POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA

WYDZIAŁ INFORMATYKI

PRACA DYPLOMOWA INŻYNIERSKA

TEMAT: EDYTOR MODELI 3D OPARTYCH O WOKSELE

WYKONAWCA: PAWEŁ ALEKSIEJUK

.....
podpis

PROMOTOR: DR INŻ. ŁUKASZ GADOMER

.....
podpis

BIAŁYSTOK 2022 r.

Karta dyplomowa

Politechnika Białostocka Wydział Informatyki Katedra Nazwa katedry	Studia stacjonarne studia I stopnia	Numer albumu studenta: 105527 Rok akademicki 2021/2022 Kierunek studiów: Informatyka Specjalność: Inżynieria Oprogramowania

Paweł Aleksiejuk

TEMAT PRACY DYPLOMOWEJ:

Edytor modeli 3D opartych o woksele

Zakres pracy:

1. Przegląd podobnych rozwiązań dostępnych na rynku.
2. Zdefiniowanie wymagań stawianych wobec rozwiązania.
3. Opracowanie prostego silnika 3D.
4. Stworzenie narzędzia do edycji modelu 3D
5. Testowanie stworzonego rozwiązania.

Słowa kluczowe (max 5): Woksel, 3D, Edytor Modeli, C++

.....	.....
Imię i nazwisko promotora - podpis	Imię i nazwisko kierownika katedry - podpis

.....	.....	.....
Data wydania tematu pracy dyplomowej - podpis promotora	Regulaminowy termin złożenia pracy dyplomowej	Data złożenia pracy dyplomowej - potwierdzenie dziekanatu

.....	.....
Ocena promotora	Podpis promotora

.....	.....	.....
Imię i nazwisko recenzenta	Ocena recenzenta	Podpis recenzenta

Subject of diploma thesis

3D model editor based on voxels.

Summary

Streszczenie pracy po angielsku.

Załącznik nr 4 do „Zasad postępowania przy przygotowaniu i obronie pracy dyplomowej na PB”
Białystok, dnia 05.01.2022 r.

Paweł Aleksiejuk
Imiona i nazwisko studenta
105527
Nr albumu
informatyka, stacjonarne
Kierunek i forma studiów
dr inż. Łukasz Gadomer
Promotor pracy dyplomowej

OŚWIADCZENIE

Przedkładając w roku akademickim 2021/2022 Promotorowi **dr inż. Łukasz Gadomer** pracę dyplomową pt.: **Edytor modeli 3D opartych o woksele**, dalej zwaną pracą dyplomową, **oświadczam, że**:

1) praca dyplomowa stanowi wynik samodzielnej pracy twórczej;
2) wykorzystując w pracy dyplomowej materiały źródłowe, w tym w szczególności: monografie, artykuły naukowe, zestawienia zawierające wyniki badań (opublikowane, jak i nieopublikowane), materiały ze stron internetowych, w przypisach wskazywałem/am ich autora, tytuł, miejsce i rok publikacji oraz stronę, z której pochodzą powoływane fragmenty, ponadto w pracy dyplomowej zamieściłem/am bibliografię;
3) praca dyplomowa nie zawiera żadnych danych, informacji i materiałów, których publikacja nie jest prawnie dozwolona;
4) praca dyplomowa dotychczas nie stanowiła podstawy nadania tytułu zawodowego, stopnia naukowego, tytułu naukowego oraz uzyskania innych kwalifikacji;
5) treść pracy dyplomowej przekazanej do dziekanatu Wydziału Informatyki jest jednakowa w wersji drukowanej oraz w formie elektronicznej;
6) jestem świadomy/a, że naruszenie praw autorskich podlega odpowiedzialności na podstawie przepisów ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. z 2019 r. poz. 1231, późn. zm.), jednocześnie na podstawie przepisów ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1668, z późn. zm.) stanowi przesłankę wszczęcia postępowania dyscyplinarnego oraz stwierdzenia nieważności postępowania w sprawie nadania tytułu zawodowego;
7) udzielam Politechnice Białostockiej nieodpłatnej, nieograniczonej terytorialnie i czasowo licencji wyłącznej na umieszczenie i przechowywanie elektronicznej wersji pracy dyplomowej w zbiorach systemu Archiwum Prac Dyplomowych Politechniki Białostockiej oraz jej zwielokrotniania i udostępniania w formie elektronicznej w zakresie koniecznym do weryfikacji autorstwa tej pracy i ochrony przed przywłaszczeniem jej autorstwa.

.. . . . . czytelny podpis studenta

Spis treści

Wstęp

Grafika we współczesnym użyciu kojarzy się głównie z komputerowym przedstawieniem danych. Dane te tworzą medium wizualne, które mogą być wyświetlane między innymi na ekranach naszych monitorów komputerowych. Najczęściej rozróżniamy dwie rodzaje grafik: 2D (ang. *two-dimensional*) i 3D (ang. *three-dimensional*). Grafika 2D polega na przedstawieniu medium wizualnego opartego na obiekcie o dwóch wymiarach, zaś grafika 3D, analogicznie na obiekcie o trzech wymiarach.

Wokselem (ang. *voxel*) [1] nazywamy przedstawienie punktu w trójwymiarze. Nazwa woksel jest połączeniem angielskich słów *volume* oraz *element* i jest to analogiczne połączenie do *picture* i *element* w przypadku piksela (ang. *pixel*). Najczęstszym sposobem

Zainteresowany tymi tematami, autor postanowił prześledzić drogę tworzenia grafiki 3D od strony edytora modeli, tworząc go od postaw w ramach tej pracy. Edytor ten ma pozwolić użytkownikowi na kreację modelu 3D opartego na wokselach, wykorzystując wbudowane mechanizmy edycji.

Motywacją do napisania tej pracy było chęć stworzenia prostego funkcjonalnego silnika graficznego wraz z narzędziem do tworzenia modeli obsługiwanych przez ten silnik. W późniejszym czasie, planuję rozszerzyć ten projekt, tworząc w pełni funkcjonalną grę 3D.

Zakres pracy obejmował:

- Przegląd podobnych rozwiązań dostępnych na rynku.
- Zdefiniowanie wymagań stawianych wobec rozwiązania.
- Opracowanie prostego silnika 3D.
- Stworzenie narzędzia do edycji modelu 3D.
- Testowanie stworzonego rozwiązania.

Rozdział 1 przedstawia 5 istniejących już na rynku edytorów graficznych opartych o woksele, w celu zaznajomienia się z podstawowymi funkcjonalnościami postawionymi przez ich autorów.

Rozdział 2 skupia się na przedstawieniu dogłębnie projektu systemu, w celu zapoznania się z wymaganiami wobec aplikacji, jak i z wizją systemu w formie graficznej.

Rozdział 3 opisuje zastosowane technologie i rozwiązania, tłumacząc logikę i motywację za wyborem każdych z nich.

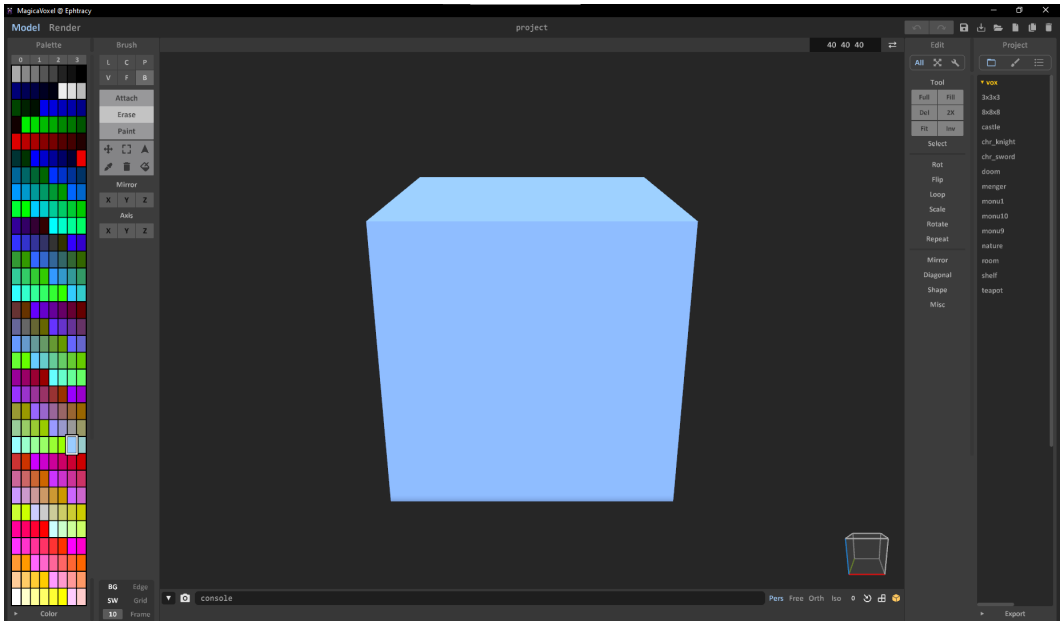
Rozdział 4 opisuje realizacje aplikacji. Zawiera w sobie informacje na temat technologii, środowiska programistycznego i implementacji.

1. Przegląd istniejących rozwiązań

Z uwagi na specjalistyczne zastosowanie stworzonego edytora graficznego, a mianowicie tworzenie specjalnych obiektów obsługiwanych przez wbudowany silnik graficzny, istniejące rozwiązania w głównej mierze mają służyć jako wykaz podstawowych, jak i dodatkowych funkcjonalności do możliwej implementacji w ostatecznym rozwiązaniu.

1.1 MagicaVoxel

MagicaVoxel [7] jest najpopularniejszym darmowym desktopowym edytorem wokseli dostępnym aktualnie na rynku. Stworzony i na bieżąco aktualizowany przez użytkownika o pseudonimie @ephtracy pozwala na nie tylko tworzenie modeli, ale też zdjęć do późniejszego udostępniania. Taka funkcjonalność pozwala na przetestowanie modelu w różnych warunkach, które są edytowalne poprzez parametry w wewnętrznym silniku renderującym. Interfejs rozwiązania został przedstawiony na rysunku 1.1



Rysunek 1.1: Ekran startowy programu MagicaVoxel (Windows), źródło: [7]

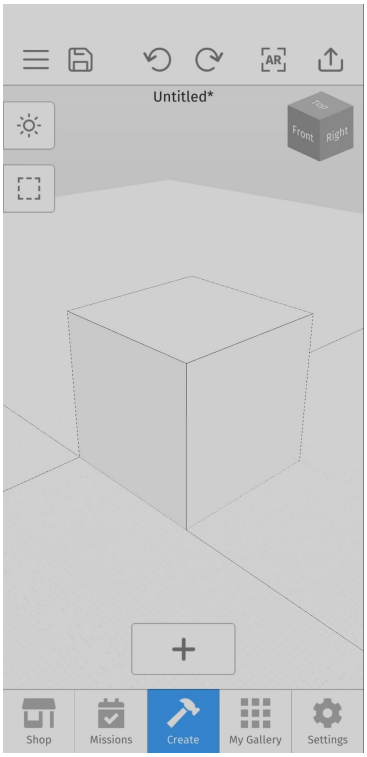
Główne atuty oprogramowania według producenta:

- Zaawansowany wewnętrzny silnik renderujący.
- Całkowicie darmowe oprogramowanie, nawet w przypadku użycia komercyjnego.

MagicaVoxel jest dostępny za darmo na platformach Windows i macOS.

1.2 Mega Voxels Play

Mega Voxels Play [11] to darmowy mobilny edytor stworzony przez Go Real Games. Tak jak większość edytorów wokselowych, pozwala na podstawowe operacje takie jak dodawanie, usuwanie i malowanie. Aplikacja posiada wbudowany sklep, który pozwala na pobranie gotowych modeli, w celu późniejszego wykorzystania. Interfejs rozwiązania został przedstawiony na rysunku 1.2



Rysunek 1.2: Ekran startowy programu Mega Voxels Play (Android), źródło: [11]

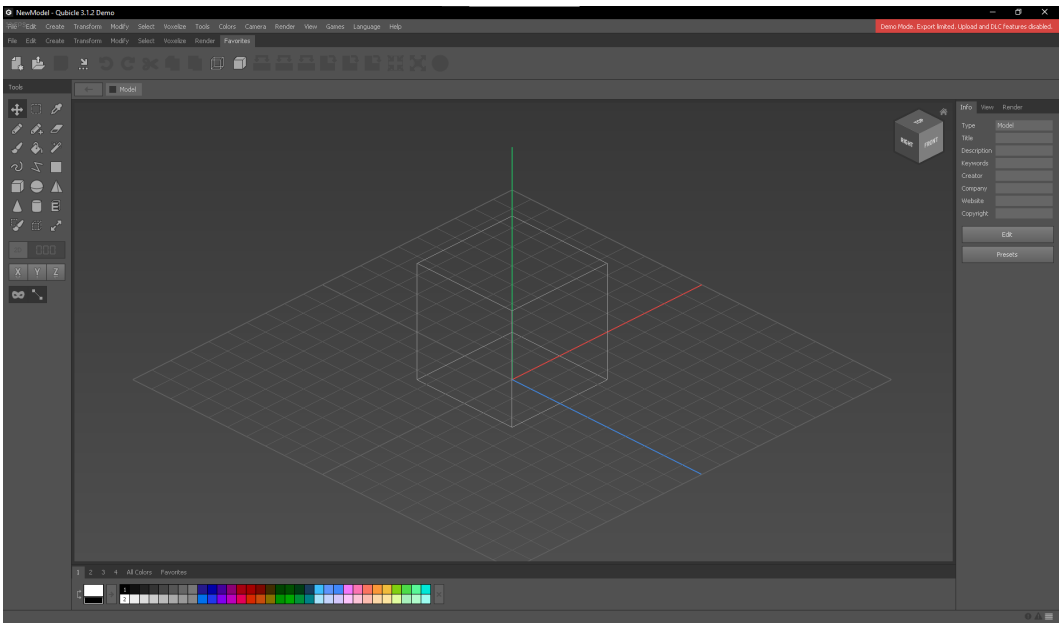
Główne atuty oprogramowania według producenta:

- Duża ilość bazowych modeli do pobrania.
- Prostość w obsłudze.
- Wsparcie dla AR (Rozszerzonej rzeczywistości).
- Różne efekty przetwarzania końcowego.

Mega Voxels Play jest dostępny za darmo na platformach mobilnych (Android i iOS).

1.3 Qubicle

Qubicle [10] jest zaawansowanym desktopowym narzędziem stworzonym przez Minddesk, przeznaczonym do tworzenia wokselowych modeli. Z porównaniem do poprzedników, aplikacja nie posiada limitu wielkości modeli, co pozwala użytkownikom na swobodne tworzenie wielkich modeli, jak i całych terenów. Dodatkowo oprócz standardowego w edytorach formatu .obj (Wavefront File), wspierane są też takie formaty jak .fbx (Autodesk), .dae (Collada). Interfejs rozwiązania został przedstawiony na rysunku 1.3



Rysunek 1.3: Ekran startowy programu Qubicle (Windows, Steam), źródło: [10]

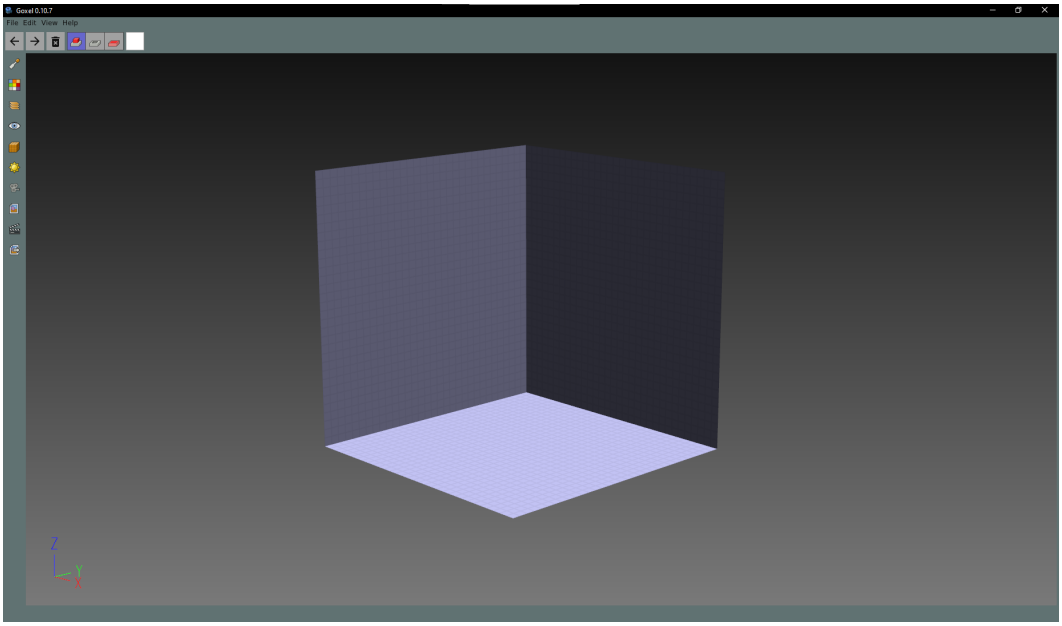
Główne atuty oprogramowania według producenta:

- Bardzo dużo narzędzi do edycji.
- Proste w obsłudze.
- Wbudowane narzędzie do konwersji z modelu siatkowego na model wokselowy.
- Wiele formatów do eksportu modeli.

Qubicle jest dostępny w czterech wersjach na platformach Windows i macOS, wersja okrojona (demo) za darmo, wersja podstawowa (bazowa) za 53.99 PLN, wersja rozszerzona (indie) za 89.99 PLN i pełna opcja (pro) za 410.56 PLN.

1.4 Goxel

Goxel [14] jest otwartym oprogramowaniem do edycji modeli wokselowych na komputery osobiste i urządzenia mobilne stworzone przez użytkownika o pseudonimie @guillaumechereau (GitHub). Główną funkcjonalnością Goxel, jest możliwość tworzenia warstw, w taki sam sposób jak w popularnych aplikacjach do manipulacji obrazami, między innymi takim jaki jest Adobe Photoshop. Interfejs rozwiązania został przedstawiony na rysunku 1.4



Rysunek 1.4: Ekran Startowy programu Goxel (Windows), źródło: [14]

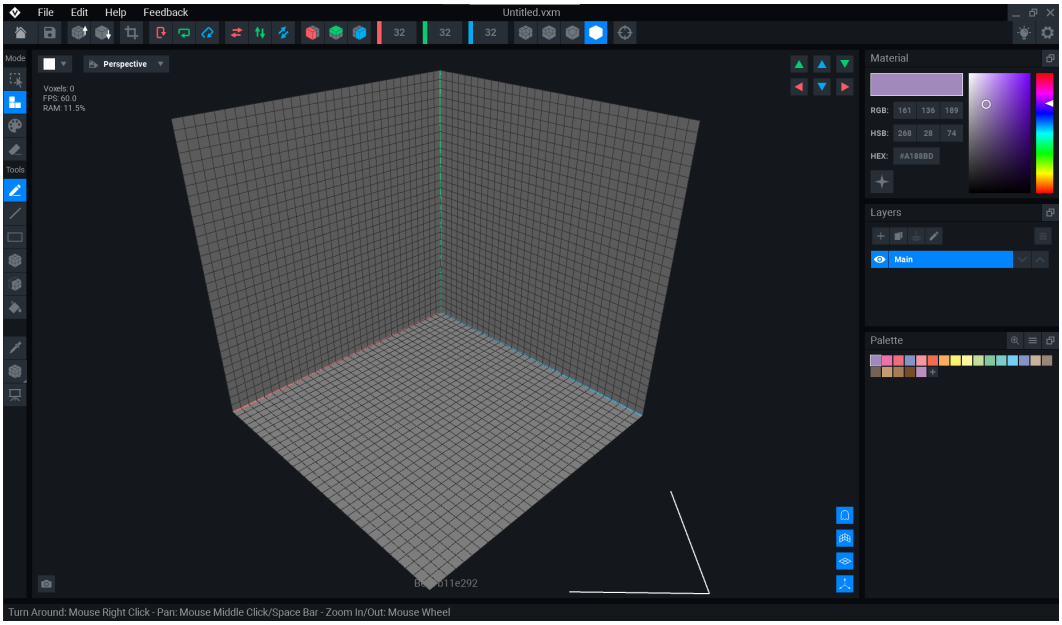
Główne atuty oprogramowania według producenta:

- Nieskończona wielkość sceny.
- Możliwość tworzenia obiektów na różnych warstwach.
- Wieloplatformowość.
- Wiele formatów do eksportu modeli.

Goxel jest dostępny za darmo na platformach Windows, Linux, iOS i macOS, a w przypadku platformy Android za opłatą 25.99 PLN.

1.5 VoxEdit Beta

VoxEdit Beta [21] jest darmowym oprogramowaniem stworzonym przez Pixowl do gry The Sandbox Game. Unikalną funkcjonalnością na tle innych aplikacji do edycji wokseli, jest możliwość montowania szkieletu i jego późniejszej animacji. Interfejs rozwiązania został przedstawiony na rysunku 1.5



Rysunek 1.5: Ekran startowy programu VoxEdit Beta (Windows), źródło: [21]

Główne atuty oprogramowania według producenta:

- Możliwość tworzenia animacji.
- Specjalny tryb edycji bloków.
- Przyjazny interfejs dla użytkownika.

VoxEdit Beta jest dostępny za darmo na platformach Windows i macOS.

2. Projekt systemu

W tym rozdziale przedstawiono główne rozwiązania z zakresu inżynierii oprogramowania i projektowania, takie jak wymagania funkcjonalne i niefunkcjonalne co do niniejszej pracy oraz diagramy, na których zobrazowano działanie systemu oraz zamieszczono ich opis. Tworząc taki projekt systemu, umożliwi on zaznajomienie się z podstawowym działaniem aplikacji.

2.1 Wymagania

Na podstawie informacji zebranych z rozdziału 1 „Przegląd istniejących rozwiązań", jak i wiedzy autora na temat programów graficznych, określone zostały podstawowe wymagania dotyczące aplikacji. Podzielono je na wymagania funkcjonalne oraz niefunkcjonalne.

2.1.1 Wymagania funkcjonalne

Aplikacja stworzona w ramach niniejszej pracy powinna spełniać następujące funkcjonalności:

- Tworzenie modeli 3D.
- Prosty interfejs użytkownika.
- Zmiana pozycji i wielkości okienek.
- Edycja modeli w czasie rzeczywistym.
- Tworzenie własnych opisów materiałów
- Zapis i odczyt modelu.
- Zmiana właściwości oświetlenia.

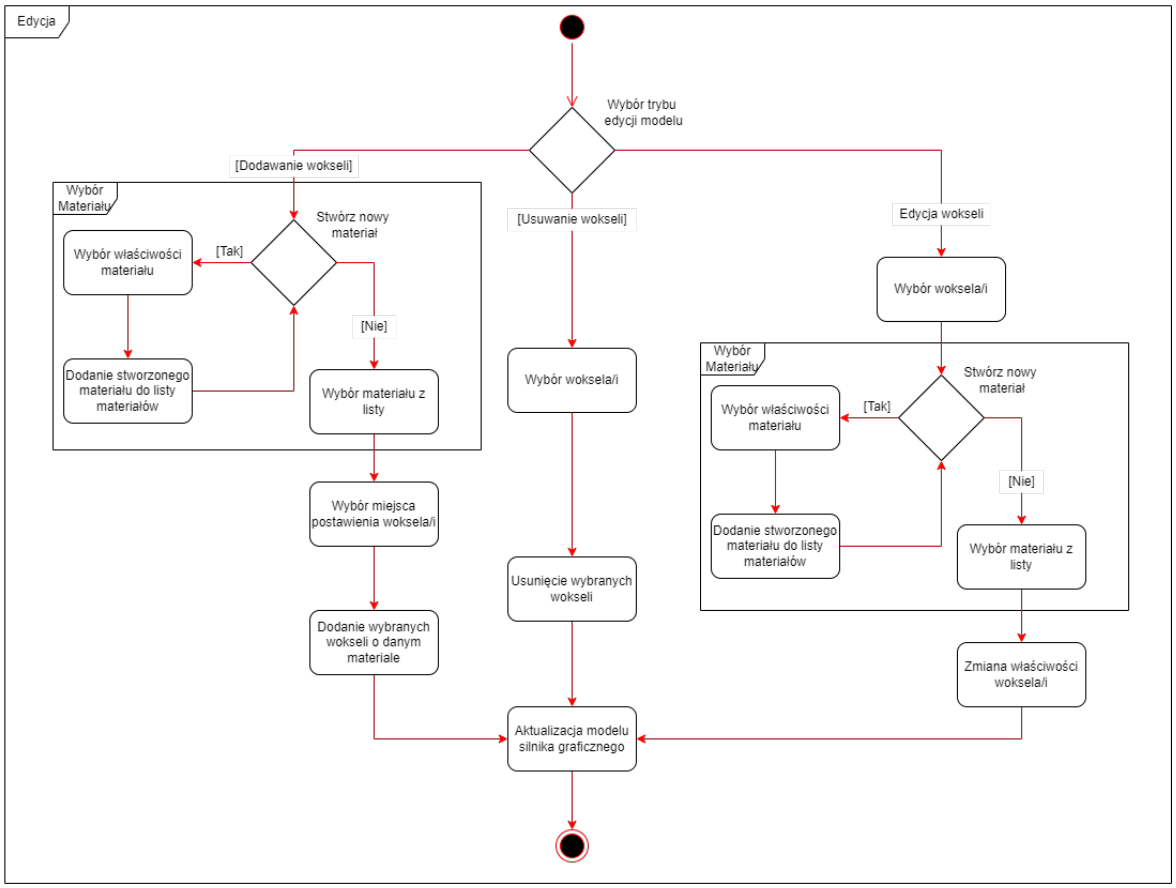
2.1.2 Wymagania niefunkcjonalne

Prócz wymagań funkcjonalnych zdefiniowano szereg wymagań niefunkcjonalnych, które aplikacja powinna spełniać. Należą do nich:

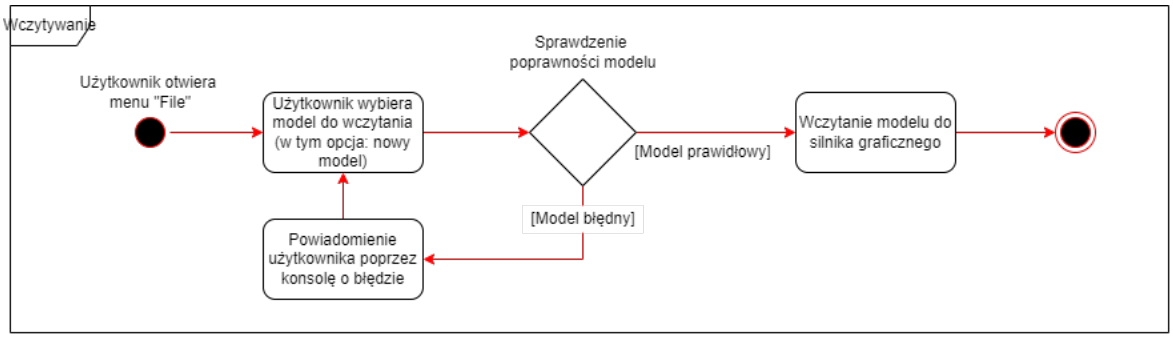
- Możliwość ponownego użycia silnika 3D w innych projektach.
- Wysoka responsywność na zmiany w modelu.
- Działanie na wielu platformach desktopowych (Windows, Linux, macOS).
- Konsola debugująca w czasie rzeczywistym.

2.2 Diagramy stanów

W aplikacji rozróżniamy dwa główne stany, stan gotowości do edycji albo stan wczytywania. Pierwszy z nich, przedstawiony na rysunku 2.1 jest odpowiedzialny za wprowadzanie zmian na obiekcie 3D. Z uwagi na to, że silnik renderuje klatki w czasie rzeczywistym, stan ten jest w ciągłej gotowości, czekający na ingerencje użytkownika. Drugi stan (rysunek 2.2) jest wywoływany w momencie wybrania nazwy pliku do wczytania.



Rysunek 2.1: Diagram stanów dla edycji, źródło: opracowanie własne

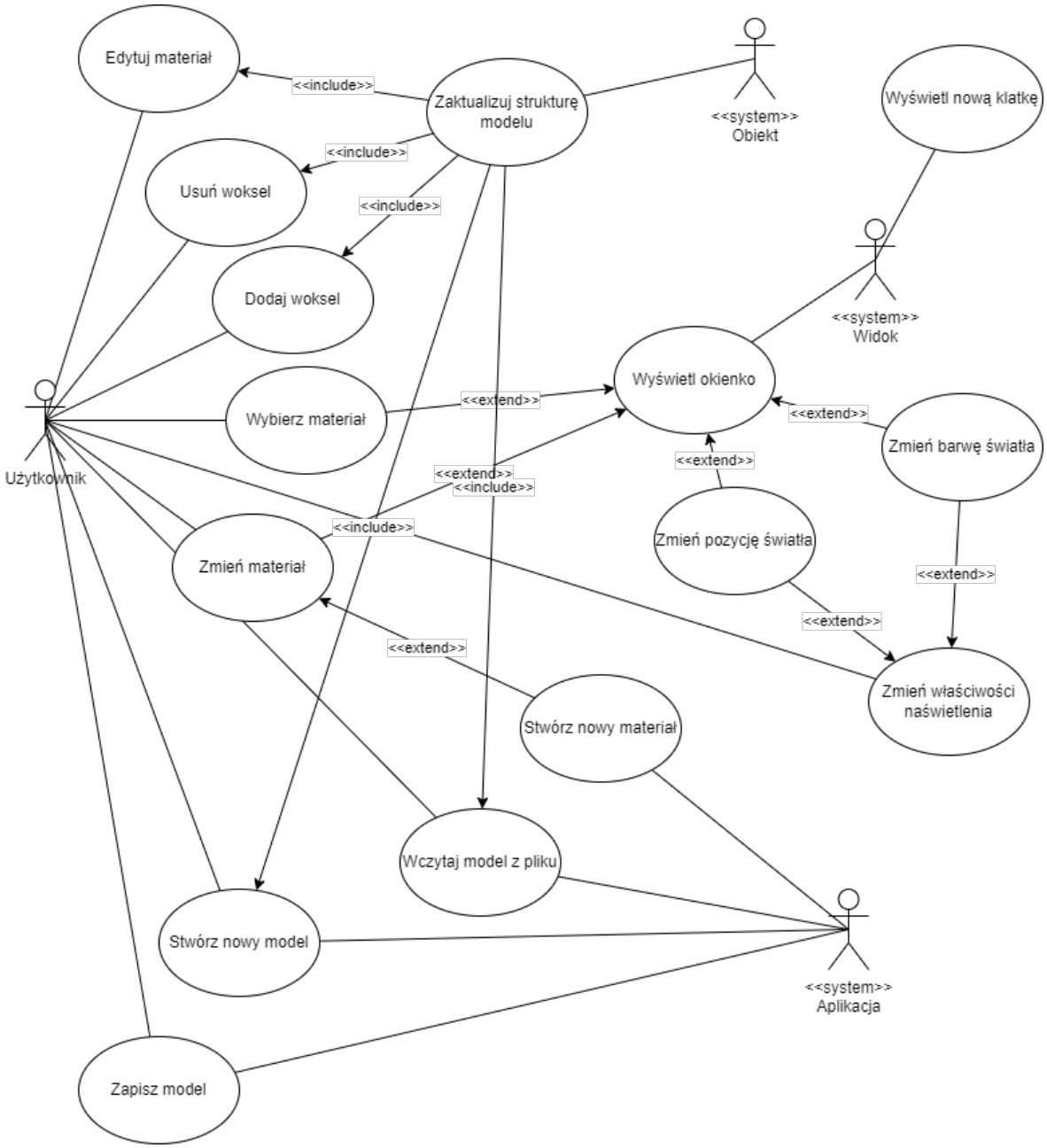


Rysunek 2.2: Diagram stanów dla wczytywania, źródło: opracowanie własne

2.3 Diagram przypadków użycia i opisy

Na rysunku 2.3 przedstawiono diagram przypadków użycia, w którym zawarte są wszystkie najważniejsze wymagania funkcjonalne w formie graficznej.

Głównymi przypadkami użycia tego systemu są metody manipulacji modelu 3D. To one pozwalają nam na dodawanie wokseli, usuwanie ich oraz edytowanie materiału. Przypadki te są odpowiednio opisane w tabeli 2.1, tabeli 2.2 oraz tabeli 2.3.



Rysunek 2.3: Diagram przypadków użycia, źródło: opracowanie własne

Tabela 2.1: Opis przypadku użycia „Dodaj woksel”

Sekcja	Treść
Uczestniczący aktorzy	Użytkownik, Widok, Aplikacja, Obiekt
Warunki wstępne	W okienku „Edit Mode” zaznaczony tryb „Add”
Warunki końcowe	Dodanie woksela do obiektu
Rezultat	Pojawienie się woksela w miejscu wskazanym przez użytkownika
Scenariusz główny	1. Użytkownik wybiera materiał z listy, bądź dodaje swój własny i go zatwierdza. 2. Użytkownik nacelowuje na interesującą go sciankę woksela, w celu postawienia na obok niej nowego woksela, po czym zatwierdza prawym przyciskiem myszy. 3. Aplikacja przekazuje do obiektu dane kliknięcia. 4. Obiekt aktualizuje strukturę danych. 5. Widok zostaje odświeżony w następnej klatce. 6. Użytkownik widzi efekt swojego działania na modelu 3D.
Scenariusz wyjątku	Zdarzenie: Użytkownik nie kliknął na sciankę istniejącego woksela Wynik: Brak dodania woksela do modelu 3D
Zależności czasowe	1. Częstotliwość wykonania: 0 lub więcej na sesję. 2. Typowy czas realizacji: 8.9 ms. 3. Maksymalny czas realizacji: 33,2 ms.
Wartości uzyskane przez aktorów po zakończeniu przypadków użycia	1. Pojawienie się woksela w miejscu i o materiale wybranym przez użytkownika. 2. Obiekt posiada zaktualizowaną strukturę o woksela.

Tabela 2.2: Opis przypadku użycia „Usuń woksel”

Sekcja	Treść
Uczestniczący aktorzy	Użytkownik, Widok, Aplikacja, Obiekt
Warunki wstępne	W okienku „Edit Mode” zaznaczony tryb „Remove”
Warunki końcowe	Usunięcie wskazanego woksela z obiektu
Rezultat	Zniknięcie woksela w miejscu wskazanym przez użytkownika
Scenariusz główny	1. Użytkownik nacelowuje na interesujący go woksel, po czym zatwierdza prawym przyciskiem myszy. 2. Aplikacja przekazuje do obiektu dane kliknięcia. 3. Obiekt zwraca woksel zainteresowania. 4. Aplikacja usuwa zwrócony woksel. 5. Widok zostaje odświeżony w następnej klatce. 6. Użytkownik widzi efekt swojego działania na modelu 3D.
Scenariusz wyjątku	Zdarzenie: Użytkownik nie kliknął w istniejącego woksela Wynik: Brak usunięcia woksela z modelu 3D
Zależności czasowe	1. Częstotliwość wykonania: 0 lub więcej na sesję. 2. Typowy czas realizacji: 5.9 ms. 3. Maksymalny czas realizacji: 16,6 ms.
Wartości uzyskane przez aktorów po zakończeniu przypadków użycia	1. Zniknięcie woksela w miejscu wybranym przez użytkownika. 2. Obiekt posiada zaktualizowaną strukturę bez kliknięgo woksela.

Tabela 2.3: Opis przypadku użycia „Edytuj materiał”

Sekcja	Treść
Uczestniczący aktorzy	Użytkownik, Widok, Aplikacja, Obiekt
Warunki wstępne	W okienku „Edit Mode” zaznaczony tryb „Color”
Warunki końcowe	Zmiana materiału we wskazanym miejscu w obiekcie
Rezultat	Zmiana materiału woksela w miejscu wskazanym przez użytkownika
Scenariusz główny	1. Użytkownik nacelowuje na interesujący go woksel, po czym zatwierdza prawym przyciskiem myszy. 2. Aplikacja przekazuje do obiektu dane kliknięcia. 3. Obiekt zwraca woksel zainteresowania. 4. Aplikacja zmiania kolor zwróconego woksela na ostatni wybrany materiał. 5. Widok zostaje odświeżony w następnej klatce. 6. Użytkownik widzi efekt swojego działania na modelu 3D.
Scenariusz wyjątku	Zdarzenie: Użytkownik nie kliknął w istniejącego woksela Wynik: Brak zmiany koloru woksela w modelu 3D
Zależności czasowe	1. Częstotliwość wykonania: 0 lub więcej na sesję. 2. Typowy czas realizacji: 3.2 ms. 3. Maksymalny czas realizacji: 16,6 ms.
Wartości uzyskane przez aktorów po zakończeniu przypadków użycia	1. Zmiana właściwości materiału woksela w miejscu wybranym przez użytkownika. 2. Obiekt posiada zmienioną specyfikacje materiału w kliknięty wokselu.

3. Zastosowane technologie i rozwiązania

Aby stworzyć aplikację, wpierw trzeba podjąć decyzję dotyczącą technologii w jakiej ma ona powstać. Programy działające w czasie rzeczywistym, wymagają dużej odpowiedzialności ze strony programisty, by zapewnić użytkownikowi jak najpłynniejsze doświadczenie podczas użytkowania. W tym celu, wybrano rozwiązania pozwalające programiście na jak największą ingerencję w sposób działania, jednocześnie pozwalając na wykorzystanie gotowych rozwiązań.

3.1 Języki programowania

Aplikacja została napisana w języku C++ w wersji ISO/IEC 14882:2011 [8] (C++11), z wyjątkiem plików cieniowania barw (ang. *shader files*), które zostały napisane w języku GLSL (OpenGL Shading Language) w wersji „330 core" [13]. Są wysokopoziomowymi językami, ze składnią pochodzącą z języka C, pozwalającymi na bezpośredni dostęp do zasobów sprzętowych i funkcji systemowych.

3.2 Środowisko programistyczne

Z uwagi na wymaganie multiplatformowości postawione w etapie projektowania systemu, wszystkie narzędzia programistyczne do tworzenia oprogramowania, powinny te zapotrzebowanie spełniać. Visual Studio Code [19] jest idealnym przykładem narzędzia, będącego multiplatformowe, bezpłatne oraz elastyczne. Głównym atutem tego IDE (ang. *Integrated Development Environment*), jest ogromna biblioteka rozszerzeń. Do stworzenie aplikacji, użyte zostały następujące pozycje:

- C/C++ [17] - wsparcie dla języków C i C++.
- CMake [23] - wsparcie dla języka CMake.
- CMake Tools [18] - integracja programu CMake.
- VSCode Icons [22] - zestaw ikon.
- Path Intellisense [16] - automatyczne kończenie nazw plików.

3.3 Biblioteki

Jedną z największych przewag języka C++ jest łatwość korzystania z bibliotek napisanych w C, C++ lub innych, niezależnie od platformy systemowej. Kontynuując temat multiplatformowości, systemy obsługi okien nie jest wspólny dla każdego z systemów operacyjnych. W celu rozwiązania tego problemu, użyta została biblioteka GLFW [6], pełniąca rolę interfejsu programistycznego aplikacji (ang. *Application Programming Interface*), wspierająca systemy okien takie jak Windows, macOS, X11 oraz Wayland.

Silniki graficzne są zaawansowanymi modułami, które wykonują wiele obliczeń matematycznych. W celu zapewnienia najwyższej wydajności działania tych obliczeń, jak i zapewnieniu zgodności struktur matematycznych pomiędzy kodem pisanym w C++, a kodem pisanym w GLSL, wybrano bibliotekę glm [3].

Do komunikacji pomiędzy użytkownikiem a silnikiem 3D, wykorzystano bibliotekę ImGui [20], pełniącą rolę graficznego interfejsu użytkownika (ang. *GUI Graphical User Interface*. Została stworzona specjalnie na potrzeby szybkich iteracji, potrzebnych między innymi w silnikach gier, aplikacjach 3D czasu rzeczywistego oraz aplikacjach pełnoekranowych.

Zastosowanie OpenGL w aplikacji wymaga użycia biblioteki ładującej, odpowiedzialnej za ładowanie wskaźników, funkcji w czasie rzeczywistym, jąder, jak i rozszerzeń. [12] Jedną z takich bibliotek jest Glad [4], która jest generowana przez użytkownika na podstawie jego potrzeb.

4. Realizacja projektu

Kolejnym etapem jest i

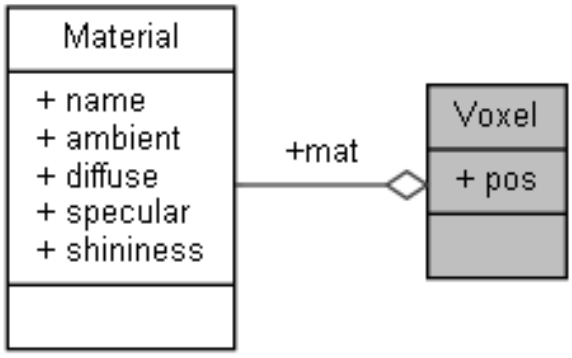
4.1 Struktura danych

Klasa „Object” (listing 4.1) jest odpowiedzialna za przechowywanie i obsługę danych dotyczących modelu. Jako rozwiązanie do przetrzymywania danych w strukturze, autor zastosował połączenie tablicy haszującej (ang. *hash table*) jako wyznacznik istnienia woksela w danym miejscu oraz wektora wokseli, zawierającego struktury „Voxel” (rysunek 4.1).

```
class Object
{
public:
  Object();
  void Draw(MVP mvp, glm::vec3 cameraPosition, Light light);
  void AddVoxel(glm::ivec3 pos, Material mat);
  void ChangeColor(Voxel *voxel, Material mat);
  void RemoveVoxel(Voxel *voxel);
  void RemoveVoxel(glm::vec3 pos);
  void Reset();
  void Save();
  void Load(std::string objectPath);
  Voxel *CheckRay(glm::vec3 ray_origin, glm::vec3 ray_dir, glm::vec3 ↙
      ↳ &newBlockLoc);
  std::vector<Voxel> GetListOfVoxels();

  std::string name;
private:
  ...
  std::vector<Voxel> m_voxels;
  bool m_hashVoxels[VOXEL_COUNT][VOXEL_COUNT][VOXEL_COUNT];
};
```

Listing 4.1: Fragment kodu klasy „Object” odpowiedzialnego za obsługę modelu 3D



Rysunek 4.1: Diagram struktury „Voxel”, źródło: wygenerowane za pomocą doxygen [15]

Aplikacja obsługuje dwie własne struktury danych, które są przechowywane, na poziomie dysku. Pozwala to użytkownikowi na dostęp do tych danych, nawet po zakończeniu sesji.

Plik tekstowy z zakończeniem `.mat` odpowiedzialny jest za przechowywanie właściwości materiałów. Tworzony jest za pomocą okna „Material", poprzez globalną funkcję „saveMaterial" przedstawioną na listingu 4.2.

```
void saveMaterial(Material mat, const std::string &matName, bool edit)
{
        std::cout << "MATERIAL::SAVE_MATERIAL␣";
        std::string matPath = std::string(FILES_PATH) + matName + ↙
            ↳ MATERIAL_FILE_EXTENSION;
        std::cout << matPath << "␣";
        std::ofstream file(matPath);
        if (file.bad() || file.fail())
        {
                std::cout << "FILE_BAD" << std::endl;
                return;
        }
        file << mat.name << std::endl;
        file << mat.ambient[0] << "␣" << mat.ambient[1] << "␣" << ↙
            ↳ mat.ambient[2] << std::endl;
        file << mat.diffuse[0] << "␣" << mat.diffuse[1] << "␣" << ↙
            ↳ mat.diffuse[2] << std::endl;
        file << mat.specular[0] << "␣" << mat.specular[1] << "␣" << ↙
            ↳ mat.specular[2] << std::endl;
        file << mat.shininess;
        file.close();
        ...
}
```

Listing 4.2: Fragment kodu funkcji zapisującej właściwości materiału do pliku tekstowego

4.2 Implementacja wybranych funkcjonalności

4.2.1 Interakcja z obiektem

Najważniejszą funkcjonalnością do implementacji była interakcja z obiektem. Przyciśnięcie lewego przycisku myszy (`GLFW_MOUSE_BUTTON_LEFT` i `GLFW_PRESS`) w oknie wygenerowanym przez bibliotekę GLFW, pozwala na obliczenie kierunku promienia mającego początek w miejscu kamery. W celu obliczenia tego promienia, zastosowana została funkcja „getRayCast" [9], której zadaniem jest przekształcenie punktu 2D z przestrzeni rzutni (ang. *viewport space*) do promienia 3D w przestrzeni świata (ang. *world space*).

```
if (button == GLFW_MOUSE_BUTTON_LEFT && action == GLFW_PRESS)
    {
      glm::vec3 ray_origin = voxelGame->camera->Position;
```

```
      glm::vec3 ray_dir = ↙
          ↳ voxelGame->getRayCast(voxelGame->mvp.projection, ↙
          ↳ voxelGame->mvp.view);
      glm::vec3 newBlockLoc = glm::vec3(0.f);
      Voxel *t_voxel = voxelGame->object->CheckRay(ray_origin, ray_dir, ↙
          ↳ newBlockLoc);

      ...
    }
```

Listing 4.3: Fragment kodu klasy „VoxelGame” odpowiedzialnego za obsługę lewego przycisku myszy

W celu określenia intersekcji promienia z wokselem, w klasie „Object” zaimplementowano funkcję „CheckRay” zmodyfikowaną na potrzeby tego testu przecięcia z artykułu „An Efficient and Robust Ray-Box Intersection Algorithm” [24]. Modyfikacja ta dodała możliwość obliczenia nie tylko pozycji woksela, ale też i jego ścianki. W zależności od trybu edycji użytkownika, w przypadku intersekcji z wokselem, wykonywane są następujące funkcje:

- „ChangeColor” (implementacja w sekcji Zmiana materiału woksela) służąca do zmiany koloru woksela.
- „RemoveVoxel” (implementacja w sekcji Usunięcie woksela) służąca do usunięcia woksela.
- „AddVoxel” (implementacja w sekcji Dodanie woksela) służąca do postawienia woksela na ściance obliczonej przez „CheckRay”.

```
if (t_voxel)
      {
        if (voxelGame->stateHandler->GetColorMode())
          voxelGame->object->ChangeColor(t_voxel, ↙
              ↳ loadMaterial(voxelGame->activeMaterialName));
        if (voxelGame->stateHandler->GetRemoveMode())
          voxelGame->object->RemoveVoxel(t_voxel);
        if (voxelGame->stateHandler->GetAddMode())
        {
          voxelGame->object->AddVoxel(t_voxel->pos + newBlockLoc, ↙
              ↳ loadMaterial(voxelGame->activeMaterialName));
        }
      }
```

Listing 4.4: Dalszy fragment kodu z listingu 4.3

4.2.2 Dodanie woksela

```
void Object::AddVoxel(glm::ivec3 pos, Material mat)
{
    glm::ivec3 t_pos = glm::ivec3(VOXEL_COUNT / 2 + pos.x, VOXEL_COUNT ↙
        ↳ / 2 + pos.y, VOXEL_COUNT / 2 + pos.z);
    if (t_pos.x < 0 || t_pos.x > VOXEL_COUNT)
    {
        std::cout << "OBJECT::ADD_VOXEL::POS::X␣Out␣of␣bounds␣" << ↙
            ↳ std::endl;
        return;
    }
    if (t_pos.y < 0 || t_pos.y > VOXEL_COUNT)
    {
        std::cout << "OBJECT::ADD_VOXEL::POS::Y␣Out␣of␣bounds␣" << ↙
            ↳ std::endl;
        return;
    }
    if (t_pos.z < 0 || t_pos.z > VOXEL_COUNT)
    {
        std::cout << "OBJECT::ADD_VOXEL::POS::Z␣Out␣of␣bounds␣" << ↙
            ↳ std::endl;
        return;
    }
    if (m_hashVoxels[t_pos.x][t_pos.y][t_pos.z])
    {
        std::cout << "OBJECT::ADD_VOXEL␣Voxel␣already␣here" << std::endl;
        return;
    }
    Voxel t_voxel;
    t_voxel.pos = pos;
    t_voxel.mat = mat;
    m_voxels.push_back(t_voxel);
    m_hashVoxels[t_pos.x][t_pos.y][t_pos.z] = true;
    std::cout << "OBJECT::ADD_VOXEL␣(" << t_voxel.pos.x << ",␣"
              << t_voxel.pos.y << ",␣" << t_voxel.pos.z << ")␣("
              << t_voxel.mat.name << ")" << std::endl;
}
```

Listing 4.5: Fragment kodu klasy „Object” odpowiedzialnego za dodawanie woksela

4.2.3 Usunięcie woksela

```
void Object::RemoveVoxel(Voxel *voxel)
{
    glm::ivec3 t_pos = glm::ivec3(VOXEL_COUNT / 2 + voxel->pos.x, ↙
        ↳ VOXEL_COUNT / 2 + voxel->pos.y, VOXEL_COUNT / 2 + ↙
        ↳ voxel->pos.z);
    m_hashVoxels[t_pos.x][t_pos.y][t_pos.z] = false;
    m_voxels.erase(m_voxels.begin() + (voxel - &m_voxels.front()));
}
```

Listing 4.6: Fragment kodu klasy „Object” odpowiedzialnego za usunięcie woksela

4.2.4 Zmiana materiału woksela

```
void Object::ChangeColor(Voxel *voxel, Material mat)
{
    voxel->mat = mat;
```

```
}
```

Listing 4.7: Fragment kodu klasy „Object” odpowiedzialnego za zmianę materiału woksela

4.3 Testy aplikacji

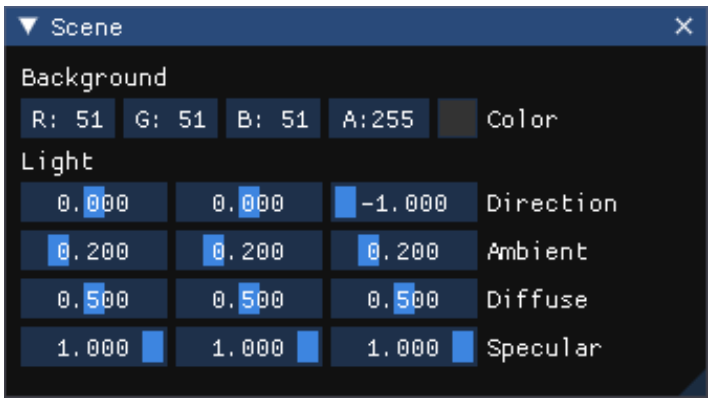
5. Dokumentacja techniczna

5.1 Prezentacja systemu

Głównym założeniem interfejsu była prostota i customizowalność. Osiągnięte to zostało poprzez wyeksponowanie modelu, który jest renderowany w czasie rzeczywistym przez silnik 3D edytora.

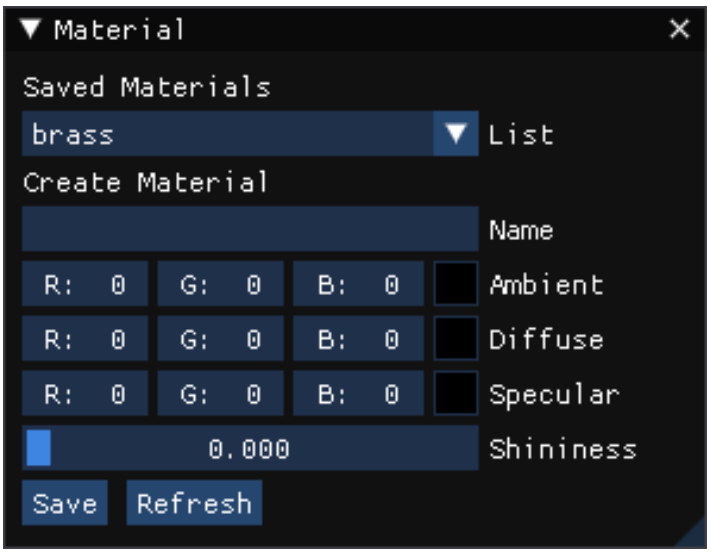
Rysunek 5.1: Ekran startowy programu, źródło: opracowanie własne

By użytkownikowi dać więcej możliwości ustawienia wyglądu wyjściowego, dodano opcję zmiany wartości oświetlenia, jak i tła aplikacji. Wygląd okna „Scene” został ukazany na rysunku 5.2.



Rysunek 5.2: Okno zmiany ustawień sceny, źródło: opracowanie własne

Zmiana aktywnego materiału odbywa się poprzez wybór z listy dostępnych, jak i stworzonych materiałów w oknie „Material” (rysunek 5.3).



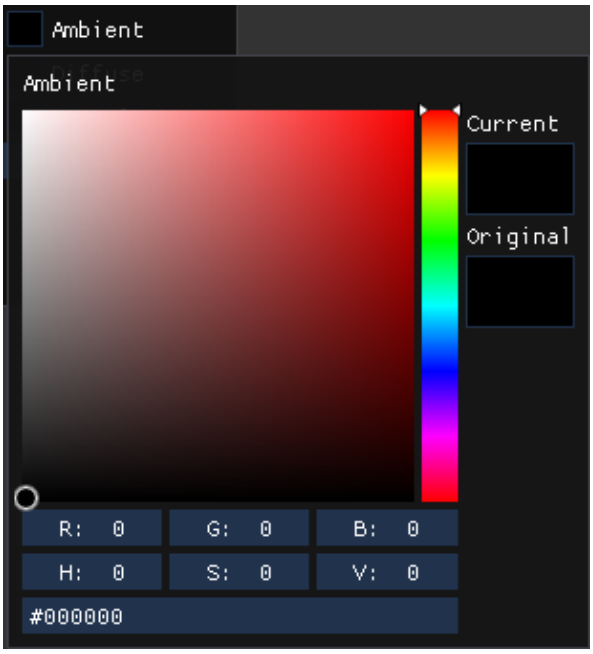
Rysunek 5.3: Okno zmiany bieżącego materiału, jak i jego edycji, źródło: opracowanie własne

W celu ułatwienia wyboru koloru podczas tworzenia materiału oraz wyboru tła sceny, parametry „Color” w przypadku okna „Scene”, jak i „Ambient”, „Diffuse” i „Specular” w przypadku okna „Material” posiadają opcję wyboru ręcznego z kwadratu kolorów (rysunek 5.4).

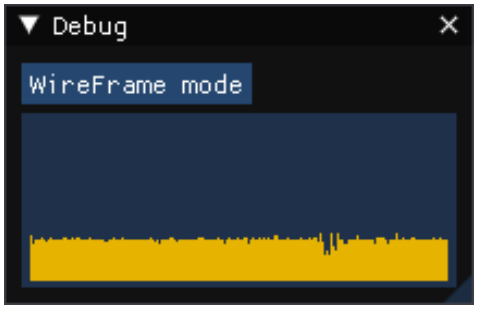
Okno „Debug” (rysunek 5.5) powstało specjalnie z uwagą na wymagania czasowe dotyczące głównych funkcjonalności. Przycisk „WireFrame mode” przełącza w silniku 3D sposób renderowania obiektów na tylko krawędzie. Pod przyciskiem w czasie rzeczywistym kreślony jest wykres czasu renderowania pojedynczej klatki (ang. *frame time*).

Przedstawione powyżej okna aplikacji, są dostępne z poziomu paska nawigacji (rysunek 5.6) za pomocą którego można je pokazywać lub chować. Dla każdego z tych okienek, użytkownik może zmienić ich pozycję, wielkość, jak i zminimalizować, według własnego uznania. Na rysunku 5.7 przedstawione zostało zmniejszone okno „Material” z rysunku 5.3.

Głównym oknem do zmiany trybów interakcji z modelem 3D jest „Edit Modes” ukazany na rysunku 5.8. Służy ono do zmiany głównych trybów edycji na modelu 3D. Przez zaznaczenie jednej opcji z „Add”, „Remove” lub „Color”, kliknięcie na istniejący model na ekranie będzie miał inny rezultat.



Rysunek 5.4: Okno wyboru wartości koloru wraz z podglądem po prawej stronie, źródło: opracowanie własne



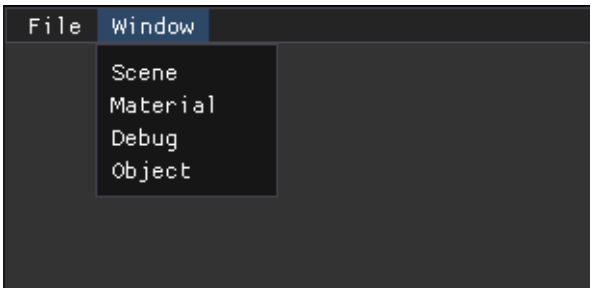
Rysunek 5.5: Okno z informacjami o działaniu silnika graficznego, źródło: opracowanie własne

Pasek z rysunku 5.6 posiada jeszcze jedną opcję, a mianowicie „File”, odpowiedzialną za wczytywanie modeli z pliku, zapisywanie ich oraz tworzenie nowych. Opcję tej zakładki są przedstawione na rysunku 5.9

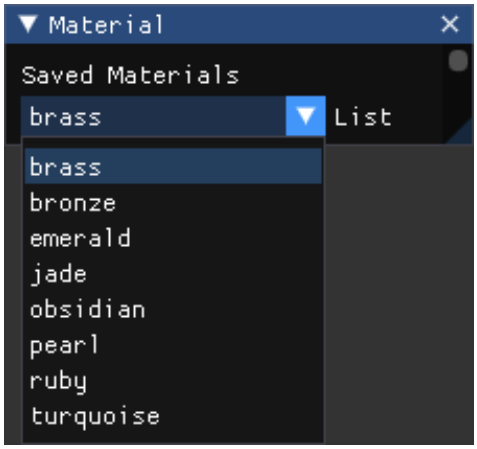
W przypadku opcji „Open Model” przedstawionej na rysunku 5.10 oraz „Save As” na rysunku 5.11, użytkownik wprowadza ścieżkę względną do pliku w celu jego wczytania, bądź w przypadku opcji drugiej, jego nazwę.

5.2 Instrukcja użytkownika

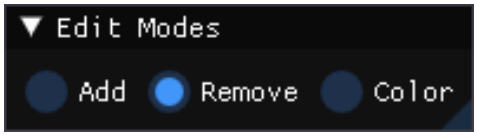
W podrozdziale



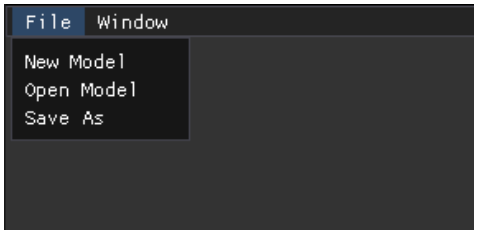
Rysunek 5.6: Pasek nawigacyjny z wybraną opcją „Window”, źródło: opracowanie własne



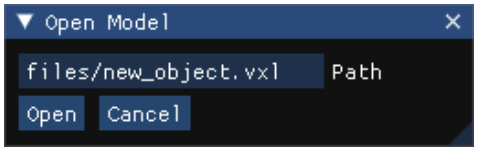
Rysunek 5.7: Okno „Material” ze zmienionym rozmiarem przez użytkownika, źródło: opracowanie własne



Rysunek 5.8: Okno trybu edycji modelu 3D, źródło: opracowanie własne



Rysunek 5.9: Pasek nawigacyjny z wybraną opcją „File”, źródło: opracowanie własne



Rysunek 5.10: Okno wczytania modeli do edytora, źródło: opracowanie własne

Rysunek 5.11: Okno zapisu aktualnego modelu 3D do pliku, źródło: opracowanie własne

6. Rozdział 6

Podsumowanie

Tutaj będzie podsumowanie.

Bibliografia

[1] Tomas Akenine-Moller and Naty Hoffman Eric Haines. *Real-Time Rendering, Fourth Edition*. CRC Press, s. 578, 2018.

[2] Sam Bus and Samuel R. Buss. *3D Computer Graphics: A Mathematical Introduction with OpenGL*. Cambridge University Press, s. 69-87, 2003.

[3] G-Truc Creation. OpenGL Mathematics (GLM). `https://glm.g-truc.net/0.9.9/index.html`, stan z 18.02.2021 r.

[4] Dav1dde. glad. `https://glad.dav1d.de/`, stan z 18.02.2021 r.

[5] Joey de Vries. *Learn OpenGL: Learn modern OpenGL graphics programming in a step-by-step fashion*. KW Publishers, s. 69-, 2020.

[6] elmindreda. GLFW. `https://www.glfw.org/`, stan z 18.02.2021 r.

[7] ephtracy. MagicaVoxel. `https://ephtracy.github.io`, stan z 04.02.2021 r.

[8] International Organization for Standardization. ISO/IEC 14882:2011 standard. `https://www.iso.org/standard/50372.html`, stan z 18.02.2021 r.

[9] Anton Gerdelan. Mouse Picking with Ray Casting. `https://antongerdelan.net/opengl/raycasting`, stan z 21.08.2021 r.

[10] Minddesk Software GmbH. Qubicle. `https://www.minddesk.com`, stan z 04.02.2021 r.

[11] LLC Go Real Games. Mega Voxels Play. `https://www.megavoxels.com`, stan z 04.02.2021 r.

[12] The Khronos Group. OpenGL Loading Library. `https://www.khronos.org/opengl/wiki/OpenGL_Loading_Library`, stan z 18.02.2021 r.

[13] The Khronos Group. The OpenGL® Shading Language specification. `https://www.khronos.org/registry/OpenGL/specs/gl/GLSLangSpec.3.30.pdf`, stan z 18.02.2021 r.

[14] guillaumechereau. Goxel. https://goxel.xyz, stan z 04.02.2021 r.

[15] KDE. Doxygeng. https://www.doxygen.nl/index.html, stan z 21.08.2021 r.

[16] Christian Kohler. Path Intellisense extension for Visual Studio Code. https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=christian-kohler.path-intellisense, stan z 18.02.2021 r.

[17] Microsoft. C/C++ extension for Visual Studio Code. https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=ms-vscode.cpptools, stan z 18.02.2021 r.

[18] Microsoft. CMake Tools extension for Visual Studio Code. https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=ms-vscode.cmake-tools, stan z 18.02.2021 r.

[19] Microsoft. Visual Studio Code. https://code.visualstudio.com, stan z 18.02.2021 r.

[20] ocornut. Dear ImGui. https://github.com/ocornut/imgui, stan z 18.02.2021 r.

[21] Pixowl. VoxEdit Beta. https://www.voxedit.io, stan z 04.02.2021 r.

[22] VSCode Icons Team. vscode-icons extension for Visual Studio Code. https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=vscode-icons-team.vscode-icons, stan z 18.02.2021 r.

[23] twxs. CMake extension for Visual Studio Code. https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=twxs.cmake, stan z 18.02.2021 r.

[24] Amy Williams, Steve Barrus, R. Keith Morley, and Peter Shirley. An efficient and robust ray-box intersection algorithm. *Journal of Graphics GPU and Game Tools*, 10(1):49–54, January 2005.

Spis tabel

Spis rysunków

Spis listingów

Spis algorytmów