

# **Wprowadzenie do grafiki maszynowej. Wprowadzenie do OpenGL**

Aleksander Denisiuk  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski  
Olsztyn, ul. Słoneczna 54  
[denisjuk@matman.uwm.edu.pl](mailto:denisjuk@matman.uwm.edu.pl)

# ***Wprowadzenie do OpenGL***

Szablon Aplikacji

Hello, Triangle!

Najnowsza wersja tego dokumentu dostępna jest pod adresem

<http://wmii.uwm.edu.pl/~denisjuk/uwm>

## Szablon Aplikacji

- ❖ Czynności standardowe
- ❖ Nagłówki
- ❖ Kontekst
- ❖ Dostęp do rozszerzeń
- ❖ VAO
- ❖ Kompilacja
- ❖ Rejestracja callbacków
- ❖ Renderowanie
- ❖ Czyszczenie pamięci
- ❖ Debugowanie

Hello, Trianlge!

---

# Szablon Aplikacji

# Czynności standardowe

Szablon Aplikacji

❖ Czynności standardowe

- ❖ Nagłówki
- ❖ Kontekst
- ❖ Dostęp do rozszerzeń
- ❖ VAO
- ❖ Kompilacja
- ❖ Rejestracja callbacków
- ❖ Renderowanie
- ❖ Czyszczenie pamięci
- ❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

- Utworzenie kontekstu — biblioteka `GLFW` (jedna z możliwości)
- Dostęp do *rozszerzeń OpenGL* — biblioteka `GLEW` (jedna z możliwości)
- Utworzenie VAO
- Kompilacja programu cieniującego z shaderów
- Rejestracja *callbacków* (funkcji wywołania zwrotnego) na zdarzenia okna (zmiana rozmiaru, renderowanie, etc), klawiatury, myszki, etc — biblioteka `GLFW` (jedna z możliwości)
- Renderowanie
- Czyszczenie pamięci GPU (z VAO, programów, etc)
- Debugowanie

# Dołączenie bibliotek graficznych

## Szablon Aplikacji

❖ Czynności standardowe

## ❖ Nagłówki

❖ Kontekst

❖ Dostęp do rozszerzeń

❖ VAO

❖ Kompilacja

❖ Rejestracja callbacków

❖ Renderowanie

❖ Czyszczenie pamięci

❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

```
#include <GL/glew.h>
```

```
#include <GLFW/glfw3.h>
```

- Kolejność ma znaczenie
- Nie ma potrzeby w sposób jawny dołączać

```
#include <GL/gl.h>
```

# Utworzenie kontekstu

## Szablon Aplikacji

❖ Czynności standardowe

❖ Nagłówki

❖ Kontekst

❖ Dostęp do rozszerzeń

❖ VAO

❖ Kompilacja

❖ Rejestracja callbacków

❖ Renderowanie

❖ Czyszczenie pamięci

❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

## ● Inicjalizacja GLFW

```
glfwInit();
```

## ● Ustawienie wersji OpenGL i innych parametrów

```
glfwWindowHint(GLFW_CONTEXT_VERSION_MAJOR,  
                major_gl_version);
```

```
glfwWindowHint(GLFW_CONTEXT_VERSION_MINOR,  
                minor_gl_version);
```

```
glfwWindowHint(GLFW_OPENGL_DEBUG_CONTEXT, GLFW_TRUE);
```

# Ustawienia i utworzenie okna

## Szablon Aplikacji

❖ Czynności standardowe

❖ Nagłówki

❖ Kontekst

❖ Dostęp do rozszerzeń

❖ VAO

❖ Kompilacja

❖ Rejestracja callbacków

❖ Renderowanie

❖ Czyszczenie pamięci

❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

## ● Utworzenie okna i odpowiedniego kontekstu

```
window = glfwCreateWindow(width, height, title,
                           monitor, share_window);
```

```
if (!window) {
    std::cerr << "ERROR";
    glfwTerminate();
    exit(EXIT_FAILURE);
}
```

```
glfwMakeContextCurrent(window);
```

- ◆ w razie powodzenia `window` będzie dodatnią liczbą
- ◆ w trybie okienkowym `monitor == NULL`
- ◆ jeżeli kontekst nie jest współdzielony, `share_window == NULL`

# Dostęp do rozszerzeń

## Szablon Aplikacji

❖ Czynności standardowe

❖ Nagłówki

❖ Kontekst

❖ Dostęp do rozszerzeń

❖ VAO

❖ Kompilacja

❖ Rejestracja callbacków

❖ Renderowanie

❖ Czyszczenie pamięci

❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

```
GLenum glew_init_result;  
glewExperimental = GL_TRUE;  
glew_init_result = glewInit();
```

- Zmienna `glew_init_result` jest zdefiniowana w module `GLEW`
- W razie niepowodzenia zmienna `glew_init_result` będzie zawierała kod błędu (wartość inną, niż `GLEW_OK`)
- Komunikat o błędzie można otrzymać poprzez funkcję `glewGetErrorString(glew_init_result)`
- Czasami po `glewInit()` generuje się błąd OpenGL `GL_INVALID_ENUM` — zignorować



# Utworzenie VAO

## Szablon Aplikacji

❖ Czynności standardowe

❖ Nagłówki

❖ Kontekst

❖ Dostęp do rozszerzeń

❖ VAO

❖ Kompilacja

❖ Rejestracja callbacków

❖ Renderowanie

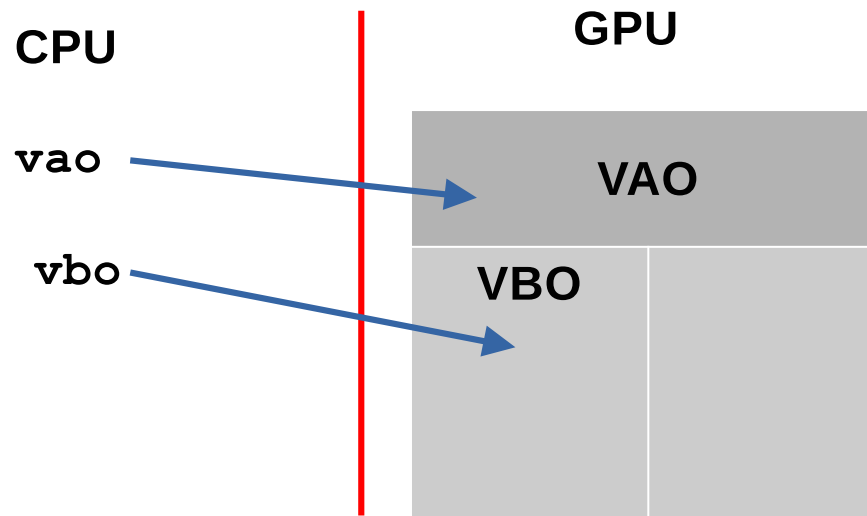
❖ Czyszczenie pamięci

❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

- Zmienna `vao` typu `GLuint` jest *identyfikatorem VAO*  

```
glGenVertexArrays(1, &vao);  
glBindVertexArray(vao);
```
- Dowiązanie VAO robi go aktywnym. Wszystkie kolejne działania będą dotyczyły bieżącego VAO
- W szczególności, można utworzyć VBO



# Utworzenie VBO

## Szablon Aplikacji

❖ Czynności standardowe

❖ Nagłówki

❖ Kontekst

❖ Dostęp do rozszerzeń

❖ VAO

❖ Kompilacja

❖ Rejestracja callbacków

❖ Renderowanie

❖ Czyszczenie pamięci

❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

- Zmienna `vbo` typu `GLuint` jest *identyfikatorem* VBO

```
glGenBuffers(1, &vbo);  
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vbo)
```

- Dowiązanie VBO robi go aktywnym. Wszystkie kolejne działania będą dotyczyły bieżącego VBO
- W szczególności, można wysłać dane do VBO

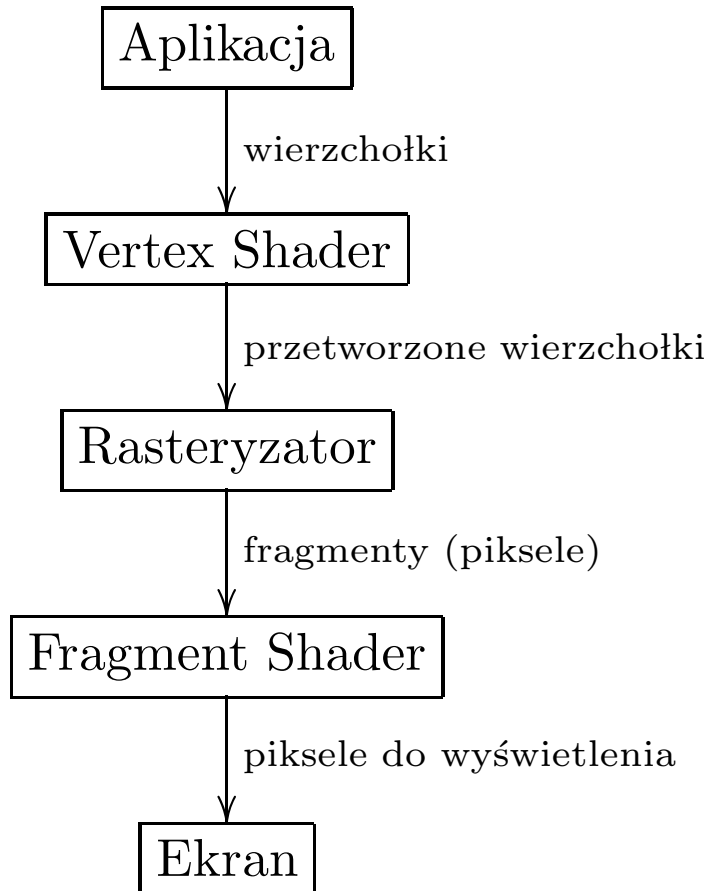
```
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, size, dane,  
             GL_STATIC_DRAW);
```

# Uproszczony potok renderingu

## Szablon Aplikacji

- ❖ Czynności standardowe
- ❖ Nagłówki
- ❖ Kontekst
- ❖ Dostęp do rozszerzeń
- ❖ **VAO**
- ❖ Kompilacja
- ❖ Rejestracja callbacków
- ❖ Renderowanie
- ❖ Czyszczenie pamięci
- ❖ Debugowanie

Hello, Triangle!



# Wykorzystanie VBO w shaderze wierzchołków

## Szablon Aplikacji

❖ Czynności standardowe

❖ Nagłówki

❖ Kontekst

❖ Dostęp do rozszerzeń

❖ VAO

❖ Kompilacja

❖ Rejestracja callbacków

❖ Renderowanie

❖ Czyszczenie pamięci

❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

- Definicja parametru wejściowego dla shadera:

```
glVertexAttribPointer(index, size, type,
                      normalized, stride, pointer);
glEnableVertexAttribArray(index);
```

- Na przykład:

```
glVertexAttribPointer(0, 4, GL_FLOAT,
                      GL_FALSE, 0, 0);
glEnableVertexAttribArray(0);
```

- W shaderze wierzchołków:

```
layout (location=index) in type variable;
```

- Na przykład:

```
layout (location=0) in vec4 in_position;
```

# Kompilacja programu

## Szablon Aplikacji

❖ Czynności standardowe

❖ Nagłówki

❖ Kontekst

❖ Dostęp do rozszerzeń

❖ VAO

❖ Kompilacja

❖ Rejestracja callbacków

❖ Renderowanie

❖ Czyszczenie pamięci

❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

## ● Kompilacja shadera:

```
GLuint shader = glCreateShader(type);  
glShaderSource(shader, 1, &source, NULL);  
glCompileShader(shader);
```

✦ `type` to `GL_VERTEX_SHADER`  
bądź `GL_FRAGMENT_SHADER`

✦ `source` jest tekstem kodu shadera w pamięci CPU

## ● Linkowanie programu:

```
GLuint program = glCreateProgram();  
glAttachShader(program, vertex_shader);  
glAttachShader(program, fragment_shader);  
glLinkProgram(program);
```

# Rejestracja callbacków

## Szablon Aplikacji

- ❖ Czynności standardowe
- ❖ Nagłówki
- ❖ Kontekst
- ❖ Dostęp do rozszerzeń
- ❖ VAO
- ❖ Kompilacja
- ❖ Rejestracja callbacków
- ❖ Renderowanie
- ❖ Czyszczenie pamięci
- ❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

## ● Za pomocą GLFW:

- ◆ `glfwSetWindowSizeCallback` zmiana rozmiarów okna
- ◆ `glfwSetKeyCallback` zdarzenia klawiatury
- ◆ `glfwSetMouseButtonCallback` zdarzenia myszki
- ◆ etc

# Pętla główna

## Szablon Aplikacji

❖ Czynności standardowe

❖ Nagłówki

❖ Kontekst

❖ Dostęp do rozszerzeń

❖ VAO

❖ Kompilacja

❖ Rejestracja callbacków

## ❖ Renderowanie

❖ Czyszczenie pamięci

❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

```
while (!glfwWindowShouldClose(window)) {  
    // polecenia renderowania OpenGL  
    glfwSwapBuffers(window);  
    glfwPollEvents();  
}
```

- `glfwPollEvents()` — opracować wszystkie zdarzenia (o ile są) i ponownie renderować okno
- `glfwWaitEvents()` — czekać na zdarzenia i dopiero wówczas renderować okno
- `glfwWaitEventsTimeout(sec)` — czekać na zdarzenia albo `sec` sekund i dopiero wówczas renderować okno

# Renderowanie OpenGL

## Szablon Aplikacji

❖ Czynności standardowe

❖ Nagłówki

❖ Kontekst

❖ Dostęp do rozszerzeń

❖ VAO

❖ Kompilacja

❖ Rejestracja callbacków

## ❖ Renderowanie

❖ Czyszczenie pamięci

❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

```
glUseProgram(program);  
glBindVertexArray(vao);
```

```
glDrawArrays(mode, first, count);
```

```
glBindVertexArray(0);  
glUseProgram(0);
```

### ● na przykład:

```
glUseProgram(program);  
glBindVertexArray(vao);
```

```
glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 3);
```

```
glBindVertexArray(0);  
glUseProgram(0);
```



# Tryby renderowania

## Szablon Aplikacji

- ❖ Czynności standardowe
- ❖ Nagłówki
- ❖ Kontekst
- ❖ Dostęp do rozszerzeń
- ❖ VAO
- ❖ Kompilacja
- ❖ Rejestracja callbacków
- ❖ **Renderowanie**
- ❖ Czyszczenie pamięci
- ❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

`GL_POINTS, GL_LINES, GL_LINE_STRIP, GL_LINE_LOOP, GL_TRIANGLE_STRIP, GL_TRIANGLE_FAN`

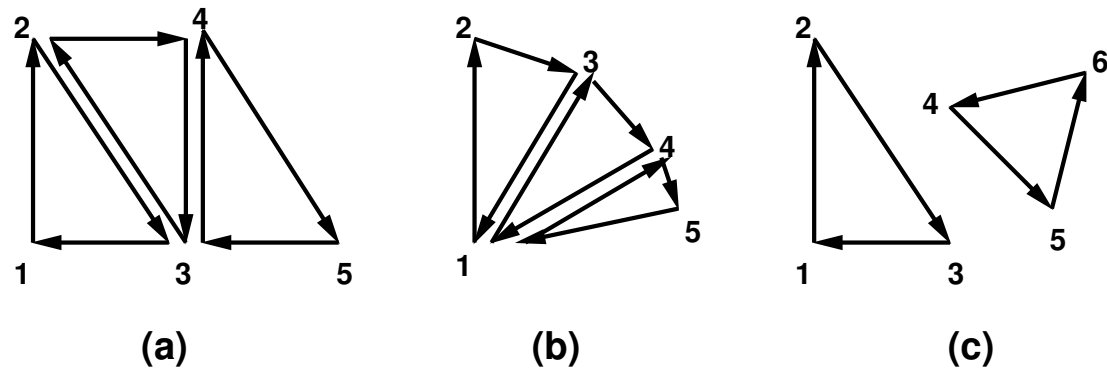


Figure 2.3. (a) A triangle strip. (b) A triangle fan. (c) Independent triangles. The numbers give the sequencing of the vertices in order within the vertex arrays. Note that in (a) and (b) triangle edge ordering is determined by the first triangle, while in (c) the order of each triangle's edges is independent of the other triangles.

# Usuwanie programu i shaderów

## Szablon Aplikacji

- ❖ Czynności standardowe
- ❖ Nagłówki
- ❖ Kontekst
- ❖ Dostęp do rozszerzeń
- ❖ VAO
- ❖ Kompilacja
- ❖ Rejestracja callbacków
- ❖ Renderowanie
- ❖ Czyszczenie pamięci
- ❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

```
glUseProgram(0);
```

```
glDetachShader(program, vertex_shader);  
glDetachShader(program, fragment_shader);
```

```
glDeleteShader(fragment_shader);  
glDeleteShader(vertex_shader);
```

```
glDeleteProgram(program);
```

# Usuwanie VBO i VAO

## Szablon Aplikacji

- ❖ Czynności standardowe
- ❖ Nagłówki
- ❖ Kontekst
- ❖ Dostęp do rozszerzeń
- ❖ VAO
- ❖ Kompilacja
- ❖ Rejestracja callbacków
- ❖ Renderowanie
- ❖ Czyszczenie pamięci
- ❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

```
glDisableVertexAttribArray(1);  
glDisableVertexAttribArray(0);
```

```
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);
```

```
glDeleteBuffers(1, &color_buffer);  
glDeleteBuffers(1, &vertex_buffer);
```

```
glBindVertexArray(0);  
glDeleteVertexArrays(1, &vao);
```

# Błędy kompilacji shadera

## Szablon Aplikacji

❖ Czynności standardowe

❖ Nagłówki

❖ Kontekst

❖ Dostęp do rozszerzeń

❖ VAO

❖ Kompilacja

❖ Rejestracja callbacków

❖ Renderowanie

❖ Czyszczenie pamięci

❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

- Zmienna `compiled` ma typ `GLint`, zawiera kod błędu (lub zero):

```
glGetShaderiv(shader, GL_COMPILE_STATUS,  
               &compiled);
```

- Zmienna `log_size` ma typ `GLint`, zawiera rozmiar komunikatu o błędzie (łącznie z `'\0'`):

```
glGetShaderiv(shader, GL_INFO_LOG_LENGTH,  
               &logSize);
```

- Zmienna `log_msg` ma typ `char[log_size]`, zawiera komunikat o błędzie:

```
glGetShaderInfoLog(shader, log_size, NULL,  
                   log_msg);
```

# Błędy linkowania programu

## Szablon Aplikacji

❖ Czynności standardowe

❖ Nagłówki

❖ Kontekst

❖ Dostęp do rozszerzeń

❖ VAO

❖ Kompilacja

❖ Rejestracja callbacków

❖ Renderowanie

❖ Czyszczenie pamięci

❖ Debugowanie

Hello, Trianlge!

- Zmienna `linked` ma typ `GLint`, zawiera kod błędu (lub zero):

```
glGetProgramiv(program, GL_LINK_STATUS,  
                &linked);
```

- Zmienna `log_size` ma typ `GLint`, zawiera rozmiar komunikatu o błędzie (łącznie z `'\0'`):

```
glGetProgramiv(program, GL_INFO_LOG_LENGTH,  
                &log_size);
```

- Zmienna `log_msg` ma typ `char[log_size]`, zawiera komunikat o błędzie:

```
glGetProgramInfoLog(program, log_size, NULL,  
                    log_msg);
```

# Błędy OpenGL

## Szablon Aplikacji

- ❖ Czynności standardowe
- ❖ Nagłówki
- ❖ Kontekst
- ❖ Dostęp do rozszerzeń
- ❖ VAO
- ❖ Kompilacja
- ❖ Rejestracja callbacków
- ❖ Renderowanie
- ❖ Czyszczenie pamięci
- ❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

- Funkcja `glGetError` zwraca kod błędu, na przykład:  

```
GLenum error_code = glGetError();
```
- Kody błędów:  

```
GL_NO_ERROR, GL_INVALID_OPERATION,  
GL_INVALID_ENUM, GL_INVALID_VALUE,  
GL_INVALID_FRAMEBUFFER_OPERATION,  
GL_OUT_OF_MEMORY.
```
- Można wywołać po każdym działaniu graficznym

# Wykorzystanie callbacka

## Szablon Aplikacji

- ❖ Czynności standardowe
- ❖ Nagłówki
- ❖ Kontekst
- ❖ Dostęp do rozszerzeń
- ❖ VAO
- ❖ Kompilacja
- ❖ Rejestracja callbacków
- ❖ Renderowanie
- ❖ Czyszczenie pamięci
- ❖ Debugowanie

Hello, Trianlge!

- W OpenGL, od wersji 4.3 można zarejestrować callback na zdarzenie `error`
  - ✦ inicjalizować kontekst z flagą `GLUT_DEBUG`
  - ✦ ustawić callback za pomocą funkcji

```
void glDebugMessageCallback (  
    DEBUGPROC callback, void * user_param);
```
- callback powinien być funkcją o prototypie

```
typedef void (APIENTRY *DEBUGPROC) (  
    GLenum source, GLenum type,  
    GLuint id, GLenum severity,  
    GLsizei length,  
    const GLchar *message,  
    void *user_param);
```

  - ✦ możliwe, że zamiast `APIENTRY` powinno być `GLAPIENTRY`

# Przykładowy callback

## Szablon Aplikacji

- ❖ Czynności standardowe
- ❖ Nagłówki
- ❖ Kontekst
- ❖ Dostęp do rozszerzeń
- ❖ VAO
- ❖ Kompilacja
- ❖ Rejestracja callbacków
- ❖ Renderowanie
- ❖ Czyszczenie pamięci
- ❖ Debugowanie

Hello, Trianlge!

```
void GLAPIENTRY OpenglCallbackFunction(  
    GLenum /*source*/, GLenum type, GLuint id,  
    GLenum /*severity*/, GLsizei /*length*/,  
    const GLchar* message, void* /*user_param*/) {  
    cout << "message: " << message << endl;  
    cout << "type: ";  
    switch (type) {  
        case GL_DEBUG_TYPE_ERROR:  
            cout << "ERROR";  
            break;  
        case GL_DEBUG_TYPE_OTHER:  
            cout << "OTHER";  
            break;  
    }  
    cout << endl << "id: " << id << endl;  
}
```



# Synchroniczne emitowanie komunikatów

## Szablon Aplikacji

- ❖ Czynności standardowe
- ❖ Nagłówki
- ❖ Kontekst
- ❖ Dostęp do rozszerzeń
- ❖ VAO
- ❖ Kompilacja
- ❖ Rejestracja callbacków
- ❖ Renderowanie
- ❖ Czyszczenie pamięci
- ❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

```
glEnable(GL_DEBUG_OUTPUT_SYNCHRONOUS);
```

# Filtracja komunikatów

## Szablon Aplikacji

- ❖ Czynności standardowe
- ❖ Nagłówki
- ❖ Kontekst
- ❖ Dostęp do rozszerzeń
- ❖ VAO
- ❖ Kompilacja
- ❖ Rejestracja callbacków
- ❖ Renderowanie
- ❖ Czyszczenie pamięci
- ❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

- Można ograniczyć ilość emitowanych komunikatów:

```
void glDebugMessageControl(GLenum source,  
                           GLenum type,  
                           GLenum severity,  
                           GLsizei count,  
                           const GLuint *ids,  
                           GLboolean enabled);
```

# Przykład

## Szablon Aplikacji

- ❖ Czynności standardowe
- ❖ Nagłówki
- ❖ Kontekst
- ❖ Dostęp do rozszerzeń
- ❖ VAO
- ❖ Kompilacja
- ❖ Rejestracja callbacków
- ❖ Renderowanie
- ❖ Czyszczenie pamięci
- ❖ Debugowanie

Hello, Triangle!

```
if (glDebugMessageCallback) {
    glEnable (GL_DEBUG_OUTPUT_SYNCHRONOUS);
    glDebugMessageCallback (OpenglCallback, NULL);
    GLuint unused_ids = 0;
    glDebugMessageControl (GL_DONT_CARE,
                           GL_DONT_CARE,
                           GL_DONT_CARE,
                           0,
                           &unused_ids,
                           GL_FALSE);
}
else
    std::cout << "glDebugMessageCallback\
                not available" << std::endl;
```

## Hello, Trianlge!

- ❖ Render trójkąta
- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ `main.cpp`
- ❖ Window
- ❖ Program
- ❖ Triangle
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb

# Hello, Trianlge!

# Render trójkąta

## Szablon Aplikacji

Hello, Trianlge!

### ❖ Render trójkąta

- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ `main.cpp`
- ❖ Window
- ❖ Program
- ❖ Triangle
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb



# Shader Wierzchołków

Szablon Aplikacji

Hello, Triangle!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla Linux

❖ gdb

```
#version 430 core
```

```
layout(location=0) in vec4 in_position;  
layout(location=1) in vec4 in_color;  
out vec4 frag_color;
```

```
void main(void) {  
    gl_Position = in_position;  
    frag_color = in_color;  
}
```

# Shader Fragmentów

Szablon Aplikacji

Hello, Triangle!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla Linux

❖ gdb

```
#version 430 core
```

```
layout (location = 0) out vec4 color;  
in vec4 frag_color;
```

```
void main(void) {  
    color = frag_color;  
}
```

# Klasy C++

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ `main.cpp`

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla Linux

❖ gdb

- Window — odpowiada za kontekst
- Triangle — model: VAO, renderowanie
- Program — program: kompilacja shaderów
- `glerror.h` — definicje, związane z debugowaniem
- Kod przeważnie jest zgodny z [Google C++ Style Guide](#)



# Założenie

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ **Założenie**

❖ `main.cpp`

❖ `Window`

❖ `Program`

❖ `Triangle`

❖ Błędy OpenGL

❖ `Makefile` dla Linux

❖ `gdb`

- Obiekty geometryczne oraz programy definiujemy jako zmienne (*nie dynamiczne* klasy `Window`)
- Kod, odpowiadający za zwolnienie zasobów karty graficznej umieszczamy w destruktorach klas-programów i klas-obiektów geometrycznych
  - ✦ w taki sposób, zostaną one odpalone po zakończeniu pacy, w wyniku odpalania standardowego destruktora obiektu klasy `Window`
- Inicjalizację obiektów geometrycznych i programów umieszczamy w funkcjach `Initialize` odpowiednich klas

# Globalny obiekt window i callbacki

Szablon Aplikacji

Hello, Triangle!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla Linux

❖ gdb

```
const int kMajorGLVersion = 4;
```

```
const int kMinorGLVersion = 3;
```

```
static Window window("Postawy OpenGL", 800, 600);
```

```
void Resize (GLFWwindow* /*window*/,  
             int new_width, int new_height) {  
    window.Resize(new_width, new_height);  
}
```

```
void KeyEvent (GLFWwindow* /*window*/, int key,  
              int scancode, int action, int mods) {  
    window.KeyEvent(key, scancode, action, mods);  
}
```

# *main*

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

- ❖ Render trójkąta
- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ **main.cpp**
- ❖ Window
- ❖ Program
- ❖ Triangle
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb

```
int main(void) {  
    window.Initialize(kMajorGLVersion,  
                      kMinorGLVersion);  
    glfwSetWindowSizeCallback(window, Resize);  
    glfwSetKeyCallback(window, KeyEvent);  
  
    window.Run();  
    glfwTerminate();  
    exit(EXIT_SUCCESS);  
}
```

# Klasa Window, dane publiczne

Szablon Aplikacji

Hello, Triangle!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla Linux

❖ gdb

```
class Window{
    public:
        Window(const char*, int, int);
        void Initialize(int major_gl_version,
                        int minor_gl_version);
        void Resize(int new_width, int new_height);
        void KeyEvent(int key, int scancode,
                      int action, int mods);
        void Run(void);
        operator GLFWwindow*(){return window_;}
    private:
        GLFWwindow* window_;
```

## *Klasa Window. Dane prywatne*

## Szablon Aplikacji

# Hello, Triange!

### ❖ Render trójkąta

 Shadery

## ❖ Klasy C++

## ❖ Założenie

❖ main.cpp

 Window

## ◆ Program

◆ Triangle

## ❖ Błędy OpenGL

## ❖ Makefile dla Linux



```
private:
```

```
int width_;
```

```
int height_;
```

```
const char* title_;
```

```
GLFWwindow* window_;
```

```
Triangle triangle_;
```

```
Program program_;
```

```
void InitGlfwOrDie(int major_gl_version,  
                  int minor_gl_version);
```

```
void InitGlewOrDie();
```

```
void InitModels();
```

```
void InitPrograms ();
```

} i

# Konstruktor

Szablon Aplikacji

Hello, Triangle!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla  
Linux

❖ gdb

```
Window::Window(const char * title,  
               int width, int height) {  
    title_ = title;  
    width_ = width;  
    height_ = height;  
}
```

# Inicjalizacja

Szablon Aplikacji

Hello, Trianlge!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla  
Linux

❖ gdb

```
void Window::Initialize(  
    int major_gl_version, int minor_gl_version){  
  
    InitGlfwOrDie(major_gl_version,  
                  minor_gl_version);  
  
    InitGlewOrDie();  
    std::cout  
        << "OpenGL initialized: OpenGL version: "  
        << glGetString(GL_VERSION)  
        << " GLSL version: "  
        << glGetString(GL_SHADING_LANGUAGE_VERSION)  
        << std::endl;  
  
    InitModels();  
    InitPrograms();  
    glClearColor(0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f);  
}
```

# Inicjalizacja kontekstu

Szablon Aplikacji

Hello, Triangle!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla Linux

❖ gdb

```
void Window::InitGlFWOrDie(int major_gl_version,
                           int minor_gl_version) {
    if ( !glfwInit() ) {
        std::cerr << "ERROR..." << std::endl;
        exit(EXIT_FAILURE);
    }
    glfwWindowHint(GLFW_CONTEXT_VERSION_MAJOR,
                   major_gl_version);
    glfwWindowHint(GLFW_CONTEXT_VERSION_MINOR,
                   minor_gl_version);

#ifdef DEBUG
    glfwWindowHint(GLFW_OPENGL_DEBUG_CONTEXT,
                   GLFW_TRUE);
#endif

    .....
}
```



# Inicjalizacja kontekstu. Okno

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

- ❖ Render trójkąta
- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ main.cpp
- ❖ **Window**
- ❖ Program
- ❖ Triangle
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb

```
.....
window_ = glfwCreateWindow(width_,
                             height_, title_, nullptr, nullptr);
if (!window_) {
    std::cerr << "ERROR..." << std::endl;
    glfwTerminate();
    exit(EXIT_FAILURE);
}
glfwMakeContextCurrent(window_);
}
```

# Dostęp do rozszerzeń

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

#### ❖ Render trójkąta

#### ❖ Shadery

#### ❖ Klasy C++

#### ❖ Założenie

#### ❖ main.cpp

#### ❖ Window

#### ❖ Program

#### ❖ Triangle

#### ❖ Błędy OpenGL

#### ❖ Makefile dla Linux

#### ❖ gdb

```
void Window::InitGlewOrDie() {
    GLenum glew_init_result;
    glewExperimental = GL_TRUE;
    glew_init_result = glewInit();

    if (GLEW_OK != glew_init_result) {
        std::cerr << "Glew ERROR: "
            << glewGetErrorString(glew_init_result)
            << std::endl;
        glfwTerminate();
        exit(EXIT_FAILURE);
    }
}
```

# Profil *DEBUG* — rejesrtacja callbacka na error

## Szablon Aplikacji

Hello, Trianlge!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla Linux

❖ gdb

```
#ifdef DEBUG
```

```
    if (glDebugMessageCallback) {  
        std::cout << "Register debug callback";  
        glEnable(GL_DEBUG_OUTPUT_SYNCHRONOUS);  
        glDebugMessageCallback((GLDEBUGPROC)  
                                OpenglCallbackFunction, NULL);  
        GLuint unused_ids = 0;  
        glDebugMessageControl(GL_DONT_CARE,  
                              GL_DONT_CARE,  
                              GL_DONT_CARE,  
                              0,  
                              &unused_ids,  
                              GL_FALSE);  
    }
```

```
else
```

```
    std::cout << "glDebugMessageCallback not avail
```

```
#endif
```

# Inicjalizacja modelu i programu

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

- ❖ Render trójkąta
- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ main.cpp
- ❖ **Window**
- ❖ Program
- ❖ Triangle
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb

```
void Window::InitModels() {  
    triangle_.Initialize();  
}
```

```
void Window::InitPrograms() {  
    program_.Initialize();  
}
```

# Resize

Szablon Aplikacji

Hello, Triangle!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla  
Linux

❖ gdb

```
void Window::Resize(int new_width,  
                    int new_height) {  
    width_ = new_width;  
    height_ = new_height;  
    glViewport(0, 0, width_, height_);  
}
```

# KeyEvent

Szablon Aplikacji

Hello, Trianlge!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla  
Linux

❖ gdb

```
void Window::KeyEvent(int key,
    int /*scancode*/, int action, int /*mods*/) {
    if(action == GLFW_RELEASE) {
        switch (key) {
            case GLFW_KEY_ESCAPE:
                glfwSetWindowShouldClose(window_,
                                           GLFW_TRUE);

                break;
            default:
                break;
        }
    }
}
```

# Renderowanie (Run)

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

- ❖ Render trójkąta
- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ main.cpp
- ❖ **Window**
- ❖ Program
- ❖ Triangle
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb

```
void Window::Run(void) {  
    while (!glfwWindowShouldClose(window_)) {  
        glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT  
                /*| GL_DEPTH_BUFFER_BIT*/);  
        triangle_.Draw(program_);  
        glfwSwapBuffers(window_);  
        glfwWaitEvents();  
    }  
}
```

# Klasa Program

Szablon Aplikacji

Hello, Triangle!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla Linux

❖ gdb

```
class Program{
public:
    void Initialize();
    // to be used in glUseProgram()
    operator GLuint() const {return program_;}
    ~Program();
private:
    GLuint program_;
    GLuint vertex_shader_;
    GLuint fragment_shader_;
    GLuint CompileShaderOrDie(const char* source,
                             GLenum type);
    GLuint LinkProgramOrDie(GLint vertex_shader,
                             GLint fragment_shader);
};
```



# Inicjalizacja. Kod shadera wierzchołków

Szablon Aplikacji

Hello, Trianlge!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla Linux

❖ gdb

```
void Program::Initialize() {
    const GLchar* kVertexShaderText =
    {
        "#version 430 core\n" \

        "layout(location=0) in vec4 in_position;\n" \
        "layout(location=1) in vec4 in_color;\n" \
        "out vec4 frag_color;\n" \

        "void main(void) \n" \
        "{ \n" \
        "    gl_Position = in_position;\n" \
        "    frag_color = in_color;\n" \
        " } \n"
    };
};
```

# Inicjalizacja. Kod shadera fragmentów

Szablon Aplikacji

Hello, Trianlge!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla Linux

❖ gdb

```
const GLchar* kFragmentShaderText =
{
    "#version 430 core\n" \
    "layout (location = 0) out vec4 color;\n" \
    "in vec4 frag_color;\n" \
    "void main(void)\n" \
    "{\n" \
    "    color = frag_color;\n" \
    "}\n"
};
```

# Inicjalizacja. Kompilacja i linkowanie

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

- ❖ Render trójkąta
- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ main.cpp
- ❖ Window
- ❖ **Program**
- ❖ Triangle
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb

```
vertex_shader_ = CompileShaderOrDie(  
    kVertexShaderText,  
    GL_VERTEX_SHADER);  
fragment_shader_ = CompileShaderOrDie(  
    kFragmentShaderText,  
    GL_FRAGMENT_SHADER);  
program_ = LinkProgramOrDie(vertex_shader_,  
    fragment_shader_);  
  
glUseProgram(program_);  
//      some actions on the created program  
//      will be placed here  
glUseProgram(0);  
}
```

# Kompilacja shadera

Szablon Aplikacji

Hello, Trianlge!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla  
Linux

❖ gdb

```
GLuint Program::CompileShaderOrDie
(const char * source, GLenum type){
    GLuint shader = glCreateShader(type);
    glShaderSource(shader, 1, &source, NULL);
    glCompileShader(shader);
```

.....

# Kompilacja shadera. Weryfikacja wyniku

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

#### ❖ Render trójkąta

#### ❖ Shadery

#### ❖ Klasy C++

#### ❖ Założenie

#### ❖ main.cpp

#### ❖ Window

#### ❖ Program

#### ❖ Triangle

#### ❖ Błędy OpenGL

#### ❖ Makefile dla Linux

#### ❖ gdb

```
GLint  compiled;
glGetShaderiv(shader, GL_COMPILE_STATUS,
               &compiled);

if (!compiled) {
    switch(type) {
        case GL_VERTEX_SHADER:
            std::cerr << "vertex ";
            break;
        case GL_FRAGMENT_SHADER:
            std::cerr << "fragment ";
            break;
    }
    std::cerr << "shader is failed to compile:";
```

# Kompilacja shadera. Weryfikacja wyniku,cd

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

- ❖ Render trójkąta
- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ main.cpp
- ❖ Window
- ❖ Program
- ❖ Triangle
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb

```
.....  
    GLint  log_size;  
    glGetShaderiv(shader, GL_INFO_LOG_LENGTH,  
                                                            &log_size);  
  
    char* log_msg = new char[log_size];  
    glGetShaderInfoLog(shader, log_size, NULL,  
                                                                log_msg);  
  
    std::cerr << log_msg << std::endl;  
    delete [] log_msg;  
    glfwTerminate();  
    exit( EXIT_FAILURE );  
}  
return shader;  
}
```

# Linkowanie programu.

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

- ❖ Render trójkąta
- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ main.cpp
- ❖ Window
- ❖ **Program**
- ❖ Triangle
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb

```
GLuint Program::LinkProgramOrDie(  
    GLint vertex_shader, GLint fragment_shader) {  
    GLuint new_program = glCreateProgram();  
    glAttachShader(new_program, vertex_shader);  
    glAttachShader(new_program, fragment_shader);  
    glLinkProgram(new_program);  
}
```

.....

# Linkowanie programu. Weryfikacja wyniku

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

#### ❖ Render trójkąta

#### ❖ Shadery

#### ❖ Klasy C++

#### ❖ Założenie

#### ❖ main.cpp

#### ❖ Window

#### ❖ Program

#### ❖ Triangle

#### ❖ Błędy OpenGL

#### ❖ Makefile dla Linux

#### ❖ gdb

```
GLint linked;
glGetProgramiv(new_program, GL_LINK_STATUS,
               &linked);

if ( !linked ) {
    std::cerr << "Shader program failed to link";
    GLint log_size;
    glGetProgramiv(new_program,
                   GL_INFO_LOG_LENGTH, &log_size);
    char* log_msg = new char[log_size];
    glGetProgramInfoLog(new_program, log_size,
                        NULL, log_msg);
    std::cerr << log_msg << std::endl;
    delete [] log_msg;
    glfwTerminate();
    exit( EXIT_FAILURE );
}

return new_program;
}
```



# Usuwanie programu z pamięci GPU

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

#### ❖ Render trójkąta

#### ❖ Shadery

#### ❖ Klasy C++

#### ❖ Założenie

#### ❖ main.cpp

#### ❖ Window

#### ❖ Program

#### ❖ Triangle

#### ❖ Błędy OpenGL

#### ❖ Makefile dla Linux

#### ❖ gdb

```
Program::~Program() {  
    glUseProgram(0);  
  
    glDetachShader(program_, vertex_shader_);  
    glDetachShader(program_, fragment_shader_);  
  
    glDeleteShader(fragment_shader_);  
    glDeleteShader(vertex_shader_);  
  
    glDeleteProgram(program_);  
}
```

# Klasa Triangle

Szablon Aplikacji

Hello, Triangle!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla Linux

❖ gdb

```
class Triangle{
public:
    void Initialize();
    void ~Triangle();
    void Draw(const Program & program);
private:
    GLuint vao_;
    GLuint vertex_buffer_;
    GLuint color_buffer_;
};
```

# Inicjalizacja. Wierzchołki i kolory

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

#### ❖ Render trójkąta

#### ❖ Shadery

#### ❖ Klasy C++

#### ❖ Założenie

#### ❖ main.cpp

#### ❖ Window

#### ❖ Program

#### ❖ Triangle

#### ❖ Błędy OpenGL

#### ❖ Makefile dla Linux

#### ❖ gdb

```
void Triangle::Initialize() {  
    const GLfloat kVertices[] = {  
        -0.8f, -0.8f, 0.0f, 1.0f,  
        0.0f,  0.8f, 0.0f, 1.0f,  
        0.8f, -0.8f, 0.0f, 1.0f  
    };  
  
    const GLfloat kColors[] = {  
        1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,  
        0.0f, 1.0f, 0.0f, 1.0f,  
        0.0f, 0.0f, 1.0f, 1.0f  
    };  
  
    .....  
}
```

# Inicjalizacja. VAO

Szablon Aplikacji

Hello, Triangle!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ main.cpp

❖ Window

❖ Program

❖ **Triangle**

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla  
Linux

❖ gdb

```
glGenVertexArrays(1, &vao_);  
glBindVertexArray(vao_);
```

# Inicjalizacja. VBO dla wierzchołków

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

- ❖ Render trójkąta
- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ main.cpp
- ❖ Window
- ❖ Program
- ❖ **Triangle**
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb

```
glGenBuffers(1, &vertex_buffer_);  
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vertex_buffer_);  
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(kVertices),  
             kVertices, GL_STATIC_DRAW);  
glVertexAttribPointer(0, 4, GL_FLOAT,  
                     GL_FALSE, 0, 0);  
glEnableVertexAttribArray(0);
```

# Inicjalizacja. VBO dla kolorów

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

- ❖ Render trójkąta
- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ main.cpp
- ❖ Window
- ❖ Program
- ❖ **Triangle**
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb

```
glGenBuffers(1, &color_buffer_);  
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, color_buffer_);  
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(kColors),  
             kColors, GL_STATIC_DRAW);  
glVertexAttribPointer(1, 4, GL_FLOAT,  
                      GL_FALSE, 0, 0);  
glEnableVertexAttribArray(1);
```

# Inicjalizacja. Zakończenie

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

- ❖ Render trójkąta
- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ main.cpp
- ❖ Window
- ❖ Program
- ❖ **Triangle**
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb

```
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);  
glBindVertexArray(0);  
}
```

# Renderowanie

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

- ❖ Render trójkąta
- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ main.cpp
- ❖ Window
- ❖ Program
- ❖ **Triangle**
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb

```
void Triangle::Draw(Program program) {  
    glUseProgram(program);  
    glBindVertexArray(vao_);  
  
    glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 3);  
  
    glBindVertexArray(0);  
    glUseProgram(0);  
}
```



# Usuwanie z pamięci GPU

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

- ❖ Render trójkąta
- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ main.cpp
- ❖ Window
- ❖ Program
- ❖ **Triangle**
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb

```
Triangle::~Triangle() {  
    glDisableVertexAttribArray(1);  
    glDisableVertexAttribArray(0);  
  
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);  
  
    glDeleteBuffers(1, &color_buffer_);  
    glDeleteBuffers(1, &vertex_buffer_);  
  
    glBindVertexArray(0);  
    glDeleteVertexArrays(1, &vao_);  
}
```

# glDebugMessageCallback

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

#### ❖ Render trójkąta

#### ❖ Shadery

#### ❖ Klasy C++

#### ❖ Założenie

#### ❖ main.cpp

#### ❖ Window

#### ❖ Program

#### ❖ Triangle

#### ❖ Błędy OpenGL

#### ❖ Makefile dla Linux

#### ❖ gdb

```
void GLAPIENTRY OpenglCallbackFunction(
    GLenum /*source*/, GLenum type, GLuint id,
    GLenum severity, GLsizei /*length*/,
    const GLchar* message, void* /*user_param*/,
    void* /*context
{
    cout << "----opengl-callback-start--" << endl;
    cout << "message: " << message << endl;
    cout << "type: ";
    switch (type) {
        case GL_DEBUG_TYPE_ERROR:
            cout << "ERROR";
            break;

            .....

        case GL_DEBUG_TYPE_OTHER:
            cout << "OTHER";
            break;
    }
    cout << endl;
}
```

# *glDebugMessageCallback, cd*

## Szablon Aplikacji

## Hello, Triangle!

### ❖ Render trójkąta

### ❖ Shadery

### ❖ Klasy C++

### ❖ Założenie

### ❖ main.cpp

### ❖ Window

### ❖ Program

### ❖ Triangle

### ❖ Błędy OpenGL

### ❖ Makefile dla Linux

### ❖ gdb

```
cout << "id: " << id << endl;
cout << "severity: ";
switch (severity) {
    case GL_DEBUG_SEVERITY_LOW:
        cout << "LOW";
        break;
    case GL_DEBUG_SEVERITY_MEDIUM:
        cout << "MEDIUM";
        break;
    case GL_DEBUG_SEVERITY_HIGH:
        cout << "HIGH";
        break;
    case GL_DEBUG_SEVERITY_NOTIFICATION:
        cout << "NOTIFICATION";
        break;
}
cout << endl;
```

}

# Makefile dla Linux

## Szablon Aplikacji

### Hello, Triangle!

- ❖ Render trójkąta
- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ main.cpp
- ❖ Window
- ❖ Program
- ❖ Triangle
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb

```
CC = g++
LIBS = -lX11 -lglfw -lGL -lGLU -lGLEW -lm
SOURCES = $(wildcard *.cpp)
OBJECTS = $(SOURCES:.cpp=.o)
EXECUTABLE = triangle
CFLAGS=-c -Wall -DDEBUG -g3 -fpermissive -std=c++11

all: $(SOURCES) $(EXECUTABLE)
$(EXECUTABLE): $(OBJECTS)
    $(CC) $(OBJECTS) -o $@ $(LIBS)

clean:
    rm -f $(EXECUTABLE) $(OBJECTS)
    rm -f $(SOURCES:%.cpp=%.d)

%.cpp.o:
    $(CC) $(CFLAGS) $< -o $@
    -include $(SOURCES:%.cpp=%.d)
```

# Makefile dla Windows i Linux

## Szablon Aplikacji

### Hello, Trianlge!

- ❖ Render trójkąta
- ❖ Shadery
- ❖ Klasy C++
- ❖ Założenie
- ❖ main.cpp
- ❖ Window
- ❖ Program
- ❖ Triangle
- ❖ Błędy OpenGL
- ❖ Makefile dla Linux
- ❖ gdb

```
ifeq ($(OS),Windows_NT)
# -l:pełna forma biblioteki bez autodopasowywania lib
#W związku z czym trzeba to ustawić jawnie
LIBS =-lglfw3 -l:glew32.dll -lopengl32 -lm -lglu32 -l
EXECUTABLE = triangle.exe
LDFLAGS=-Wl,--subsystem,windows
else
LIBS = -lX11 -lglfw -lGL -lGLU -lGLEW -lm
EXECUTABLE = triangle
endif
```

## Szablon Aplikacji

Hello, Triangle!

❖ Render trójkąta

❖ Shadery

❖ Klasy C++

❖ Założenie

❖ `main.cpp`

❖ Window

❖ Program

❖ Triangle

❖ Błędy OpenGL

❖ Makefile dla Linux

❖ **gdb**

- uruchomienie programu w gdb  
`$ gdb ./triangle`
- ustawienie przerywania  
`(gdb) break OpenGLCallbackFunction`
- uruchomienie programu  
`(gdb) run`
- stos wywołań  
`(gdb) backtrace`
- wyjście z callbacka  
`(gdb) finish`
- RMS's gdb Debugger Tutorial