

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačního inženýrství



Bakalářská práce

Porovnání aplikací pro renderování scén

Jan Mikulášek

Vedoucí práce: Ing. Dana Vynikarová, Ph.D.

© 2013 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra informačního inženýrství

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Mikulášek Jan

Informatika

Název práce

Porovnání aplikací pro renderování scén

Anglický název

Comparison of Applications for Rendering Scenes

Cíle práce

Cílem bakalářské práce bude porovnání aplikací určených pro renderování scén - Mental Ray a V-Ray. Dílčími cíli práce bude nalezení diferencí v různých technikách a zpracování v těchto aplikacích a zhodnocení jejich výhod a nevýhod nástrojů.

Metodika

V literární rešerši práce se autor nejdříve zaměří na osvětlení problematiky renderování a seznámení s technikami a nastaveními, která se používají a mají podstatný vliv na výsledek renderu. V praktické části práce se autor práce zaměří na porovnání aplikací určených pro renderování scén - Mental Ray a V-Ray.

Autor bude v průběhu tvorby práce pracovat s odbornou literaturou, ale využije i svých vlastních znalostí prostředí a práce s programem 3D Studio Max, na kterém bude práce modelována a prakticky ukazována.

Harmonogram zpracování

ZS 2011/12 - tvorba zadání práce

LS 2011/12 - práce na literární rešerši

ZS 2012/13 - dokončení literární rešerše práce a započítí práce na praktické části

LS 2012/13 - dokončení praktické části práce a odevzdání práce

Rozsah textové části

30 - 40 stran

Klíčová slova

Aplikace, rendering, osvětlení, Mental Ray, VRay, porovnání, techniky.

Doporučené zdroje informací

BIRN Jeremy, 2006: Digital Lighting & Rendering, Second Edition, Berkeley USA:p.432, ISBN-10: 0-321-31631-2.

LEGRENZI Francesco, 2008: VRay THE COMPLETE GUIDE, Borgosatollo, Itálie, Industrie Grafiche Stilgraf:p.1068, ISBN 888813723-8.

S.TILL, J. O'CONNELL, 2006: 3ds max 7 výukový průvodce, Brno, Computer Press:p.280, ISBN: 80-251-0918-6.

Vedoucí práce

Vyníkarová Dana, Ing., Ph.D.

Termín odevzdání

březen 2013



Ing. Martin Pelikán, Ph.D.
Vedoucí katedry



prof. Ing. Jan Hron, DrSc., dr.h.c.
Děkan fakulty

V Praze dne 17.9.2012

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Porovnání aplikací pro renderování scén" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 8.3.2013

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Daně Vynikarové, Ph.D. za čas, který mi věnovala a za to, že mi umožnila napsat bakalářskou práci na toto téma. Rovněž děkuji za její odborný dohled nad prací.

Porovnání aplikací pro renderování scén

Souhrn

Bakalářská práce je zaměřena na popsání vlivu světla na scénu v počítačové grafice a na porovnání renderovacích aplikací. V teoretické části jsou objasněny základní principy světla a metody výpočtů světelných vln v 3D grafice. Jsou popsány základní efekty vznikající vlivem světla dopadajícího na různé druhy objektů s různými strukturami. Praktická část je zaměřena na vlastní porovnání renderovacích aplikací. Jsou zde vyjmenovány parametry každé aplikace a vysvětleny vlivy nastavení jednotlivých renderovacích aplikací na výsledek. V závěru práce jsou zhodnoceny klady a zápory aplikací. Je zvolena renderovací aplikace, která je vzhledem k porovnávaným parametrům podle autora lepší.

Klíčová slova: aplikace, rendering, osvětlení, Mental Ray, V-Ray, porovnání, techniky

Comparison of Applications for Rendering Scenes

Summary

This bachelor thesis is focused on the description of influence of light on scene in computer graphics and comparison of rendering applications. In teoretic part of the work are explained the basic principles of light and methods of computing lights in 3D graphics. There are described the basic effects, which created by light acting with different kind of objects with different structures. Practical part of the work is focused on comparison of rendering applications. There are listed the parameters of each application and explained influence sof petting of each render application on a result. In the end of the work, there are evaluated positives and negatives of the applications. There is a selected application, which is according to the author, due to compared parametres better.

Keywords: applications, rendering, lightning, Mental Ray, V-Ray, comparison, techniques

Obsah

| | | |
|-------|-------------------------------------------------|----|
| 1 | Úvod..... | 10 |
| 2 | Cíl práce a metodika..... | 10 |
| 3 | Elektromagnetické spektrum..... | 11 |
| 4 | Světlo | 12 |
| 4.1 | Radiometrie a fotometrie..... | 13 |
| 4.1.1 | Radiometrie | 13 |
| 4.1.2 | Fotometrie | 15 |
| 4.2 | Aditivní a subtraktivní prostor | 17 |
| 4.3 | Obrazy s vysokým dynamickým rozsahem..... | 19 |
| 4.4 | Lom světla (Refraction) | 20 |
| 4.5 | Odraz světla (Reflection) | 20 |
| 4.5.1 | Difúzní odraz (Diffuse reflection)..... | 21 |
| 4.5.2 | Zrcadlový odraz (Specular reflection) | 21 |
| 4.5.3 | Lesklý odraz (Glossy reflection)..... | 22 |
| 4.6 | Světelné zdroje | 23 |
| 4.6.1 | Anatomie světla..... | 23 |
| 5 | Stíny | 24 |
| 5.1 | Tvrdé a měkké stíny | 25 |
| 5.2 | Barva stínu | 26 |
| 5.3 | Algoritmy pro výpočet stínů | 27 |
| 5.3.1 | Shadow map (depth map) shadows..... | 27 |
| 5.3.2 | Raytracingové stíny (Raytraced shadow)..... | 30 |
| 5.4 | Aliasing, Anti-aliasing | 31 |
| 5.4.1 | Aliasing | 31 |
| 5.4.2 | Anti-aliasing | 31 |
| 5.5 | Okluze (Occlusion) | 34 |
| 5.5.1 | Okolní okluze (Ambient occlusion)..... | 34 |
| 6 | Globální osvětlení (Global illumination) | 35 |
| 6.1 | Globální osvětlovací techniky..... | 36 |
| 6.1.1 | Metody vycházející od pozorovatele | 37 |
| 6.1.2 | Metody vycházející od světelného zdroje | 38 |
| 6.1.3 | Dvousměrové metody | 39 |
| 6.2 | Kaustiky (Caustics) | 40 |
| 7 | Renderovací aplikace | 41 |
| 7.1 | mental ray..... | 41 |
| 7.2 | V-Ray | 41 |
| 7.3 | Aktivace renderovacích aplikací | 42 |
| 8 | Render Setup (Nastavení renderu) | 42 |
| 8.1 | Záložka Common | 43 |
| 8.2 | Záložky aplikace mental ray | 44 |
| 8.2.1 | Renderer | 44 |
| 8.2.2 | Indirect Illumination (nepřímé osvětlení) | 44 |
| 8.2.3 | Processing | 47 |
| 8.2.4 | Render elements | 47 |
| 8.3 | Záložky aplikace V-Ray..... | 47 |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------|----|
| 8.3.1 | V-Ray | 47 |
| 8.3.2 | Indirect Illumination (nepřímé osvětlení) | 48 |
| 8.3.3 | Settings (nastavení) | 50 |
| 8.3.4 | Render elements | 50 |
| 8.4 | Frame buffer vs. Frame window | 50 |
| 8.5 | Environments and Effects | 51 |
| 9 | Výsledné porovnání | 51 |
| 10 | Závěr a zhodnocení aplikací | 55 |
| 11 | Seznam literatury | 57 |
| 12 | Seznam obrázků | 58 |
| 13 | Seznam tabulek | 59 |
| 14 | Přílohy | 60 |

1 Úvod

Tvorba počítačové grafiky je dnes velice rozšířeným odvětvím. Využití možností počítačové grafiky je vidět téměř všude, například ve filmech, počítačových hrách, v televizi. Tvorba 3D scén slouží tam, kde je třeba levně nahradit skutečnou scénu.

Autor v bakalářské práci porovná renderovací aplikace, které slouží ke zprostředkování grafického výstupu 3D modelů. Pomocí renderovacích aplikací se vykreslují připravené scény s použitím konkrétního nastavení. Nastavení těchto aplikací probíhá na úrovni osvětlení.

Bez světla by stejně jako v reálném světě i v počítačové grafice nebylo nic vidět. Proto je pro simulaci reálného světa klíčové. Díky světlu a jeho náležitostem jsou rozpoznatelné tvary, barvy a struktury objektů.

2 Cíl práce a metodika

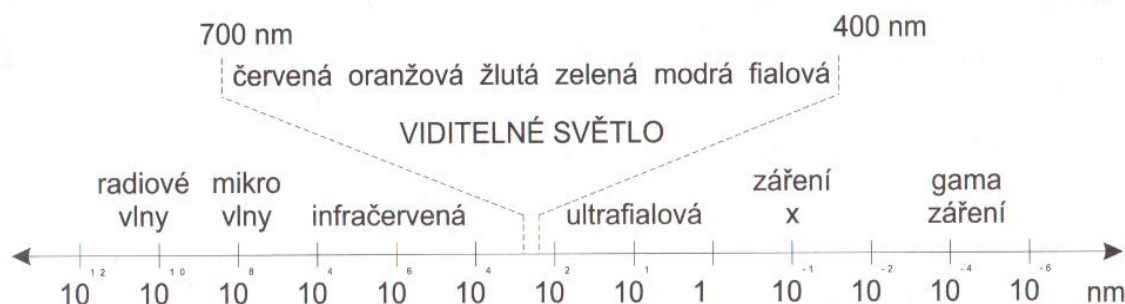
Cílem bakalářské práce bude porovnání aplikací určených pro renderování scén – metal ray a V-Ray. Dílčími cíli práce bude nalezení diferencí v různých technikách a zpracování osvětlení scén v těchto aplikacích a zhodnocení výhod a nevýhod nástrojů.

V literární rešerši práce se autor nejdříve zaměří na problematiku osvětlení scén v počítačové grafice a seznámení se základními technikami, které se používají a mají podstatný vliv na výsledek renderu. V praktické části práce se autor zaměří na porovnání aplikací určených pro renderování scén – mental ray a V-Ray. Autor bude v průběhu tvorby práce pracovat s odbornou literaturou, ale využije i svých vlastních znalostí prostředí a práce s programem 3D Studio Max, na kterém bude práce modelována a prakticky ukazována.

3 Elektromagnetické spektrum

Člověk vnímá světlo, jako viditelnou část elektromagnetického spektra, které zahrnuje všechny známé druhy záření, kterými jsou například mikrovlny nebo rentgenové paprsky. Elektromagnetické záření má charakter vlnění a vzniká oscilací elektricky nabitých materiálů. V pozemském měřítku umožňuje předat informaci o událostech prakticky okamžitě po výskytu, protože se šíří přibližně 300 000 km/s po přímých drahách. Elektromagnetické záření může v závislosti na vlnové délce integrovat s látkami různým způsobem. *“Obrazy pořízené při různých vlnových délkách mohou mít odlišné vlastnosti a poskytovat o jevech a objektech rozdílné informace.”* [8]

Na obrázku č. 1 jsou vidět jednotlivé spektra elektromagnetického záření.



Obrázek č. 1: Spektra elektromagnetického záření
(Zdroj: ŽÁRA, BENEŠ, SOCHOR, FELKEL. *Moderní počítačová grafika*, 2010, str. 19)

Pro člověka viditelná část spektra se nalézá v oblasti vlnových délek přibližně 380 až 720 nm. V této oblasti je vnímáno záření s určitou vlnovou délkou jako barva. Například světlo s vlnovou délkou 550 nm je vnímáno jako zelené, světlo o délce 720 nm jako červené. Elektromagnetické záření s kratšími vlnovými délkami s sebou nese více energie, například v oblasti rentgenových paprsků (vlnová délka okolo 0,1 nm) nese světlo takovou energii, která umožňuje prostoupit větším objemem hmoty. Proto rentgenové paprsky umí odhalit vnitřní strukturu objektů, které jsou jinak neprůhledné (neprůhledné v oblasti viditelného světla). Spolu s gama zářením mají proto rentgenové paprsky význam v lékařství. Význam při zobrazování má také infračervené záření, jehož vlnové délky jsou delší než světlo. *„Infračervené záření vydávají zahřáté objekty a lze je tedy použít pro lokalizaci a vizualizaci těchto objektů ve tmě.“* [8]

Bílé světlo vzniká skládáním paprsků všech frekvencí v daném pásmu, vyslaných světelným zdrojem, jako je například slunce nebo obyčejná žárovka. Dopadne-li bílé světlo na objekt, jsou některé frekvence povrchem objektu odraženy a některé jsou pohlceny. Kombinace frekvencí přítomných v odraženém světle vytváří to, co je vnímáno jako barva objektu. Převládají-li v odraženém světle nízké frekvence, je objekt vnímán jako červený. [8]

Viditelným světlem je tedy úzké frekvenční pásmo elektromagnetického spektra v oblasti 10^{14} Hz. Lidské oko je schopné rozlišit mezi vnímatelnými frekvencemi až 400 000 různých barev, v jednom okamžiku však maximálně 10 000. Tyto barvy pokrývají barevný rozsah od červené přes oranžovou a žlutou pro nižší frekvence, až po zelenou, modrou a fialovou pro vyšší frekvence.

4 Světlo

Světlo se chová dvojím způsobem, jako vlny i jako částice. Vlnový popis je vhodný pro vysvětlení jevů, jako je disperze světla (rozklad světla), difrakce (ohyb světla), interference (skládání) a jiné. Částicovým popisem se naopak může vysvětlit odraz světla, interakce s drsným povrchem a jiné. Optika, nauka o světle, se rozděluje do následujících podoblastí:

- Geometrická optika – světlo je popisováno jako nezávislé paprsky putující prostorem a jejich trajektorie lze popsat geometrickými pravidly
- Vlnová optika – modeluje elektromagnetické vlny a umožňuje popsat většinu jevů, které nelze popsat geometrickou optikou, hlavně difrakci a interferenci
- Elektromagnetická optika – zahrnuje vlnovou optiku a navíc popisuje polarizaci světla a disperzi na hranách
- Fotonová optika - neboli kvantová optika, je základem pro vysvětlení interakce světla s materiálem

V počítačové grafice se ve většině případů používá geometrická optika a někdy i popis světla pomocí částic. Pomocí těchto modelů je možné popsat a modelovat většinu jevů, které jsou důležité pro vizuální vnímání světla. *„Počítačová grafika se nezabývá jevy, jako je polarizace či difrakce světla, ačkoli tato rozšíření jsou možná poměrně snadná.“* [8]

Při simulaci světla se používají tyto předpoklady a zjednodušení:

1. Světlo se šíří přímočaře.
2. Rychlost šíření světla je nekonečná. Světlo je okamžitě po opuštění světelného zdroje přítomné na všech místech, což způsobuje, že je scéna v ustáleném stavu a není třeba se zabývat dynamickou simulací pohybu světla. Veškeré odezvy jsou okamžité.

Světlo není ovlivněno gravitací, elektromagnetickým polem a neuplatňují se relativistické jevy. [8]

4.1 Radiometrie a fotometrie

Metody a jednotky měření, které jsou součástí energie světla, jsou založené na radiometrických a fotometrických podmínkách a jejich relativních jednotkách. Měření intenzity světla, využíváním přesnosti radiometrického měření (radiance) nebo ekvivalent v podobě fotometrického měření (luminance), je významné pro 3D rendering, zejména pro nepřímé osvětlení (indirect illumination). Fotometrické veličiny lze odvodit od těch radiometrických. [4]

4.1.1 Radiometrie

Radiometrické měření se používá pro fyzikálně přesnou simulaci světla a určení vlivu světla na povrchy objektu ve scéně. Radiometrie je část geometrické optiky, užívaná pro matematické popsání světla. Rendering je z velké části ovlivněn radiometrickým měřením světla působícího ve scéně. [4]

„Základní světelnou částicí je foton. Je to nejmenší kvantum záření, které může být vyzářeno. Radiantní energie [J] je energie fotonů určité vlnové délky v určité oblasti. Tato veličina je nesměrová, jedná se pouze o součet energií všech fotonů v určitém místě. Světlo dopadající na povrch objektu či vyzářené do prostoru v určitém čase lze reprezentovat jako zářivý výkon (radiant power) nebo také zvaný zářivý tok (radiant flux)[W]. Jedná se o množství energie vyzářené či přijaté za jednotku času. V případě zářivého toku se nerozlišuje, zda se jedná o tok vyzářený nebo dopadající. Světelná tok dopadající na jednotku plochy, též hustota světelného toku na ploše, se nazývá irradiance (irradiance). Světelný tok vyzářený plochou (je jedno zda se jedná o vlastní emisi nebo odražený tok) se nazývá radiozita (radiosity).“ [8]

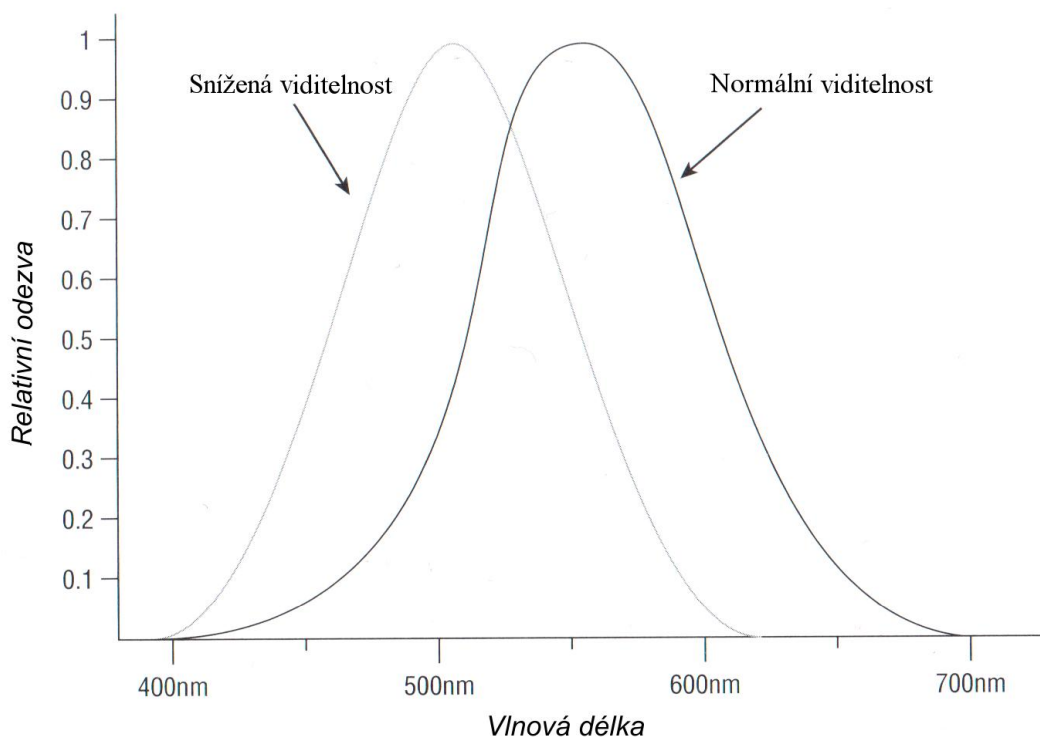
4.1.1.1 Zář (Radiance)

„Nejdůležitější radiometrickou veličinou globálního osvětlení je radiance. Radiance udává přijímaný či vyzářený výkon (tok) na jednotkovém prostorovém úhlu na jednotku kolmo promítnuté plochy. Lze si ji představit jako veličinu udávající počet fotonů přicházejících či vyzářených v určitém směru za jednotku času a procházející průmětem plošky, která je kolmá na tento směr. Radiance je to, co se obvykle označuje barvou paprsku. Důležitost radiance plyne i z faktu, že všechny výše uvedené radiometrické veličiny lze z ní vyjádřit.“ [8]

„Ve vakuu je radiance na své dráze konstantní. To je základní pravidlo, které je použito ve všech algoritmech globálního osvětlování s výjimkou opticky aktivních médií, jako například mlha, kouř, částičky prachu, vodní pára atd. Tyto jevy jsou příčinou odražení fotonů a tedy i změny jejich dráhy v prostoru. Na radiaci jsou citlivé i fotoaparáty lidské oko a jiné. Jejich odezva je úměrná přijaté radianci, a proto se barva či kontrast objektu nemění se vzdáleností, ze které jsou pozorována či snímána. Radiance je předmětem algoritmů globálního osvětlování a je to veličina, kterou obrazovka počítače interpretuje jako barvu.“ [8]

4.1.2 Fotometrie

Fotometrie je věda zabývající se měřením síly jasu vnímané lidským okem. Tato fotometrická měření se zabývají viditelným spektrem a jeho vztahy s vizuálním vnímáním. Schopnost lidského oka vnímat barevnost (chromaticity) a jas (luminance) je popsána křivkou zářivosti. Jak je patrné z obrázku č. 2, lidské oko vnímá barvy v jiných vlnových délkách při snížené viditelnosti (například v noci), než při normální viditelnosti (při denním světle). [4]



Obrázek č. 2: Změna vlnové délky a relativní odezvy při různých viditelnostech

(Zdroj: LIVNY. Mental ray for Maya, 3ds Max and XSI, 2008, str. 297)

4.1.2.1 Světelný tok (luminous flux)

Představuje množství energie vyzařované ze světelného zdroje za jednotku času. Proto se také světelný tok definuje jako síla (energie/čas). Světelný tok si lze jednoduše představit, jako množství litrů vody proudící všemi směry za sekundu, například ve sprše. Světelný tok je produkován něčím, co je schopné proměnit absorbovanou elektrickou, kinetickou nebo tepelnou energii ve světelnou energii. [3]

4.1.2.2 Intenzita osvětlení (illuminance lux)

V mnoha ohledech a užitích je více než světelný tok přihlíženo na intenzitu osvětlení. Zde se bere v potaz to, že vyzařované světlo, ať už se jedná o jakýkoliv typ, dopadá na nějaký povrch, tudíž ho osvětluje. Od povrchu se může dále odrážet nebo povrch světlo pohltí. Intenzita osvětlení představuje množství světelného toku, který odpadl na metr čtvereční. Jednotkou této veličiny je Lux [lx, lm/m²]. [3]

4.1.2.3 Svítivost (luminous intensity)

Ideálně by světelný zdroj vyzařoval světelný tok všemi směry v prostoru, tím pádem by svítivost byla ve všech směrech stejná. Ve skutečnosti tomu tak není, proto je svítivost definována jako množství světla vyzářeného ze světelného zdroje v určitém směru a je měřena v Kandelách [cd]. Svítivost je definována vektorově. K jejímu určení není vhodné zjišťovat nějaké číslo, musí být určen i směr, kterým se vyzařován. [3]

4.1.2.4 Jas (luminance)

Jas je definován jako poměr mezi svítivostí vyzařovanou ze světelného zdroje vůči povrchu, na který dopadá. Toto množství ukazuje, jak moc povrch oslňuje. Jas je vlastně to co nám umožňuje čitelně vidět nasvícený objekt. Čím je vyšší jas, tím čitelnější je obraz. Ovšem pokud je svítivost příliš vysoká, vzniká oslnění a obraz nemusí být čitelný vůbec, toto je dáno účinností světla. [3]

Jelikož lze z radiometrických veličin určit veličiny fotometrické, jsou veličiny definovány stejným stylem, jen popisují něco jiného, jak je vidět v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1: Radiometrické a fotometrické veličiny

(Zdroj: vlastní zpracování)

| Radiometrické veličiny | | Fotometrické veličiny | |
|------------------------|----------------|-----------------------|-----------------|
| jméno | name | jméno | name |
| Radiantní energie | Radiant energy | Světelná energie | Luminous energy |
| Zářivý tok | Radiant flux | Světelný tok | Luminous flux |
| Irradiance | Irradiance | Intenzita osvětlení | Illuminance |
| Zář | Radiance | Jas | Luminance |

V počítačové grafice se světelný paprsek reprezentuje tak, aby byly zachyceny jeho geometrické a optické vlastnosti. Geometricky je paprsek shodný s polopřímku a k jeho určení stačí zadat jeho počátek (bod) a směr (vektor). Optické vlastnosti se popisují s ohledem na jejich zpracování počítačem. Z praktického hlediska se různé barvy interpretují jako kombinace základních barev použitím aditivního, subtraktivního či jiných modelů.

4.2 Aditivní a subtraktivní prostor

Při vytváření obrazu se používají různé barvy. Tyto barvy jsou dány kombinací základních barev z barevného spektra. V závislosti na tom, jaké jsou jejich základní barvy, existují prostory aditivní a subtraktivní.

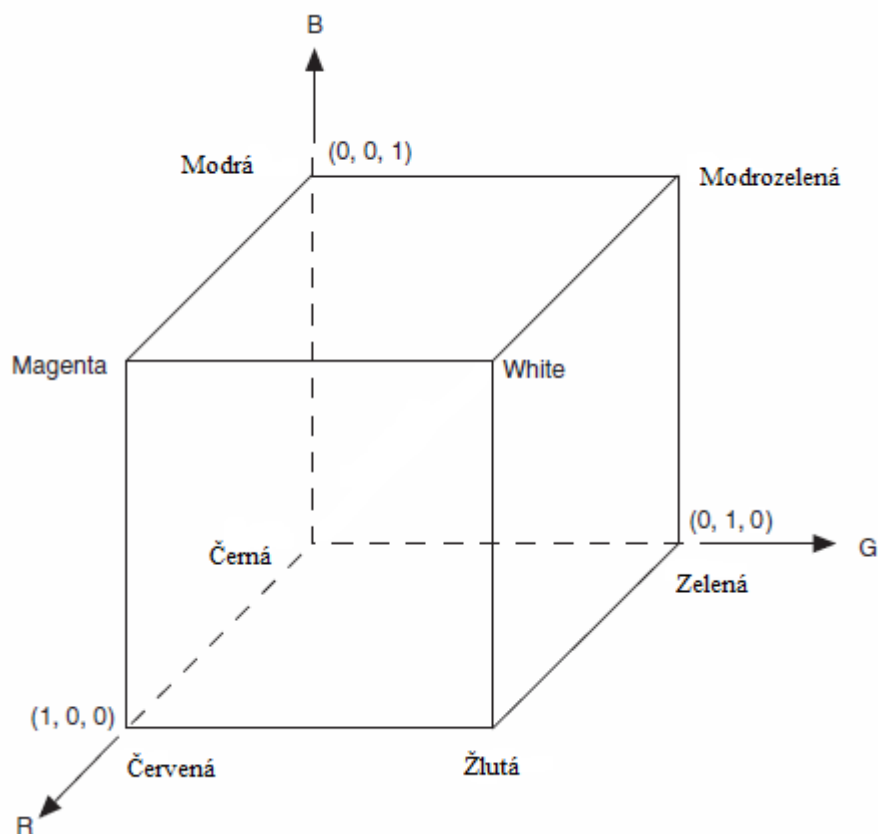
Aditivní prostor používá ke složení barvy RGB, červená (Red), zelená (Green) a modrá (Blue). Tyto barvy lze také vyjádřit barevným vektorem, v němž barevné složky nabývají hodnot z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Bývají také uváděny v celočíselném rozsahu 0-255, což odpovídá kódování každé ze složek RGB v jednom bytu. Hodnota 0 znamená, že složka není zastoupena, maximální hodnota indikuje, že složka nabývá své největší intenzity. Vyjádření barevných složek pomocí tří bytů je nejběžnější. Čím více barev se složí, tím je výsledek světlejší, protože se jedná o aditivní (součtové) skládání barev. [8]

„V počítačové grafice se používá další zkratka, která připomíná prostor RGB. Jedná se o kombinaci RGBA (RGBa). Tato zkratka je používána pro vyjádření skutečnosti, že barevný obraz zapsaný v prostoru RGB, je doplněn informací o průhlednosti. Každý bod s sebou nese údaj v rozmezí $(0 - 1)$ o průhlednosti. Hodnota 0 představuje neprůhledný barevný bod, hodnota 1 zcela průhledný.“ [8]

Prostor RGB je technicky orientovaný prostor, vhodný pro displeje. V běžném životě je míchání barev používáno opačně. Tiskařské techniky jsou založeny na tom, že smícháním všech barev vzniká černá, tiskne se na bílý podklad, kdežto displeje mají základ v černé. Toto skládání barev, kdy složením všech barev vzniká černá, se nazývá subtraktivní. Těmto účelům vyhovuje prostor CMY, obsahující tři základní barvy: tyrkysovou neboli modrozelenou (Cyan), fialovou (Magenta) a žlutou (Yellow). [8]

Oba prostory RGB a CMY lze jednoduše reprezentovat krychlí, jejíž vrcholy představují jednotlivé barvy RGB a CMY s jejich maximy respektive minimy v černé

respektive bílé. Jak je vidět na obrázku smícháním jednotlivých barev RGB prostoru získáme postupně barvy prostoru CMY. Vektor $(1,1,1)$ představuje v RGB smíchání všech tří barev, čímž vznikne bílá a naopak pokud není zastoupena žádná z barev $(0,0,0)$ vzniká černá. Prostor CMY má počáteční bod $(0,0,0)$ v bílé, takže osy jsou hrany Cyan, Magenta a Yellow. V počátečním bodu, kdy není zastoupena žádná z barev prostoru CMY, je bílá. Pokud jsou použity maxima všech barev CMY, vzniká černá. [8]



Obrázek č. 3: Prostory RGB a CMY prezentované krychlí

(Zdroj: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/372916M-01/nivisionconcepts/color_spaces)

Při práci s barvami je důležitá nejen volba základních barev, ale i způsob jejich kombinování. Pokud jsou barvy zpracovávány pouze počítačem, je jejich geometrická reprezentace tvaru krychle výhodou (tato krychle je zobrazena na obrázku č. 3). Horší je situace, má-li zadat do počítače barvu v prostoru RGB či CMY přímo uživatel. Představy o tom, jaká barva vznikne smícháním složek, jsou u různých lidí poměrně odlišné. Není například jednoduché odhadnout, jak změnit pro danou barvu její odstín tak, aby sytost zůstala zachována, apod. Pro tyto účely vznikly další barevné prostory,

kteře jsou blízke intuitivnímu (lidskému) popisu barev. Jedná se například o prostory HSV a HLS. [8]

- HSV – barevný tón (Hue), sytost (Saturation), jasová hodnota (Value)
- HLS – barevný tón (Hue), světlost (Lightness), sytost (Saturation)

4.3 Obrazy s vysokým dynamickým rozsahem

V reálném světě je rozsah intenzity světla velký. Člověk je schopen rozlišit objekty jak v noci, tak za denního světla, což je vzhledem k intenzitě světla velký rozdíl. Tyto světelné poměry udává dynamický rozsah (dynamic range) scény, který je definován jako rozsah jasů přítomných ve scéně. Dynamický rozsah je vyjádřen ve formě, nejvyšší jas scény : nejnižší jas scény. „*Například plošně osvětlená pláž má dynamický rozsah cca 15 : 1, sluncem osvětlená krajina s částí temného lesa a hlubokými stíny cca 200 : 1. Scény obsahující viditelný přímo zdroj světla mohou mít rozsah vyšší než 50 000:1. Ve fotografické praxi se dynamický rozsah vyjadřuje v jednotkách EV (Exposure vaule). Expoziční hodnota EV je absolutní veličina udávající velikost expozice (osvětlení). Problém je v zobrazování scény na zobrazovacích zařizováních, které mají dynamický rozsah cca 100:1. Věrné zobrazení scény je tímto omezeno a je nutné původní transformovat původní vysoký dynamický rozsah (HDR, High Dynamic Range) na takový rozsah, který je schopno dané výstupní zařizování reprodukovat.*“ [8]

4.4 Lom světla (Refraction)

K refrakci světla dochází, když světlo putuje skrz průsvitný objekt s rozlišnou hustotou než objekt, v kterém světlo bylo předtím. Světlo putuje rychlostí světla, která je měřena ve vakuu. Pokud světlo zpomalí vlivem větší hustoty, vzniká efekt refrakce (lom světla). Pro rozlišení, jak se světlo láme (šíří) materiálem existuje tzv. index lomu (index of refraction, IOR). Index lomu je zvolen pro různé typy materiálů a vypovídá o tom, jak moc se rychlost světla změní průchodem skrz objekt. Pokud se světlo neláme, je index lomu roven jedné, viz tabulka č. 2.

Tabulka č. 2: Index lomu různých látek

(Zdroj: KUHLO, EGGERT. *Architectural rendering with 3ds Max and V-Ray*, 2010)

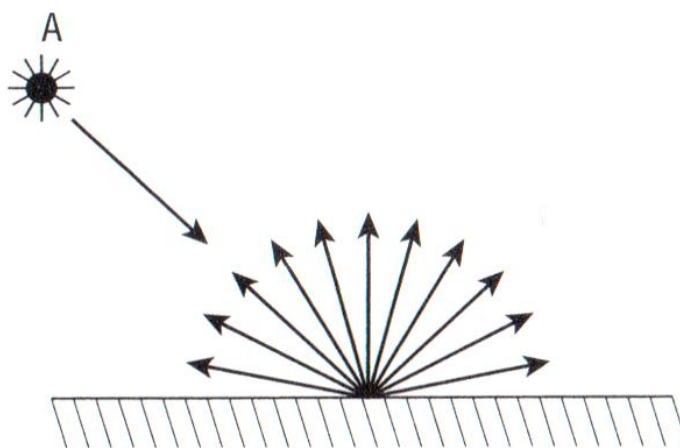
| Látka | IOR |
|-----------|-----------|
| vakuum | 1 |
| vzduch | 1 |
| led | 1,31 |
| voda | 1,33 |
| diamant | 2,42 |
| sklo | 1,45-2,14 |
| plexisklo | 1,49 |

4.5 Odraz světla (Reflection)

Většina světla, které člověk vnímá je světlo odražené od povrchu objektů. Světlo dopadající do lidského oka přímo ze světelného zdroje je spíše výjimkou. Barva objektů je dána charakteristikou světla, které na ně dopadá, ale především vlastnostmi povrchu, zejména tím, jaké vlnové délky a v jakém směru odráží. Formální aparát pro popis schopnosti materiálu odrážet či absorbovat světlo se nazývá BRDF (Bidirection Reflectance Distribution Function), dvousměrová odrazová distribuční funkce. [4],[8]

4.5.1 Difúzní odraz (Diffuse reflection)

Jedná se o speciální případ obecného odrazu světla od povrchu materiálu. Difúzní odraz rozptyluje vstupní radianci rovnoměrně do všech směrů, jak je vidět na obrázku č. 4. Hodnota odražené radiance se rovná vstupní radianci a nezávisí na výstupním úhlu. Tyto vlastnosti ukazují, že ať je na difúzní povrch pohlíženo z jakéhokoli úhlu, vypadá vždy stejně. Tímto způsobem odražené světlo informuje o barvě povrchu. [4],[8]

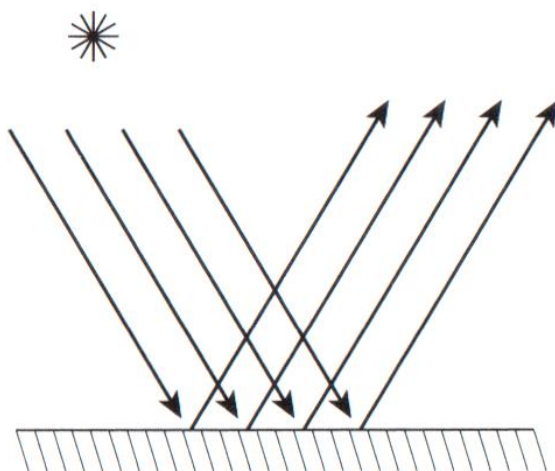


Obrázek č. 4: Difúzní odraz

(Zdroj:LIVNY. Mental ray for Maya, 3ds Max and XSI, 2008, str. 315)

4.5.2 Zrcadlový odraz (Specular reflection)

V praxi tento typ odrazu vzniká při odrazu světla například od zrcadla, vody nebo velmi dobře naleštěných kovů. Povrch odráží dopadající radianci pod stejným úhlem jako je úhel dopadu, viz obrázek č. 5. Zrcadlovému odrazu se také říká odraz spekulární (specular reflection). Zrcadlová složka je příčinou odlesků na zobrazovaných tělesech. Tyto odlesky mohou mít samozřejmě jinou barvu, než je barva povrchu tělesa. Úhel vzniklý mezi paprskem světla a normálou povrchu je stejný jako úhel mezi normálou a paprskem vzniklým odrazem od povrchu.[4],[8]



Obrázek č. 5: Zrcadlový odraz

(Zdroj: LIVNY. Mental ray for Maya, 3ds Max and XSI, 2008, str. 314)

4.5.3 Lesklý odraz (Glossy reflection)

„Jedná se o lesklý, ne však dokonale zrcadlový odraz. Lesklý odraz je výsledkem mnoha složitých jevů, které se navíc navzájem ovlivňují. Model takového odrazu předpokládá, že povrch je složen z mikroplošek, které se navzájem stíní a umožňují světlu proniknout do určité hloubky pod povrch materiálu. Mnohonásobné podpovrchové stínění a rozptyl má vliv na směr odrazu světla. Tento povrch je méně drsný než difúzní, reprezentuje střední cestu mezi difúzním a zrcadlovým povrchem.“ [8]

4.6 Světelné zdroje

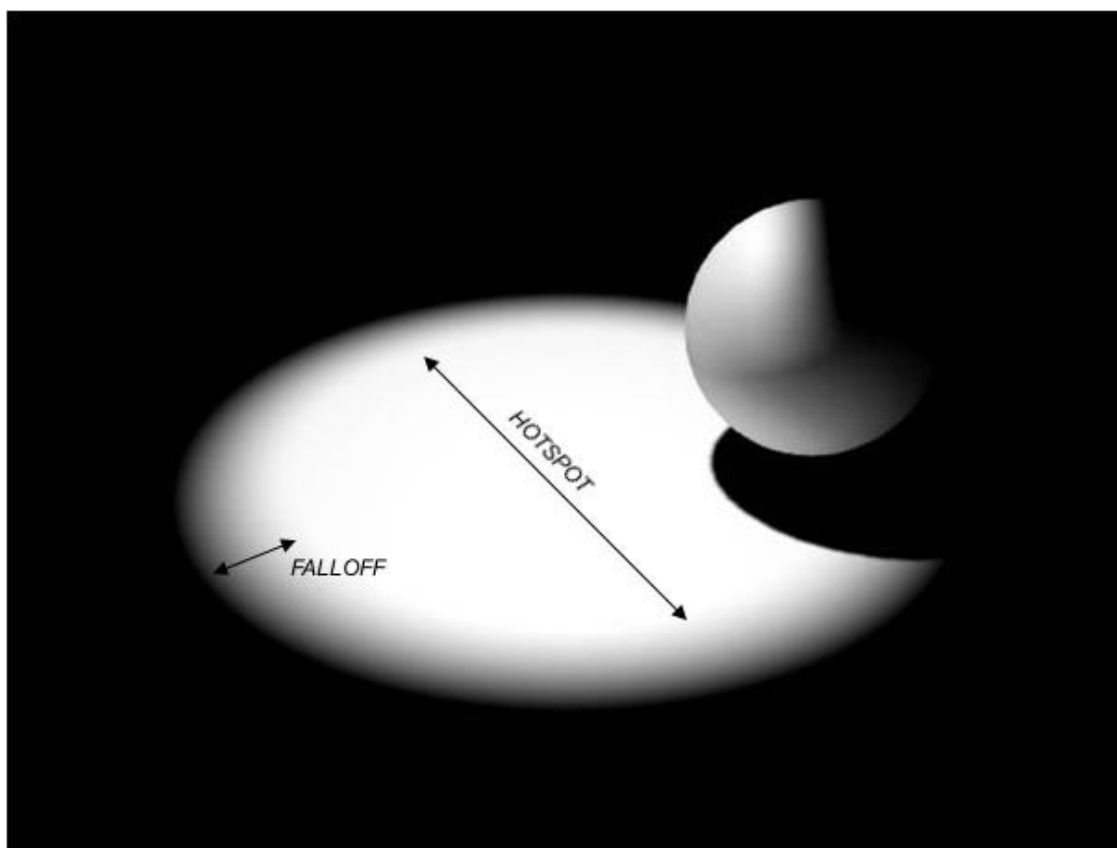
Světelný zdroj vyzařuje světelné záření. Je to obecně jakýkoliv objekt, a proto může záření nejen emitovat, ale i odrážet. Vše, co bylo napsáno o odrazu světla od povrchu objektů, platí beze zbytku i pro světelné zdroje. Světelný zdroj je dán barvou a směrem vyzařování dané vlnové délky, který určuje vektor.

Světelné zdroje lze rozdělit do tří základních kategorií, ostatní z nich vycházejí:

1. Omni – světlu typu omni se v reálném prostředí nejvíce přibližuje klasická žárovka nebo slunce. Omni vyzařuje paprsky všemi směry, ovlivňuje se tedy jen jeho intenzita a umístění.
2. Spot – bodové světlo, paprsky vyháží z jednoho bodu a jedním směrem. S rostoucí vzdáleností se mohou rozšiřovat, záleží to na nastavení poloměru. Světlo vypadá jako kužel a může být použito jako zaměřené na určitý bod nebo volné s neurčitým cílem. Pod tímto světlem si lze představit například reflektory automobilu.
3. Direct – neboli přímé světlo pracuje na stejném principu jako spot, putuje jedním směrem. Spot se ovšem s rostoucí vzdáleností rozšiřuje (kužel), kdežto ve světle typu direct putují paprsky paralelně a jsou vysílány válcovitě. Světlo se s vzdáleností nerozšiřuje. Příkladem takového zdroje světla může být laser. [6]

4.6.1 Anatomie světla

Světla mají v 3D grafice mnoho různých nastavení, aby bylo možno simulovat jakékoliv reálné světlo. Základní parametry ovlivňují to, jak bude světlo vypadat (jakým způsobem bude vyzařováno a jaký bude výsledek dopadu na objekt). Jde především o určení bodu, odkud se bude světlo šířit, cíle světla (pokud je potřeba), jeho tak zvaný „hotspot“ a „falloff“ (zobrazeny na obrázku č. 6) a jeho atenuance (postupný úbytek světla se vzdáleností).



Obrázek č. 6: Hotspot a Falloff světla

(Zdroj: vlastní zpracování)

5 Stíny

Stíny jdou důležitými ukazateli prostoru nejen v reálném světě. V počítačové grafice jsou velice důležité, díky nim lze totiž rozpoznávat tvary, rozměry, rozmístění objektů a informují o vztahu světla k objektům. Stíny mohou často odhalit věci, ve které by jinak nebyly vidět. Zároveň bez stínů nelze určit, kde je daný objekt přesně umístěn. [1],[8]

To, že stíny opticky ukazují prostorové vztahy, je dobré pro věrohodný výsledek renderu. Zároveň představují stíny jakýsi ukazatel chyb ve scéně. Když je scéna zobrazena se stíny, mohou odhalit chyby a nepřesnosti v rozmístění objektů, například když není objekt pevně spojen se zemí i když by měl. Výsledkem je pak dojem plovoucího objektu, který je nežádoucí. Pokud je tedy scéna sestavena bez stínů a poté jsou stíny přidány, jsou vidět nedostatky, proto je dobré se stíny počítat. [1],[8]

V zásadě existují dva druhy stínů vlastní a vržený. Nejčastěji jsou vnímány stíny vržené, které poskytují informaci o rozmístění objektů. Jedná se o stíny, které vrhá jeden objekt na druhý. „*Pokud objekty vrhají stíny na sebe navzájem, jsou odhaleny jejich vzájemné vztahy.*“ [8] Vlastní stín je takový, který vrhá objekt sám na sebe. Vlastní stín vzniká na objektu na straně odvrácené od světla. Pro rozpoznání tvarů objektu jsou především důležité vlastní stíny, vržené jednou částí objektu na druhou. [1],[8]

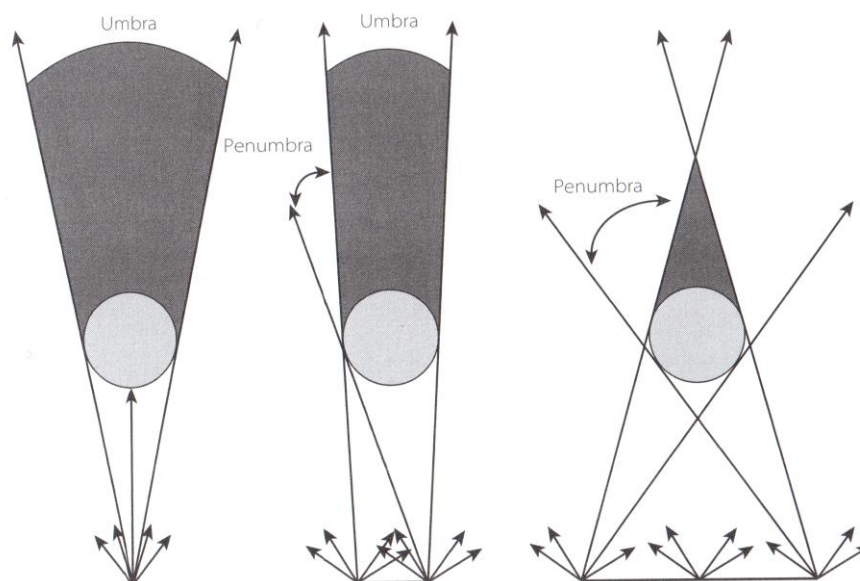
Je také nutné zvolit správné umístění objektů vzhledem ke zdroji světla. Objekt, který je umístěn blízko světla vrhá ve výsledku moc velký stín, což je nepřirozené. V reálném světě, například na fotbalovém stadionu, lidé na hrací ploše vrhají hned několik stínů, je to dané tím, že celá plocha je osvětlena mnoha reflektory. Fotografové při vytváření fotografií v ateliéru používají reflektory k nasvícení objektu jejich fotografování. Musí volit správné umístění fotoaparátů, tak aby zamezili jevu více stínů. V počítačové grafice tomu lze jednoduše zabránit tím, že se u daného světla nezapne stínování. Jelikož se většinou používá více světelných zdrojů je výhodou, to že si lze jednoduše určit, které světlo bude vrhat stíny. Může nastat situace, kdy je jeden objekt schován za větším, který vrhá stíny a zároveň, aby byl menší objekt vůbec vidět, je použito další světlo z boku, které má vypnuté stínování. Menší objekt pak vypadá jako by byl umístěn ve vzduchu, což není dobré. I když je možnost vypnout u světla stínování značnou výhodou, přináší to svá rizika. [1],[8]

V počítačové grafice se techniky vytvářející stíny stávají důležitým prostředkem zvýšení věrohodnosti a realističnosti zobrazované scény. Samotné výpočty stínů jsou náročné a proto, pokud je potřeba zobrazovat scénu v reálném čase používají zrychlenější techniky pro generování stínů. [1],[8]

5.1 Tvrdé a měkké stíny

Bodová světla, jsou často používány, protože vytvářejí takzvané ostré stíny (hard shadows). Tyto stíny mají pevně vymezenou hranici stínu, která je ostrá. V reálném světě ostré stíny nejsou, proto je snaha se jim v počítačové grafice vyhnout. Jinak tomu je u stínů měkkých (soft shadows), které jsou žádané a vytvářejí realističtější dojem. Měkké stíny vznikají při osvětlení plošnými zdroji světla. „*Měkké stíny mají rozostřenou hranici přechodu mezi hlavním stínem (umbra) a plně osvětlenou plochou.*“

Tato oblast se nazývá polostín (penumbra) a její velikost závisí na velikosti a vzdálenosti plošného zdroje a objektů ve scéně. Polostín se s rostoucí velikostí světelného zdroje zvětšuje, zatímco hlavní stín se naopak zmenšuje a může i zcela zmizet.“ [8] Oblasti stínu umbra a penumbra jsou vidět na obrázku č. 7. [8]



Obrázek č. 7 : Umbra a penumbra

(Zdroj:LIVNY. Mental ray for Maya, 3ds Max and XSI, 2008, str. 201)

5.2 Barva stínu

V reálném světě, se stíny často zdají být jiné barvy, než oblast kolem nich. Například venku za slunečného dne se mohou zdát stíny zbarvené do modra. Stíny se zdají modré, protože jasně žluté světlo ze slunce je rozprostřeno po celé obloze a obloha pak tvoří nepřímé světlo, které je modré. V počítačové grafice je k dispozici parametr u většiny světel, který se nazývá shadow color (barva stínu), který přidává barvu do stínu vržený světlem. Čistě černá barva je výchozí barva stínu, což znamená, že žádné další barvy nebo jas nejsou do stínu přidány. Pokud je hodnota parametru shadow color jiná než defaultní černá, změní se barva stínu na danou hodnotu. Rozdíl barev stínu je vidět na obrázku č. 8. Nastavením barvy stínu na bílou nevzniká žádný stín, čili jako by nebylo stínování vůbec zapnuto. [1]



Obrázek č. 8: (zleva) černý stín, modrý stín, stín ovlivněný barvou světla

(Zdroj: BIRN. *Digital Lighting & Rendering*, 2006)

Nastavením barvy stínu vzniká nereálný stín nějaké barvy. Nejlepší způsob jak vytvořit barevný stín je nastavením barvy světla. Proto, aby stín měl modrý nádech jako ve skutečnosti, stačí přidat modrou výplň světla. Scéna pak bude přirozeně viditelnější. Musí být volena taková barva, aby nebyla narušena vyváženost barev ve scéně. Při tvorbě realistického osvětlení by mělo být zvolení barevného tónu světelných zdrojů na prvním místě a volba barvy stínu by měla být používána šetrně, jestli vůbec. Fyzikálně správné řešení je mít barvu stínu vždy čistě černou, protože to zajistí to, že objekt bude blokovat světlo v plném rozsahu. Použití barvy stínu je jen taková občůzka. Pokud je nastavována hodnota parametru barvy stínu opatrně v tmavých barvách, lze tím dosáhnout trochu světlejší stín. Pokud je tento parametr používán moc viditelně (jsou použity moc světlé odstíny barev) může to navodit dojem, že objektem částečně prosakuje světlo, objekt už nevypadá jako neprůhledný. [1]

5.3 Algoritmy pro výpočet stínů

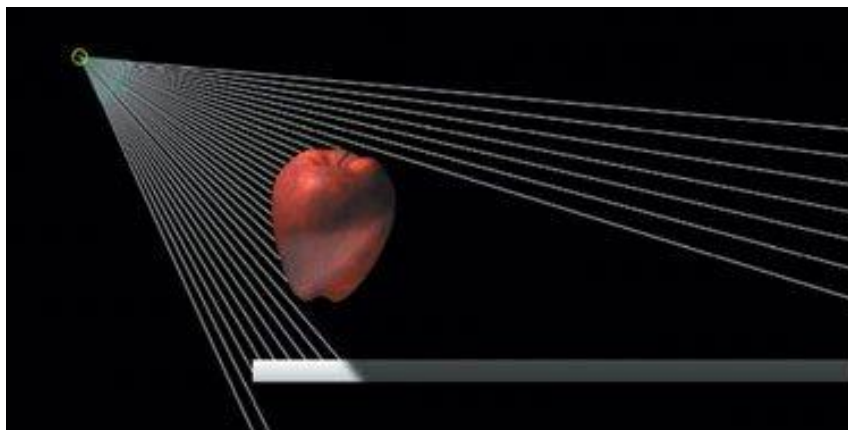
Existují dvě základní techniky pro výpočet stínů.

1. Shadow map (nebo také depth map) shadows – neboli mapa stínů - je obvykle nejrychlejší a neúčinnější, ale má omezené rozlišení a občas musí být upravena
2. Raytraced shadows – stín tvořený sledováním paprsků - se snadno používají a jsou přesné v jakémkoliv rozlišení, ale obvykle jsou časově náročnější

5.3.1 Shadow map (depth map) shadows

Mapa stínů je v současné době nejpopulárnější druh stínů používaný v profesionální osvětlovací práci pro film. Tento druh stínu pracuje na bázi tzv. precomputingu mapy stínů k popsání toho kde budou stíny rederovány. Mapa stínů je pole čísel, která

představují vzdálenosti. Ještě předtím, než renderer začne s renderováním scény zobrazené kamerou. Spočítá mapu stínů z pohledu každého světla, které vrhá mapovaný stín. Pro každý směr, kterým světlo svítí, mapa stínů uloží vzdálenost od světla k nejbližšímu místu, kde objekt vrhá stín. Průběh je vidět na obrázku č. 9. Během renderování scény bude světlo oříznuto tam, kde byla mapa vyměřena. Jakmile je mapa stínů vypočítána, renderovací aplikace ji použije tam, kde má být stín vrhán objektem a dále se k jinému výpočtu stínů nevrací. Tím se ušetří obrovské množství času pro rendering. Aplikace nemusí stíny při vykreslování scény opakovaně prošetřovat. [1]



Obrázek č. 9: Vznik mapy stínů

(Zdroj: BIRN. *Digital Lighting & Rendering*, 2006)

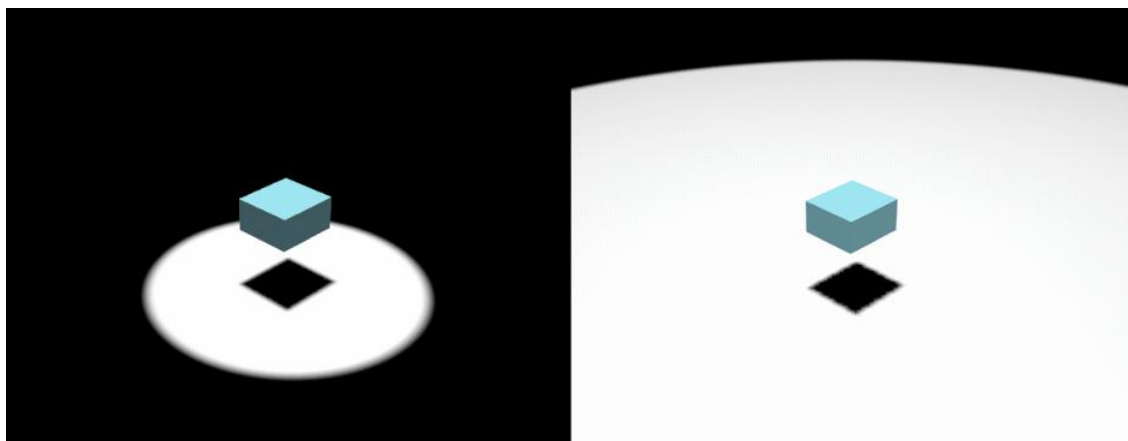
Shadow mapping používá měření jak horizontálně tak vertikálně přes osvětlenou oblast. Takže například pokud je rozlišení mapy stínů nastaveno na 512, znamená to, že bude probíhat 512 měření do šířky a 512 měření do výšky. Toto také ovlivňuje velikost použité paměti pro mapu stínu. Například mapa o velikosti 512 zabírá v paměti 1 MB. Pro 1024 to bude 4 MB. Pro uložení každé hodnoty jsou použity 4 bajty a zároveň se mapa počítá vertikálně i horizontálně, proto je nárůst vždy čtyřnásobný. Jak vyplývá z výše uvedeného, čím větší rozlišení mapy stínů, tím více bude čerpáno z paměti systému. [1]

Tak aby mapa stínů pracovala efektivně, je třeba vypočítat mapu tak, že pokrývá celou geometrii ve stínu a ne příliš prázdný prostor kolem něj. Spotlights (bodové osvětlení) jsou hojně používaná světla při tvorbě většiny projektů. Jelikož jsou zaměřena na určitou část scény, hodí se pro ně používat mapy stínů. Stín lze totiž

umístit přesně tam, kde je potřeba. Kdežto pokud je scéně použito světlo typu omni, které vysílá paprsky všemi směry „do nekonečna“ mapa stínů je vzhledem k velikosti světla dopadajícího na scénu kostičkovaná (vznikají takzvané artefakty). Zdá se jako by bylo pro její výpočet určeno nízké rozlišení. Pokud se tedy světlo zaměří na co nejmenší část kolem objektu, nehrozí potom ztráta kvality mapy. [1]

V mnoha situacích je skoro nemožné, aby správně zformulovala mapa stínů vše co je potřeba. Jako například když slunce osvětluje velké scény, včetně stromů, domů atd. je těžké uhlídat to, aby byly mapy správně spočítány a umístěny. Proto se pro jednotlivé objekty používají světla spotlight, jen proto, aby se pro ně správně vypočítala mapa stínů. Takže se nepoužívají stíny hlavního světla (slunce), ale stíny jednotlivých světél. [1]

Vliv velikosti světla na kvalitu mapy stínů je znázorněn na obrázku č. 10.



Obrázek č. 10: Vlevo: bodově zaměřené světlo, vpravo: světlo s velkou plochou

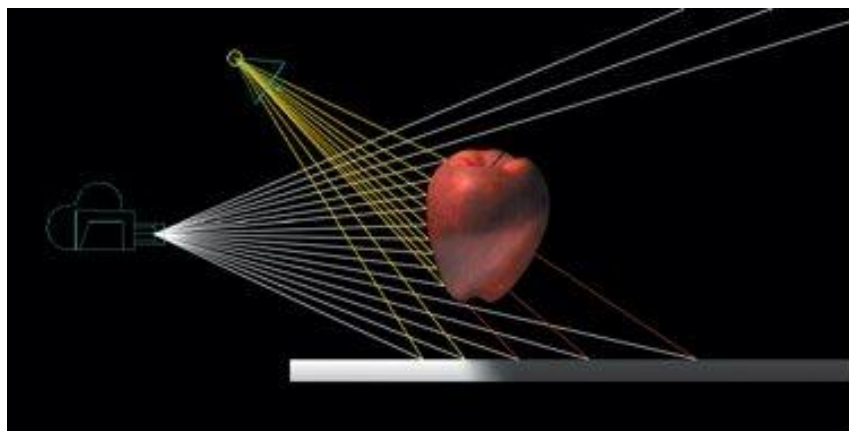
(Zdroj: vlastní zpracování)

Může se zdát, že transparentní objekt vrhá světlejší stín a neprůhledný objekt vrhá tmavý stín. Nicméně mapy stínů nereagují správně na transparentnost objektů, protože vyměřují vzdálenosti stínů vzhledem ke tvaru objektu a ne vzhledem z čeho je objekt. Existují nastavení, pomocí kterých lze určit, o jaký materiál se jedná a mapa stínů je podle toho vypočítána. Ovšem při tvoření scény, kde převládá například skleněný materiál, je vhodnější zvolit metodu výpočtu stínu raytracingem.[1]

5.3.2 Raytracingové stíny (Raytraced shadow)

Jak už bylo řečeno, jedná se o stín vytvořený sledováním jednotlivých paprsků světla mezi světelnými zdroji a objekty. Raytracingové stíny jsou vypočítávány po jednotlivých pixelech. Výpočet probíhá při samotném renderingu na rozdíl od mapy stínů, kde byly mapy vypočítány předem. Raytracingové stíny mají řadu výhod oproti mapám stínů. Raytracingové stíny jsou světlejší, když procházejí transparentním povrchem a dokážou dokonce nést informaci o barvě transparentního povrchu, takže stín má poté nádech barvy jako je barva povrchu objektu. S tímto typem stínů se nemusí řešit to, jestli vzniknou nějaké artefakty nebo netěsnosti jako tomu je u map stínů. Nepoužívají žádné rozlišení map, takže jsou vždy ostré a přesné v každém rozlišení vykreslování. Raytracingové stíny podporují vyšší kvalitu měkkých stínů při použití plošných zdrojů světla. Tyto stíny jsou sice krásně přesné, ale při jejich použití ve složitých scénách jsou neuvěřitelně časově náročné. Rozdíl časového zpracování map stínů a raytracingových je obrovský. Už jen to, že se výpočty provádí během renderingu, zpomaluje dobu k dosažení výsledku. Nehledě k tomu, že výpočet těchto stínů zabírá hodně paměti systému.[1]

Raytracing pracuje pozpátku v tom smyslu, že každý paprsek je počítán tak, že začíná v kameře, jak je znázorněno na obrázku č. 11. Pro každý pixel obrázku, je paprsek sledován z kamery při vhodném úhlu, dokud na část povrchu, která potřebuje být vyrenderována.



Obrázek č. 11: Vznik raytracingového stínu

(Zdroj: BIRN. *Digital Lighting & Rendering*, 2006)

Raytracing začíná odpálenými paprsky z kamery (bílé paprsky), ale pro raytracingové stíny musí být paprsky odpáleny z každého renderovaného bodu vůči světlu, aby zjistil, zda je cesta volná (žluté paprsky) nebo blokována a vyžaduje stín (červené paprsky). [1]

Pro každý bod na povrchu musí renderer určit, která světla se týkají tohoto bodu. Pokud světlo používá raytracingové stíny, pak renderer potřebuje sledovat cestu od bodu povrchu ke světlu. Pokud se zjistí, že některé polygony blokují tuto cestu, tak bude světlo zablokováno k bodu povrchu. Oblast, v níž je světlo blokováno z bodů na povrchu tvoří raytracingový stín. Pokud existuje více než jeden světelný zdroj vrhající raytracingové stíny, tak proces kontroly skrz prostor, zda existují nějaké polygony blokující paprsek, musí být opakován pro každý pixel znovu. [1]

Výsledkem je, že výpočet raytracingového stínu trvá dlouho i u výkonných počítačů. Pro každý polygon, u kterého se počítají možnosti vrhání stínů, se zabírá paměť systému. Problém může být také v tom, že pokud nebude raytracingový výpočet omezen, může dojít k nekonečné smyčce výpočtů. Proto mají tyto výpočty omezenou velikost, což může vést k tomu, že nějaká část nebude správně zobrazena. Tomuto omezení se říká trace depth a představuje maximální hloubku, do které se výpočet může pustit. [1]

5.4 Aliasing, Anti-aliasing

Tyto termíny jsou známy a jsou velice důležité i v 2D grafice.

5.4.1 Aliasing

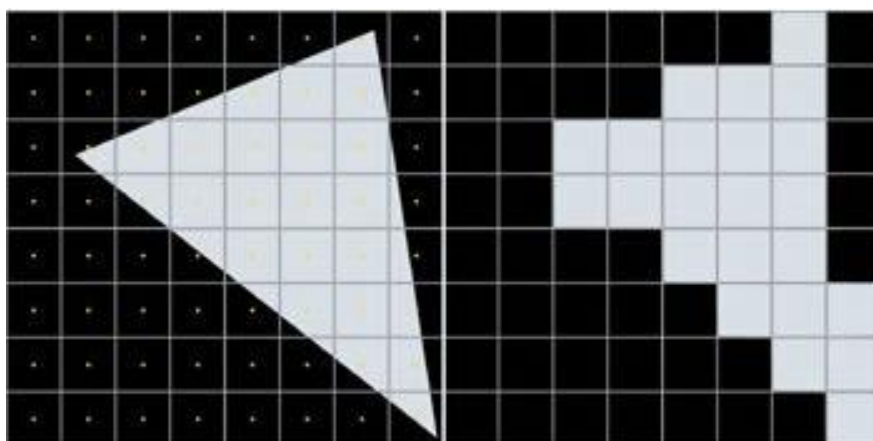
Důležitým pojmem v počítačové grafice je takzvaný aliasing. Je to jev vznikající při vzorkování například textur nebo na hranách objektů. Tento jev má za následek zubaté zobrazení. Například při vzorkování šachovnice, se vlivem nízké frekvence vzorkování může stát to, že budou vidět jen černá políčka a výsledkem bude jednobarevná plocha. Nebo může při animaci docházet k pohybu objektů, i když se nehýbou. Tvorbě aliasingu zabraňuje anti-aliasing. [8]

5.4.2 Anti-aliasing

Anti-aliasing se používá jak pro vyhlazování výsledného renderu v oblasti objektů, tak při vyhlazování stínů.

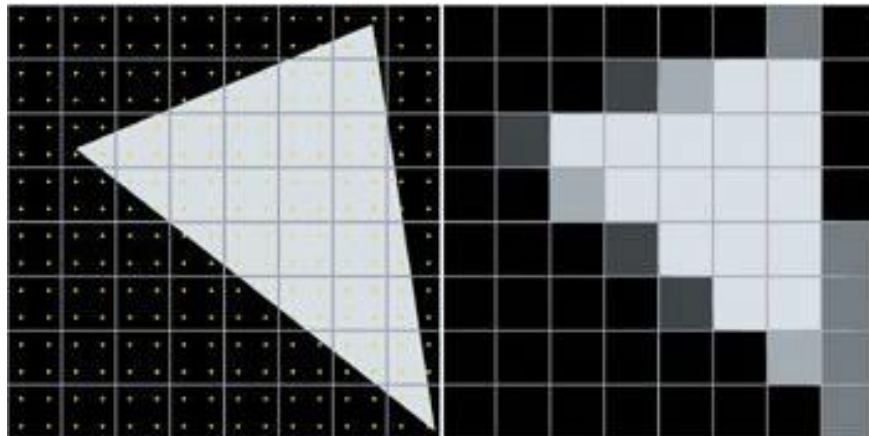
Anti-aliasing je kritickou součástí vysoce kvalitního renderingu. Existují dvě základní složky anti-aliasingu:

1. Oversampling – převzorkování – znamená shromažďování více dat než je potřeba. Při renderu nevzorkované scény se počítá více bodů nebo paprsků, než počet pixelů ve výsledném obrázku. Na obrázku č. 12 je vidět vzorkování s jedním vzorkem na pixel. Na levé části obrázku je vidět původní zobrazení se žlutými tečkami uprostřed každého pixelu. Pokud se objekt v obrázku dotýká žluté tečky, pak se pixel zbarví do barvy objektu, pokud se nedotýká tečky, obarví se na barvu pozadí. V pravé části je vidět výsledek. Toto je zobrazení bez zapnutého nevzorkování, vzniká schodišťový efekt.[1]



*Obrázek č. 12: Jeden vzorek na jeden pixel
(Zdroj: BIRN. Digital Lighting & Rendering, 2006)*

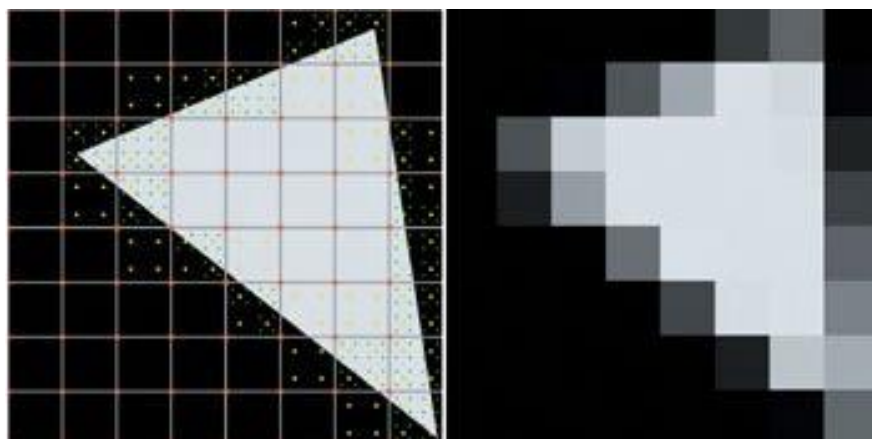
Obrázek č. 13 ukazuje množství nevzorkování v podobě čtyř vzorků na pixel (4 žluté tečky v pixelu). Výsledek toho, zda se objekt dotýká jednoho či více vzorků je zprůměrován společně pro každý pixel. Podle výsledného průměru jsou jednotlivé pixely zbarveny odstínem barvy objektu.



Obrázek č. 13: Čtyři vzorky na jeden pixel
(Zdroj: BIRN. *Digital Lighting & Rendering*, 2006)

Anti-aliasing při použití převzorkování nerozmazává výsledný obrázek. Používá vlastně stínování k reprezentaci detailu na úrovni subpixelu, přidávající detailu do obrázku. Použitím více převzorkování se nikdy nedosáhne měkčího obrázku, bude jen více přesnější. Jediná nevýhoda převzorkování je v tom, že při použití více vzorků se může výsledek déle počítat a zpomalí to vykreslování. [1]

Variací převzorkování je adaptivní převzorkování, které mění počet vzorku v závislosti na tom, pro jaký pixel objektu je počítáno. Pokud se jedná o pixely uprostřed objektu, je nepravděpodobné vzniknutí nerovností. V kritických místech, kde jsou významné hrany, adaptivní převzorkování přidá počet vzorků a tím zpřesní výpočet výsledného odstínu. Nestanovuje se tedy jedno číslo pro počet vzorků na pixel, ale stanovuje se minimum a maximum vzorků. Adaptivní převzorkování je zobrazeno na obrázku č. 14. Renderer začne tím, že určí minimální počty vzorků pro pixely, kde není třeba měnit odstín. Na obrázku je to zobrazeno červenými tečkami. Pak se určí, kde je zapotřebí více vzorků. Způsob, který se toto provádí, je měřením kontrastu mezi vzorky. Renderer porovnává barvu každého vzorku s jeho sousedy, aby viděl, jak moc jsou barvy rozlišné. Pokud se barvy sousedních vzorků liší o kontrastní práh určený na začátku vzorkování, přidá se počet vzorků na tento pixel. Žluté tečky ukazují přidané vzorky, které používány ve vysoce kontrastních oblastech. [1]



Obrázek č. 14: Ukázka adaptivního převzorkování
(Zdroj: BIRN. *Digital Lighting & Rendering*, 2006)

2. Filtering – je proces sestavování výsledného obrázku ze vzorků subpixelu. Při malém použití může filtering vyhladit zubaté hrany a pomáhá vytvořit přirozenější obrázek. Nicméně na úrovni subpixelů je filtering velmi podobný rozmazávání. V důsledku toho může být při velkém použití filteringu výsledný obrázek zamazaný. Proto je vždy lepší pro volení úrovně filteringu provést testovací render na části obrázku. Výhodou filteringu je jeho rychlost, bohužel někdy na úkor kvality výsledku. [1]

Další možností, jak se zbavit zubatých hran a podpořit tím anti-aliasing je renderovat scénu ve vyšším rozlišení a poté výsledný obrázek manuálně zmenšit. Soubor bude ale ve výsledku větší než když se použije jeden z druhů anti-aliasingu.

5.5 Okluze (Occlusion)

Okluze je vlastně blokování, ve smyslu, když objekty blokují světlo. Technicky by se dalo říct, že všechny pravidelné stíny jsou druhem okluze, ale většina lidí si pod termínem okluze představí jiné druhy blokování světla, které nejsou pravidelnými stíny světla.

5.5.1 Okolní okluze (Ambient occlusion)

Je to funkce určená pro ztmavení částí scény, které jsou blokovány jinou geometrií. Může být použita jako náhrada nebo doplněk ke stínům doplňkových světél. Příkladem kde je okolní okluze vidět jsou například rohy pokoje nebo trhliny v zemi. Hlavní myšlenkou okolní okluze je vzorkování do polokoule nebo pohledu kolem scény

z hlediska jednotlivých bodů povrchu. Z každého bodu povrchu vycházejí paprsky všemi směry, většina těchto paprsků zasáhne objekt. Okolní okluze má obvykle nastavenou maximální vzdálenost pro jednotlivé paprsky, takže čím více objektů u sebe tím bude výsledek tmavší. Okolní okluze může být náhradou za měkké stíny doplňkového světla. Často může být požadavkem, aby hlavní světlo (například slunce) vrhalo stíny, ale zároveň nemohou být vypnuty stíny doplňkových světél, které simulují například oblohu. Toto lze jednoduše vyřešit pomocí okolní okluze, která u objektu vytvoří měkké stíny, tudíž může být stínování doplňkových světél vypnuto. [1]

Je možné použít okolní okluzi samotnou, bez stínů ve scéně vůbec, ale to může produkovat příliš tmavý efekt v každé oblasti, kde se sešly dva povrchy. S porovnáním s raytracingovými stíny z plošných světél, může okolní okluze poskytnout podobný vzhled stínování ve scéně a obvykle trvá méně času. [1]

6 Globální osvětlení (Global illumination)

Globální osvětlení je velice důležité pro docílení realistického výsledku. Při jeho použití je bráno v potaz i odražené světlo, jehož výpočet má ovšem značný vliv na dobu renderu.

Globální osvětlení je algoritmus, který simuluje odrazy světla mezi povrchy. Při renderingu scény při globálním osvětlení není potřeba přidávat odrazy světél k simulování nepřímého světla, protože software vypočítá nepřímé světlo na základě přímého osvětlení dopadající na povrchy ve scéně. Je třeba rozlišovat pojmy globální osvětlení a lokální osvětlení neboli také přímé osvětlení (direkt illumination). Při lokálním osvětlení je osvětlována jen ta část scény, která se přímo týká světla bez ohledu na povrchy. Většina programů ji používá jako výchozí, pokud nebylo aktivováno globální osvětlení. [1]

Pokud je použito jen lokální osvětlení a je například v místnosti, tak po přidání jednoho světla, které představuje lustr, bude ve výsledném renderu vidět jen to co je pod lustrem. V reálném světě tomu tak ale není. Paprsky světla se totiž odrážejí od podlahy, stěn a objektů v místnosti a jemně osvětluje i zbytek místnosti, který se nenachází přímo pod světlem. [1]

Použití raytracingu například pro stíny nebo odrazy není považováno za globální osvětlení. I když raytracingové odrazy patří mezi nepřímé světlo a přispívají k renderingu povrchu, pouze techniky, ve kterých může být přidáno difúzní osvětlení objektů je obecně nazýváno globální osvětlení. Při použití globálního osvětlení není třeba pro zobrazení objektů vzdálenějších nebo přímo neosvětlených zdrojem světla manuálně přidávat další světlo pro simulaci nepřímého osvětlení. Toto osvětlení probíhá výhradně softwarově při výpočtu globálního osvětlení. [1]

Globální osvětlení jako takové je v počítačové grafice mnohem více podobné osvětlování v kinematografii. Při natáčení akčních scén je odraz světla vždy základním faktorem. Světlo odrážející se od stěn a podlah je přírodní zdroj výplně světla a změkčuje osvětlení každé scény. Filmaři dokonce používají reflektory k odrazení slunečního světla zpět na herce, aby nemuseli používat další přidavné elektrické světla.

Při globálním osvětlení často vzniká efekt, který se nazývá color bleeding (přenos barvy). V reálném světě je tento efekt všude kolem. Dobře je to vidět, pokud jsou objekty blízko u sebe a jeden z nich má povrch v určité barvě. Světlo, které dopadá na barevný povrch, se odráží a bere s sebou informaci o barvě tohoto povrchu, která se zobrazí na druhém objektu poblíž. [1]

Základní postup pro používání globálního osvětlení je stejný jako bez něj. Do scény se přidají světla jako například slunce, světla pro osvětlené oblohou atd. a místo toho, aby se přidávali další pro docílení odrazů, zapne se globální osvětlení, které toto světlo nahradí. [1]

6.1 Globální osvětlovací techniky

Cílem globálních zobrazovacích technik je výpočet osvětlení všech ploch ve scéně. V zásadě jsou dvě metody výpočtu a to: pohledově nezávislé řešení a výpočet osvětlení pro určitý směr. Příklad prvního je například výpočet radiozity, příklad druhého raytracing (sledování paprsku). Metody globálního osvětlení pracují s celou scénou, kterou rozkouskují a provádí výpočty jednotlivých částí.

6.1.1 Metody vycházející od pozorovatele

Tato třída metod vychází ze sledování trajektorie světla od pozorovatele. Scéna je vždy osvětlena nějakým zdrojem světla. Tato metoda provádí výpočty světla dopadajícího na části scény směrem od pozorovatele, tím se šetří čas a zbytečné počítání. Výsledek je kvalitnější, protože jediné co se vykresluje je to, co vidí pozorovatel. Ostatní části scény mohou být klidně skryty. Metoda funguje na princip sbírání energie ve směru od pozorovatele. Z každého pixelu se vysílají paprsky, které shromažďují důležité informace například barvu povrchu, na který dopadá.

6.1.1.1 Ray tracing (sledování paprsku)

Proces šíření světla se v počítačové grafice modeluje obráceným postupem, než je tomu v reálném světě. „*Paprsek se promítne ze stanoviska pozorovatele skrz pomyslný pixel v rovině obrazovky směrem do scény. Každý takový paprsek informuje o tom co je vidět v tomto pixelu a o tom jakou světelnou energii přináší.*“ [8] Sledování paprsku probíhá ve dvou variantách:

1. Sledování paprsku prvního řádu – Při něm se zobrazuje pouze bod na povrchu nejbližšího objektu zasaženého paprskem. V tomto bodě se stanoví barva. [8]
2. Sledování paprsku vyššího řádu – Sledování paprsku nekončí při nalezení nejbližšího objektu, ale pokračuje sledováním dalších paprsků, odvozených podle to jakou má nalezený objekt odrazivost nebo lom paprsků. V tomto případě je opět vidět povrch nejbližšího objektu, ale na jeho barvě se podílejí i světelné paprsky zjištěné ostatními paprsky.[8]

Sledování paprsku vyššího řádu dokáže zobrazit i zrcadlové obrazy jiných objektů scény. Tato varianta dokáže také zpracovávat vržené stíny. Paprsky se scénou pohybují buď jako primární nebo jako sekundární. Primární jsou ty vržené od pozorovatele, jejich odrazem či lomem vznikají paprsky sekundární. Pomocí sekundárních paprsků lze zjistit, kde budou ve scéně stíny. [8]

6.1.1.2 Path tracing (sledování cesty)

Sledování cesty probíhá stejně jako sledování paprsků, tady od pozorovatele. Rozdíl je v tom, že sledování cesty dokáže pracovat i s plošnými zdroji světla, protože vypočítává

příspěvky difúzních odrazů. Principem metody je sledování zcela náhodného paprsku pozorovatele tak, že se každým pixelem vyše velké množství paprsků a sledují se jejich cesty scénou. Při použití metody sledování paprsku bude trajektorie vždy stejná, v případě sledování cesty bude trajektorie pro každý vzorek různá. Vzorkování probíhá náhodně, proto je problém této metody vznik šumu. Vše záleží na složitosti scény. [8]

6.1.2 Metody vycházející od světelného zdroje

Metody, které začínají sledování trajektorie světla u pozorovatele, nejsou vhodné pro práci s malými, či skrytými světelnými zdroji. Metody vycházející od světelných zdrojů problém s osvětlením nemají, vzniká zde ale mnohem větší šum. Začíná se vysláním paprsku od světelného zdroje, přičemž se nejdříve určí výkon paprsku a poté se sleduje jeho trajektorie. Při každém dopadu se počítá osvětlení bodu, který je viditelný pro pozorovatele. Zde se také určí barva pixelu. Po výpočtu tohoto osvětlení se pokračuje výpočtem odrazu či lomu. *„Jedním z problémů těchto metod je potenciální vyčíslení velkého množství paprsků, které se možná ani nevyužijí, protože nedorazí k pozorovateli.“* [8]

6.1.2.1 Sledování fotonů

Sledování fotonů je analogickou metodou k metodě sledování paprsku. Používá stejné druhy odrazů, vyšetřování se však provádí v opačném směru. Je vhodná pro zrcadlové odrazy a průhledné objekty.

6.1.2.2 Sledování světla

Tato metoda je analogií k metodě sledování cesty.

6.1.3 Dvousměrové metody

Dvousměrové metody využívají výhod předešlých metod a zároveň odstraňují jejich nevýhody. Pracují jak na výpočtu paprsků směrem od pozorovatele, tak od světelného zdroje. [8]

6.1.3.1 Dvousměrové sledování cesty

Tato metoda využívá principu sledování cesty směrem od pozorovatele i od světelného zdroje. Vypočítané paprsky se ve výsledku spojí a umožňují vytvořit kvalitní render při krátkém čase procesu. Směrem od pozorovatele se vyšetřuje radiance, od světelného zdroje výkon. [8]

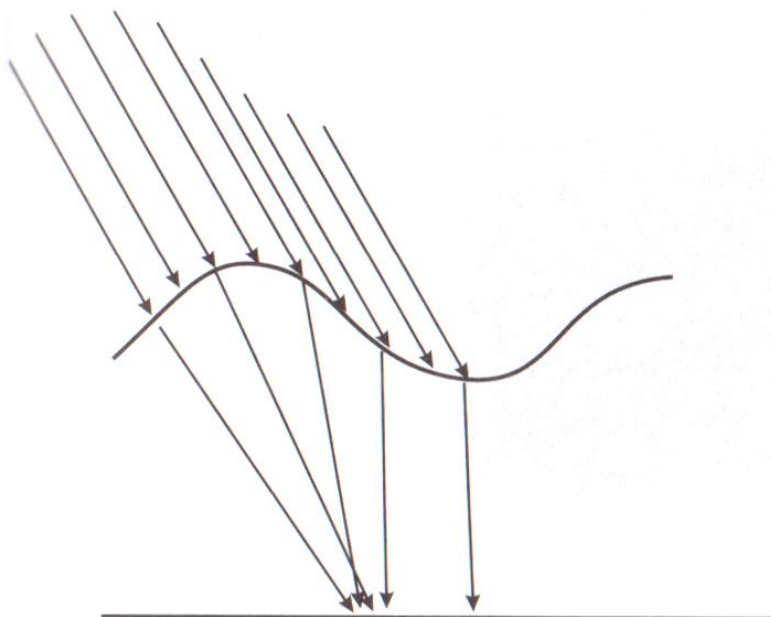
6.1.3.2 Fotonové mapy

Výpočet globálního osvětlení pomocí fotonových map je dvousměrný a probíhá ve dvou krocích:

1. Ze všech světelných zdrojů se vystřelí velké množství fotonů, které s sebou nesou část energie světelného zdroje. V průběhu se fotony mohou různě odrážet. Poté se výsledek uloží do fotonové mapy pro použití v dalším kroku. [8]
2. Proveďte se sledování paprsku, přičemž se použijí fotonové mapy. Při každém střetu paprsku s objektem se použijí nejbližší fotony z mapy a jejich hodnoty stanoví příspěvek osvětlení od všech světelných zdrojů. [8]

6.2 Kaustiky (Caustics)

Kaustiky vznikají při průchodu paprsků světla průhledným objektem nebo paprsků odražených od zrcadlového materiálu. Na obrázku č. 15 je vidět princip vzniku tohoto jevu.



Obrázek č. 15: Kaustiky

(Zdroj: ŽÁRA, BENEŠ, SOCHOR, FELKEL. *Moderní počítačová grafika*, 2010, str. 419)

Kaustiky vznikají například na dně bazénu, kde vznikají průchodem a lomem paprsků na vodní hladině. „Z důvodu lomu paprsku dochází ke koncentraci dopadajících paprsků v některých oblastech, které jsou pak světlejší.“ [8]

7 Renderovací aplikace

Renderovací aplikace (také renderer) je program, který zajišťuje, na základě jeho nastavení, výsledek. Výsledkem neboli výstupem renderovací aplikace je render. Jedná se o určitou, předem danou část scény. Úkolem renderovací aplikace je vypočítat všechny složky světla ve scéně. Zvolenými metodami aplikace vypočítává jednotlivé příspěvky světla na určených místech a s použitím materiálů na objektech a samotnými objekty, vykresluje výslednou scénu. Pro grafický program 3ds Max existují v zásadě tyto hlavní renderovací aplikace: mental ray, scanline, iray, V-Ray. Autor práce si pro porovnání vybral mental ray a V-Ray.

7.1 mental ray

Jedná se o renderovací software používaný v mnoha programech. Mental ray je registrovaná značka společnosti NVIDIA a jeho autorem je firma Mental Images, která pod NVIDIA spadá. Autodesk, tvůrce grafického programu 3ds max používá tento software ve svých programech a přímo ho integruje do těchto programů, nemusí se tedy zvlášť instalovat. Poprvé se mental ray objevil v 3ds max 2.0 v říjnu 1997. Od roku 1999 je mental ray, díky dlouhodobé smlouvě, součástí všech produktů firmy Autodesk. Mental ray umožňuje renderovat scény s použitím globálního osvětlení, kaustik, fotonových map, vlastních materiálů a stínů. [5]

7.2 V-Ray

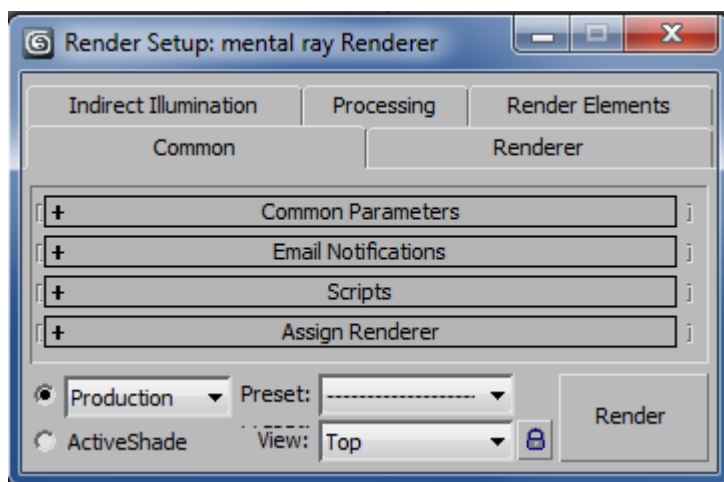
Je placený software, který je prodáván formou plug-inu. Jeho tvůrcem je firma Chaos Group. První oficiální verze softwaru byla vydána v březnu 2002. Tato verze byla určena pro 3ds Max. Dnes je V-Ray určen i pro další grafické programy. V-Ray rovněž umožňuje používat základní techniky pro zkvalitnění výsledného renderu, má své materiály, světla i objekty. [7]

7.3 Aktivace renderovacích aplikací

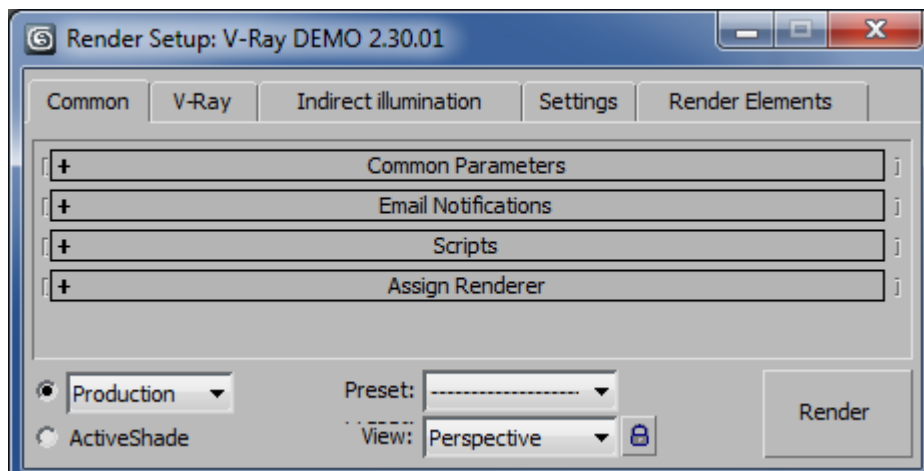
Základem je aktivovat renderovací aplikace v nastavení programu, tak aby se používaly všechny jejich nástroje správně. K aktivaci renderovací aplikace a k nastavení výstupu renderu slouží Render Setup.

8 Render Setup (Nastavení renderu)

Toto okno obsahuje mnoho možných nastavení, které mají podstatný vliv na výsledek renderu. Každý renderovací nástroj má přizpůsobený Render Setup podle svého. Počet záložek a jejich obsah se tedy mění se zvolenou aplikací, ovšem základní záložky zůstávají stejné. Render Setup představuje hlavní ovládání renderu, to znamená, že pokud se zde nějaká vlastnost či metoda vypne, má to vliv na celou scénu bez ohledu na jednotlivé nastavení objektů scény. Například pokud se zde vypne renderování stínů, stíny se nebudou vykreslovat, ať je nastavení světel jakékoliv. Render Setup i se záložkami, které aplikace obsahuje, jsou na obrázku č. 16 (mental ray) a č. 17 (V-Ray).



Obrázek č. 16: Render Setup pro mental ray
(Zdroj: 3ds Max 2012)



Obrázek č. 17: Render Setup pro V-Ray
(Zdroj: 3ds Max 2012)

8.1 Záložka Common

Základními nastaveními této záložky jsou velikost výstupu, nastavení výstupního souboru a možnost přiřadit renderovací aplikaci. Ve velikosti výstupu si lze zvolit již předdefinované poměry velikostí nebo si lze definovat vlastní velikost.

V záložce Common si lze také určit do jakého souboru se výsledek renderu uloží, což znamená definování jeho formátu, názvu a umístění. V části pro přiřazení renderovací aplikace (Assign Renderer) se volí z jednotlivých možností, které jsou k dispozici ať po nainstalování plug-inu (například V-Ray) nebo defaultně (například mental ray). Hlavním cílem je volba aplikace v „produkci“, kde se určí hlavní renderovací aplikace, která bude obstarávat celý render. Dále je možné si zvolit, jakou aplikaci bude používat tzv. ActiveShade, což je nástroj pro renderování scény v průběhu změn (renderování se stále aktualizuje, jde o renderování v čase). Mental ray tuto možnost nepodporuje, tudíž se při použití ActiveShade využívá defaultní renderovací aplikace.

8.2 Záložky aplikace mental ray

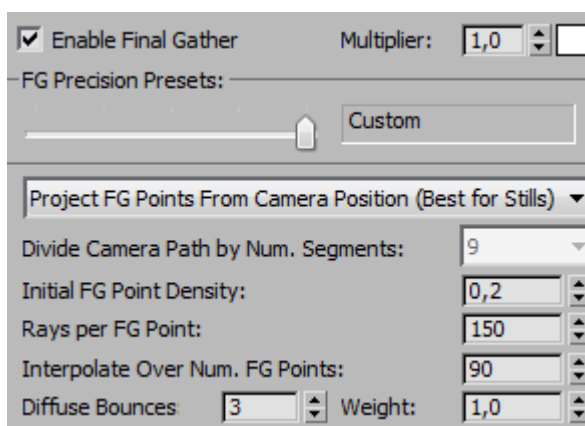
8.2.1 Renderer

1. V této záložce se nacházejí informace a nastavení týkající se samotné renderovací aplikace. Je zde možné v části globálních parametrů nastavit pomocí násobitele preciznost stínů (shadows), lesklých odrazů (reflection) a lomu světla (refraction).
2. Dále kvalitu vzorkování v podobě minima a maxima vzorků na pixel. Nastavení minima a maxima vzorků představuje antialiasing výsledného renderu. Nastavení těchto parametrů značně ovlivní čas i kvalitu renderu.
3. V části věnující se renderovacímu algoritmu je možno ovlivnit co a jak se bude renderovat z pohledu výpočtů. Jde o určení toho, zda se scéna renderuje metodou Raytracing nebo metodou Scanline (lze použít obojí). Metoda Scanline je mnohem rychlejší než Raytracing, neumí ovšem vypočítat odrazy, lomy paprsků a jiné. Raytracing toto umí, a proto bývá defaultně nastaven jako zapnutý. V jeho možnostech lze zvolit maximální hodnoty, kolikrát se bude odraz a lom paprsků vypočítávat, lze je zde také úplně vypnout či zapnout pro výpočet celé scény.
4. Je zde také možno úplně vypnout vykreslování stínů. Pokud je ve scéně použita možnost výpočtu stínů pomocí map stínů, lze ji zde také ovlivnit, ať už povolením nebo určením cachovacího souboru pro velké mapy.

8.2.2 Indirect Illumination (nepřímé osvětlení)

- 1) Final Gather – je technika pro podporu kvality globálního osvětlení. Použitím této techniky se může značně zvýšit doba renderu, ovšem tato položka má veliký vliv na kvalitu výsledku, zvláště pokud je ve scéně použito slunce či jiné vzdálené zdroje světla. Je zde možno využít již přednastavených kombinací, to ale nemusí být vždy vhodné, protože každá scéna má jiné nároky na použití Final Gather. Pomocí násobitele lze zvýšit účinnost Final Gather, výsledek bude ten, že je scéna více či méně osvětlená, což se běžně pomocí nastavení Final Gather neprovádí (tato informace se nastavuje v násobiteli světla). Final Gather používá pro výpočet body (Final Gather points). Při velké míře odrazů a lomů světla je pro výsledek nutné

nastavit počet difúzních odrazů (Diffuse Bounces). Tato hodnota má vliv jen při používání samotného Final Gather. Hlavní nastavitelné parametry Final Gather jsou zobrazeny na obrázku č. 18.



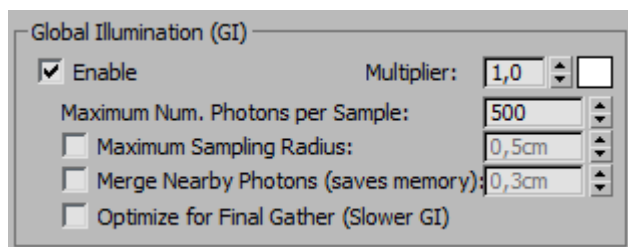
Obrázek č. 18: Hlavní nastavení Final Gather
(Zdroj: 3ds Max 2012)

Pro nastavení bodů jsou tři hlavní parametry:

- a) Hustota bodů (Initial FG Point Density) – čím vyšší je tento parametr, tím je větší hustota bodů. S použitím větší hustoty se zlepší viditelnost kolem hran, protože jsou tam body zaměřeny.
 - b) Počet paprsků na bod (Rays per FG Point) – každý bod má nastavitelný počet paprsků, které tímto bodem procházejí, tento parametrem počet ovlivňuje. Znázorňuje, jaké množství paprsků je použito při výpočtu nepřímého osvětlení ve Final Gather. Při velkém množství paprsků se prodlužuje čas renderu.
 - c) Hodnota interpolace (Interpolate Over Num. FG Points) – pomocí interpolace lze ze scény dostat všechny rušivé prvky (sdružením bodů), které vznikají například na zdech (fleký). Tato hodnota také přispívá k vyhlazení výsledku.
- 2) Kaustiky a Globální osvětlení (Caustics and Global Illumination) – tato nastavení předpokládají vrhání fotonů ze světelného zdroje, proto jednotlivé parametry převážně ovlivňují počet fotonů.
- a) Kaustiky – pro použití kaustik nestačí jen povolit jejich renderování, objekty, které je mají vytvářet, musí mít vrhání kaustik povoleno a to samé platí u světel. V Render Setup se nastavují hlavní parametry kaustik a to především maximum

fotonů na vzorek, jejich aktivní poloměr a filtr, pomocí něhož lze odfiltrovat rušivé prvky ve scéně.

- b) Globální osvětlení (Global Illumination) – zde je možno ovládat globální osvětlení scény. Využitím těchto nastavení se scéna projasní. To převážně ovlivňuje parametr udávající maximální počet fotonu na vzorek (Maximum Num. Photons per Sample viz obrázek č. 19). Nastavením vzorkovacího poloměru (Maximum Sampling Radius) se určí jaký poloměr má každý jednotlivý vzorek, čím vyšší je poloměr vzorku, tím je výsledek více rozptý a mohou vznikat rušivé prvky.



Obrázek č. 19: Nastavení globálního osvětlení

(Zdroj:3ds Max 2012)

- 3) metal ray umožňuje ukládat a znovu používat fotonové a Final Gather mapy. Mapy se uloží do souborů a je možno je použít při dalším renderování scény. Možnost číst z uložených map při příštích vykreslování scén je užitečná v tom, že se mapy při dalším renderu nevypočítávají znovu. Proto probíhá jen samotný render a výpočty map se neprovádí (načítají se z map).

8.2.2.1 Použití Globálního osvětlení a Final Gather

Jelikož je Final Gather tvořený jako nadstavba pro globální osvětlení, jeho použitím lze globální osvětlení úplně vypnout a nepoužívat ho. To samé platí i naopak využitím globálního osvětlení odpadá nutnost používat Final Gather. Jelikož je jejich použití ovlivněno vždy jiným nastavením, mohou se tudíž jednoduše doplňovat. Nastavením obou nástrojů a jejich použitím v renderu lze snížit čas renderu bez ztráty kvality. Tím, že se použijí oba nástroje, nemusí být parametry buď Final Gather nebo globální osvětlení nastaveny na extrémní hodnoty, které zpomalují renderování scény.

8.2.3 Processing

V této záložce je možno nastavit využití operační paměti a užití diagnostik.

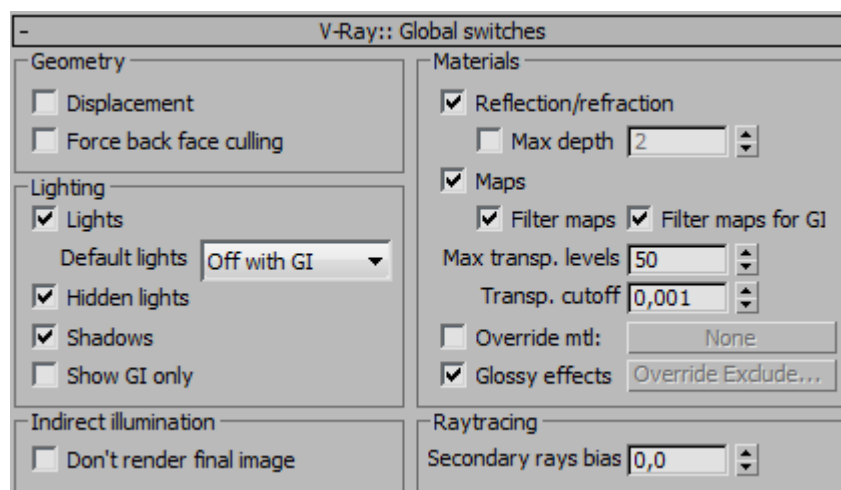
8.2.4 Render elements

Záložka je určená pro vygenerování jednotlivých vrstev renderu. Po ukončení renderu se v dalších oknech zároveň zobrazí vrstvy, které si uživatel zvolí. Jedná se například o vrstvy: stíny, odrazy, lomy, průhlednost, průsvitnost, osvětlení objektů, difúzní odrazy a jiné.

8.3 Záložky aplikace V-Ray

8.3.1 V-Ray

Záložka V-Ray je určena pro obecné informace renderovací aplikace, stejně jako u mental ray záložka Renderer. Jak je vidět na obrázku č. 20, v části zvané globální přepínače (Global Switches) jsou možnosti ovlivnit, zda se budou renderovat světla, stíny, skrytá světla, defaultní osvětlení scény, vliv světel na materiály. Tyto možnosti jsou většinou součástí první nastavení, které se provádí, jelikož obsahují výše zmíněné základní parametry.

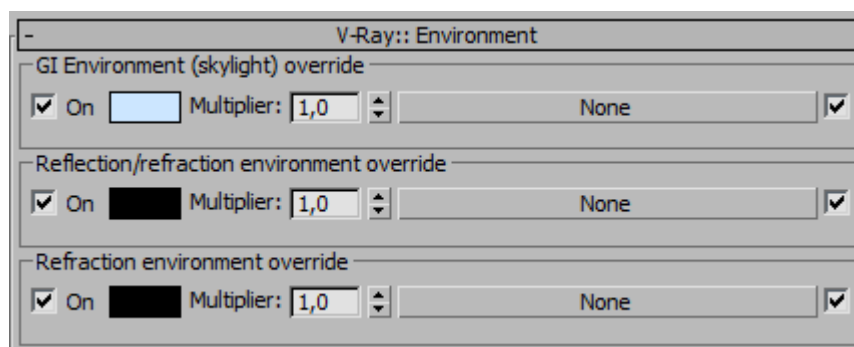


Obrázek č. 20: Globální přepínače pro V-Ray

(Zdroj:3ds Max 2012)

Stejně jako se u mental ray nastavovalo minimum a maximum vzorkování neboli antialiasing je i zde tato možnost. Vybráním jedné ze tří metod výpočtu vzorkování se záložka upraví a vzniknou zde nutné parametry zvolené metody. Tyto metody se nastavují parametrem subdivision, což je jakési dělení vzorku a tím vznikající antialiasing. Ke zvolené metodě vzorkování je možno přidat filtr z pevně daných. Každý filtr představuje jiný druh výpočtu.

Obrázek č. 21 ukazuje možnost nastavení prostředí scény přes Render Setup, konkrétně v části Environment. Je zde možné přidat mapy zvolené pro světlo přicházející z oblohy (pouze při použití globálního osvětlení scény), mapy odrazu a lomu paprsků světla nebo jen mapu lomu paprsků. Částí Environment je možné scénu jednoduše připravit na globální osvětlení s tím, že to nemá podstatný vliv na čas renderu.



Obrázek č. 21: Nastavení environment

(Zdroj:3ds Max 2012)

Další částí záložky V-Ray je mapování barev (Color mapping). Vybráním typu mapování barev se značně ovlivní výsledek renderu po stránce světlosti barev a celé scény. Nastavením násobitelů tmavosti popřípadě jasu se upravují již dané typy.

8.3.2 Indirect Illumination (nepřímé osvětlení)

V této záložce se nastavují primární parametry nepřímého osvětlení. Nejdůležitější je část věnující se globálnímu osvětlení, kde se ovlivňuje to, jestli bude vůbec použito. Je zde také jednoduše volitelné, zda bude použita okolní okluze (Ambient occlusion) na rozdíl od mental ray, kde je okolní okluze řešena složkou materiálu a nastavitelná

informace o ní v Render Setup není. Nastavení nepřímého osvětlení scény je řešeno zvolením nástroje pro jeho výpočet, a to zvolením primárního a sekundárního.

- 1) Iradienční mapa (Irradiance map) – princip této mapy je v postupném procházení scény a hledání stále většího množství detailů objektů a všech aspektů zahrnutých ve scéně. Průchodům scény se říká Prepass a jejich množství je dáno nastavením minima a maxima. Jednotlivé průchody se provádí v různých rozlišeních určené minimem až maximem. Pokud je minimum nastaveno na 0 průchod probíhá ve stejném rozlišení jako výstup renderu. S nastavením minima na -1 je rozlišení při průchodu/2. To samé platí pro maximum, rozdíl maxima a minima tedy určuje počet průchodů a do jaké míry bude průchod detailní. Například při rozlišení 640x480 a nastavením minima na -3 a maxima na 0 proběhne před samotným renderem průchod 4x, první bude při rozlišení 80x60 a poslední 640x480. Čím nižší jsou parametry, tím je v průchodech rozlišováno méně detailů, ovšem výpočet je rychlejší. Iradienční mapa je hlavním pomocníkem v globálním osvětlení pro V-Ray stejně jako je Final Gather v mental rayi. Iradienční mapa se většinou používá jako primární nástroj nepřímého osvětlení, ostatní nástroje totiž nevytvoří takový výsledek (jedině za cenu velmi dlouhého renderu). Mapu si lze uložit na disk a znovu použít při dalších renderech.
- 2) Fotonová mapa (Photon map) – funguje stejně jako použití globálního osvětlení v mental rayi. Nastavuje se zde počet odrazů a maximum fotonů použitých ve scéně. Nechybí zde ani násobitel a určení maximální hustoty fotonů. Použití fotonové mapy jako sekundární nástroj prodlužuje délku renderu, zvláště pokud má mít nějaký vliv na výsledek.
- 3) Brute force – tento nástroj provádí výpočet každého bodu zvlášť, což může trvat dlouho, proto se nehodí pro primární nastavení. Jediné co se zde nastavuje, je počet dělení, tím se dosahuje lepších výsledků. Pokud je nástroj nastaven jako, sekundární určuje se ještě počet odrazů.
- 4) Light cache – je nástroj vycházející z fotonové mapy. Jsou zde potlačeny nedostatky mapy a proto je taky Light cache rychlejší. Hlavními parametry jsou počet dělení, velikost vzorku a počet průchodů scénou.

V záložce nepřímého osvětlení se nastavuje i použití kaustik. Jsou zde jen 4 parametry: násobitel, vzdálenost (jak daleko se kaustika hledá), maximum fotonů a maximum jejich hustoty. Výpočty lze ukládat do map na disk a opět použít.

8.3.3 Settings (nastavení)

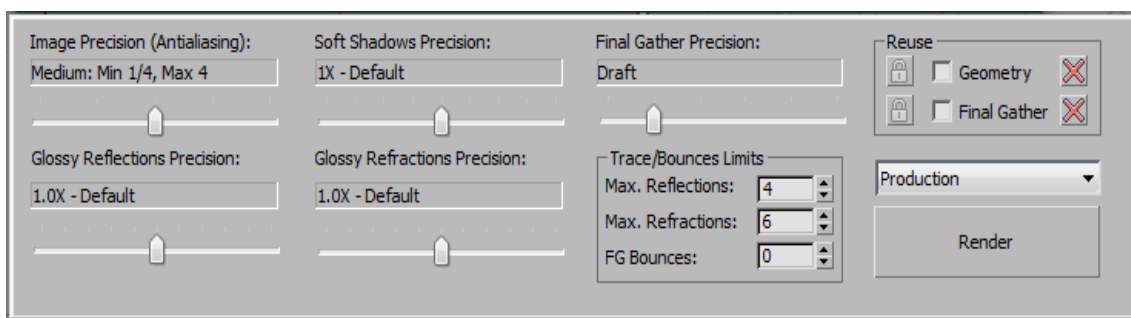
V této záložce se konkrétněji nastavuje vzorkování určením minima vzorků, množstvím a hranicí. Dále jsou zde nastavení spojené s 3ds Max a možnost ukládat informativní log z renderů na disk.

8.3.4 Render elements

Má stejný obsah jako Render elements v mental rayi s tím, že výsledky jsou přizpůsobeny V-Rayi.

8.4 Frame buffer vs. Frame window

Základní součástí 3ds Max, stejně jako mental ray je Frame window, viz příloha I. Obsahuje základní možnosti práce se souborem (uložení do souboru, kopírování do schránky, tisk, odstranění). Další možností úprav výsledku je zobrazení kombinací složek RGB, alfa kanálu, černobílého výstupu. Také si lze určit, co se bude renderovat, jen určitá část scény, vybrané objekty nebo celý aktuální pohled. Umožňuje duplikovat výsledek do dalšího okna, další výstup se pak jednoduše porovnává. Frame window obsahuje možnost přímo ovlivňovat výsledek renderu po právě skončeném a to v malém menu, kde si lze nastavit jednotlivé preciznosti viz obrázek č. 22.



Obrázek č. 22: Menu precizností jednotlivých parametrů

(Zdroj:3ds Max 2012)

Frame buffer (viz příloha II) je součástí V-Ray, pro jeho používání je nutno ho zapnout v Render Setup, kde je možné si zobrazit poslední výstup Frame bufferu. Obsahuje všechny základní možnosti, jako Frame window. Ovšem existuje v něm více nástrojů pro zobrazení výsledků. Například si uživatel může zapnout historii výsledků renderování a poté je jednoduše porovnávat posuvníkem. Obsahuje korekci barev a ovládání expozice a další hlavní možnosti postprodukce.

8.5 Environments and Effects

Tato nabídka je pro mental ray i V-Ray stejná. Nastavuje se v ní barva nebo mapa pozadí scény a hlavně kontrola expozice. Díky kontrole expozice lze odfiltrovat přесvícenou (přeexponovanou) scénu nebo naopak scénu podsvícenou (podexponovanou). Toto lze přizpůsobovat především zvolením z daných kontrol expozice a nastavením EV (Exposure Value). Mental ray i V-Ray zde mají své vlastní kontroly expozice.

9 Výsledné porovnání

Pro porovnávání renderovacích aplikací mental ray a V-Ray autor vytvořil scénu, viz příloha III. Tato scéna představuje obývací pokoj s jeho typickými doplňky. Jednotlivé vlivy nastavení byly zkoumány na pevně daných pohledech, které tvořily rozmístěné kamery. Světelné zdroje byly umístěny tak, aby simulovali světlo přicházející od oken. Pro celkové osvětlení byly použity standardní světla typu omni.

První co lze při porovnání připomenout je fakt, že V-Ray je placený kdežto mental ray je součástí programu 3ds Max. Tím, že není V-Ray základní součástí programu má vliv na jeho rozšíření. Uživatel ho tedy musí předem znát, vědět k čemu slouží a jaké jsou jeho přednosti a zápory než si ho zakoupí.

Mental ray nemá problémy s renderováním cizích materiálů, které byly ve scéně použity. Kdežto V-Ray nastavení materiálů ignoruje a objekty scény renderuje pouze se základními barvami, jak je vidět na obrázku č. 23.



Obrázek č. 23: Render pomocí V-Ray

(Zdroj: vlastní zpracování)

Tento problém se netýká textur, kde ignorování obrázku není možné. Pokud byla na objektu namapovaná nějaká textura, obě aplikace ji renderovaly správně.

Mental ray si s materiály objektů poradil lépe, viz obrázek č. 24. Stejně jako v případě světelných zdrojů. Mental ray umí pracovat i se světly, které nejsou jeho vlastní a nejsou mu přizpůsobeny. V-Ray s tímto má problém. Ve scéně byly totiž použity defaultní světla a při jejich použití V-Ray nevypočítával stíny. Pro render z obrázku č. 23 byly tedy použity světla pro V-Ray.



Obrázek č. 24: Render pomocí mental ray

(Zdroj: vlastní zpracování)

Pokud jde o jednotlivá nastavení aplikací, má navrch V-Ray, díky svojí jednoduchosti. Render Setup aplikace V-Ray se přizpůsobuje v závislosti na nastavení. To má vliv na to, jak je práce při nastavování výsledného renderu přehledná a rychlá. Mental ray má pevně dané prostředí menu Render Setup. To znamená, že všechna možná nastavení jsou pevně zakotvena a je jich mnoho, což uživatele může zmást. Zároveň se tím prodlouží i čas nastavení, protože uživatel musí projít i možnosti, které ani nepoužije.

Díky tomu, že je mental ray součástí programu, je lépe přizpůsoben pro 3ds Max. Práce s ním je rychlejší, ve smyslu uživatelského používání. Pokud je aktivován V-Ray, je program zpomalený, občas se po renderu zasekne a chvíli trvá, než lze něco vůbec něco dělat.

Při renderování scén je systém V-Ray volby vždy dvou druhů výpočtů paprsků rychlejší. Proto je i doba renderování scény u V-Ray rychlejší. To ovšem záleží

na nárocích nastavení. Obecně jsou u V-Ray iradiační mapy výbornou metodou pro výpočty paprsků. Ovšem chybí tu trochu detailnější nastavení jako má mental ray s Final Gather.

Spojením Final Gather a globálního osvětlení v mental ray je velice účinné a dokáže značně zkrátit dobu renderu. Naopak ve V-Ray jsou metody pro výpočty paprsků samostatné, ve smyslu, že jejich spojením nedochází k takovému efektu úspory času jako u metod mental ray. Kdyby takovou možnost V-Ray umožňoval, byly by rendery ještě rychlejší.

Následující tabulky č. 3 a č. 4 mapují klady a zápory jednotlivých porovnávaných aplikací.

Tabulka č. 3: Klady a zápory mental ray

(Zdroj: vlastní zpracování)

| mental ray | |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| klady | zápory |
| defaultně součástí programu | velké množství nastavitelných parametrů |
| dokáže pracovat i s cizími materiály | pomalejší render |
| akceptuje i cizí světelné zdroje | potřeba delšího času pro naučení s ním |
| po aktivaci, svižnější práce s prostředím programu | |
| Final Gather | |
| lišta s nastavením ve Frame window | |
| spojení Final Gather a globálního osvětlení | |

Tabulka č. 4: Klady a zápory V-Ray

(Zdroj: vlastní zpracování)

| V-Ray | |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| klady | zápory |
| informace o renderu v logu | neumí pracovat s cizími světelnými zdroji |
| irradienční mapy | obtížně pracuje s cizími materiály |
| menší množství nastavitelných parametrů | placený |
| přehlednější | po aktivaci, pomalá práce s prostředím programu |
| přizpůsobující se Render Setup | samostatnost metod pro výpočty paprsků |
| rychlejší render | |
| větší možnosti postprodukce ve Frame bufferu | |

Jak je vidět z tabulek kladů a záporů má mental ray ve výsledku trochu navrch. Ovšem rozdíl není nějak velký a nelze říci, že V-Ray je horší. Kdyby se obě aplikace spojily v jednu, která bude mít především přehlednost a rychlost V-Ray a přizpůsobivost a optimalizaci mental ray, byla by výsledná renderovací aplikace výborná. To se, ale nestane, protože se jedná o produkty firem, které si vlastně konkurují. Vývoj každé z renderovacích aplikací jde svým směrem.

10 Závěr a zhodnocení aplikací

Bakalářská práce se zaměřila na seznámení se světlem používaným v počítačové grafice. Teoretická část měla seznámit se základními znalostmi osvětlení a ukázat techniky a metody pro vytvoření kvalitního výsledku. Poskytla také informace, které jsou nutné pro správnou orientaci v porovnávaných renderovacích aplikacích v praktické části.

Pro porovnání si autor práce zvolil aplikace mental ray a V-Ray z důvodu zkušenosti práce s nimi. Tyto renderovací aplikace jsou součástí grafického programu 3ds Max, jehož je mental ray součástí a V-Ray doinstalovatelným plug-inem. Renderování výstupů proběhlo při použití studentské licence pro program 3ds Max a volně stažitelné demo verze renderovací aplikace V-Ray.

Ve scéně (viz příloha III), na které se porovnávali renderovací aplikace, byly použity materiály, které by neměly mít s renderovacími aplikacemi nic společného. Šlo o to, jak si s tím renderovací aplikace poradí a jak moc bude těžké nastavit aplikaci, tak aby měla slušný výsledek za co nejkratší dobu. V-Ray například úplně ignoruje to, že je materiál ze skla. Mental ray si s renderem cizích materiálů poradil o poznání lépe. Jednoznačnou nevýhodou je to, že V-Ray neumí pracovat s jinými světly, než jsou jeho vlastní. S použitím defaultních světel objekty nevrhají stíny a scéna je tmavá i s použitím velkého násobitele.

Po porovnání jednotlivých nastavení aplikací v Render Setup a i ze zkušenosti práce s aplikací lze říci, že mental ray obsahuje velmi mnoho nastavitelných parametrů. Celkově je jeho nastavení mnohem náročnější než v případě V-Ray. Mental ray je také ve výsledku při renderování pomalejší což ovšem neplatí při používání uživatelského

rozhraní. Tím, že je mental ray pevnou součástí 3ds Max, je práce s ním svižnější, jeho optimalizace pro program je na vyšší úrovni než při používání V-Ray.

V-Ray používá jednoduchý systém při nastavování. Při zvolení určité možnosti se Render Setup změní a zobrazí se parametry ovlivňující tuto možnost. Je to přehlednější a uživatelsky použitelnější. Nastavení není mnoho, ovšem neznamená to, že je zde méně možností ovlivnit výsledný render. Systém iradiačních map je při pochopení metody jejich výpočtu jednodušeji nastavitelný a z nastavení lze zhruba vyčíst jak dlouhý render bude.

Jak je nastavení mental ray vlastními parametry zdlouhavé, využitím lišty pro rychlé nastavení základních precizností ve Frame window velice rychlé a pomocí něj lze jednoduše ovládat výsledek, například při prvním použití.

Obě aplikace umožňují vytvářet nádherné rendery, ovšem cesta k nim je u každé jiná. Každá ze zvolených aplikací, ať je to mental ray nebo V-Ray, má své klady i zápory. Mental ray je složitější na nastavení, V-Ray zase jde svou cestou a nepředstavuje takovou svobodu v ovládání parametrů. Jako výsledek porovnání aplikací pro renderování scén bych osobně dal přednost použití mental ray. I přes jeho složitosti v nastavení, což je možná nakonec částečně i jeho klad.

11 Seznam literatury

1. BIRN, Jeremy. *Digital Lighting & Rendering*. 2. vyd. Berkeley, Calif: New Riders, 2006, 432 s. ISBN 03-213-1631-2.
2. KUHLO, Markus a Enrico EGGERT. *Architectural rendering with 3ds Max and V-Ray: photorealistic visualization*. Burlington, VT: Focal Press/Elsevier, 2010, 213 s. ISBN 02-408-1477-0.
3. LEGRENZI, Francesco. *V-Ray the complete guide*. Borgosatollo: cop. Francesco Legrenzi, 2008. ISBN 88-881-3723-8.
4. LIVNY, Boaz. *Mental ray for Maya, 3ds Max and XSI: a 3D artist's guide to rendering*. Indianapolis, Ind.: Wiley, 2008, 740 s. ISBN 04-700-0854-7.
5. NVIDIA Advance Rendering: Autodesk. NVIDIA. *Autodesk: Strategic Cooperation* [online]. 2012 [cit. 2013-03-08]. Dostupné z: <http://www.nvidia-arc.com/partners/autodesk.html>
6. TILL, Steven a James O'CONNELL. *3ds max 7: výukový průvodce*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2006, 277 s. ISBN 80-251-0918-6.
7. V-Ray 10th Anniversary: Timeline. CHAOS GROUP. *How did it all get started?* [online]. 2012 [cit. 2013-03-08]. Dostupné z: <http://vray10.chaosgroup.com/>
8. ŽÁRA, Jiří, Bedřich BENEŠ, Jiří SOCHOR a Petr FELKEL. *Moderní počítačová grafika*. Vyd 2. Brno: Computer Press, 2010, 609 s. ISBN 80-251-0454-0.

12 Seznam obrázků

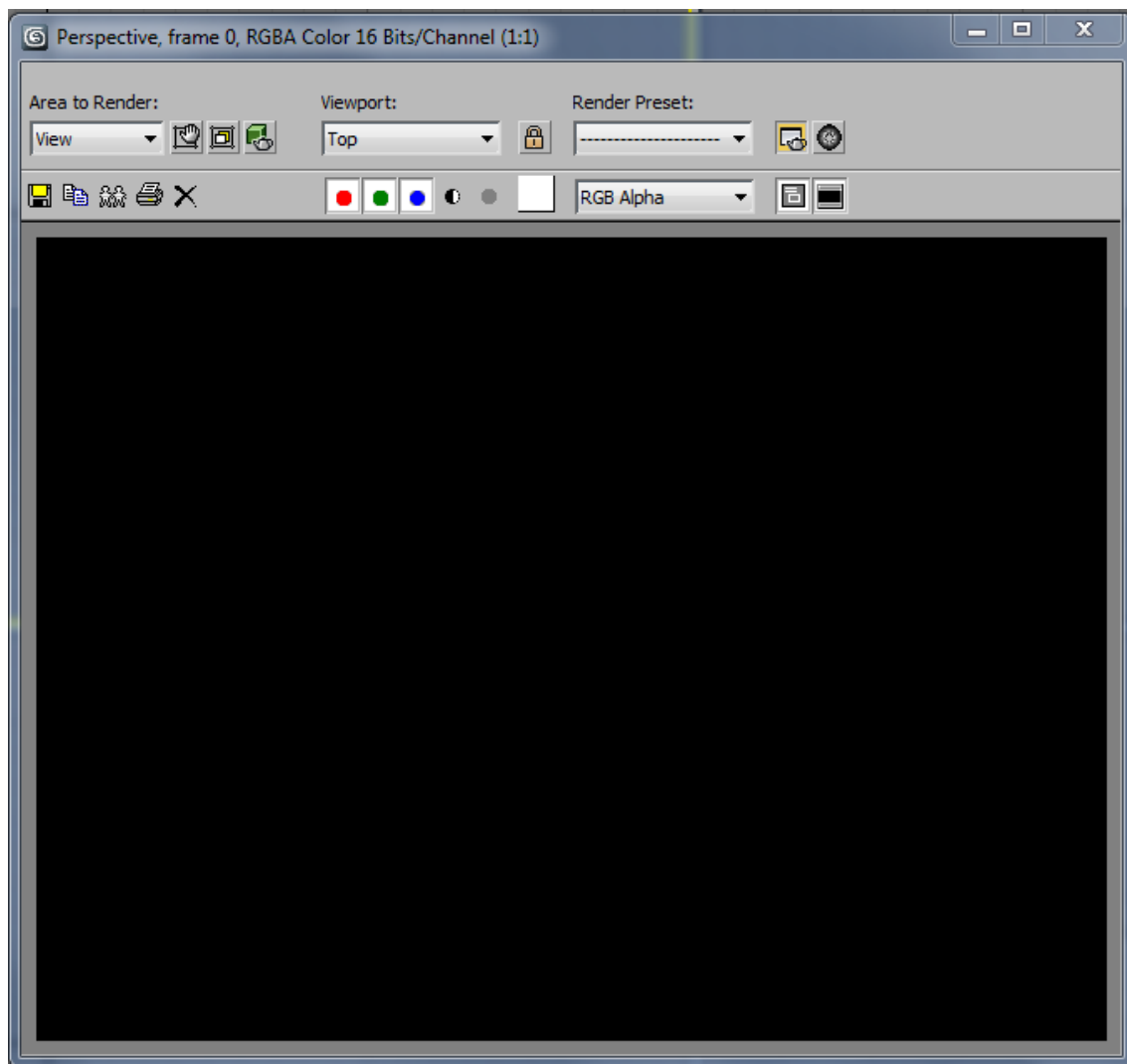
| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. <i>Obrázek č. 1:</i> Spektra elektromagnetického záření..... | 11 |
| 2. <i>Obrázek č. 2:</i> Změna vlnové délky a relativní odezvy při různých viditelnostech | 15 |
| 3. <i>Obrázek č. 3:</i> Prostory RGB a CMY prezentované krychlí..... | 18 |
| 4. <i>Obrázek č. 4:</i> Difúzní odraz..... | 21 |
| 5. <i>Obrázek č. 5:</i> Zrcadlový odraz..... | 22 |
| 6. <i>Obrázek č. 6:</i> Hotspot a Falloff světla..... | 24 |
| 7. <i>Obrázek č. 7 :</i> Umbra a penumbra..... | 26 |
| 8. <i>Obrázek č. 8:</i> (zleva)černý stín, modrý stín, stín ovlivněný barovu světla..... | 27 |
| 9. <i>Obrázek č. 9:</i> Vznik mapy stínů..... | 28 |
| 10. <i>Obrázek č. 10:</i> Vlevo: bodově zaměřené světlo, vpravo: světlo s velkou plochou..... | 29 |
| 11. <i>Obrázek č. 11:</i> Vznik raytracingového stínu | 30 |
| 12. <i>Obrázek č. 12:</i> Jeden vzorek na jeden pixel..... | 32 |
| 13. <i>Obrázek č. 13:</i> Čtyři vzorky na jeden pixel..... | 33 |
| 14. <i>Obrázek č. 14:</i> Ukázka adaptivního převzorkování..... | 34 |
| 15. <i>Obrázek č. 15:</i> Kaustiky..... | 40 |
| 16. <i>Obrázek č. 16:</i> Render Setup pro mental ray | 42 |
| 17. <i>Obrázek č. 17:</i> Render Setup pro V-Ray..... | 43 |
| 18. <i>Obrázek č. 18:</i> Hlavní nastavení Final Gather..... | 45 |
| 19. <i>Obrázek č. 19:</i> Nastavení globálního osvětlení..... | 46 |
| 20. <i>Obrázek č. 20:</i> Globální přepínače pro V-Ray..... | 47 |
| 21. <i>Obrázek č. 21:</i> Nastavení environment..... | 48 |
| 22. <i>Obrázek č. 22:</i> Menu precizností jednotlivých parametrů..... | 50 |
| 23. <i>Obrázek č. 23:</i> Render pomocí V-Ray..... | 53 |
| 24. <i>Obrázek č. 24:</i> Render pomocí mental ray..... | 59 |

13 Seznam tabulek

| | |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1. <i>Tabulka č. 1:</i> Radiometrické a fotometrické veličiny..... | 16 |
| 2. <i>Tabulka č. 2:</i> Index lomu různých látek..... | 20 |
| 3. <i>Tabulka č. 3:</i> Klady a zápory mental ray..... | 54 |
| 4. <i>Tabulka č. 4:</i> Klady a zápory V-Ray..... | 54 |

14 Přílohy

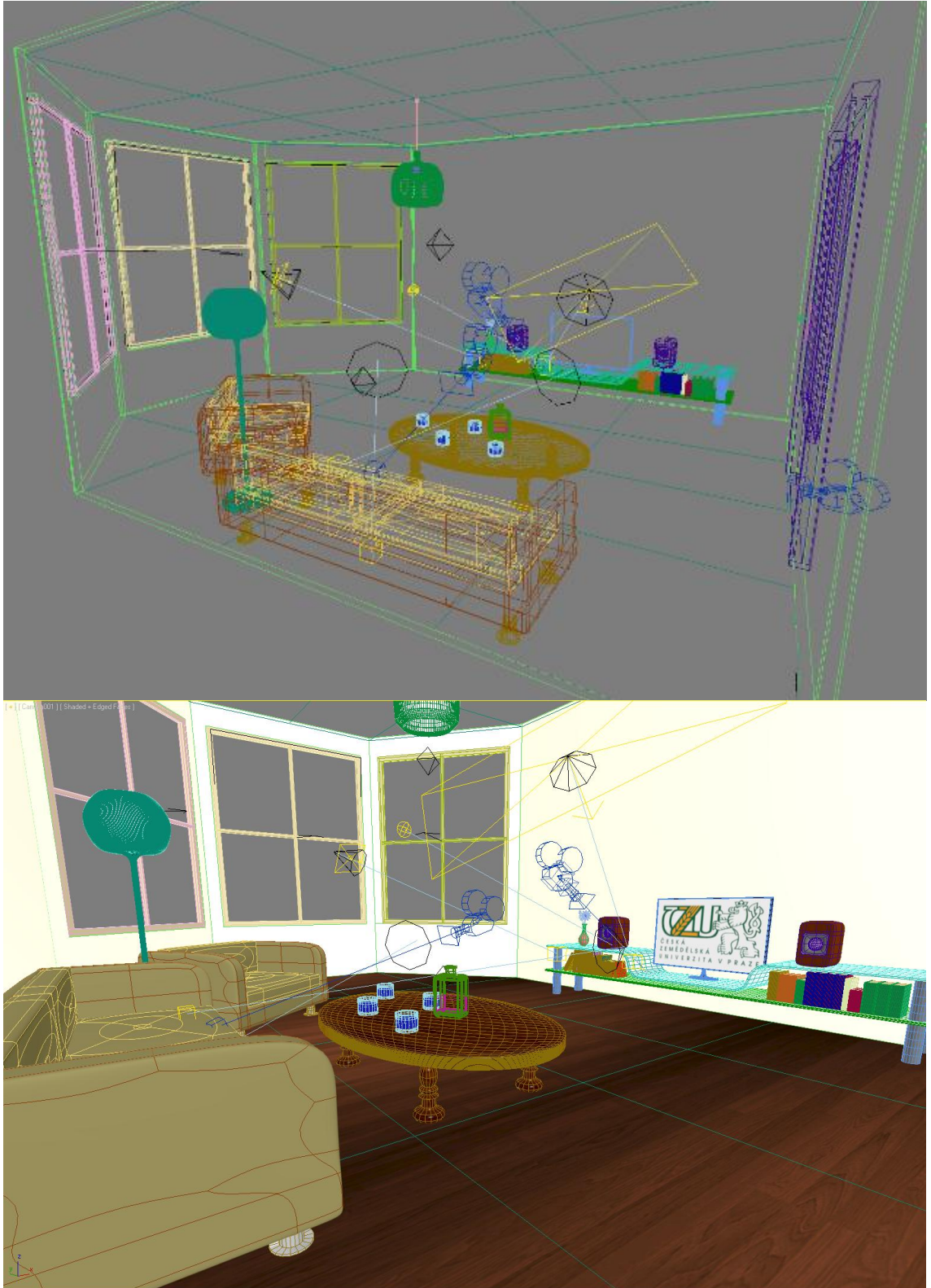
I. Frame window



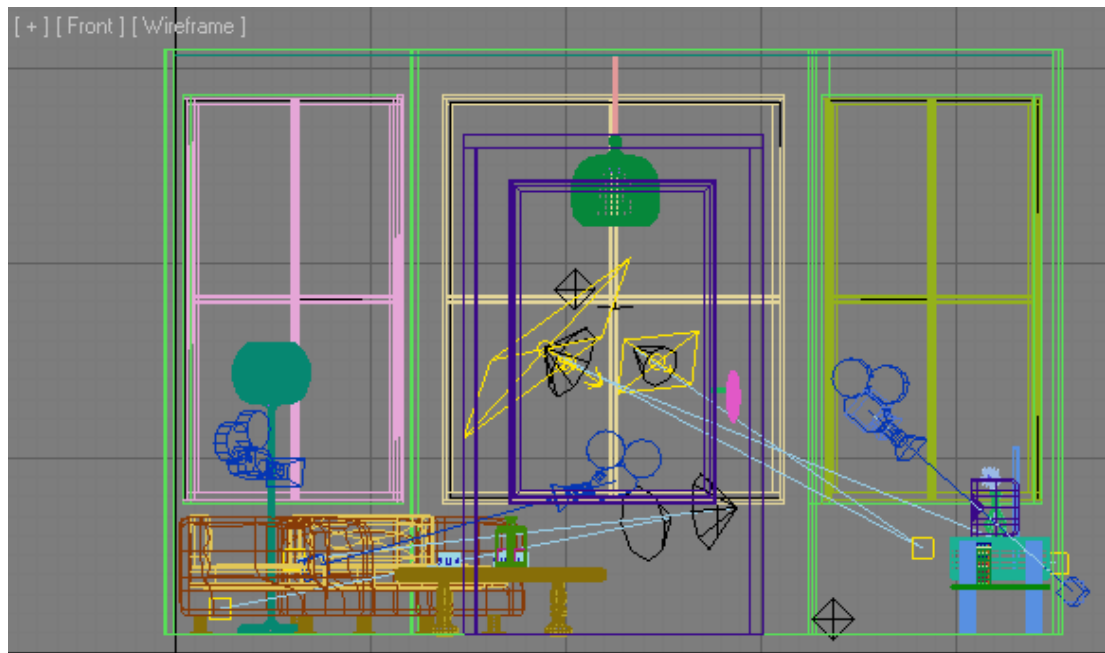
Frame buffer



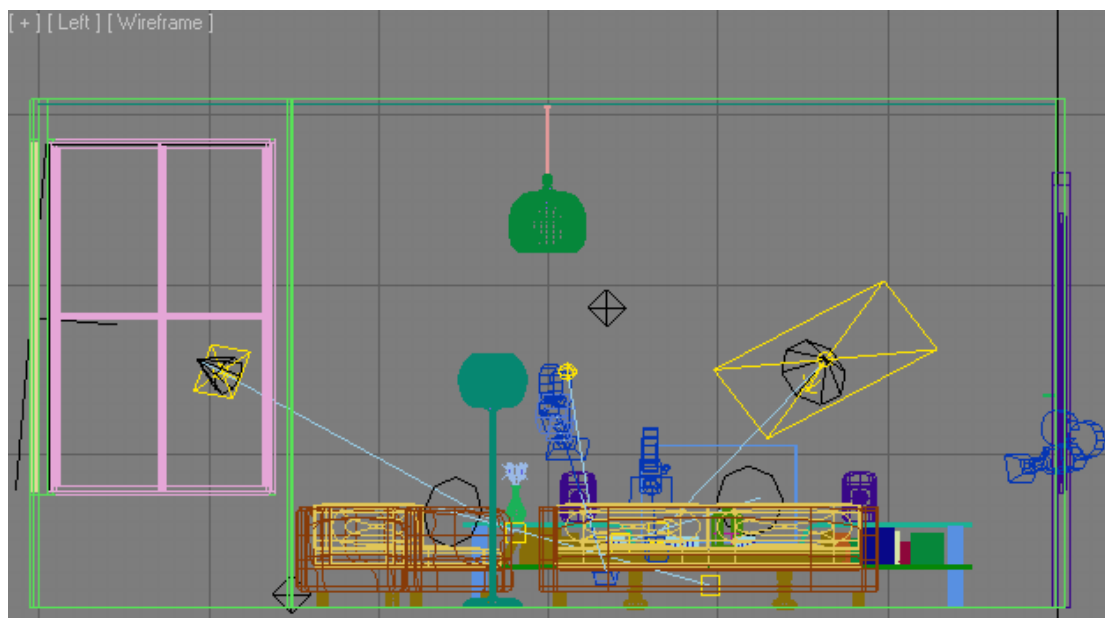
II. Renderovaná scéna



Přední pohled:



Levý pohled:



Pohled shora:

