Fotografie	VRED	Deltagen
Gamepad	60 %	23,1 %	16,9 %
Pinzeta	44,6 %	18,5 %	26,9 %
Špendlíky	38,1 %	28,6 %	33,3 %
Tužka	46,2 %	18,5 %	35,4 %
HTC Vive ovladač	61,5 %	16,9 %	21,5 %

Zdroj: vlastní zpracování



*Obrázek 37: Skupina 2 - Vyhodnocení otázek č. 1-5 Který obrázek je fotografie?*

Zdroj: vlastní zpracování

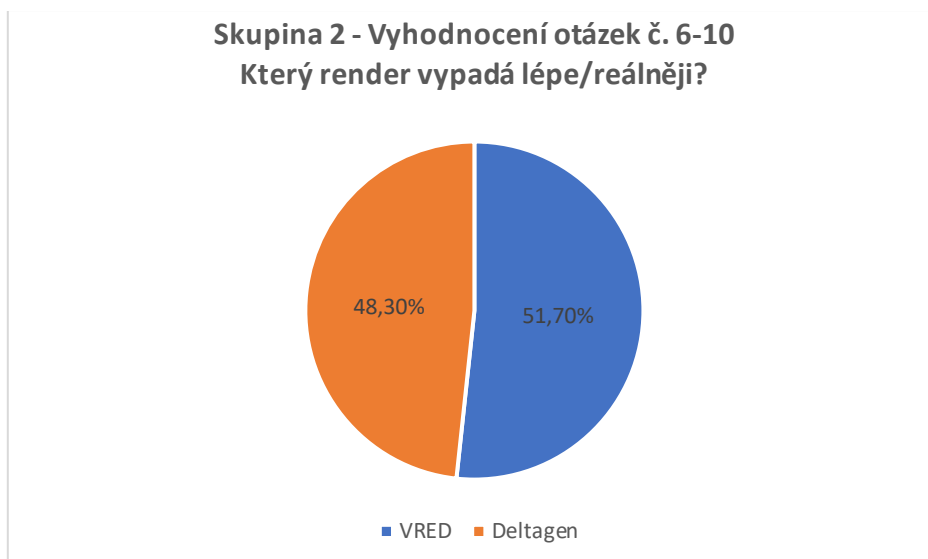
### **Skupina 2 - Vyhodnocení otázek č. 6-10 Který render vypadá lépe/reálněji?**

Respondenti hlasovali pro VRED v 51,7 % případů. Pro Deltagen průměrně hlasovalo 48,3 % dotazovaných. U gamepadu, špendlíků a tužky zvítězil VRED. U pinzety s ovladačem zvítězil Deltagen.

*Tabulka 17: Skupina 2 - Vyhodnocení otázek č. 6-10 Který render vypadá lépe/reálněji?*

	VRED	Deltagen
Gamepad	63,1 %	36,9 %
Pinzeta	38,5 %	61,5 %
Špendlíky	58,5 %	41,5 %
Tužka	69,2 %	30,8 %
HTC Vive ovladač	29,2 %	70,8 %

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 38: Skupina 2 - Vyhodnocení otázek č. 6-10 Který render vypadá lépe/reálněji?

Zdroj: vlastní zpracování

### 5.3 Řízený rozhovor

Pro další zhodnocení renderů jsem oslovil kolegu Ing. Romana Piekníka Ph.D., který má v tomto oboru zkušenosti. Otázky jemu kladené byly zaměřeny na odborné posouzení kvality a vlastností renderů.

Můžete říci něco o Vašich zkušenostech a přiblížit Vaši náplň práce?

*Vystudoval jsem univerzitu ČVUT, kde jsem také v letech 2002-2013 pracoval v laboratoři Spolehlivosti systému. V této laboratoři jsme vyvíjeli vozové simulátory. Součástí této práce byla i tvorba virtuálních scén, za které jsem byl zodpovědný. Od roku 2013 pracuji ve společnosti Škoda Auto v týmu Virtuální reality. Zde mám na starosti podporu a vývoj virtuálních studií a renderování.*

Jakým způsobem jste porovnával rendery z jednotlivých SW?

*Porovnání renderů z jednotlivých SW je velmi složitá a ošemetná záležitost. Čím jednodušší objekt, tím hůře se na něm hledají nedostatky z hlediska fyzikální a optické korektnosti. Obzvlášť těžké je srovnání objektů, které nejsou zcela totožné. Tyto rendery budu tedy posuzovat hlavně ze subjektivního pohledu.*

### Jak byste zhodnotil rendery pinzety?

*U pinzety z VREDu se mi líbí odlesk na vnitřní straně pinzety a její slabý stín. U renderu z Deltagenu je vidět na spojení dvou kovů ostrý bílý odlesk od zdroje světla, ale zcela zde chybí stín, což v reálném prostředí nemůže nastat.*

### Jak byste zhodnotil rendery gamepadu?

*U ovládacího prvku konzole je u renderu z Deltagenu hodně zvláště nastaven materiál na pravé části uchycení. Na jedné části uchycení je vidět mírný odlesk z centrálního světla a v druhé části není vidět vůbec. Tím pádem je na daném renderu vidět znatelný přechod těchto materiálů. Celkově se mi nastavení materiálu a světel zdá lepší u aplikace VRED. Je to také vidět na zlomech šipek ovládacího prvku. Na renderu z Deltagenu je opět vidět ostrý bílý odlesk na spodní části ovládacího prvku, což by mělo mít za následek ostřejší stín.*

### Jak byste zhodnotil rendery tužky?

*Tužka pro mě byla nejtěžší z hlediska srovnání a vyhodnocení. Oba objekty jsou hodně pěkně vyrenderovány a také to byl jediný render, kde jsem nedokázal rozeznat render od reálné fotky. Ale z hlediska subjektivního dojmu se mi o trošičku více líbí render z VREDu a to kvůli výraznější barvě a lépe viditelným vlnkám po ořezání.*

### Jak byste zhodnotil rendery špendlíku?

*Jediný render, který se mi více líbí z aplikace Deltagen je render špendlíku. V aplikaci Deltagen jsou krásně vidět odlesky a barvy, kdežto u VREDu je obrázek celý zašumělý a jako by byl v nějakém oparu.*

### Jak byste zhodnotil rendery HTC Vive ovladače?

*Nejznatelnější rozdíl mezi fotkou a renderem je vidět právě u HTC Vive ovladače. Tento rozdíl je hodně znatelný na centrálním kolečku a jeho stínu na spodní straně. Jinak render se mi opět více líbí z aplikace VRED, a to z důvodu lépe nastavených materiálů. Tento ovladač má totiž ve skutečnosti z horní strany všechny kryty i tlačítka ze stejného materiálu. U aplikace Deltagen mají tlačítka přidělen jiný materiál a render nevypadá úplně konzistentně a reálně.*

### Co považujete za největší slabiny renderů a kde vidíte místo ke zlepšení?

*Největší slabiny daných renderů vidím v tom, že dané rendery nevycházejí z jednoho modelu. Ideální by bylo, kdyby se nafotil nějaký objekt, ten se následně naskenoval do digitální podoby a poté naimportoval do daného SW. V tomto SW by se přiřadili jednotlivé materiály, textury, světla a prostředí. Poté by se vyrenderoval a porovnal s originální fotografií. Také by bylo velice zajímavé se zaměřit na složitější objekty, které by se zimplementovaly do skutečného prostředí. Doporučoval bych třeba část automobilu. Například kapotu. Zde by se mohly testovat i jednotlivé odlesky daného prostředí a závislost a ovlivnění odlesků od jiného materiálu. V těchto disciplínách mají totiž všechny renderovací nástroje největší slabiny.*

Děkuji za rozhovor.

### **Interpretace získaných dat**

Z rozhovoru je zřejmé, že porovnání renderů není zcela jednoduché a je velice subjektivní. Také, že rendery měly daleko k dokonalosti po stránce fyzické i materiálové rozdílnosti. Přesto se pan Ing. Piekník Ph.D. vyjadřuje ve čtyřech z pěti renderů ve prospěch VREDu.

### **5.4 Zhodnocení**

VRED a Deltagen jsem využíval poměrně dlouhou dobu a z osobního hlediska rozhodně považuji za lepší VRED. Veškeré úkony, které jsem ve VREDu bez problémů zvládal, trvaly v Deltagenu déle a jejich provedení bylo složitější. Po výkonnostní stránce je na tom Deltagen také hůře. Má problémy s velkými sestavami a ať už na pracovní stanici nebo výpočetním clusteru byly výsledky téměř vždy horší. Z dotazníku je zřejmé, že respondentům z Škoda Auto a.s. se značně více líbily rendery z VREDU. U široké veřejnosti byly výsledky téměř vyrovnané, přesto respondenti hlasovali více ve prospěch VREDu. Z řízeného rozhovoru s panem Ing. Piekníkem Ph.D. vychází, že se mu také ve čtyřech z pěti případech více líbily rendery z VREDu.

## Závěr

V úvodní části této bakalářské práce bylo popsáno využití vizualizace v automobilovém průmyslu, technologie renderování a využití fotorealistické vizualizace společně s virtuální realitou. Následují kapitoly, které porovnávají programy VRED a Deltagen z různých hledisek. První bylo provedeno porovnání z hlediska běžného využití uživatelem. U každé kategorie byly vypsány klady a zápory. Následně bylo provedeno testování programů z hlediska výpočetního výkonu aplikací. Finální porovnání bylo provedeno tvorbou co nejvěrohodnějších renderů dle fotografie. Ty byly vyhodnoceny pomocí dotazníkového šetření a řízeného rozhovoru s odborníkem. Ze všech získaných výsledků a dat je možné doporučit VRED jako vhodnější software pro fotorealistickou vizualizaci.

Přínosem této práce je shrnutí a porovnání dvou vizualizačních programů VREDu a Deltagenu, které doposud nebylo zpracováno. Společnost Škoda Auto a.s., ale i jakákoliv jiná společnost zabývající se fotorealistickou vizualizací může využít tuto práci jako pomocný podklad pro rozhodnutí, který z programů k vizualizaci použít na základě mých získaných zkušeností a poznatků. Ty jsem získal učením se z úplného začátečníka po zkušeného uživatele. Dále na základě dat z měření výkonu, provedených na různě složitých sestavách s různými materiály, nebo za pomoci vytvořených renderů, na které si může každý čtenář udělat svůj vlastní názor. Popřípadě si může prohlédnout vyhodnocení dotazníku.

Rendery nejsou dokonalé z důvodu neidentických modelů a ručně tvořených materiálů a prostředí. V budoucnu by bylo možné tuto práci rozšířit zbavením se těchto nedostatků. Modely by bylo možné naskenovat do digitální podoby, materiály netvořit ale využít shodných materiálůvých knihoven a použít opravdové prostředí focení. Další možností rozšíření by bylo renderování mnohem složitějších modelů, popřípadě přímo automobilů.



## Seznam použité literatury

AUTODESK INC. 2020. Annual report 2019. *Sec.gov* [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/769397/000076939719000016/adsk-0131201910xk.htm>

AUTODESK, INC. 2014. VRED professional 2015 fundamentals. *Autodesk.com* [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <http://download.autodesk.com/us/vred/2015help/AS-VRED15P-10-SG.pdf>

Autodesk. 2013. Visualisation in automotive. *Damassets.autodesk.net* [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: [https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/solutions/digital-prototyping/automotive/docs/pdfs/autodesk\\_automotive\\_white\\_paper\\_en\\_us\\_v2.pdf](https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/solutions/digital-prototyping/automotive/docs/pdfs/autodesk_automotive_white_paper_en_us_v2.pdf)

BLOCH, Christian. 2007. *The HDRI handbook 2.0: high dynamic range imaging for photographers and CG artists*. Rocky Nook, Inc. pp. ISBN 978-1-937538-16-3

*Cadstudio: Autodesk VRED* [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://www.cadstudio.cz/vred>

CARDOSO, Jamie. 2017. *3D photorealistic rendering: interiors & exteriors with V-Ray and 3ds Max*. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-138-78072-9

CAULFIELD, Brian. 2018. What's the Difference Between Ray Tracing and Rasterization?. *Blogs.nvidia.com* [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://blogs.nvidia.com/blog/2018/03/19/whats-difference-between-ray-tracing-rasterization/>

D. HANSEN, Charles a Christopher R. JOHNSON. 2005. *The Visualization Handbook*. Nizozemsko: Elsevier Science Publishing Co. ISBN 0-12-387582-X.

DASSAULT SYSTEMES SE 2019. Annual report 2018. *Investor.3ds.com* [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://investor.3ds.com/static-files/2d88e285-43f4-417c-8b78-d382dc0e9841>

DASSAULTSYSTEMES SE 2019. Training handbook. *Support.3dexcite.com* [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://support.3dexcite.com/support/get-your-deltagen-training-handbook/>

EVANSON, Nick. 2019. How 3D Game Rendering Works, A Deeper Dive: Rasterization and Ray Tracing. *Techspot.com* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z:

<https://www.techspot.com/article/1888-how-to-3d-rendering-rasterization-ray-tracing/>

GOOCH, Bruce a Amy GOOCH. 2002. *Non-Photorealistic Rendering*. A.K. Peters Ltd. Publishers. ISBN: 1-56881-133-0

GRIGGS, Lee. 2017. What is Sampling? *Area.autodesk.com* [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://area.autodesk.com/tutorials/what-is-sampling/>

HOUSER, Pavel. 2009. Cave: Virtuální realita v jeskyni. *Scienceworld.cz* [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: [https://www.scienceworld.cz/technologie/cave-virtualni-realita-v-jeskyni-5276/?switch\\_theme=mobile](https://www.scienceworld.cz/technologie/cave-virtualni-realita-v-jeskyni-5276/?switch_theme=mobile)

KAHL, Martin. 2015. Visualisation virtually everywhere in auto industry. *Automotiveworld.com* [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://www.automotiveworld.com/articles/3d-visualisation-virtually-everywhere-auto-industry/>

MÖLLER, Tomas, Eric HAINES a Naty HOFFMAN. 2008. *Real-time rendering*. 3rd ed. Wellesley: A.K. Peters. ISBN 978-1-56881-424-7.

ORŠULÁK, Tomáš a Jan PACINA. 2012. *3D modelování a virtuální realita*. Ústí nad Labem: Tomáš Mikulénka. ISBN 978-80-904927-4-5

PHARR, Matt, Jakob WENZEL a Greg HUMPHREYS. 2017. *Physically based rendering: from theory to implementation. Third edition*. Cambridge: Elsevier/Morgan Kaufmann Publishers. ISBN 978-0-12-800645-0.

*Pluralsight: Eliminate Texture Confusion: Bump, Normal and Displacement Maps* [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://www.pluralsight.com/blog/film-games/bump-normal-and-displacement-maps>

*Realtimerendering* [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <http://www.realtimerendering.com>

*Scratchapixel: Rasterization* [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering/rasterization-practical-implementation>

SHIRLEY, Peter a Steve MARSCHNER. 2015. *Fundamentals of Computer Graphics, Fourth Edition*, A K Peters/CRC Press. ISBN 978-1482229394

SCHRUTE, Ahmed. 2019. Rendering Pipeline In Unity. *Medium.com* [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://medium.com/shader-coding-in-unity-from-a-to-z/rendering-pipe-line-f0471aa0904b>

STRACHOTA, Pavel. 2015. [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <http://saint-paul.fjfi.cvut.cz/base/sites/default/files/POGR/POGR2/12.raytracing.pdf>

## Seznam příloh

Příloha A – Dotazník – Fotorealistická vizualizace VRED vs. DELTAGEN.....	69
Příloha B – Fotografie + rendery – Gamepad.....	73
Příloha C – Fotografie + rendery – Pinzeta.....	75
Příloha D – Fotografie + rendery – Špendlíky.....	77
Příloha E – Fotografie + rendery – Tužka.....	78
Příloha F – Fotografie + rendery – HTC Vive ovladač.....	80

## Přílohy práce

Příloha A – Dotazník – Fotorealistická vizualizace VRED vs. DELTAGEN

# Fotorealistická vizualizace VRED vs. DELTAGEN

Poznáš fotografii ?

Který obrázek je fotografie ?



- 1
- 2
- 3

Který obrázek je fotografie ?



- 1
- 2
- 3

Který obrázek je fotografie ?



- 1
- 2
- 3

Který obrázek je fotografie ?



- 1
- 2
- 3

Který obrázek je fotografie ?



- 1
- 2
- 3

# Fotorealistická vizualizace VRED vs. DELTAGEN

Foto-realističtější render ?

Který render vypadá lépe/reálněji?



1

2

Který render vypadá lépe/reálněji?



1

2

Který render vypadá lépe/reálněji?



- 1
- 2

---

Který render vypadá lépe/reálněji?



- 1
- 2

---

Který render vypadá lépe/reálněji?



- 1
- 2



Příloha B – Fotografie + rendery – Gamepad



Deltagen



VRED



Příloha C – Fotografie + rendery – Pinzeta



Deltagen



VRED



Příloha D – Fotografie + rendery – Špendlíky

VRED



Deltagen



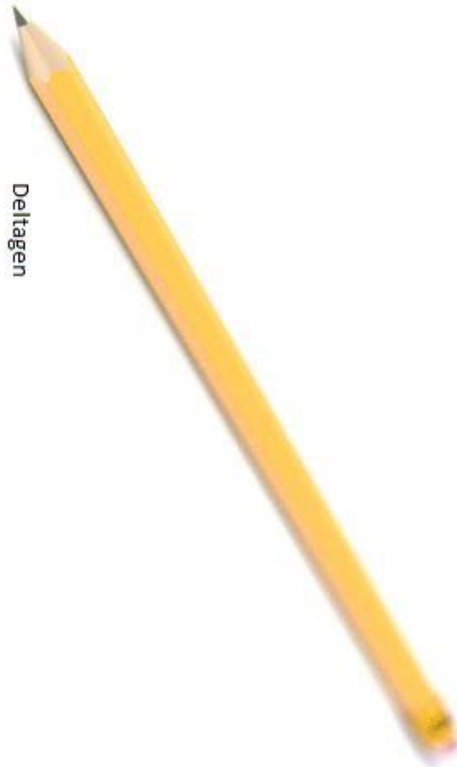
Příloha E – Fotografie + rendery – Tužka



VRED



Deltagen







VRED



Deltagen

