1. Cele kursu:

* Nowoczesne techniki OpenGL,
* Utworzenie okna oraz obsługa operacji wejściowych (klawiatura),
* **Vertex**, **fragment** oraz **Geometry** **Shader**,





* Rysowanie **obiektów** **3D**,
* Używanie biblioteki **GLM** (OpenGL Maths),
* Przenoszenie (**Translate**), Obracanie (**Rotate**) oraz Skalowanie (**Scale**) modeli,
* Używanie interpolacji (**interpolation**) ~ używane do tekstur oraz światła.
* Używanie indeksowego rysowania (**indexed draws**) ~ pozwala używać wierzchołki, które już zostały wspomniane.
* Używanie różnych rodzajów projekcii/ rzutowania (**projection**) ~ ortograficzna dla 2D lub z perspektywą dla 3D.
* Kontrola **kamery** oraz poruszanie nią,
* **Mapowanie tekstur** ~ nakładanie tekstur na obiekty.
* **Phong** Model Oświetlania ~ najbardziej popularny.
* Kierunkowe (**Directional jak słońce**), Punktowe **(Point jak kula)** oraz Miejscowe **(Spot jak pochodnia)** oświetlenie.
* Importowanie wcześniej zrobionych modeli 3D.
* **Mapowanie cieni** (też z różnych źródeł światła).
* Implementacja SkyBox (iluzja dużego świata).

2. Wprowadzenie do GLEW, GLFW oraz SDL:

**GLEW:**

Co to jest GLEW? **(ROZSZERZENIA ORAZ STERUJE KARTA)**

* OpenGL Extension Wrangler **~** Obsługiwacz rozszerzeń OpenGL.
* Interfejs dla OpenGL wersji ponad 1.1
* Ładuje rozszerzenia OpenGL,
* Niektóre **rozszerzenia** są zależne od platformy, GLEW **może sprawdzić jeżeli one istnieją na tej platformie**.
* **Alternatywy:** GL3W, glLoadGen, glad, glsdk, glbinding, libepoxy, Glee,

Używanie GLEW?

* **#include <GL/glew.h>**
* Po zainicjowaniu kontekstu (GLFW) należy:
  + **glewExperimental = GL\_TRUE; (pozwala używać bardziej zawansowane operacje przy pomocy GLEW).**
  + **glewInit(); (inicjalizacja GLEW)**
* Powinno zwrócić **GLEW\_OK**. Jeżeli się nie uda to zwróci error.
* Można odczytać error używając **glewGetErrorString (result);**
* Może sprawdzić czy rozszerzenia istnieją (niektóre rozszerzenia są zależne od platformy):
  + **if(!GLEW\_EXT\_framebuffer\_object){}**
* **wglew.h** tylko dla Windows tylko z funkcjami.

**GLFW:**

Co to jest GLFW? (**TWORZY KONTEKST ORAZ INPUT) ~ KREATOR KONTEKSTU**

GLFW oraz SDL służą do tworzenia okien oraz kontekstu. **Kontekst** jest **zasadniczą maszyną stanu**, która przechowuje wszystkie dane związane z wyświetlaniem aplikacji. Gdy aplikacja jest zamykana, kontekst OpenGL jest niszczony.

* OpenGL FrameWork ~ budowa/ struktura/ ramka.
* **Obsługuje utworzenie okna (kontekstu) oraz jego kontrole (położenie, rozmiar),**
* Obsługę operacji wejściowych z klawiatury, myszy, joysticka oraz kontrolera.
* Obsługuję obsługę wielu monitorów,
* Używa OpenGL kontekst dla okien, czyli inaczej **tworzy okna** a GLEW je **wypełnia zawartością**.

**Alternatywą GLFW**, który służy do tworzenia kontekstu oraz okna **jest SDL**:

**SDL:**

* Simple DirectMedia Layer ~ prosta warstwa bezpośrednich mediów.
* Potrafi zrobić prawie wszystko co GLFW **i więcej !!!!**

**Np.: Potrafi obsługiwać:**

* + Audio,
  + Wątkowość,
  + System plików,
  + itp.,
* **Inaczej mówiąc SDL umożliwia więcej rzeczy do robienia niż tylko tworzenie kontekstu, okna i obsługę operacji wejściowych (GLFW) ale również potrafi obsługiwać audio, wątkowość oraz system plików.**
* Używane w: FTL, Amnesia, Starbound oraz Dying Light,
* Używane w edytorach poziomów dla Source Engine oraz Cryengine.

*Alternatywy dla GLFW oraz SDL:*

* **SFML** (Simple and Fast Multimedia Library): Prawie jak SDL ale zawiera więcej możliwości. Niestety kontekst OpenGL jest bardzo słaby, ponieważ bazuje na grafice 2D.
* **GLUT** (OpenGL Utility Toolkit): Należy go unikać!
* **Win32 API:** GLFW, SDL, SFML, GLUT używają tego w tle. Tylko dla osób, które wiedzą co robią. Najniższy poziom do tworzenie kontekstu/ okien. Inne kreatory kontekstu używają tego w tle.

**Podsumowanie:**

* **GLEW** (OpenGL Extension Wrangler) ~ zapewnia nam interfejs/ ***połączenie z nowoczesną wersją*** OpenGL oraz ***obsługuję rozszerzenia*** zależne platformowo (bezpiecznie).
* **GLFW** pozwala nam ***utworzyć okna*** oraz OpenGL***kontekst*** również pozwala ***obsługę operacji wejściowych*** od użytkownika (klawiatura, myszka, gamepad).
* **SDL** umożliwia wiele więcej rzeczy niż GFLW (np.: obsługę audio).

**Czyli:  
GLFW** służy do **tworzenia okna oraz kontekstu** (maszyny stanu, która przechowuje wszystkie danego związane z wyświetlaniem aplikacji).

Natomiast **GLEW** służy do **korzystania z nowoczesnej wersji** OpenGL oraz do **ładowania i korzystania z dostępnych rozszerzeń**. Dzięki niemu możemy w sposób nowoczesny korzystać z maszyn stanu. Umożliwia korzystanie z OpenGL.

GLEW umożliwia nam rysowanie kontekstu wewnątrz okna ale za to GLFW umożliwia załączenie tego kontekstu.

**Etapy załączania GLFW:**

1. Załączamy plik nagłówkowy.
2. Inicjalizujemy GLFW.
3. Ustawiamy parametry okna.

3. Shadery oraz Rendering Pipeline (strumień renderowania).

Rendering pipeline ~ zestaw operacji, które są wykonywane za każdym razem przez kartę graficzną.

1. **Co to jest strumień renderowania?**

* Strumień renderowania (rendering pipeline) jest to zestaw etapów, które muszą się wykonać w celu wyrenderowania obrazku na ekranie.
* **Cztery etapy** są programowalne przez „Shadery”:
  + **Vertex Shader** (Najważniejszy),
  + **Fragment Shader** (Najważniejszy),
  + **Geometry Shader,**
  + **Testalation shader,**
* **Shadery** są to **kawałki kodu napisane** w ***GLSL*** (OpenGL Shading Language ~ Jezyki shaderów) albo *HLSL* (High-Level Shading Language) jeżeli używamy Direct3D.
* **GLSL** jest napisany w języku C.

1. Etapy renderowania (The Rendering Pipeline Stages):
2. **Vertex Specifacation (Specyfikacja wierzchołka)** ~ Specyfikacja wierzchołków.
   * Wierzchołek (vertex) jest to punkt w przestrzeni, zazwyczaj zdefiniowany przez koordynaty x, y oraz z.
   * Prymityw jest prosty kształt używający jeden lub więcej wierzchołków.
   * Zazwyczaj używamy trójkątów, ale możemy również używać punktów, linii oraz czworokątów.
   * **Specyfikacja wierzchołka:** ***Ustawianie danych wierzchołków dla prymitywa, który chcemy wyrenderować (narysować na ekranie).***
   * Sporządzone w aplikacji przez siebie.
   * Używają **VAOs** (Vertex Array Objects) oraz **VBOs** (Vertex Buffer Objects).
   * **VAO** definują jakie dane wierzchołek ma np.: pozycja, kolor, tekstura, normalne, itp.:). Po prostu określają ich cechy.
   * **VBO** określają już dane. Po prostu określają je.
   * Wskaźniki atrybutów definiują określają gdzie oraz jak shadery mogą otrzymywać dane o wierzchołkach
   * **Są jeszcze IBO** (Index Buffer Objects).

**Tworzenie VAO/VBO:**

**1.** Utwórz VAO identyfikator (id vertex array object).

**2.** Powiąż (bind) VAO z tym ID (bind).

**3.** Utwórz VBO identyfikator (id vertex buffer object).

**4.** Powiąż (bind) VBO z tym ID (teraz pracujemy na wybranym VBO z załączonym do niego VAO).

*OpenGL się domyśla, że wcześniej zbindowane VAO jest tym na którym, będziemy pracowali kiedy będzie używali VBO.*

**5.** Dołącz dane wierzchołków do tego VBO.

**6.** Zdefiniuj formatowanie wskaźnika atrybutu.

**7.** Aktywuj wskaźnik atrybutu.

**8.**  Odwiąż (unbind) VAO oraz VBO, gotowe do przywiązania nowego obiektu.

**Inicjalizacja Rysowania:**

1. **Aktywacja programu** z **shaderem** (Shader Program) tego, którego chcemy użyć.

Shader program, może zawierać kod dotyczący vertex shader, fragment shader oraz geometry shader. Dlatego jest to nazywane programem.

1. Powiązanie/ **bind VAO** obiektu, który chcemy narysować.
2. Wywołanie funkcji ***glDrawArrays*** , która zainicjalizuje resztę strumienia renderowania.

Proste oraz wygodne!

1. Vertex Shader (programowalny).

**Cechy:**

* Obsługuję wierzchołki indywidualnie.
* Nie jest opcjonalny.
* Musi zawierać coś w ***gl\_Position***, ponieważ będzie to później używane przez późniejsze etapy strumienia renderowania.
* Może określić dodatkowe wartości wyjściowe, które mogą zostać podniesione oraz użyte przez shadery zdefiniowane przez użytkownika, które później występują w strumieniu renderowania.
* Dane wejściowe składają się danych wierzchołków w sobie (pozycja, texture cordinates).

**Przykład:**

****

**layout** ~ definiuje pozycje w shaderze (każdy input ma swoje id).

**in** ~ znaczy, że jest to input.

**vec3** ~ znaczy, że jest to wektor, która składa się z trzech wartości (x, y, z). **pos** ~ nazwa zmiennej.

**gl\_Position (finalna pozycja wierzchołka).**

1. Tessellation (programowalny).

* Pozwala podzielić dane na kilka mniejszych prymitywów (grupa wierzchołków ~ prymityw).
* Relatywnie nowy typ shadera, pojawił się w OpenGL 4.0.
* Może być użyty do wyższego poziomu szczegółowości dynamicznie.

1. Geometry Shader (programowalny).

* Vertex shader obsługiwał wierzchołki, Geometry shader **obsługuję prymitywy** (***grupy wierzchołków np. trójkąt (3 wierzchołki)***),
* Bierze prymitywy potem emituje (outputs) jej wierzchołki do utworzenia prymitywu albo nowych prymitywów.
* Może **przerabiać podane** dane do przerobionych danych prymitywów albo nawet tworzyć nowe,
* Może nawet zmienić prymitywne typy (punkty, linie, trójkąty,…).

Na przykład możemy dać grupę wierzchołków taką jak trójkąt a następnie geometry shader może nam to przerobić i utworzyć nowy prymityw lub przesunąć na przykład o 3 wartości w bok pozycje. Rożne takie bajery. Zatem vertex shader obsługuję każdy wierzchołek indywidualnie zaś geometry shader obsługuję grupę wierzchołków razem czyli na przykład taką grupę, która reprezentuje trójkąt. Proste 😊.

1. Vertex Post Processing.

* Przekształca informację zwrotną (jeżeli jest to włączone):
  + Wynik vertex oraz geometry etapów jest zapisany do buforów dla późniejszego użycia.
* Obkrajanie/ Wykrajanie (Clipping):
  + Prymitywy, które nie są widziane są usuwane (nie chcemy rysować rzeczy, których nie widać).
  + **Pozycje przekonwertowane z *przestrzeni obkrajania* („clip space”) do *przestrzeni okna („*window space”).**

1. Primitive Assembly (łączenie prymitywów (grup wierzchołków)):

* Wierzchołki **są konwertowane do serii prymitywów**.
* Wiec jeżeli mamy trójkąty**… 6 wierzchołków to z nich zostanie utworzone 2 trójkąty** (3 wierzchołki każdy).
* Face culling ~ usuwanie twarzy.
* Face culling jest to proces usuwania prymitywów, które nie mogą być widziane albo są patrzone z bardzo dalekiej odległości. **Nie chcemy rysować czegoś czego nie widzimy**.

1. Rasteryzacja.

* Zamiana prymitywów do „fragmentów”.
* Fragmenty są kawałki danych dla każdego pixela, uzyskane z procesu rasteryzacji.
* Dane fragmentu będą interpolowane na podstawie ich relatywnej pozycji dla każdego wierzchołka.

1. Fragment Shader (programowalny).

* **Obsługuje dane dla każdego fragmentu oraz wykonuje operacje na nim.**
* Jest opcjonalny ale rzadko kto go nie używa. Wyjątkami są przypadki gdzie głębia albo matryca/ szablon dane są wymagane.
* Najważniejszą **wartością wyjściową jaką jest kolor piksela**, który fragment obejmuje.
* Najprostszy OpenGL program obejmuje zazwyczaj Vertex Shader oraz Fragment Shader.
* Będzie obsługiwał ***oświetlenie oraz teksturowanie, cieniowanie.***

Przykład:

****

1. Per-Sample Operations.

* Seria testów sprawdzających czy pixel/ fragment powinien być namalowany/ narysowany.
* Najważniejszym testem: Test głębokości (**Depth Test**). Determinuje jeżeli coś jest naprzeciwko punktu, który ma być narysowany.
* **Mieszanie kolorów (Colour Blending)**: Używa zdefiniowanych operacji, kolory fragmentów są wymieszane razem z nachodzącymi fragmentami. Zazwyczaj używane do obsługi przezroczystych obiektów.
* Dane fragmentów **są wpisane do obecnie zajmowanego bufora ramki (Framebuffer) (zazwyczaj podstawowego bufora).**
* Ostatecznie, w kodzie aplikacji użytkownik zazwyczaj definiuj zamianę buforów tutaj, kładąc nowo zaktualizowany bufor ramki do przodu.

**Framebuffor to jest na którym pracujemy, rysujemy.**

**Oryginalny widzi użytkownik.**

**Na koniec oryginalny jest zamieniany z framebuffer, stary framebuffer staje się oryginalnym a stary oryginalny staje się nowym framebufferem**

**Na zakończenie zamieniamy oryginalny na framebuffer.**

**Możemy mieć tyle frame bufforow ile chcemy na przykład dla rożnych scen.**

* **Strumień renderowania jest zakończony 😊.**





*Jak używać ich oraz jak się tworzy Shadery?*

O pochodzeniu Shaderów:

* Programy Shaderowe (Shaders Programs) ***są grupą shaderów*** (Vertex, Tessellation, Geometry, Fragment…) powiązane ze sobą.
* Są one tworzone w OpenGL przez serie funkcji.

Tworzenie programu z shaderami:

1. Utworzenie pustego programu.
2. Utworzenie pustych shaderów np.: Vertex Shader, Fragment Shader.
3. Załączenie shaderu kodu źródłowego do shaderów.
4. Kompilacja shaderów.
5. Załączenie shaderów do programu.
6. Załączenie/ Powiązanie programu (tworzy plik wykonawczy z shaderów oraz łączy je w całość).
7. Walidacja programu (opcjonalne ale bardzo sugerowane, ponieważ debugowanie shaderów jest straszne).

Używanie programu z shaderami:

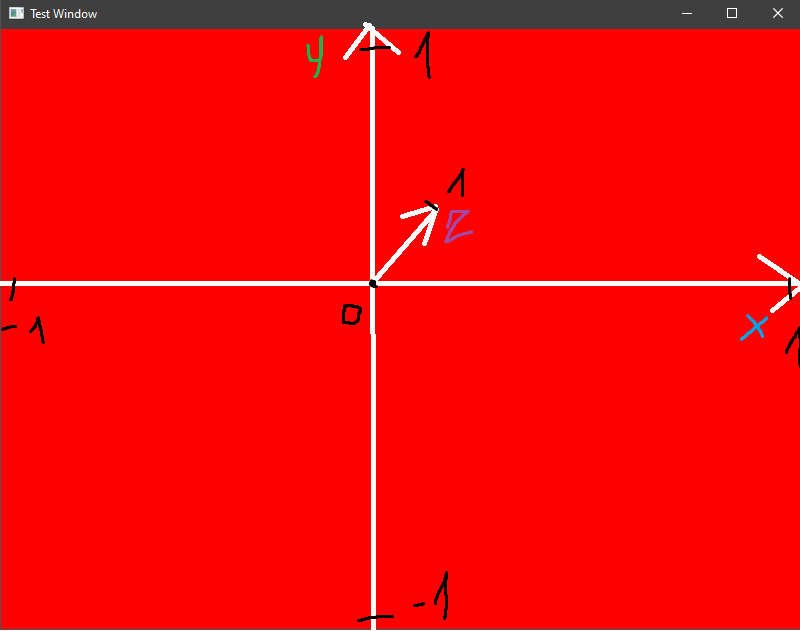
* Kiedy utworzymy shader to dostajemy identyfikator (jak w przypadku VAO oraz VBO).
* Po prostu wywołujemy funkcje ***glUseProgram(shaderID)****,*
* Wszystkie wywołania rysowania od teraz będą używały tego shadera, ***glUseProgram*** *jest używane na nowym identyfikatorze shadera albo 0 (brak shadera).*

**Podsumowanie:**

* Strumień renderowania (Rendering Pipeline) składa się z kilku etapów.
* **Cztery etapy** są **programowalne** poprzez shadery (Vertex, Tessellation, Geometry, Fragment).
* **Vertex Shader jest** obligatoryjny,
* **Wierzchołki** (Vertices): Punkty zdefiniowane przez użytkownika, które znajdują się w przestrzeni.
* **Prymitywy: Grupy wierzchołków**, które tworzą prosty kształt (zazwyczaj jest to trójkąt).
* **Fragmenty:** Dane każdego piksela stworzone przez prymitywy.
* **Vertex Array Object** (VAO): Definiuje jakie dane zawiera wierzchołek.
* **Vertex Buffer Object** (VBO): Wierzchołek samy w sobie.
* **Programy z shaderami** są tworzone z przynajmniej Vertex Shader (Shaderem Wierzchołka) a potem aktywowane przed użyciem.
* Wierzchołki są obsługiwane przez Vertex Shader, Prymitywy są obsługiwane przez Geometry Shader a fragmenty są obsługiwane przez Fragment Shader.

Dane przesyłamy do Vertex Shader natomiast Fragment Shader później podnosi wynik po ostatnich operacjach. Itp…

**Początkowe ustawienie okna to:**



1. Załączone shadery (Shaders Added).

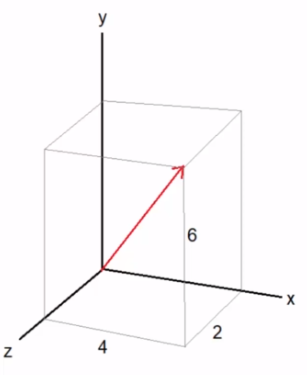
2. Utworzenie trojkata (Triangle created).

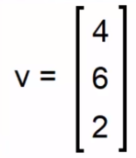
3. Wywolanie funkcji rysowania.

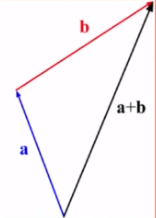
4. Wektory, macierze oraz jednolite zmienne (uniform variables):

Omówienie wektorów:

Co to znaczy:

* Wielkość, która ma długość (magnitude) oraz kierunek.
* Inaczej mówiąc określa jak daleko jest dany obiekt oraz w jakim kierunku jest on skierowany.
* ****Może być użyty do wielu rzeczy, normalnie do reprezentacji kierunku albo pozycji (jak daleko jest oraz w jakim kierunku jest on skierowany, relatywnie do określonego punktu).
* **x = 4, y = 6, z = 2**
* **v = [4, 6, 2]**



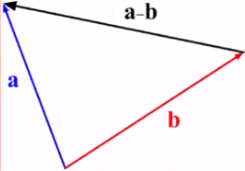
****

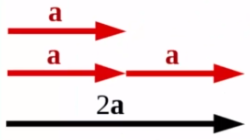
Dozwolone operacje:

* ***Dodawanie*:**

[1, 2, 3] **+** [2, 4, 6] = [1+2, 2+4, 6+3] = [3, 6, 9]

* ***Odejmowanie*:**

**** [1, 2, 3] **–** [2, 4, 6] = [1-2, 2-4, 3-6] = [-1, -2, -3]

* ***Mnożenie przez skalar (poj. wartość)***

[1, 2, 3] **\*** 2 = [1\*2, 2\*2, 3\*2] = [2, 4, 6]

* Mnożenie przez wektor?
* Trudne do zdefiniowania i nie używane.
* Zamiast tego używamy **Dot Product (iloczyn skalarny).**

**Magnitude/ Długość:**

* Wektory z prostego kąta trójkątów.
* Więc możemy obliczyć długość z wariacji twierdzenia Pitagoras’a.
* In 3D, to jest po prostu: **|v| = sqrt(vx­­2+ vy­2+ vz­­2).**
* v = [1, 2, 2]

|v| = sqrt(1+4+4) = sqrt(9) = 3.

**Dot product:**

* Również nazywane Scalar Product, ponieważ zwraca pojedynczą/ skalarną wartość w przeciwieństwie do wektora.
* **Może być użyte na dwa sposoby:**
  + [a, b, c] \* [d, e, f] = a\*d + b\*e + c\*f

[1, 2, 3] \* [4, 5, 6] =1\*4 + 2\*5 + 3\*6 = 32

**v1 • v2 = |v1| \* |v­2|\* cos(φ)**

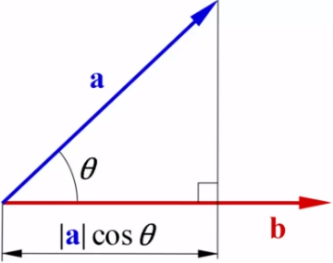
**|v1|** jest to **długość**/ magnitude wektora v1­.

**φ** jest to **kąt między wektorami** v1 oraz v2.

Pozwala robić refleksje oraz detekcje kolizji (możemy użyć jednego wektora aby rzutować na drugi).

* To pozwala na kilka ciekawych scenariuszy…
* **v1 • v2 = |v1| \* |v2| \* cos(φ)**
* Jeżeli wiemy v1 • v2 z alternatywnej metody…
* I obliczymy dwie długości wektorów…
* **(v1 • v2)/ (|v1| \* |v2|) = cos(φ)**

cos-1((v1•v2)/(|v1|\*|v2)) = φ

* Więcej o tym kiedy przejdziemy do oświetlania.
* Jest to **skalarna projekcja (rzutowanie).**
* Dot product z założeniem, że ‘b’ jest wektorem jednostkowym,
* Wektor jednostkowy jest to wektor o długości 1,
* Jeżeli a oraz b są pod właściwymi kątami to długość rzutowania będzie 0.
* Ma to sens, ponieważ:

**|a|\*cos(90) = |a| x 0 = 0**

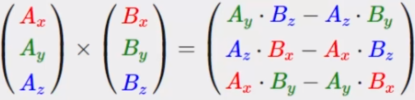
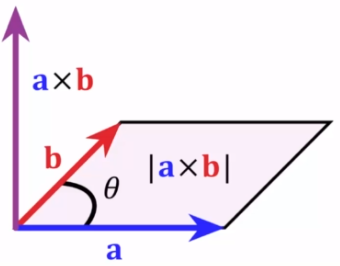
* Ważne w kontekście światła.

**Wektor jednostkowy:**

* Czasami chcemy wiedzieć tylko kierunek oraz jak iść w tym kierunku.
* Wektor jednostkowy jest to **wektor o długości 1**.
* u ma ten sam kierunek co v ale wartość jego długości to 1.

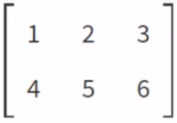
**Cross product** (produkt krzyżowy):

* Wprawdzie tylko działa w 3D.
* Tworzy wektor, który jest prostopadły do dwóch pozostałych.
* Kolejność ma znaczenie.



**Omówienie Macierzy:**

Co to jest:

* Grupa wartości umieszczona w siatce o rozmiarach i x j.
* Przykładem jest 2x3 macierz.

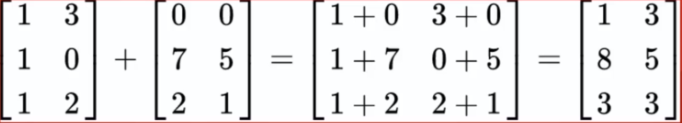
**i ~ wiersze,**

**j ~ kolumny,**

* Może być użyte dla wielu rzeczy poprzez grafikę, tworzenie gier oraz pola naukowe.
* Będziemy ich używać to***obsługi:***
  + **modelów transformacji** (translacji, rotacji oraz skalowania) ~ poruszanie obiektu, obracanie oraz skalowanie obiektu.
  + **projekcji/ rzutowania** (projections) ~ jak widzimy rzeczy np.: poprzez kamerę (np.: ortogonalna projekcja).
  + **widoków** (views) jest to pozycja oraz orientacja kamery.

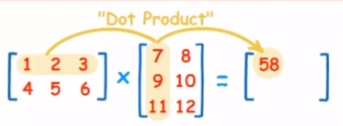
Dodawanie oraz odejmowanie macierzy:

* Skalar: Po prostu dodaje/ odejmuje wartość z każdego elementu, podobnie jak w przypadku wektorów.
* Macierz: Dodaje wartości w przeliczeniu na element. Każdy musi pasować swoją pozycją do innej macierzy.
* To znaczy, że **rozmiary macierzy**, które chcemy dodać lub odjąć muszą być **takie same**.



Mnożenie macierzy:

* **Po przez skalar**: Po prostu mnożymy wartość z każdym elementem, tak samo jak w przypadku wektorów.
* **Po przez macierz**:
  + **Kolejność ma znaczenie**.
  + **Ilość kolumn** macierzy po lewej stronie musi zawsze się **równać ilości wierszy** macierzy po prawej stronie.

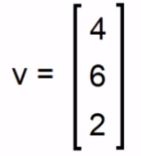
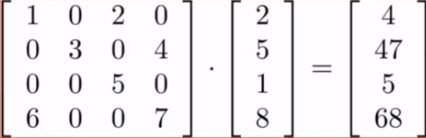




* Biblioteka ***GLM*** będzie to obsługiwała z nas.

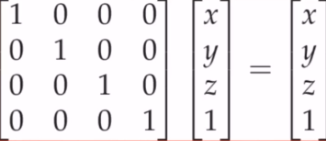
Związek Macierzy z Wektorami:

* Jak Macierze pracują z wektorami?
* **Wektory** **są to macierze**, które mają tylko **jedną kolumnę**.
* Mnożenie wektora przez macierz da nam **zmodyfikowaną postać tego wektora**.
* **WEKTOR ZAWSZE BĘDZIE PO PRAWEJ STRONIE.**



**Macierze transformacji:**

* Macierze mogą być użyte z wektorami, żeby zaaplikować transformację do nich (translacja, rotacja oraz skalowanie).
* Najbardziej podstawową jest **macierz jednostkowa**.



* Po prostu zwraca dany wektor.
* Zachowuje się jak **punkt startowy** do **aplikacji innych transformacji.**