

# PODSTAWY ANIMACJI KOMPUTEROWEJ



## *Animacja*

---

„Animacja komputerowa - sztuka tworzenia obrazów ruchomych z użyciem komputera.”

### **Animacja:**

- sekwencja obrazów o zmiennej zawartości,
- powiązanych w logiczną całość,
- wyświetlanych po kolei z określoną szybkością, dając wrażenie ruchu.

Każda z **ramek** (*frame*) animacji komputerowej jest tworzona metodą renderingu, tak jak statyczny obraz.

## *Animacja*

---

Animacja może obejmować zmiany:

- obiektów
  - ich położenia,
  - kształtu i rozmiaru,
  - barwy, tekstury, itp.
- położenia, orientacji i natężenia źródeł światła
- położenia i orientacji punktu obserwacji

Istotne jest modelowanie interakcji pomiędzy obiektami.

## *Zastosowania animacji komputerowej*

---

- gry komputerowe
- filmy animowane
- efekty specjalne w filmach
- prezentacje multimedialne, wizualizacja danych
- elementy stron internetowych
- symulacja procesów
- reklamy
- grafika telewizyjna
- architektura
- zastosowania edukacyjne (np. symulatory)
- sztuka

## *Liczba ramek na sekundę*

---

Każdy obraz składowy animacji nazywany jest **ramką** lub klatką (*frame*). Ramki wyświetlane są ze stałą prędkością – **fps** (*frames per second*).

- 12 fps – minimalna liczba ramek dająca wrażenie w miarę płynnego ruchu
- 18-24 fps – zadawalające wrażenie płynności
- 24 fps – standard w filmie
- 25 fps – standard TV w Europie
- 30 fps – standard TV w USA.

W animacjach komputerowych jako minimum przyjmuje się zwykle 25-35 fps.

## *Rozmycie ruchu*

---

Przy tej samej liczbie fps (np. 25) wrażenie płynności ruchu w filmie fabularnym jest większe niż w animacji komputerowej.

Z tego powodu celowo wprowadza się w animacjach komputerowych rozmycie ruchu (*motion blur*) w przypadku szybko poruszających się obiektów (lub tła, gdy jesteśmy np. w pojeździe).

Rozmycie ruchu można wprowadzić stosując filtrację antyaliasingową w dziedzinie czasu (wymaga większej liczby ramek) lub rozmywając kontury obiektów i ich tekstury.

## *Animacja czasu rzeczywistego i off-line*

---

Animacja komputerowa **czasu rzeczywistego**:

- ramki animacji generowane są w czasie rzeczywistym (*real time*), na bieżąco
- wymagana duża moc obliczeniowa dla zapewnienia minimalnej fps
- przykład: gry komputerowe

Animacja tworzona w trybie **off-line**:

- kolejne ramki zapisywane są np. do pliku
- mniejsze wymagania mocy obliczeniowej
- przykład: tworzenie filmów animowanych, *cutscenes* w grach 3D

## *Tradycyjne metody animacji*

---

„Analogowe” metody animacji:

filmy rysunkowe



filmy lalkowe



Tradycyjne metody animacji są bardzo czasochłonne i pracochłonne, wymagają wspólnej pracy grupy ludzi. Film zawierający 250 000 ramek – ok. 50 lat pracy jednej osoby.

## *Korzyści z metod komputerowych*

---

Zalety wykorzystania komputerów do tworzenia animacji:

- łatwiejsze rysowanie ramek za pomocą komputera
- przekształcenia obrazu (np. przesunięcia obiektów)
- opis przekształceń za pomocą skryptów
- automatyczne generowanie sekwencji ramek (np. interpolacja pomiędzy ramkami)
- efekty specjalne
- łatwa i bezpieczna archiwizacja

## *Rodzaje animacji komputerowej*

---

Pod względem założeń i celu:

- animacja **realistyczna**  
– odwzorowuje świat realny tak dokładnie jak to możliwe, uwzględnia prawa fizyki, itp. (np. gry komputerowe)
- animacja **stylizowana**  
– dozwolone są wszelkie odstępstwa od rzeczywistości i tworzenie własnych reguł, postacie mogą być przerysowane, itp. (np. filmy animowane)

## *Rodzaje animacji komputerowej*

---

Metody tworzenia animacji komputerowych:

- animacja poklatkowa – tworzenie każdej ramki animacji po kolei, najczęściej w postaci mapy bitowej
- zastosowanie ramek kluczowych – generowanie wybranych ramek, pozostałe są obliczane (interpolowane)
- skrypty – opisują zmianę właściwości obiektów (położenia, wyglądu), stosowane np. w grach komputerowych
- animacja interaktywna – obiekty sterowane przez użytkownika (np. gry komputerowe)

## *Komputerowa animacja poklatkowa*

---

Generowanie **animacji poklatkowej** za pomocą komputera odbywa się analogicznie jak w metodach tradycyjnych:

- każda ramka jest tworzona w sposób niezależny od innych ramek
- każda ramka zawiera pełny obraz
- metoda mało efektywna i czasochłonna
- optymalizacja: zapisywane są tylko te części ramki, które różnią się w porównaniu z poprzednią ramką
- przykład: gry komputerowe (interaktywne)

## *Ramki kluczowe*

---

Technika **ramek kluczowych** (*tweening*):

- **ramki kluczowe** (*key frames*) zawierają obrazy definiujące ruch obiektów, są tworzone przez grafika
- **ramki pośrednie** są interpolowane na podstawie ramek kluczowych przez komputer
- problem doboru ramek kluczowych, w zależności od dynamiki zmian obrazu
- stosowana najczęściej w animacjach *off-line*, np. w filmach animowanych komputerowo

## *Komputerowe tworzenie animacji*

---

Punktem wyjściowym do animacji jest obiekt statyczny (np. postać).

Definiuje się **zmienne animacji** (*avars*), kontrolujące zmiany położenia fragmentów obiektu (np. wybranych werteksów siatki).

Następnie generuje się klatki animacji wybraną metodą.

W przypadku animacji czasu rzeczywistego, generowane klatki są zapisywane do bufora sprzętowego, a następnie przenoszone na ekran.

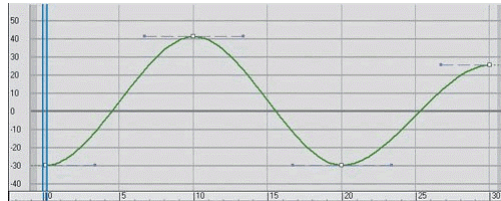
## Ścieżki i wykresy ruchu

---

Animacja przez przesuwanie obiektu według ustalonej **ścieżce ruchu** (*movement path*).

Wykres ruchu (*motion graph*) definiuje ruch obiektu w czasie animacji. Wykresy mogą definiować np.:

- położenie obiektu (oś X, Y, Z)
- prędkość ruchu
- obrót, współczynnik skali, itp.



## Metody kontroli ruchu

---

Bardziej zaawansowane techniki kontroli ruchu:

- **kinematyczna** – dokładne określanie ruchu obiektów w czasie
- **parametryczna** – wyliczanie pozycji obiektów na podstawie parametrów, np. przesunięcia
- **dynamiczna (fizyczna)** – wyliczanie trajektorii ruchu na podstawie praw fizyki
- **hybrydowa** – wykorzystanie kilku technik naraz



## *Metoda kinematyczna i fizyczna*

---

### **Metoda kinematyczna:**

- określamy ruch obiektów
- obiekty zachowują się zgodnie z naszym scenariuszem
- zastosowanie: np. filmy animowane

### **Metoda fizyczna:**

- określamy warunki początkowe
- obiekty zachowują się zgodnie z prawami fizyki
- zastosowanie: np. gry, symulacje zjawisk

## *Animacja proceduralna*

---

Animacja proceduralna (*procedural animation*) to metoda tworzenia animacji, w której poszczególne klatki animacji oblicza się przy użyciu procedur - algorytmów np. opartych na prawach fizyki.

Typowe zastosowania:

- modelowanie dynamiki ciał sztywnych,
- modelowanie systemów cząsteczek
- animacja postaci

Przykład – *Game of Life*.

## Systemy cząsteczkowe

---

System cząsteczkowe (*particle system*)

– stosowane są do animacji zjawisk takich jak ogień, mgła, fajerwerki, deszcz, itp. Jest to przykład animacji proceduralnej.

- Animacja polega na obliczeniu stanu (położenia, wyglądu) cząsteczek wysyłanych przez emiter.
- Obliczenia wykonywane są przez model proceduralny danego systemu.
- W obliczonych miejscach umieszczane są obiekty reprezentujące cząsteczki (najczęściej małe tekstury).

## Symulacja zjawisk fizycznych

---

Fizyczny model ruchu obiektu pod wpływem działających na niego sił:

- kierunek ruchu
- prędkość, przyspieszenie
- grawitacja
- tarcie
- sprężystość (zderzenia, odbicia)
- trwałe odkształcenia, uszkodzenia, itp.

## *Model fizyczny ruchu*

---

„Model fizyczny ruchu jest to matematyczna reprezentacja obiektu i jego zachowania, biorąca pod uwagę siły, energie i inne elementy fizyki newtonowskiej. Metoda ta umożliwia realistyczną symulację zachowania obiektów zarówno sztywnych, jak i sprężystych, zgodnie z prawami fizyki, bez podawania zbędnych szczegółów”.

Etapy:

- sformułowanie modelu fizycznego (równania)
- nadajemy warunki początkowe
- komputer oblicza ruch obiektów

Przykład: zachowanie się kul bilardowych

## *Model fizyczny - implementacja*

---

Model fizyczny (*physics engine*) - symuluje zachowanie się obiektów zgodnie z prawami fizyki, podczas tworzenia animacji komputerowej.

Rodzaje modeli fizycznych:

- **czasu rzeczywistego** (*real time*) - mniej realistyczne, stosowane np. w grach;
- **wysokiej precyzji** - wymagające dłuższych obliczeń, stosowane w filmach i w nauce.

Istnieją sprzętowe implementacje modelu fizycznego, np. PPU (*Physics Processing Unit*), luty 2006, firma Ageia.

## *Metoda dynamiki ciał sztywnych*

---

*Rigid body dynamics* - starsza metoda stosowana w komputerowych modelach fizycznych. Opisuje ruch ciał sztywnych pod wpływem sił zewnętrznych, siły grawitacji, z uwzględnieniem tarcia i odbić. Nie uwzględnia się odkształceń obiektu.

Ciało sztywne porusza się ruchem liniowym oraz obrotowym.

Model może być:

- nieograniczony (*unconstrained*)
- ograniczony (*constrained*)

## *Metoda dynamiki ciał plastycznych*

---

*Soft body dynamics* - metoda, która w porównaniu do metody ciał sztywnych uwzględnia również odkształcenia i uszkodzenia obiektów (zmiany rozkładu masy).

Metoda daje bardziej realistyczne efekty, jest jednak bardziej złożona obliczeniowo. Stosowana jest np. w nowszych grach.

## *Ograniczenia ruchu*

---

Zwykle nakładamy pewne ograniczenia na ruch obiektów:

- proste ograniczenia – np. obiekt nie może przeniknąć przez ścianę
- złożone ograniczenia – np. kości postaci muszą poruszać się w określony sposób względem siebie

Ograniczenia można uwzględnić stosując metodę odwrotną: szukanie siły, która spowoduje ruch obiektu zgodnie z założonymi warunkami.

## *Zderzenia (kolizje)*

---

Modelowanie zderzeń obiektów

- problem statyczny – **wykrycie** zderzenia
- problem dynamiczny – **reakcja** obiektów na zderzenie:
  - uwzględnienie kierunku i prędkości ruchu
  - uwzględnienie sprężystości
  - uwzględnienie tarcia
  - obliczenie nowego kierunku i prędkości ruchu obiektów po zderzeniu (metoda fizyczna albo „metoda sprężyny” umieszczanej między obiektami)

## *Animacja behawioralna*

---

Zachowanie się obiektów „nieożywionych” może być dość dokładnie opisane prawami fizyki.

Nie można w ten sam sposób modelować zachowania się ludzi i zwierząt – dochodzi tu czynnik indywidualny (zachowanie instynktowne oraz świadoma reakcja).

**Animacja behawioralna** (*behavioral animation*) bierze pod uwagę indywidualne zachowanie się istot żywych podczas ruchu.

## *Animacja behawioralna*

---

Animacja behawioralna musi brać pod uwagę:

- prawa fizyki
- zjawiska stochastyczne (czynnik losowy)
- model „charakteru” obiektu
- interakcje z innymi „żywymi obiektami”

Przy tworzeniu animacji behawioralnych stosuje się m.in. algorytmy sztucznej inteligencji, np. oparte na zbiorze reguł.

Aby animacja była realistyczna, nie wystarczy sama technika, animowana postać musi grać tak jak prawdziwy aktor!

## *Animacja postaci*

---

Problemy animacji postaci:

- odtworzenie wyglądu postaci
- realistyczny ruch postaci (ruchy nóg)
- gestykulacja, „mowa ciała”
- animacja twarzy
  - symulacja mowy (układ ust)
  - mimika twarzy (odczucia postaci)
- ruchy poszczególnych części ciała są zależne od siebie
- indywidualizacja – różne postacie poruszają się w różny sposób

## *Animacja szkieletowa*

---

Animacja szkieletowa jest metodą tworzenia animacji ludzi oraz zwierząt kręgowych.

Obiekt składa się z dwóch części:

- skóra (*skin*) - powierzchnia określająca wygląd obiektu;
- **szkielet** (*skeleton*) składa się z układu kości (*bones*), połączonych w strukturę hierarchiczną; służy do określenia ruchu obiektu.

Metoda daje dość realistyczną animację, problemy powstają np. przy próbie realistycznego oddania ruchów mięśni.

## Łączenie hierarchiczne

---

Łączenie hierarchiczne używane jest w animacji postaci do powiązania ze sobą poszczególnych segmentów postaci lub kości szkieletu.

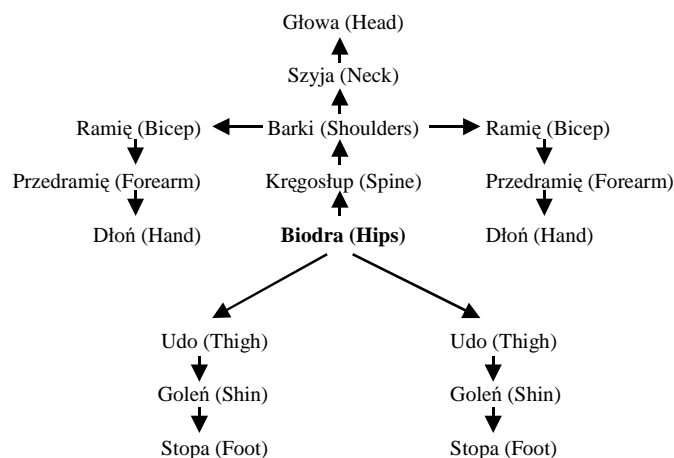
Hierarchia pozwala określić zależności pomiędzy „rodzicem” a „potomkiem”.

- **animowanie sekwencyjne** (*forward kinematics*)
  - poruszając obiektem rodzicem porusza się również jego obiektami potomnymi;
- **odwrotna kinematyka** (*inverse kinematics*)
  - przemieszczające się obiekty potomne powodują ruch obiektów będących ich rodzicami.

## Łączenie hierarchiczne

---

Uproszczona hierarchia obiektów ludzkiego ciała





## *Łączenie hierarchiczne*

---

Ograniczenia ruchu – np. stawy ograniczające zakres ruchu łączonych przez nie kości.

Można stosować obie hierarchie równocześnie.  
Przykładowo:

- sekwencyjna – tułów, barki, ramiona, ręce
- odwrotna - nogi (stopy, golenie i uda).

Czasami wybór metody zależy od typu ruchu:

- postać gestykuje rękoma – sekwencyjna
- postać chwyta i podnosi przedmiot  
- odwrotna

## *Animacja z użyciem systemu kości*

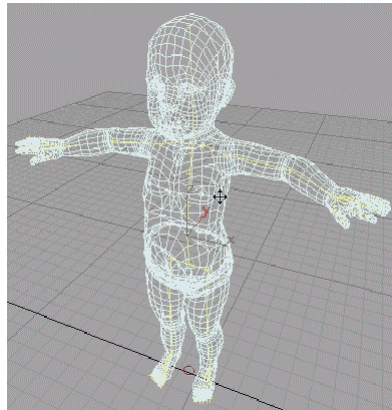
---

- Postać jest reprezentowana za pomocą ciągłej siatki złożonej z wielokątów.
- System kości tworzy szkielet, który pełni funkcję pomocniczą i nie jest renderowany.
- Szkielet musi zostać dokładnie dopasowany do siatki modelującej postać.
- Przy budowie szkieletu można posługiwać się połączeniami hierarchicznymi.
- Ruch postaci symulowany jest przez odkształcanie siatki pod wpływem ruchu kości szkieletu.

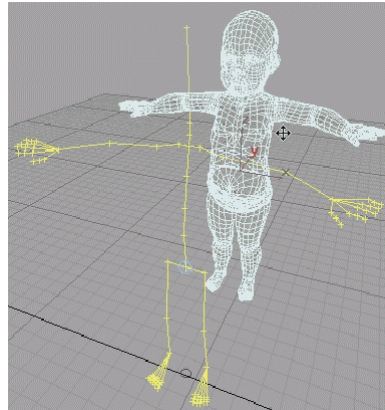
## Animacja z użyciem systemu kości

---

Siatka i system kości  
nałożone na siebie



Siatka i system kości  
pokazane osobno

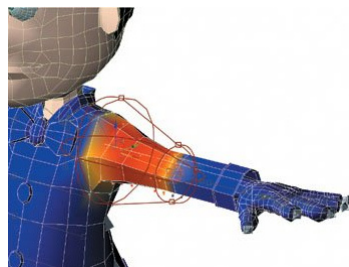


## Animacja z użyciem systemu kości

---

Powiązanie szkieletu z siatką:

- bezpośrednio przypisanie: do każdego wierzchołka siatki przypisana jest określona kość lub grupa kości, metoda mało dokładna
- metoda obwiedni (*envelopes*): do wierzchołka siatki przypisywanych jest wiele kości szkieletu (lub odwrotnie), z różnymi wagami – definiują wagność połączenia



## *Animacja metodą morph target*

---

### *Morph target lub per-vertex animation*

Metoda animacji alternatywna do szkieletowej, stosowana również jako jej uzupełnienie (np. do animacji twarzy).

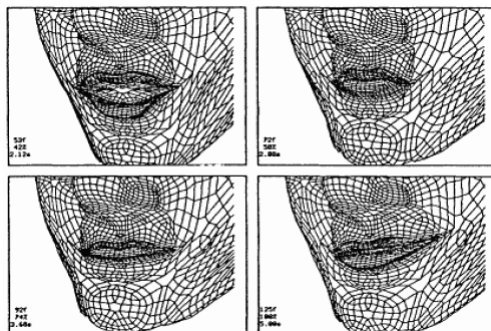
- Definiuje się początkową i końcową pozycję werteksów siatki wielokątowej.
- Obliczane są stany pośrednie pozycji werteksów.

Metoda znacznie bardziej złożona obliczeniowo od szkieletowej, ale daje większą kontrolę nad uzyskanym efektem animacji.

## *Animacja twarzy*

---

Twarz postaci reprezentowana jest za pomocą siatki wielokątów. Animacja twarzy – zmiana położenia wybranych wierzchołków siatki.



## *Animacja twarzy*

---

FACS (*Facial Action Coding System*)

- opracowany w 1976 r. system klasyfikujący 46 podstawowych „wyrazów twarzy”.

Poszczególne ruchy twarzy mogą zostać zaimplementowane jako procedury modyfikujące siatkę wielokątową. Procedury te mogą być zaimplementowane sprzętowo.

Problem animacji twarzy jest bardzo istotny, ponieważ zwykle realizm animacji postaci oceniany jest na podstawie sposobu animacji twarzy tej postaci.

## *Motion capture*

---

Technika *motion capture* polega na rejestrowaniu ruchów za pomocą sensorów umieszczonych na ciele aktora. Ich ruch rejestruje specjalna kamera.

Zarejestrowane przez kamerę ruchy znaczników są przenoszone do komputera. W komputerze powstaje szkielet (model ruchu), który można wykorzystać do animacji postaci wirtualnej.

Metoda ta jest powszechnie stosowana w reklamie, filmach animowanych, wideoklipach i najnowszych grach komputerowych.

## *Animacja ragdoll*

---

*Ragdoll animation* („animacja szmacianej kukły”)

- metoda stosowana do uzyskania realistycznego ruchu bezwładnej postaci.

Stosowana zwykle w grach komputerowych do animacji „zabitych wrogów” oraz np. postaci spadającej ze schodów.

Stosowana jest animacja szkieletowa, poszczególne elementy szkieletu są traktowane jak ciała sztywne.

Jest to dość prosta metoda, współczesne gry stosują bardziej zaawansowane algorytmy.

## *Animacje interaktywne*

---

Interaktywne animacje stosowane są gł. w grach komputerowych. Główna cecha: nie możemy z góry przewidzieć zawartości ramki animacji.

Obiekty animacji interaktywnej:

- główna postać (interaktywna) – zachowanie zależne od sterowana przez użytkownika i interakcji z innymi obiektami
- postaci sterowane przez komputer (NPC – *non-playable characters*) i „stworzenia” – zachowanie opisane przez skrypty i modele
- obiekty statyczne i tło 2D – interakcje z postaciami

## *Sterowanie zachowaniem się postaci*

---

Zachowanie się postaci sterowanych przez program komputerowy – problem istotny przede wszystkim w grach komputerowych:

- opis zachowania się postaci za pomocą skryptów – zachowanie postaci jest zbyt przewidywalne i powtarzalne
- element losowości – wprowadza element nieprzewidywalności
- sztuczna inteligencja – nadaje postaciom charakter, np. reakcja postaci na sytuację (ucieczka, ukrycie się, zastawianie pułapki, itp.)

## *Animacja kamer i oświetlenia*

---

Dodatkowe zwiększenie efektu wizualnego animacji komputerowej można uzyskać poprzez animację kamery i źródła światła.

Animacja kamery – zmiana położenia punktu obserwacji. Kamera może przemieszczać się po różnym torze, z różną prędkością, obracając się, zmieniając powiększenie i ostrość.

Źródło światła może zmieniać swoje położenie, barwę światła, poziom jasności, rozwartość stożka światła, itp.

## *Oprogramowanie do tworzenia animacji*

---

Najczęściej stosowane oprogramowanie do modelowania obiektów i tworzenia animacji 3D na komputerach PC:

- *3D Studio Max*
- *Softimage*
- *Maya*
- *LightWave 3D*
- *Blender* (darmowy)

W rozwiązaniach profesjonalnych często stosuje się dedykowane stacje graficzne.

## *Tworzenie filmu animowanego*

---

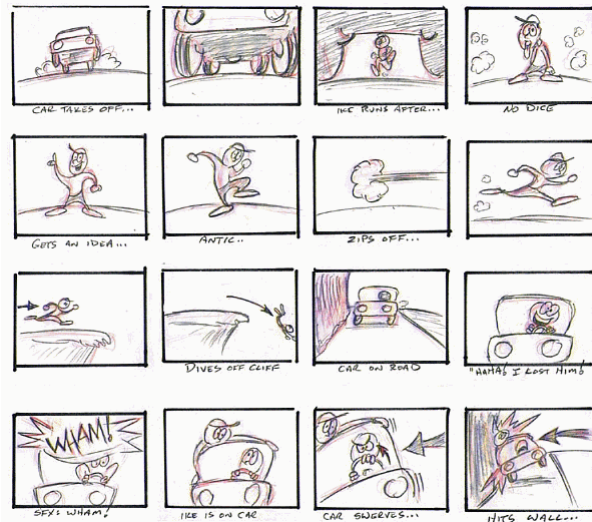
Wstępny etap tworzenia filmu:

- powstaje scenorys (*storyboard*)
  - *story artist* rozrysowuje sceny na papierze
- szkice papierowe postaci i obiektów (makiety)
  - później są wykorzystywane do tworzenia modeli w komputerze
- modele trójwymiarowe – „rzeźby” z gliny, polimerów (*sculpey*) – następnie przenoszone do oprogramowania 3D

Etapy wstępne zwykle wykonują plastycy (dział grafiki koncepcyjnej), bez stosowania komputerów.

## Storyboard - przykład

---



## Tworzenie filmu animowanego

---

Dyrektor artystyczny (*art director*) kieruje pracami grafików.

*Character designers* projektują postacie na papierze lub modelują rzeźby.

*Character modelers* tworzą w komputerze modele 3D postaci, *set/prop modelers* tworzą modele scenerii i rekwizytów.

Modele komputerowe są zwykle demonstrowane w postaci „obrotowej” (*turn-table test*).



## *Graficy techniczni*

---

TD – *Technical director* – grafik techniczny

- *character TD* – animacja postaci, rigowanie (*rigging*) – połączenie szkieletu z siatką
- *lighting TD* – oświetlanie sceny, rendering
- *shader TD* – określanie wyglądu modeli, przygotowanie do teksturowania, tworzenie shaderów (zmiany wyglądu obiektów)
- *effects TD* – tworzenie efektów (np. deszcz, płynąca woda)

Graficy techniczni pracują zwykle już z użyciem komputerów.

## *Tworzenie filmu animowanego*

---

Inni współtwórcy filmu:

- *Set decorator* – tworzy dekoracje (obiekty tła)
- *Texture painter* – maluje tekstury dla obiektów
- *Compositor* – rozmieszcza postacie, dekoracje i inne obiekty na scenie – definiuje *layout*

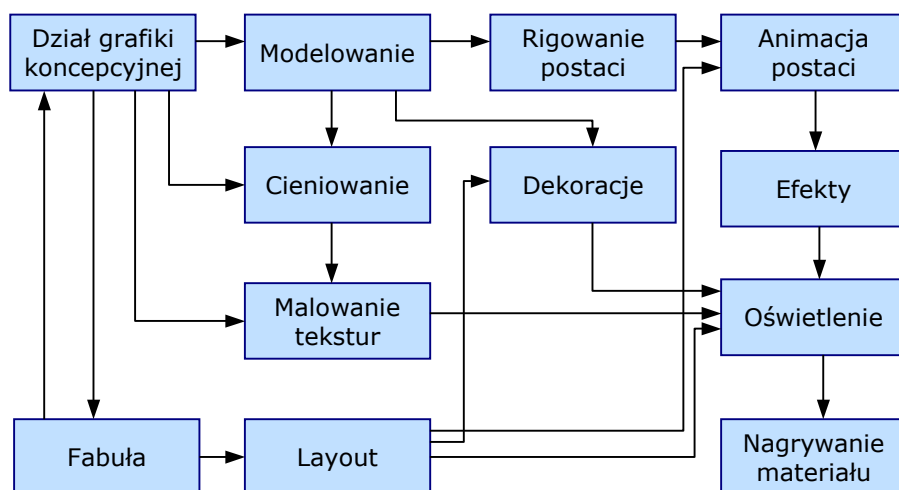
## Animatik

---

Animatik (*animatic* lub *story reel*)  
jest to demonstracyjna wersja animacji  
wykonana w sposób uproszczony (*preview*).  
Często powstaje kilka wersji animatiku.  
Po akceptacji animatiku, stopniowo przeobraża  
się on w pełny film.

## Tworzenie filmu animowanego

---



wg. Jeremy Birn: Cyfrowe oświetlenie i rendering, Helion 2007