

## IDŹ DO

PRZYKŁADOWY ROZDZIAŁ



SPIS TREŚCI

## KATALOG KSIĄŻEK

KATALOG ONLINE

ZAMÓW DRUKOWANY KATALOG

## TWÓJ KOSZYK

DODAJ DO KOSZYKA

## CENNIK I INFORMACJE

ZAMÓW INFORMACJE  
O NOWOŚCIACH

ZAMÓW CENNIK

## CZYTELNIA

FRAGMENTY KSIĄŻEK ONLINE

# Cyfrowe oświetlenie i rendering. Wydanie II

Autor: Jeremy Birn

Tłumaczenie: Remigiusz Zagrobelski

ISBN: 978-83-246-0790-7

Tytuł oryginału: [Digital Lighting and Rendering \(2nd Edition\)](#)

Format: B5, stron: 448



### Naucz się manipulować oświetleniem i twórz profesjonalne grafiki

- Poznaj zaawansowane techniki renderingu
- Zrozum właściwości światła
- Korzystaj z rozwiązań stosowanych przez profesjonalistów

Jeśli chcesz tworzyć perfekcyjne renderingu, musisz nauczyć się panować nad szczegółami. Tworzenie realistycznych grafik wymaga uwzględnienia licznych właściwości światła i to niezależnie od używanych narzędzi. Dzięki znacznemu postępowi w dziedzinie oprogramowania do renderingu i ogólnej dostępności wydajnych narzędzi końcowe efekty pracy zależą głównie od specjalistycznej wiedzy.

W zdobyciu większej ilości informacji na ten temat pomoże Ci książka „Cyfrowe oświetlenie i rendering. Wydanie II”. Autor przedstawia w niej najnowsze techniki renderingu, które możesz zastosować w dowolnym pakiecie do tworzenia grafiki trójwymiarowej. Poznasz między innymi sposoby komponowania modeli trójwymiarowych z otoczeniem i nauczysz się naśladować właściwości prawdziwej kamery. Dowiesz się również, jak manipulować najważniejszymi właściwościami światła oraz jak utworzyć efektowne demo do własnego portfolio. Dzięki lekturze tej książki Twoje prace zyskają nową jakość.

- Podstawy projektowania oświetlenia
- Zaawansowane techniki renderingu
- Manipulowanie właściwościami światła
- Projektowanie realistycznych materiałów i tekstur
- Renderowanie w kilku przebiegach
- Tworzenie portfolio
- Praktyki stosowane przez profesjonalistów

**Stosuj profesjonalne techniki do tworzenia perfekcyjnych renderingu**



# Spis treści

<b>Przedmowa</b>	<b>11</b>
Kto powinien przeczytać tę książkę?	11
Wymagania dotyczące oprogramowania	12
Oprogramowanie 3D	12
Oprogramowanie 2D	12
O niniejszym wydaniu	13
<b>Rozdział 1. Podstawy projektowania oświetlenia</b>	<b>15</b>
Umotywowanie istnienia źródła światła	16
Przestrzeń pozaekranowa	16
Właściwości światła	17
Światło bezpośrednie i pośrednie	19
Oszukiwanie	19
Oszukiwanie w filmach	22
Wizualne cele projektowania oświetlenia	22
Czytelność obiektów	22
Przekonujące obiekty	23
Ulepszanie shaderów i efektów	24
Zachowywanie ciągłości	24
Przyciąganie wzroku widza	25
Wpływ emocji	25
Ćwiczenia oświetleniowe	26
Środowisko pracy	28
Kreatywna kontrola	29
<b>Rozdział 2. Podstawy oświetlenia i dobre praktyki</b>	<b>31</b>
Początki	32
Rodzaje świateł	33
Światła punktowe	33
Światła typu spot (reflektor)	34
Światła kierunkowe	37
Światła powierzchniowe	38
Modele służące za źródła światła	40
Kopuły nieba	41
Światło otoczenia	41

Parametry i opcje	43
Zanikanie	43
Odbicia rozpraszające i kierunkowe	47
Łączenie świateł	49
Gobosy	50
Oświetlenie w procesie produkcji	52
Kiedy oświetlać	52
Pętla informacji zwrotnej	53
Nazywanie świateł	54
Zarządzanie wersjami	55
Ćwiczenia	56

### **Rozdział 3. Cienie i okluzja** **59**

Wizualne funkcje cieni	60
Określanie zależności przestrzennych	60
Ukazywanie nowych profili	61
Ulepszanie kompozycji	62
Dodawanie kontrastu	62
Wskazywanie na obecność przestrzeni pozaekranowej	63
Integrowanie elementów	64
Które światła potrzebują cieni?	65
Mnogość cieni	65
Cienie uzupełniające	66
Kolor cienia	67
Testowanie cieni	69
Kształt cienia i perspektywa	70
Algorytmy cieni	71
Cienie wykorzystujące mapy głębokości	71
Cienie raytracingowe	78
Ostre i miękkie cienie	82
Ostre i miękkie światło	84
Miękkie cienie z mapami głębokości	85
Miękkie cienie raytracingowe	87
Okluzja	90
Okluzja otoczenia	90
Okluzja w globalnym oświetleniu	91
Inne rodzaje okluzji	93
Imitowanie cieni	94
Światła ujemne	94
Światła służące wyłącznie do tworzenia cieni	95

Obiekty cienia	97
Wypalanie oświetlenia	98
Wnioski	100
Ćwiczenia	101
<b>Rozdział 4. Oświetlenie środowiska i budynków</b>	<b>103</b>
Światło dzienne	104
Światło słoneczne	104
Światło nieba	107
Światło pośrednie	110
Sceny nocne	112
Światła sztuczne	114
Oświetlanie emitera	114
Regulowanie światel sztucznych	115
Oświetlanie okien	117
Symulowanie światła pośredniego	119
Kąty	123
Oświetlenie zdradzające źródło	125
Globalne oświetlenie	126
Konwencjonalne radiosity	130
Mapowanie fotonowe	131
Final gathering	133
Kaustyka	134
Okłuzja otoczenia	138
Ćwiczenia	140
<b>Rozdział 5. Oświetlenie stworzeń, postaci i animacji</b>	<b>143</b>
Modelowanie za pomocą światła	144
Kierunkowość	145
Wyrazistość	147
Oświetlenie trójpunktowe	149
Warianty	150
Narzędzia, nie zasady	152
Funkcje światel	153
Światła kluczowe	153
Światła wypełniające	155
Światło odbite	157
Światła kontrowe	158
Światła półkontrowe	162
Światło odbijane w sposób kierunkowy (rozblýski)	162

Kwestie związane z oświetlaniem animacji postaci	164
Klatki testowe	165
Łączenie światła z postaciami	165
Zmiany w technologii	166
Rozpraszanie podpowierzchniowe	168
Oświetlenie włosów	172
Oświetlenie oczu	172
Ćwiczenia	176
<b>Rozdział 6. Kamery i ekspozycja</b>	<b>179</b>
Zrozumieć liczby przysłony i głębię ostrości	180
Imitowanie prawdziwych obiektywów	182
Reguła dwóch trzecich	183
Odległość hiperfokalna	183
Efekty bokeh	184
Frame rate	185
Realistyczne rozmycie ruchu (motion blur)	185
Czas otwarcia migawki i kąt migawki	185
Mit ogona komety	188
Rozmywanie ruchu obrotowego	189
Półobrazy wideo	190
Czułość filmu	192
Ekspozycja fotograficzna	193
System strefowy	194
Histogramy	195
Imitowanie niedoskonałości obiektywu	197
Zniekształcenia obiektywu	197
Aberracja chromatyczna	200
Winietowanie	200
Flary i halo	201
Ćwiczenia	203
<b>Rozdział 7. Kompozycja i inscenizacja</b>	<b>205</b>
Rodzaje ujęć	206
Rozmiary planów	206
Inscenizacja głębinowa	208
Ujęcia subiektywne	208
Plan podwójny	210
Ujęcie przez ramię	210

Kąty ustawienia kamery	211
Oś kontaktu	211
Perspektywa	212
Perspektywa ptasia i żabia	215
Ruchy kamery	216
Poprawianie kompozycji	218
Zasada złotego podziału	219
Przestrzeń pozytywna i negatywna	220
Wizualny ciężar	221
Linie	222
Punkty styczności	223
Kadrowanie na potrzeby filmu i wideo	224
Formaty i współczynniki kształtu obrazu	224
Formaty filmowe	225
Konwersja na format telewizyjny	228
Obcinanie obrazu i overscan	229
Ćwiczenia	230

## **Rozdział 8. Sztuka i nauka koloru** **233**

Mieszanie kolorów	234
Barwy addytywne	234
Barwy subtraktywne	235
Barwa, nasycenie i jasność	236
Gdy barwa światła spotyka się z barwą powierzchni	237
Dobór kolorów	240
Kontrast kolorów	241
Znaczenie kolorów	244
Kolor i głębia	247
Zabarwione czarno-białe obrazy	248
Balans barwny	249
Temperatura barwowa	251
Próbkowanie kolorów z obrazów	256
Zrozumieć system RGB	257
Znaczenie czerwonego, zielonego i niebieskiego	259
Cyfrowy kolor	260
Kolor 8-bitowy	260
Kolor 16-bitowy	261
HDRI	261
Oszczędne formaty przechowywania danych	263
Ćwiczenia	266

<b>Rozdział 9. Shadery i algorytmy renderingu</b>	<b>269</b>
Cieniowanie powierzchni	270
Odbicie rozproszone, kierunkowo-rozproszone i kierunkowe	270
Rozbłyski	273
Funkcje BRDF oraz BSSRDF	280
Antyaliasing	281
Nadpróbkowanie	281
Podpróbkowanie	285
Filtrowanie	285
Rendering w wyższych rozdzielczościach	286
Raytracing	286
Struktury przyspieszające raytracing	287
Odbicia raytracingowe	288
Cienie	291
Przezroczystość i refrakcja	293
Algorytm Reyes	297
Standard Interfejsu RenderMana	298
Algorytm Reyes i raytracing	299
Rendering z wykorzystaniem bufora głębi	299
Rendering scanline	300
Rendering na procesorze graficznym i rendering sprzętowy	300
Rendering sprzętowy	301
Akceleracja sprzętowa	301
Interaktywny podgląd	302
Ćwiczenia	303
<b>Rozdział 10. Projektowanie i nakładanie tekstur</b>	<b>307</b>
Typy tekstur	308
Mapowanie koloru	308
Mapowanie rozbłyków	310
Mapowanie autoiluminacji	311
Mapowanie przezroczystości	312
Mapowanie przemieszczeń	314
Mapowanie nierówności	315
Mapowanie normalnych	317
Wielomianowe mapowanie tekstur	319
Inne techniki mapowania	319
Tekstury fotograficzne	320
Wskazówki dotyczące fotografowania	320
Skany	323

Stylizowane tekstury	323
Rozdzielczość tekstur	326
Strategie wyrównywania	328
Kafelkowanie map	328
Tekstury typu decal	334
Rzutowanie (mapowanie) tekstur	337
Współrzędne UV	341
Bieguny teksturowania	345
Programy do malowania 3D	347
Tekstury proceduralne	348
Niezależność od rozdzielczości	348
Tekstury 3D	348
Animacja	349
Wygląd	349
Wypalanie tekstur proceduralnych do tekstur obrazkowych	351
Wypracowywanie wyglądu	352
Malowanie na warstwach	352
Najpierw kolor	353
Najpierw przemieszczenia	354
Ćwiczenia	357
<b>Rozdział 11. Przebiegi renderingu i kompozycja</b>	<b>359</b>
Rendering na warstwach	360
Warstwy tła	361
Obiekty maskujące	362
Warstwa efektów	363
Po co przejmować się warstwami?	364
Kwestie związane z kanałem alfa	366
Kompozycja z prostymi kanałami alfa	367
Kompozycja z premultiplikowanymi kanałami alfa	369
Rendering w przebiegach	371
Przebiegi rozproszonych odbić światła	372
Przebiegi rozbłysków	373
Przebiegi odbić zwierciadlanych	374
Przebiegi cieni	377
Przebiegi oświetlenia otoczenia	382
Przebiegi okluzji	383
Przebiegi beauty	384
Przebiegi globalnego oświetlenia	385



Przebiegi masek	386
Przebiegi głębi	387
Funkcje zarządzania przebiegami	389
Rendering wielu przebiegów jednocześnie	390
Oświetlenie w kompozycji	390
Renderowanie świateł w osobnych przebiegach	391
Narzędzia do korygowania oświetlenia	392
Imitowanie filmowych obrazów tła	393
Kule referencyjne i próbniki światła	394
Inne podejścia do imitowania oświetlenia	398
Ćwiczenia	399
<b>Rozdział 12. Cykle produkcyjne i profesjonalne praktyki</b>	<b>401</b>
Cykle produkcyjne	402
Planowanie filmu animowanego	402
Przygotowanie ujęć efektów specjalnych	404
Działy podstawowe	409
Wizualizacja cykli produkcyjnych	421
Zatwierdzanie pracy	423
Praca z klientami	423
Nadzorowanie oświetleniowców	425
Łańcuch decyzyjny	426
Zdobywanie pracy w oświetleniu 3D	427
Oświetleniowe demo	427
Czy specjalizacja jest potrzebna?	430
Wewnętrzny awans	431
Gwarancja zatrudnienia	432
Rozwój kariery	433
<b>Skorowidz</b>	<b>435</b>

## [ROZDZIAŁ PIĄTY]



Scena autorstwa Kim Hyong Jun ([www.kjun.com](http://www.kjun.com)).

# Oświetlenie stworzeń, postaci i animacji

Dobre oświetlenie może poprawić animacje podobnie jak dodanie muzyki i efektów dźwiękowych. Gdy animator ręcznie animuje postać, początkowym wersjom animacji brakuje oświetlenia i udźwiękowania. Gotowa ścieżka dźwiękowa doda wyrazistości i realizmu każdemu ruchowi dzięki zsynchronizowanym z animacją efektom, takim jak świst powietrza, odgłos kroków czy głuchy łomot. Na tej samej zasadzie dobre oświetlenie postaci podkreśla jej kształty, podczas gdy cienie i okluzja wzmacniają wrażenie kontaktu stopy z podłożem. Modelowanie za pomocą światła uwypukla kształty postaci i sprawia, że komponuje się ona z otoczeniem. Podobnie jak muzyka, oświetlenie pomaga stworzyć nastrój i emocjonalny kontekst sceny, sprawiając, że wygląda ona niepokojąco, nieprzyjaźnie i strasznie lub jasno, słonecznie i radośnie. Dodawanie blasku do oczu postaci, która nad czymś rozmyśla, upewnianie się, że łuski węża lśnią, gdy pełźnie on obok kamery, czy też zaznaczanie konturów postaci tańczącej za oknem jest tak naprawdę finalizowaniem procesu ożywiania postaci.



## Modelowanie za pomocą światła

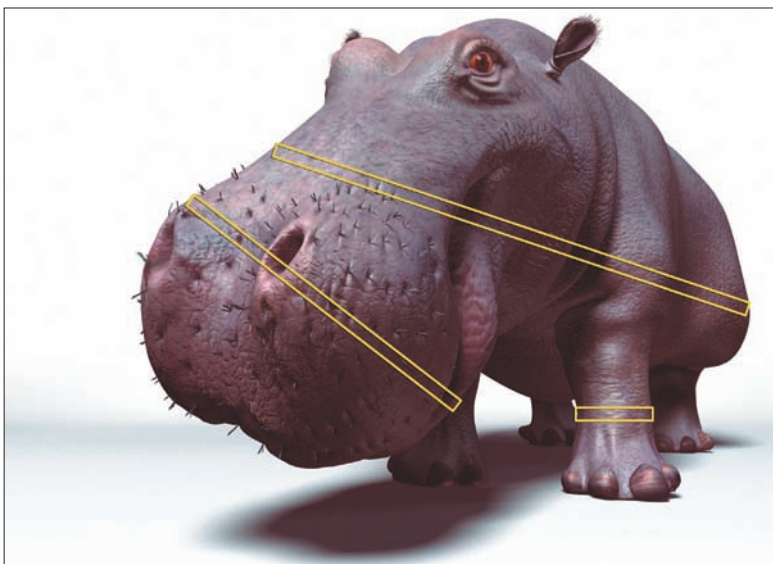
*Modelowanie za pomocą światła* oznacza oświetlenie mające na celu podkreślenie trójwymiarowości modeli. Mimo iż rezultatem renderingu jest dwuwymiarowy obraz, odcienie i tony dodane dzięki oświetleniu pomagają w wizualizacji modeli w przestrzeni trójwymiarowej.

W świecie rzeczywistym zakrzywione powierzchnie otrzymują różne ilości światła z różnych kierunków, co powoduje powstanie na powierzchni gradientu. Jeśli jakaś część ciała postaci ma okrągły kształt, nie powinna być płasko cieniowana. Kluczowym elementem modelowania za pomocą światła jest tworzenie gradientów, które podkreślą krzywizny fragmentów powierzchni postaci.

Na rysunku 5.1 widać żółte prostokąty, które przebiegają zgodnie z gradientami w poprzek głowy, nóg i korpusu zwierzęcia. Głowa jest jasna powyżej nosa i stopniowo ciemnieje w miarę zbliżania się do okolic szczęki. Noga jest najciemniejsza po stronie wewnętrznej, rozjaśnia się w środku i przyjmuje pośredni odcień po stronie zewnętrznej. Każda z rys i fałd wzdłuż korpusu reprezentowana jest za pomocą zmian odcienia z jasnego na ciemny i z powrotem. Zróżnicowanie gradientów oddaje zakrzywiony kształt każdej z tych form.

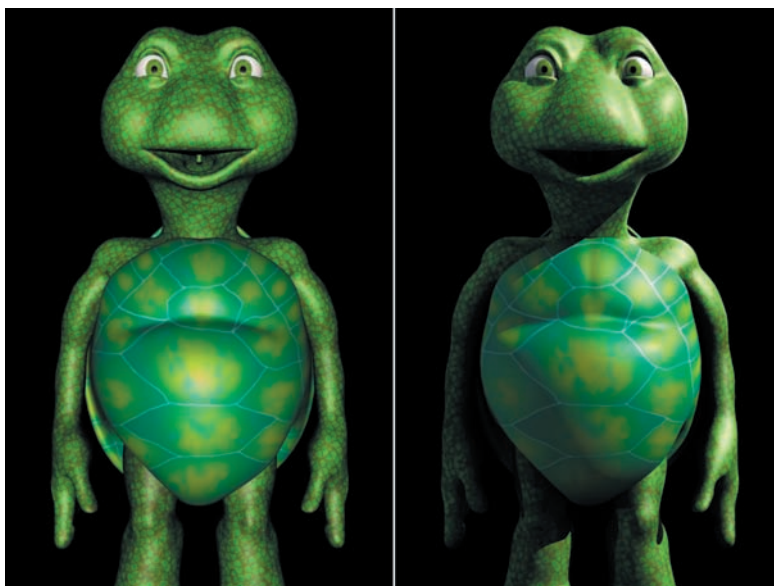
### Rysunek 5.1.

Gradienty kluczowe dla oddawania kształtu zaznaczone są za pomocą żółtych prostokątów.



## Kierunkowość

Jednym z kluczowych aspektów oświetlenia kształtu jest *kierunkowość*, będąca wskazówką dla oglądających co do kierunku padania światła. Jeśli światło oświetlające postać jest wyśrodkowane i symetryczne, tak jak po lewej stronie rysunku 5.2, rezultat jest wizualnie monotony. Jeśli oświetlenie jest mniej symetryczne, pochodzące bardziej z jednego boku, wówczas kształty postaci są lepiej podkreślone, jak widać po prawej stronie rysunku.



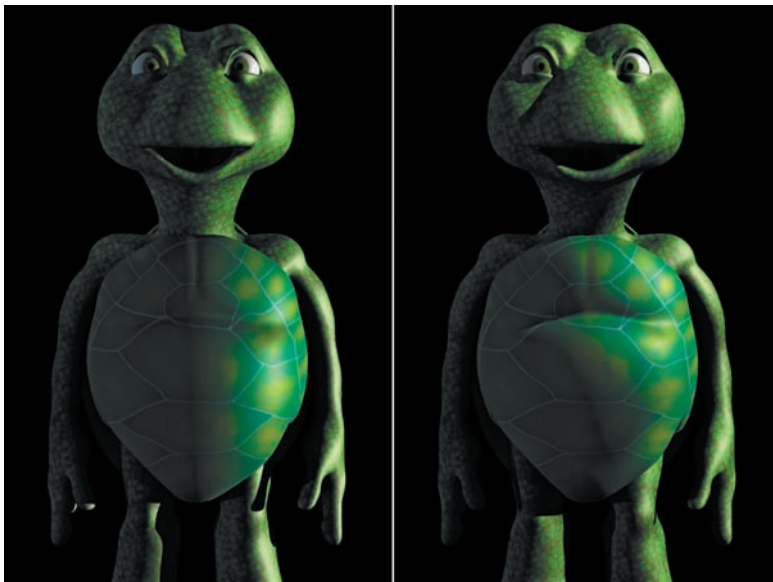
**Rysunek 5.2.**

Światło frontalne spłaszcza, podczas gdy światło asymetryczne uwypukla kształt.

Światło nie powinno dzielić postaci na połowę. Lewa strona rysunku 5.3 pokazuje sytuację, gdzie granica cienia dzieli kształt dokładnie na dwie połowy. *Granica cienia* (ang. *terminator*) przebiega w miejscu, gdzie światło przechodzi w cień — jest to granica widzialnego oświetlenia. Gdy znajduje się ona na środku, wydaje się być nieciekawą pionową linią i nie podkreśla okrągłości postaci. Jak pokazano po prawej stronie rysunku, przesunięcie granicy cienia w którąś stronę zmienia ją w krzywą, która lepiej uwypukla kształt postaci.

**Rysunek 5.3.**

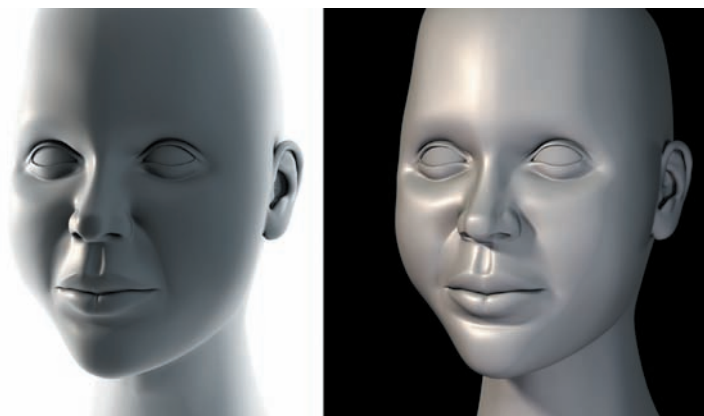
Przebiegając pionowo przez środek skorupy, granica cienia wydaje się być linią prostą (po lewej), ale staje się krzywą pomagającą podkreślić kształt, gdy światło zostaje przesunięte do nowej pozycji (po prawej).



*Rdzeń* (ang. *core*) oświetlenia postaci jest środkiem gradientu cieniowania, przebiegającego w poprzek ciała. Pozwala on stwierdzić, czy źródło światła umieszczone jest przed, czy za postacią. Ciemniejszy rdzeń z jaśniejszymi krawędziami, jak widać po lewej stronie rysunku 5.4, wskazuje, że postać oświetlona jest z tyłu. Jaśniejszy rdzeń, którego niektóre krawędzie ciemnieją, tak jak po prawej stronie rysunku, wskazuje na źródło światła znajdujące się z przodu.

**Rysunek 5.4.**

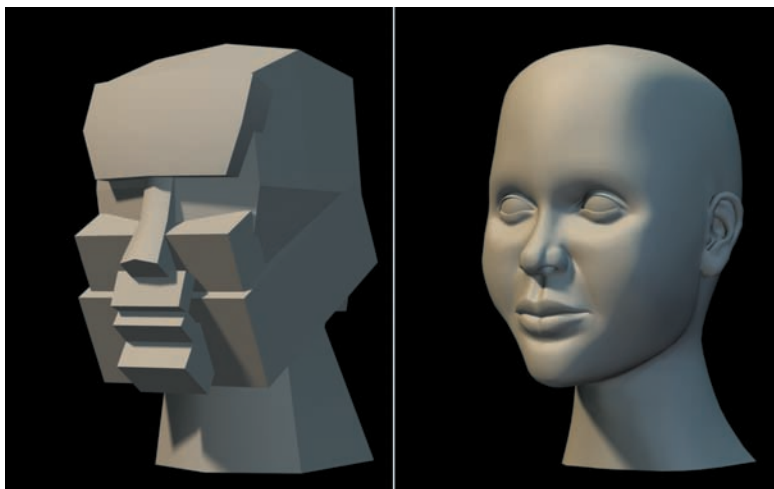
Cieniowanie tworzące ciemniejszy (po lewej) i jasny (po prawej) rdzeń.



## Wyrazistość

W przypadku każdego ujęcia należy zdecydować, które części postaci powinny być najbardziej wyraziste. W oparciu o to, co się dzieje, czy co jest ważne dla fabuły, niektóre części postaci będą musiały być wyeksponowane za pomocą światła.

Przy uwypuklaniu twarzy postaci pomocne jest traktowanie jej tak, jakby złożona była z wielu płaszczyzn. Można wyobrazić sobie głowę tak jak na rysunku 5.5 — uproszczoną do dużych, płaskich powierzchni, reprezentujących jej główne elementy. Aby dobrze oddać rysy twarzy, każda z jej głównych powierzchni powinna w wyniku oświetlenia przyjąć inny odcień lub nasycenie barwy, tak aby w miejscu ich przecięcia widać było zmianę jasności lub koloru. Na przykład, przód, bok i podstawa nosa powinny mieć różne odcienie. Prawa strona rysunku 5.5 prezentuje twarz, której każda płaszczyzna jest oświetlona w sposób podkreślający jej rysy.



**Rysunek 5.5.**

Wybrane płaszczyzny twarzy (po lewej) przejawiają kontrast, który pomaga uwydatnić jej kształt (po prawej).

W kinematografii, podobnie jak w świecie rzeczywistym, zarys postaci nie zawsze jest całkiem wyrazisty. Na przykład, jeśli aktorka nosząca czarne spodnie stoi przed ciemnym meblem, jej nogi nie będą dobrze widoczne. Jednak jeśli jej bluzka i twarz są wyraźnie widoczne, to może być ona wystarczająco dobrze oświetlona, aby widzowie mogli zobaczyć jej grę.

Z kolei w przypadku oświetlania postaci animowanych reżyser filmu animowanego może uznać za ważne dla gry postaci całe jej ciało. Czasami, w oczekiwaniu na akcję lub jako jej konsekwencja, animowane jest całe ciało postaci, a reżyser może zażyczyć sobie uwydatnienia za pomocą oświetlenia pewnych jego części. Nawet gdy wydaje się, że niektóre sceny wyglądałyby lepiej, jeśli części postaci znajdowałyby się w cieniu, pokazanie widzom gry całego ciała jest dla reżysera często ważniejsze niż symulowanie bardziej subtelnych niuansów kinematografii.

Krótkość ujęcia jest kolejnym czynnikiem zmuszającym do wyrazistego oświetlania. Im krótsze jest ujęcie, tym mniej czasu ma widownia na rozpoznanie, co widać i co dzieje się na ekranie. Jeśli pracuje się nad sekwencją, która będzie montowana w krótkim czasie, wówczas należy włożyć więcej wysiłku w upewnienie się, że wszystko, co widownia musi zobaczyć, jest wyraźnie wyeksponowane za pomocą światła i kontrastu.

Nawet w ciemnych, zaciemnionych scenach trzeba znaleźć sposoby na wyodrębnienie postaci z tła. Jeśli postać jest częściowo oświetlona, jak widać po lewej stronie rysunku 5.6, wówczas trzeba czasami oświetlić tło za ciemniejszą stroną postaci, co widać na środkowym obrazku.

Dodanie otoczki światła wokół postaci jest kolejną metodą wyróżnienia jej konturu, jak widać po prawej stronie rysunku.



**Rysunek 5.6.** Kiedy postać nie wyróżnia się z tła (po lewej), można zwiększyć kontrast, oświetlając tło (w środku) czy dodając do postaci otoczkę za pomocą światła (po prawej).



## Oświetlenie trójpunktowe

Jednym z najbardziej podstawowych i zarazem popularnych podejść do oświetlania obiektu jest klasyczny hollywoodzki system o nazwie **oświetlenie trójpunktowe** (ang. *three-point lighting*), który ułatwia modelowanie obiektu za pomocą światła. Różne warianty trójpunktowego oświetlenia mogą efektywnie przedstawić zarówno mały rekwizyt, jak i gwiazdę filmową.

Trzy „punkty” w trójpunktowym oświetleniu odnoszą się właściwie do trzech ról, które światło może odgrywać w scenie, a z których każda służy specyficznemu celowi. W następnym punkcie bardziej szczegółowo omówione są metody tworzenia każdego z nich w grafice komputerowej, ale dobrze jest zapoznać się najpierw z ich wykorzystaniem w fotografii i kinematografii:

- **Światło kluczowe** (ang. *key light*) jest głównym źródłem iluminacji i określa główny kąt padania światła. Światło kluczowe jest zwykle jaśniejsze niż jakiegokolwiek inne oświetlające obiekt i jest zwykle światłem, które rzuca najciemniejsze, najbardziej widoczne cienie w scenie.
- **Światło wypełniające** (ang. *fill light*) zmiękcza i rozszerza iluminację światła kluczowego tak, że widzialna staje się większa powierzchnia obiektu. Światło wypełniające może symulować efekt światła odbitego lub dodatkowych źródeł światła w scenie.
- **Światło kontrowe lub tylne** (ang. *rim light*, *back light*) tworzy wyrazistą otoczkę pomagającą wydobyć obiekt z tła. Światło kontrowe może nadać połysk włosom postaci (dlatego czasem nazywane jest „światłem włosów”) i dodać wyrazistą krawędź, pokazującą, gdzie kończy się fotografowany obiekt a zaczyna tło.

Rysunek 5.7 pokazuje dodawanie kolejno każdego z trzech światel w celu uzyskania oświetlenia portretowego.

**Rysunek 5.7.**

Fotografie przedstawiają: wyłącznie światło kluczowe (po lewej); światło kluczowe i wypełniające (w środku) oraz światło kluczowe, wypełniające i kontrowe razem (po prawej).



Postać po lewej stronie rysunku oświetlona jest wyłącznie światłem kluczowym. Główne światło oświetla większość jej twarzy i na tym etapie można by uznać oświetlenie obrazka za akceptowalne. Jednak część jej twarzy pozostaje ciemna i nieoświetlona.

Na obrazku w środku dodane jest światło wypełniające. O ponad połowę mniej intensywne od światła kluczowego i pochodzące z drugiej strony głowy, światło to wypełnia obszar nieoświetlony przez światło kluczowe.

Po prawej stronie rysunku dodano światło kontrowe. Światło kontrowe znajduje się za postacią i tworzy otoczkę dookoła jej głowy i ramion. Światło kontrowe zaznacza wyraźnie sylwetkę postaci i pomaga wyodrębnić ją wizualnie z tła. Nawet gdyby czarne włosy postaci zostały sfotografowane na czarnym tle, światło kontrujące wydobyłoby ich zarys, teksturę i detale.

Rysunek 5.8 przedstawia rozmieszczenie światel w scenie. Silne 2000-watowe światła służą jako światła kluczowe i kontrujące, podczas gdy mniejsze światło 1000-watowe jest światłem wypełniającym. Ekran zamontowany przed światłem kluczowym i wypełniającym zmiękcza oświetlenie i cienie.



**Rysunek 5.8.**  
Trójpunktowy system  
światel otacza  
fotografowany obiekt.

## Warianty

Można dokonywać wielu korekt i modyfikacji podstawowego trójpunktowego systemu oświetlenia. Na rysunku 5.9 światło kontrowe znajduje się po tej samej stronie co światło kluczowe i tym samym dodaje kontrastu, podkreśla kierunkowość oświetlenia i daje bardziej słoneczny efekt.

Różnica jasności między światłem kluczowym a wypełniającym nazywana jest *stosunkiem key-to-fill*. Na przykład, gdyby światło kluczowe było dwa razy jaśniejsze od wypełniającego, stosunek key-to-fill wynosiłby 2:1. Stosunek 2:1 dawałby bardzo jasne, jednolite oświetlenie, z niewielkim kontrastem.

W scenach dramatycznych nie oświetlamy zwykle każdej postaci za pomocą tego samego trójpunktowego układu, tak jakby była ona prezenterem w wiadomościach telewizyjnych. Wysoki stosunek key-to-fill, na przykład 5:1 lub 10:1, dawałby ostrzejsze, bardziej kontrastowe ujęcie. Niektóre części sceny mogłyby stać się zbyt ciemne i przez to niewyraźne, ale może to być akceptowalne. Rysunek 5.10 przedstawia scenę ze stosunkiem key-to-fill wynoszącym 10:1 oraz światłami kluczowym i kontrowym przesuniętymi za postać (światło kluczowe znajdujące się z tyłu postaci nosi nazwę *upstage key*). Użyto słabego światła wypełniającego, a część odbitego światła naturalnie rozjaśniła szyję i podbródek postaci. Nie jest to konwencjonalne trójpunktowe oświetlenie, ale jeden ze sposobów użycia światła kluczowego, wypełniającego i kontrowego.



**Rysunek 5.9.** Światło kluczowe i kontrowe mogą pochodzić z tego samego kierunku.



**Rysunek 5.10.** Umieszczone z tyłu światło kluczowe i kontrowe tworzą ciemny rdzeń.

## Narzędzia, nie zasady

Błędem byłoby traktowanie oświetlenia trójpunktowego jako zbioru zasad, których trzeba przestrzegać w każdej scenie. Każda scena jest inna. Mówienie, że tworzy się model oświetlenia trójpunktowego nie jest usprawiedliwieniem dla nieprzemysłanego dodawania nieuzasadnionych światel i dla rozmieszczania wokół postaci światel, które nie pasują do oświetlenia otoczenia.

Światła kluczowe, wypełniające i kontrowe są narzędziami, które można wykorzystać w tworzeniu własnych modeli oświetlenia. Należy przyglądać się, jak różne osoby oświetlone są w świecie rzeczywistym. Można się na przykład natknąć na sytuację, gdy dla danej postaci światło kluczowe pochodzi z biurkowej lampy, światło wypełniające jest światłem odbitym od jakichś papierów, a światło kontrowe jest światłem innej lampy.

Główną ideą oświetlenia trójpunktowego jest to, że każde źródło światła pełni określoną funkcję wizualną. Funkcje światła kluczowego, wypełniającego i kontrowego są trzema funkcjami, które spełniać może w scenie światło. Istnieją także inne, omówione poniżej funkcje. Jako projektant oświetlenia powinieneś kontrolować, co dokładnie wnosi do sceny każde źródło światła, oraz być w stanie nazwać i opisać każde światło w oparciu o pełnioną przez nie w ujęciu funkcję.

## Funkcje światel

W poprzednim podrozdziale wstępnie przedstawione zostały trzy wizualne funkcje, które mogą być pełnione przez światła, ale funkcji światel jest więcej niż te trzy najczęściej spotykane. W tym punkcie przyjrzymy się kilku funkcjom pełnionym przez światła oświetlające postacie oraz sposobom ich realizacji w grafice komputerowej:

- światło kluczowe,
- światło wypełniające,
- światło odbite,
- światło kontrowe,
- światło półkontrowe,
- światło odbijane w sposób kierunkowy.

Aby móc pełnić te wizualne funkcje, światła muszą być odpowiednio umieszczane względem obiektywu kamery. Zwykle są one rozmieszczane już po ustawieniu kamery. Jeśli później zmienimy zdanie co do kąta filmowania sceny, oświetlenie także będzie musiało ulec zmianie.

Różne studia mają różne standardy nazywania światel. W większości powszechnie stosowanych systemów nazewnictwa na początku znajduje się funkcja światła lub jej skrót. Jeśli nazwie się światła podobnie do Kluczowe\_Słońce\_naSmoku czy Wypełniające\_Niebo\_naSmoku, wówczas każdy oglądający scenę lub kopiujący system oświetlenia będzie w stanie zrozumieć, jakie wizualne funkcje pełni każde światło.

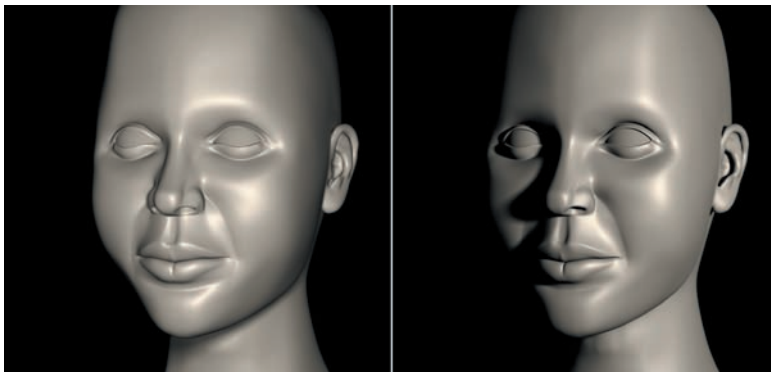
### Światła kluczowe

Jak wspomniano wcześniej, światło kluczowe jest głównym, najjaśniejszym światłem w scenie i określa jej dominujący kąt padania światła i cieni. Wybór kąta padania światła kluczowego jest jedną z najważniejszych decyzji w oświetlaniu obiektu.

Umieszczenie światła kluczowego zbyt blisko kamery może spłaszczać kształt, jak widać po lewej stronie rysunku 5.11. Odsunięcie światła kluczowego o przynajmniej 30 stopni od kamery bardziej podkreśli kształt oświetlanej twarzy, co widać po prawej stronie rysunku.

**Rysunek 5.11.**

Znajdujące się na wprost światło kluczowe może spłaszczać obiekt (po lewej); odsunięcie go w bok lepiej oddaje kształt obiektu (po prawej).



Jesteśmy przyzwyczajeni do oglądania ludzi oświetlonych z góry, więc najbardziej normalne i naturalne wydaje się nam światło padające znad głowy. Oświetlenie padające spod obiektu może wyglądać nienaturalnie lub złowieszczo, co widać po lewej stronie rysunku 5.12. Podniesienie światła kluczowego powyżej poziomu oczu postaci, jak widać po prawej stronie, wygląda bardziej naturalnie.

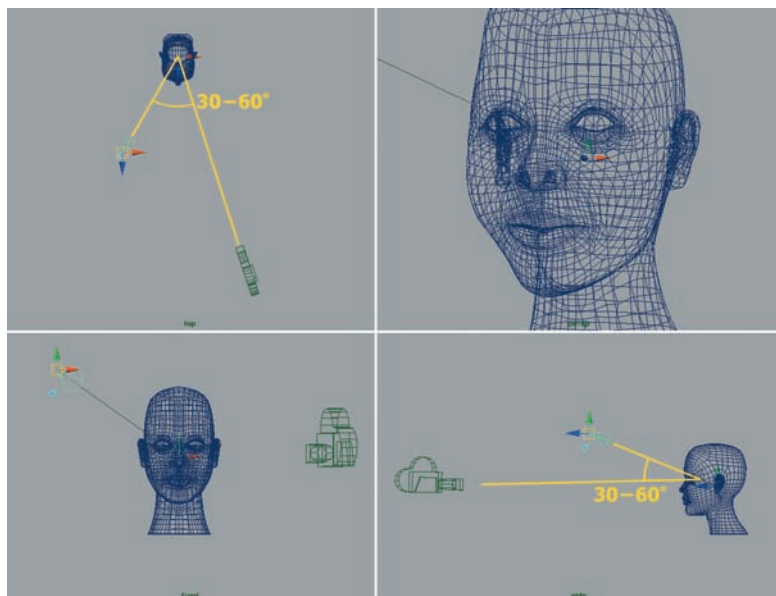
**Rysunek 5.12.**

Światło kluczowe padające pod niskim kątem daje złowieszczy efekt (po lewej), podczas gdy światło padające z góry jest bardziej naturalne (po prawej).



Światło kluczowe może być umieszczone po lewej lub prawej stronie, zależnie od tego, którą pozycję uzasadniają warunki sceny, ale najczęściej pozycja światła kluczowego będzie znajdować się 30 do 60 stopni nad obiektem oraz 30 do 60 stopni w bok od obiektu, jak widać na rysunku 5.13.

Należy zawsze przeprowadzać testowe renderunki każdego światła z osobna, z ukrytymi wszystkimi pozostałymi źródłami światła. Należy upewnić się, że zadowala nas oświetlenie i cienie rzucane przez światło kluczowe, zanim dodamy jakiegokolwiek inne światło.

**Rysunek 5.13.**

W widoku wireframe światło kluczowe znajduje się w konwencjonalnej pozycji.

## Światła wypełniające

Światła wypełniające poszerzają zasięg oświetlenia poza zakres oddziaływania światła kluczowego, tak aby reszta postaci stała się widoczna. Podczas gdy światłem kluczowym może być źródło światła imitujące słońce lub oświetlenie sufitowe, funkcje światła wypełniającego pełnią często mniejsze lampy, światło pośrednie lub niebo.

Jeśli utworzyło się już światło kluczowe wycelowane w postać i ją cieniujące, wówczas skopiowanie tego światła mogłoby być dobrym punktem wyjścia przy dodawaniu światła wypełniającego. Jeśli zaczyna się od utworzenia kopii światła kluczowego, należy pamiętać o zmianie jej nazwy, aby było jasne, że jest to światło wypełniające, a następnie obrócić je i przesunąć do pożądanej pozycji.

Aby odróżnić światło wypełniające od kluczowego, powinno się także pamiętać o innych ustawieniach:

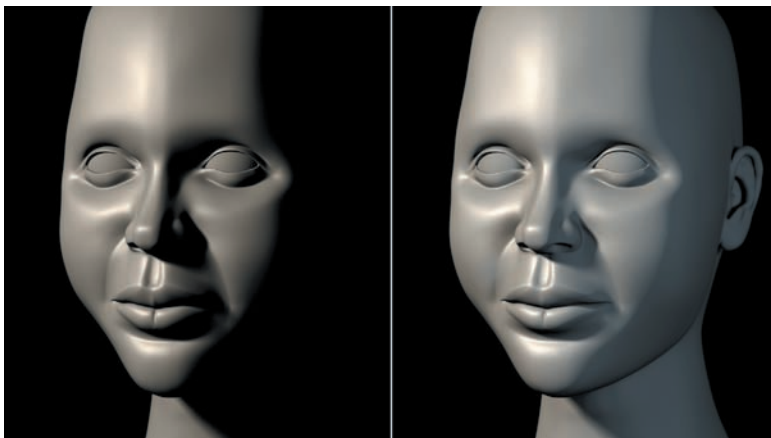
- Należy zredukować jasność światła wypełniającego do poziomu poniżej połowy jasności światła kluczowego.
- Należy nadać światłom wypełniającym inne zabarwienie niż światłu kluczowemu. Barwa dopełniająca (na przykład niebieskie światło wypełniające przy żółtym świetle kluczowym) najbardziej przyczyni się do uwydatnienia kształtu postaci.

- Cienie rzucane przez światła wypełniające powinny być bardziej miękkie od cieni światła kluczowego.

Pierwsze światło wypełniające będzie zwykle skierowane w obszar cienia światła kluczowego. Jeśli przyjrzeć się renderingowi samego światła kluczowego, tak jak po lewej stronie rysunku 5.14, wyraźnie widać czarny obszar w miejscu, gdzie nie sięga światło kluczowe. Po prawej stronie dodane jest światło wypełniające, które rozszerza oświetlenie na pozostałą część postaci.

**Rysunek 5.14.**

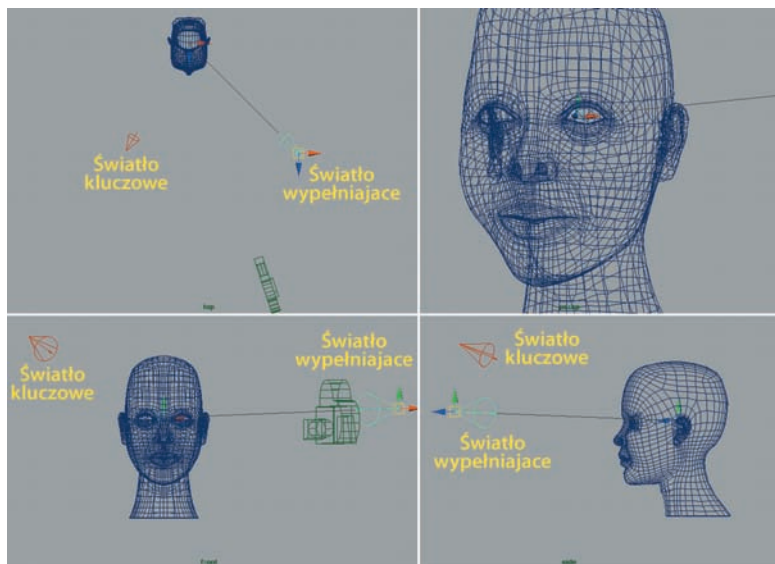
Model oświetlony wyłącznie światłem kluczowym (po lewej) oraz z dodanym światłem wypełniającym (po prawej).



Aby najlepiej wypełnić światłem obszary, których nie objęło światło kluczowe, światła wypełniające umieszcza się zwykle po przeciwnej stronie postaci względem światła kluczowego. Pozycje światła kluczowego zobaczyć można na rysunku 5.15, który przedstawia scenę z rysunku 5.14 w widoku szkieletowym (wireframe). Często światło wypełniające pada z mniejszego kąta niż światło kluczowe. Jeśli światło kluczowe pada z wysokiego kąta, wówczas światło wypełniające może znajdować się na wysokości oczu postaci lub niżej.

Żeby równomiernie oświetlić postać, może być potrzebnych kilka światel wypełniających. Należy uważać, żeby oświetlenie kilku światel wypełniających nie sumowało się ze sobą, osiągając poziom jasności światła kluczowego oraz zmniejszając kontrast i wyrazistość kształtów postaci. Bardzo niskie stosunki key-to-fill, na przykład 2:1 lub niższe, dają efekt pochmurnego dnia lub pokoju oświetlonego jarzeniówkami.



**Rysunek 5.15.**

W widoku wireframe widać, że światło wypełniające znajduje się po przeciwnej stronie światła kluczowego.

Oprócz światel wypełniających, które oświetlają całą postać, można także użyć funkcji łączenia światel, aby selektywnie oświetlić pewne części jej ciała. Na przykład, gdyby zęby postaci znajdowały się w cieniu i wyglądały na zbyt ciemne i żółte w porównaniu z bielą jej oczu, można by dodać słabe niebieskawe światło wypełniające, połączone wyłącznie z zębami i dziąsłami.

## Światło odbite

Źródła światła odbitego (ang. *bounce lights*) w przypadku postaci są zasadniczo równoznaczne ze źródłami światła odbitego dla planu, opisanymi w rozdziale 4., „Oświetlenie środowiska i budynków”. Źródła światła odbitego (pośredniego) mogą być uważane za rodzaj światła wypełniającego; jedyną różnicą jest to, że imitują one odbicia światła pośredniego zamiast imitować inne źródła światła.

Aby symulować odbicia światła od podłoża, można umieścić źródła światła odbitego poniżej podłoża i skierować je do góry. Źródła światła odbitego zwykle wyglądają najlepiej przy zanikaniu odwrotnie kwadratowym, więc im bliżej powierzchni znajduje się dana część ciała postaci, tym więcej światła na nią pada.

Przy oświetlaniu postaci należy szczególnie pamiętać, żeby wszystkie źródła światła odbitego rzucały cienie lub były zaciemnione przez okładkę otoczenia, tak aby wewnątrz ust, nosa lub inne wewnętrzne powierzchnie nie stały się zbyt jasne.

Ponadto, źródła światła odbitego nie powinny tworzyć rozbłysków. Nikt nie uwierzyłby, że rozbłysk na dolnej części gałki ocznej postaci jest spowodowany miękkim, pośrednim światłem odbitym od podłogi.

Kolor światła odbitego zazwyczaj pochodzi od koloru podłoża lub innej powierzchni, od której światło to się odbija. Należy jednak uważnie przyrzeć się, jak ten kolor wygląda na postaci. Może zająć potrzeba zmniejszenia nasycenia koloru światła odbitego, jeśli na przykład jest to zbyt silny odcień zielonego. Aby tchnąć trochę więcej życia w postaci, czasami pomaga użycie cieplejszego koloru dla oświetlającego ją światła odbitego w porównaniu z kolorem światła odbitego dla planu, co lepiej imituje światło odbite od skóry postaci.

Światło może także odbijać się pomiędzy postaciami. Zwłaszcza gdy postacie znajdują się na zewnątrz, w świetle słońca, a ich kolory są jasne, mogą wystąpić sytuacje, gdy powinno się dodać powiązane z daną postacią źródło światła odbitego, które w niewielkim stopniu będzie oświetlać drugą postać.

## Światła kontrolne

Jak wspomniano wcześniej, światła kontrolne służą do stworzenia jasnej linii podkreślającej krawędź postaci. Pochodzenie światła kontrolnych



**Rysunek 5.16.** Bez światła kontrolnego (obrazki po lewej) jabłko ma odcień podobny do tła; dodanie światła kontrolnego (po prawej) sprawia, że bardziej wyróżnia się z tła.

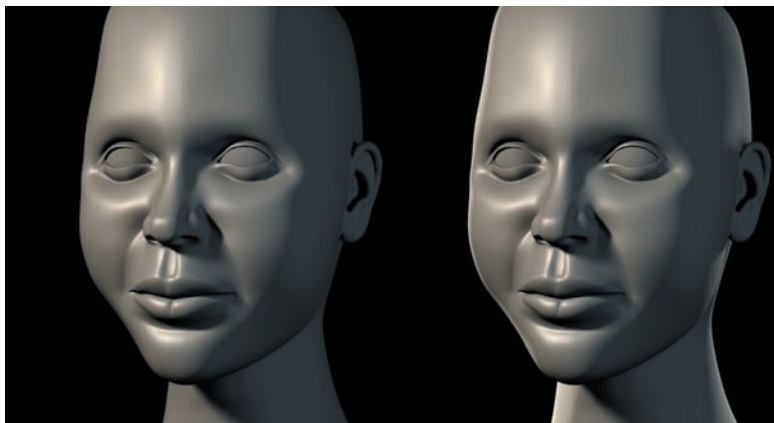
wiąże się z czarno-białą fotografią i kinematografią. Rysunek 5.16 pokazuje, że pierwszy plan i tło na czarno-białym obrazku mogą być wypełnione zlewającymi się odcieniami szarości (po lewej), a dodanie światła kontrolnego (po prawej) może pomóc je wizualnie rozdzielić. Jak widać na dole, rozjaśnione krawędzie dodają wyrazistości także kolorowym obrazkom.

Jest wiele zastosowań światła kontrolnych w grafice komputerowej:

- wizualne rozdzielanie postaci i tła, zwłaszcza w ciemniejszych scenach,
- dodanie poczucia kierunkowości przez rozjaśnienie kluczowej strony postaci,
- przyciąganie uwagi widza do danej postaci lub akcji, którą chce się wyróżnić,

- pomoc w osiągnięciu zgodności z obrazami tła w postaci prawdziwego materiału filmowego (jest to często konieczne, ponieważ wielu filmowców lubi kręcić, gdy światło znajduje się nisko lub oświetla aktorów z tyłu).

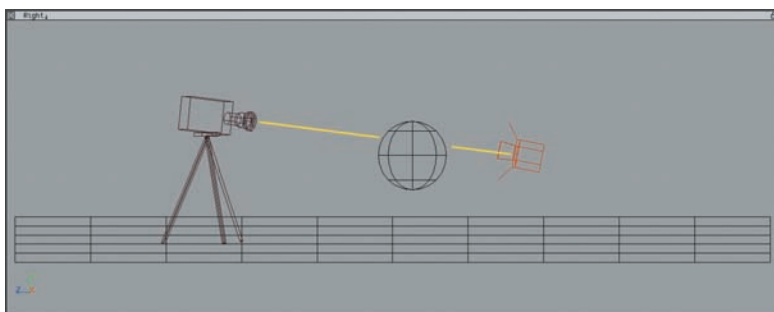
Rysunek 5.17 pokazuje postać bez światła kontrowego (po lewej) oraz z dodanym światłem kontrowym z prawej i lewej strony (po prawej).



**Rysunek 5.17.**

Postać bez dodanego światła kontrowego (po lewej) oraz ze światłami kontrowymi po obu stronach (po prawej).

W prawdziwej fotografii otoczkę utworzy światło umieszczone bezpośrednio za postacią. W grafice komputerowej umieszczenie źródła światła bezpośrednio za nieprzezroczystym obiektem, jak widać na rysunku 5.18, zwykle nie da żadnej otoczki. Najczęściej źródło światła musi zostać przesunięte nad obiekt lub w bok od obiektu, tak aby nie znajdowało się bezpośrednio za nim.



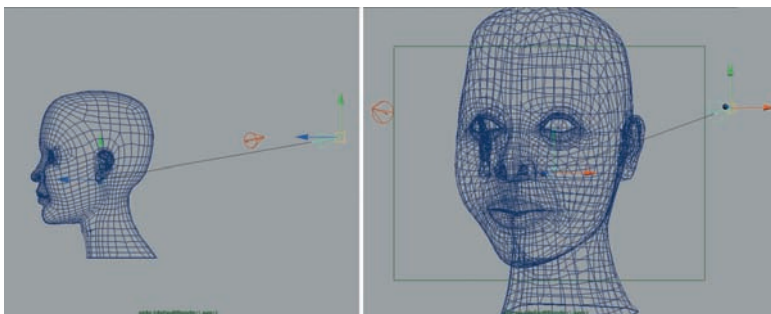
**Rysunek 5.18.**

Światło kontrowe umieszczone bezpośrednio za modelem 3D będzie najprawdopodobniej całkowicie niewidoczne.

Aby ustawić światło kontrolne, należy początkowo umieścić je za postacią i przesunąć, obserwując je w widoku kamery lub w widoku perspektywnym sceny. Można kontrolować, które części postaci oświetla światło kontrolne, obserwując jego położenie w widoku kamery. Rysunek 5.19 pokazuje dwa światła kontrolne wycelowane w głowę. Jeśli światło kontrolne znajduje się po prawej stronie postaci w widoku kamery, utworzy ono otoczkę po prawej stronie postaci. Jeśli światło kontrolne znajduje się nad postacią w widoku kamery, doda ono otoczkę do górnej części postaci. Spoglądając przez kamerę, można nawet umiejscowić światła kontrolne obok konkretnych kończyn lub części głowy i ramion, i utworzyć otoczkę na dowolnej części ciała.

**Rysunek 5.19.**

Światła kontrolne użyte na rysunku 5.17 są umieszczone za postacią (po lewej) i wycelowane przy wykorzystaniu widoku kamery (po prawej).



Zwykle powinno się łączyć światła kontrolne z postacią, tak aby oświetlały one tylko postać, a nie plan. Aby światło kontrolne było dobrze umiejscowione, będzie musiało świecić czasami przez ścianę za postacią. Światła kontrolne muszą rzucać cień, w przeciwnym razie wnętrze ust lub części nosa czy uszu mogłyby otrzymywać światło przedostające się przez postać.

Oglądając scenę w widoku kamery, można ocenić odległość między postacią a światłem kontrolnym, która decyduje o tym, jak szeroka i jak zauważalna będzie świetlna otoczka. Aby uzyskać cieńszą lub bardziej subtelną otoczkę światła, należy przysunąć ją bliżej do postaci w widoku kamery, aż znajdzie się zaraz za postacią. Aby uzyskać bardziej płaską i bardziej rzucającą się w oczy otoczkę, należy odsunąć światło kontrolne od postaci w kierunku krawędzi kadru. Dodając światło kontrolne do bardzo gładkiej powierzchni, trzeba czasami przesunąć je lekko poza kadr.

Światło kontrolne jest bardziej widoczne na prawdziwych niż na cyfrowych modelach, ponieważ w rzeczywistości ludzie i ubrania są zwykle pokryte półprzezroczystą warstwą włosów, kurzu, zarostu lub innych włókien. Ta cienka zewnętrzna warstwa przechwytuje i transmituje światło pochodzące ze źródła umieszczonego niżej.

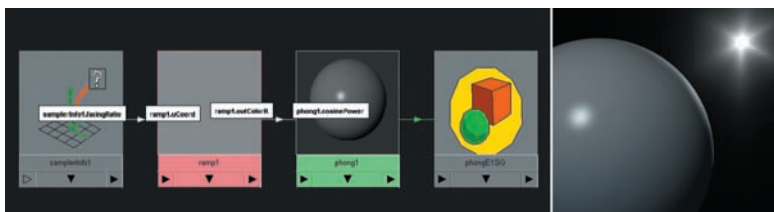
Jeśli doda się do obiektu włosy lub futro, wówczas światło kontrolne natychmiast staje się dużo bardziej widoczne, jak widać na rysunku 5.20. Ponieważ włosy składają się z wielu półprzezroczystych kosmyków, z których każdy może zatrzymać światło kontrolne, istnieje czasami niebezpieczeństwo, że otoczki na włosach mogą być za jasne, nawet jeśli wyglądają poprawnie na innych częściach postaci. Jeśli włosy stają się całkowicie białe, często zachodzi potrzeba wykorzystania funkcji łączenia światła i utworzenia dla włosów postaci osobnego światła kontrolnego, które może być ciemniejsze lub bardziej precyzyjnie umiejscowione za postacią.



**Rysunek 5.20.**

Futro znacznie silniej reaguje na światło niż gładkie powierzchnie.

Specjalne shadery lub opcje świateł mogą również umożliwić światłu kontrolnemu sięganie poza krawędzie obiektu. Rysunek 5.21 pokazuje jeden ze sposobów na osiągnięcie tego efektu — połączenie wartości kąta między normalną powierzchnią a wektorem widoku (ang. *facing ratio*) z rozmiarem rozbłysku shadera, co daje dużo większy rozbłysk w okolicy brzegów.



**Rysunek 5.21.**

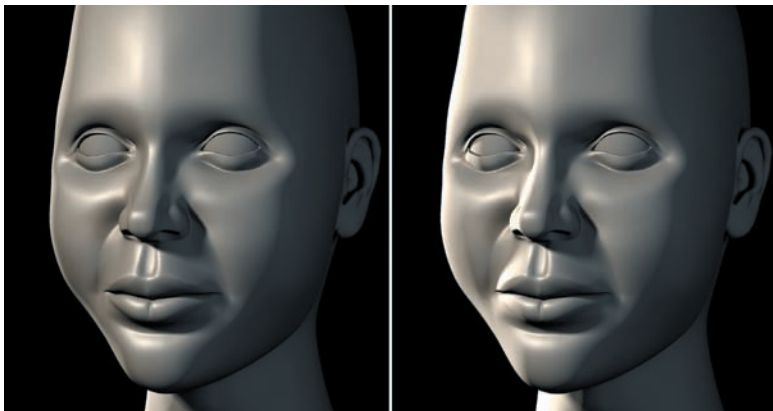
W oknie edytora materiałów Maya (Hypershade) wartość kąta między normalną powierzchnią a wektorem widoku używana jest do zwiększania rozbłysku na brzegu obiektu.

## Światła półkontrowe

Światło półkontrowe (ang. *kicker*) jest podobne do światła kontrowego, ale sięga dalej dookoła postaci, tak, że oświetla jej jedną stronę lub krawędź, jak widać na rysunku 5.22.

### Rysunek 5.22.

Światło półkontrowe (po prawej) oświetla większą powierzchnię postaci niż światło kontrowe (po lewej).

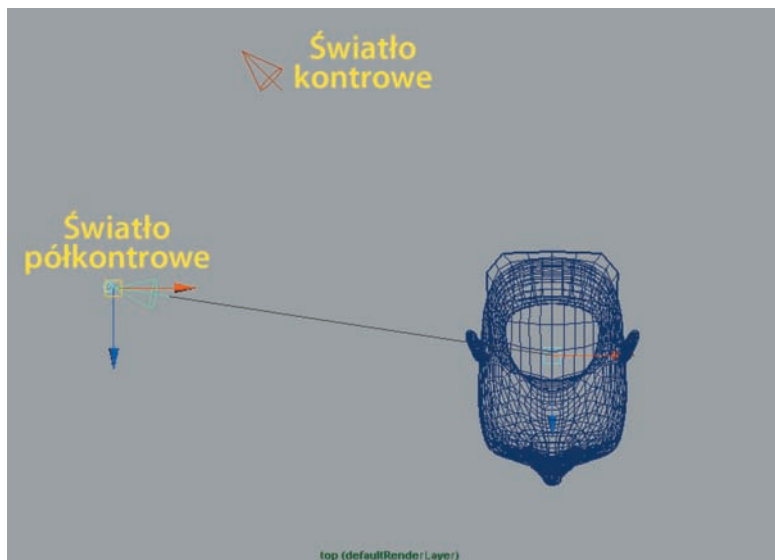


Wizualnie światła półkontrowe mogą pełnić wiele funkcji spełnianych przez światła kontrowe, ale są dużo bardziej widoczne. Światła półkontrowe mogą podkreślić dany obszar po jednej stronie postaci i pomóc w uzyskaniu znacznego kontrastu w ciemniejszych scenach.

Światła kontrowe są często sztucznie dodawane do scen w miejscach, gdzie wymaga tego stylistyka, ale ich istnienie niekoniecznie uzasadnione jest istnieniem rzeczywistego źródła światła. Światła półkontrowe są zwykle używane bardziej oszczędnie, tylko w przypadkach, gdy jasne światło w widoczny sposób oświetla jeden z boków postaci. Rysunek 5.23 pokazuje pozycję światła półkontrowego — w porównaniu ze światłem kontrowym, znajduje się ono bardziej z boku postaci.

## Światło odbijane w sposób kierunkowy (rozbłycki)

Źródło światła odbijanego w sposób kierunkowy (ang. *specular/spec light*) ma za zadanie nadać postaci dodatkowy rozbłysek. Może to być źródło światła dowolnego typu, które nie emituje światła odbijanego w sposób rozpraszający, a tylko światło odbijane w sposób kierunkowy.

**Rysunek 5.23.**

Podczas gdy światło kontrowe znajduje się za postacią, światła półkontrowe umieszczone są bardziej z boku.

Jeśli zależy nam na uzyskaniu wrażenia, że postać jest mokra, niezbędne jest utworzenie odpowiednich rozbłyków na skórze lub włosach.

Jak widać po lewej stronie rysunku 5.24, skóra gada lub jaszczurki może wydawać się sucha, jeśli nie posiada ona rozbłyków lub odbić, a dodanie rozbłyków (po prawej) może rozwiązać ten problem. Aby dodać rozbłyki, które będą przebiegały w poprzek skóry lub włosów postaci, należy umieścić źródło światła odbijanego w sposób zwierciadlany mniej więcej za postacią, podobnie jak w przypadku światła kontrowego.

Jak zostanie to omówione w dalszej części rozdziału, źródła światła odbijanego w sposób kierunkowy są także idealne do nadawania rozbłyków oczom. Jeśli chce się być pewnym, że na oczach, okularach, zębach czy innych połyskliwych częściach postaci pojawi się rozbłyk, należy umieścić źródło światła odbijanego w sposób zwierciadlany bardzo blisko kamery.

Jeśli źródło światła tworzącego rozbłyki znajduje się wystarczająco blisko kamery, można wówczas uzyskać rozbłyki, które pozostaną widoczne niezależnie od tego, w którą stronę oddali się postać w czasie ujęcia.

**Rysunek 5.24.**

Bez rozbłysków wąż wygląda sucho (po lewej); światło odbijane w sposób kierunkowy nadaje łuskom połysk (po prawej).



## Kwestie związane z oświetlaniem animacji postaci

Oświetlenie stworzeń i postaci, które zmieniają swoje położenie i pozy, jest dużo bardziej skomplikowanym zadaniem niż oświetlenie statycznej geometrii. Światło, które idealnie oświetlało postać w danej klatce, może nie oświetlać jej w ogóle, gdy stanie ona w cieniu. Starannie wycelowane światło kontrolne, które wyglądało świetnie w danej klatce, może zbyttno rozjaśnić włosy postaci, jeśli obróci się ona w innym kierunku.

Technicznie możliwe jest pogrupowanie lub przywiązanie świateł do postaci tak, aby podążały one za jej ruchami i znajdowały się w takiej samej odległości i pod tym samym kątem, niezależnie od tego, w którym kierunku postać podąży. Zapewniłoby to, że oświetlenie będzie wydawało się niezmiennie, ale mogłoby również wydawać się sztuczne, jeśli światła bez powodu podążałyby za postacią.

Oświetlenie postaci będzie zwykle wyglądać bardziej naturalnie, jeśli poruszająca się postać znajduje się pod wpływem oświetlenia sceny, a źródła światła pozostają nieruchome, tak jak w świecie rzeczywistym. Jednak czasami niewielkie oszustwa mogą pozostać niezauważone. Położenie świateł kontrolnych musi czasami być animowane, aby utrzymać spójny efekt otoczki świetlnej dla poruszającej się postaci. Czasami do postaci może być przywiązane światło wypełniające lub źródło światła odbitego, zwłaszcza jeśli oświetla ono dany obszar, na przykład usta. Należy zachować tutaj ostrożność; umożliwienie przemieszczania się wraz z postacią zbyt wielu świateł, które w rzeczywistości powinny pozostać nieruchome, może sprawić, że oświetlenie będzie wyglądać sztucznie, tak jakby postać zamiast na planie, znajdowała się w innym świecie.



## Klatki testowe

Ponieważ oświetlenie postaci będzie zmieniało się w czasie, należy z każdego ujęcia wybrać kilka reprezentatywnych klatek, dla których opracowujemy i testujemy oświetlenie. Można wybrać pierwszą i ostatnią klatkę lub klatki, które zawierają skrajne położenia postaci w czasie ujęcia. Innymi klatkami, które warto przetestować, są te, w których usta postaci są otwarte, tak, że można zobaczyć, jak wygląda ich wnętrze, oraz te, w których dochodzi do kontaktu dwóch osób lub przedmiotów.

Gdy ma się już listę klatek, które należy przetestować, można przełączać się między nimi podczas pracy nad oświetleniem. Gdy pracuje się nad jedną klatką i ustawia się światło kontrolne lub modyfikuje światło kluczowe, należy przechodzić także do innych klatek i przeprowadzać dla nich testowe renderingi ujęcia, aby zobaczyć rezultaty dodawania lub modyfikacji oświetlenia.

Jeśli przygotowujemy materiał w rozdzielczości kinowej, nie jesteśmy zwykle w stanie wyrenderować przez noc wszystkich klatek. Zamiast tego powinniśmy wyrenderować w rozdzielczości kinowej nową wersję tylko kilku głównych klatek po zmianie oświetlenia. Jeśli konieczne jest obejrzenie oświetlenia podczas animacji, można także wyrenderować całe ujęcie przy niższej rozdzielczości, renderując czasami co drugą lub co trzecią klatkę przy dłuższych ujęciach. Selektywny i rozważny wybór tego, co renderujemy w celach testów, jest kluczem do uzyskania poprawnego rezultatu w rozdzielczości kinowej już za pierwszym podejściem.

## Łączenie światła z postaciami

Czy postacie potrzebują w ogóle własnych źródeł światła? Jeśli oświetla się film animowany i istnieją już światła oświetlające plan, to czy mogłyby one zostać użyte do oświetlania postaci? Można wyrenderować na próbę kilka różnych klatek sceny, aby zobaczyć, jak wyglądają postacie oświetlone wyłącznie już istniejącymi światłami. Czasami rezultat może wyglądać zadowalająco. Najczęściej jednak okazuje się, że światła poprawnie oświetlające plan nie oświetlają odpowiednio postaci.

Aby zyskać pełną kontrolę nad oświetleniem postaci, często zachodzi potrzeba stworzenia osobnych światła, które będą połączone wyłącznie z nią. Wówczas światła oświetlające plan będą połączone tylko z tłem, a nie z postacią. Kąt padania, jasność i kolor światła oświetlających postacie powinny komponować się z oświetleniem planu. Jednak dążenie

do uzyskania idealnej zgodności z oświetleniem planu od strony technicznej nie powinno przesłaniać kwestii takich jak modelowanie za pomocą światła czy podkreślanie przy jego użyciu animacji postaci i opowiadanej historii.

W przypadku wielu filmów każda postać ma swoją własną grupę świateł połączonych tylko z nią, nazywaną instalacją świetlną. Można modyfikować położenie i kolor tych świateł, aby dopasować je do warunków różnych planów, w których pojawia się postać. Jednak w sceneriach z dużą ilością sztucznych świateł, na przykład w biurze z wieloma lampami, sztuczne światła z planu powinny oświetlać postać razem ze światłem kluczowym, wypełniającym i innymi światłami zawartymi w instalacji świetlnej danej postaci.

## Zmiany w technologii

Zestaw narzędzi grafika oświetleniowego ciągle się powiększa, zwłaszcza o nowe opcje renderowania światła wypełniającego i odbitego. Użycie świateł spot ze zwykłymi cieniami opartymi o mapy głębokości w celu tworzenia świateł wypełniających i odbitych może dawać zadowalające rezultaty, ale współczesne renderery posiadają mnóstwo alternatywnych rozwiązań, włączając w to *okluzję otoczenia* (ang. *ambient occlusion*), *oświetlenie oparte na obrazie* (ang. *image-based lighting*, *IBL*) oraz *globalne oświetlenie* (ang. *global illumination*, *GI*). Zostały one omówione w rozdziale 4. przy kwestiach oświetlania środowiska i wnętrza. W przypadku postaci przemysł animacyjny przyjmuje te techniki z ostrożnością, często w ograniczonym zakresie, tylko dlatego, że obliczanie ich dla każdej klatki animacji może być bardzo powolnym procesem.

## Okluzja otoczenia dla postaci

Okluzja otoczenia w ciągu ostatnich pięciu lat przeobraziła się z techniki uznawanej pierwotnie za zbyt powolną, aby można ją było zastosować w większości produkcji, do techniki, na której opiera się wiele wysokiej jakości projektów. Zmiana ta możliwa była dzięki postępowi zarówno w jakości oprogramowania, jak i w szybkości komputerów.

Gdy stosuje się okluzję otoczenia dla postaci, rzucające cienie światła wypełniające mogą okazać się niepotrzebne. Okluzja otoczenia może zaciemnić zagłębienia ciała postaci, takie jak nozdrza, pachy, okolice za uchem oraz obszary między fałdami tkanin, tworząc efekt identyczny

z otrzymywanym za pomocą światła wypełniających rzucających bardzo miękkie cienie. Rysunek 5.25 pokazuje okluzję otoczenia na postaci, światło wypełniające, które nie rzuca cieni, a następnie światło wypełniające pomnożone przez okluzję otoczenia.



**Rysunek 5.25.** W przypadku stosowania okluzji dla postaci (po lewej) można renderować światła wypełniające, które nie rzucają cieni (w środku), a gdy okluzja pomnożona jest przez światło wypełniające, rezultat będzie przypominał cienie światła wypełniających (po prawej).

Jeśli renderer pozwala na połączenie okluzji otoczenia z shaderem danego światła, wówczas dla uzyskania najbardziej realistycznych rezultatów powinno się użyć okluzji otoczenia do zaciemnienia światła wypełniającego i odbitego, ale nie światła kluczowego. W ten sposób światło kluczowe może być zaciemniane przez prawdziwe cienie, rzucane w odpowiednim kierunku, a nie przez okluzję otoczenia. Zwłaszcza gdy światła kluczowe i wypełniające są różnego koloru, ich łączenie się w obszarach cienia może sprawić, że sceny będą wyglądać bardziej realistycznie. Nie każdy renderer pozwala na wybór światła, których oświetlenie będzie zaciemniane przez okluzję otoczenia, a których nie; z powyższej wskazówki skorzystać można tylko wówczas, gdy posiada się tę opcję w swoim rendererze.

Czasami pojawia się pokusa nadużywania okluzji otoczenia, aż w nierealistyczny sposób staje się ona dominującym komponentem cieniowania sceny. Ciemna i wydatna jak cień światła kluczowego okluzja otoczenia wygląda realistycznie tylko w przypadku bardzo niskiego stosunku key-to-fill, na przykład w pokoju z miękkim oświetleniem lub na zewnątrz podczas pochmurnego dnia. Mimo iż okluzja otoczenia dobrze wygląda, jest to tylko jeden z komponentów oświetlenia, często bardzo subtelny.

Jeśli animacja musi zostać szybko wyrenderowana i z tego powodu nie powinno się stosować w każdej klatce okluzji otoczenia, można na stałe wypalić jej część na postaci. Okluzję otoczenia można wypalić na teksturach postaci dla wnętrza nosa, ust oraz dla środka i okolic uszu. Należy upewnić się, że wypalona okluzja otoczenia nie zaciemnia zauważalnie obszaru bezpośrednio oświetlonego światłem kluczowym. Powinna ona zaciemniać głównie miejsca oświetlone światłem wypełniającym.

## IBL oraz GI dla postaci

Oświetlenie oparte na obrazie jest wspaniałym źródłem światła wypełniającego i może być wykorzystywane dla postaci w tym samym stopniu co dla scenarii. Wykorzystując IBL, można dojść do wniosku, że nie ma potrzeby stosowania wielu źródeł światła wypełniającego lub pośredniego, zwłaszcza gdy scena znajduje się na zewnątrz. IBL daje najlepsze rezultaty przy symulowaniu światła pochodzącego z dużej odległości, więc byłoby idealnym źródłem światła wypełniającego pochodzącego z nieba, ale niezbyt dobrym źródłem światła padającego ze stojącej niedaleko lampy.

Globalne oświetlenie jest zwykle uważane za zbyt wolne, aby można było je wykorzystywać przy większych animowanych projektach. Gdy już się je wykorzystuje, jest to zwykle jego uproszczona forma, uwzględniająca tylko jedno odbicie światła między powierzchniami i obliczająca pośrednie oświetlenie w oparciu o uproszczone modele zamiast wykorzystywać cały plan. Być może pewnego dnia GI w animacji stanie się codziennością tak jak okluzja otoczenia, ale aby tak się stało, potrzebne będą szybsze komputery.

Podczas gdy istnieje wiele nowych metod uzyskania światła wypełniającego i odbitego, źródła światła pełniące inne funkcje ciągle najlepiej jest dodawać jako proste światła typu spot z cieniami opartymi o mapy głębokości lub z cieniami raytracingowymi. Światła kluczowe, kontrolne, półkontrolne oraz źródła światła odbijanego w sposób kierunkowy nie zmieniły się bardzo przez dziesięć ostatnich lat i nie zapowiada się, aby miały być wkrótce zastąpione innymi narzędziami.

## Rozpraszanie podpowierzchniowe

Wiele shaderów w programach 3D posiada parametr *półprzezroczystości* (ang. *translucency*), który może sprawić, że cienka powierzchnia, na przykład liść, abażur czy kawałek papieru, wydawać się będą półprzezroczyste. Jednak w przypadku grubszych obiektów, takich jak postacie,

półprzezroczystość skóry najlepiej symulować za pomocą shaderów wykorzystujących *rozpraszanie podpowierzchniowe* (ang. *subsurface scattering*). Rysunek 5.26 przedstawia głowę ze zwykłym, nieprzezroczystym shaderem (po lewej). Głowa wyrenderowana z rozpraszaniem podpowierzchniowym (po prawej) przejawia wyraźną reakcję na jasne światło kontrolne umieszczone za lewym uchem.



**Rysunek 5.26.**

Bez rozpraszania podpowierzchniowego (po lewej) postać jest nieprzezroczysta, z rozpraszaniem podpowierzchniowym (po prawej) można dostrzec, gdzie za uchem umieszczone jest źródło światła.

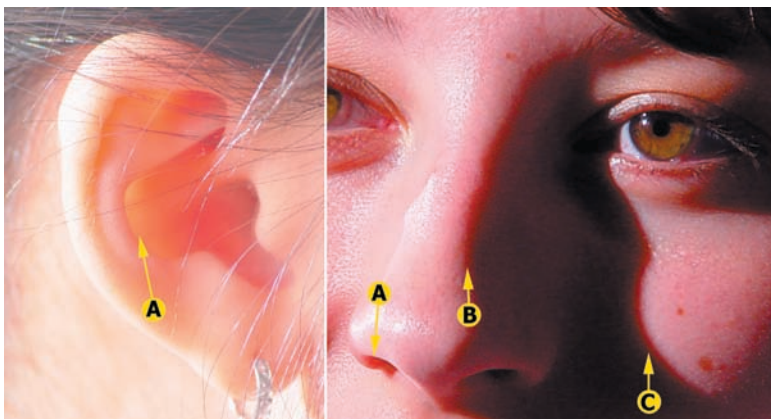
*Rozpraszanie podpowierzchniowe* symuluje rozpraszanie promieni światła wewnątrz półprzezroczystych materiałów. Nieważne, jak starannie oteksturowało się powierzchnię skóry — może ona ciągle wyglądać sztucznie, jeśli nie posiada realistycznej półprzezroczystości. Na skórze rozpraszanie podpowierzchniowe widoczne jest w trzech głównych obszarach:

- Gdy jasne światło oświetla od tyłu cienkie części ciała, na przykład uszy i nos, może rozświetlać je na czerwono. Zjawisko to nazywane jest *rozpraszaniem do przodu* (ang. *forward scattering*), ponieważ światło pada na bardziej oddaloną powierzchnię i po rozproszeniu opuszcza obiekt przez powierzchnię położoną z przodu.
- Granica, przy której światło traci zupełnie intensywność, nabiera czerwonego blasku również w wyniku rozpraszania do przodu.
- Krawędzie cieni na skórze mogą wydawać się czerwone. Spowodowane jest to *rozpraszaniem do tyłu* (ang. *back scattering*), czyli światłem wpadającym pod skórę, a następnie opuszczającym ją w pobliżu punktu, przez który wpadło. Zjawisko to występuje częściej w mięsistych obszarach, takich jak policzki.

Rysunek 5.27 pokazuje te zjawiska na prawdziwych fotografiach. Należy zauważyć, że użyte zostało bardzo jasne światło, aby efekty były wyraziste. W większości przypadków rozpraszanie podpowierzchniowe jest bardzo subtelne. Jednak ludzka skóra jest materiałem, z którym jesteśmy bardzo blisko zaznajomieni i uchwycenie subtelnych detali jej cieniowania jest kluczem do stworzenia realistycznej, ujmującej postaci.

#### Rysunek 5.27.

Fotografie rozpraszania podpowierzchniowego pokazują rozpraszanie do przodu (A), czerwonawą granicę cienia (B) i czerwone krawędzie cieni (C).



Jeśli shader skóry wykorzystuje rozpraszanie podpowierzchniowe, dobrym pomysłem jest obliczenie rozpraszania również dla wszystkich pozostałych części głowy, takich jak zęby czy gałki oczne. Należy pamiętać, że rozpraszanie podpowierzchniowe symuluje światło przechodzące przez model, więc wewnętrzne części głowy również powinny zostać uwzględnione w obliczeniach.

## Mapowanie różnicowania

Na obrazach wyrenderowanych z wykorzystaniem rozpraszania podpowierzchniowego głowa postaci może czasami sprawiać wrażenie, jakby była zrobiona z wosku, a nie z ciała i krwi. Woskowaty wygląd jest właściwie rezultatem używania rozpraszania podpowierzchniowego bez wykorzystania tekstur różnicujących rozpraszanie w różnych częściach twarzy. Całkowicie równomierne rozpraszanie podpowierzchniowe wygląda woskowato, ponieważ wosk jest jednorodnym materiałem, który równomiernie rozprasza światło.

Pod skórą znajduje się mieszanina kości, mięśni, chrząstek i tłuszczu — każdy z tych materiałów w inny sposób rozprasza światło i znajduje

się na innej głębokości pod skórą. Fizyczne wymodelowanie wszystkich tych komponentów byłoby zbyt skomplikowane w przypadku modeli animowanych. Jednak obserwowane w świecie rzeczywistym własności mogą być odtworzone poprzez malowanie map, które kontrolują rozpraszanie podpowierzchniowe. Przykładowo, efekt rozpraszania do tyłu mógłby zostać uwydatniony za pomocą mapowania w obszarach takich jak policzki, w których pod skórą znajduje się więcej mięśni, a zredukowany na czole lub brodzie, gdzie bezpośrednio pod skórą znajduje się kość. Może zająć potrzeba przygotowania dwóch map: jednej kontrolującej głębokość (skalę) rozpraszania podpowierzchniowego, aby kontrolować jego zasięg, i drugiej, kontrolującej kolor światła pośredniego, który jest zależny na przykład od tego, czy światło trafia na żyły bądź tkankę.

## Imitowanie rozpraszania podpowierzchniowego

Dostępna staje się coraz większa liczba shaderów i rozwiązań oferujących miękkie, naturalnie wyglądające rozpraszanie podpowierzchniowe. Jednak dodatkowy czas potrzebny jest zarówno na ich konfigurację, jak i rendering. Niektóre z wizualnych efektów rozpraszania podpowierzchniowego można imitować za pomocą prostszych modyfikacji shaderów i świateł:

- Należy nadać cieplejszy odcień światłu odbitemu od postaci. Różowy lub czerwony odcień pomoże w uzyskaniu wrażenia, że to skóra zabarwia światło pośrednie.
- Używając shadera *ramp* lub dowolnego shadera z modyfikowalnym gradientem koloru bądź zamianą tekstur, należy skonfigurować go w taki sposób, aby jego kolor wokół granicy cienia wydawał się czerwony zamiast przechodzić bezpośrednio z koloru białego w czarny.
- Jednokolorowe zmarszczki zdradzają stosowanie mapowania nierówności bez używania rozpraszania podpowierzchniowego. Gdy przygotowuje się teksturę zmarszczek na głowie bądź twarzy postaci, należy również pokolorować na czerwono lub różowo wewnętrzną stronę zmarszczek.

Niezależnie od kolorów, które pojawiają się na powierzchni skóry postaci, to, co znajduje się pod skórą (głównie czerwona krew), jest najbardziej odpowiedzialne za tony dodawane przez rozpraszanie podpowierzchniowe. Nawet obcy o zielonej skórze byli z powodzeniem renderowani z użyciem ciepłych tonów dodawanych przez shadery skóry.

## Oświetlenie włosów

Często przy renderingu włosów i futra dużym problemem jest to, jak bardzo mogą one wydłużyć czas renderingu. Gdy renderuje się z włączoną *głębokością ostrości* (ang. *depth of field, DOF*), a postać znajduje się idealnie w centrum uwagi, można zaoszczędzić czas renderingu, renderując postać na osobnej warstwie i wyłączając dla niej obliczenia DOF. Włosy i futro mogą także znacznie spowolnić raytracing. Dobrym pomysłem jest wyłączenie włosów i futra z obliczeń raytracingowych cieni i odbić.

Włosy renderuje się zwykle z wykorzystaniem cieni opartych na mapach głębokości. Niektóre renderery posiadają specjalny rodzaj map cieni, zaprojektowany do dobrej współpracy z włosami, na przykład głębokie mapy cieni (ang. *deep shadow maps*) w Rendermanie czy szczegółowe mapy cieni (ang. *detail shadow maps*) w Mental Ray. Ponieważ włosy są bardzo cienkie w porównaniu z indywidualnymi próbkami w mapie cieni, niezbędne jest dobre wykadrowanie map cieni, tak aby skupione były na samych włosach. Jest to jeden z powodów używania osobnych świateł w celu oświetlenia włosów postaci.

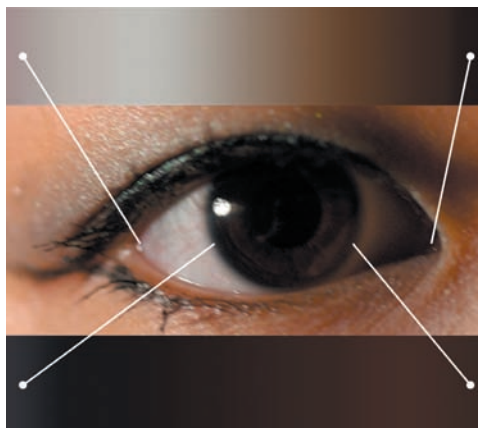
Przeznaczenie osobnych świateł do oświetlania włosów umożliwia uzyskanie na nich bardziej precyzyjnego oświetlenia kontrowego. Włosy zwykle reagują na światło kontrowe silniej niż większość powierzchni, więc utworzenie osobnego, mniej intensywnego światła kontrowego dla włosów może dać zadowalającą otoczkę świetlną, nie nadając włosom białego koloru.

## Oświetlenie oczu

Oko posiada trzy główne, widoczne części: twardówkę (biała część oka), tęczówkę (część kolorowa) i źrenicę (czarna część w środku). Twardówka powinna być bardziej szara niż biała; z pewnością nie powinna być tak jasna lub biała jak widoczny na oku rozbłysk. Często ma ona kolor bladoszary lub posiada odcienie żółci, a gdy jest oświetlana, staje się ciemniejsza przy brzegach.



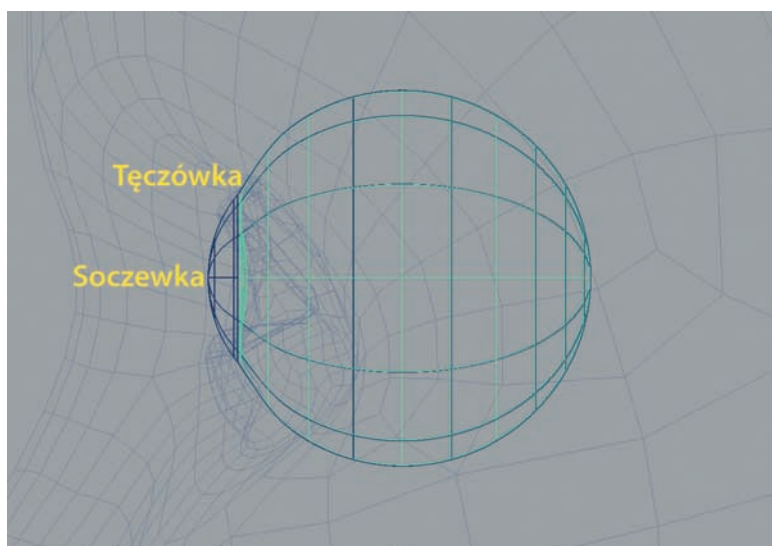
Główne cieniowanie twardówki przebiega w odwrotnym kierunku niż cieniowanie tęczęwki. Rysunek 5.28 przedstawia oko oświetlone z góry, z lewej strony. Gradient przebiegający w poprzek twardówki jest najjaśniejszy u góry po lewej. Z kolei tęczęwka jest najjaśniejsza u dołu po prawej. Należy także zauważyć, że tęczęwka jest dużo bardziej płaska niż twardówka i nie posiada tak dużego zróżnicowania tonalnego.



**Rysunek 5.28.**

Linie pokazują, w którym miejscu gradientów u góry i u dołu znajdują się kolory z obrazka. Gradient twardówki (u góry) jest najjaśniejszy po stronie światła kluczowego i staje się coraz ciemniejszy, podczas gdy gradient tęczęwki (na dole) jest najpierw ciemny i staje się najjaśniejszy po stronie przeciwnej do rozświetlenia.

Cieniowanie oka jest rezultatem kształtu jego geometrii. Jak widać na rysunku 5.29, tęczęwka jest względnie płaska lub wklęsła i znajduje się pod soczewką.



**Rysunek 5.29.**

Geometria modelu oka zbudowana dla celów realistycznego cieniowania.

Nie ma potrzeby zbyt dokładnego odtwarzania rzeczywistego kształtu oka. W przypadku rzeczywistego oka refrakcja powoduje wydobycie koloru tęczówki na powierzchnię soczewki, nawet jeśli oglądana jest ona z boku. Jeśli nie chcemy obliczać refrakcji w całej animacji za pomocą raytracingu, wówczas przybliżenie tęczówki do powierzchni oka da nam prawdopodobnie lepsze rezultaty.

## Okluzja oka

Krawędzie oka zaciemnione są przez powieki i rzęsy. Nawet jeśli rzęsy są zbyt cienkie lub małe żeby można je było dojrzeć w ujęciu, ciągle przyczyniają się do delikatnego cieniowania, które zaciemnia krawędzie oczu. To dodatkowe cieniowanie może czasami podkreślać także okrągły kształt oczu.

Do zaciemnienia krawędzi oczu można wykorzystać okluzję otoczenia. Często zachodzi potrzeba wykorzystania do zaciemnienia gałek ocznych postaci osobno konfigurowanego shadera okluzji otoczenia, tak aby mogły one być cieniowane w oparciu o bardzo małą odległość między gałką oczną a powieką. Okluzja dla oczu musi być obliczana w każdej klatce, a nie wypalana i przechowywana jako statyczna tekstura. Nawet jeśli w przypadku wnętrza nosa i uszu korzysta się z wypalanej okluzji, okluzja oka musi być obliczana dla każdej jego pozycji, tak aby przy zamykaniu oczu powieki zaciemniały odpowiednie części gałki ocznej.

## Rozbłyśki oka

Rozbłyśki oka pomagają sprawić, że postaci wyglądają jak żywe. Bez rozbłyśków oczy postaci wyglądają nienaturalnie sucho. Nawet w przypadku szerszych ujęć, gdy oczy postaci mogą mieć rozmiar tylko kilku pikseli, będą to ciągle jedne z najważniejszych pikseli w obrazie.

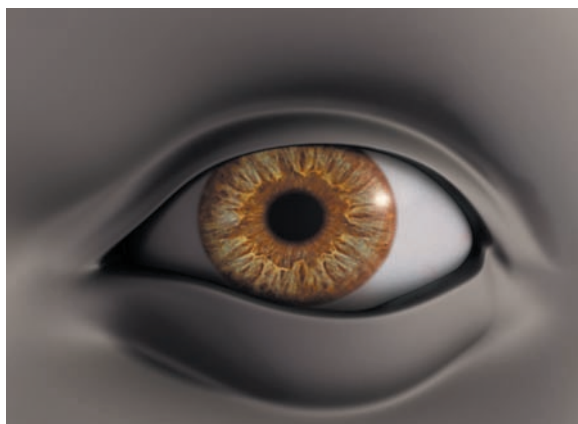
Na początek oczy oświetlić można tymi samymi źródłami światła, które oświetlają resztę postaci. Światło kluczowe lub inne światła postaci mogą tworzyć rozbłysek, który wygląda wystarczająco dobrze, żeby pełnić funkcję rozbłyску oka w niektórych ujęciach.

Jeśli światło kluczowe nie wystarczy, żeby stworzyć dobrze wyglądający rozbłysk, należy utworzyć nowe źródło światła odbijanego w sposób kierunkowy. Należy skorzystać z opcji łączenia światła, żeby połączyć je wyłącznie z gałkami ocznymi postaci, i oczywiście włączyć emisję wyłącznie światła odbijanego w sposób kierunkowy. Początkowo można umieścić źródło światła tworzącego rozbłyski w pobliżu światła kluczowego, ale aby upewnić się, że rozbłyski widoczne są w każdym animowanym ujęciu, można je przysunąć bardzo blisko kamery. Światło już umiejscowione w pobliżu kamery wystarczy nieco przesunąć w bok lub w górę, aby ustawić położenie rozbłysku na oku.

Rozbłyski oka nie powinny pojawiać się bezpośrednio pod górną powieką. Powinny one być zacieniane lub zasłaniane przez górną powiekę, tak aby zniknęły przy zamykaniu oka. Rozbłyski położone wzdłuż dolnej krawędzi oka, naprzeciw dolnej powieki, mogą sprawić, że postać wyglądać będzie tak, jakby płakała lub jakby w jej oku zbierała się łza.

Często najbardziej przekonującym miejscem na rozbłysk jest jedna z krawędzi tęczówki, jaki widać na rysunku 5.30. Podkreśla to wypukły kształt soczewki oka, tak jakby rozbłysk pojawił się na jej krawędzi.

Aby źrenice pozostały wyraźne i czarne, nie należy umieszczać przy nich rozbłysków. Umieszczenie rozbłysku zbyt blisko środka oka mogłoby sprawić, że źrenica stałaby się szara, a postać wyglądałaby tępo. Jeśli chce się osiągnąć efekt lampy błyskowej aparatu trafiającej prosto w środek oka, wówczas lepiej jest skonfigurować shader tak, aby źrenica stała się czerwona, niż tak, żeby w środku oka pojawił się biały lub szary rozbłysk.



**Rysunek 5.30.** Rozbłysk na oku w pobliżu krawędzi tęczówki po stronie światła kluczowego wygląda przekonująco.

## Ćwiczenia

Każdego dnia można obserwować oświetlające ludzi i zwierzęta światło i tym samym uczyć się oświetlania wszelakich scenerii. Filmy i fotografie są kolejnym wartym uwagi źródłem inspiracji. Przede wszystkim, ćwicz oświetlenie swoich własnych postaci w sposób, który najlepiej podkreśla ich kształty i komponuje się z resztą sceny.

1. *Rendering z jednym światłem* jest ćwiczeniem prostoty. Otwórz dowolną scenę 3D i spróbuj oświetlić ją tylko jednym światłem. Obszary zacienione pozostaw czarne. Przy dobrej pozycji światła kluczowego rendering z jednym światłem może oddać wygląd sceny za pomocą oświetlenia, cieni i ich granicy. Jeśli jesteś zadowolony z renderingu z jednym światłem, znalazłeś świetny punkt wyjścia do użycia globalnego oświetlenia lub rozpoczęcia dodawania światła wypełniających i źródeł światła odbitego.
2. Przechwyć klatkę z filmu DVD i przestudiuj oświetlenie postaci. Spróbuj odnaleźć gradienty biegnące w poprzek postaci, tak jak opisano to w punkcie „Modelowanie za pomocą światła”. Co mówi Ci gradient o obiekcie i o źródle światła? Gdybyś oświetlał tę scenę w 3D, to czy biegnące w poprzek postaci gradienty wyglądałyby tak samo?
3. Jeśli sam nie jesteś animatorem, a potrzebujesz doświadczenia w oświetlaniu animowanych obiektów, spróbuj dołączyć do jakiegoś zespołowego projektu, w szkole lub w internecie. Nie ma ćwiczenia lepiej wprowadzającego do oświetlenia postaci niż oświetlenie sekwencji ujęć filmu animowanego.