# Vulkan API

Adam Sawicki „Reg”
https://asawicki.info

KNTG Polygon
27.11.2019

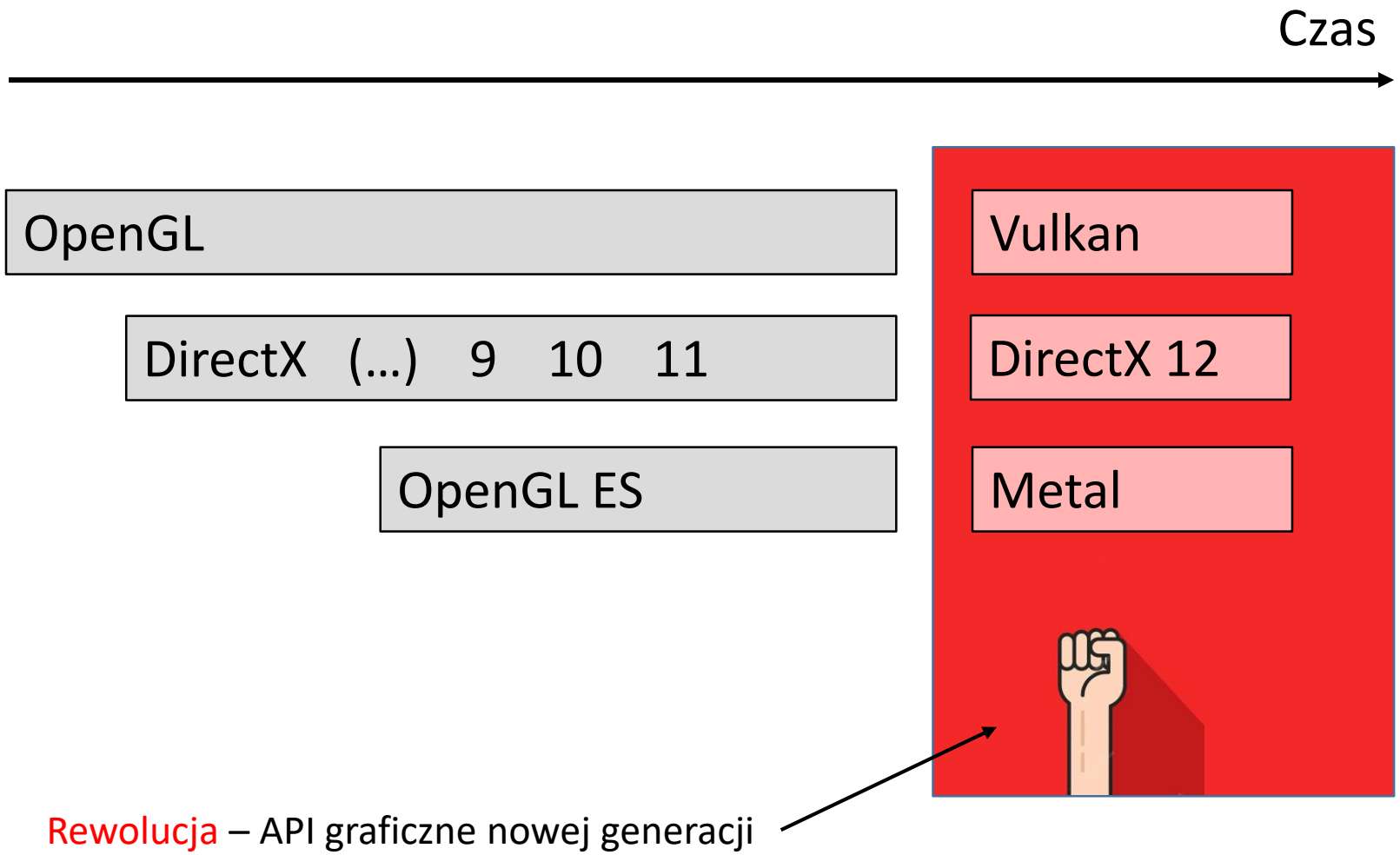
# Agenda

- Co to jest Vulkan?
- Przegląd API
- Narzędzia
- Zalety i wady
- Czy jest dla mnie?

# Co to jest?

Vulkan to API graficzne

# API graficzne – wg czasu



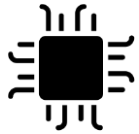
# API graficzne – wg platformy

- Vulkan stworzony przez Khronos jako otwarty standard
- Pierwsze w historii wspólne API na pecety i urządzenia mobilne

# Jakie są te nowe API?

„Explicit API”

- Bez naleciałości historycznych ~~glVertex()~~
  - Lepiej odpowiadają budowie współczesnych GPU
- Niskopoziomowe
  - Bliżej sprzętu
  - Bezpośrednia kontrola nad GPU
  - Prostszy sterownik
- Trudniejsze do opanowania i używania ☹



# Jak zacząć?

- Ściągnij i zainstaluj Vulkan SDK
  - https://www.lunarg.com/vulkan-sdk/
- Czytaj specyfikację
  - https://www.khronos.org/registry/vulkan/
  - HTML lub PDF


```
#include <vulkan/vulkan.h>
```

Zlinkuj vulkan-1.lib

# Jak wygląda API?

- Zdefiniowane w C (enum, typedef, struct, funkcje globalne)
- Obiektowe

```
VkBufferCreateInfo bufCreateInfo = { VK_STRUCTURE_TYPE_BUFFER_CREATE_INFO };
bufCreateInfo.size = 65536;
bufCreateInfo.usage = VK_BUFFER_USAGE_VERTEX_BUFFER_BIT |
    VK_BUFFER_USAGE_TRANSFER_DST_BIT;

VkBuffer buffer;
VkResult res = vkCreateBuffer(device, &bufCreateInfo, nullptr, &buffer);

// ...

vkDestroyBuffer(device, buffer, nullptr);
```

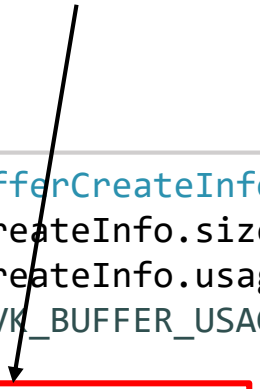
# Jak wygląda API?

Struktura opisująca tworzony bufor.
(Po utworzeniu parametrów już nie można zmienić.)

```
VkBufferCreateInfo bufCreateInfo = { VK_STRUCTURE_TYPE_BUFFER_CREATE_INFO };
bufCreateInfo.size = 65536;
bufCreateInfo.usage = VK_BUFFER_USAGE_VERTEX_BUFFER_BIT |
    VK_BUFFER_USAGE_TRANSFER_DST_BIT;

VkBuffer buffer;
VkResult res = vkCreateBuffer(device, &bufCreateInfo, nullptr, &buffer);

// ...

vkDestroyBuffer(device, buffer, nullptr);
```

# Jak wygląda API?

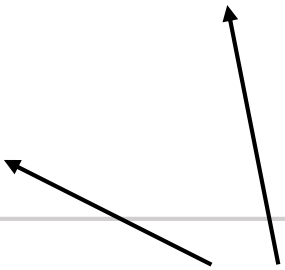
Obiekt (tak naprawdę wskaźnik)



```
VkBufferCreateInfo bufCreateInfo = { VK_STRUCTURE_TYPE_BUFFER_CREATE_INFO };
bufCreateInfo.size = 65536;
bufCreateInfo.usage = VK_BUFFER_USAGE_VERTEX_BUFFER_BIT |
    VK_BUFFER_USAGE_TRANSFER_DST_BIT;

VkBuffer buffer;
VkResult res = vkCreateBuffer(device, &bufCreateInfo, nullptr, &buffer);

// ...

vkDestroyBuffer(device, buffer, nullptr);
```

# Jak wygląda API?

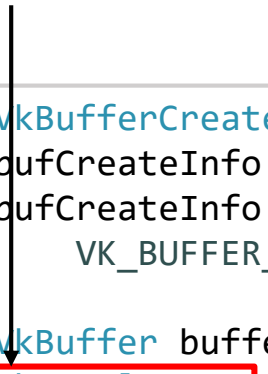
```
VkBufferCreateInfo bufCreateInfo = { VK_STRUCTURE_TYPE_BUFFER_CREATE_INFO };
bufCreateInfo.size = 65536;
bufCreateInfo.usage = VK_BUFFER_USAGE_VERTEX_BUFFER_BIT |
    VK_BUFFER_USAGE_TRANSFER_DST_BIT;

VkBuffer buffer;
VkResult res = vkCreateBuffer(device, &bufCreateInfo, nullptr, &buffer);

// ...

vkDestroyBuffer(device, buffer, nullptr);
```



Funkcje tworzące i niszczące obiekt

# Jak wygląda API?

Powodzenie lub kod błędu:
VK_SUCCESS
VK_ERROR_OUT_OF_DEVICE_MEMORY
VK_ERROR_...

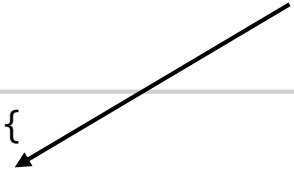


```
VkBufferCreateInfo bufCreateInfo = { VK_STRUCTURE_TYPE_BUFFER_CREATE_INFO };
bufCreateInfo.size = 65536;
bufCreateInfo.usage = VK_BUFFER_USAGE_VERTEX_BUFFER_BIT |
    VK_BUFFER_USAGE_TRANSFER_DST_BIT;

VkBuffer buffer;
VkResult res = vkCreateBuffer(device, &bufCreateInfo, nullptr, &buffer);

// ...

vkDestroyBuffer(device, buffer, nullptr);
```

# Budowa struktur

Prawie wszystkie struktury zaczynają się od 2 pól:

1. Enum identyfikuje typ struktury
Np. VK_STRUCTURE_TYPE_BUFFER_CREATE_INFO

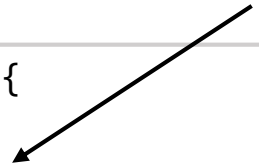


```
typedef struct VkBufferCreateInfo {
    VkStructureType         sType;
    const void*             pNext;
    VkBufferCreateFlags     flags;
    VkDeviceSize            size;
    VkBufferUsageFlags      usage;
    VkSharingMode           sharingMode;
    uint32_t                queueFamilyIndexCount;
    const uint32_t*         pQueueFamilyIndices;
} VkBufferCreateInfo;
```

# Budowa struktur

Prawie wszystkie struktury zaczynają się od 2 pól:

2. Wskaźnik na następną strukturę
Pozwala łączyć je w łańcuch z nowymi (rozszerzenia!)



```
typedef struct VkBufferCreateInfo {
    VkStructureType         sType;
    const void*             pNext;
    VkBufferCreateFlags     flags;
    VkDeviceSize            size;
    VkBufferUsageFlags      usage;
    VkSharingMode           sharingMode;
    uint32_t                queueFamilyIndexCount;
    const uint32_t*         pQueueFamilyIndices;
} VkBufferCreateInfo;
```

# Validation Layers

- W starych API każda funkcja sprawdza poprawność i zwraca rezultat

  Crash oznacza błąd w sterowniku 

- W Vulkanie wiele funkcji nie zwraca rezultatu
  - Funkcje tworzące zasoby, alokujące pamięć zwracają VkResult
  - Funkcje dodające komendy graficzne zwracają void

# Validation Layers

- Nieprawidłowe użycie API powoduje niezdefiniowany skutek
  - Może zadziałać dobrze (na danym GPU i sterowniku)
  - Może zadziałać źle (nieprawidłowy wynik)
  - Może wywalić sterownik (crash, timeout „TDR”)

- W wychwyceniu błędów pomagają Validation Layers
  - Po włączeniu wykonują dodatkowe sprawdzenia, zgłaszają komunikaty błędów i ostrzeżeń
  - Kiedy wyłączone, nie dodają narzutu na CPU

# Podstawowe obiekty

- VkInstance – reprezentuje zainicjalizowany Vulkan Runtime

  Utwórz tylko jeden na całą aplikację

- VkPhysicalDevice – reprezentuje GPU dostępne w systemie

  Odpytaj VkInstance o ich listę, wybierz odpowiedni

- VkDevice – reprezentuje Vulkana zainicjalizowanego na danym GPU

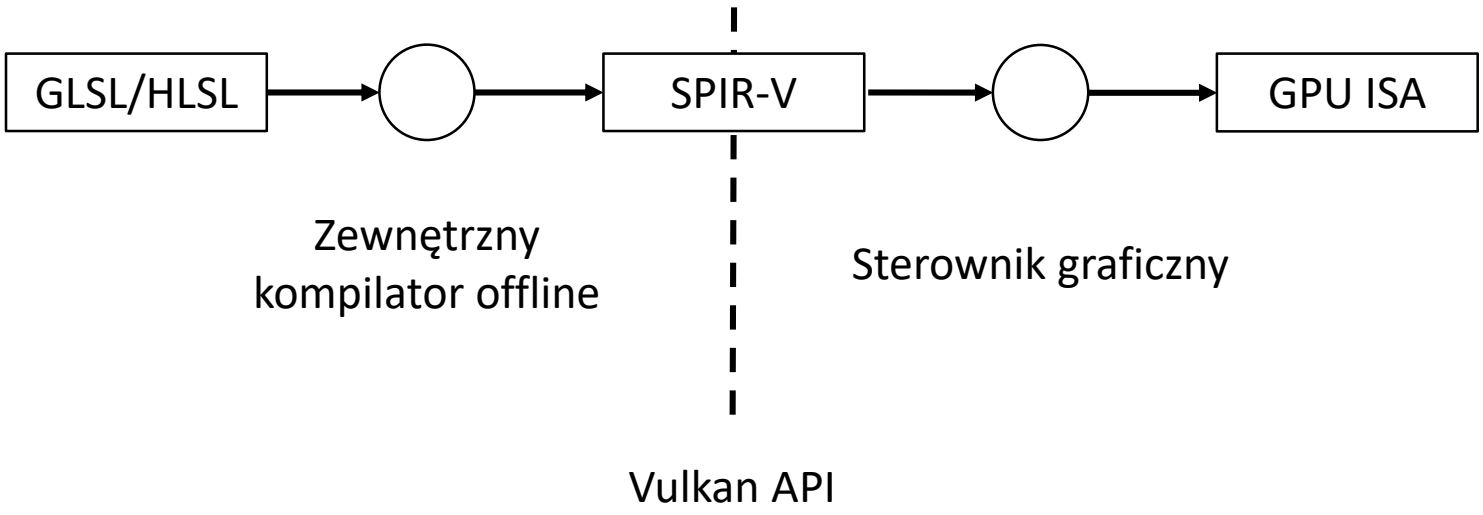
  Główny obiekt – jak ID3D11Device, OGL context

# Shadery

- Obiekt VkShaderModule
- Vulkan przyjmuje shadery w formacie SPIR-V

  Postać pośrednia, binarna, wzorowana na LLVM IR
- Język wysokiego poziomu poza Vulkanem

  Dostępne kompilatory do GLSL i HLSL



# Kolejki komend

Układy graficzne obsługują wiele kolejek

- Odpytaj VkDevice o obiekty VkQueue
- Dzielą się na 3 kategorie:
  - Transfer – wyłącznie kopiowanie danych i przesyłanie przez PCIe
  - Compute – compute shader
  - Graphics – pełny potok grafiki 3D
- Mogą działać równolegle
  - Async Compute – compute shader wykonywany równolegle z grafiką 3D
  - Transfer w tle, np. streamowanie tekstur

# Kolejki komend

VkCommandBuffer – bufor poleceń do wykonania na GPU

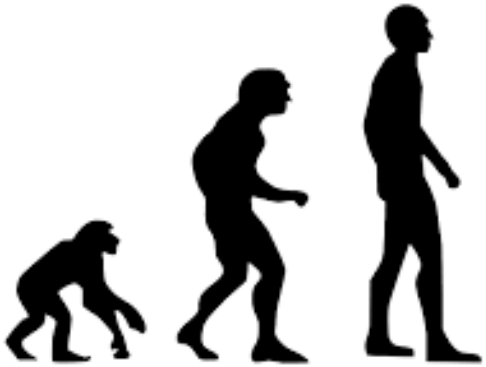
- To do niego wpisujemy tradycyjne SetX(), SetY(), Draw()

- Można użyć wielu
  - Można je wypełniać równolegle na wielu wątkach
  - Można przygotować raz i wykonywać wiele razy

# Kolejki komend

```
vkBeginCommandBuffer(cmdBuf, &cmdBufBeginInfo);

vkCmdBeginRenderPass(cmdBuf, &renderPassBeginInfo,
    VK_SUBPASS_CONTENTS_INLINE);

vkCmdBindIndexBuffer(cmdBuf, indexBuffer, 0,
    VK_INDEX_TYPE_UINT16);

vkCmdDraw(cmdBuf, vertexCount, 1, 0, 0);

vkCmdEndRenderPass(cmdBuf);

vkEndCommandBuffer(cmdBuf);

vkQueueSubmit(queue, 1, &submitInfo, nullptr);
```

# Potok



- DirectX 9
  - Każdy stan ustawiany oddzielnie
  - SetRenderState, SetPixelShader, …
- DirectX 11
  - Obiekty stanów, niezmienne po utworzeniu
  - ID3D11BlendState, ID3D11DepthStencilState, …
- DirectX 12, Vulkan
  - VkPipeline – jeden niezmienny obiekt z (prawie) całą konfiguracją potoku
  - Nazywany też Pipeline State Object (PSO)

# Potok

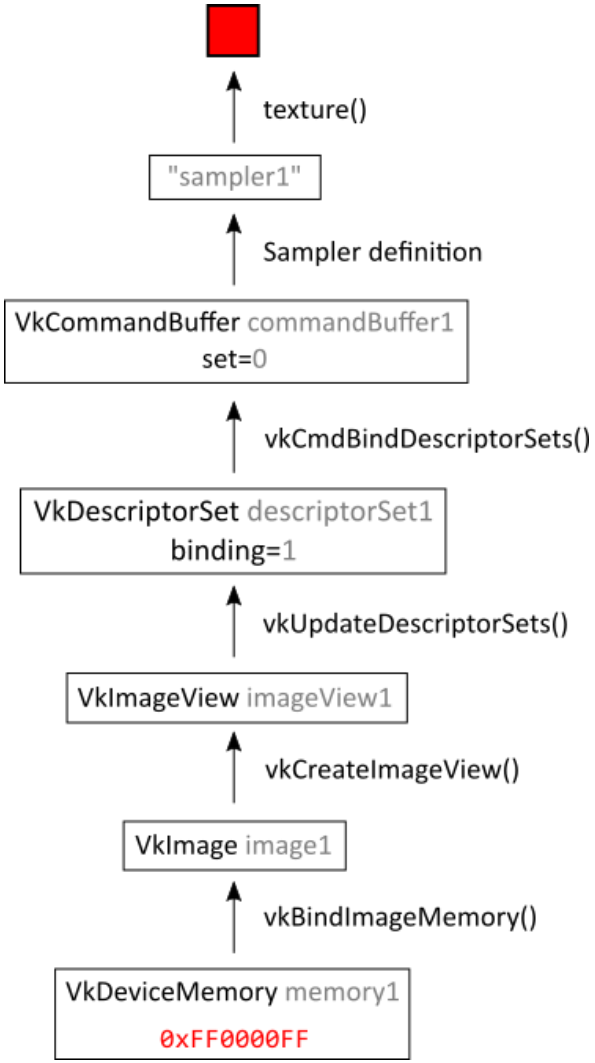
- Zaleta: brak non-orthogonal states (NOS)
  - Nie ma rekompilacji shadera w niespodziewanych momentach
  - Sterownik nie tworzy własnych wątków, nie robi niczego w tle
  - Przewidywalna wydajność, gra się nie zacina („no hitching”)
- Wada: trzeba utworzyć i zarządzać wszystkimi potrzebnymi potokami
  - Ich tworzenie może być czasochłonne
  - Zmiana jakiegokolwiek parametru wymaga nowego potoku

# Deskryptory

- Dostęp z shaderów do zasobów odbywa się za pośrednictwem deskryptorów – VkDescriptorSet

- Od shadera do pamięci prowadzi długa droga…

  Nie będziemy omawiać całej

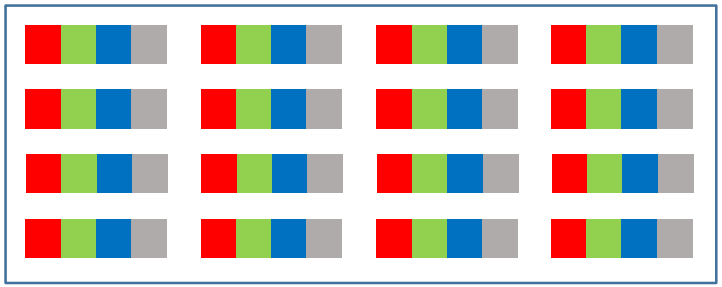


# Zasoby

Tylko 2 rodzaje zasobów:

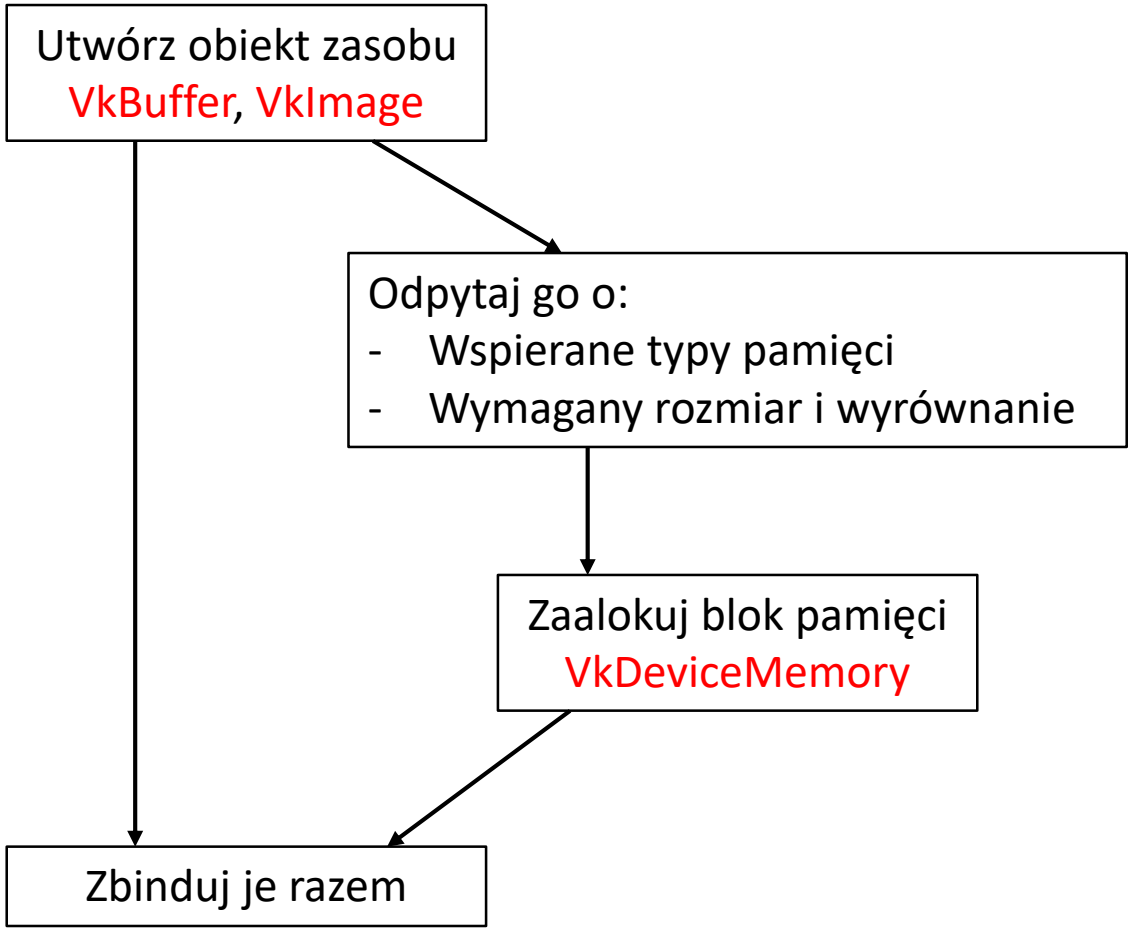
- VkBuffer – bufor danych binarnych określonej długości
  - Może służyć jako vertex buffer, index buffer, uniform (constant) buffer i inne…

- VkImage – tekstura
  - Wiele parametrów: width, height, depth, pixel format, mip levels, array layers, MSAA, …



# Zasoby

Utworzenie zasobu wymaga kilku etapów:



# Pamięć

Sprawdź listę rodzajów pamięci dostępnych w urządzeniu

Inna na kartach dyskretnych/zintegrowanych, inna na AMD/NVIDIA/Intel…

- VkPhysicalDevice
  - VkMemoryHeap ——— size – rozmiar w bajtach
    - VkMemoryType ——— propertyFlags – właściwości
    - VkMemoryType
  - VkMemoryHeap
    - VkMemoryType
    - VkMemoryType

# Pamięć

VkMemoryType::propertyFlags

- VK_MEMORY_PROPERTY_DEVICE_LOCAL_BIT
  - Pamięć lokalna dla GPU – szybki dostęp
  - „Device” znaczy układ graficzny – GPU
- VK_MEMORY_PROPERTY_HOST_VISIBLE_BIT
  - Pamięć widoczna dla CPU – można mapować
  - „Host” znaczy procesor główny – CPU

- VK_MEMORY_PROPERTY_HOST_COHERENT_BIT…
- VK_MEMORY_PROPERTY_HOST_CACHED_BIT…

# Alokacja pamięci

- Nie alokuj oddzielnego bloku dla każdego zasobu
- Alokuj większe bloki i przydzielaj zasobom ich fragmenty

- …lub użyj gotowej biblioteki: Vulkan Memory Allocator
  https://github.com/GPUOpen-LibrariesAndSDKs/VulkanMemoryAllocator/

Autoreklama ☺

# Synchronizacja

Rodzaje obiektów synchronizujących:

1. VkFence – z GPU do CPU
   - Możemy zaczekać, aż VkCommandBuffer się wykona.

```
VkFence fence;

vkQueueSubmit(queue, 1, &submitInfo, fence);

vkWaitForFences(device, 1, &fence, VK_TRUE, UINT64_MAX);
```

# Synchronizacja

Rodzaje obiektów synchronizujących:

1. VkFence – z GPU do CPU
2. VkSemaphore – z jednej do innej kolejki GPU
   - Submit przyjmuje listę WaitSemaphores i SignalSemaphores

```
VkSemaphore semaphore;
VkSubmitInfo submit1, submit2;

submit1.signalSemaphoreCount = 1;
submit1.pSignalSemaphores = &semaphore;
vkQueueSubmit(queue1, 1, &submit1, fence1);

submit2.waitSemaphoreCount = 1;
submit2.pWaitSemaphores = &semaphore;
vkQueueSubmit(queue2, 1, &submit2, fence2);
```

# Synchronizacja

Rodzaje obiektów synchronizujących:

1. VkFence – z GPU do CPU
2. VkSemaphore – z jednej do innej kolejki GPU
3. VkEvent – w ramach jednej kolejki GPU
4. Bariery

# Bariery

- Bariera to polecenie dotyczące określonego zasobu
- Niezbędne do synchronizacji między użyciami tego zasobu

Typowy przykład:

1. Zapis (renderowanie) do image1 jako „render target” (color attachment)
2. BARIERA!

3. Odczyt (samplowanie) z image1 jako „tekstura” (sampled image)

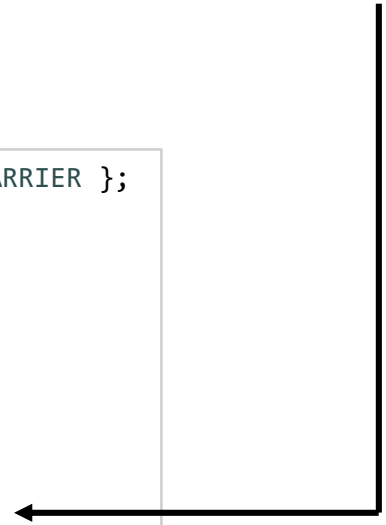
# Bariery

Polecenie wstawiane do VkCommandBuffer między wywołania renderujące.

```
VkImageMemoryBarrier barrier = { VK_STRUCTURE_TYPE_IMAGE_MEMORY_BARRIER };
barrier.srcAccessMask = VK_ACCESS_COLOR_ATTACHMENT_WRITE_BIT;
barrier.dstAccessMask = VK_ACCESS_SHADER_READ_BIT;
barrier.oldLayout = VK_IMAGE_LAYOUT_COLOR_ATTACHMENT_OPTIMAL;
barrier.newLayout = VK_IMAGE_LAYOUT_SHADER_READ_ONLY_OPTIMAL;
barrier.srcQueueFamilyIndex = VK_QUEUE_FAMILY_IGNORED;
barrier.dstQueueFamilyIndex = VK_QUEUE_FAMILY_IGNORED;
barrier.image = image1;
barrier.subresourceRange.aspectMask = VK_IMAGE_ASPECT_COLOR_BIT;
barrier.subresourceRange.baseMipLevel = 0;
barrier.subresourceRange.levelCount = 1;
barrier.subresourceRange.baseArrayLayer = 0;
barrier.subresourceRange.layerCount = 1;

vkCmdPipelineBarrier(
    cmdBuf,
    VK_PIPELINE_STAGE_COLOR_ATTACHMENT_OUTPUT_BIT, // srcStageMask
    VK_PIPELINE_STAGE_FRAGMENT_SHADER_BIT, // dstStageMask
    0, // dependencyFlags
    0, nullptr, // memoryBarrierCount, pMemoryBarriers
    0, nullptr, // bufferMemoryBarrierCount, pBufferMemoryBarriers
    1, &barrier); // imageMemoryBarrierCount, pImageMemoryBarriers
```

# Bariery

Dotyczy konkretnego VkImage i konkretnego zakresu jego subresources.



```
VkImageMemoryBarrier barrier = { VK_STRUCTURE_TYPE_IMAGE_MEMORY_BARRIER };
barrier.srcAccessMask = VK_ACCESS_COLOR_ATTACHMENT_WRITE_BIT;
barrier.dstAccessMask = VK_ACCESS_SHADER_READ_BIT;
barrier.oldLayout = VK_IMAGE_LAYOUT_COLOR_ATTACHMENT_OPTIMAL;
barrier.newLayout = VK_IMAGE_LAYOUT_SHADER_READ_ONLY_OPTIMAL;
barrier.srcQueueFamilyIndex = VK_QUEUE_FAMILY_IGNORED;
barrier.dstQueueFamilyIndex = VK_QUEUE_FAMILY_IGNORED;
barrier.image = image1;
barrier.subresourceRange.aspectMask = VK_IMAGE_ASPECT_COLOR_BIT;
barrier.subresourceRange.baseMipLevel = 0;
barrier.subresourceRange.levelCount = 1;
barrier.subresourceRange.baseArrayLayer = 0;
barrier.subresourceRange.layerCount = 1;

vkCmdPipelineBarrier(
    cmdBuf,
    VK_PIPELINE_STAGE_COLOR_ATTACHMENT_OUTPUT_BIT, // srcStageMask
    VK_PIPELINE_STAGE_FRAGMENT_SHADER_BIT, // dstStageMask
    0, // dependencyFlags
    0, nullptr, // memoryBarrierCount, pMemoryBarriers
    0, nullptr, // bufferMemoryBarrierCount, pBufferMemoryBarriers
    1, &barrier); // imageMemoryBarrierCount, pImageMemoryBarriers
```

# Bariery

3 pary flag.
Tylko niektóre kombinacje mają sens.

```
VkImageMemoryBarrier barrier = { VK_STRUCTURE_TYPE_IMAGE_MEMORY_BARRIER };
barrier.srcAccessMask = VK_ACCESS_COLOR_ATTACHMENT_WRITE_BIT;
barrier.dstAccessMask = VK_ACCESS_SHADER_READ_BIT;
barrier.oldLayout = VK_IMAGE_LAYOUT_COLOR_ATTACHMENT_OPTIMAL;
barrier.newLayout = VK_IMAGE_LAYOUT_SHADER_READ_ONLY_OPTIMAL;
barrier.srcQueueFamilyIndex = VK_QUEUE_FAMILY_IGNORED;
barrier.dstQueueFamilyIndex = VK_QUEUE_FAMILY_IGNORED;
barrier.image = image1;
barrier.subresourceRange.aspectMask = VK_IMAGE_ASPECT_COLOR_BIT;
barrier.subresourceRange.baseMipLevel = 0;
barrier.subresourceRange.levelCount = 1;
barrier.subresourceRange.baseArrayLayer = 0;
barrier.subresourceRange.layerCount = 1;

vkCmdPipelineBarrier(
    cmdBuf,
    VK_PIPELINE_STAGE_COLOR_ATTACHMENT_OUTPUT_BIT, // srcStageMask
    VK_PIPELINE_STAGE_FRAGMENT_SHADER_BIT, // dstStageMask
    0, // dependencyFlags
    0, nullptr, // memoryBarrierCount, pMemoryBarriers
    0, nullptr, // bufferMemoryBarrierCount, pBufferMemoryBarriers
    1, &barrier); // imageMemoryBarrierCount, pImageMemoryBarriers
```

# Bariery

Użycie przed:

- srcAccessMask = COLOR_ATTACHMENT_WRITE
- oldLayout = COLOR_ATTACHMENT_OPTIMAL
- srcStageMask = COLOR_ATTACHMENT_OUTPUT

```
VkImageMemoryBarrier barrier = { VK_STRUCTURE_TYPE_IMAGE_MEMORY_BARRIER };
barrier.srcAccessMask = VK_ACCESS_COLOR_ATTACHMENT_WRITE_BIT;
barrier.dstAccessMask = VK_ACCESS_SHADER_READ_BIT;
barrier.oldLayout = VK_IMAGE_LAYOUT_COLOR_ATTACHMENT_OPTIMAL;
barrier.newLayout = VK_IMAGE_LAYOUT_SHADER_READ_ONLY_OPTIMAL;
barrier.srcQueueFamilyIndex = VK_QUEUE_FAMILY_IGNORED;
barrier.dstQueueFamilyIndex = VK_QUEUE_FAMILY_IGNORED;
barrier.image = image1;
barrier.subresourceRange.aspectMask = VK_IMAGE_ASPECT_COLOR_BIT;
barrier.subresourceRange.baseMipLevel = 0;
barrier.subresourceRange.levelCount = 1;
barrier.subresourceRange.baseArrayLayer = 0;
barrier.subresourceRange.layerCount = 1;

vkCmdPipelineBarrier(
    cmdBuf,
    VK_PIPELINE_STAGE_COLOR_ATTACHMENT_OUTPUT_BIT, // srcStageMask
    VK_PIPELINE_STAGE_FRAGMENT_SHADER_BIT, // dstStageMask
    0, // dependencyFlags
    0, nullptr, // memoryBarrierCount, pMemoryBarriers
    0, nullptr, // bufferMemoryBarrierCount, pBufferMemoryBarriers
    1, &barrier); // imageMemoryBarrierCount, pImageMemoryBarriers
```

# Bariery

Użycie po:

- dstAccessMask = SHADER_READ
- newLayout = SHADER_READ_ONLY_OPTIMAL
- dstStageMask = FRAGMENT_SHADER

```
VkImageMemoryBarrier barrier = { VK_STRUCTURE_TYPE_IMAGE_MEMORY_BARRIER };
barrier.srcAccessMask = VK_ACCESS_COLOR_ATTACHMENT_WRITE_BIT;
barrier.dstAccessMask = VK_ACCESS_SHADER_READ_BIT;
barrier.oldLayout = VK_IMAGE_LAYOUT_COLOR_ATTACHMENT_OPTIMAL;
barrier.newLayout = VK_IMAGE_LAYOUT_SHADER_READ_ONLY_OPTIMAL;
barrier.srcQueueFamilyIndex = VK_QUEUE_FAMILY_IGNORED;
barrier.dstQueueFamilyIndex = VK_QUEUE_FAMILY_IGNORED;
barrier.image = image1;
barrier.subresourceRange.aspectMask = VK_IMAGE_ASPECT_COLOR_BIT;
barrier.subresourceRange.baseMipLevel = 0;
barrier.subresourceRange.levelCount = 1;
barrier.subresourceRange.baseArrayLayer = 0;
barrier.subresourceRange.layerCount = 1;

vkCmdPipelineBarrier(
    cmdBuf,
    VK_PIPELINE_STAGE_COLOR_ATTACHMENT_OUTPUT_BIT, // srcStageMask
    VK_PIPELINE_STAGE_FRAGMENT_SHADER_BIT, // dstStageMask
    0, // dependencyFlags
    0, nullptr, // memoryBarrierCount, pMemoryBarriers
    0, nullptr, // bufferMemoryBarrierCount, pBufferMemoryBarriers
    1, &barrier); // imageMemoryBarrierCount, pImageMemoryBarriers
```

# Bariery

- Koncepcja bardzo niskopoziomowa

  W starych API nieobecne, wykonywane automatycznie
- Jednak wciąż wysokopoziomowa – pełni wiele funkcji:
  - Synchronizacja – zaczekanie na zakończenie poprzedniej operacji
  - Zarządzanie pamięcią podręczną – cache(s) flush/invalidate
  - Konwersja formatu kompresji obrazka – layout

- Biblioteka, która to upraszcza:

  https://github.com/Tobski/simple_vulkan_synchronization/

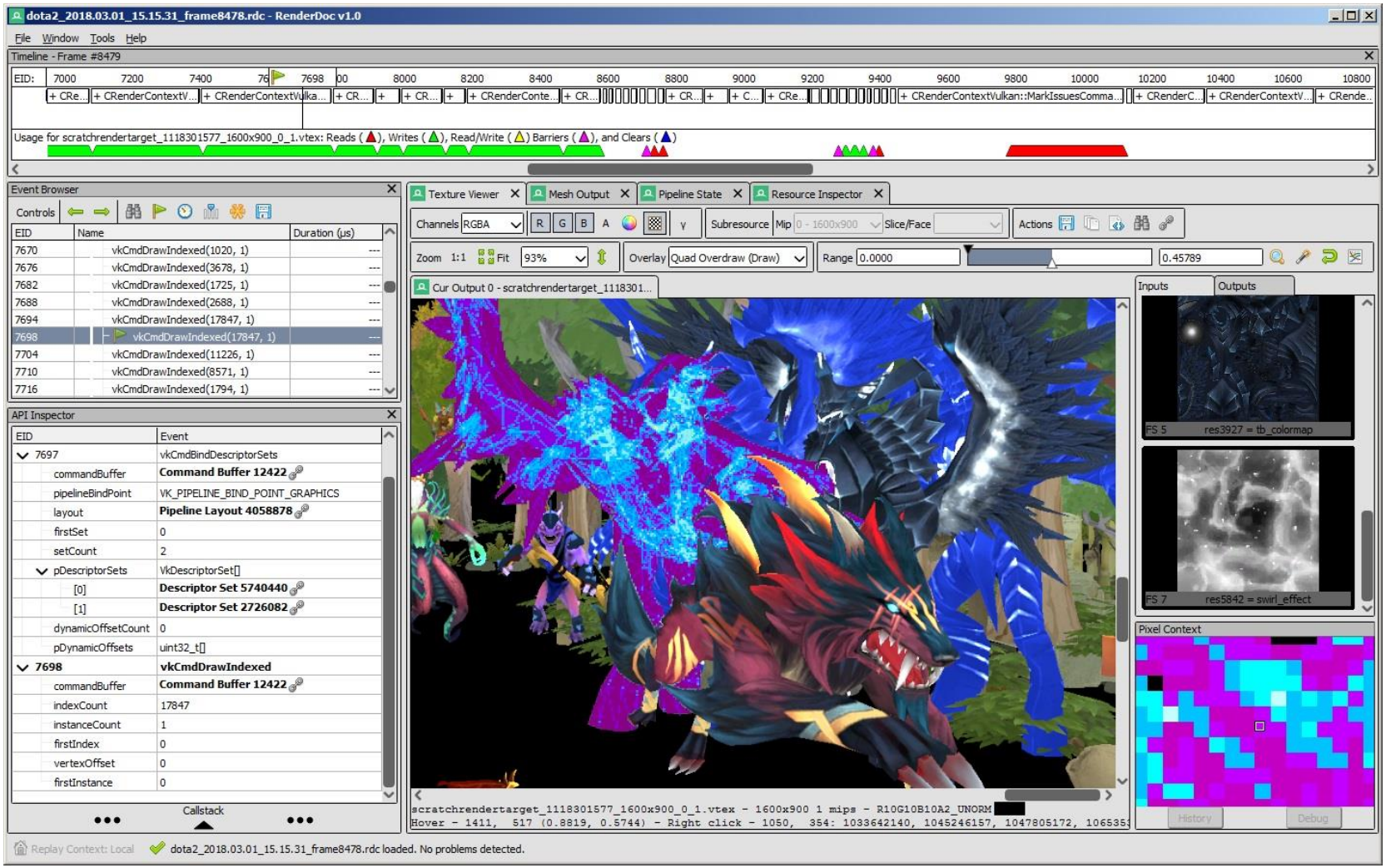
# Narzędzia

RenderDoc

https://renderdoc.org/

- Łapie ramkę
- Podgląd wywołań API, obiektów, stanów, tekstur, siatek…
- Obsługuje Direct3D 11/12, Vulkan, OpenGL, OpenGL ES
- Dobry do debugowania

# Narzędzia




Źródło: renderdoc.org

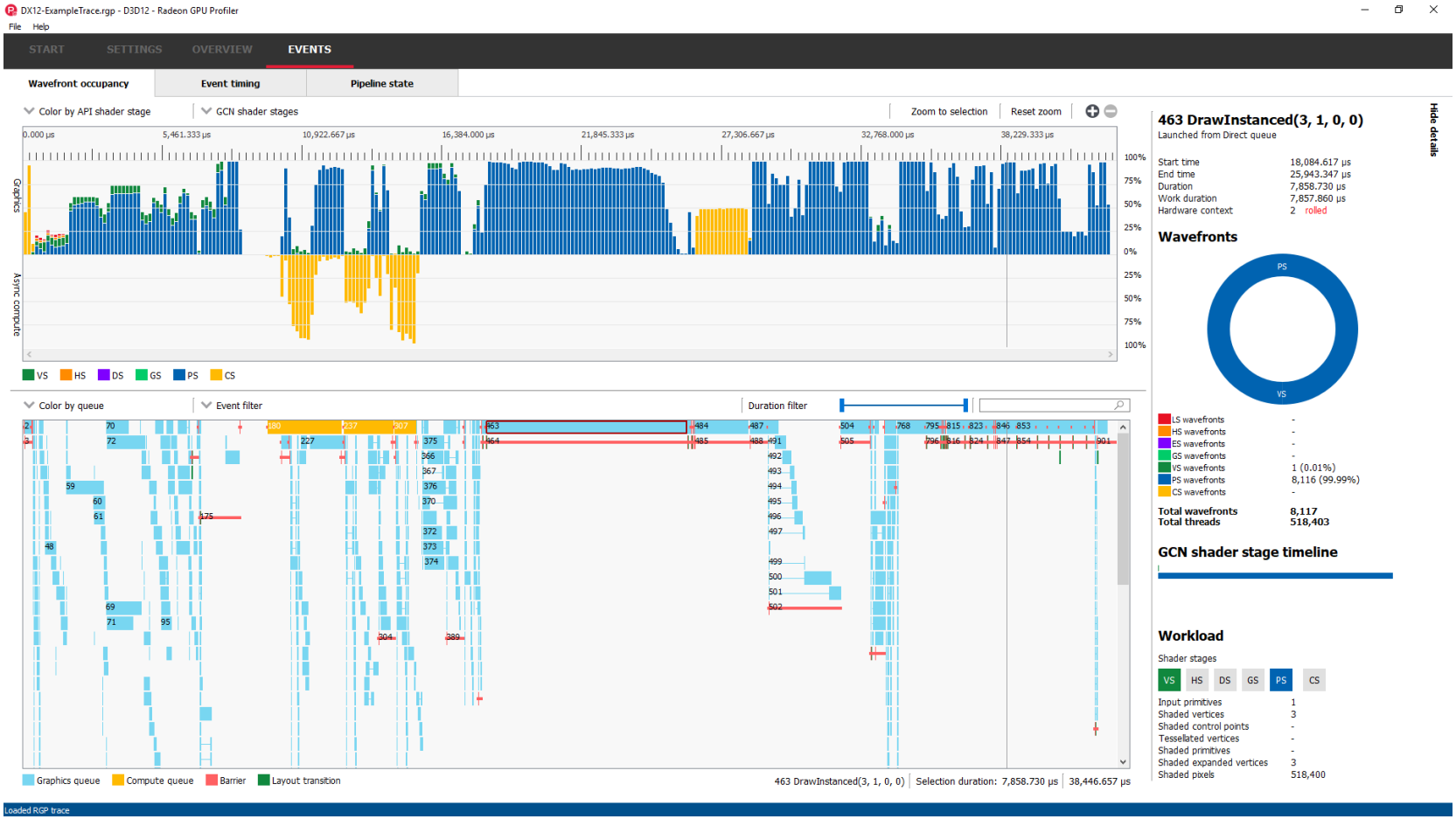
# Narzędzia

Radeon GPU Profiler (RGP)

https://github.com/GPUOpen-Tools/Radeon-GPUProfiler

- Łapie ramkę
- Podgląd wykonania obliczeń na karcie graficznej
- Obsługuje Direct3D 12, Vulkan; wymaga karty AMD
- Dobry do optymalizacji wydajności

# Narzędzia




Źródło: gpuopen.com

# Podsumowanie: Zalety Vulkana ☺

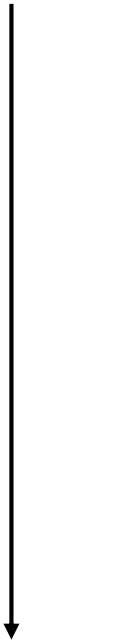
- Niski poziom, pełna kontrola
  - Można osiągnąć lepszą wydajność
  - Przewidywalna wydajność – nie przycina się
  - Można zoptymalizować pod konkretne (rodzaje) GPU
- Prostszy sterownik
  - Mniejszy narzut na CPU
  - Mniej błędów
- Możliwość zrównoleglenia
  - GPU: wiele kolejek, async compute & transfer
  - CPU: wiele wątków, równoległe wypełnianie VkCommandBuffer
- Obsługa najnowszych funkcji GPU – dzięki rozszerzeniom
- Przenośny na wiele platform
- Inwestycja na przyszłość – zostań specjalistą w wąskiej dziedzinie!

# Podsumowanie: Wady Vulkana ☹

- Trudniejszy do zrozumienia i opanowania
- Trudniejszy do używania – potrzeba więcej kodu
- Niewybaczający
  - Błędy to teraz zwykle twoja wina
  - Błędny kod na jednych GPU działa, na innych nie

# Czy Vulkan jest dla mnie?

*Chcę stworzyć grę.*



NIE

Unity, Unreal Engine
DirectX 11, OpenGL ES

*Interesuję się renderingiem.*



TAK

Vulkan, DirectX 12, Metal

# Czy Vulkan jest dla mnie?

*Chcę stworzyć grę.*



NIE

Unity, Unreal Engine
DirectX 11, OpenGL ES

*Chcę się nauczyć podstaw grafiki.*

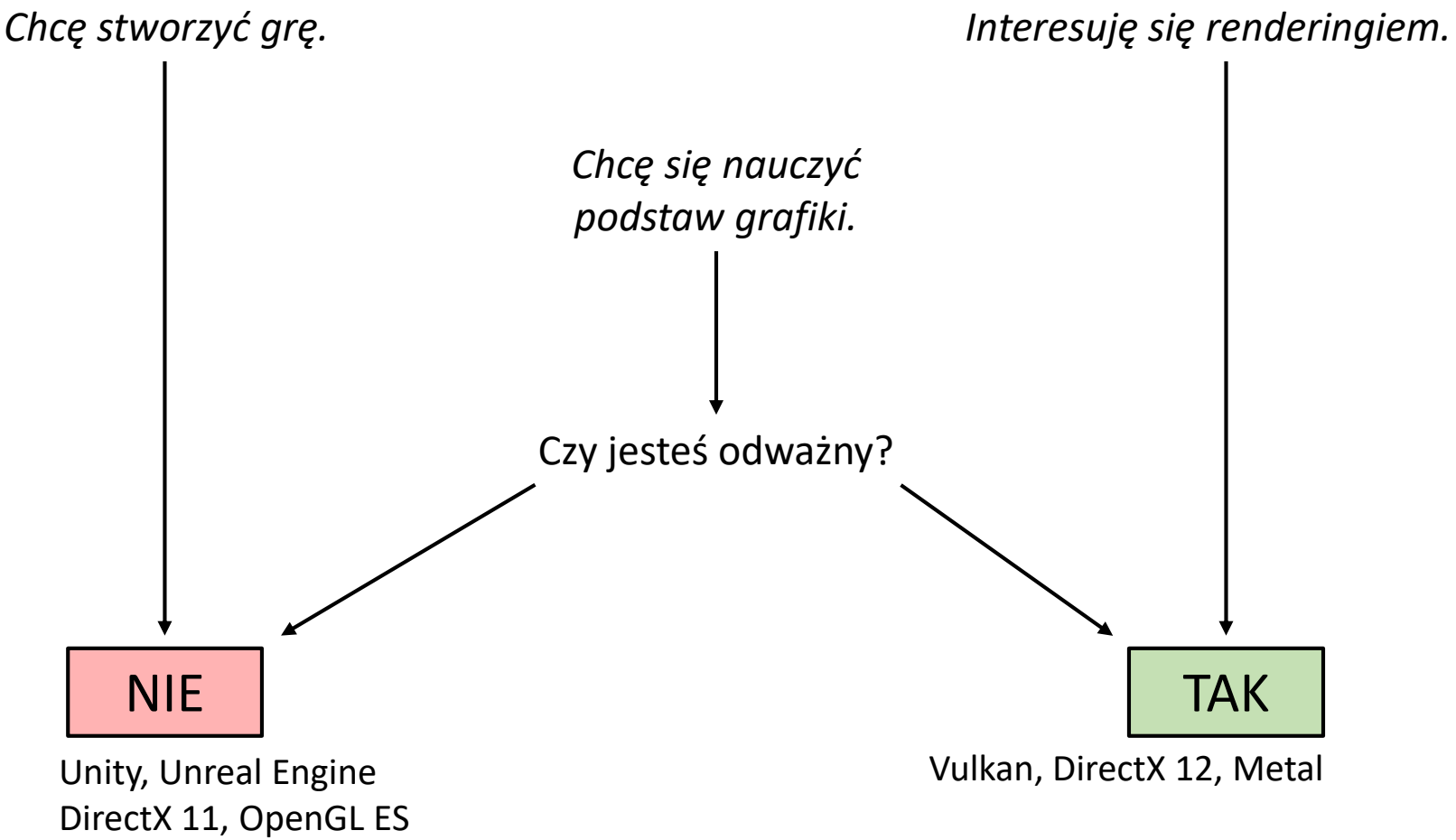
*Interesuję się renderingiem.*



TAK

Vulkan, DirectX 12, Metal

# Czy Vulkan jest dla mnie?



# Literatura

- Vulkan SDK

  https://www.lunarg.com/vulkan-sdk/
- Khronos Vulkan Registry – dokumentacja

  https://www.khronos.org/registry/vulkan/
- Understanding Vulkan objects. Adam Sawicki, GPUOpen

  https://gpuopen.com/understanding-vulkan-objects/
- Vulkan Memory Allocator. GPUOpen

  https://github.com/GPUOpen-LibrariesAndSDKs/VulkanMemoryAllocator/

# Pytania?