# Projektowanie środowiska wirtualnego

Laboratorium 3 – 8
## Dynamiczne deformacje (żelek)

*Cel projektu:*

Symulacja ruchu sprężystego układu 64 mas (*punktów kontrolnych*) połączonego (sprężyście) ze sztywną ramą, którą steruje użytkownik. Ruch *punktów kontrolnych* jest ograniczony prostopadłościanem. Ruch *ramki sterującej* nie jest ograniczony. Położenie mas definiuje deformacje przestrzeni 3D widoczne na cieniowanym krzywoliniowym sześcianie (*kostce Beziera*) oraz na dowolnym wpisanym w niego obiekcie 3D.

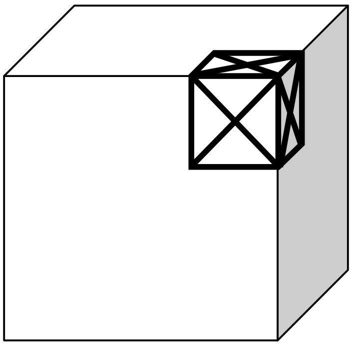
*Wykonanie:*

**Krok 1 (3 pkt) Interfejs użytkownika**

1. Wyświetlanie na życzenie
   - *punktów kontrolnych* (mas i połączeń między nimi – przynajmniej krótszych sprężyn)
   - *ramki sterującej* i połączeń z *kostką Beziera*
   - prostopadłościanu ograniczającego (tylko szkielet, ewentualnie cieniowanie tylnych ścian lub dodanie przezroczystości)
   - cieniowanej *kostki Beziera* (krzywoliniowego sześcianu)
   - cieniowanej, zdeformowanej bryły
2. Interakcja ze sceną
   - możliwe jest przesuwanie, obracanie i skalowanie całej sceny
   - można przesuwać i obracać ramkę sterującą
   - strukturę układu (*kostkę Beziera*) można zaburzyć przykładając początkowe (losowe) prędkości do mas składowych (lub ewentualnie wychylając masy z ich początkowych położeń)
3. Możliwość zmiany:
   - masy *punktów kontrolnych* 64$m$
   - współczynnika sprężystości $c_1$ połączeń między masami
   - wartości tłumienia $k$ (lepkości ośrodka, w którym zanurzony jest układ)
   - współczynnika sprężystości $c_2$ pomiędzy *kostką Beziera* a *ramką sterującą*
   - początkowego zaburzenia, określającego maksymalną wartość losowanych prędkości lub odchyleń

**Krok 2 (4 pkt) Symulacja ruchu**

Model jest rozszerzeniem modelu opisanego w Laboratorium 1/2. *Kostka Beziera* jest wyznaczona przez 64 punkty $\mathbf{P}^{ijk=0..3}$, każdy o masie $m \in [0.01, 100]$, ustawione w tablicy 4x4x4. Sąsiednie punkty połączone są ze sobą za pomocą sprężyn o współczynniku sprężystości $c_1$ jak na rys. 1.



Rys. 1. Połączenie sąsiednich punktów

Siła *f* **wzdłuż** każdej ze sprężyn jest opisana równaniem

$$-k\dot{l} - c_1 l = f$$

gdzie sprężystość sprężyny $c_1 \in [0.01, 100]$, tarcie lepkie $k \in [0, 100]$, a $l = |\mathbf{P}_1 - \mathbf{P}_2| - l_0$ ($\mathbf{P}_1$ i $\mathbf{P}_2$ to wybrane punkty połączone sprężynami, a $l_0$ – długość spoczynkowa sprężyny, czyli odległość między $\mathbf{P}_1$ i $\mathbf{P}_2$ w położeniu równowagi).
<u>Zadanie</u>: Dla $t < 0$ punkty są w stanie równowagi $\mathbf{P}^{ijk=0..3} = a\cdot(i/3, j/3, k/3)$, gdzie $a$ to długość boku sześcianu. W chwili $t = 0$ zaburz strukturę układu przykładając początkowe (losowe) prędkości do mas składowych lub wychylając losowo masy z początkowego położenia i przeprowadź symulację dalszego ruchu układu.

**Krok 3 (2 pkt) Sterowanie**

Połącz 8 narożnych *punktów kontrolnych* $\mathbf{P}^{ijk=0,3}$ ze sztywną *ramką* w kształcie sześcianu o długości boku *a* za pomocą sprężyn o długości spoczynkowej 0 i współczynniku sprężystości $c_2$. Użytkownik może przesuwać i obracać *ramkę*. Przeprowadź symulację ruchu układu.

**Krok 4 (3 pkt) Kolizje**

Zdefiniuj na scenie prostopadłościan, który ograniczy ruch *kostki Beziera*. Ruch *ramki sterującej* jest nieograniczony. Odbicia *punktów* $\mathbf{P}^{ijk=0,3}$ od ścian prostopadłościanu mogą być idealnie sprężyste (**1 pkt**) lub niesprężyste (**2 pkt**). Należy zdefiniować współczynnik sprężystości odbicia $\mu$, określający ile razy prędkość po odbiciu jest mniejsza od tej przed zetknięciem się ze ścianą ($\mu = 0$ powoduje przyklejenie się do ściany). Rozważ (i wybierz) model zderzenia:

- prędkość przed kolizją z płaszczyzną $x = 0$ wynosi $(v_x, v_y, v_z,)$, a po $\mu\cdot(-v_x, v_y, v_z)$
- prędkość przed kolizją z płaszczyzną $x = 0$ wynosi $(v_x, v_y, v_z,)$, a po $(-\mu\cdot v_x, v_y, v_z)$

Pamiętaj o iteracyjnych (rekurencyjnych) odbiciach.

**Krok 5 (3 pkt) Deformacja przestrzeni**

Odwzorowanie $R^3 \supset [0,1]^3 \ni \mathbf{Q} \to \mathbf{F}(\mathbf{Q}) = \mathbf{P} \in \mathbf{R}^3$, gdzie

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} := \mathbf{F}(\mathbf{Q}) = \mathbf{F}(u,v,w) = \sum_{ijk=0..3} \mathbf{P}^{ijk} B_i^3(u) B_j^3(v) B_k^3(w)$$

zdefiniowane za pomocą $4\cdot4\cdot4 = 64$ punktów kontrolnych $\mathbf{P}^{ijk}$, przekształca jednostkową kostkę $C = [0, 1]^3$ w krzywoliniową kostkę $E = \mathbf{F}(C)$ (*kostkę Beziera*). Może być również używane do deformacji przestrzeni – dowolny obiekt geometryczny (prosta, powierzchnia, bryła) zawarty (lub nie) w *C* zostanie ciągle zdeformowany w kształt zawarty (lub nie) w *E*.

Zadania:

1. Cieniowanie *żelka* (**1 pkt**): Przyjmij punkty $\mathbf{P}^{ijk}$ jako punkty kontrolne trójwymiarowego wielomianu Bernsteina w bazie tensorowej i wyświetl jego brzeg (wyświetl sześć płatków kwadratowych odpowiadających kolejnym ścianom kostki).

2. Deformacja obiektu (**2 pkt**): Wpisz w *C* złożony obiekt (siatkę trójkątów) i wykorzystaj punkty *siatki Bernsteina* do deformacji.

Rozważ (i wybierz) obliczanie wektorów normalnych do powierzchni wyświetlanych obiektów w wierzchołkach siatki trójkątów:

- z definicji wielomianu Bernsteina
- jako średniej (być może ważonej z wagami proporcjonalnymi do pól trójkątów) z wektorów normalnych do trójkątów spotykających się w danym wierzchołku
- jako różnicy pomiędzy odpowiadającymi sobie wierzchołkami zdeformowanych siatek – wejściowej i jej przeskalowanej (zmniejszonej) kopii