

O'REILLY®

# Aplikacje 3D

## Przewodnik po HTML5, WebGL i CSS3

---

TWÓJ PRZEWODNIK PO GRAFICE 3D W HTML!



Tytuł oryginału: Programming 3D Applications with HTML5 and WebGL

Tłumaczenie: Łukasz Piwko

ISBN: 978-83-246-9668-0

© 2014 Helion S.A.

Authorized Polish translation of the English edition of Programming 3D Applications with HTML5 and WebGL, ISBN 9781449362966 © 2014 Tony Parisi.

This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to publish and sell the same.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from the Publisher.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz Wydawnictwo HELION dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie bierze jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Wydawnictwo HELION nie ponosi również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Wydawnictwo HELION  
ul. Kościuszki 1c, 44-100 GLIWICE  
tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63  
e-mail: [helion@helion.pl](mailto:helion@helion.pl)  
WWW: <http://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

Pliki z przykładami omawianymi w książce można znaleźć pod adresem:  
<ftp://ftp.helion.pl/przyklady/apli3d.zip>

Drogi Czytelniku!  
Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres  
<http://helion.pl/user/opinie/apli3d>  
Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Printed in Poland.

- [Kup książkę](#)
- [Poleć książkę](#)
- [Oceń książkę](#)

- [Księgarnia internetowa](#)
- [Lubię to! » Nasza społeczność](#)

---

# Spis treści

Przedmowa .....	9
<b>Część I. Podstawy .....</b>	<b>15</b>
<b>1. Wprowadzenie .....</b>	<b>17</b>
HTML5 jako nowe medium wizualne	19
Przeglądarka jako platforma	20
Przeglądarkowa rzeczywistość	21
Grafika trójwymiarowa	22
Co to jest trójwymiarowość?	22
Trójwymiarowe układy współrzędnych	23
Siatki, wielokąty i wierzchołki	24
Materiały, tekstury i oświetlenie	24
Przekształcenia i macierze	25
Kamery, perspektywa, obszary widoku oraz projekcje	26
Programy cieniujące	27
<b>2. Renderowanie grafiki trójwymiarowej na bieżąco przy użyciu biblioteki WebGL .....</b>	<b>31</b>
Podstawy WebGL	32
API WebGL	33
Anatomia aplikacji WebGL	34
Prosty przykład użycia WebGL	34
Kanwa i kontekst rysunkowy WebGL	35
Obszar widoku	36
Bufory, bufory tablicowe i tablice typowane	36
Macierze	37
Shader	38
Rysowanie obiektów podstawowych	40

Tworzenie brył	41
Animacja	45
Mapy tekstur	46
Podsumowanie	51
<b>3. Three.js — mechanizm do programowania grafiki trójwymiarowej w JavaScriptcie .....</b>	<b>53</b>
Najbardziej znane projekty zbudowane przy użyciu Three.js	53
Wprowadzenie do Three.js	56
Przygotowanie do pracy z Three.js	58
Struktura projektu Three.js	58
Prosty program Three.js	59
Tworzenie renderera	61
Tworzenie sceny	61
Implementacja pętli wykonawczej	62
Oświetlenie sceny	64
Podsumowanie	65
<b>4. Grafika i renderowanie w Three.js .....</b>	<b>67</b>
Geometria i siatki	67
Gotowe typy geometryczne	67
Ścieżki, kształty i ekstruzje	68
Bazowa klasa geometrii	69
Geometria buforowana do optymalizacji renderowania siatki	73
Importowanie siatek z programów do modelowania	73
Graf sceny i hierarchia przekształceń	75
Zarządzanie sceną za pomocą grafu sceny	75
Grafy sceny w Three.js	75
Reprezentowanie przesunięcia, obrotu i skali	78
Materiały	79
Standardowe materiały siatki	79
Dodawanie realizmu poprzez zastosowanie kilku tekstur	81
Oświetlenie	84
Cienie	87
Shadery	91
Klasa ShaderMaterial: zrób to sam	91
Stosowanie kodu GLSL z biblioteką Three.js	93
Renderowanie	95
Przetwarzanie końcowe i renderowanie wieloprzebiegowe	96
Renderowanie opóźnione	97
Podsumowanie	98

<b>5. Animacje trójwymiarowe .....</b>	<b>99</b>
Sterowanie animacją za pomocą funkcji requestAnimationFrame()	100
Używanie funkcji requestAnimationFrame() we własnych aplikacjach	102
Funkcja requestAnimationFrame() a wydajność	103
Animacje klatkowe a animacje czasowe	103
Animowanie przy użyciu programowego aktualizowania właściwości	104
Animowanie przejść przy użyciu międzyklatek	106
Interpolacja	106
Biblioteka Tween.js	107
Funkcja prędkości animacji	109
Tworzenie skomplikowanych animacji przy użyciu klatek kluczowych	110
Animacje obiektów połączonych z użyciem klatek kluczowych	113
Tworzenie wrażenia płynnego ruchu przy użyciu krzywych i śledzenia ścieżki	115
Animacja postaci i twarzy przy użyciu morfingu	118
Animowanie postaci przy użyciu animacji szkieletowej	121
Animowanie przy użyciu shaderów	124
Podsumowanie	129
<b>6. Tworzenie zaawansowanych efektów na stronach przy użyciu CSS3 .....</b>	<b>131</b>
Przekształcenia CSS	133
Przekształcenia trójwymiarowe w praktyce	134
Perspektywa	136
Tworzenie hierarchii przekształceń	138
Kontrolowanie renderowania tylnej ściany obiektów	140
Zestawienie własności przekształceniowych CSS	143
Przejścia CSS	143
Animacje CSS	147
Zaawansowane funkcje CSS	151
Renderowanie obiektów trójwymiarowych	151
Renderowanie środowisk trójwymiarowych	152
Tworzenie zaawansowanych efektów przy użyciu filtrów CSS	153
Renderowanie trójwymiarowe w CSS przy użyciu Three.js	154
Podsumowanie	155
<b>7. Kanwa dwuwymiarowa .....</b>	<b>157</b>
Kanwa — podstawowe wiadomości	158
Element kanwy i dwuwymiarowy kontekst rysunkowy	158
Właściwości API Canvas	160
Renderowanie obiektów trójwymiarowych przy użyciu API Canvas	164

Trójwymiarowe biblioteki oparte na kanwie	167
K3D	168
Renderer biblioteki Three.js rysujący na kanwie	169
Podsumowanie	174

## **Część II. Techniki tworzenia aplikacji ..... 175**

### **8. Proces powstawania treści trójwymiarowej ..... 177**

Proces tworzenia grafiki trójwymiarowej	177
Modelowanie	178
Teksturowanie	178
Animowanie	179
Sztuka techniczna	180
Narzędzia do tworzenia trójwymiarowych modeli i animacji	181
Klasyczne programy komputerowe	181
Przeglądarkowe środowiska zintegrowane	185
Repozytoria 3D i darmowe zdjęcia	188
Trójwymiarowe formaty plików	190
Formaty modelowe	190
Formaty animacyjne	192
Formaty do zapisywania całych scen	193
Wczytywanie treści do aplikacji WebGL	201
Format JSON biblioteki Three.js	202
Format binarny biblioteki Three.js	207
Wczytywanie sceny w formacie COLLADA przy użyciu biblioteki Three.js	208
Ładowanie sceny glTF przy użyciu biblioteki Three.js	211
Podsumowanie	212

### **9. Trójwymiarowe silniki i systemy szkieletowe ..... 213**

Koncepcje szkieletów trójwymiarowych	214
Czym jest system szkieletowy?	214
Wymagania dotyczące systemów szkieletowych dla WebGL	215
Przegląd systemów szkieletowych dla WebGL	217
Silniki gier	217
Prezentacyjne systemy szkieletowe	220
Vizi — komponentowy system do tworzenia wizualnych aplikacji sieciowych	223
Tło i metody projektowania	223
Architektura systemu Vizi	224
Podstawy obsługi systemu Vizi	226
Prosta aplikacja Vizi	226
Podsumowanie	232

<b>10. Budowa prostej aplikacji trójwymiarowej .....</b>	<b>233</b>
Projektowanie aplikacji	234
Tworzenie trójwymiarowej treści	235
Eksportowanie sceny Maya do formatu COLLADA	236
Konwertowanie pliku COLLADA na glTF	237
Podglądanie i testowanie treści trójwymiarowej	238
Narzędzie do podglądu na bazie systemu Vizi	239
Klasa Vizi.Viewer	240
Klasa wczytująca Vizi	241
Integrowanie treści trójwymiarowej z aplikacją	244
Trójwymiarowe zachowania i interakcje	247
Metody API grafu sceny Vizi: findNode() i map()	247
Animowanie przezroczystości za pomocą klasy Vizi.FadeBehavior	249
Automatyczne obracanie modelu za pomocą klasy Vizi.RotateBehavior	251
Wyświetlanie informacji o częściach za pomocą klasy Vizi.Picker	251
Sterowanie animacjami w interfejsie użytkownika	252
Zmienianie kolorów przy użyciu wybieraka	254
Podsumowanie	255
<b>11. Tworzenie trójwymiarowego środowiska .....</b>	<b>257</b>
Tworzenie warstwy wizualnej	259
Podglądanie i testowanie środowiska	260
Podglądanie sceny w trybie pierwszoosobowym	261
Przeglądanie grafu sceny	261
Przeglądanie właściwości obiektów	265
Wyświetlanie ramek obiektów	266
Oglądanie wielu obiektów	269
Wyszukiwanie za pomocą przeglądarki innych problemów ze sceną	270
Tworzenie trójwymiarowego tła przy użyciu pudła nieba	272
Trójwymiarowe pudło nieba	272
Obiekt Skybox systemu Vizi	272
Dodawanie do aplikacji trójwymiarowej treści	275
Ładowanie i inicjowanie środowiska	275
Ładowanie i inicjowanie modelu samochodu	277
Implementowanie nawigacji pierwszoosobowej	279
Kontrolery kamery	281
Kontroler pierwszoosobowy — obliczenia	281
Wybieranie kierunku patrzenia za pomocą myszy	283
Proste wykrywanie kolizji	283
Posługiwanie się wieloma kamerami	284
Tworzenie animowanych i czasowych przejść	286

Implementacja zachowań obiektów	288
Implementowanie własnych składników na bazie klasy Vizi.Script	288
Kontroler samochodu	288
Dodawanie dźwięków do środowiska	294
Renderowanie dynamicznych tekstur	296
Podsumowanie	300
<b>12. Tworzenie aplikacji dla urządzeń przenośnych .....</b>	<b>301</b>
Przenośne platformy trójwymiarowe	302
Tworzenie aplikacji dla mobilnych wersji przeglądarek internetowych	303
Dodawanie obsługi interfejsu dotykowego	304
Debugowanie mobilnej funkcjonalności w stacjonarnej wersji przeglądarki Chrome	309
Tworzenie aplikacji sieciowych	311
Tworzenie aplikacji sieciowych i narzędzia do ich testowania	311
Pakowanie aplikacji sieciowych do dystrybucji	312
Tworzenie aplikacji hybrydowych	313
CocoonJS jako technologia tworzenia gier i aplikacji HTML dla urządzeń mobilnych	314
Składanie aplikacji przy użyciu biblioteki CocoonJS	316
Tworzenie hybrydowych aplikacji WebGL — konkluzja	322
Wydajność mobilnych aplikacji trójwymiarowych	322
Podsumowanie	324
<b>A. Źródła informacji .....</b>	<b>327</b>
<b>Skorowidz .....</b>	<b>339</b>



# Grafika i renderowanie w Three.js

W tym rozdziale dowiesz się, jakie narzędzia do rysowania grafiki i renderowania scen dostępne są w bibliotece Three.js. Jeśli jesteś początkującym programistą grafiki trójwymiarowej, nie staraj się jednocześnie zrozumieć wszystkich poruszanych tematów. Lepiej wybieraj po jednym i analizuj przykłady. W ten sposób szybko nauczysz się tworzyć wspaniałe strony z trójwymiarowymi efektami.

Biblioteka Three.js ma bogaty system graficzny, inspirowany wieloma wcześniejszymi bibliotekami trójwymiarowymi, który powstał z wykorzystaniem doświadczenia ich twórców. Ma wszystko, co powinna mieć biblioteka do tworzenia grafiki trójwymiarowej, a więc dwu- i trójwymiarową geometrię budowaną z siatek wielokątów, grafy scen z hierarchicznymi obiektami i przekształceniami, materiały, tekstury i światła, generowane na bieżąco cienie, programowalne shadery oraz elastyczny system renderingu umożliwiający stosowanie technik wielopowtórzeniowych i opóźnień w celu uzyskania zaawansowanych efektów specjalnych.

## Geometria i siatki

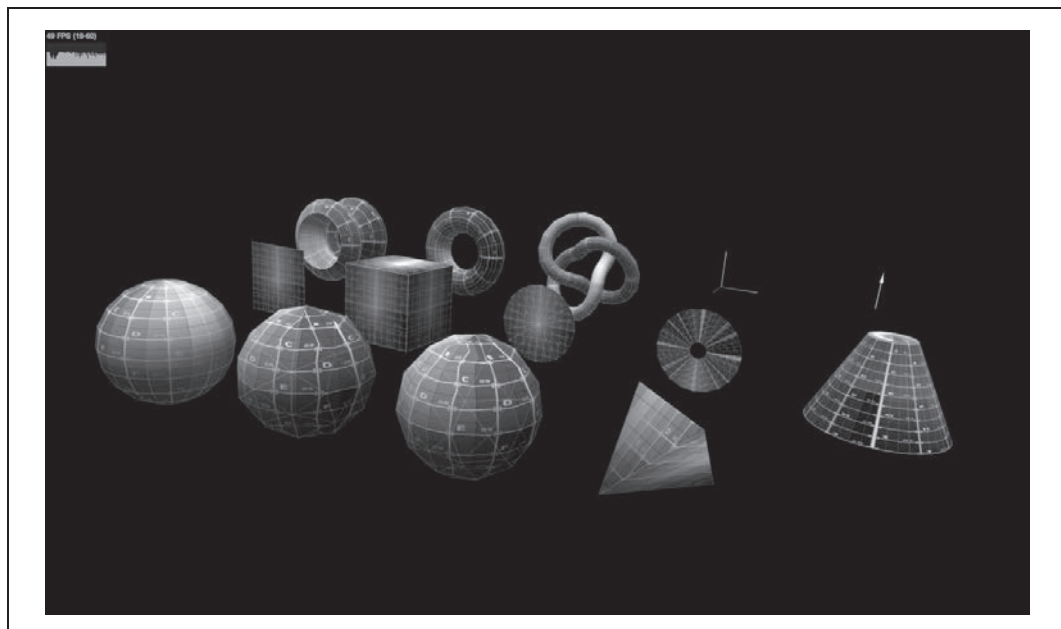
Jedną z największych zalet posługiwania się biblioteką Three.js w porównaniu z używaniem wprost API WebGL jest oszczędność pracy potrzebnej do tego, by utworzyć i narysować figury geometryczne. Przypomnij sobie całe strony kodu z rozdziału 2., napisane w celu utworzenia danych kształtów i tekstur dla prostej kostki oraz przeniesienia tego wszystkiego do pamięci WebGL, aby ostatecznie narysować to na ekranie. Biblioteka Three.js oszczędza wielu kłopotów, udostępniając kilka gotowych obiektów geometrycznych, wśród których znajdują się kostki i cylindry, kształty ścieżkowe, wytłaczana geometria dwuwymiarowa oraz klasa bazowa do rozszerzania, aby użytkownik mógł tworzyć własne kształty. Przyjrzyjmy się tym udogodnieniom.

## Gotowe typy geometryczne

Biblioteka Three.js zawiera wiele gotowych typów geometrycznych reprezentujących najczęściej używane kształty. Znajdują się wśród nich proste jednolite figury, takie jak kostki, sfery i cylindry, oraz bardziej skomplikowane kształty parametryczne, jak ekstruzje i kształty ścieżkowe, torusy czy węzły, płaskie dwuwymiarowe kształty renderowane w przestrzeni trójwymiarowej, takie jak koła, kwadraty i pierścienie, a nawet trójwymiarowy wyciskany (ang. *extruded*)

tekst generowany z łańcuchów tekstowych. Ponadto biblioteka Three.js ułatwia rysowanie punktów i linii trójwymiarowych. Większość z tych obiektów można z łatwością utworzyć przy użyciu jednowierszowego konstruktora, ale niektóre wymagają podania złożonych parametrów i napisania nieco większej ilości kodu.

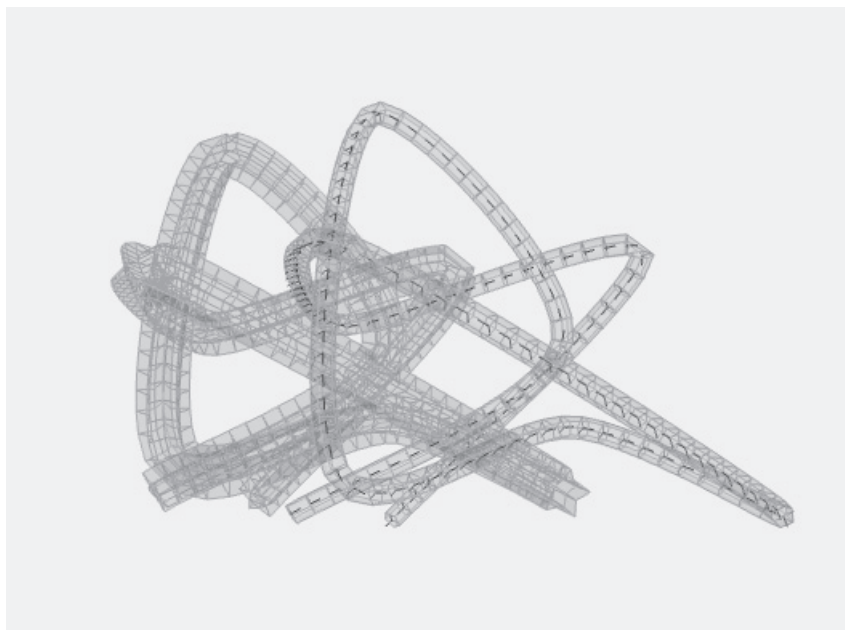
Aby zobaczyć na żywo, jak wyglądają gotowe obiekty geometryczne biblioteki Three.js, otwórz przykładowy plik projektu Three.js znajdujący się w folderze *examples/webgl\_geometries.html* (rysunek 4.1). Każdy obiekt siatki zawiera inny typ geometrii, a tekstura ukazuje sposób generowania współrzędnych teksturowych. Tekstury zostały udostępnione przez PixelCG Tips and Tricks, fantastyczny portal z poradami na temat grafiki komputerowej (<http://www.pixelcg.com/blog/>). Scena jest oświetlona światłem kierunkowym, aby ukazać cieniowanie każdego z obiektów.



Rysunek 4.1. Przykłady obiektów geometrycznych biblioteki Three.js. Od lewej i od przodu: sfera, dwudziestościan, ośmiościan, czworościan; płaszczyzna, kostka, koło, pierścień, cylinder; „tokarka”, torus i węzeł z torusa; ośie x, y i z

## Ścieżki, kształty i ekstruzje

Klasy Path, Shape i ExtrudeGeometry umożliwiają tworzenie obiektów geometrycznych na wiele sposobów, np. wyciskanie obiektów z krzywych. Na rysunku 4.2 przedstawiona jest ekstruzja wygenerowana przy użyciu krzywej składanej (ang. *spline curve*). Aby zobaczyć ją w swoim komputerze, otwórz plik *examples/webgl\_geometry\_extrude\_shapes.html*, natomiast w pliku *examples/webgl\_geometry\_extrude\_splines.html* można wybierać algorytmy generowania krzywej składanej, a nawet poruszać się po niej za pomocą animowanej kamery. Połączenie krzywej składanej z ekstruzją to doskonały sposób na generowanie naturalnie wyglądających kształtów. Szczegółowy opis krzywych składanych znajduje się w rozdziale 5.



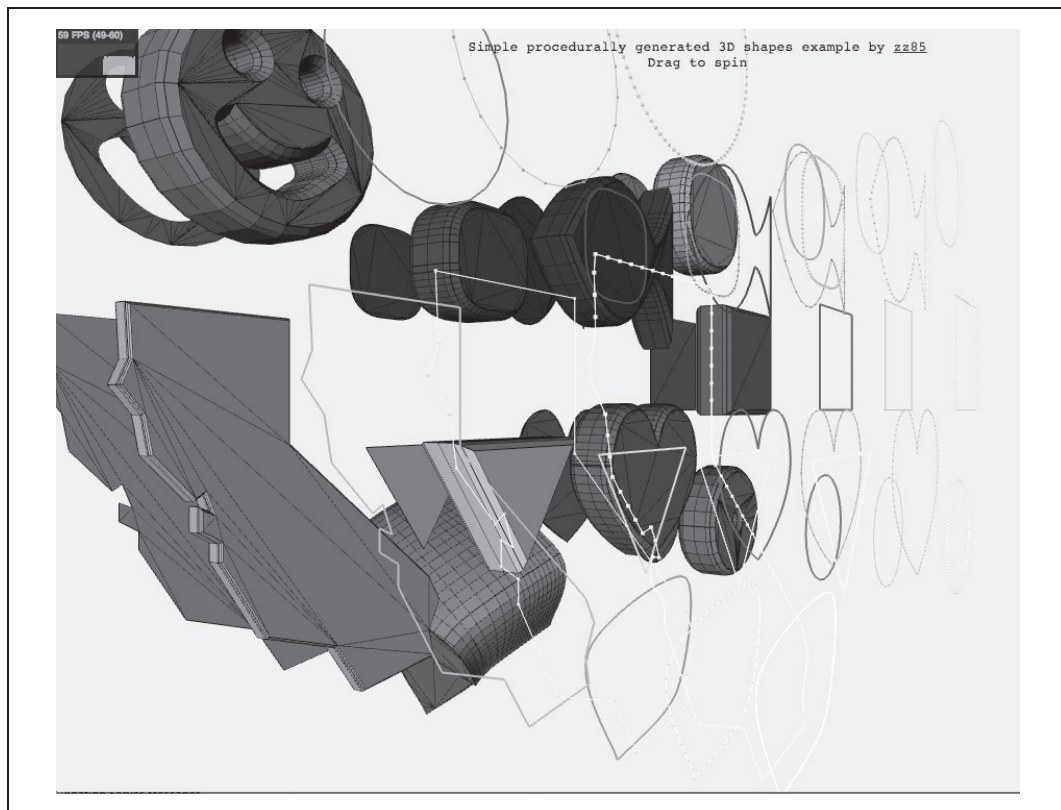
Rysunek 4.2. Ekstruzje utworzone przy użyciu krzywej składanej z biblioteki Three.js

Klasy typu Shape można też stosować do tworzenia płaskich figur dwuwymiarowych oraz ich trójwymiarowych ekstruzji. Powiedzmy, że mamy bibliotekę danych dwuwymiarowych wielokątów (np. granic geopolitycznych albo grafiki wektorowej). Dane te można w miarę łatwo zaimportować do Three.js za pomocą klasy Path zawierającej metody do generowania ścieżek, takie jak `moveTo()` i `lineTo()`, które powinny być znane każdemu, kto zajmuje się rysowaniem grafiki dwuwymiarowej. (W istocie jest to dwuwymiarowe API rysunkowe osadzone w bibliotece grafiki trójwymiarowej). Po co to robić? Dwuwymiarowy kształt można wykorzystać do utworzenia płaskiej siatki istniejącej w przestrzeni trójwymiarowej, którą można przekształcać, tak jak każdy inny obiekt trójwymiarowy (przesuwać, obracać i skalować). Można ją pokrywać materiałami, oświetlać oraz cieniować wraz z pozostałymi przedmiotami na scenie albo ekstrudować w celu utworzenia prawdziwych trójwymiarowych kształtów z dwuwymiarowego zarysu.

Doskonałą ilustrację tych możliwości przedstawiono na rysunku 4.3, będącym zrzutem ekranu z pliku `examples/webgl_geometry_shapes.html`. Widać na nim zarys Kalifornii, kilka prostych wielokątów oraz serca i uśmiechnięte buźki, wyrenderowane w różnych formach, takich jak dwuwymiarowe płaskie siatki, ekstrudowane i ścięte trójwymiarowe siatki oraz linie, a wszystko wygenerowane z danych ścieżkowych.

## Bazowa klasa geometrii

Wszystkie gotowe typy geometryczne biblioteki Three.js pochodzą od klasy bazowej `THREE.Geometry` (`src/core/Geometry.js`), której można też używać do tworzenia własnych kształtów geometrycznych. Aby dowiedzieć się, jak to robić, zajrzyj do kodu źródłowego gotowych typów, który



Rysunek 4.3. Ekstrudowane kształty utworzone na bazie ścieżek przy użyciu biblioteki Three.js

znajduje się w folderze `src/extras/geometries` projektu biblioteki. Na listingu 4.1 znajduje się kod jednego z najprostszych obiektów o nazwie `THREE.CircleGeometry`. Jak widać, nie jest zbyt obszerny, bo zmieścił się na jednej stronie.

Listing 4.1. Kod geometrii koła z biblioteki Three.js

```
/**
 * @author hughes
 */

THREE.CircleGeometry = function ( radius, segments, thetaStart, thetaLength ) {

    THREE.Geometry.call( this );
    radius = radius || 50;

    thetaStart = thetaStart !== undefined ? thetaStart : 0;
    thetaLength = thetaLength !== undefined ? thetaLength : Math.PI * 2;
    segments = segments !== undefined ? Math.max( 3, segments ) : 8;

    var i, uvs = [],
        center = new THREE.Vector3(), centerUV = new THREE.Vector2( 0.5, 0.5 );

    this.vertices.push(center);
    uvs.push( centerUV );
```

```

for ( i = 0; i <= segments; i ++ ) {

    var vertex = new THREE.Vector3();
    var segment = thetaStart + i / segments * thetaLength;

    vertex.x = radius * Math.cos( segment );
    vertex.y = radius * Math.sin( segment );

    this.vertices.push( vertex );
    uvs.push( new THREE.Vector2( ( vertex.x / radius + 1 ) / 2,
        ( vertex.y / radius + 1 ) / 2 ) );
}

var n = new THREE.Vector3( 0, 0, 1 );

for ( i = 1; i <= segments; i ++ ) {

    var v1 = i;
    var v2 = i + 1;
    var v3 = 0;

    this.faces.push( new THREE.Face3( v1, v2, v3, [ n, n, n ] ) );
    this.faceVertexUvs[ 0 ].push( [ uvs[ i ], uvs[ i + 1 ], centerUV ] );

}

this.computeCentroids();
this.computeFaceNormals();

this.boundingSphere = new THREE.Sphere( new THREE.Vector3(), radius );

};

THREE.CircleGeometry.prototype = Object.create( THREE.Geometry.prototype );

```

Konstruktor klasy `THREE.CircleGeometry` generuje płaski okrągły kształt na płaszczyźnie  $XY$ , tzn. z wszystkimi wartościami z ustawionymi na zero. Sercem tego algorytmu jest kod generujący dane wierzchołków kształtu znajdujący się w pierwszej pętli `for`.

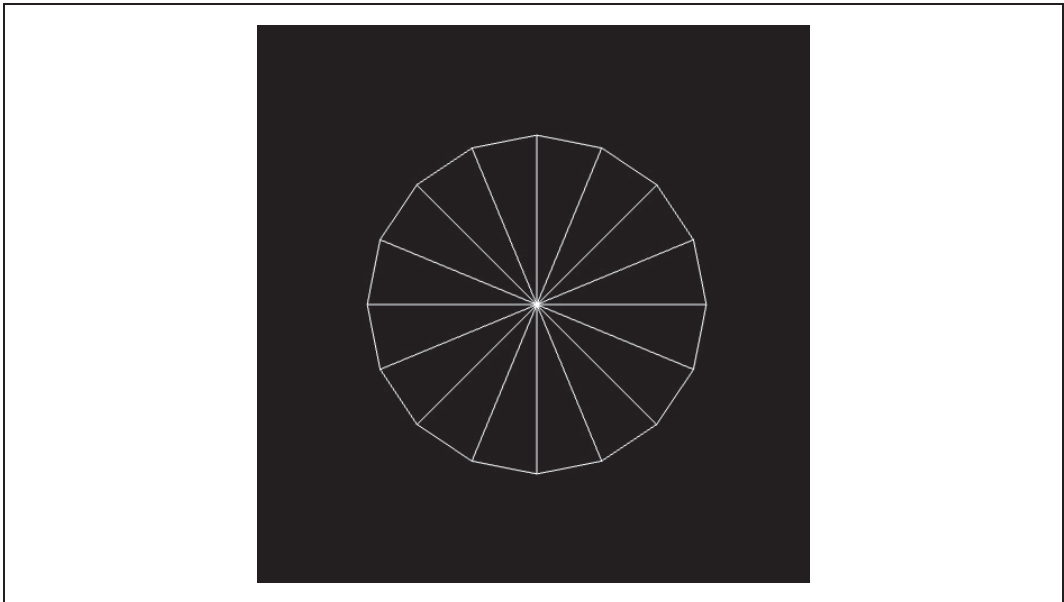
```

vertex.x = radius * Math.cos( segment );
vertex.y = radius * Math.sin( segment );

```

W rzeczywistości trójwymiarowe koło jest rozetą trójkątów stykających się wierzchołkami w jej środku. Przy użyciu odpowiedniej liczby takich trójkątów można uzyskać gładką krawędź obwodu, co pokazano na rysunku 4.4.

Pierwsza pętla oblicza tylko współrzędne  $x$  i  $y$  wierzchołków na obwodzie koła. Trzeba jeszcze utworzyć **bok** (wielokąt) reprezentujący każdy z tych trójkątów zbudowanych przez trzy wierzchołki: środek i dwa znajdujące się na obwodzie. Robi to druga pętla `for`, która tworzy dane i wstawia je do tablicy `this.faces`. Każdy bok zawiera indeksy trzech wierzchołków z tablicy `this.vertices` oznaczonych jako  $v1$ ,  $v2$  i  $v3$ . Wierzchołek  $v3$  ma zawsze wartość zero, ponieważ odpowiada środkowi. (Może pamiętasz z rozdziału 2., że w WebGL używa się funkcji `gl.drawElements()` do renderowania trójkątów przy użyciu tablicy indeksowanej. To samo dzieje się tutaj, tylko wewnątrz mechanizmów biblioteki `Three.js`).



Rysunek 4.4. Trójkąty składające się na obiekt `THREE.CircleGeometry`

W każdej z pętli pominęliśmy jeden szczegół: generowanie współrzędnych teksturowych. Biblioteka WebGL „nie wie”, jak mapować piksele tekstury na rysowane trójkąty, więc trzeba jej to podpowiedzieć. Pętle `for` generują współrzędne teksturowe, zwane również **współzrędnymi UV**, i zapisują je w tablicy `this.faceVertexUVs` w podobny sposób, jak generowały wartości wierzchołków.

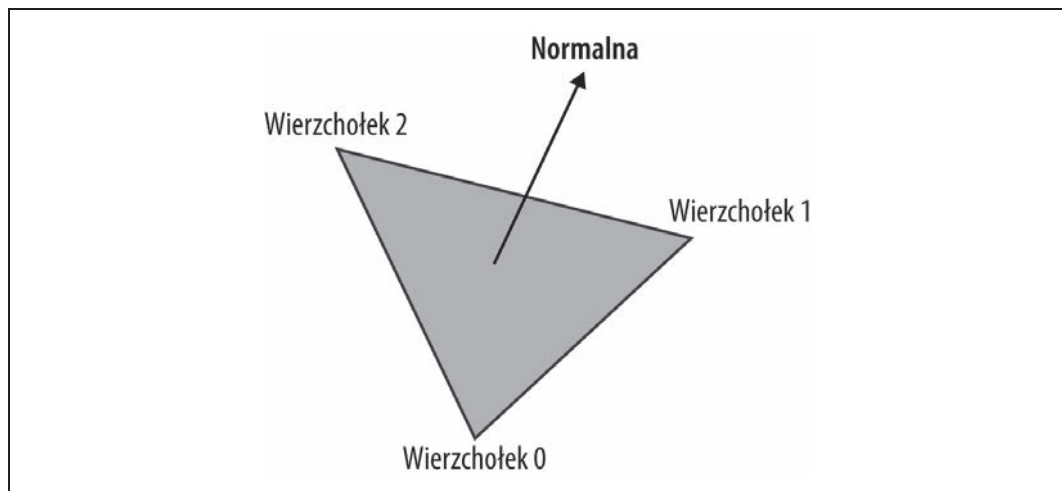
Przypomnę, że współrzędne teksturowe to zdefiniowane dla każdego wierzchołka pary liczb zmiennoprzecinkowych o wartościach najczęściej mieszczących się w przedziale od 0 do 1. Reprezentują one miejsca w danych mapy bitowej, a shader używa ich do pobierania z tej mapy informacji o pikselach. Współrzędne teksturowe dla pierwszych dwóch wierzchołków w każdym trójkącie obliczamy, podobnie jak dane tych wierzchołków, tzn. przy użyciu  $\cos$  i  $\sin$  dla wartości  $x$  i  $y$ , a wartości mieszczące się w przedziale  $[0..1]$  uzyskujemy przez podzielenie wartości wierzchołków przez promień koła. Współrzędna teksturowa trzeciego wierzchołka każdego trójkąta, odpowiadająca środkowi, to po prostu dwuwymiarowy środek obrazu  $(0.5, 0.5)$ .



Co oznaczają litery *UV*? Są to oznaczenia poziomej i pionowej osi dwuwymiarowej tekstury, używane, aby odróżniały się od współrzędnych *X*, *Y* i *Z* oznaczających osie trójwymiarowe obiektu. Dokładniejszy opis tych współrzędnych znajduje się w Wikipedii ([http://pl.wikipedia.org/wiki/UV\\_mapping](http://pl.wikipedia.org/wiki/UV_mapping)).

Po wygenerowaniu danych wierzchołków i UV biblioteka Three.js ma wszystko, co jest potrzebne do renderowania geometrii. Ostatnie wiersze kodu konstruktora `THREE.Circle` zawierają już tylko wywołania funkcji pomocniczych z bazowej klasy geometrii. Funkcja `computeCentroids()` określa geometryczny środek obiektu poprzez przejście za pomocą pętli wszystkich jego wierzchołków i uśrednienie pozycji.

Bardzo ważna jest funkcja `computeFaceNormals()`, ponieważ wektory normalne obiektu, albo w skrócie **normalne**, decydują o sposobie jego cieniowania. W przypadku płaskiego koła normalne każdego boku są prostopadłe do jego powierzchni. Funkcja `computeFaceNormals()` określa je, obliczając wektor prostopadły do płaszczyzny zdefiniowanej przez trzy wierzchołki wyznaczające każdy trójkąt koła. Na rysunku 4.5 przedstawiona jest normalna płaskiego cieniowanego trójkąta.



Rysunek 4.5. Normalna płaskiego cieniowanego trójkąta

Na koniec konstruktor inicjuje bryłę brzegową (ang. *bounding volume*) dla obiektu, w tym przypadku sferę, która jest przydatna do wybierania, usuwania niewidocznych powierzchni i wprowadzania różnych optymalizacji.

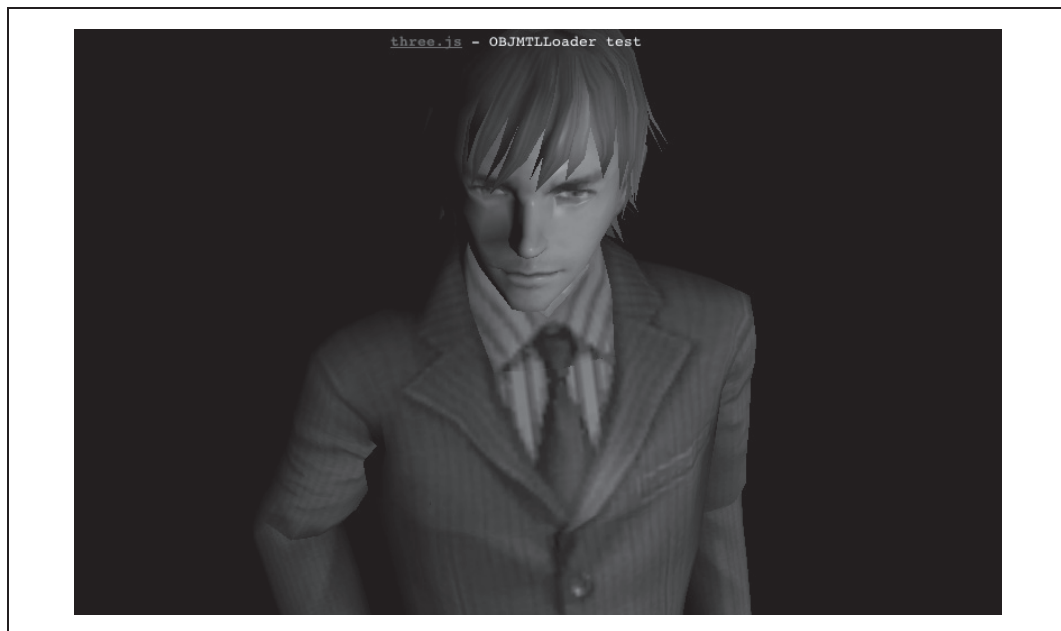
## Geometria buforowana do optymalizacji renderowania siatki

W bibliotece Three.js jakiś czas temu wprowadzono zoptymalizowaną wersję geometrii o nazwie `THREE.BufferGeometry`. Służy ona do przechowywania danych w tablicach typowanych, co pozwala uniknąć narzutu związanego z używaniem tablic liczb JavaScript. Ponadto klasa ta jest przydatna do przechowywania statycznej geometrii, np. tła i przedmiotów scen, gdy wiadomo, że wartości wierzchołków się nie zmieniają, a obiekty nie są animowane, więc nie zmieniają położenia na scenie. Jeśli ma się takie informacje, można utworzyć obiekt klasy `THREE.BufferGeometry`, a biblioteka Three.js wprowadzi szereg optymalizacji znacznie przyspieszających renderowanie tych obiektów.

## Importowanie siatek z programów do modelowania

Do tej pory uczyłeś się technik tworzenia geometrii za pomocą kodu źródłowego, ale w większości aplikacji stosuje się inne rozwiązanie, które polega na wczytywaniu trójwymiarowych modeli utworzonych w profesjonalnych programach do modelowania, takich jak 3ds Max, Maya czy Blender.

Biblioteka Three.js oferuje kilka narzędzi do konwersji i wczytywania plików modelowych. Prześledzimy przykład ładowania siatki — zarówno geometrii, jak i materiałów. Otwórz plik *examples/webgl\_loader\_obj\_mtl.html* z projektu Three.js, aby zobaczyć model widoczny na rysunku 4.6.



Rysunek 4.6. Siatka załadowana z pliku w formacie Wavefront OBJ

Widoczny na tym rysunku mężczyzna został zaimportowany z pliku w formacie Wavefront OBJ (o rozszerzeniu *.obj*). Jest to popularny format tekstowy używany przez wiele programów do modelowania. Pliki te są proste, ale mogą zawierać wyłącznie dane geometryczne: wierzchołki, normalne i współrzędne teksturowe. Dlatego firma Wavefront opracowała dodatkowy format plików dla materiałów, MTL, którego można używać do wiązania materiałów z obiektami w plikach OBJ.

Kod źródłowy mechanizmu Three.js wczytującego pliki w formacie OBJ (z materiałami) znajduje się w pliku *examples/js/loaders/OBJMTLLoader.js*. Jeśli przeanalizujesz sposób jego działania, zauważysz, że tworzy on obiekty `THREE.Geometry`, podobnie jak gotowe klasy geometrii i kształtów. Parser MTL tłumaczy opcje tekstowe znajdujące się w pliku MTL na materiały zrozumiałe dla Three.js. Następnie tworzony jest jeden obiekt `THREE.Mesh`, który można dodać do sceny.

Biblioteka Three.js zawiera przykładowe mechanizmy wczytujące dla wielu formatów plików. Większość formatów umożliwia definiowanie obiektów przy użyciu geometrii i materiałów, ale niektóre dają większe możliwości i umożliwiają np. reprezentowanie całych scen, kamer, świateł oraz animacji. Szczegółowy opis tych formatów (i narzędzi do tworzenia plików) znajduje się w rozdziale 8., poświęconym procesowi tworzenia treści.





Większość kodu dotyczącego wczytywania plików znajduje się poza rdzeniem biblioteki Three.js, w przykładach. Dlatego każdy mechanizm wczytujący należy dołączyć do projektu osobno, kiedy jest potrzebny. Jeśli nie napisano inaczej, narzędzia wczytujące podlegają takiej samej licencji, co biblioteka, więc można ich używać bez ograniczeń we własnych programach.

## Graf sceny i hierarchia przekształceń

W WebGL nie ma standardowej notacji do określania struktury sceny trójwymiarowej. Biblioteka ta to po prostu API do rysowania na kanwie i nic więcej, a struktura sceny jest sprawą konkretnej aplikacji. W Three.js istnieje model do tworzenia struktury sceny oparty na ugruntowanej koncepcji **grafu sceny** (ang. *scene graph*). Graf sceny to zbiór trójwymiarowych obiektów przechowywanych w hierarchii obiekt nadrzędny-obiekt podrzędny, której podstawę stanowi **korzeń**. Aplikacja renderuje graf sceny poprzez wyrenderowanie korzenia, a następnie rekurencyjnie dodaje jego obiekty podrzędne.

## Zarządzanie sceną za pomocą grafu sceny

Grafy sceny są najbardziej przydatne do reprezentowania złożonych obiektów w hierarchiach. Wyobraź sobie np. robota, pojazd albo układ słoneczny. Każdy z tych obiektów składa się z pewnej liczby części — kończyn, nóg, satelitów — z których każda zachowuje się we właściwy sobie sposób. Graf sceny umożliwia, w zależności od potrzeb, traktowanie tych wszystkich obiektów jak indywidualnych części albo jak stanowiących całość grup. Nie jest to jedynie udogodnienie organizacyjne, lecz także technika umożliwiająca skorzystanie z tzw. **hierarchii przekształceń** (ang. *transform hierarchy*), w której obiekt podrzędny dziedziczy informacje dotyczące przekształceń trójwymiarowych (np. przesunięcia, obrotu, skalowania) po obiekcie nadrzędnym. Powiedzmy przykładowo, że tworzymy animację samochodu poruszającego się po określonej ścieżce. Bryła samochodu przesuwa się w wyznaczonym kierunku, ale jego koła kręcą się w sposób niezależny od niej. Kiedy zdefiniujemy koła jako **obiekty podrzędne** względem bryły samochodu, sprawimy, że będą one poruszać się przez trójwymiarową przestrzeń wraz z całym samochodem. W ten sposób unikniemy konieczności animowania ruchu kół i wystarczy, że zdefiniujemy ich rotację.

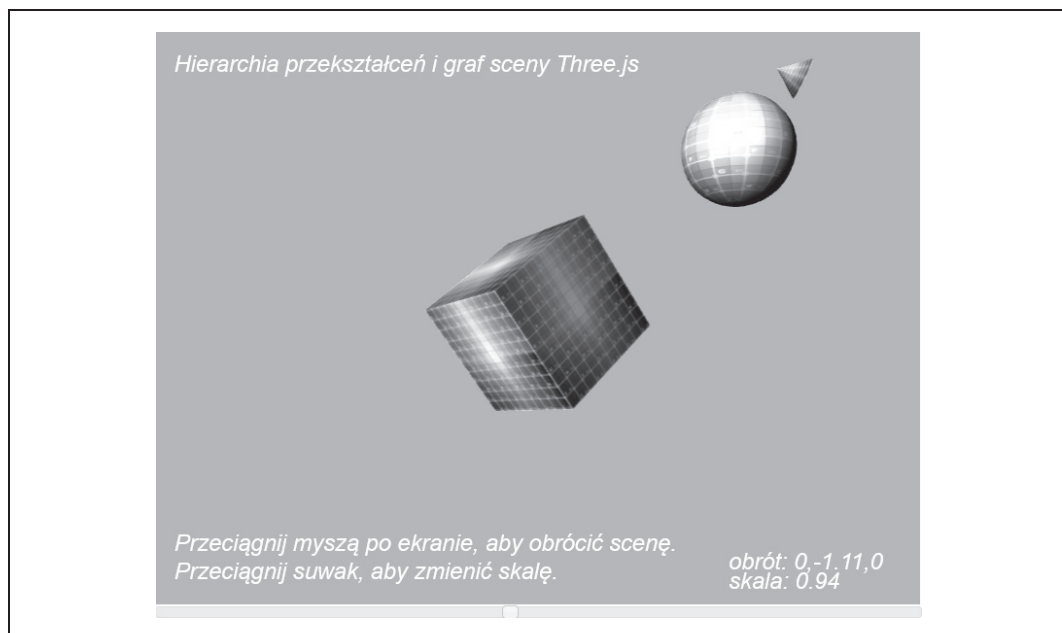


Określenie **graf sceny** w Three.js nie jest najlepsze. W technikach renderowania grafiki trójwymiarowej graf to pojęcie odnoszące się do **skierowanego grafu acyklicznego** (DAG — ang. *directed acyclic graph*), matematycznego bytu oznaczającego zbiór węzłów w relacji rodzic-dziecko, w której każde dziecko może mieć wielu rodziców. W grafie sceny biblioteki Three.js obiekty mogą mieć tylko jednego rodzica (obiekt nadrzędny). Podczas gdy zasadniczo nie jest błędem nazywanie tej hierarchii grafem, lepsze byłoby określenie jej jako **drzewo**. Więcej informacji na temat grafów w matematyce znajduje się w Wikipedii ([http://en.wikipedia.org/wiki/Directed\\_acyclic\\_graph](http://en.wikipedia.org/wiki/Directed_acyclic_graph)).

## Grafy sceny w Three.js

Podstawowy obiekt grafu sceny w bibliotece Three.js jest typu `THREE.Object3D` (plik `src/core/Object3D.js` w źródłach projektu Three.js). Klasa ta stanowi bazę dla typów wizualnych, takich jak siatki, linie i systemy cząsteczek, również jest używana do grupowania innych obiektów w hierarchię grafu sceny.

Każdy obiekt klasy `Object3D` we własnościach `position` (przesunięcie), `rotation` oraz `scale` zawiera informacje dotyczące przekształceń. Ustawiając ich wartości, można dany obiekt przesunąć, obrócić i przeskalować. Jeżeli obiekt ma potomków (dzieci i ich dzieci), dziedziczą one jego ustawienia przekształceń. Jeśli własności przekształceń obiektów podrzędnych zostaną zmienione, połączą się z ustawieniami obiektu nadrzędnego i ma to zastosowanie do samego dołu hierarchii. Oto przykład. Na rysunku 4.7 widać bardzo prostą hierarchię przekształceń. Kostka (`cube`) jest bezpośrednim potomkiem grupy kostek (`cubeGroup`). Grupa sfer (`sphereGroup`) również jest bezpośrednim potomkiem grupy kostek (a więc obiektem równorzędnym z kostką). Natomiast sfera (`sphere`) i stożek (`cone`) to potomkowie grupy sfer.



Rysunek 4.7. Graf sceny i hierarchia przekształceń Three.js

Przykład przedstawiony na powyższym rysunku znajduje się w pliku `r4/threejsscene.html`. Wyświetla on w oknie przeglądarki kostkę, sferę i stożek; każdy z tych obiektów obraca się w miejscu. Sceną można poruszać, klikając na niej i przeciągając ją myszą, oraz można zmieniać jej skalę za pomocą znajdującego się na dole suwaka.

Na listingu 4.2 przedstawiony jest kod źródłowy dotyczący tworzenia oraz obsługi tego grafu sceny i jego hierarchii przekształceń. Najważniejsze fragmenty zostały pogrubione. Aby zbudować scenę, utworzono obiekt klasy `Object3D` o nazwie `cubeGroup`, który służy jako korzeń całego grafu. Następnie bezpośrednio do niego dodano siatkę kostki oraz kolejny obiekt klasy `Object3D`, o nazwie `sphereGroup`. Do tego nowego obiektu dodano stożek i sferę. Ponadto przesunięto nieco stożek do góry i oddalono go od sfery za pomocą odpowiedniego ustawienia własności `position`.

Listing 4.2. Scena z hierarchią przekształceń

```
function animate() {  
  
    var now = Date.now();  
    var deltat = now - currentTime;
```

```

currentTime = now;
var fract = deltat / duration;
var angle = Math.PI * 2 * fract;

// Obraca kostkę wokół osi Y.
cube.rotation.y += angle;

// Obraca grupę sfery wokół osi Y.
sphereGroup.rotation.y -= angle / 2;

// Obraca stożek wokół osi X (do przodu).
cone.rotation.x += angle;
}

function createScene(canvas) {

// Tworzy renderer Three.js i wiąże go z kanwą.
renderer = new THREE.WebGLRenderer( { canvas: canvas, antialias: true } );

// Ustawia rozmiar obszaru widoku.
renderer.setSize(canvas.width, canvas.height);

// Tworzy nową scenę Three.js.
scene = new THREE.Scene();

// Dodaje kamerę, aby można było oglądać scenę.
camera = new THREE.PerspectiveCamera( 45, canvas.width / canvas.height,
1, 4000 );
camera.position.z = 10;
scene.add(camera);

// Tworzy grupę do przechowywania wszystkich obiektów.
cubeGroup = new THREE.Object3D;

// Dodaje światło kierunkowe, aby pokazać obiekty.
var light = new THREE.DirectionalLight( 0xffffff, 1.5);
// Pozycjonuje światło od sceny, aby wskazywało na jej początek.
light.position.set(.5, .2, 1);
cubeGroup.add(light);

// Tworzy teksturowany materiał typu Phong dla kostki.
// Najpierw tworzy teksturę.
var mapUrl = "../images/ash_uvgrid01.jpg";
var map = THREE.ImageUtils.loadTexture(mapUrl);
var material = new THREE.MeshPhongMaterial({ map: map });

// Tworzy geometrię kostki.
var geometry = new THREE.CubeGeometry(2, 2, 2);

// Wstawia geometrię kostki i materiał do siatki.
cube = new THREE.Mesh(geometry, material);

// Pochyla siatkę w kierunku użytkownika.
cube.rotation.x = Math.PI / 5;
cube.rotation.y = Math.PI / 5;

// Dodaje siatkę kostki do grupy.
cubeGroup.add( cube );

// Tworzy grupę dla sfery.
sphereGroup = new THREE.Object3D;
cubeGroup.add(sphereGroup);

```

```

// Przesuwa grupę sfery do góry i tyłu względem kostki.
sphereGroup.position.set(0, 3, -4);

// Tworzy geometrię sfery.
geometry = new THREE.SphereGeometry(1, 20, 20);

// Wstawia geometrię sfery i materiał do siatki.
sphere = new THREE.Mesh(geometry, material);

// Dodaje siatkę sfery do grupy.
sphereGroup.add( sphere );

// Tworzy geometrię stożka.
geometry = new THREE.CylinderGeometry(0, .333, .444, 20, 5);

// Wstawia geometrię stożka i materiał do siatki.
cone = new THREE.Mesh(geometry, material);

// Przesuwa stożek do góry i oddala go nieco od sfery.
cone.position.set(1, 1, -.667);

// Dodaje siatkę stożka do grupy.
sphereGroup.add( cone );

// Dodaje grupę do sceny.
scene.add( cubeGroup );
}

function rotateScene(delta)
{
    cubeGroup.rotation.y += delta / 100;
    $("#rotation").html("obrót: 0," + cubeGroup.rotation.y.toFixed(2) + ",0");
}

function scaleScene(scale)
{
    cubeGroup.scale.set(scale, scale, scale);
    $("#scale").html("skala: " + scale);
}

```

Kolej na animacje. W funkcji `animate()` widać, że gdy obraca się obiekt `sphereGroup`, obraca się sfera oraz stożek krąży w przestrzeni wokół niej. Zwróć uwagę, że nie ma kodu obracającego siatkę sfery ani poruszającego stożkiem. Obiekty te automatycznie odziedziczyły swoje przekształcenia po `sphereGroup`. Także implementacja interakcji ze sceną w celu jej obrócenia i skalowania jest banalnie prosta. Po prostu ustawiliśmy własności `rotation` i `scale` obiektu `cubeGroup`, a zmiany te zostały przez bibliotekę automatycznie przekazane do obiektów podrzędnych.

## Reprezentowanie przesunięcia, obrotu i skali

W bibliotece Three.js przekształcenia wykonuje się przy użyciu obliczeń arytmetycznych na trójwymiarowych macierzach, więc nic dziwnego, że składnikami przekształceń obiektów klasy `Object3D` są trójwymiarowe wektory: `position`, `rotation` oraz `scale`. Znaczenie wartości wektora `position` jest oczywiste: są to składniki  $x$ ,  $y$  i  $z$  określające jego przesunięcie względem początku obiektu. Wektor `scale` też jest prosty: wartości  $x$ ,  $y$  i  $z$  wykorzystuje się do pomnożenia skali macierzy przekształcenia w każdym z trzech wymiarów.

Natomiast składniki wektora `rotation` wymagają nieco szerszego objaśnienia. Każda z wartości  $x$ ,  $y$  i  $z$  definiuje obrót wokół odpowiedniej osi. Przykładowo wartość  $(0, \text{Math.PI}/2, 0)$  oznacza obrót o 90 stopni wokół osi  $y$  (zwróć uwagę, że stopnie są wyrażone w radianach, a więc

$2\pi$  wynosi 360 stopni). Ten rodzaj obrotu — złożenie obrotów wokół osi  $x$ ,  $y$  i  $z$  — nazywa się **kątem Eulera**. Podejrzewam, że Mr.doob wybrał właśnie tę technikę jako podstawową reprezentację, ponieważ jest intuicyjna i łatwa w zastosowaniu. Jednak wiążą się z nią pewne matematyczne problemy. Dlatego w bibliotece Three.js do określania kątów można również używać **kwaternionów**, które są pozbawione problemów kątów Eulera, ale za to wymagają więcej pracy programistycznej. Kwaterniony są precyzyjne, ale trudniejsze w użyciu.

Wewnętrznie biblioteka Three.js tworzy macierz z własności przekształceń każdego obiektu klasy `Object3D`. Macierze obiektów mających wielu przodków są pomnożone przez macierze tych przodków w sposób rekurencyjny, tzn. Three.js przechodzi w dół do każdego liścia drzewa grafu sceny i oblicza macierz przekształcenia dla każdego obiektu na scenie w każdym przebiegu renderowania. W przypadku głębokich i skomplikowanych grafów obliczeń do wykonania może być bardzo dużo i dlatego dla obiektów klasy `Object3D` zdefiniowano własność `matrixAutoUpdate`, którą można ustawić na `false`, aby uniknąć narzutu. Niestety, korzystanie z tego udogodnienia może powodować subtelne błędy („Dlaczego moja animacja się nie aktualizuje?”), więc należy z niego korzystać bardzo ostrożnie.

## Materiały

Kształty, które oglądamy w aplikacjach WebGL, mają pewne właściwości powierzchni, takie jak kolor, cieniowanie i tekstura (mapa bitowa). Tworzenie tych właściwości przy użyciu niskopoziomowych wywołań API WebGL wymaga pisania shaderów w języku GLSL oraz posiadania zaawansowanych umiejętności programistycznych nawet wtedy, kiedy tylko chce się zrobić coś prostego. Na szczęście, biblioteka Three.js zawiera gotowy do użytku kod GLSL w obiektach zwanych **materiałami** (ang. *materials*).

## Standardowe materiały siatki

Przypomnę, że posługujący się biblioteką WebGL programista, który chce narysować jakikolwiek obiekt, musi dostarczyć shader. Z pewnością zauważyłeś też, że do tej pory w tym rozdziale nie pokazałem jeszcze ani jednego wiersza kodu shadera. To nie jest niedopatrzenie. Biblioteka Three.js tworzy shadery automatycznie, ponieważ zawiera zbiór gotowych fragmentów kodu GLSL przeznaczonych do różnych zastosowań.

Tradycyjne biblioteki oparte na grafach scen i popularne programy do modelowania reprezentują shadery przy użyciu tzw. **materiałów**. Materiał to obiekt definiujący właściwości powierzchni trójwymiarowej siatki, punktu lub linii, takie jak kolor, przezroczystość oraz połyskliwość. Materiały mogą też zawierać tekstury, czyli mapy bitowe nawinięte na powierzchnię obiektów. Właściwości materiałów łączą się z danymi wierzchołków siatki, informacjami dotyczącymi oświetlenia na scenie oraz pozycją kamery i innymi globalnymi właściwościami, w efekcie czego powstaje ostateczna postać każdego obiektu.

Biblioteka Three.js obsługuje najczęściej używane typy materiałów w klasach `MeshBasicMaterial`, `MeshPhongMaterial` oraz `MeshLambertMaterial`. (Przedrostek `Mesh` oznacza, że obiekty tych typów powinny być używane w połączeniu z obiektami siatki, a więc nie z liniami czy cząsteczkami; istnieją też specjalne typy materiałów przeznaczone do użytku z innymi typami obiektów. Kompletny i najbardziej aktualny zestaw obiektów znajduje się w kodzie źródłowym w folderze `src/materials`). Te trzy typy materiałów implementują odpowiednio trzy poniższe, dobrze znane techniki materiałowe.

## Brak oświetlenia (lub oświetlenie gotowe)

W tym typie materiału do renderowania powierzchni obiektu używane są tylko tekstury, kolory oraz poziom przezroczystości. Nie jest brane pod uwagę oświetlenie sceny. Jest to doskonały rodzaj materiału do renderowania płaskich obiektów i rysowania prostych obiektów geometrycznych bez cieniowania. Ponadto można go używać, gdy oświetlenie obiektów jest wliczane w tekstury przed uruchomieniem programu (np. przez narzędzie do modelowania trójwymiarowego), a więc nie musi być obliczane przez renderer.

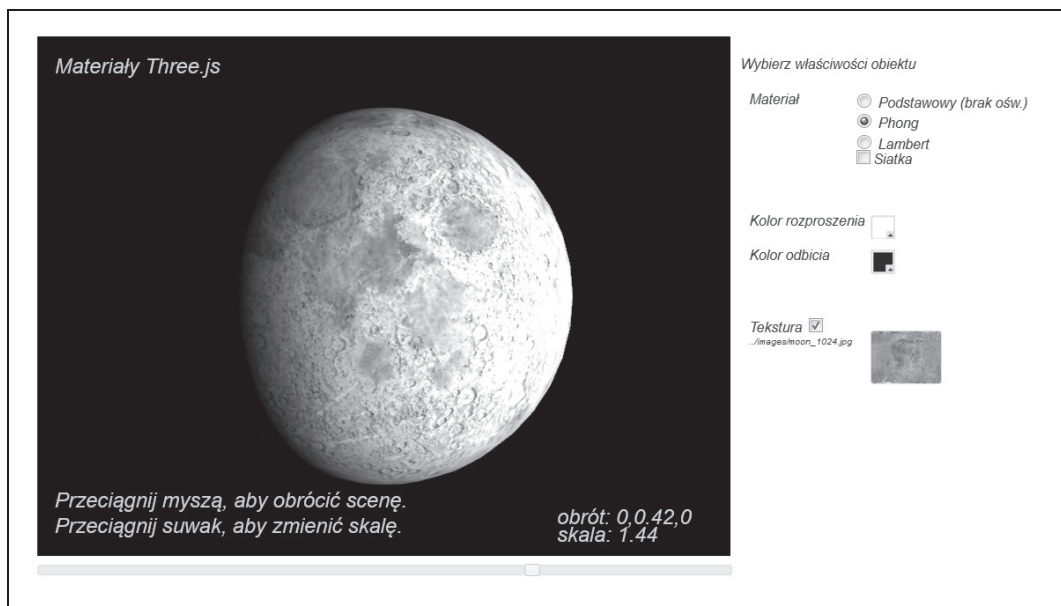
## Cieniowanie Phong

Ten typ materiału implementuje prosty, ale dość realistyczny model cieniowania i jest bardzo wydajny. Jest najczęściej wybierany, gdy trzeba szybko i bez nadmiaru pracy uzyskać klasyczny cieniowany wygląd. Wykorzystuje się go w wielu grach i aplikacjach. Obiekty cieniowane tą techniką mają jasno oświetlone obszary (**refleksy**) w miejscach, na które bezpośrednio pada światło, są dobrze oświetlone na krawędziach zwróconych w kierunku światła oraz mają ciemne cienie na krawędziach, które są odwrócone od światła.

## Cieniowanie Lamberta

W cieniowaniu Lamberta jasność powierzchni dla obserwatora jest taka sama, niezależnie od kąta patrzenia. Bardzo dobrze sprawdza się w przypadku chmur, które rozpraszają dochodzące do nich światło, oraz satelitów, takich jak księżyc, które mają wysokie **albedo** (odbijają dużo światła od powierzchni).

Aby zobaczyć, jak wyglądają różne rodzaje materiałów, otwórz plik `r4/threematerials.html`. Na rysunku 4.8 pokazano jasno oświetloną sferę z nałożoną teksturą imitującą powierzchnię księżyc. Księżyc jest bardzo dobrym obiektem do przedstawienia różnic między różnymi typami materiałów. Za pomocą przełączników można wybierać rodzaj materiału (np. *Phong* albo *Lambert*), aby sprawdzić, który jest w tym przypadku lepszy. Wybierając ustawienie *Podstawowy*, można zobaczyć samą teksturę, bez oświetlenia.



Rysunek 4.8. Standardowe materiały siatki biblioteki Three.js: Podstawowy (brak oświetlenia), Phong i Lambert

Zmień kolory rozproszenia i odbicia, aby zobaczyć, co się stanie. **Kolor rozproszenia** materiału określa, jak bardzo obiekt odbija źródła światła rzucające promienie w określonym kierunku — tzn. kierunkowe, punktowe i reflektorowe (opis rodzajów oświetlenia znajduje się dalej w tym rozdziale). **Kolor odbicia** łączy się ze światłami sceny w celu utworzenia refleksów odbitych od wierzchołków obiektu skierowanych ku źródłom światła. (Refleksy są widoczne tylko na materiałach typu Phong, w innych typach materiałów nie są obsługiwane). Ponadto wyłącz teksturę, usuwając zaznaczenie pola wyboru *Tekstura*, aby zobaczyć, jaki wpływ mają materiały na samą geometrię bryły. Na koniec zobacz też, jaki wpływ mają różne ustawienia na samą siatkę.

## Dodawanie realizmu poprzez zastosowanie kilku tekstur

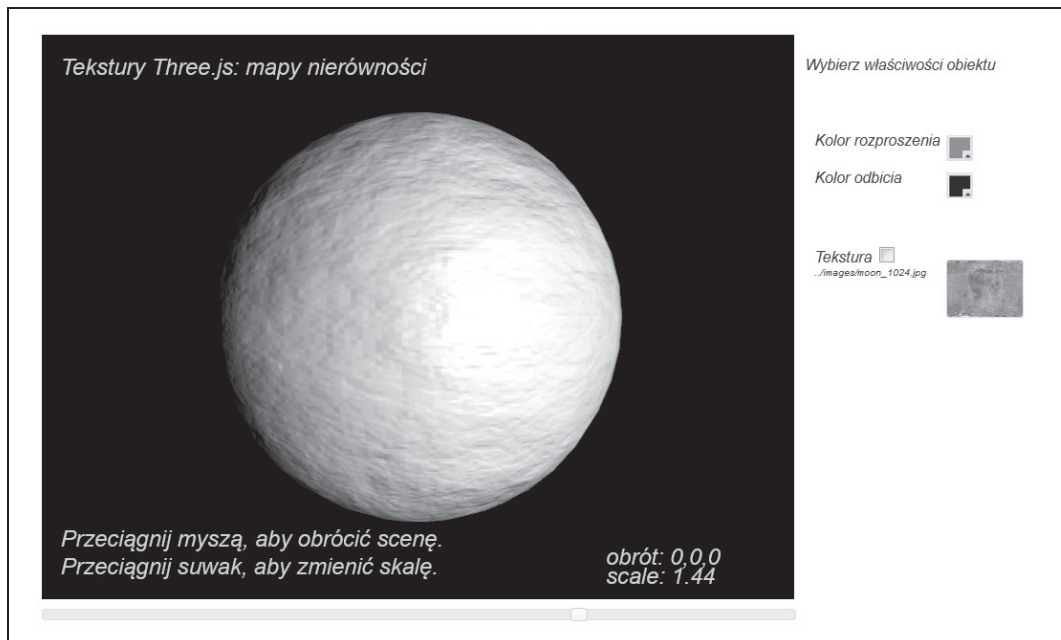
W poprzednim przykładzie pokazałem, jak zdefiniować wygląd powierzchni obiektu za pomocą tekstury. Większość typów materiałów w bibliotece Three.js umożliwia stosowanie wielu tekstur, co pozwala osiągnąć bardziej realistyczny efekt. W technice tej, zwanej **multiteksturowaniem**, chodzi o zwiększenie realizmu bez wykonywania nadmiernej ilości dodatkowych obliczeń. Alternatywą jest użycie większej liczby wielokątów lub wyrenderowanie obiektu w kilku przebiegach. Oto kilka przykładów ilustrujących najczęściej stosowane techniki multiteksturowania obsługiwane przez Three.js.

**Mapy nierówności** to mapy bitowe służące do przemieszczania wektorów normalnych powierzchni siatki w celu, jak sama nazwa wskazuje, utworzenia imitacji nierównej nawierzchni. Wartości pikseli mapy bitowej są traktowane nie jako wartości kolorów, lecz jako wysokości. Przykładowo wartość zero oznacza brak przemieszczenia względem powierzchni, a wartości różne od zera mogą oznaczać odsunięcie od powierzchni. Najczęściej ze względu na wydajność używa się jednokanałowych czarnych i białych map bitowych, chociaż można też wykorzystać mapy RGB, aby dostarczyć więcej szczegółów w większej liczbie wartości. Używa się map bitowych zamiast trójwymiarowych wektorów, ponieważ są bardziej kompaktowe i pozwalają na szybkie obliczanie przemieszczenia normalnych w kodzie shadera. Jeśli chcesz zobaczyć efekt działania mapy nierówności, otwórz plik *r4/threejsbumpmap.html* (rysunek 4.9). Włącz i wyłącz główną teksturę księżycy oraz pozmieniam wartości kolorów rozproszenia i odbicia. Zauważysz, że efekty wprawdzie są ciekawe, ale mogą powstawać nieprzyjemne artefakty. Mimo to, mapy nierówności są dobrym sposobem na zwiększenie realizmu obrazu.

Używanie map nierówności w bibliotece Three.js jest bardzo łatwe. Wystarczy przekazać teksturę we własności `bumpMap` obiektu parametrów przekazywanego do konstruktora klasy `THREE.MeshPhongMaterial`.

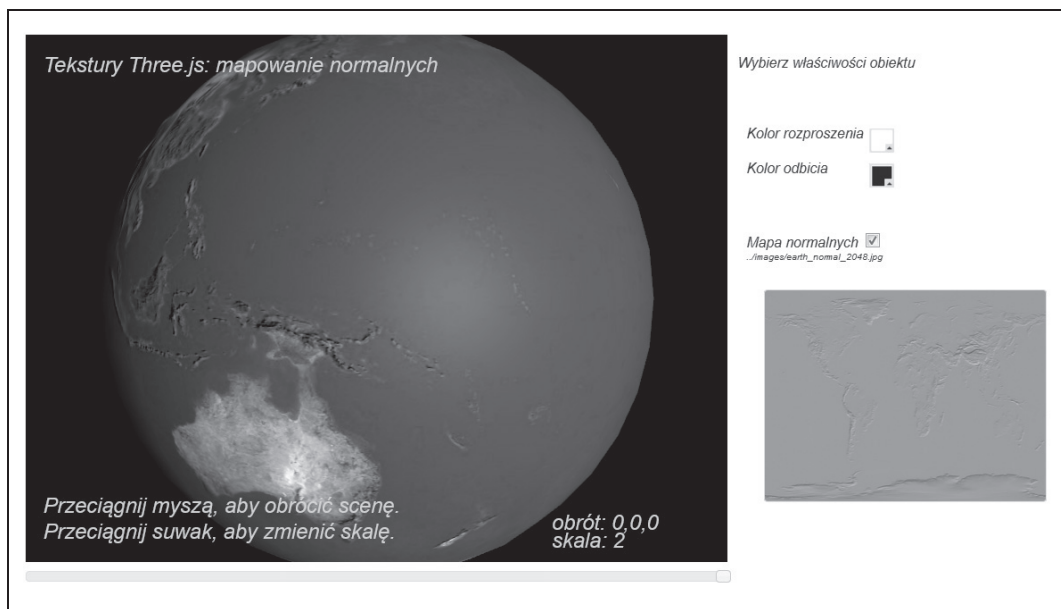
```
material= new THREE.MeshPhongMaterial({map: map,  
  bumpMap: bumpMap});
```

**Mapy normalnych** to technika umożliwiająca przekazanie jeszcze większej ilości szczegółów dotyczących powierzchni niż mapy nierówności i również nie wymaga dodawania wielokątów. Mapy normalnych są zazwyczaj większe i wymagają większej mocy przetwarzania niż mapy nierówności, ale dodatkowe uzyskiwane dzięki nim szczegóły mogą być tego warte. W mapach takich koduje się wartości wektorów normalnych w mapach bitowych jako dane RGB, zazwyczaj stosując znacznie większą rozdzielczość niż w danych wierzchołków siatki. Shader wprowadza te informacje normalnych do swoich obliczeń oświetlenia (wraz z bieżącymi wartościami kamery i źródła światła) w celu otrzymania szczegółowej powierzchni. Efekt działania mapy normalnych można obejrzeć, otwierając plik *r4/threejsnormalmap.html*. Użyta mapa normalnych



Rysunek 4.9. Mapowanie nierówności

jest widoczna na dole po prawej (rysunek 4.10). Zwróć uwagę na zarysy wzniesień Ziemi. Włącz i wyłącz mapę normalnych, aby zobaczyć, jak wiele szczegółów dzięki niej zostaje dodanych do obrazu. To zadziwiające, jak bardzo mapa bitowa może zmienić taki prosty obiekt jak sfera.



Rysunek 4.10. Ziemia z mapą normalnych

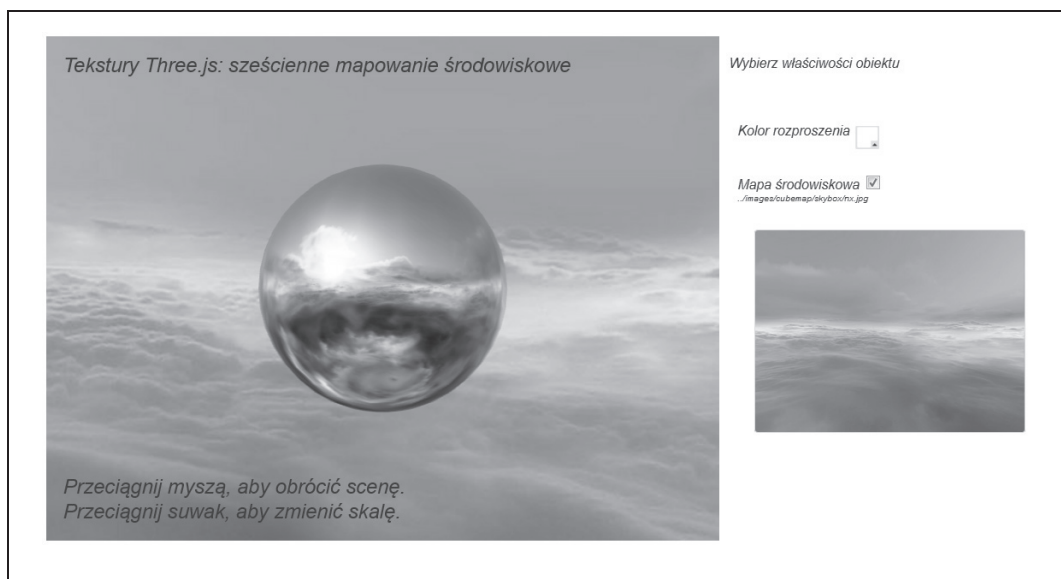


W bibliotece Three.js mapy normalnych są łatwe w użyciu. Wystarczy przekazać teksturę we własności `normalMap` obiektu parametrów przekazywanego do konstruktora klasy `THREE.MeshPhongMaterial`.

```
Material = new THREE.MeshPhongMaterial({ map: map,  
normalMap: normalMap});
```

**Mapowanie środowiskowe** to kolejna technika umożliwiająca zastosowanie dodatkowych tekstur w celu zwiększenia realizmu obrazu. W odróżnieniu od map nierówności i normalnych, w których dodaje się szczegóły powierzchni przez pozorne zmiany w geometrii, w mapach środowiskowych symuluje się refleksy od obiektów w otaczającym środowisku.

Przykład zastosowania mapowania środowiskowego można obejrzeć, otwierając plik `r4/threejsenvmap.html`. Przeciągnij myszą w obszarze treści, aby obrócić scenę, oraz pokręć kółkiem myszy, aby ją zmniejszyć lub powiększyć. Zwróć uwagę, jak obraz znajdujący się na powierzchni sfery sprawia wrażenie, jakby odbijał otaczające niebo (rysunek 4.11). W istocie nie takiego nie ma miejsca. Po prostu na sferze wyrenderowano piksele z tej samej tekstury, która jest nałożona wewnątrz kostki użytej jako tło sceny. Sztuczka polega na tym, że na materiale sfery użyto **tekstury sześcienniej**, czyli utworzonej z sześciu odrębnych map bitowych połączonych w jeden obraz wewnątrz sześcianu. W tym przykładzie utworzono w ten sposób tło ilustrujące niebo. Poszczególne pliki składające się na ten produkt znajdują się w folderze `images/cubemap/skybox`. Ten rodzaj mapowania środowiskowego nazywa się **sześciennym mapowaniem środowiskowym**, ponieważ używa się w nim tekstur sześciennych.



Rysunek 4.11. Sześciennie mapy środowiskowe umożliwiają uzyskanie realistycznych tła scen i efektów odbicia

Używanie tekstur sześciennych w Three.js nie jest tak łatwe jak map nierówności i normalnych. Najpierw należy utworzyć teksturę sześcienną przy użyciu funkcji `ImageUtils.loadTextureCube()`, której przekazuje się adresy URL sześciu obrazów. Następnie ustawia się ją jako wartość parametru `envMap` obiektu `MeshPhongMaterial` przy wywoływaniu konstruktora. Ponadto określa się wartość `reflectivity` definiującą, jaka ilość tekstury sześcienniej ma zostać „odbita” na materiale.

W tym przypadku podana została nieco większa wartość niż domyślna 1, aby mapa była dobrze widoczna.

```
var path = "../images/cubemap/skybox/";

var urls = [ path + "px.jpg", path + "nx.jpg",
             path + "py.jpg", path + "ny.jpg",
             path + "pz.jpg", path + "nz.jpg" ];

envMap = THREE.ImageUtils.loadTextureCube( urls );
materials["phong-envmapped"] = new THREE.MeshBasicMaterial(
  { color: 0xffffffff,
    envMap : envMap,
    reflectivity:1.3 } );
```

Jest jeszcze jedna rzecz do zrobienia. Aby efekt był realistyczny, odbijana mapa bitowa musi zgadzać się z otaczającym ją środowiskiem. Żeby tak było, tworzymy **pudło nieba** (ang. *skybox*), czyli duży sześcian wyłożony od środka teksturą z tych samych obrazów reprezentujących panoramę nieba. Zrobienie tego normalnie wymagałoby bardzo dużo pracy, ale — na szczęście — biblioteka Three.js zawiera wbudowaną funkcję pomocniczą, która nas wyręczy. Oprócz standardowych materiałów Basic, Phong i Lambert, biblioteka Three.js zawiera w THREE.ShaderLib zbiór shaderów pomocniczych. Wystarczy utworzyć siatkę z geometrii sześcianu i jako materiału użyć shadera cube. Shader ten automatycznie zajmie się renderowaniem wewnątrz kostki przy użyciu tej samej tekstury, którą wykorzystaliśmy do utworzenia mapy środowiskowej.

```
// Tworzy pudło nieba.
var shader = THREE.ShaderLib[ "cube" ];
shader.uniforms[ "tCube" ].value = envMap;

var material = new THREE.ShaderMaterial( {

  fragmentShader: shader.fragmentShader,
  vertexShader: shader.vertexShader,
  uniforms: shader.uniforms,
  side: THREE.BackSide
} ),

mesh = new THREE.Mesh(new THREE.CubeGeometry( 500, 500, 500 ), material);
scene.add( mesh );
```

## Oświetlenie

Światła oświetlają przedmioty znajdujące się na trójwymiarowej scenie. W bibliotece Three.js znajdują się definicje kilku klas oświetleniowych, podobnych do tych, które można znaleźć w typowych narzędziach do modelowania i bibliotekach grafów scen. Do najczęściej używanych rodzajów oświetlenia należą: **światło kierunkowe**, **światło punktowe**, **światło reflektowane** oraz **światło otaczające**.

### Światło kierunkowe

Światło kierunkowe rzuca równoległe promienie w określonym, jednym kierunku. Nie ma pozycji, a jedynie kierunek, kolor i intensywność. (W istocie w bibliotece Three.js światła kierunkowe *mają* pozycję, ale jest ona używana wyłącznie do obliczania kierunku światła przy użyciu drugiego wektora, określającego pozycję docelową. Jest to niezgrabne i nieintuicyjne rozwiązanie, które — mam nadzieję — Mr.doob w przyszłości poprawi).

## Światło punktowe

Światło punktowe ma pozycję, ale nie ma kierunku. Rzuca promienie we wszystkich kierunkach na określoną odległość.

## Światło reflektorowe

Światło reflektorowe ma pozycję i kierunek. Ponadto można określać jego parametry, takie jak rozmiar (kąąt) wewnętrznego i zewnętrznego stożka reflektora oraz odległość, na jaką sięga oświetlenie.

## Światło otaczające

Światło otaczające nie ma pozycji ani kierunku. Oświetla scenę równomiernie na całej powierzchni.

Wszystkie typy oświetlenia w Three.js mają własności `intensity` (definiuje intensywność światła) oraz `color` (wartość RGB).

Światła nie działają w pojedynkę. Ich wartości komponują się z właściwościami materiałów, w efekcie czego powstaje ostateczna postać powierzchni. Materiały `MeshPhongMaterial` i `MeshLambertMaterial` definiują następujące własności.

`color`

Własność zwana także **kolorem rozproszonym** (ang. *diffuse color*) określa, jaką ilość światła świecącego w określonym kierunku (kierunkowego, punktowego, reflektorowego) odbija obiekt.

`ambient`

Ilość otaczającego światła sceny odbijana przez obiekt.

`emissive`

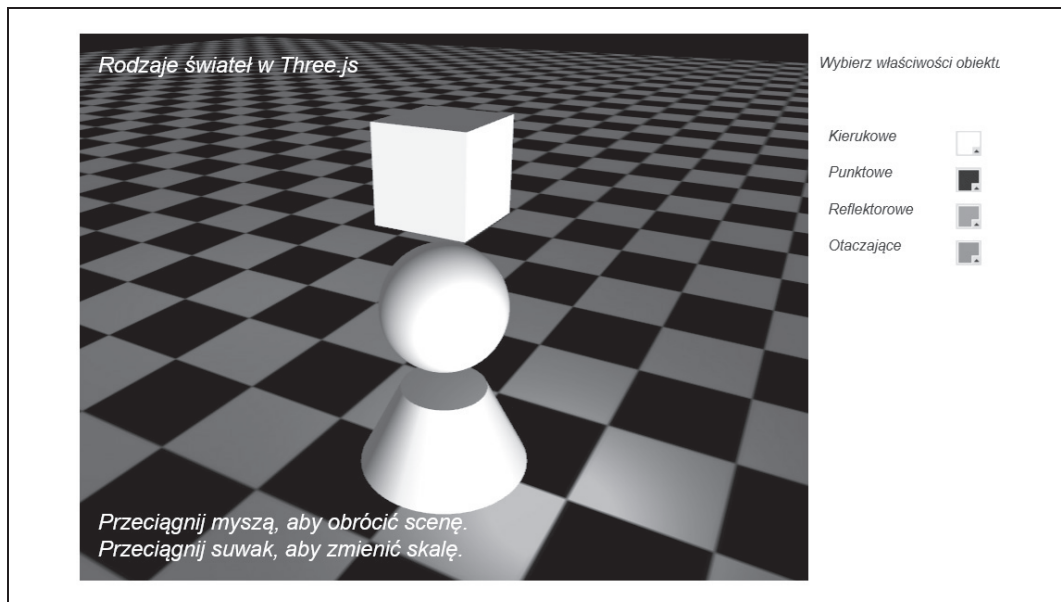
Ta własność materiału określa kolor emitowany przez obiekt, niezależnie od występujących na scenie źródeł światła.

Ponadto materiał `MeshPhongMaterial` obsługuje jeszcze kolor `specular` (refleks), który komponuje się z oświetleniem sceny w celu utworzenia refleksów odbitych od wierzchołków obiektu zwróconych ku źródłom światła.

Przypomnę tu, że `MeshBasicMaterial` w ogóle ignoruje światło.

Na rysunku 4.12 przedstawiono eksperyment oświetleniowy zbudowany przy użyciu podstawowych typów oświetlenia. Aby go uruchomić, otwórz plik `r4/threejslights.html`. Scena zawiera cztery źródła światła, po jednym każdego typu, ma tło pokryte teksturą w czarno-białą kratę oraz zawiera trzy proste białe bryły geometryczne, na których można obserwować efekt działania różnych światel. Za pomocą próbników kolorów można zmieniać kolorystykę światel. Ustaw czarny kolor światła, a zobaczysz, że oświetlenie zostanie całkowicie wyłączone. Przeciągnij myszą po obszarze treści, aby obrócić scenę i zobaczyć efekt działania światel na różne części modelu.

Na poniższym listingu przedstawiony jest kod źródłowy dotyczący tworzenia światel. Białe światło kierunkowe umiejscowione przed sceną oświetla jaskrawe białe obszary znajdujące się na przedzie obiektów geometrycznych. Niebieskie światło punktowe świeci z tyłu modelu. Zwróć uwagę na niebieskie obszary na podłodze za obiektem. Niebieskie światło reflektorowe rzuca swój stożek w kierunku podłogi, w pobliżu przodu sceny, zgodnie z ustawieniem



Rysunek 4.12. Oświetlenie kierunkowe, punktowe, reflektorowe oraz otaczające

własności `spotLight.target.position`. W końcu światło otaczające oświetla nieznacznie, ale równomiernie wszystkie obiekty. Pozmieniaj kolory i poobracaj model, aby zobaczyć efekt działania różnych świateł osobno i połączeniu z innymi.

```
// Tworzy i dodaje wszystkie światła.
directionalLight.position.set(.5, 0, 3);
root.add(directionalLight);

pointLight = new THREE.PointLight (0x0000ff, 1, 20);
pointLight.position.set(-5, 2, -10);
root.add(pointLight);

spotLight = new THREE.SpotLight (0x00ff00);
spotLight.position.set(2, 2, 5);
spotLight.target.position.set(2, 0, 4);
root.add(spotLight);

ambientLight = new THREE.AmbientLight ( 0x888888 );
root.add(ambientLight);
```

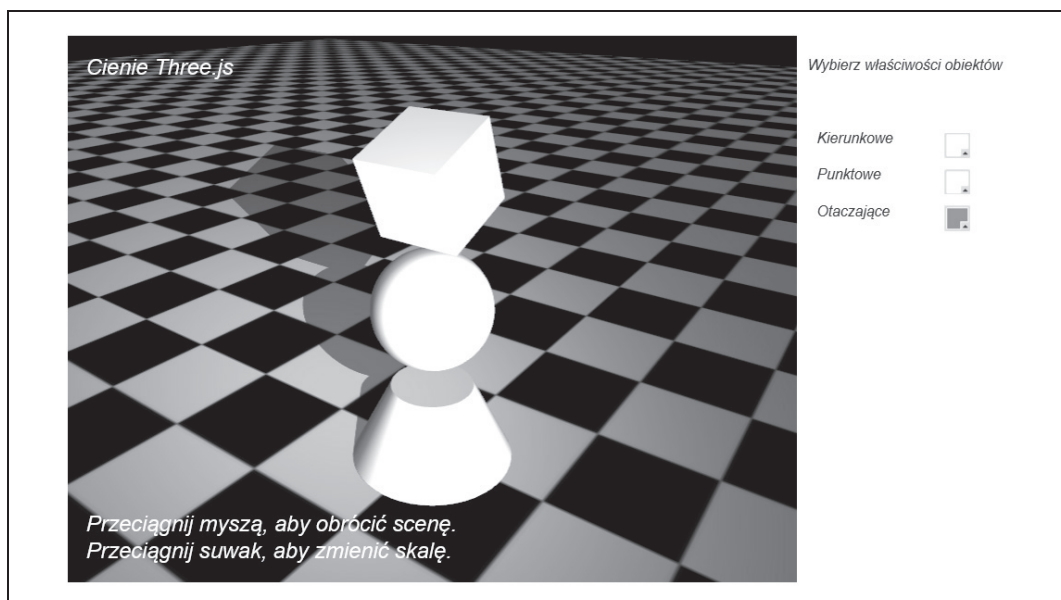


W tym momencie warto przypomnieć pewne znane już fakty. W WebGL oświetlenie, jak prawie wszystko, jest sztucznym tworem. Biblioteka zna tylko bufor i shadery, a zadaniem programisty jest synteza efektów oświetleniowych za pomocą kodu shadera. Biblioteka Three.js zawiera oszałamiającą ilość narzędzi do pracy z materiałami i światłem. A jeśli weźmie się pod uwagę, że wszystko to napisano w JavaScriptcie, tym bardziej należy docenić pracę twórcy. Oczywiście nic nie dałoby się zrobić, gdyby biblioteka WebGL nie dawała dostępu do GPU.

# Cienie

Projektanci grafiki od lat wykorzystują cienie w celu uzyskania efektów wizualnych i zwiększenia realizmu obrazu. Najczęściej są to fałszywe, wyrenderowane z góry produkty i wystarczy poruszyć źródłem światła albo którymkolwiek z obiektów, aby zniweczyć cały efekt. Jednak w bibliotece Three.js istnieje możliwość renderowania cieni na bieżąco, w odniesieniu do bieżącego położenia światła i obiektów.

W przykładzie zawartym w pliku `r4/threejs shadows.html` zademonstrowany został sposób dodawania na bieżąco cieni do sceny. Spójrz na rysunek 4.13. Widoczne na nim obiekty rzucają cień na podłogę przy świetle reflektorowym świecącym z góry i przodu sceny. Cień przemieszcza się wraz z obracającą się kostką, ale nie ma na niego wpływu ruch podłogi. Gdyby cienie były tylko wcześniej wyrenderowaną imitacją, to byłyby „przyklejone” do podłogi i nie zmieniałyby położenia wraz z obracającym się obiektem. Pobaw się ustawieniami światła, zwłaszcza światła reflektorowego, aby zobaczyć, jak dynamicznie zmienia się cień.



Rysunek 4.13. Użycie światła reflektorowego i mapy cieni do tworzenia cieni na bieżąco

W bibliotece Three.js cienie powstają przy użyciu techniki o nazwie **mapowanie cieni** (ang. *shadow mapping*). Polega ona na tym, że renderer otrzymuje dodatkową teksturę, na której renderuje zacienione obszary, a następnie włącza ją do ostatecznego obrazu w shaderach fragmentów. Zatem włączenie cieni w Three.js wymaga wykonania kilku czynności. Oto one.

1. Włączenie mapowania cieni w rendererze.
2. Włączenie cieni i ustawienie parametrów cieniowania dla światła, które rzucają cienie. Można to zrobić dla typów światła `THREE.DirectionalLight` i `THREE.SpotLight`.
3. Wskazanie, które obiekty geometryczne rzucają i przyjmują cienie.

Zobaczmy, jak to wygląda w praktyce. Na listingu 4.3 przedstawiony jest kod dotyczący renderowania cieni (pogrubiony), dodany do funkcji createScene().

Listing 4.3. Mapowanie cieni w bibliotece Three.js

```
var SHADOW_MAP_WIDTH = 2048, SHADOW_MAP_HEIGHT = 2048;

function createScene(canvas) {

    // Tworzy renderer Three.js i wiąże go z kanwą.
    renderer = new THREE.WebGLRenderer( { canvas: canvas, antialias: true } );

    // Ustawia rozmiar obszaru widoku.
    renderer.setSize(canvas.width, canvas.height);

    // Włącza cienie.
    renderer.shadowMapEnabled = true;
    renderer.shadowMapType = THREE.PCFSoftShadowMap;

    // Tworzy nową scenę Three.js.
    scene = new THREE.Scene();

    // Dodaje kamerę, aby można było oglądać scenę.
    camera = new THREE.PerspectiveCamera( 45, canvas.width / canvas.height,
        1, 4000 );
    camera.position.set(-2, 6, 12);
    scene.add(camera);

    // Tworzy grupę wszystkich obiektów.
    root = new THREE.Object3D;

    // Dodaje światło kierunkowe, aby pokazać obiekt.
    directionalLight = new THREE.DirectionalLight( 0xffffff, 1);

    // Tworzy i dodaje wszystkie światła.
    directionalLight.position.set(.5, 0, 3);
    root.add(directionalLight);

    spotLight = new THREE.SpotLight( 0xffffff);
    spotLight.position.set(2, 8, 15);
    spotLight.target.position.set(-2, 0, -2);
    root.add(spotLight);

    spotLight.castShadow = true;

    spotLight.shadowCameraNear = 1;
    spotLight.shadowCameraFar = 200;
    spotLight.shadowCameraFov = 45;

    spotLight.shadowDarkness = 0.5;

    spotLight.shadowMapWidth = SHADOW_MAP_WIDTH;
    spotLight.shadowMapHeight = SHADOW_MAP_HEIGHT;

    ambientLight = new THREE.AmbientLight ( 0x888888 );
    root.add(ambientLight);

    // Tworzy grupę wszystkich sfer.
    group = new THREE.Object3D;
    root.add(group);

    // Tworzy teksturę.
    var map = THREE.ImageUtils.loadTexture(mapUrl);
```

```

map.wrapS = map.wrapT = THREE.RepeatWrapping;
map.repeat.set(8, 8);

var color = 0xffffffff;
var ambient = 0x888888;
// Dodaje płaszczyznę podłogi, aby pokazać oświetlenie.
geometry = new THREE.PlaneGeometry(200, 200, 50, 50);
var mesh = new THREE.Mesh(geometry, new THREE.MeshPhongMaterial({color:color,
  ambient:ambient, map:map, side:THREE.DoubleSide}));
mesh.rotation.x = -Math.PI / 2;
mesh.position.y = -4.02;

// Dodaje siatkę do grupy.
group.add( mesh );
mesh.castShadow = false;
mesh.receiveShadow = true;

// Tworzy geometrię kostki.
geometry = new THREE.CubeGeometry(2, 2, 2);

// Dodaje geometrię i materiał do siatki.
mesh = new THREE.Mesh(geometry, new THREE.MeshPhongMaterial({color:color,
  ambient:ambient}));
mesh.position.y = 3;
mesh.castShadow = true;
mesh.receiveShadow = false;

// Dodaje siatkę do grupy.
group.add( mesh );

// Zapisuje kostkę, aby można było nią obracać.
cube = mesh;

// Tworzy geometrię sfery.
geometry = new THREE.SphereGeometry(Math.sqrt(2), 50, 50);

// Wstawia geometrię i materiał do siatki.
mesh = new THREE.Mesh(geometry, new THREE.MeshPhongMaterial({color:color,
  ambient:ambient}));
mesh.position.y = 0;
mesh.castShadow = true;
mesh.receiveShadow = false;

// Dodaje siatkę do grupy.
group.add( mesh );

// Tworzy geometrię cylindra.
geometry = new THREE.CylinderGeometry(1, 2, 2, 50, 10);

// Wstawia geometrię i materiał do siatki.
mesh = new THREE.Mesh(geometry, new THREE.MeshPhongMaterial({color:color,
  ambient:ambient}));
mesh.position.y = -3;

mesh.castShadow = true;
mesh.receiveShadow = false;

// Dodaje siatkę do grupy.
group.add( mesh );

// Dodaje grupę do sceny.
scene.add( root );
}

```

Najpierw włączyliśmy cienie w rendererze za pomocą ustawienia `renderer.shadowMapEnabled` na `true` oraz jego własności `shadowMapType` na `THREE.PCFSoftShadowMap`. Biblioteka `Three.js` obsługuje trzy rodzaje algorytmu mapowania cieni: podstawowy, PCF (ang. *percentage close filtering*) oraz PCF soft shadows. Każdy kolejny pozwala uzyskać coraz bardziej realistyczny efekt, ale za cenę większej złożoności i obniżonej wydajności. Zmień w powyższym przykładzie ustawienie `shadowMapType` na `THREE.BasicShadowMap` i `Three.PCFShadowMap` i sprawdź, co się stanie. Jakość cieni znacznie się obniży, ponieważ zostaną zastosowane ustawienia niższej jakości. Przy renderowaniu skomplikowanych scen zastosowanie tej techniki może być konieczne ze względu na wydajność.

Następnie należy włączyć rzucanie cieni dla oświetlenia reflektorowego. W tym celu ustawiamy własność `castShadow` tego światła na `true`. Ponadto ustawiamy kilka parametrów wymaganych przez `Three.js`. Biblioteka ta renderuje cienie poprzez rzucanie promienia z pozycji światła w kierunku obiektu docelowego. Zasadniczo traktuje oświetlenie reflektorowe jak kolejną „kamerę” do renderowania sceny z pozycji. Dlatego musimy ustawiać parametry, tak jak dla kamery, włącznie z bliższą i dalszą płaszczyzną odcięcia oraz polem widzenia. Wartości płaszczyzn są w wysokim stopniu uzależnione od rozmiaru sceny i obiektów, więc zastosowaliśmy w miarę niewielkie liczby. Pole widzenia zostało określone metodą prób i błędów. Ponadto cieniowi należy ustawić wartość ciemności. Domyślnie wynosi ona 0.5 i jest to wartość odpowiednia w naszym przypadku. Następnie ustawiamy własności określające rozmiar mapy cieni. Jest to kolejna mapa bitowa tworzona przez `Three.js`, na której biblioteka renderuje zacienione obszary, które następnie miesza z ostatecznym obrazem każdego obiektu. W naszym przykładzie ustawienia `SHADOW_MAP_WIDTH` i `SHADOW_MAP_HEIGHT` wynoszą 2048, a więc o wiele więcej niż domyślna wartość biblioteki wynosząca 512. Pozwoliło to uzyskać bardzo gładkie cienie. Niższe wartości dają bardziej poszarpane wyniki. Poeksperymentuj trochę z tymi wartościami w przykładzie, aby zobaczyć, jaki będzie efekt zastosowania map cieni o mniejszej rozdzielczości.

Na koniec musimy poinformować bibliotekę `Three.js`, które obiekty rzucają i przyjmują cienie. Domyślnie siatki nie obsługują cieni, więc trzeba to zmienić za pomocą odpowiednich ustawień. W tym przykładzie chcemy, aby obiekty geometryczne rzucały cień na podłogę i podłoga przyjmowała cienie. W związku z tym, podłozie ustawiamy `mesh.castShadow` na `false`, a `mesh.receiveShadow` na `true`. Natomiast kostce, sferze i stożkowi definiujemy ustawienia `mesh.castShadow` na `true`, a `mesh.receiveShadow` na `false`.

Jako ostatni szlif ustawimy intensywność cienia w taki sposób, aby odpowiadała jasności rzucającego go oświetlenia reflektorowego. Algorytm mapowania cieni biblioteki `Three.js` nie uwzględnia automatycznie jasności źródeł światła. Zamiast tego używa własności `shadowDarkness` światła. Musimy zatem samodzielnie aktualizować tę własność wraz ze zmianą koloru oświetlenia przy użyciu interfejsu użytkownika. Poniżej znajduje się kod źródłowy funkcji pomocniczej `setShadowDarkness()`, która oblicza nową wartość ciemności cienia na podstawie średniej jasności składników czerwonego, zielonego i niebieskiego koloru światła. Gdy zmieni się kolor światła na ciemniejszy, cień stanie się bladejszy.

```
function setShadowDarkness(light, r, g, b)
{
    r /= 255;
    g /= 255;
    b /= 255;
    var avg = (r + g + b) / 3;

    light.shadowDarkness = avg * 0.5;
}
```





Generowane na bieżąco cienie są fantastycznym dodatkiem do grafiki WebGL, a biblioteka Three.js znacznie ułatwia ich stosowanie. Jednak nie ma nic darmo. Po pierwsze, mapa cieni, która jest kolejną teksturą, zajmuje dodatkową pamięć graficzną. Mapa o rozmiarach 2048×2048 zajmuje 4 MB. Staraj się używać jak najmniejszych map cieni, które pozwalają uzyskać żądany efekt. Po drugie, w zależności od sprzętu graficznego, renderowanie pozaekranowe na mapie cieni może spowodować dodatkowe obciążenie systemu i znaczne zmniejszenie liczby klatek. Dlatego należy ostrożnie korzystać z tego udogodnienia. Przygotuj się na profilowanie i potencjalnie przejście na inne rozwiązanie, które nie wymaga obliczania cieni na bieżąco.

## Shadery

Biblioteka Three.js zawiera bogaty zbiór gotowych materiałów zaimplementowanych przy użyciu shaderów GLSL. Shadery te służą do uzyskiwania typowych stylów cieniowania, takich jak cieniowanie bez oświetlenia, cieniowanie Phong'a czy cieniowanie Lamberta. Jednak możliwości jest o wiele więcej. Ogólnie rzecz biorąc, materiały mogą implementować nieskończoną ilość efektów, używać najrozmaitszych właściwości, mogą też być bardzo skomplikowane. I tak shader imitujący trawę falującą na wietrze mógłby mieć parametry określające wysokość i gęstość trawy oraz szybkość i kierunek wiatru.

W miarę ewolucji grafiki komputerowej oraz obserwowanego od 20 lat wzrostu wartości produkcji — początkowo dotyczącej filmowych efektów specjalnych, a później także dla gier wideo — cieniowanie przestało być tylko artystycznym zajęciem i stało się ogólnym problemem programistycznym. Zamiast prób przewidywania każdej możliwej kombinacji właściwości materiałów i kodowania ich w silniku wykonawczym, specjaliści z branży opracowali programowalną technologię zwaną **programowalnymi shaderami** albo w skrócie po prostu **shaderami**. Shadery umożliwiają pisanie kodu implementującego skomplikowane efekty dla pojedynczych wierzchołków i pikseli przy użyciu kompilowanego języka podobnego do C i wykonywanego przez GPU. Za ich pomocą programista może utworzyć bardzo realistyczne i efektywne grafiki, wolne od ograniczeń wiążących się z używaniem wcześniej zdefiniowanych materiałów i modeli oświetlenia.

## Klasa ShaderMaterial: zrób to sam

GL Shading Language (GLSL) to język cieniowania przeznaczony do użytku z bibliotekami Open GL i Open GL ES (na której bazuje API WebGL). Kod źródłowy w języku GLSL jest kompilowany i wykonywany na użytek WebGL przy użyciu metod obiektu kontekstu WebGL. Biblioteka Three.js ukrywa przed programistą kod GLSL, dzięki czemu można całkowicie pominąć krok pisania shaderów. W wielu aplikacjach gotowe typy materiałów są zupełnie wystarczające. Jeśli jednak chce się zastosować efekt, który nie jest standardowo dostępny, należy napisać własne shadery GLSL przy użyciu klasy `THREE.ShaderMaterial`.

Na rysunku 4.14 widać przykład działania klasy `ShaderMaterial`. Przykład ten, przedstawiający shader Fresnela, znajduje się w projekcie Three.js, w pliku `examples/webgl/materials/shaders/fresnel.html`. Cieniowanie Fresnela służy do symulowania odbicia i załamania światła przy zetknięciu z przezroczystym ciałem, takim jak woda i szkło.



Rysunek 4.14. Shader Fresnela pozwala uzyskać realistyczne efekty dzięki odbiciu i załamaniu światła



Shadery Fresnela zawdzięczają nazwę efektowi Fresnela, zjawisku, które jako pierwszy opisał francuski fizyk Augustin-Jean Fresnel (1788 – 1827). Fresnel rozwinął teorię fal światła, badając sposób przechodzenia i rozprzestrzeniania się światła w różnych obiektach. Więcej informacji na ten temat można znaleźć w słowniku renderingu trójwymiarowego na stronie <http://www.3drender.com/glossary/fresneleffect.htm>.

Kod przygotowawczy w tym przykładzie tworzy obiekt klasy ShaderMaterial w następujący sposób: klonuje wartości uniform (parametry) obiektu szablonowego FresnelShader — każdy egzemplarz shadera musi mieć własną kopię tych danych — i przekazuje kod źródłowy GLSL dla shaderów wierzchołków i fragmentów. Następnie biblioteka Three.js automatycznie kompiluje i łączy shadery oraz wiąże własności JavaScript z wartościami uniform.

```
var shader = THREE.FresnelShader;
var uniforms = THREE.UniformsUtils.clone( shader.uniforms );

uniforms[ "tCube" ].value = textureCube;

var parameters = {
  fragmentShader: shader.fragmentShader,
  vertexShader: shader.vertexShader,
  uniforms: uniforms };

var material = new THREE.ShaderMaterial( parameters );
```

Na listingu 4.4 pokazany jest kod GLSL shadera Fresnela (można go też znaleźć w pliku `examples/js/shaders/FresnelShader.js` projektu Three.js). Kod ten został napisany przez aktywnie wspierającego projekt Three.js programistę Branislava Ulicnego, lepiej znanego pod pseudonimem *AlteredQualia*. Przeanalizujemy ten kod, aby dowiedzieć się, jak działa.

Listing 4.4. Shader Fresnela biblioteki Three.js

```
/**
 * @author alteredq / http://alteredqualia.com/
 * Based on Nvidia Cg tutorial
 */
THREE.FresnelShader = {
```

```

uniforms: {
    "mRefractionRatio": { type: "f", value: 1.02 },
    "mFresnelBias": { type: "f", value: 0.1 },
    "mFresnelPower": { type: "f", value: 2.0 },
    "mFresnelScale": { type: "f", value: 1.0 },
    "tCube": { type: "t", value: null }
},

```

Własność uniforms klasy THREE.ShaderMaterial określa wartości, które Three.js przekaże do WebGL podczas używania shadera. Przypomnę, że kod shadera jest wykonywany dla każdego wierzchołka i piksela (fragmentu). Dane uniform (*jednolite*) shadera to wartości, które zgodnie z nazwą nie zmieniają się między wierzchołkami. Są to w istocie globalne zmienne o takiej samej wartości dla wszystkich wierzchołków i pikseli. Przedstawiony w tym przykładzie shader Fresnla definiuje dane jednolite sterujące odbiciem i załamaniem światła (np. mRefractionRatio i mFresnelScale). Ponadto shader ten definiuje zmienną jednolitą dla tekstury sześcienniej używanej jako tło sceny. Podobnie jak w sześciennym mapowaniu środowiskowym przedstawionym w poprzednim podrozdziale, shader ten symuluje odbicie poprzez renderowanie pikseli z mapy sześcienniej. Jednak w tym przypadku widoczne są nie tylko piksele odbite z mapy, ale również podlegające załamaniu światła.

## Stosowanie kodu GLSL z biblioteką Three.js

Teraz należy zdefiniować shadery wierzchołków i fragmentów. Zaczniemy od shadera wierzchołków:

```

vertexShader: [
    "uniform float mRefractionRatio;",
    "uniform float mFresnelBias;",
    "uniform float mFresnelScale;",
    "uniform float mFresnelPower;",

    "varying vec3 vReflect;",
    "varying vec3 vRefract[3];",
    "varying float vReflectionFactor;",

    "void main() {",

        "vec4 mvPosition = modelViewMatrix * vec4( position, 1.0 );",
        "vec4 worldPosition = modelMatrix * vec4( position, 1.0 );",

        "vec3 worldNormal = normalize( mat3( modelMatrix[0].xyz, ",
        " modelMatrix[1].xyz, modelMatrix[2].xyz ) * normal );",

        "vec3 I = worldPosition.xyz - cameraPosition;",

        "vReflect = reflect( I, worldNormal );",
        "vRefract[0] = refract( normalize( I ), worldNormal, ",
        " mRefractionRatio );",
        "vRefract[1] = refract( normalize( I ), worldNormal, ",
        " mRefractionRatio * 0.99 );",
        "vRefract[2] = refract( normalize( I ), worldNormal, ",
        " mRefractionRatio * 0.98 );",
        "vReflectionFactor = mFresnelBias + mFresnelScale * ",
        " pow( 1.0 + dot( normalize( I ), worldNormal ), ",
        " mFresnelPower );",

```

```
"gl_Position = projectionMatrix * mvPosition;",  
"}"
```

```
].join("\n"),
```

Shader wierzchołków jest w przypadku tego materiału wołem roboczym. Wykorzystuje pozycję kamery i każdego wierzchołka modelu — w tym przypadku geometrię sfery tworzącą bańkę — do obliczenia wektora kierunkowego, który następnie zostaje użyty do obliczenia współczynników odbicia i załamania dla każdego wierzchołka. Zwróć uwagę na deklaracje `varying`, znajdujące się w shaderach wierzchołków i fragmentów. W odróżnieniu od zmiennych jednolitych (`uniform`), zmienne typu `varying` są obliczane osobno dla każdego wierzchołka i przekazywane z shadera wierzchołków do shadera fragmentów. W ten sposób shader wierzchołków może zwracać inne wartości oprócz wbudowanej `gl_Position`, której obliczanie jest jego podstawowym zadaniem. W shaderze Fresnela zwracane dane `varying` dotyczą współczynników odbicia i załamania.

Shader wierzchołków Fresnela wykorzystuje ponadto kilka zmiennych typu `varying` i `uniform`, których nie widać w naszym kodzie, bo są zdefiniowane i automatycznie przekazywane do kompilatora GLSL przez bibliotekę `Three.js`. Są to: `modelMatrix`, `modelViewMatrix`, `projectionMatrix` oraz `cameraPosition`. Wartości tych nie trzeba i na dobrą sprawę nie powinno się jawnie deklarować w shaderze.

`modelMatrix` (`uniform`)

Macierz przekształcenia świata modelu (siatki). Jak napisałem w tym rozdziale, w podrozdziale „Graf sceny i hierarchia przekształceń”, macierz ta jest obliczana przez bibliotekę `Three.js` w każdej klatce, aby określić **pozycję obiektu w przestrzeni świata**. W shaderze macierz ta jest wykorzystywana do obliczania pozycji w przestrzeni świata każdego wierzchołka.

`modelViewMatrix` (`uniform`)

Przekształcenie reprezentujące pozycję każdego obiektu w przestrzeni kamery, tzn. w współrzędnych względnych do pozycji i orientacji kamery. Szczególnie przydatna do obliczania wartości odnoszących się do kamery (np. określania odbicia i załamania, co właśnie robimy w tym shaderze).

`projectionMatrix` (`uniform`)

Używana do obliczania rzutowania z trzech wymiarów na dwa wymiary, z przestrzeni kamery na przestrzeń ekranu.

`cameraPosition` (`uniform`)

Pozycja w przestrzeni świata kamery obsługiwana przez `Three.js` i przekazywana automatycznie.

`position` (`varying`)

Pozycja wierzchołka w przestrzeni modelu.

`normal` (`varying`)

Normalna wierzchołka w przestrzeni modelu.

Shader wierzchołków wykorzystuje również wbudowane funkcje GLSL, `reflect()` i `refract()`, do obliczania wektorów odbicia i załamania na podstawie kierunku kamery, normalnej i współczynnika załamania. (Funkcje te dodano do języka GLSL, ponieważ są bardzo przydatne w obliczeniach dotyczących oświetleń, takich jak np. równania Fresnela).

Na końcu znajduje się jeszcze wywołanie funkcji `Array.join()` w celu konfiguracji shadera wierzchołków. Stanowi to ilustrację zastosowania kolejnej przydatnej techniki łączenia długich łańcuchów tekstowych, zawierających implementację shaderów w języku GLSL. Zamiast tworzyć symbole nowego wiersza na końcu każdej linijki kodu i stosować konkatenację, użyliśmy funkcji `join()`, aby wstawić znak nowego wiersza po każdym wierszu kodu.

Zadanie shadera fragmentów jest teraz oczywiste. Wykorzystuje on obliczone przez shader wierzchołków wartości odbicia i załamania do indeksowania w sześcienniej teksturze przekazanej w zmiennej jednolitej `tCube`. Zmienna ta jest typu `samplerCube`, typu GLSL służącego do obsługi tekstur sześciennych. Mieszmamy te dwa kolory przy użyciu funkcji GLSL `mix()`, aby otrzymać ostateczny piksel, który zapisujemy we wbudowanej zmiennej `gl_FragColor`.

```
fragmentShader: [
    "uniform samplerCube tCube;",
    "varying vec3 vReflect;",
    "varying vec3 vRefract[3];",
    "varying float vReflectionFactor;",
    "void main() {",
        "vec4 reflectedColor = textureCube( tCube, ",
        "  vec3( -vReflect.x, vReflect.yz ) );",
        "vec4 refractedColor = vec4( 1.0 );",
        "refractedColor.r = textureCube( tCube, ",
        "  vec3( -vRefract[0].x, vRefract[0].yz ) ).r;",
        "refractedColor.g = textureCube( tCube, ",
        "  vec3( -vRefract[1].x, vRefract[1].yz ) ).g;",
        "refractedColor.b = textureCube( tCube, ",
        "  vec3( -vRefract[2].x, vRefract[2].yz ) ).b;",
        "gl_FragColor = mix( refractedColor, ",
        "  reflectedColor, clamp( vReflectionFactor, ",
        "  0.0, 1.0 ) );",
    "}"
  ].join("\n");
```

Tworzenie własnego shadera może się wydawać pracochłonne, ale efekt wart jest tej dodatkowej pracy, ponieważ można otrzymać niezwykle realistyczną symulację optyki. Ponadto dodatkowe mechanizmy, które dostarcza biblioteka `Three.js` — aktualizowanie macierzy świata obiektów, śledzenie kamery, deklarowanie dziesiątek zmiennych GLSL, kompilowanie i łączenie kodu GLSL — oszczędzają dosłownie dni pracy i debugowania. Dzięki temu myśl o utworzeniu własnego shadera nie tylko nie jest odpychająca, ale wręcz zachęcająca. Mając ten szkielet, powinieneś podjąć próbę napisania własnego shadera. Zalecam na początek napisanie shadera Fresnela i innych dostępnych wśród przykładów biblioteki `Three.js`. Jest wiele różnych efektów i dużo do nauczenia.

## Renderowanie

W tym rozdziale znacznie poszerzyliśmy zakres umiejętności tworzenia realistycznych aplikacji. Początkowo rysowaliśmy tylko proste figury geometryczne, a teraz umiemy już posługiwać się materiałami, teksturami, światłami, cieniami, a nawet potrafimy pisać własne shadery

w języku GLSL. Postawiliśmy sobie poprzeczkę wysoko, ale jeszcze do niej nie doskoczyliśmy. Musimy zrobić jeszcze jeden krok: nauczyć się renderowania.

Ostatecznym wynikiem pracy nad trójwymiarowym grafem sceny w bibliotece Three.js jest dwuwymiarowy obraz wyrenderowany na elemencie kanwy w oknie przeglądarki internetowej. Nieważne, czy używamy WebGL, dwuwymiarowego API rysunkowego kanwy, czy też technologii CSS. Ważne jest to, co ostatecznie będzie widać na ekranie. Korzystamy z biblioteki WebGL, ponieważ dzięki niej różne rzeczy da się wykonać szybko. Przy użyciu innych technologii też *może* udałoby się dojść do podobnych efektów, ale z pewnością nie osiągnęlibyśmy zadowalającej szybkości zmiany klatek. Dlatego właśnie tak często korzystamy z biblioteki WebGL.

Sama biblioteka WebGL również oferuje kilka sposobów renderowania obrazów. Można np. zastosować renderowanie przy użyciu **bufora głębi** (ang. *z-buffer*), które polega na wykorzystaniu przez sprzęt dodatkowej pamięci, aby renderować na scenie wyłącznie piksele znajdujące się na przedzie. Wszystko zależy od nas. Jeśli nie użyjemy tej techniki, aplikacja będzie musiała sama sortować obiekty na scenie, możliwe, że sięgnie aż do poziomu samych trójkątów. Wydaje się to kłopotliwe, ale czasami dokładnie to programista chce robić. To tylko jeden z rodzajów wyborów, jakie musimy podejmować w odniesieniu do renderowania.

Biblioteka Three.js z założenia ma ułatwiać tworzenie podstawowej grafiki. Wbudowanego w nią renderera WebGL można używać do generowania wysokiej jakości grafiki bez wielkiego nakładu pracy ze strony programisty. Jak można się zorientować, sądząc po przestudiowanych do tej pory przykładach, aby wyrenderować grafikę wystarczy: 1) utworzyć renderer, 2) ustawić wymiary obszaru widoku, 3) wywołać funkcję `render()`. Jednak możemy znacznie dokładniej kontrolować proces renderowania i jeśli możliwość tę połączymy z zaawansowanymi technikami, takimi jak przetwarzanie końcowe (ang. *post-processing*), renderowanie wieloprzebiegowe (ang. *multipass rendering*) oraz renderowanie opóźnione (ang. *deferred rendering*), możemy uzyskać bardzo realistyczne efekty.

## Przetwarzanie końcowe i renderowanie wieloprzebiegowe

Czasami jeden renderer nie wystarcza, a żeby uzyskać bardzo wysokiej jakości realistyczny obraz, trzeba wykonać kilka renderingu sceny. Poszczególne renderingu, inaczej **przebiegi**, łączy się w celu utworzenia ostatecznej wersji obrazu w procesie zwanym **renderowaniem wieloprzebiegowym** (ang. *multipass rendering*). W wielu przypadkach proces taki zawiera także **przetwarzanie końcowe** (ang. *post-processing*), czyli czynność mającą na celu poprawienie jakości obrazu za pomocą specjalnych technik przetwarzania.

Przetwarzanie końcowe i wieloprzebiegowe to bardzo popularne techniki w renderowaniu grafiki trójwymiarowej i dlatego twórcy biblioteki Three.js ze szczególną starannością zaimplementowali ich obsługę. Na rysunku 4.15 widać subtelny, ale niezwykle sugestywny przykład zastosowania przetwarzania końcowego w bibliotece Three.js napisany przez AlteredQualia. Aby go obejrzeć w swojej przeglądarce, otwórz plik [examples/webgl\\_terrain\\_dynamic.html](examples/webgl_terrain_dynamic.html). Ptaki majestatycznie przelatują nad niezmiernie wyglądającą krainą, przecinając mgliste powietrze przy zachodzącym słońcu. Tak jakby proceduralnie wygenerowany za jednym razem z zastosowaniem szumu teren był niewystarczająco ujmujący, dodano jeszcze renderowanie wieloprzebiegowe z cieniowaniem poświaty, aby podkreślić rozproszenie jasnego światła słonecznego przez mgłę, oraz filtr Gaussa, aby przyjemnie rozmazać scenę i tym samym jeszcze bardziej spotęgować bajeczny efekt.



Rysunek 4.15. Przykład dynamicznego i proceduralnego generowania terenu, wyrenderowany przy użyciu kilku przebiegów przetwarzania końcowego — autor sceny: AlteredQualia, autor ptaków: Mirada (z RO.ME)

Przetwarzanie końcowe w Three.js bazuje na następujących składnikach.

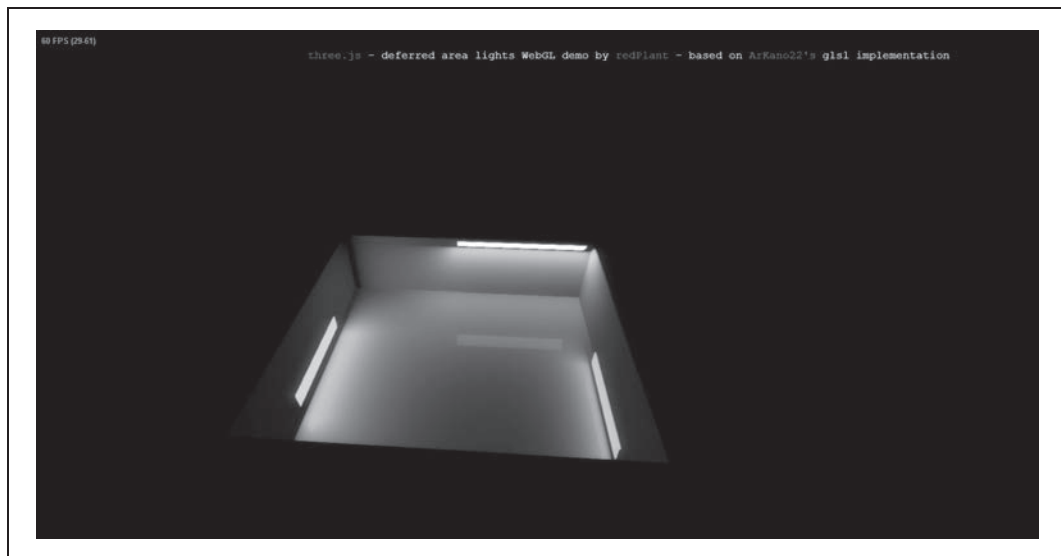
- Obsługa **wielu celów renderowania** poprzez obiekt `THREE.WebGLRenderTarget`. Dzięki wielu celom renderowania scenę można renderować wielokrotnie na pozaekranowych mapach bitowych, a następnie połączyć je wszystkie w ostateczny obraz. (Plik źródłowy: `src/renderers/WebGLRenderTarget.js`).
- Wieloprzebiegowa pętla renderowania zaimplementowana w klasie `THREE.EffectComposer`. Obiekt tej klasy zawiera przynajmniej jeden obiekt **przebiegu renderowania**, który wywołuje po kolei w celu wyrenderowania sceny. W każdym przebiegu dostępna jest cała scena i dane graficzne wygenerowane w poprzednim przebiegu, co umożliwia dodatkowe udoskonalenie obrazu.

Klasa `THREE.EffectComposer` i techniki wieloprzebiegowe, w których jest wykorzystywana, są zaimplementowane w folderach `examples/js/postprocessing/` i `examples/js/shaders/` projektu Three.js. Przeglądając ich zawartość, można znaleźć mnóstwo fantastycznych przykładów efektów specjalnych utworzonych za pomocą przetwarzania końcowego.

## Renderowanie opóźnione

Pozostała jeszcze jedna technika renderowania — **renderowanie opóźnione** (ang. *deferred rendering*). Jak sama nazwa wskazuje, metoda ta polega na opóźnieniu renderowania grafiki na kanwie WebGL do czasu obliczenia ostatecznego obrazu przy użyciu kilku źródeł danych. W odróżnieniu od renderowania wieloprzebiegowego, które polega na wielokrotnym renderowaniu sceny i doskonaleniu obrazu, aby w końcu przenieść go na kanwę WebGL, w renderowaniu opóźnionym w pierwszym przebiegu wykorzystuje się wiele **buforów** (w istocie tekstur), w których gromadzi się dane potrzebne do obliczeń cieniowania. W następnym przebiegu obliczane są wartości pikseli przy użyciu wartości zgromadzonych w pierwszym przebiegu. Technika ta może

zużywać dużo pamięci i obciążać procesor, ale pozwala na uzyskanie bardzo realistycznych efektów, zwłaszcza świetlnych i dotyczących cieni. Przykład jej zastosowania pokazano na rysunku 4.16. ([examples/webgldeferred\\_arealights.html](examples/webgldeferred_arealights.html)).



Rysunek 4.16. Oświetlenie obliczone z dokładnością do jednego piksela przy użyciu renderowania opóźnionego

## Podsumowanie

W tym rozdziale zawarto opisy wielu nowych pojęć i technik. Poznałeś w nim większość dostępnych w Three.js metod dotyczących rysowania i renderowania grafiki. Dowiedziałeś się, jak używać gotowych klas geometrii do tworzenia trójwymiarowych brył, siatek oraz parametryzowanych i ekstrudowanych kształtów. Wiesz już, czym są graf sceny i hierarchia przekształceń i jak ich używać do budowania złożonych scen. Prześledziłeś praktyczne przykłady wykorzystania materiałów, tekstur oraz światła. Na końcu dowiedziałeś się, jak za pomocą shaderów i zaawansowanych technik renderowania, takich jak przetwarzanie końcowe i opóźnione, zwiększyć realizm grafik. Biblioteka Three.js zawiera bogaty zestaw narzędzi zapakowany w przystępny i łatwy w użyciu pakiet. Narzędzia te w połączeniu z możliwościami WebGL umożliwiają uzyskanie prawie każdego efektu trójwymiarowego, jaki można sobie wyobrazić.



3 Dreams of Black, 53  
3D Systems, 192  
3D Warehouse, 189  
3DRT, 190, 316  
3ds Max, 73, 111, 182

## A

albedo, 80  
Amazon Silk, 21  
analiza ukształtowania terenu, 293  
Android, 301, 302, 311  
animacja, 19, 27, 45, 78, 99, 179, 192, 201, 252, 286  
  CSS, 133, 147  
  czasowa, 104  
  funkcja prędkości, *Patrz:*  
    funkcja prędkości animacji  
klatkowa, 103  
mimiki, 100  
obiektów połączonych, 113  
oparta na  
  celach morfingu, 100, 118  
  klatkach kluczowych, 100, 110, 111, 113, 179, 190  
  krzywych sklepanych, 117  
  shaderze, 100, 125  
  po linii ścieżek, 100, 116, 118  
  postaci, 100, 182, 190, 214  
  przyspieszanie, 107  
  szkieletowa, *Patrz też:* skinning  
  zwalnianie, 107  
animator, 179  
antialiasing, 165  
  wielopróbkowy, 61  
API  
  Canvas 2D, 23, 157, 160, 164, 299, 302  
  graficzne, 31  
  JavaScript, 20  
  OpenGL, 19

  Three.js, 57  
  WebGL aplikacja mobilna, 302  
aplikacja  
  hybrydowa, 313, 322  
  manifest, 312  
  mobilna, 302, 303, 322  
  prezentacyjna, 220  
  sieciowa, 177, 303  
    dystrybucja, 312  
    mobilna, 303  
    tworzenie, 311  
    wizualna, 223  
  trójwymiarowa, 213  
    testowanie, 238  
    tworzenie, 233, 234, 235  
Arnaud Remi, 198  
articulated animation, *Patrz:*  
  animacja obiektów połączonych  
artysta techniczny, 180  
asm.js, 20  
ATI, 22  
awatar, 214, 216  
  odległość od podłoża, 293

## B

Babylon.js, 219  
backface, *Patrz:* ściana tylna  
Belmonte Nicolas Garcia, 222  
Bézierra krzywa, 117  
biblioteka, 214  
  adaptacyjna dla aplikacji  
  hybrydowych, 314  
Cango3D, 167  
CocoonJS, *Patrz:* CocoonJS  
CubeGeometry, 61  
DirectX, 33  
grafiki trójwymiarowej, 67  
K3D, 167, 168  
macierzysta, 313  
Nihilogic, 167  
OpenGL, *Patrz:* OpenGL

  Three.js, *Patrz:* Three.js  
  trójwymiarowa, 214  
  Tween.js, *Patrz:* Tween.js  
  WebGL, *Patrz:* WebGL  
Biovision Hierarchical Data,  
  *Patrz:* plik BVH  
BlackBerry 10, 21, 302  
blend weight, *Patrz:* waga mieszania  
Blender, 73, 111, 182, 183  
blokowanie  
  kursora, 283  
  myszy, 283  
bone, *Patrz:* kość  
bounding volume, *Patrz:* bryła  
  brzegowa  
bryła, 41  
  brzegowa, 73  
B-spline, *Patrz:* krzywa B-sklejana  
bufor, 36, 200  
  głębi, 40, 96, 165  
  indeksów, 43  
  kolorów, 40, 165  
  widok, 200  
  współrzędnych teksturowych, 49  
  z, 165  
bufor głębi, 166  
BVH Motion Creator, 193

## C

Cabello Ricardo, 56, 155  
Canvas 2D, 20, 157, 160, 164, 299, 302  
Canvas 3D, 32  
Catmull Ed, 117  
Catmulla-Roma krzywa, 117  
cel morfingu, 100, 118, 119  
Chrome, 21, 302  
cieniowanie, 87  
  bez oświetlenia, 91  
Blinna, 212  
Fresnela, 91

cieniowanie  
Lamberta, 80, 91  
Phonga, 65, 80, 91, 228  
trójkątów, 165  
cień, 87  
intensywność, 90  
renderowanie, 87  
CocoonJS, 314, 316, 318, 320  
CocoonJS Launcher, 314  
Codrops, 151  
collision detection, *Patrz:* kolizja wykrywanie  
collision response, *Patrz:* kolizja reakcja  
Core Animation, 131  
Cozzi Patrick, 198  
CSS, 23  
animacja, *Patrz:* animacja CSS  
filtry własne, 28, 153, 154  
przejście, 133, 143  
przekształcenie, *Patrz:* przekształcenie CSS  
shader, 153  
CSS Custom Filters, 28, 153  
CSS Shaders, 153  
CSS transitions, *Patrz:* CSS przejście  
CSS3, 19, 131, 132, 215

## D

DAG, 75  
Danger Mouse, 53  
DCC, 181  
deferred rendering, *Patrz:* rendering opóźniony  
Denoyel Alban, 187  
Despoulain Thibaut, 55  
diffuse color, *Patrz:* kolor rozproszony  
digital content creation tools, *Patrz:* DCC  
directed acyclic graph, *Patrz:* DAG  
directional light, *Patrz:* oświetlenie kierunkowe  
drzewo, 75  
dynatree, 264  
dyrektor techniczny, 180  
dźwięk, 294, 318

## E

easing, *Patrz:* funkcja prędkości animacji  
efekt Fresnela, 92  
efekty dźwiękowe, 258, 294  
Ejecta, 314  
ekran HUD, 318

ekstruzja, 68  
element  
canvas, 35  
DOM Image, 46  
Emscripten, 20  
Etienne Jerome, 220  
Eulera kąt, *Patrz:* kąt Eulera

## F

figura dwuwymiarowa, 69  
filtr  
bilinarny, 165  
własny, 29  
Firefox, 21, 302  
first-person navigation, *Patrz:* nawigacja pierwszoosobowa  
first-person perspective, *Patrz:* perspektywa pierwszej osoby  
first-person shooter, *Patrz:* FPS  
format  
animacyjny, 190, 192  
binarny, 207  
do przechowywania całych scen, 190, 193  
modelowy, 190, 192  
pliku, *Patrz:* plik  
FPS, 280, 283

frame, *Patrz:* klatka  
Fresnela  
cieniowanie, *Patrz:* cieniowanie Fresnela  
efekt, *Patrz:* efekt Fresnela  
shader, *Patrz:* shader Fresnela  
frustum, 27  
funkcja  
animate, 78, 104  
computeFaceNormals, 73  
document.createElement, 158  
document.getElementById, 35  
dwuwymiarowego API kanwy, 160  
ImageUtils.loadTextureCube, 83  
prędkości animacji, 109, 110  
reflect, 94  
refract, 94  
requestAnimationFrame, 20, 62, 100, 101, 102, 103  
setInterval, 20, 101  
setTimeout, 20, 101, 102  
sklejana, 111

## G

garbage collection, *Patrz:* usuwanie nieużytków

geometria  
statyczna, 73  
THREE.BufferGeometry, 73  
Ginier Stephane, 187  
GL Shading Language, *Patrz:* GLSL  
GLSL, 91  
GLSL ES, 28  
Goo Engine, 218  
GPU, 27  
gra FPS, *Patrz:* FPS  
graf

acykliczny skierowany,  
*Patrz:* DAG  
sceny, *Patrz:* scena graf  
grafika trójwymiarowa, 22  
tworzenie, 177  
Graphics Library Transmission  
Format, 198  
Gunning Brent, 220

## H

heads-up display, *Patrz:* ekran HUD  
HexGL, 55  
hierarchia przekształceń, 75, 138, 285

## I

interaktywność, 228  
Internet Explorer 11, 21, 302  
interpolacja, 106  
bazująca na funkcji sklejaney, 111  
krzywej sklejaney, 116  
liniowa, 106, 109, 111  
nieliniowa, 107  
interprocess communication, *Patrz:* komunikacja międzyprocesowa  
iOS, 301, 302  
IPC, *Patrz:* komunikacja międzyprocesowa  
Irish Paul, 102

## J

język  
CSS, 131  
GLSL, 38, 154, 188  
HTML, 131  
Python, 183  
VRML, 194  
X3D, 194  
Jones Nora, 53  
jQuery, 131, 215  
JFiddle, 188

## K

kamera, 26, 27, 37, 61, 153, 200, 261  
  dodatkowa, 258, 284  
  domyślna, 214, 240  
  kontroler, 281  
    modelowy, 281  
    pierwszoosobowy, 281,  
    283, 292  
  odległość od podłoża, 293  
  przełączanie, 216  
kanał alfa, 152  
kanwa, 19, 215, 320  
  dwuwymiarowa, 157, 164  
  kontekst, 158  
kąta Eulera, 79  
Keyframe.js, 111  
Khronos Group, 32  
klasa  
  bazowa  
    THREE.CircleGeometry, 70,  
    71  
    THREE.Geometry, 69  
  ExtrudeGeometry, 68  
  MeshBasicMaterial, 79, 85  
  MeshLambertMaterial, 79, 85  
  MeshPhongMaterial, 79, 85  
  oświetleniowa, 84  
  Path, 68, 69  
  Shape, 68, 69  
  THREE.BufferGeometry, 73  
  THREE.EffectComposer, 97  
  THREE.Object3D, 75, 76, 78  
  THREE.OrbitControls, 240  
  THREE.ShaderMaterial, 91, 125  
  THREE.WebGLRenderTarget, 97  
  translate, 135  
  Vizi.Application, 240  
  Vizi.FadeBehavior, 249, 250  
  Vizi.FirstPersonControllerScript,  
  283  
  Vizi.Loader, 241, 242  
  Vizi.Object, 288  
  Vizi.Picker, 251, 308  
  Vizi.RotateBehavior, 251  
  Vizi.Script, 288  
  Vizi.Viewer, 240, 281  
klatka, 103  
  kluczowa, 100, 110, 113, 179, 190  
  pośrednia, *Patrz:* tweening  
  szybkość zmiany, 103  
kolizja, 153, 216  
  reakcja, 292  
  wykrywanie, 283, 284, 292  
kolor  
  odbicia, 81  
  rozproszenia, 81  
  rozproszony, 85

kompilator Emscripten,  
  *Patrz:* Emscripten  
komunikacja międzyprocesowa, 322  
konfigurator samochodów, 54  
kość, 121, 179  
krzywa  
  B-sklejana, 116, 117  
  dwunormalna, 117  
  normalna, 117  
  punkt kontrolny, 116  
  sklejana, 116  
    Béziera, 117  
    Catmulla-Roma, 117  
    interpolacja, 116  
  składana, 68, *Patrz:* krzywa  
  sklejana  
  styczna, 117  
kwaternion, 79

## L

Lightwave, 259  
Luppi Daniel, 53

## M

macierz  
  model-widok, 37  
  projekcji, 26  
  przekształceń, 26  
mapa  
  nierówności, 81  
  normalnych, 81  
  środowiskowa, 83, 212  
  teksturowa, *Patrz:* tekstura  
mapowanie  
  cieni, 87, 90  
  teksturą, *Patrz:* teksturowanie  
  UV, *Patrz:* teksturowanie  
maszyna wirtualna JavaScript, 20,  
314  
materiał, 25, 61, 79, 200  
  kolor rozproszenia, *Patrz:* kolor  
  rozproszenia  
  Phong, 65  
  własność, 85  
    ambient, 85  
    emissive, 85  
Maya, 73, 111, 182  
  eksport do COLLADA, 237  
McKegney Ross, 186  
mesh, *Patrz:* siatka  
metoda  
  forwardAsync, 321  
  generowania ścieżek, 69  
  getContext, 35  
  lineTo, 69

  moveTo, 69  
  restore, 299  
  save, 299  
  setTimeout, 286  
międzyklatka, 100, 106  
  wstawianie, 106  
Milk Chris, 53  
Minesweeper, 107  
mipmapowanie, 48, 165  
Miyazaki Aki, 193  
model, 24  
modelarz, 78  
modelowanie trójwymiarowe, 178  
ModelView matrix, *Patrz:* macierz  
  model-widok  
morfing, 100, 118, 119, 124  
morph target, *Patrz:* cel morfingu  
morph target animation,  
  *Patrz:* animacja oparta  
  na celach morfingu  
motion capture, *Patrz:*  
  przechwytywanie ruchu  
MotionBuilder, 182  
mouse lock, *Patrz:* blokowanie  
  myszy  
mouse look, *Patrz:* patrzenie myszą  
Mr.doob, *Patrz:* Cabello Ricardo  
MSAA, *Patrz:*  
  antialiasing:wielopróbkowy  
  multisample rendering, *Patrz:*  
  rendering wieloprzebiegowy  
  multisample antialiasing, *Patrz:*  
  antialiasing wielopróbkowy  
  multiteksturowanie, 81, 126  
  multitouch, *Patrz:* wielodotyk

## N

nawigacja pierwszoosobowa, 279,  
281, 283  
Nobel-Jørgensen Morten, 219  
normalna, 73  
  krzywej, 117  
  mapa, *Patrz:* mapa normalnych  
  przemieszczanie, 81  
NVIDIA, 22

## O

O'Callahan Robert, 101  
obiekt  
  animowanie, 99  
  po linii ścieżek, 100  
  modyfikowanie własności, 99  
  podstawowy, 36, 40  
  THREE, 61

objętość widokowa, 27  
obszar widoku, 26, 36  
OpenCOLLADA, 237, 238  
OpenGL, 33  
OpenGL ES Shader Language,  
  *Patrz:* GLSL ES  
ostroslup ścięty, 27  
oświetlenie, 25, 64, 80, 153, 200  
  brak, 80  
  gotowe, 80  
  kierunkowe, 65, 84  
  otaczające, 84, 85  
  punktowe, 84, 85  
  reflektorowe, 84, 85, 90  
  własność  
    color, 85  
    intensity, 85  
OutsideOfSociety, 120

## P

Passet Pierre-Antoine, 187  
patrzenie myszą, 283  
Penadés Soledad, 107  
Perner Robert, 110  
perspektywa, 26  
  pierwszej osoby, 280  
Pesce Mark, 194  
pętla wykonawcza, 62, 99, 216  
PhiloGL, 222, 223  
PhoneGap, 314  
Phong Bui Tuong, 65  
Pinson Cédric, 187  
PixelCG Tips and Tricks, 68  
PlayCanvas, 218  
plik  
  .bin, 207  
  .dae, 114  
  .obj, 74, 190, 198  
  BVH, 192, 193  
  COLLADA, 114, 184, 195, 208,  
    237, 261  
    konwertowanie na glTF, 237  
    wczytywanie, 115  
  FBX, 182, 201  
  glTF, 198, 200, 211, 237, 261  
  JPEG, 46, 47  
  JSON, 57, 202, 208  
  manifestu, 312  
  MD2, 120, 192  
  MD5, 192  
  MTL, 74  
  PNG, 46, 152  
  STL, 192  
  VRML, 194  
  Wavefront OBJ, 74, 190  
  X3D, 194

Plus 360 Degrees, 54  
płaszczyzna odcięcia, 27  
podkładka, 102  
pointer lock, *Patrz:* blokowanie  
  kursora  
polyfill, *Patrz:* podkładka  
Poser, 184  
post-processing, *Patrz:*  
  przetwarzanie końcowe  
prefabrykat, 274  
primitive, *Patrz:* obiekt  
  podstawowy  
procedura wywoływania zdalne,  
  *Patrz:* RPC  
procedural texture, *Patrz:* tekstura  
  proceduralna  
procesor graficzny, *Patrz:* GPU  
program  
  cieniujący, *Patrz:* shader  
  narzędzie do tworzenia cyfrowej  
  treści, *Patrz:* DCC  
projection matrix, *Patrz:* macierz  
  projekcji  
przechwytywanie ruchu, 193  
przeglądarka mobilna, 302  
przeglądarkowe środowisko  
  zintegrowane, 185  
przekształcenie, 25  
  CSS, 133, 134, 135, 143  
  trójwymiarowe, 21  
  hierarchia, *Patrz:* hierarchia  
  przekształceń  
  obrót, 79, 136  
  perspektywa, 136  
  przesunięcie, 78  
  skala, 78  
przepływ sterowania, 214  
przetwarzanie końcowe, 96, 97, 180  
przezroczystość, 249  
pudło nieba, 84, 258, 272

## Q

Qualcomm, 22

## R

Rails, 215  
rama TNB, 117  
refleksy, 80, 81  
remote procedur call, *Patrz:* RPC  
renderer, 61  
rendering, 96, 213  
  kanwowy, 169, 171, 172  
  opóźniony, 97  
  programowy, 165

przetwarzanie końcowe, *Patrz:*  
  przetwarzanie końcowe  
  trójwymiarowy, 19, 151, 152  
  wieloprzebiegowy, 96, 97  
Renderosity, 189  
repozytorium 3D, 188  
rig, *Patrz:* rusztowanie  
RO.ME, 53, 54  
Roast Kevin, 168  
Robinet Fabrice, 198  
Roosendaal Ton, 183  
RPC, 322  
Russell Kenneth, 32  
rusztowanie, 179

## S

Safari, 21, 302  
scena, 61  
  graf, 75, 215, 260, 261  
  korzeń, 75  
  struktura, 75  
scene graph, *Patrz:* scena graf  
SculptGL, 187  
Second Life, 9  
Sencha Inc., 222  
serwer sieciowy, 47  
shader, 27, 28, 38, 79, 100, 124, 180,  
  188  
  cube, 84  
  fragmentów, 38, 93, 95  
  Fresnela, 92  
  GLSL, 91  
  głębi pola, 54  
  kreskówkowy, 54  
  pikseli, *Patrz:* shader  
  fragmentów  
  pomocniczy, 84  
  programowalny, 91  
  tekstura, 50  
  tworzenie, 38, 39, 79  
  wierzchołków, 38, 93, 94  
ShaderFusion, 180  
Shadertoy, 188  
shadow mapping, *Patrz:*  
  mapowanie cieni  
Shockwave 3D, 9  
siatka, 24, 61, 200  
  importowanie, 74  
  powierzchna, 24  
  trójwymiarowa, 24, 25, 37,  
    *Patrz też:* model  
Silicon Graphics Open Inventor,  
  194  
silnik  
  Gecko, 158  
  gier, 217, 223

Unity, 180, 274  
Unreal, *Patrz:* Unreal  
single mesh animation, 121  
skeletal animation, *Patrz:* animacja szkieletowa, skinning  
skeleton, *Patrz:* szkielet  
Sketchfab, 187  
SketchUp, 184  
skinning, 100, 121, 124, 179  
skybox, *Patrz:* pudło nieba  
spline curve, *Patrz:* krzywa sklejana, *Patrz:* krzywa składana  
Swappz Interactive, 186  
system  
operacyjny  
  Android, *Patrz:* Android  
  iOS, *Patrz:* iOS  
  Rails, *Patrz:* Rails  
szkieletowy, 214, 220, 258  
  dane wejściowe, 216  
  interfejs użytkownika, 222  
  model nawigacji, 216  
  prezentacyjny, 220  
  przeglądarka, 216  
  rozszerzalność, 214  
  środowisko, 215  
Zend, *Patrz:* Zend  
szkielet, 100, 121  
trójwymiarowy, 214

## Ś

ściana tylna, 140  
środowisko  
  trójwymiarowe, 257  
  testowanie, 258, 260, 261, 269, 293  
  tworzenie, 258, 259, 293  
światło, *Patrz:* oświetlenie

## T

tablica  
  liczb JavaScript, 73  
  typowana, 37, 73  
TC Chang, 234, 259  
TCP/IP, 20  
technical artist, *Patrz:* artysta techniczny  
technical director, *Patrz:* dyrektor techniczny  
tekstura, 25, 46, 62, 72, 79  
  dynamiczna, 258, 296  
  filtrowanie, 48, 165  
  generowana programowo, 166  
  proceduralna, 296

sześcienne, 83  
wielokrotna, *Patrz:* multiteksturowanie  
  współrzędne, 49, 72  
teksturowanie, 178  
terrain following, *Patrz:* analiza ukształtowania terenu  
Three.js, 53, 54, 55, 56, 155, 167, 171, 177, 193, 202, 207, 208, 213  
folder  
  build, 58  
  docs, 58  
  editor, 58  
  examples, 59  
  src, 59  
  utils, 59  
instalowanie, 58  
przekształcenie  
  przekształcenie  
  renderer, 61, 169  
  renderowanie, 67  
  scena trójwymiarowa, 57  
  struktura projektu, 58  
time-based animation, *Patrz:* animacja czasowa  
Tizen, 21, 302  
tło, 73  
TNB frame, *Patrz:* rama TNB  
tQuery, 220, 223  
transform, *Patrz:* przekształcenie transform hierarchii, *Patrz:* hierarchia przekształceń  
Trimble, 189  
trójkąt

  cieniowanie, 165  
  pas, 36, 37  
  przekształcanie, 165  
  sortowanie, 165  
  tablica, *Patrz:* trójkąt zestaw zestaw, 36  
TurboSquid, 189, 259  
Turbulenz, 218  
tween, *Patrz:* międzyklatka  
Tween.js, 107, 109, 111  
tweening, 106, 111  
typ geometryczny, 67  
typed array, *Patrz:* tablica typowana

## U

układ współrzędnych, 22, 23, 133  
Unreal, 20  
urządzenie przenośne, 301, 303  
usuwanie nieużytków, 323

## V

Verold Studio, 186  
view volume, *Patrz:* objętość widokowa  
viewport, *Patrz:* obszar widoku  
Virtual Reality Markup Language, *Patrz:* język VRML  
Vizi, 223, 239, 258  
  animacja, 244, 252, 286  
  architektura, 224  
  interaktywność, 228, 252, 254  
  obsługa, 226  
  zmienianie kolorów, 254  
Voodoo.js, 220  
VRML, 9  
Vukićević Vladimir, 32

## W

W3C, 20  
waga mieszania, 122  
Web App Tester, 311  
web apps, *Patrz:* aplikacja: sieciowa  
Web Workers, 20  
WebGL, 19, 20, 21, 23, 31, 34, 56, 172, 177, 198, 201, 215  
  kontekst, 35, 61, 158  
  oświetlenie, 86  
  podstawy, 32  
  silnik gier, 218  
  tekstura, 62  
  zabezpieczenia, 47  
WebSockets, 20  
wektor  
  normalny, *Patrz:* normalna position, 78  
  rotation, 78  
  scale, 78  
White Jack, 53  
widok bufora, 200  
widżet dynatree, 264  
wielodotyk, 306  
wielowątkowość, 20  
wierzchołek, 24  
Windows RT, 302  
World Wide Web Consortium, *Patrz:* W3C  
współrzędne UV, 72, *Patrz też:* tekstura współrzędne wywołanie zwrotne, 214

## Z

zachowanie domyślne, 214  
z-buffer, *Patrz:* bufor głębi  
zdarzenie dotykowe, 304, 305  
Zend, 215



# PROGRAM PARTNERSKI

GRUPY WYDAWNICZEJ HELION



- 1. ZAREJESTRUJ SIĘ**
- 2. PREZENTUJ KSIĄŻKI**
- 3. ZBIERAJ PROWIZJĘ**

Zmień swoją stronę WWW  
w działający bankomat!

**Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!**

<http://program-partnerski.helion.pl>

GRUPA WYDAWNICZA

 **Helion SA**

# Aplikacje 3D

Przewodnik po HTML5, WebGL i CSS3



Do niedawna wyświetlanie zaawansowanej grafiki 3D w przeglądarce internetowej wymagało zainstalowania dodatkowych wtyczek oraz poznawania nowych narzędzi. Dzięki HTML5 i WebGL te czasy powoli odchodzą w niepamięć! Teraz możesz wykorzystać niesamowite możliwości tego duetu, by zaskoczyć użytkowników atrakcyjnymi efektami 3D!

Ta wyjątkowa książka została w całości poświęcona właśnie zagadnieniom związanym z grafiką 3D w przeglądarce internetowej. Sięgnij po nią i przekonaj się, jak wykorzystać API WebGL do renderowania trójwymiarowej grafiki w czasie rzeczywistym. W kolejnych rozdziałach poznasz bibliotekę języka JavaScript – Three.js, która w znaczący sposób ułatwia życie programistom. Informacje zawarte w dalszych rozdziałach pozwolą Ci skorzystać z zaawansowanych efektów w CSS3 i tworzyć animacje trójwymiarowe. Zaznajomisz się też ze szczegółami tworzenia aplikacji dla urządzeń mobilnych. Twoją uwagę z pewnością przykuje przegląd narzędzi do tworzenia trójwymiarowych modeli i animacji – zarówno tych klasycznych, jak i tych online. To doskonała lektura dla wszystkich deweloperów chcących wzbogacić swój warsztat o elementy grafiki 3D.

## Dzięki tej książce:

- zapoznasz się z podstawami teorii grafiki 3D
- poznasz API WebGL
- wykorzystasz bibliotekę Three.js
- odkryjesz narzędzia przydatne w codziennej pracy
- jeszcze bardziej uatrakcyjnisz Twoją stronę

Poznaj potencjał HTML5 w zakresie grafiki 3D!

**helion.pl**  
księgarnia  
internetowa

Nr katalogowy: 26715



Księgarnia internetowa:  
<http://helion.pl>



Zamówienia telefoniczne:  
**0 801 339900**



**0 601 339900**



**Helion**

Sprawdź najnowsze promocje:

👉 <http://helion.pl/promocje>

Książki najchętniej czytane:

👉 <http://helion.pl/bestsellery>

Zamów informacje o nowościach:

👉 <http://helion.pl/novosci>

**Helion SA**

ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice

tel.: 32 230 98 63

e-mail: [helion@helion.pl](mailto:helion@helion.pl)

<http://helion.pl>

sięgnij po WIECEJ



KOD KORZYŚCI

ISBN 978-83-246-9668-0



Cena 59,00 zł