



# 1/2. Előadás — Bevezetés 2.

Generatív AI és Inverz Módszerek a Képszintézisben  
*BME-VIK IIT, 2026*



Dr. Vaitkus Márton



# Digitális Tartalomelőállítás

Hogy lesz ötletből kép?



# Digitális Tartalomelőállítás

Hogy lesz ötletből kép?



# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A jelenlegi folyamat



Ötletek, Vázlatok



Képek

# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A jelenlegi folyamat



Ötletek, Vázlatok



Képek

# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A jelenlegi folyamat



Ötletek, Vázlatok



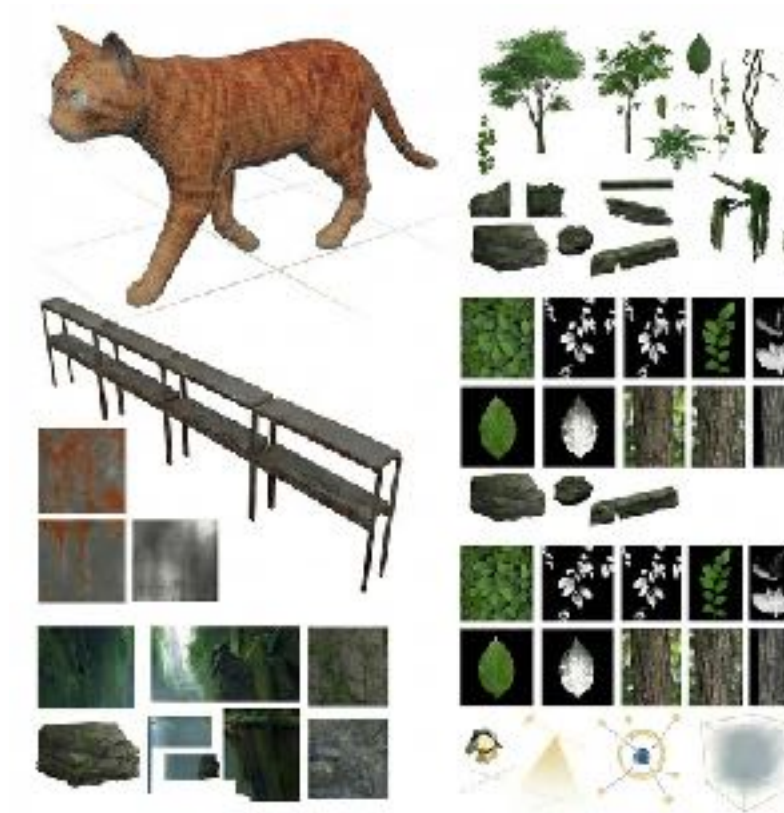
Képek

# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A jelenlegi folyamat



Ötletek, Vázlatok



3D Modellek



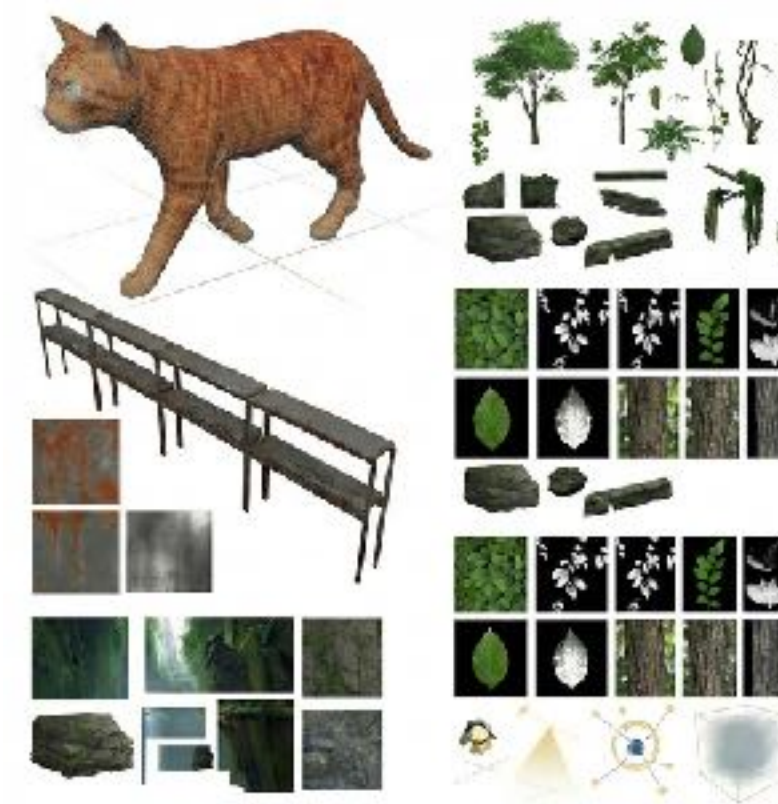
Képek

# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A jelenlegi folyamat



Ötletek, Vázlatok



3D Modellek

Grafika / Rendering



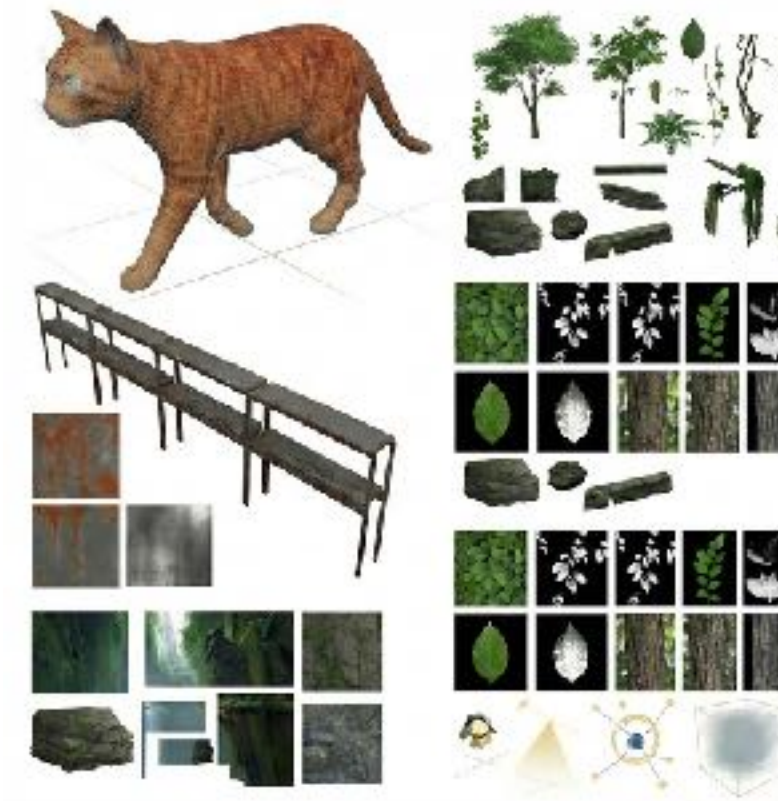
Képek

# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A jelenlegi folyamat



Modellezés



3D Modellek

Grafika / Rendering



Képek



Ötletek, Vázlatok

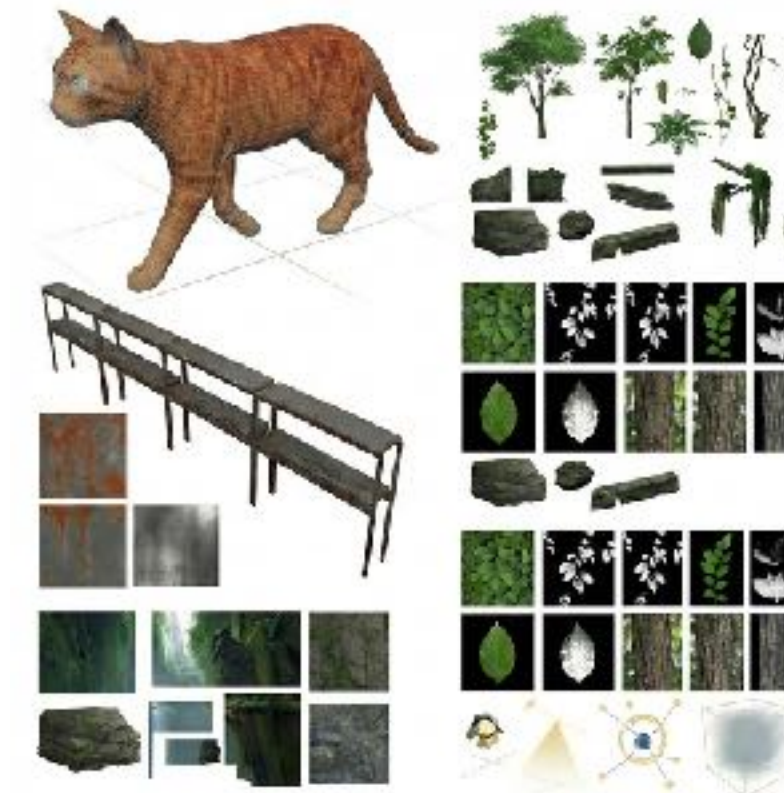


# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A Jövő: Generatív AI?



Modellezés



3D Modellek

Grafika / Rendering



Képek



Ötletek, Vázlatok

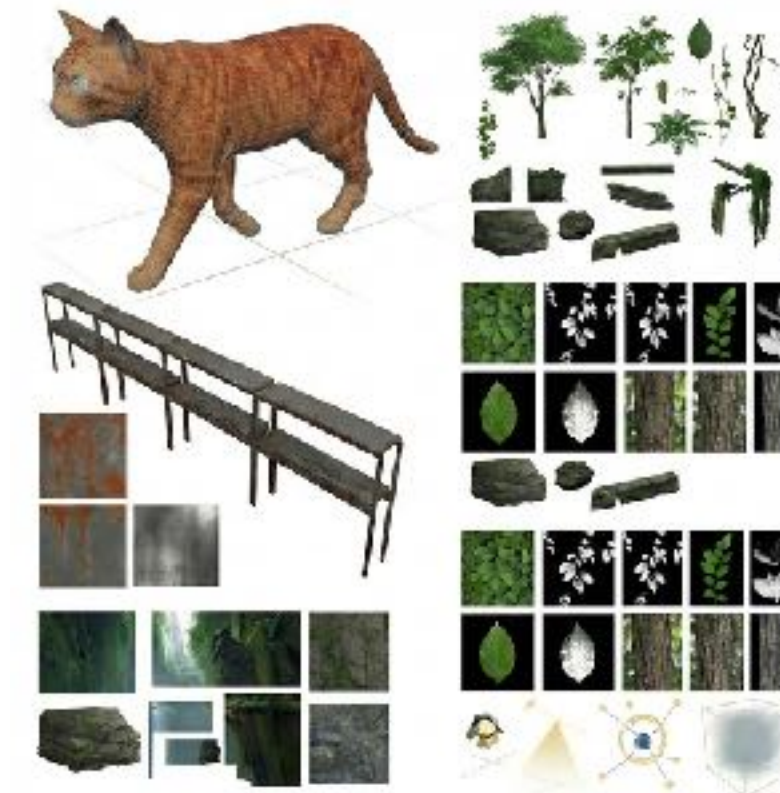


# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A Jövő: Generatív AI?



Modellezés



3D Modellek

Grafika / Rendering



Képek



Ötletek, Vázlatok

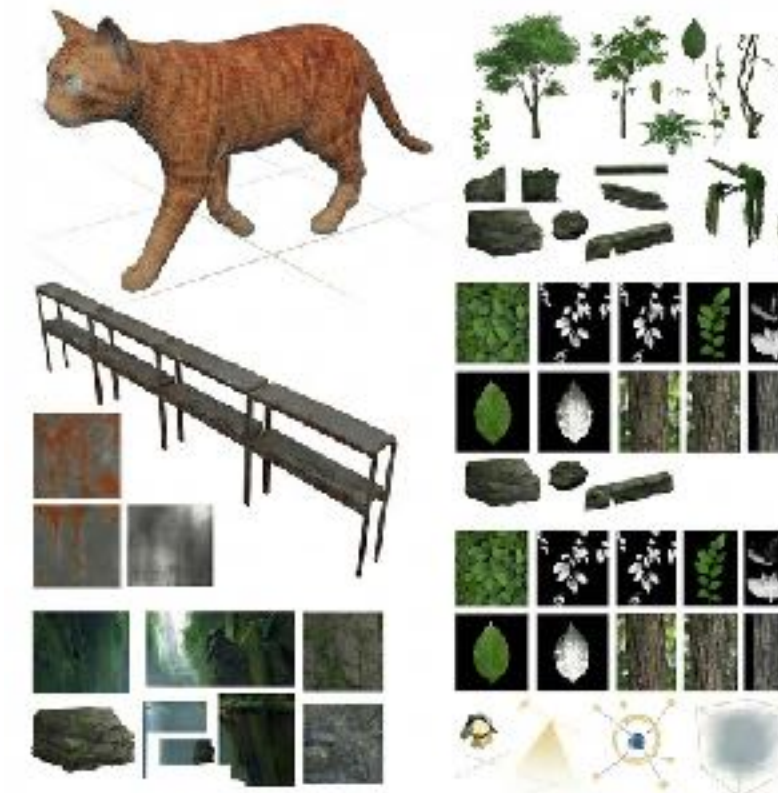


# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A Jövő: Generatív AI?



Modellezés



3D Modellek

Grafika / Rendering



Képek



Ötletek, Vázlatok



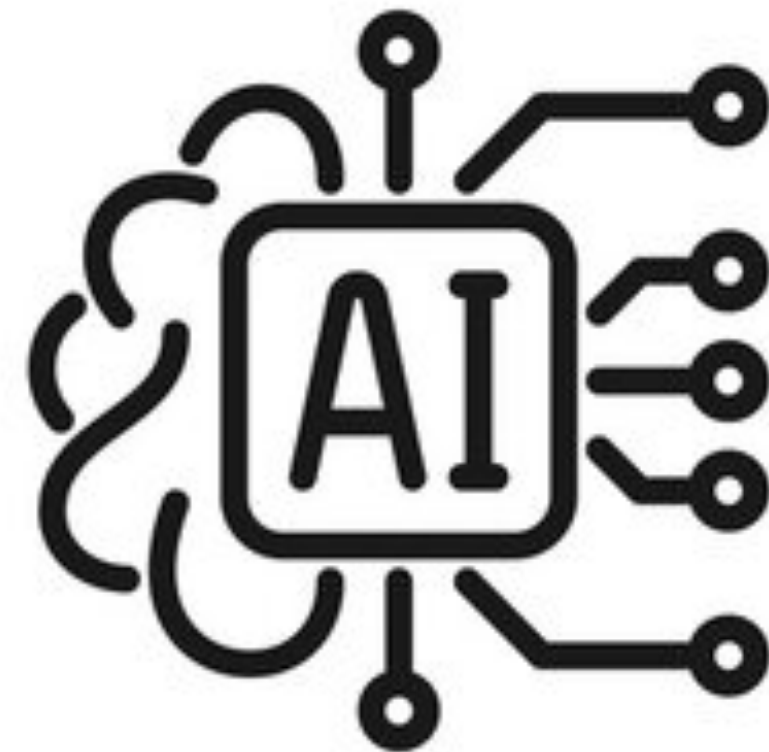
Generáljunk közvetlenül képet/videót?

# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A Jövő: Generatív AI?



Generatív AI modell



Ötletek, Vázlatok



Képek

Generáljunk közvetlenül képet/videót?

# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A Jövő: Generatív AI?

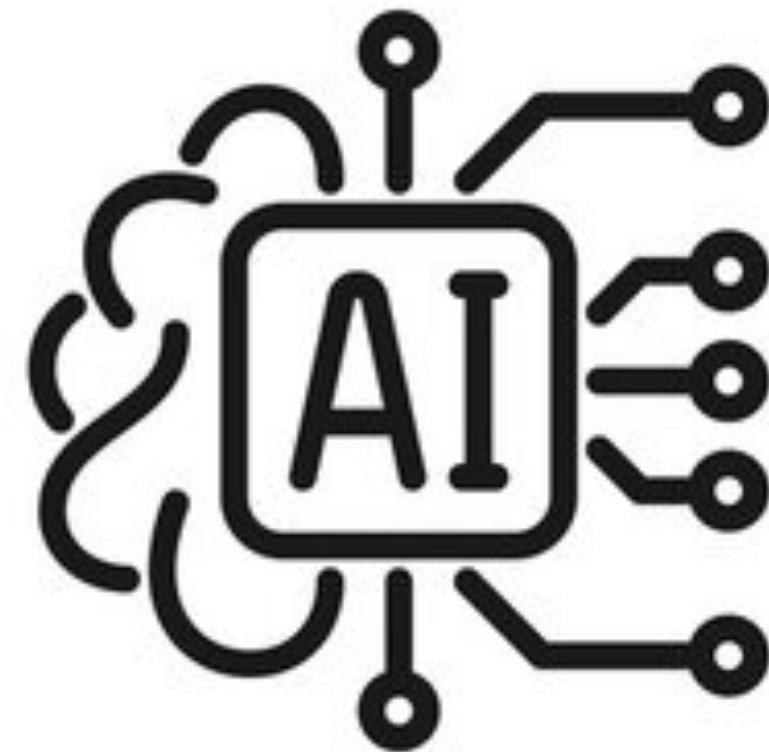
*“Every single pixel will be generated soon. Not rendered: generated.”*



Jensen Huang  
NVIDIA CEO



Generatív AI modell



Ötletek, Vázlatok



Képek

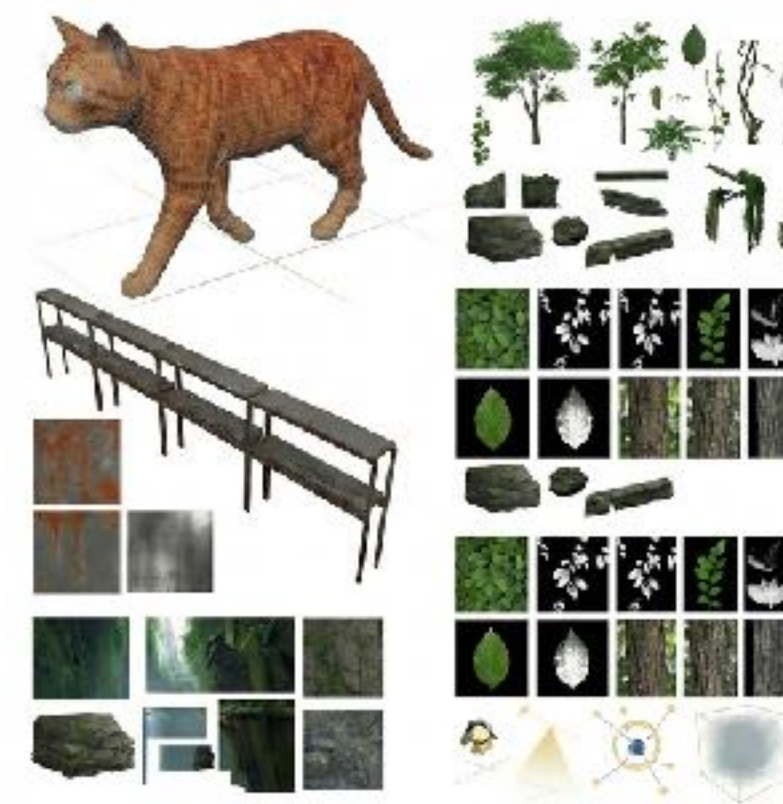
Generáljunk közvetlenül képet/videót?

# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A Jövő: 3D Generálás?



Ötletek, Vázlatok



3D Modellek

Grafika / Rendering



Képek

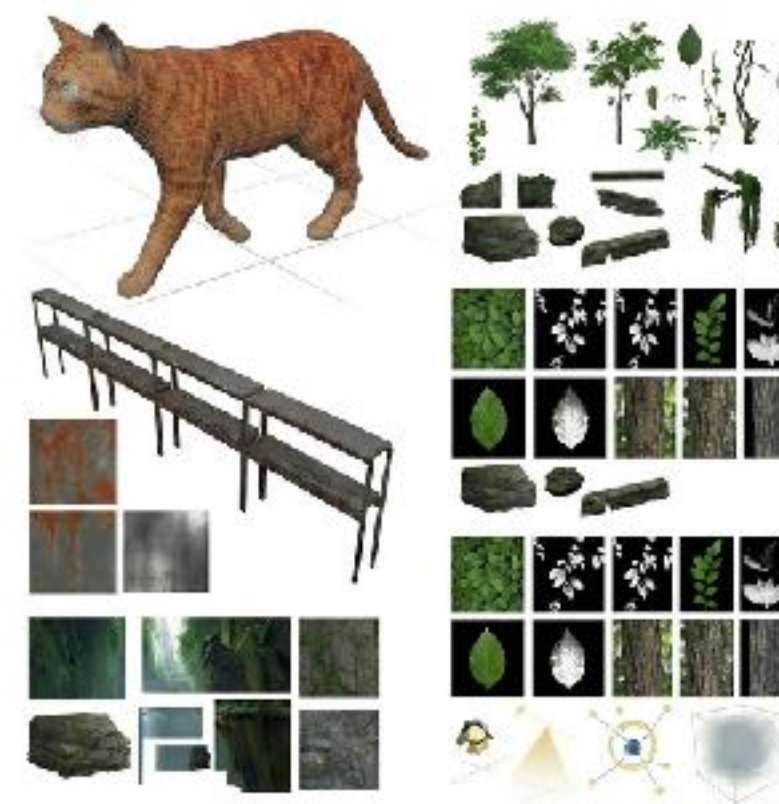
Generáljunk 3D modelleket?

# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A Jövő: 3D Generálás?



Ötletek, Vázlatok



3D Modellek

Grafika / Rendering

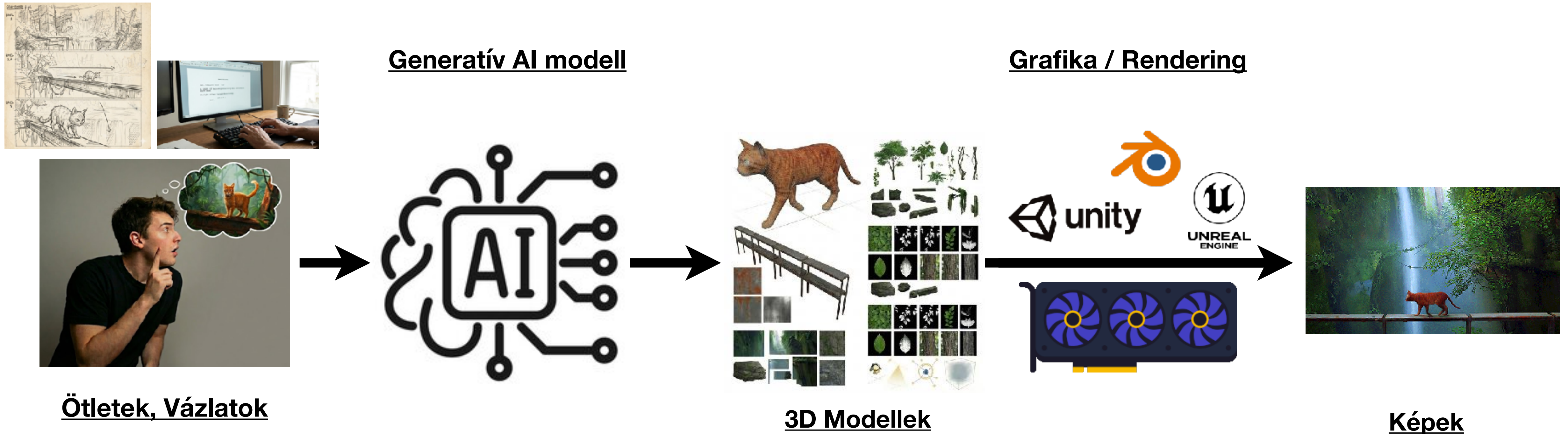


Képek

Generáljunk 3D modelleket?

# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A Jövő: 3D Generálás?



Generáljunk 3D modelleket?

# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A Jövő: Inverz Grafika?

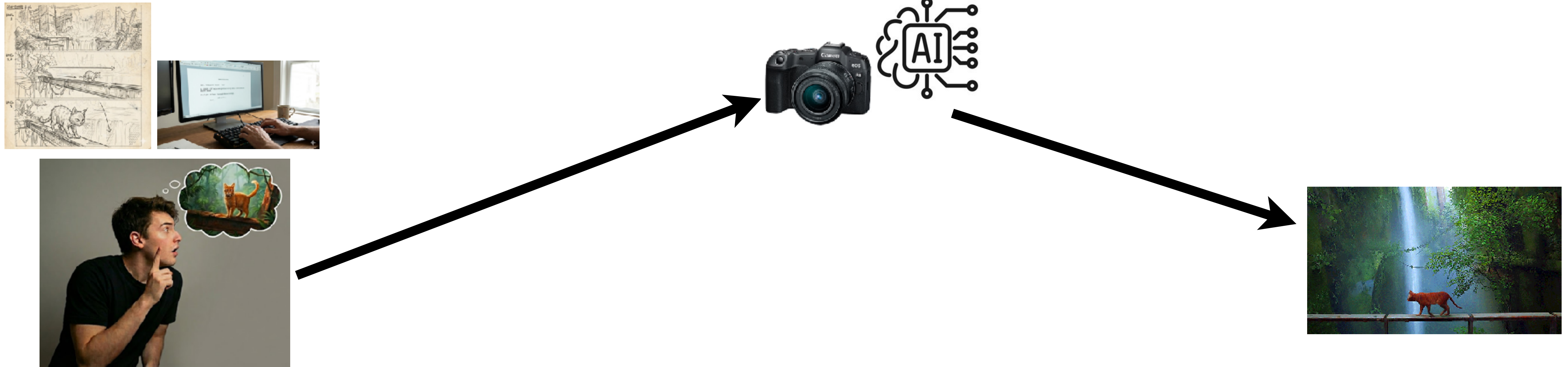


Ötletek, Vázlatok

Képekből 3D modellek?

# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A Jövő: Inverz Grafika?



Ötletek, Vázlatok

Képek

Képekből 3D modellek?

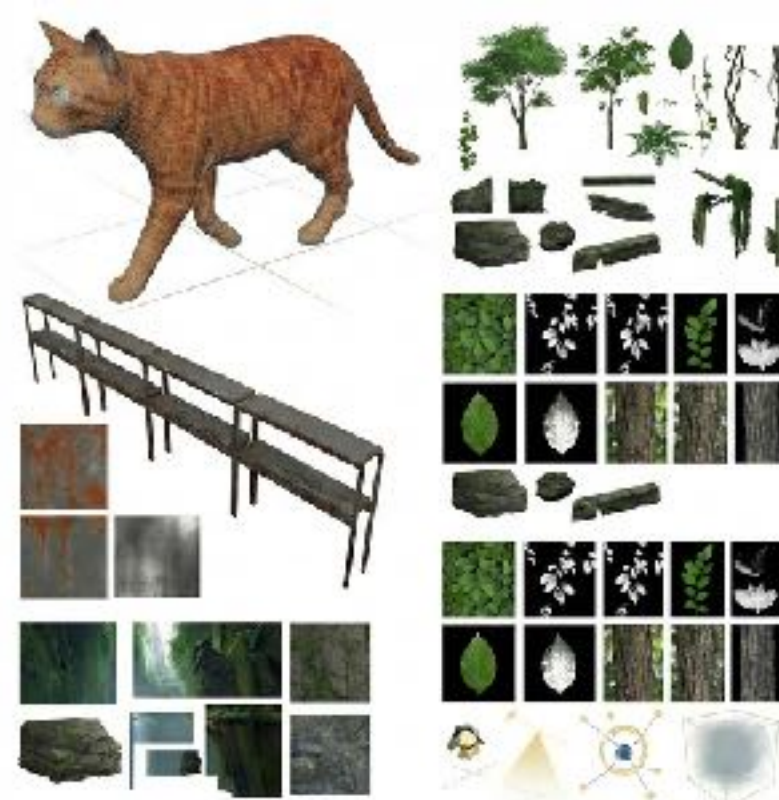
# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A Jövő: Inverz Grafika?



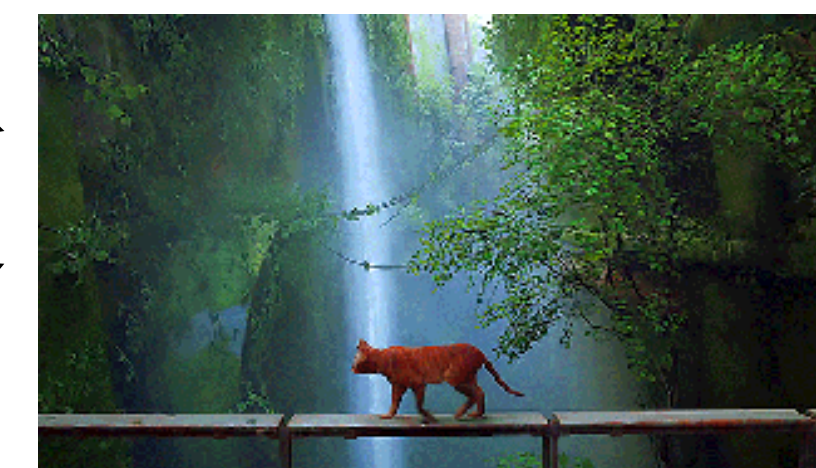
Ötletek, Vázlatok

Képekből 3D modellek?



3D Modellek

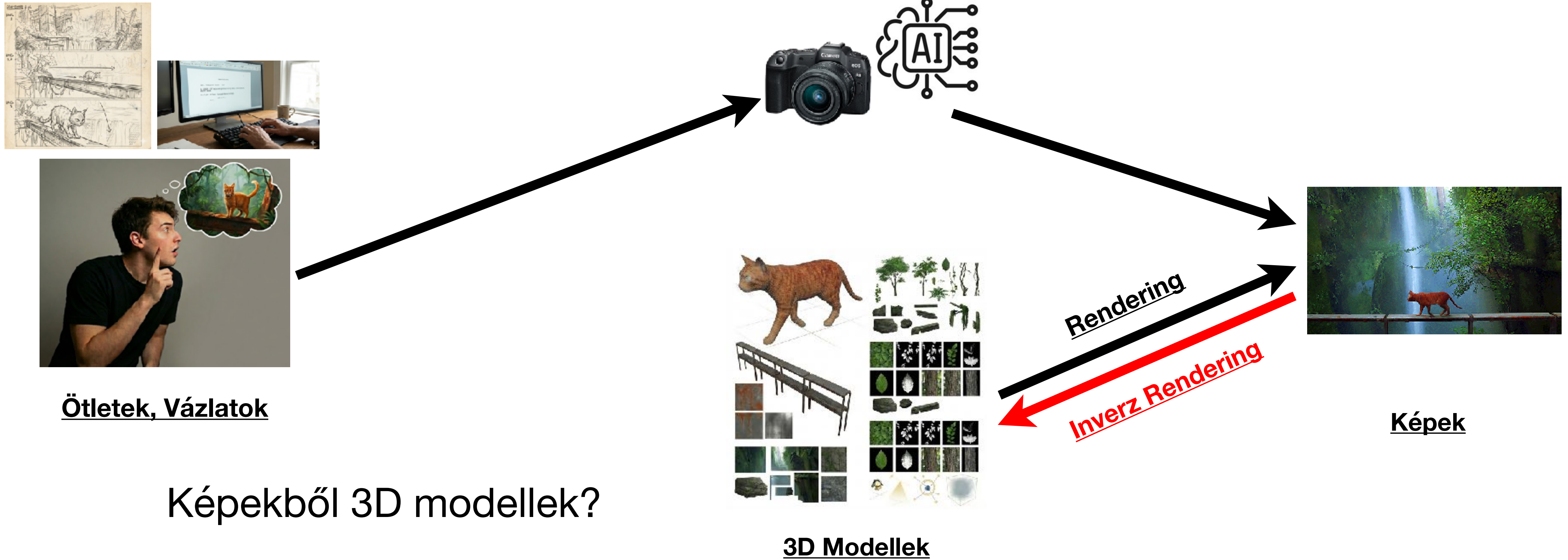
Rendering



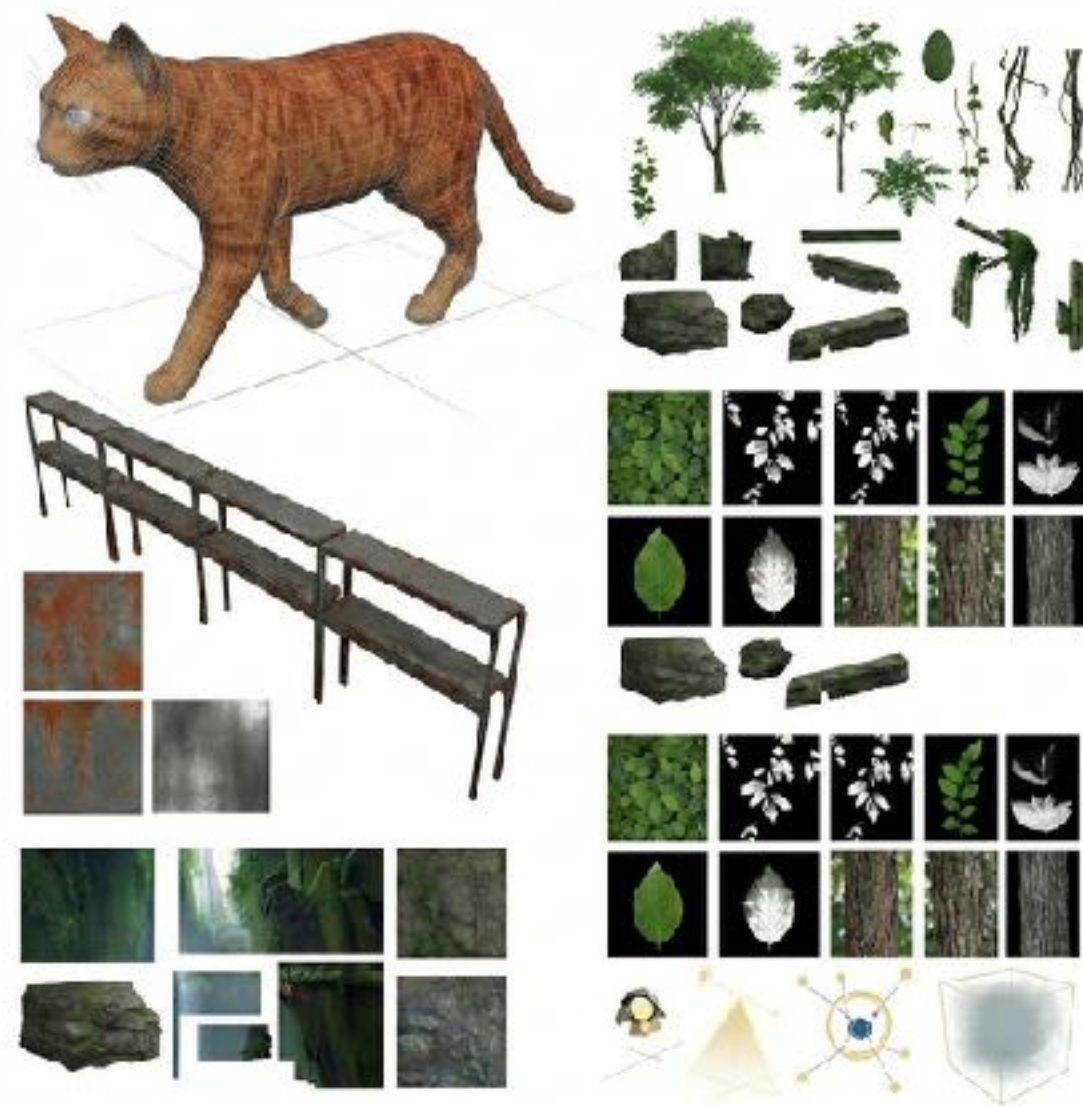
Képek

# Digitális Tartalomelőállítás

## Képszintézis – A Jövő: Inverz Grafika?



# Inverz Grafika

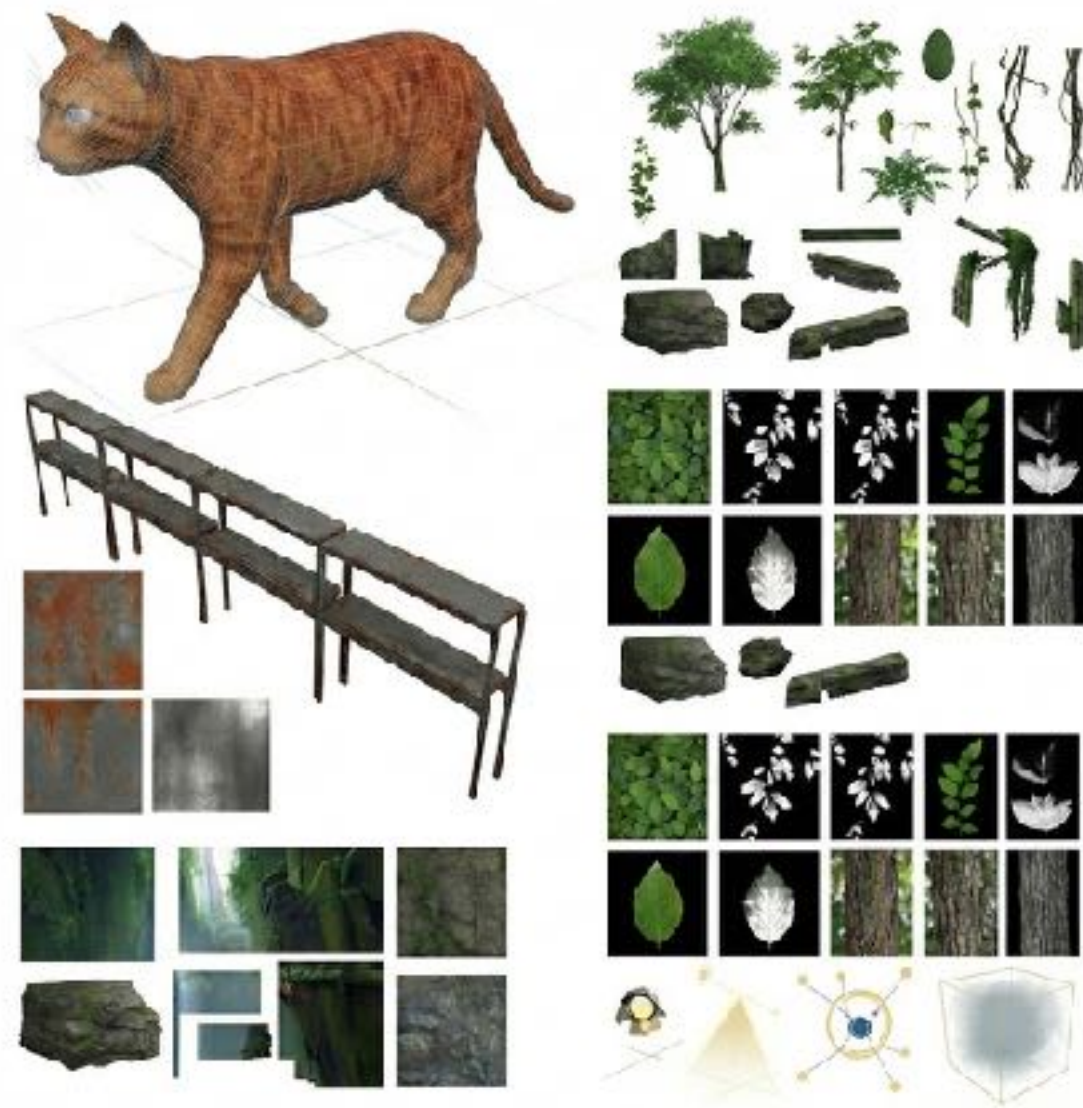


3D Modellek

Képek

# Inverz Grafika

Grafika / Rendering

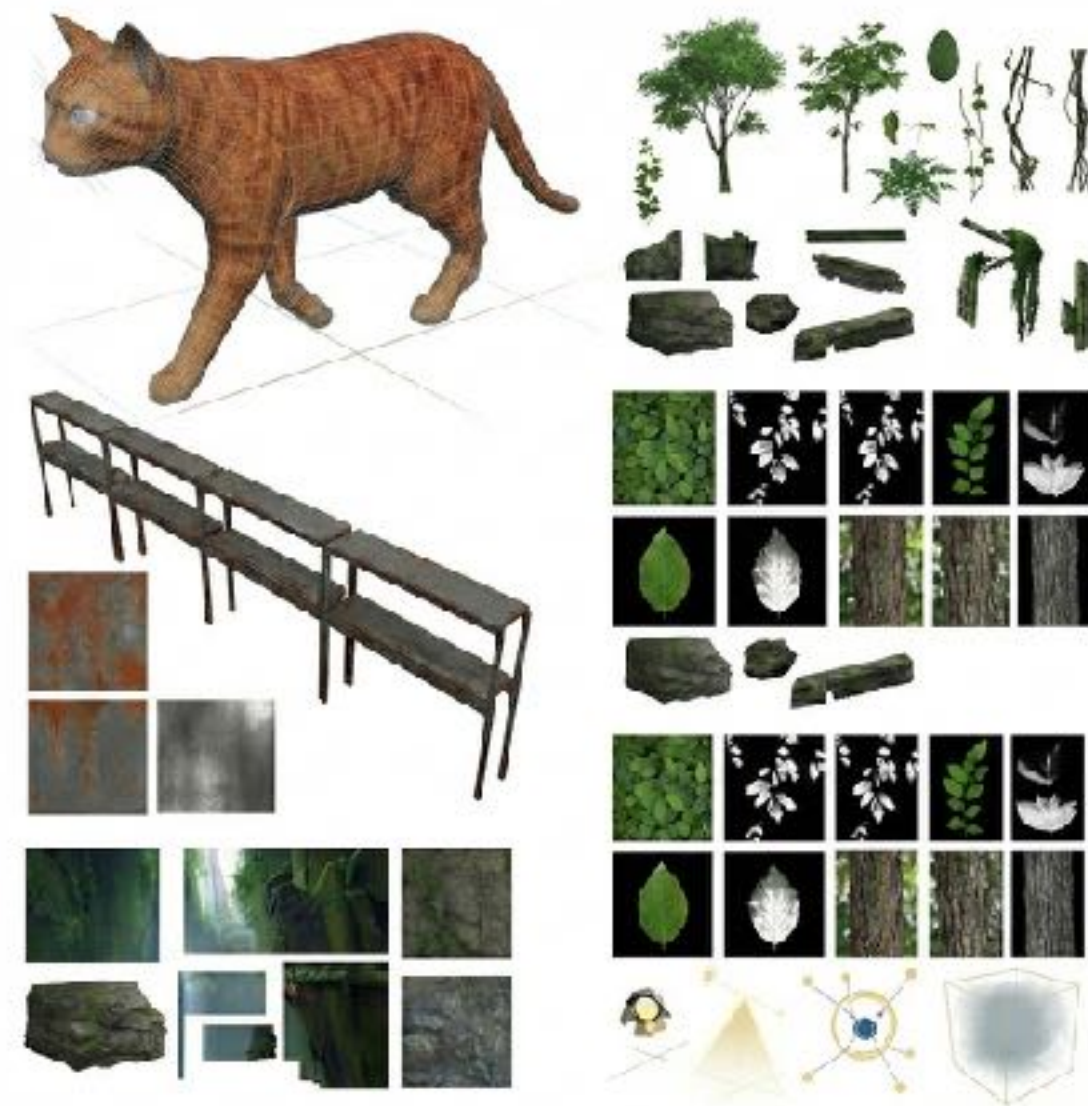


3D Modellek



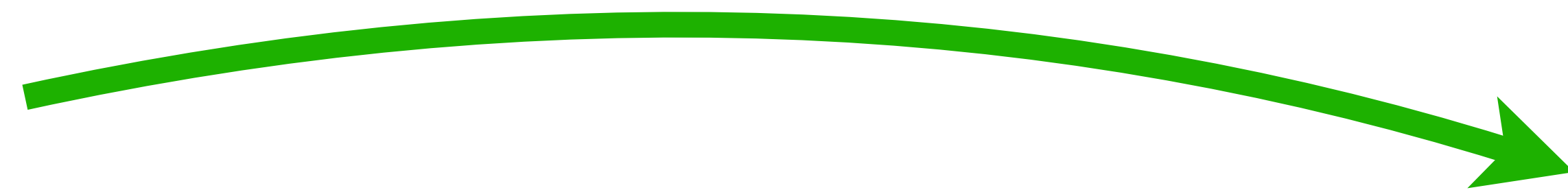
Képek

# Inverz Grafika



3D Modellek

Grafika / Rendering



Inverz Grafika / Rendering



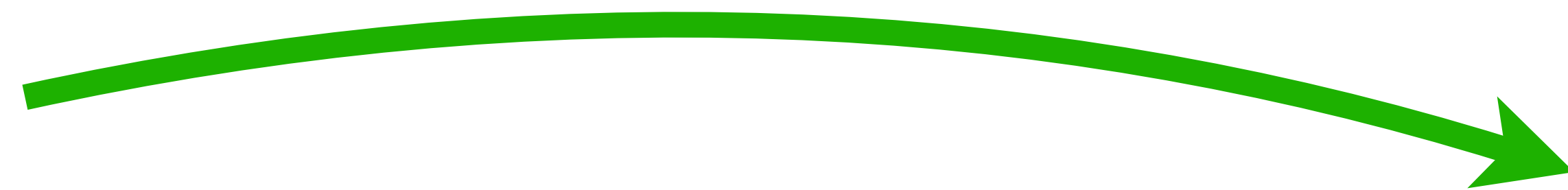
Képek

# Inverz Grafika



3D Modellek

Grafika / Rendering



Képek

Inverz Grafika / Rendering



A rendering egy igen bonyolult folyamat...  
Hogyan lehetséges megfordítani?

# Inverz Grafika

## 3D Rekonstrukció Képekből



Bemeneti Képek



Rekonstruált 3D Modell



Szintetizált Képek

# Inverz Grafika

## Hagyományos Alternatívák



3D Szkennelés



Digitális Fotogrammetria

Előnyök: Érett technológiák

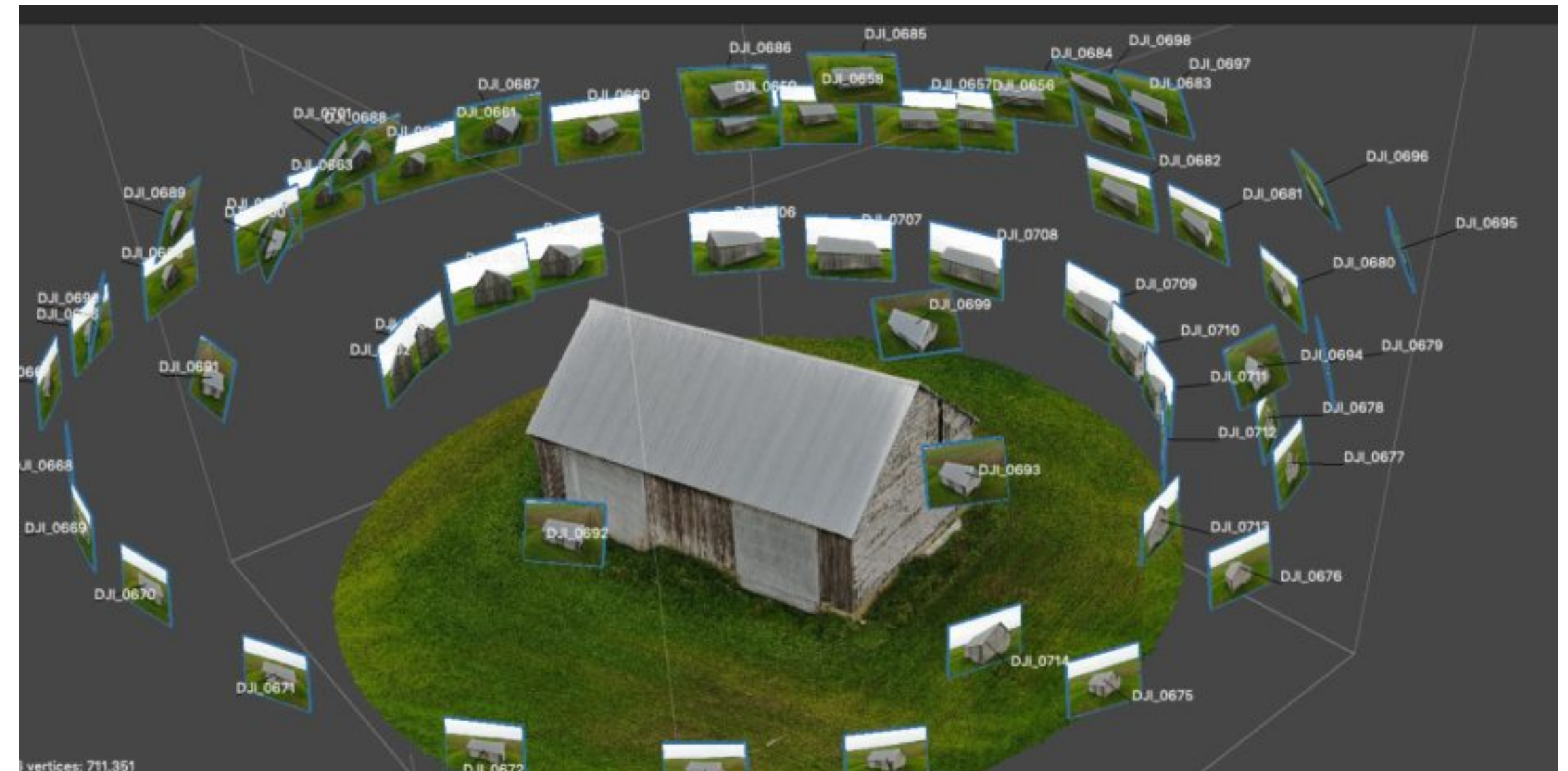
Hátrányok: Komplex algoritmusok, limitált geometria és fotórealizmus

# Inverz Grafika

## Hagyományos Alternatívák



3D Szkennelés



Digitális Fotogrammetria

Előnyök: Érett technológiák

Hátrányok: Komplex algoritmusok, limitált geometria és fotórealizmus

# Inverz Grafika

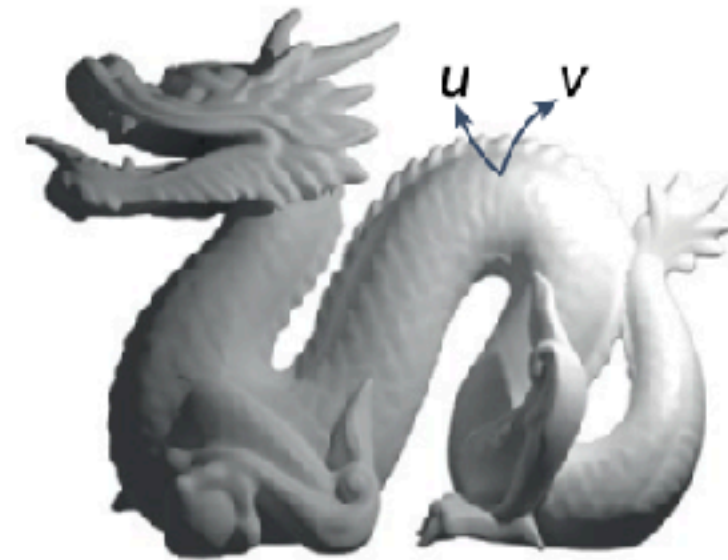
## 3D Reprezentációk

### Surface representations

Mesh



Parametric surface



Point clouds

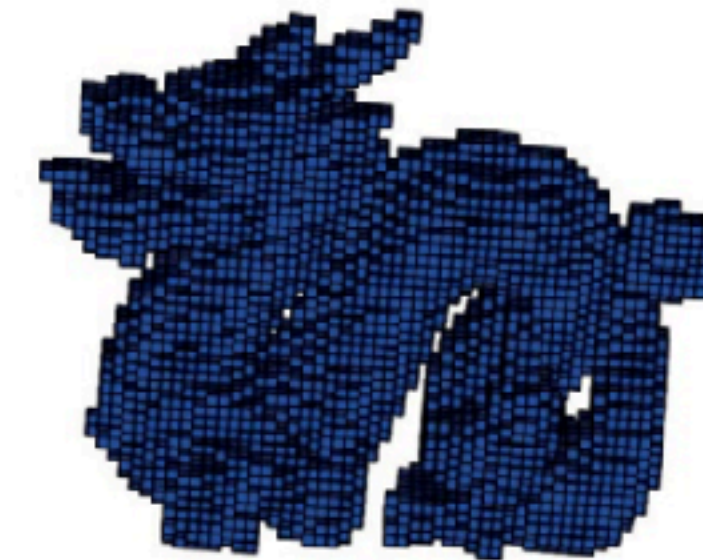


Signed distance function



### Volume representations

Voxel grids

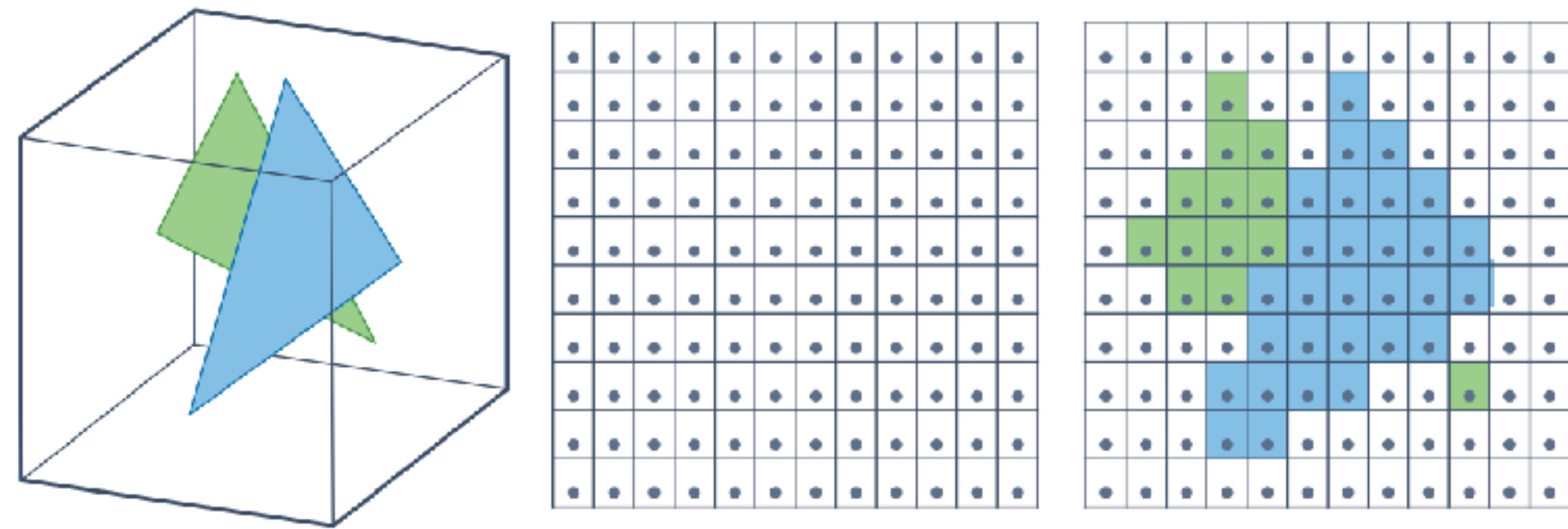


Density and radiance fields

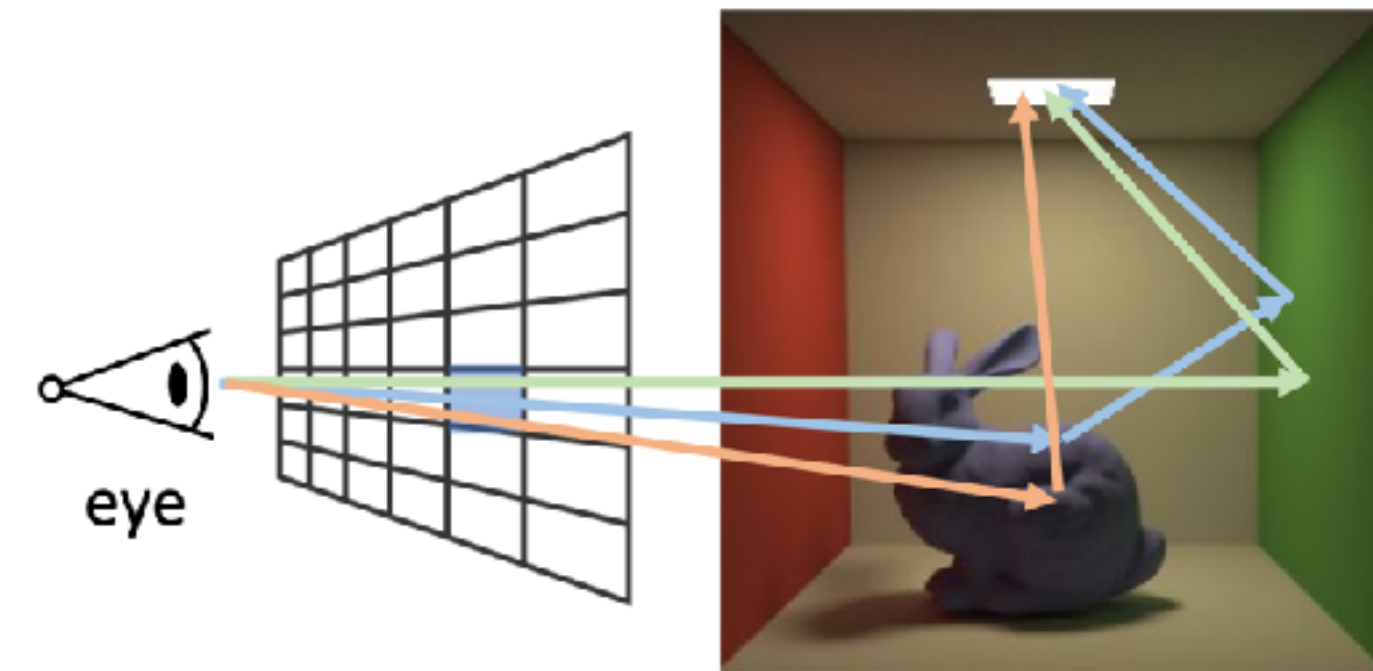


# Inverz Grafika

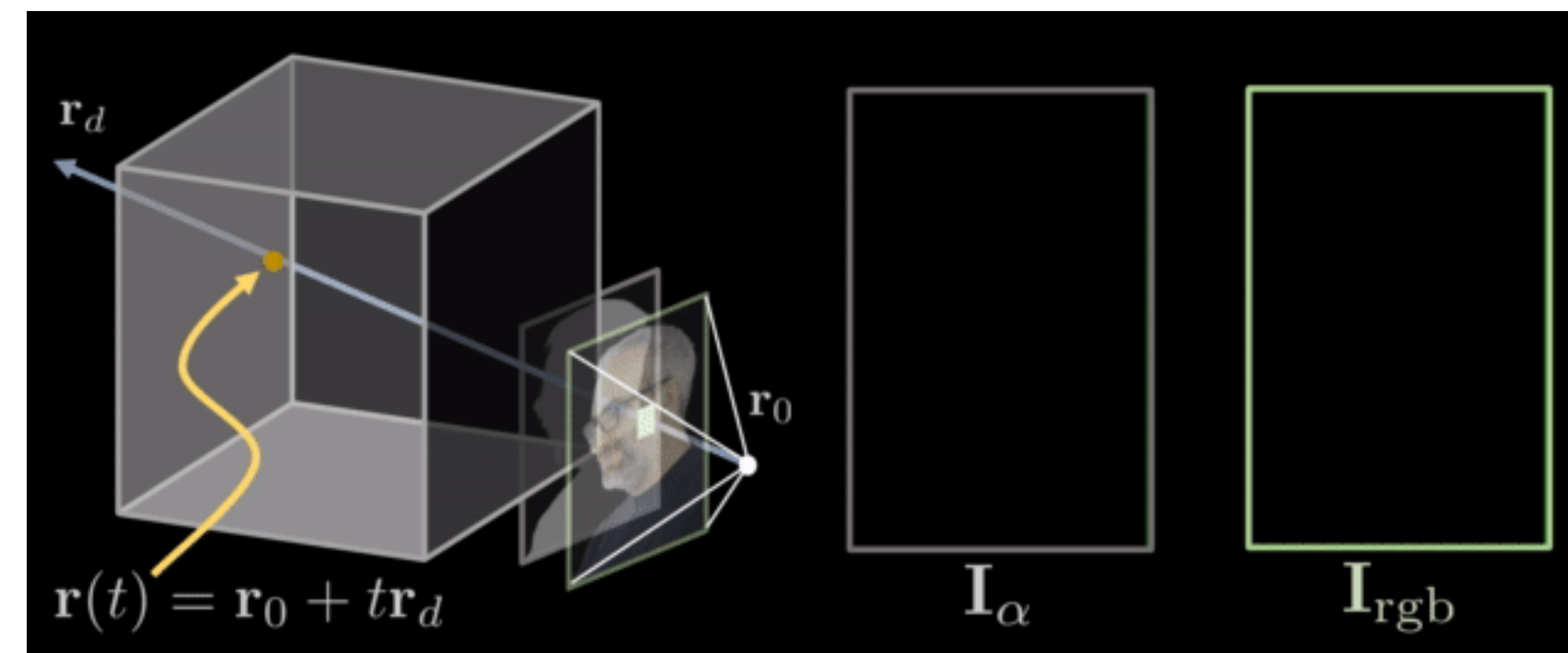
## Rendering Módszerek



Raszterizáció



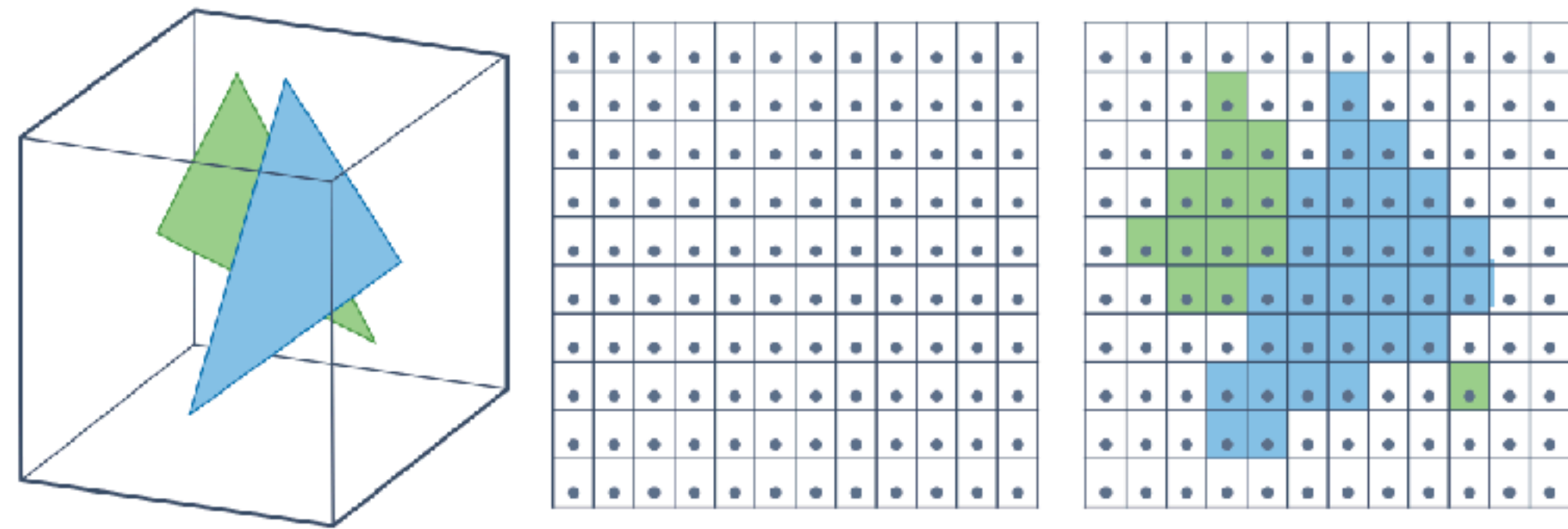
Sugárkövetés (Ray Tracing)



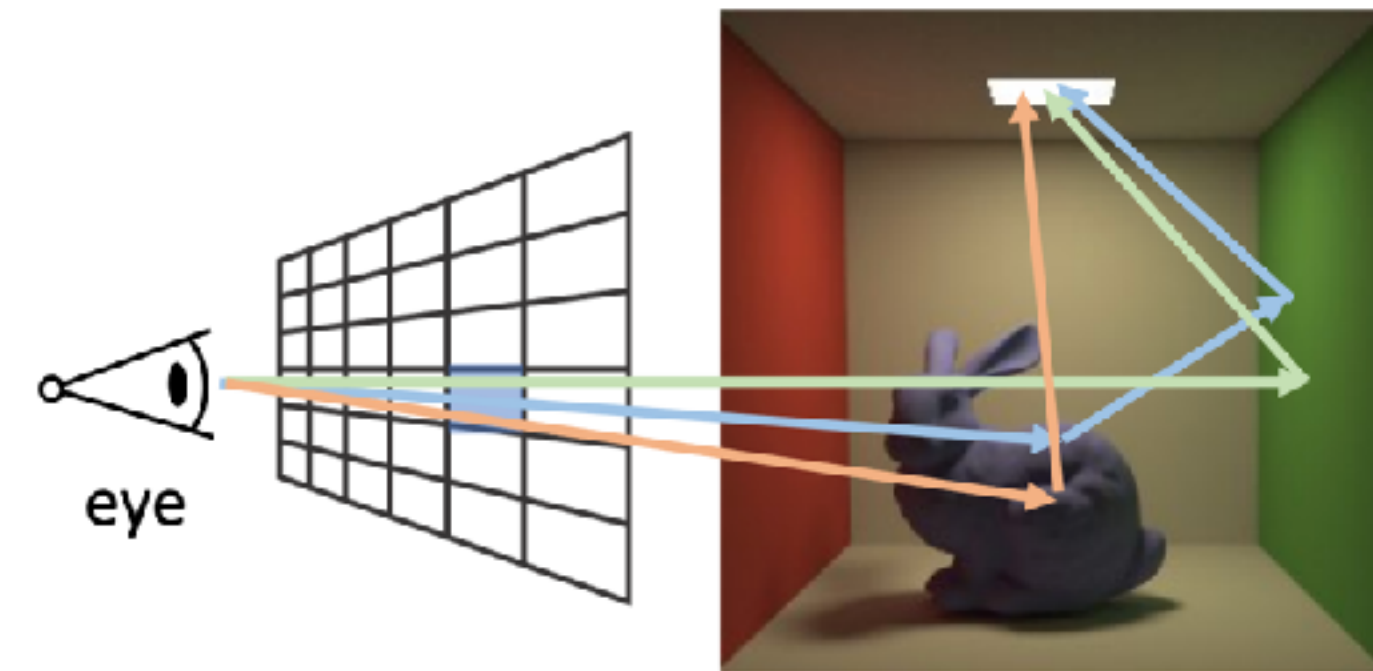
Volumetrikus rendering (Ray Marching)

# Inverz Grafika

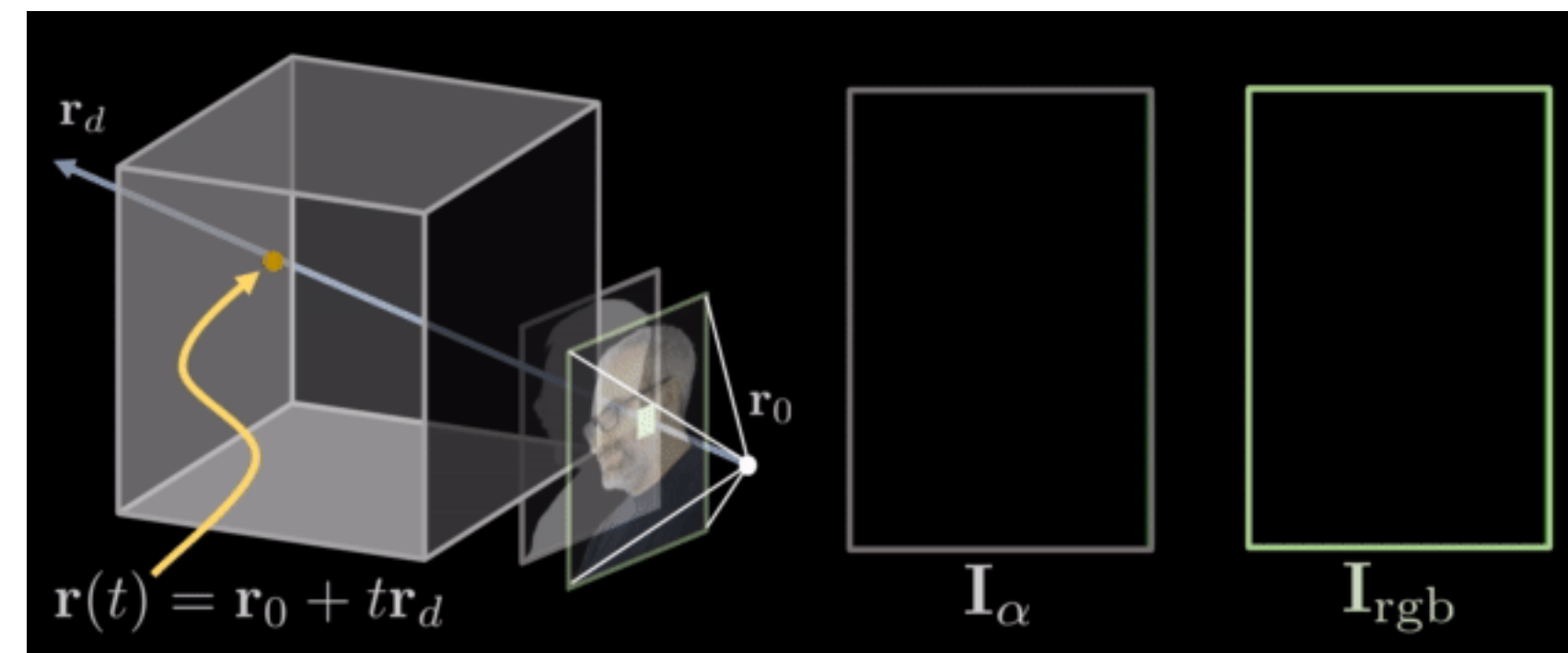
## Rendering Módszerek



Raszterizáció



Sugárkövetés (Ray Tracing)



Volumetrikus rendering (Ray Marching)

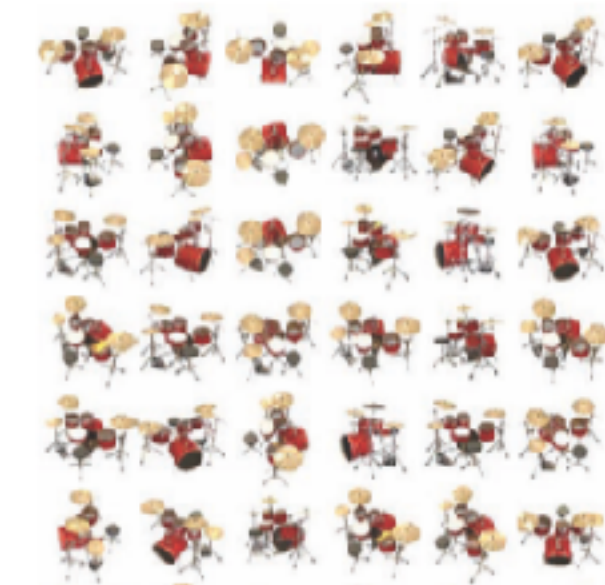
# Inverz Grafika

## A Kulcs: Differenciálás

# Inverz Grafika

## A Kulcs: Differenciálás

Eredeti képek



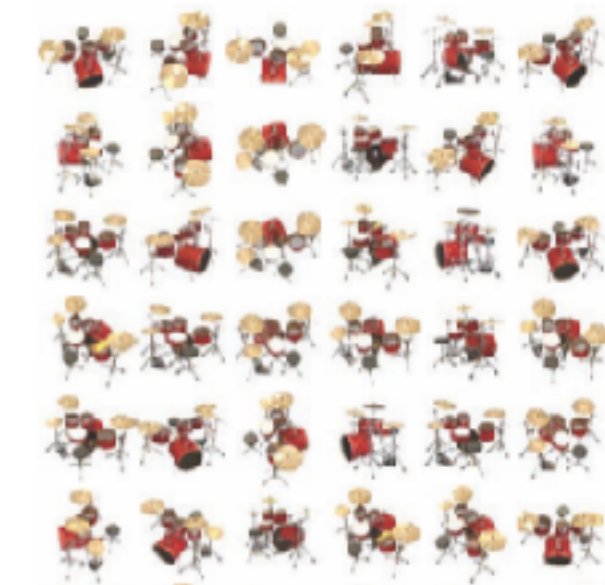
# Inverz Grafika

## A Kulcs: Differenciálás

3D Modell

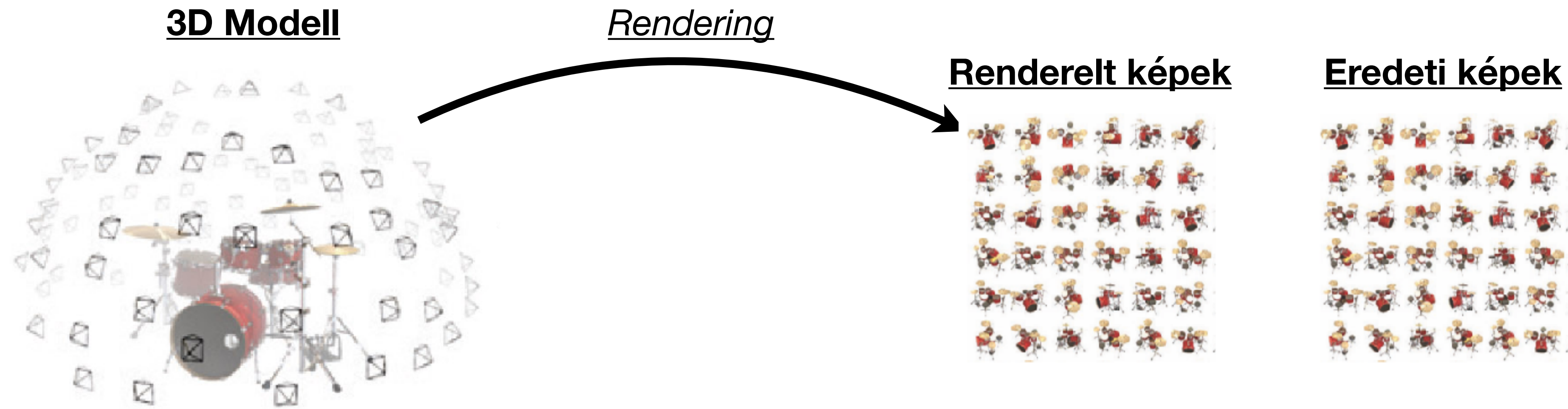


Eredeti képek



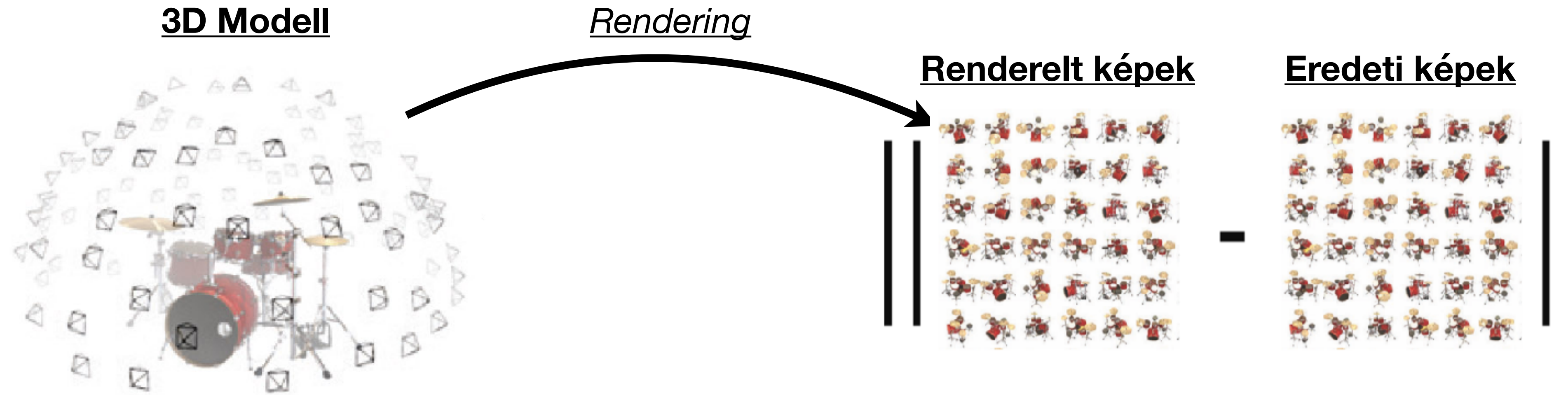
# Inverz Grafika

## A Kulcs: Differenciálás



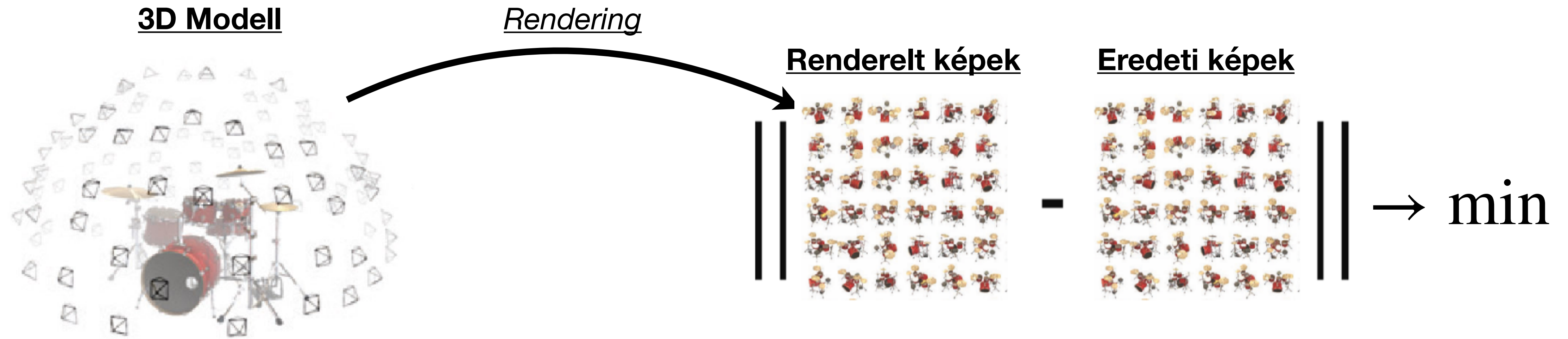
# Inverz Grafika

## A Kulcs: Differenciálás



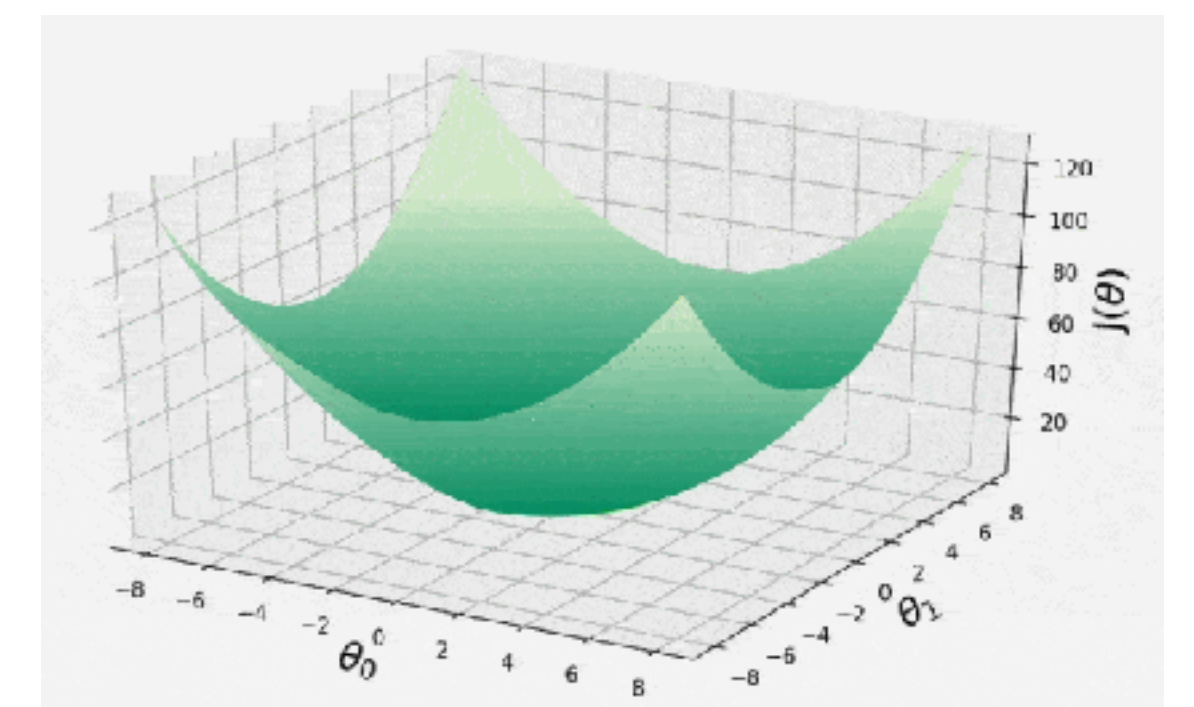
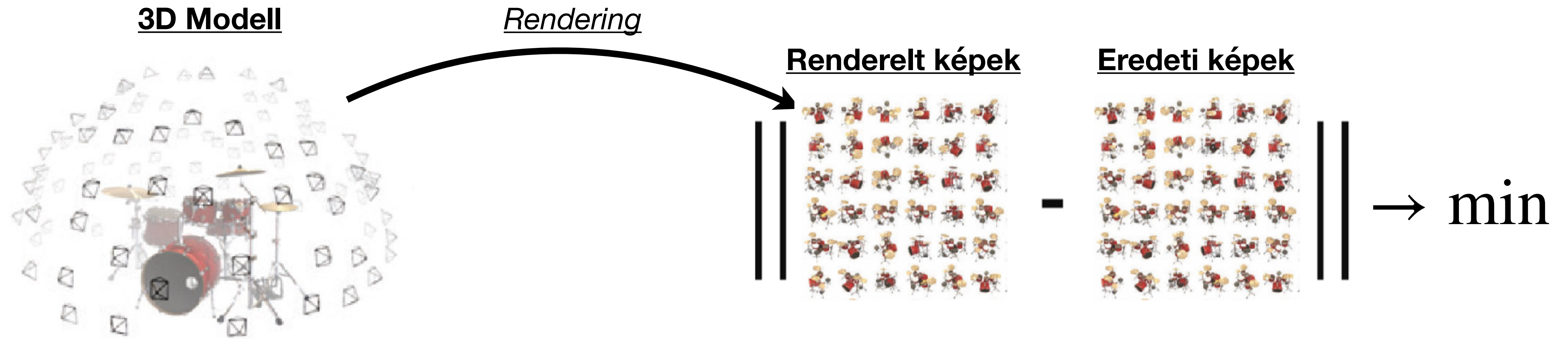
# Inverz Grafika

## A Kulcs: Differenciálás



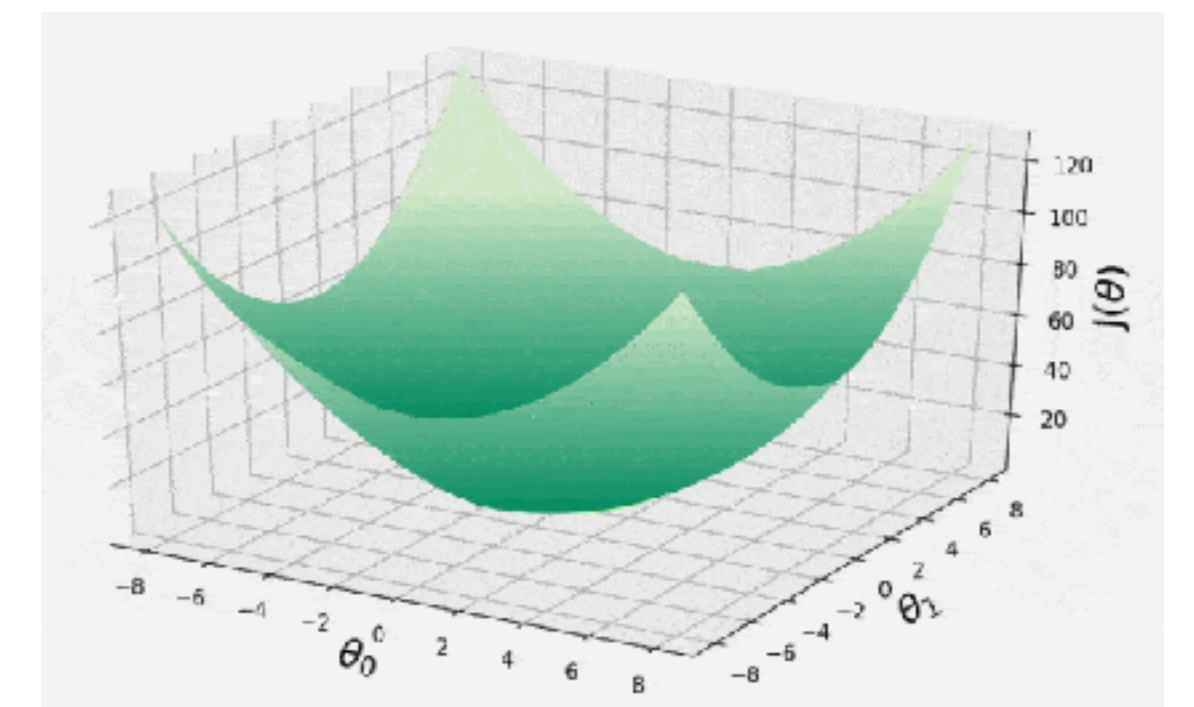
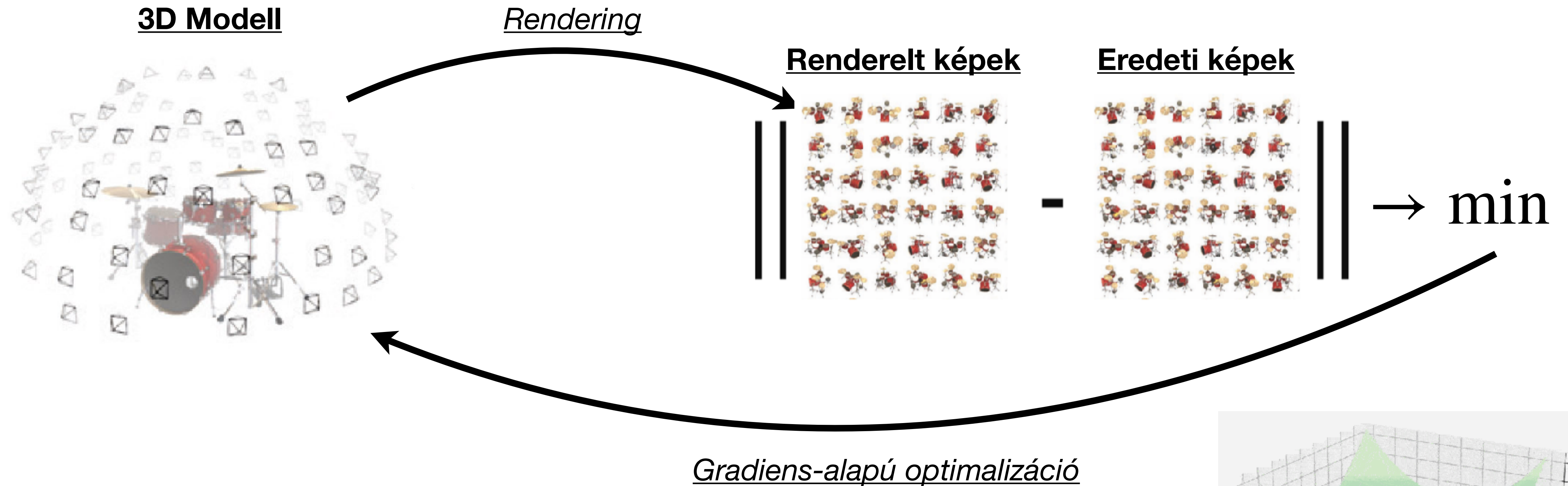
# Inverz Grafika

## A Kulcs: Differenciálás



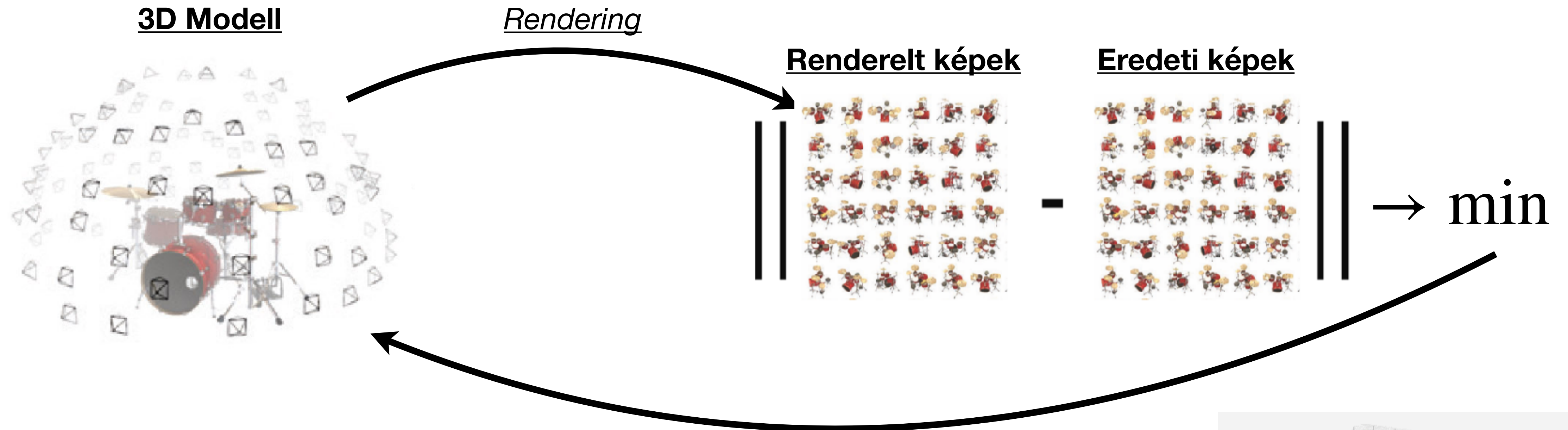
# Inverz Grafika

## A Kulcs: Differenciálás



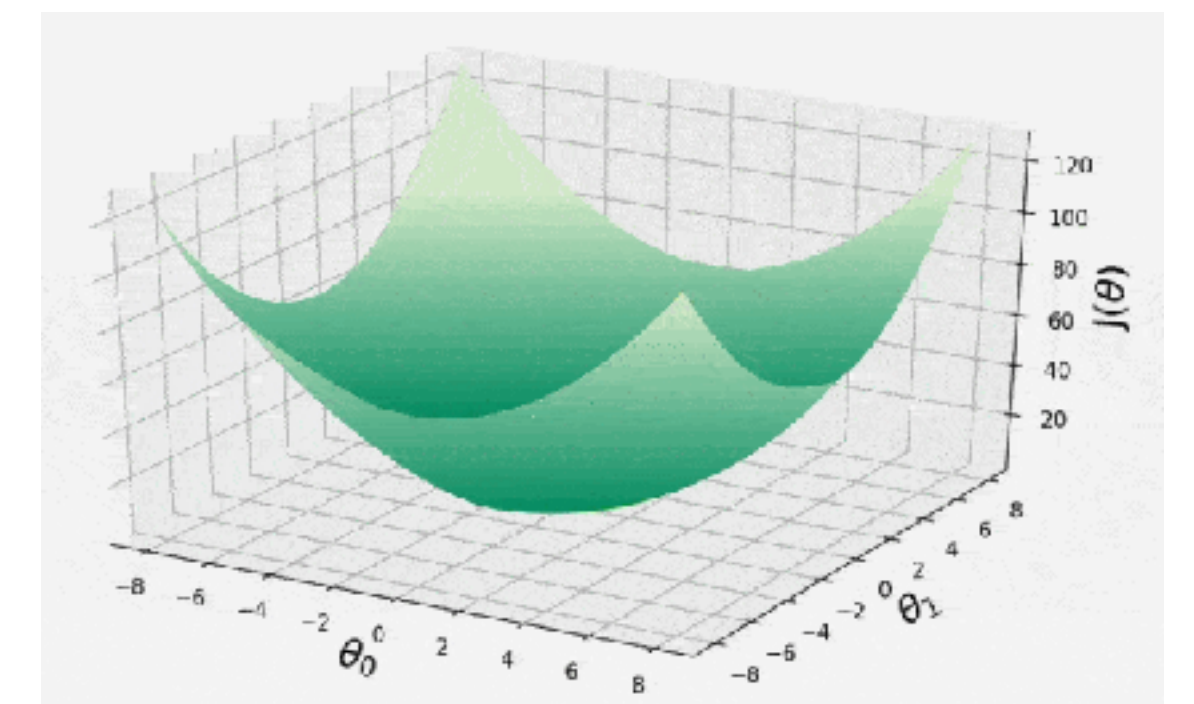
# Inverz Grafika

## A Kulcs: Differenciálás



$$\frac{\partial \left\| \begin{matrix} \text{Renderelt képek} \\ \text{Eredeti képek} \end{matrix} \right\|}{\partial \text{3D Modell}} \rightarrow \text{3D Modell}$$

Gradiens-alapú optimalizáció



# Inverz Grafika

## A Kulcs: Differenciálás

$$\frac{\partial f(g(x))}{\partial x} = \frac{\partial f(g(x))}{\partial g} \cdot \frac{\partial g(x)}{\partial x}$$

*Differenciálás láncszabálya*

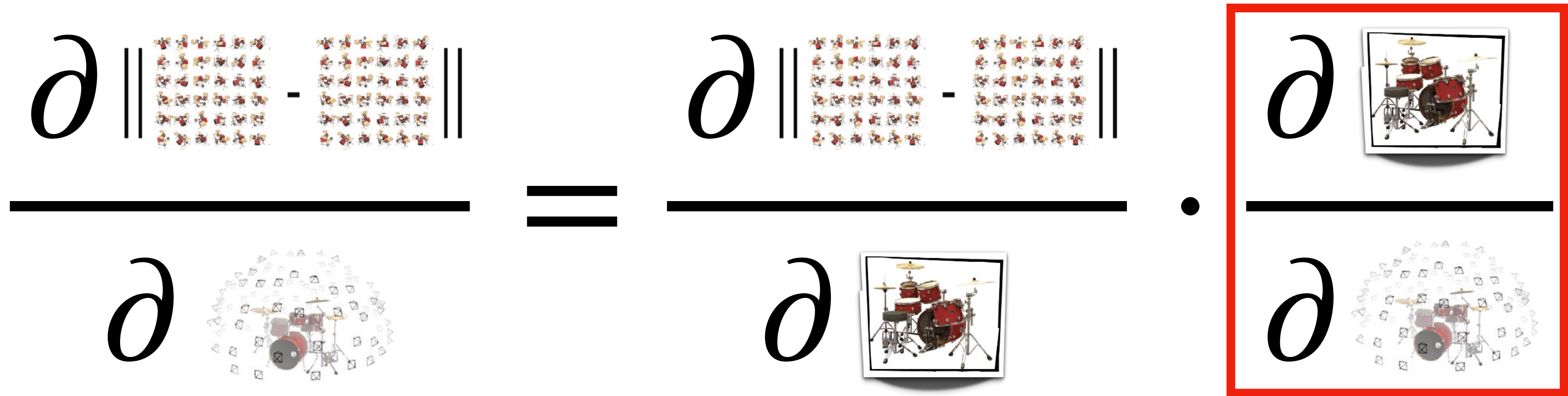
$$\frac{\partial \left\| \begin{array}{c} \text{[Grid of 20 small drum icons]} \\ \text{[Grid of 20 small drum icons]} \end{array} \right\|}{\partial \left\| \begin{array}{c} \text{[Drum set icon]} \\ \text{[Drum set icon]} \end{array} \right\|} = \frac{\partial \left\| \begin{array}{c} \text{[Grid of 20 small drum icons]} \\ \text{[Grid of 20 small drum icons]} \end{array} \right\|}{\partial \left\| \begin{array}{c} \text{[Drum set icon]} \\ \text{[Drum set icon]} \end{array} \right\|}} \cdot \frac{\partial \left\| \begin{array}{c} \text{[Drum set icon]} \\ \text{[Drum set icon]} \end{array} \right\|}{\partial \left\| \begin{array}{c} \text{[Drum set icon]} \\ \text{[Drum set icon]} \end{array} \right\|}$$

# Inverz Grafika

## A Kulcs: Differenciálás

$$\frac{\partial f(g(x))}{\partial x} = \frac{\partial f(g(x))}{\partial g} \cdot \frac{\partial g(x)}{\partial x}$$

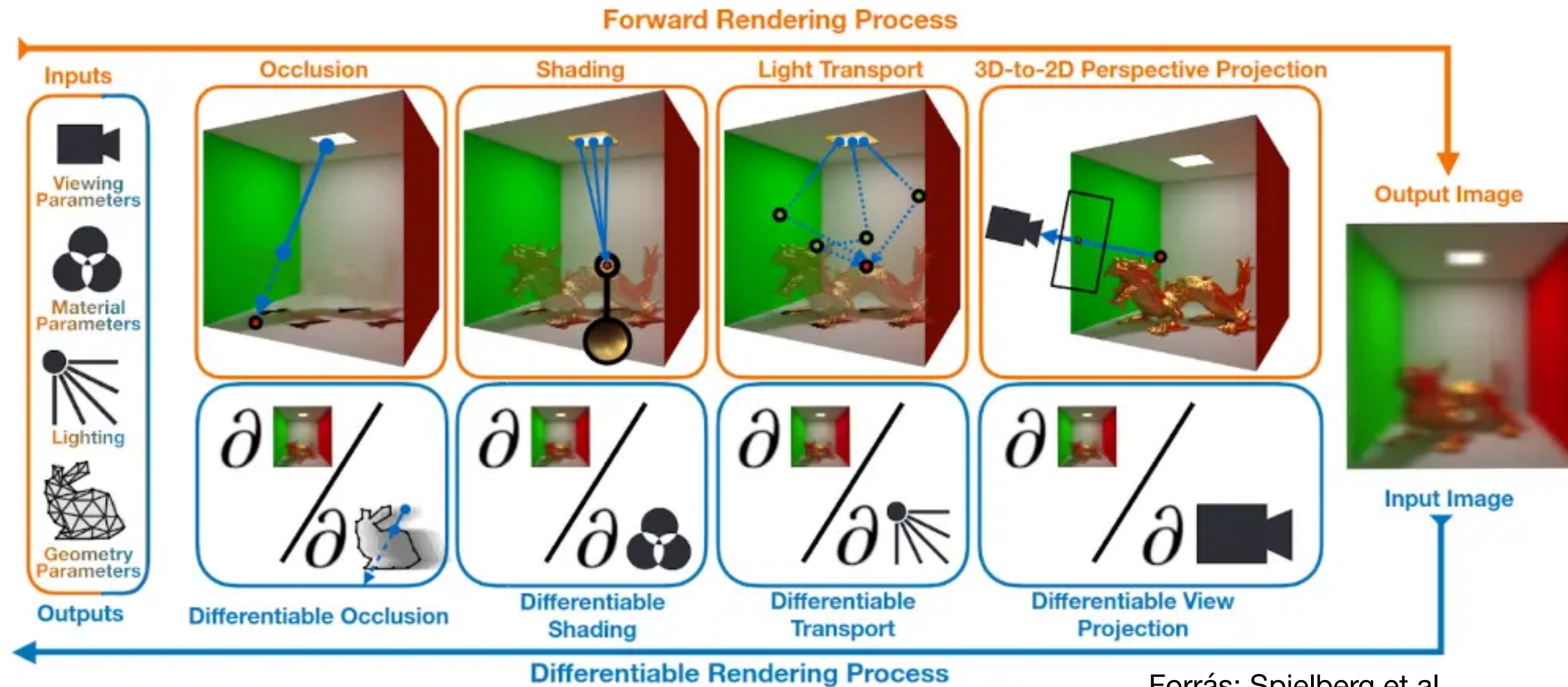
*Differenciálás láncszabálya*



**Differenciálható**  
**Rendering?**

# Inverz Grafika

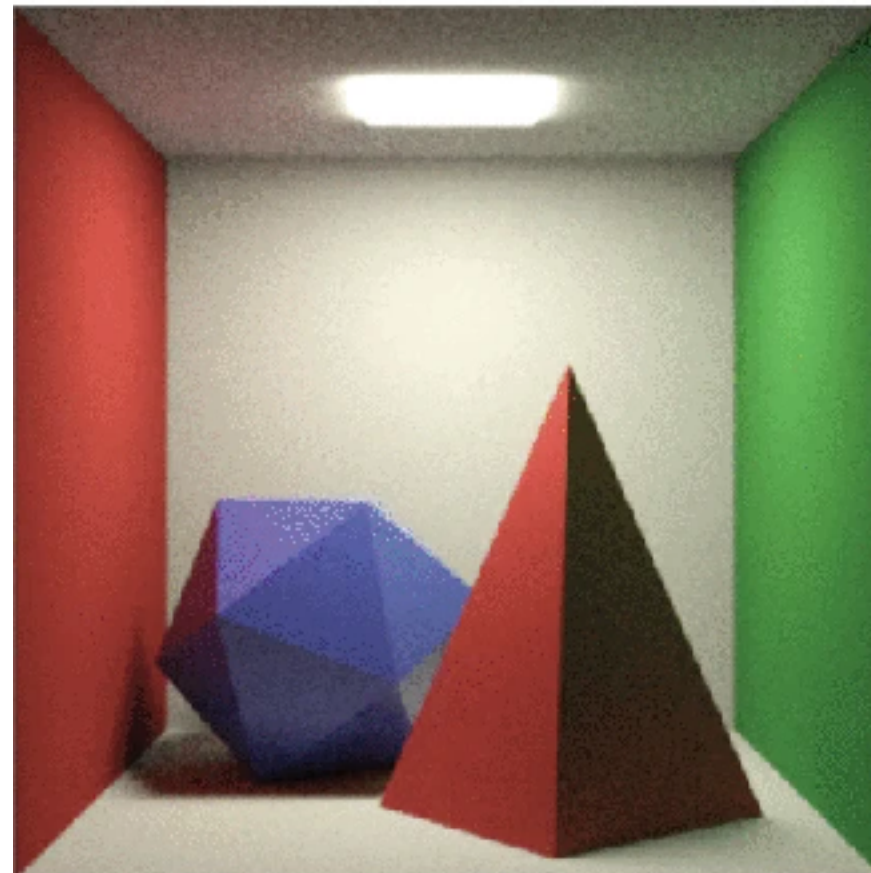
## Differenciálható Rendering?



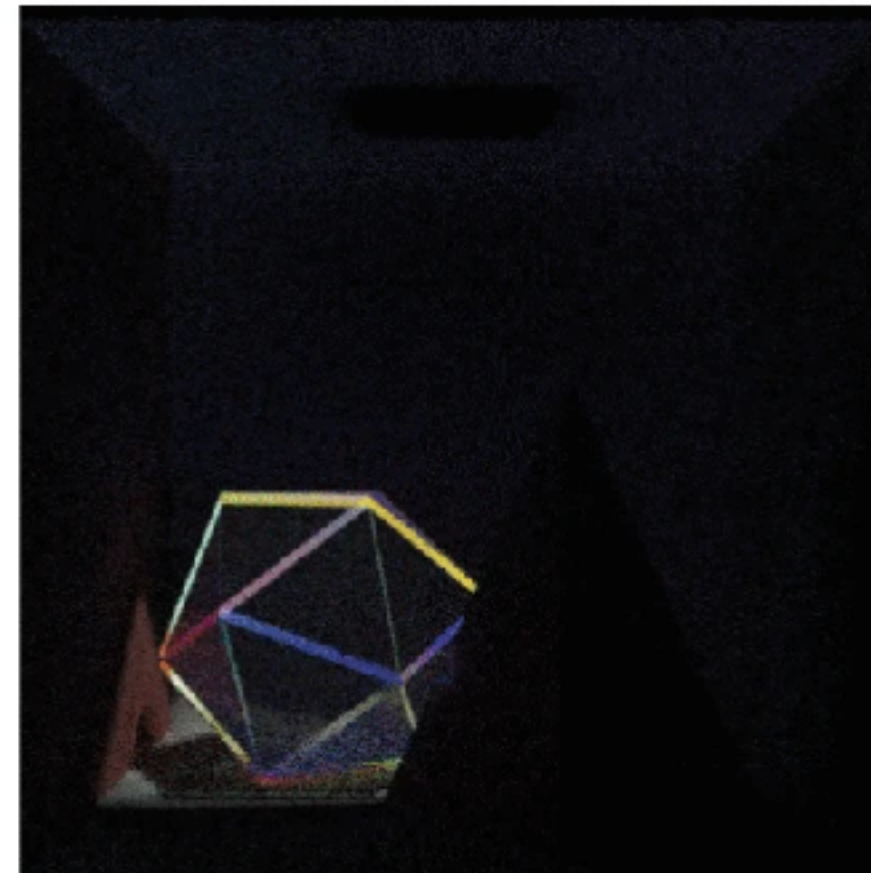
A rendering differenciálása általában kihívást jelent!

# Inverz Grafika

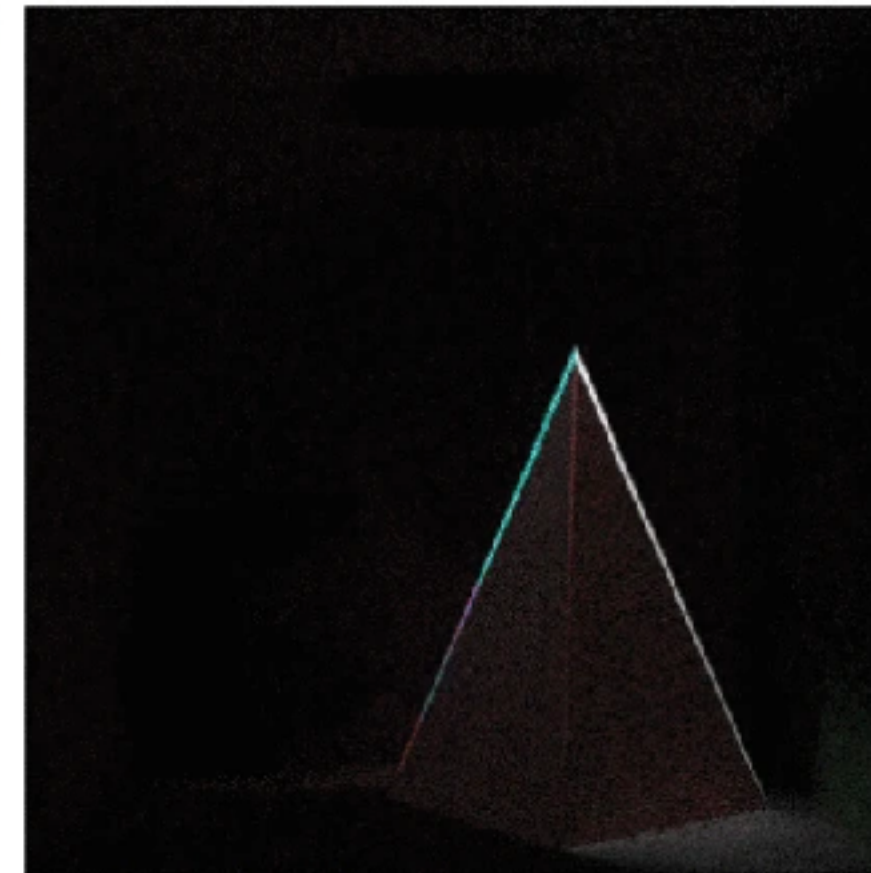
## Differenciálható Rendering!



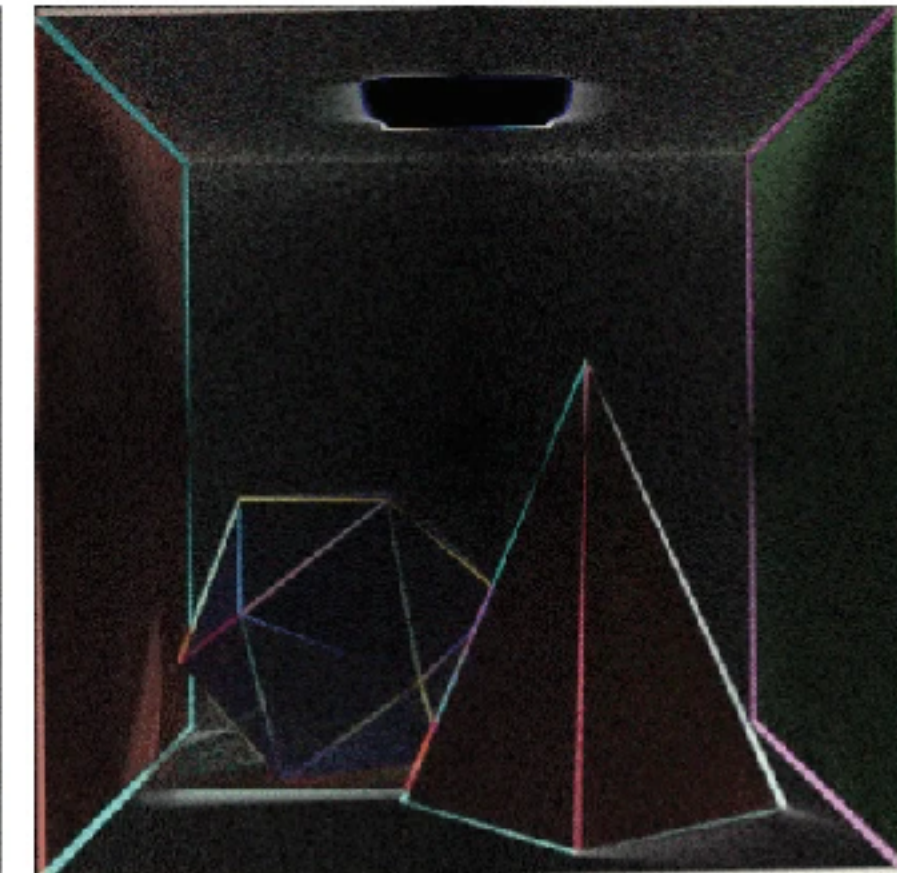
$I$



$$\frac{\partial I}{\partial \left( \begin{array}{c} \text{object} \\ \text{translation} \end{array} \right)}$$



$$\frac{\partial I}{\partial \left( \begin{array}{c} \text{vertex} \\ \text{position} \end{array} \right)}$$



$$\frac{\partial I}{\partial \left( \begin{array}{c} \text{camera} \\ \text{rotation} \end{array} \right)}$$

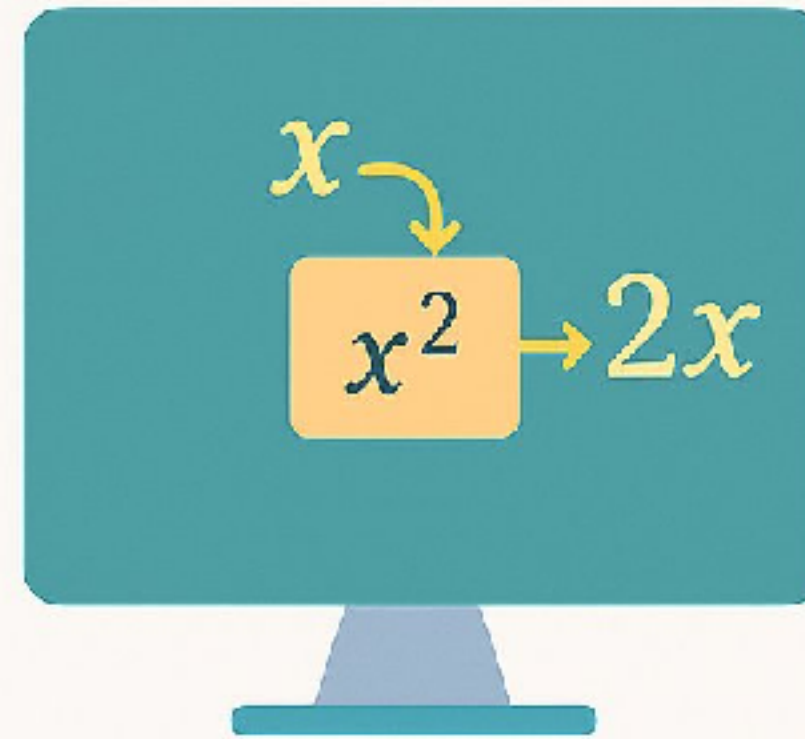
# Inverz Grafika

## Differenciálás Módszerei

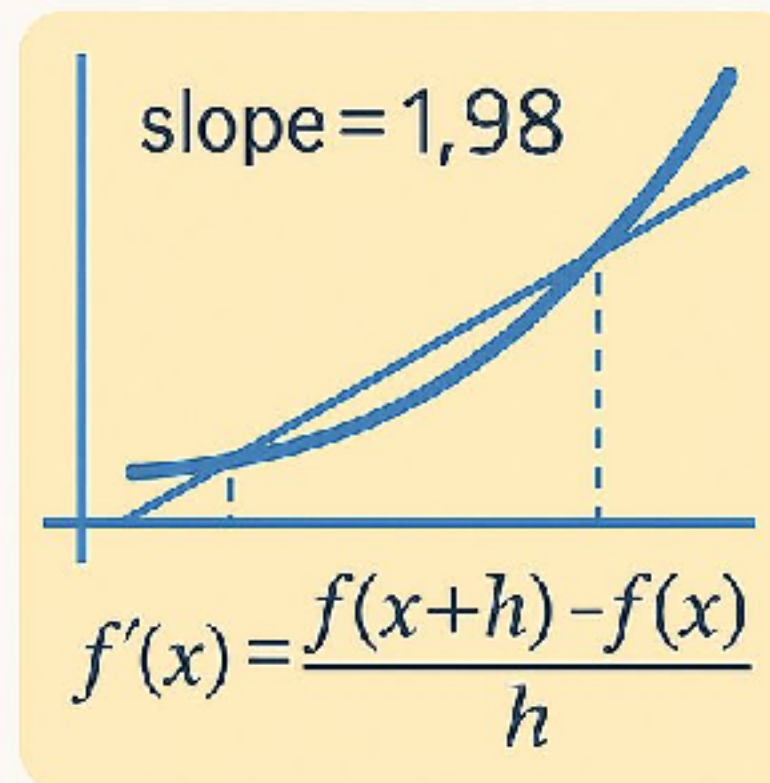
### SYMBOLIC DIFFERENTIATION

$$f(x) = x^2$$
$$f'(x) = 2x$$

### AUTOMATIC DIFFERENTIATION



### NUMERICAL DIFFERENTIATION



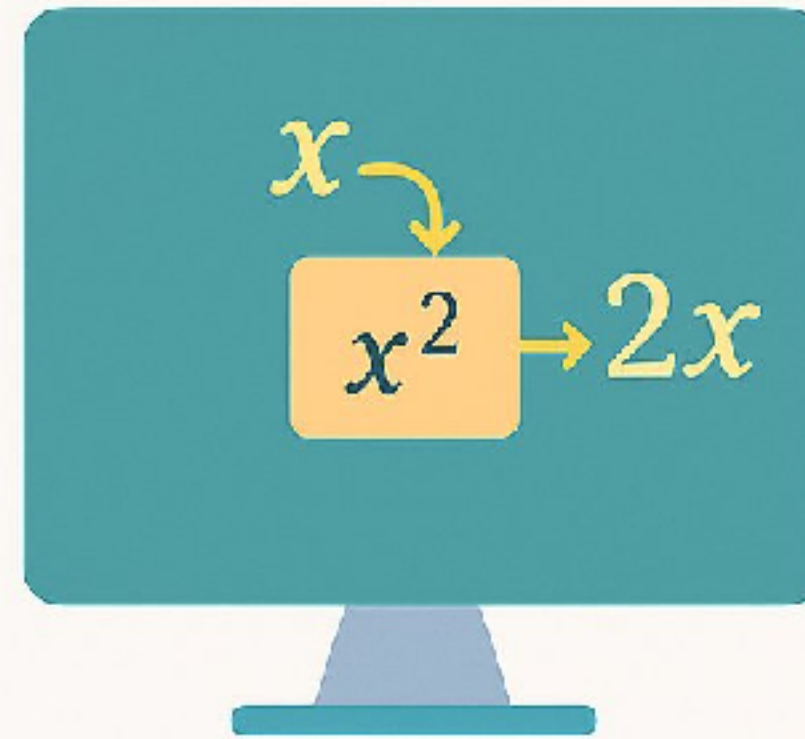
# Inverz Grafika

## Differenciálás Módszerei

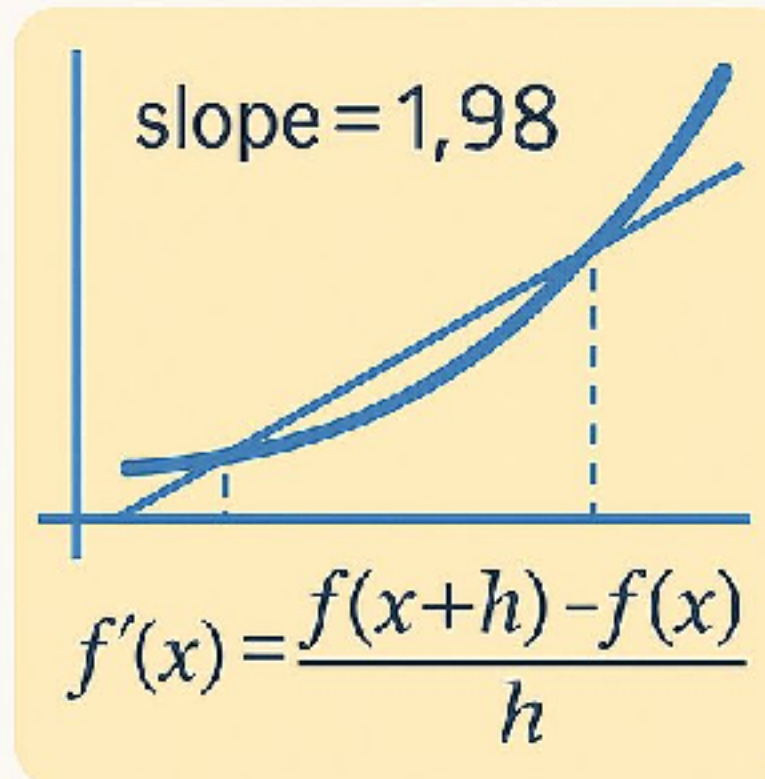
### SYMBOLIC DIFFERENTIATION

$$f(x) = x^2$$
$$f'(x) = 2x$$

### AUTOMATIC DIFFERENTIATION



### NUMERICAL DIFFERENTIATION



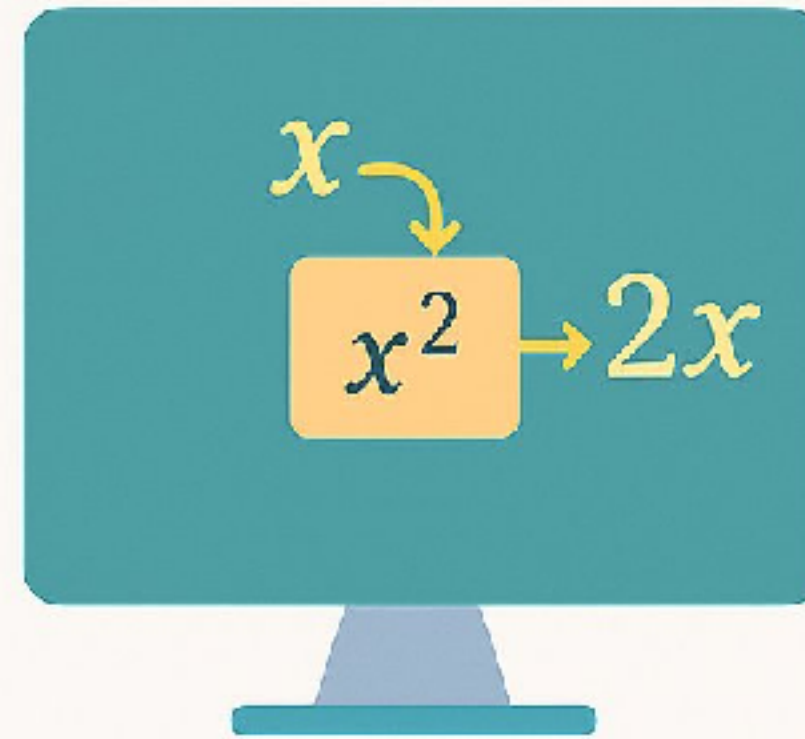
# Inverz Grafika

## Differenciálás Módszerei

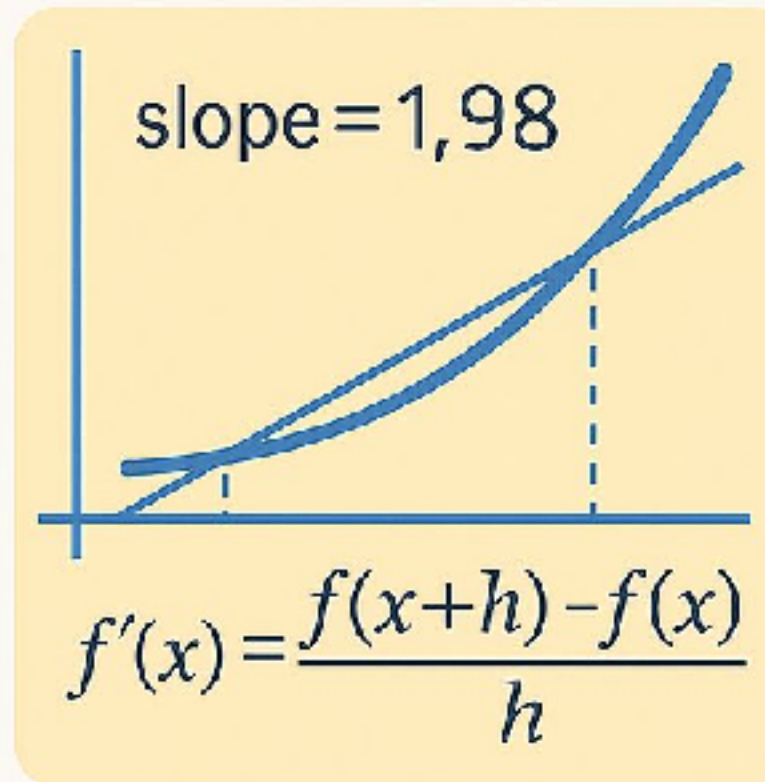
### SYMBOLIC DIFFERENTIATION

$$f(x) = x^2$$
$$f'(x) = 2x$$

### AUTOMATIC DIFFERENTIATION



### NUMERICAL DIFFERENTIATION



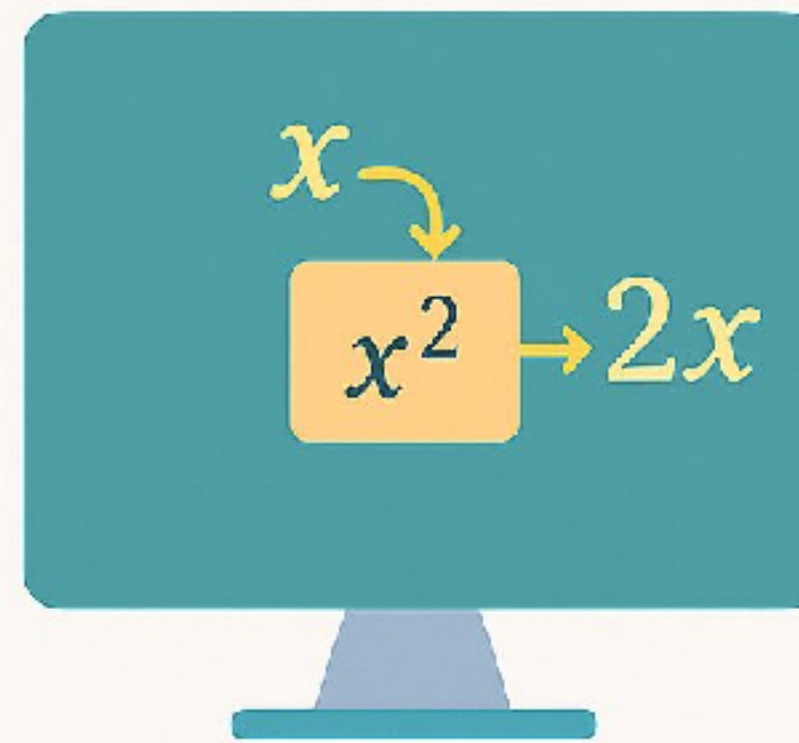
# Inverz Grafika

## Differenciálás Módszerei

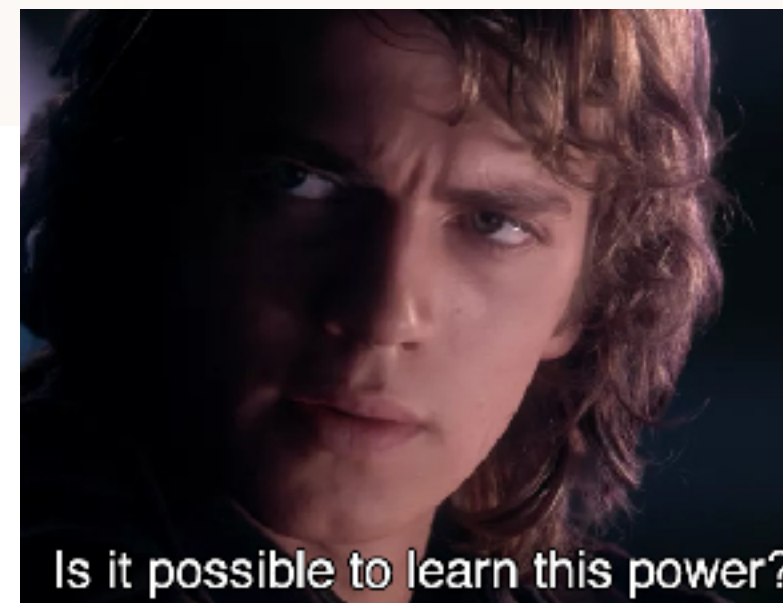
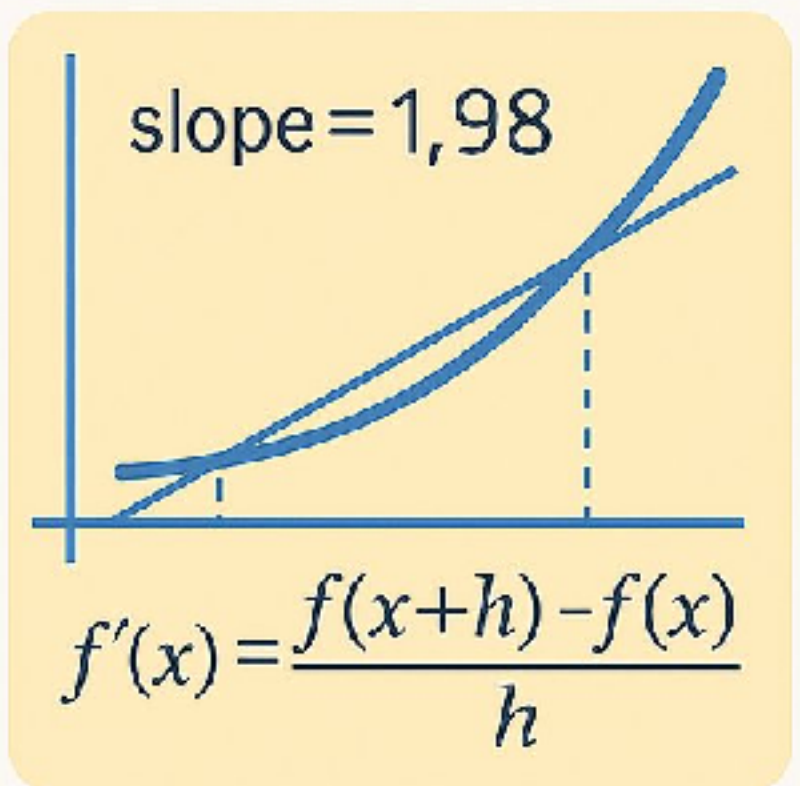
### SYMBOLIC DIFFERENTIATION

$$f(x) = x^2$$
$$f'(x) = 2x$$

### AUTOMATIC DIFFERENTIATION



### NUMERICAL DIFFERENTIATION



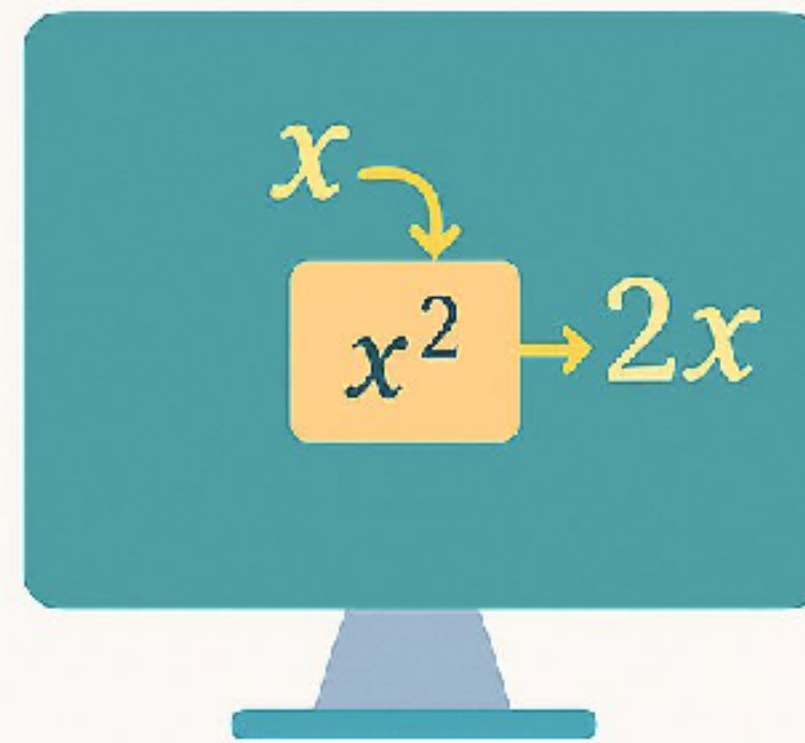
# Inverz Grafika

## Differenciálás Módszerei

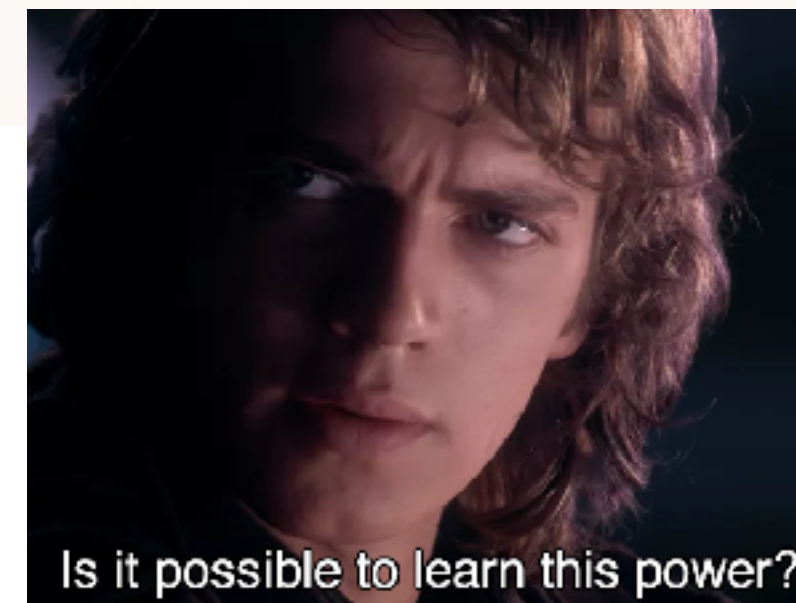
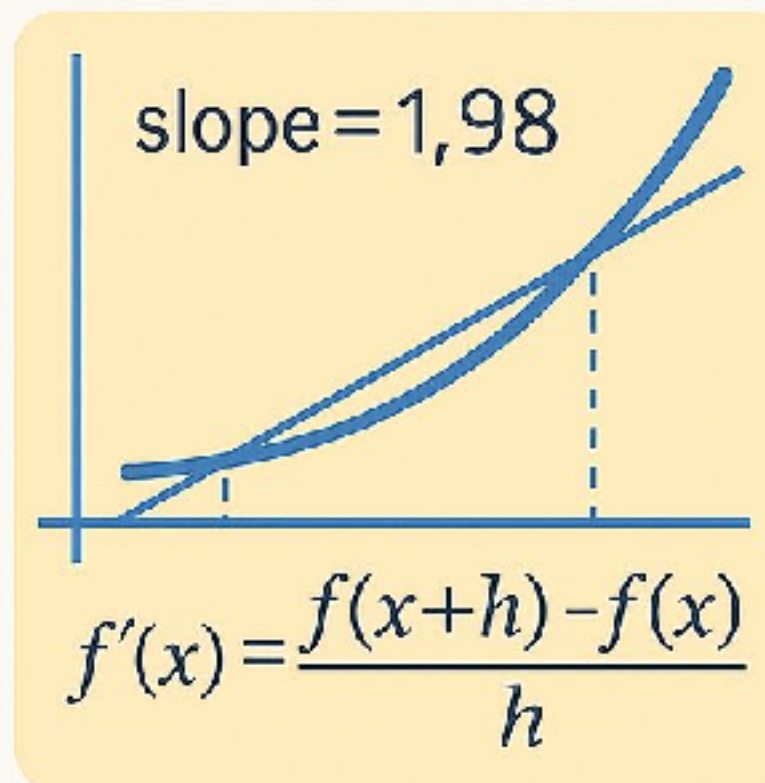
### SYMBOLIC DIFFERENTIATION

$$f(x) = x^2$$
$$f'(x) = 2x$$

### AUTOMATIC DIFFERENTIATION



### NUMERICAL DIFFERENTIATION



Sok rendering módszernél egyik út sem könnyen járható!

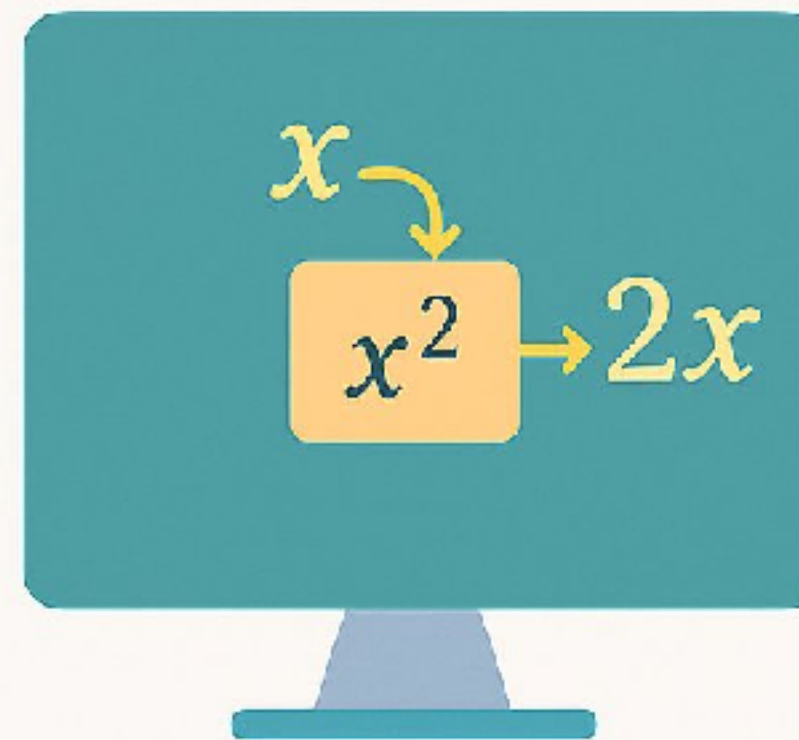
# Inverz Grafika

## Differenciálás Módszerei

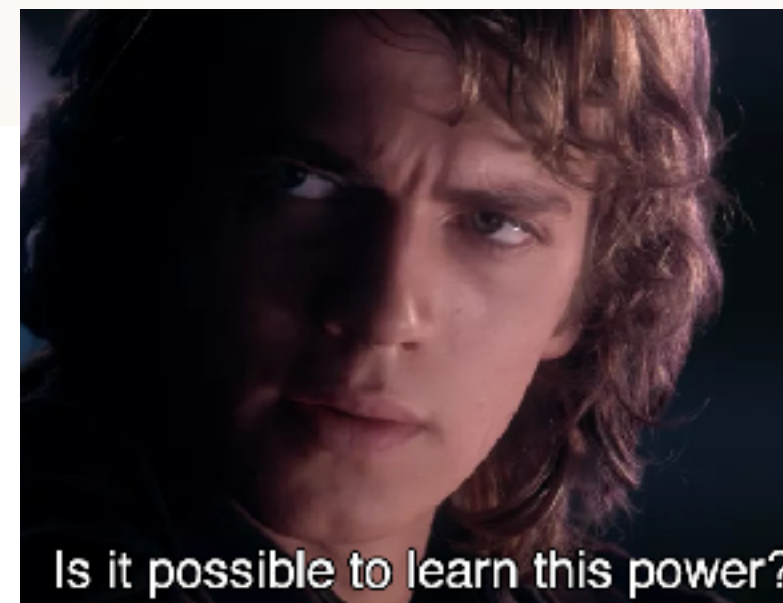
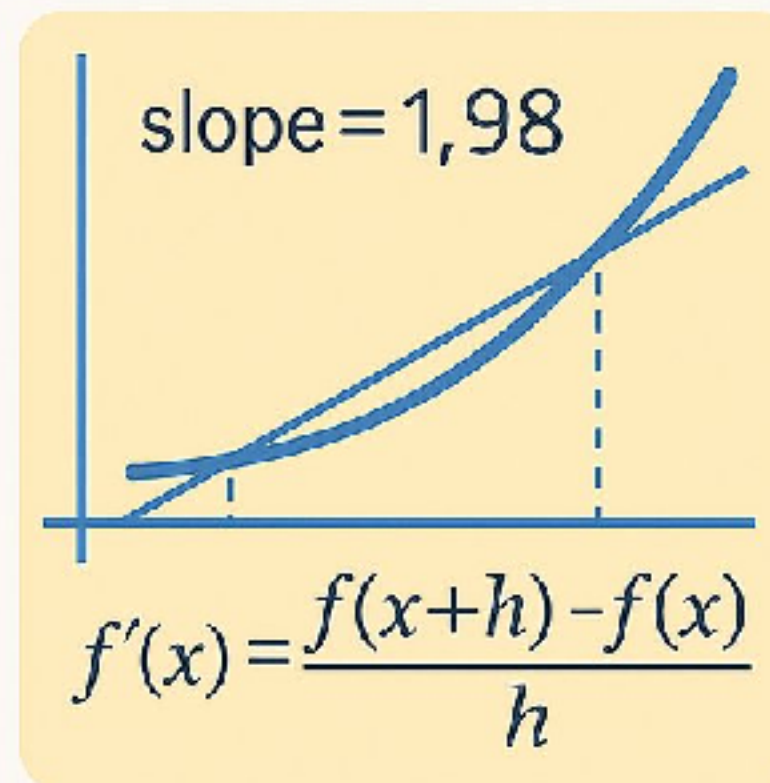
### SYMBOLIC DIFFERENTIATION

$$f(x) = x^2$$
$$f'(x) = 2x$$

### AUTOMATIC DIFFERENTIATION



### NUMERICAL DIFFERENTIATION



Sok rendering módszernél egyik út sem könnyen járható!

(Erre még visszatérünk...)

# Inverz Grafika

## Differenciálható Raszterizáció

### EWER

Subdivision surface

Optimizing

- + control mesh
- + normals
- + albedo
- + metallic
- + roughness
- + heightmap



Forrás: [Intel](#)

# Inverz Grafika

## Differenciálható Raszterizáció

### EWER

Subdivision surface

Optimizing

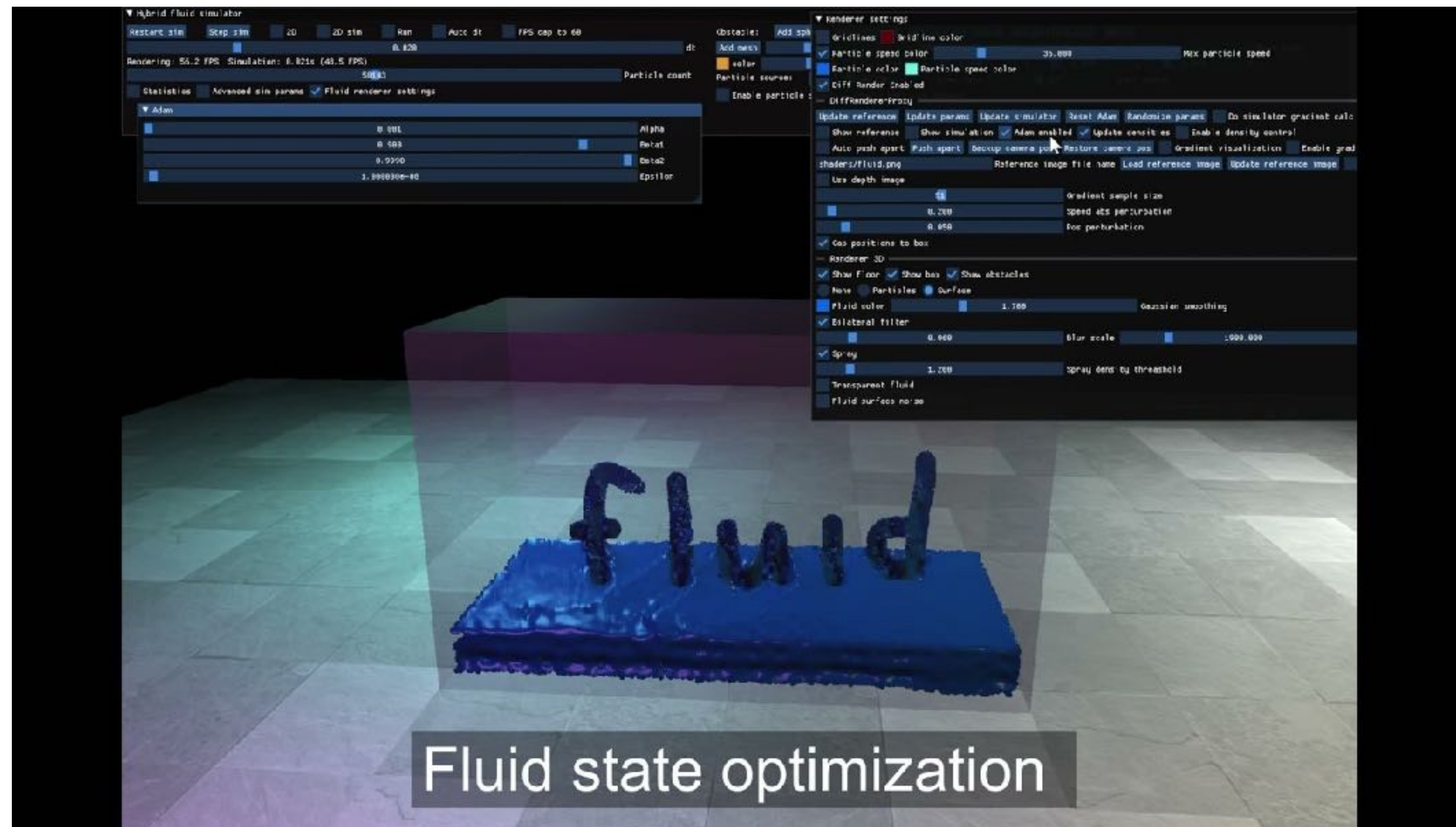
- + control mesh
- + normals
- + albedo
- + metallic
- + roughness
- + heightmap



Forrás: [Intel](#)

# Inverz Grafika

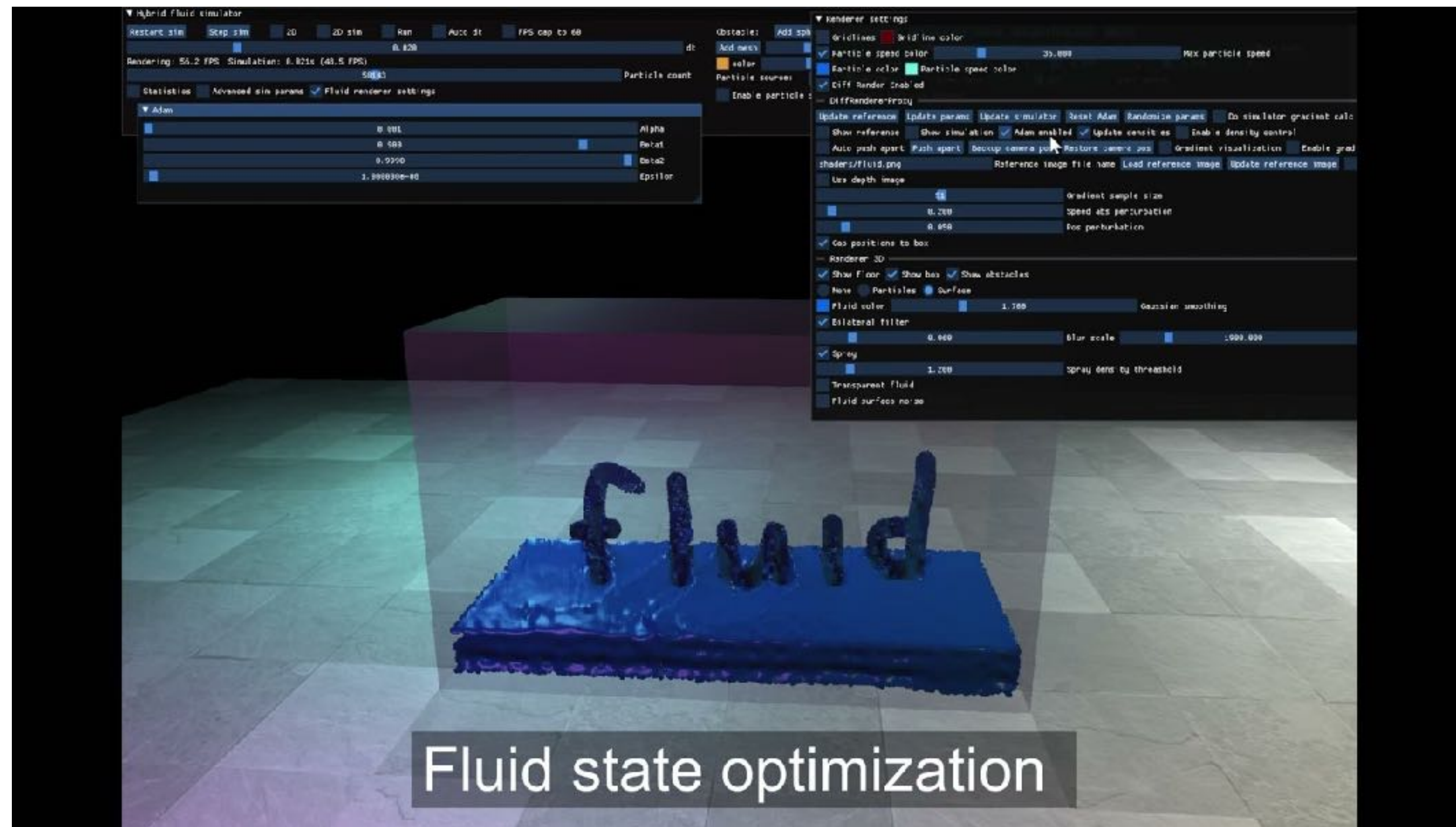
## Differenciálható Raszterizáció



Forrás: Kiovics Dániel [TDK]

# Inverz Grafika

## Differenciálható Raszterizáció



Forrás: Kiovics Dániel [TDK]

# Inverz Grafika

## Differenciálható Sugárkövetés

### Optimization: input views

Challenging optimization for shape parameters, albedo and roughness textures



<https://dvicini.github.io/differentiable-sdf-rendering/>

# Inverz Grafika

## Differenciálható Sugárkövetés

### Optimization: input views

Challenging optimization for shape parameters, albedo and roughness textures



<https://dvicini.github.io/differentiable-sdf-rendering/>

# Inverz Grafika

## Differenciálható Sugárkövetés



<https://rgl.epfl.ch/publications/NimierDavid2020Radiative>

# Inverz Grafika

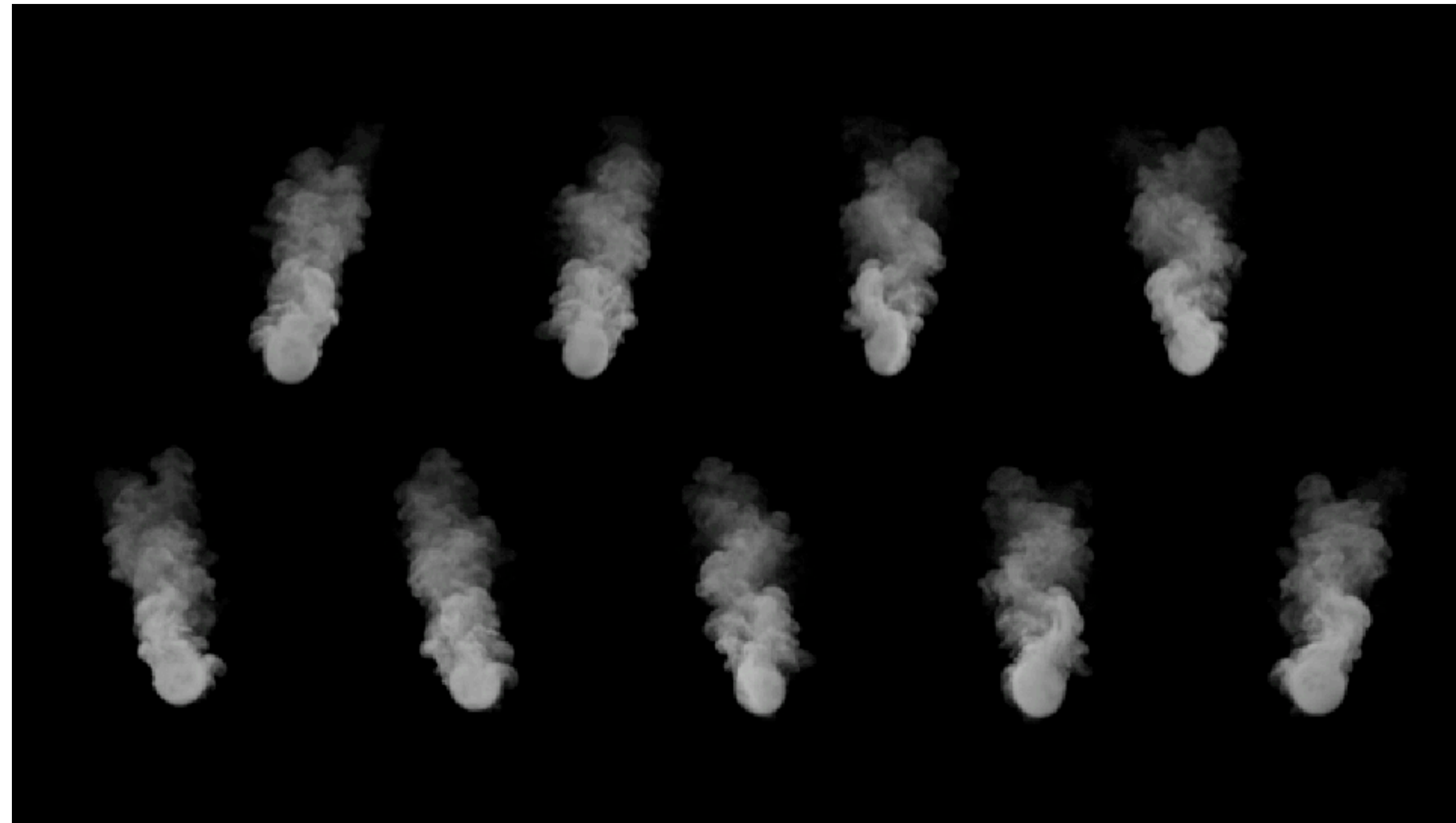
## Differenciálható Sugárkövetés



<https://rgl.epfl.ch/publications/NimierDavid2020Radiative>

# Inverz Grafika

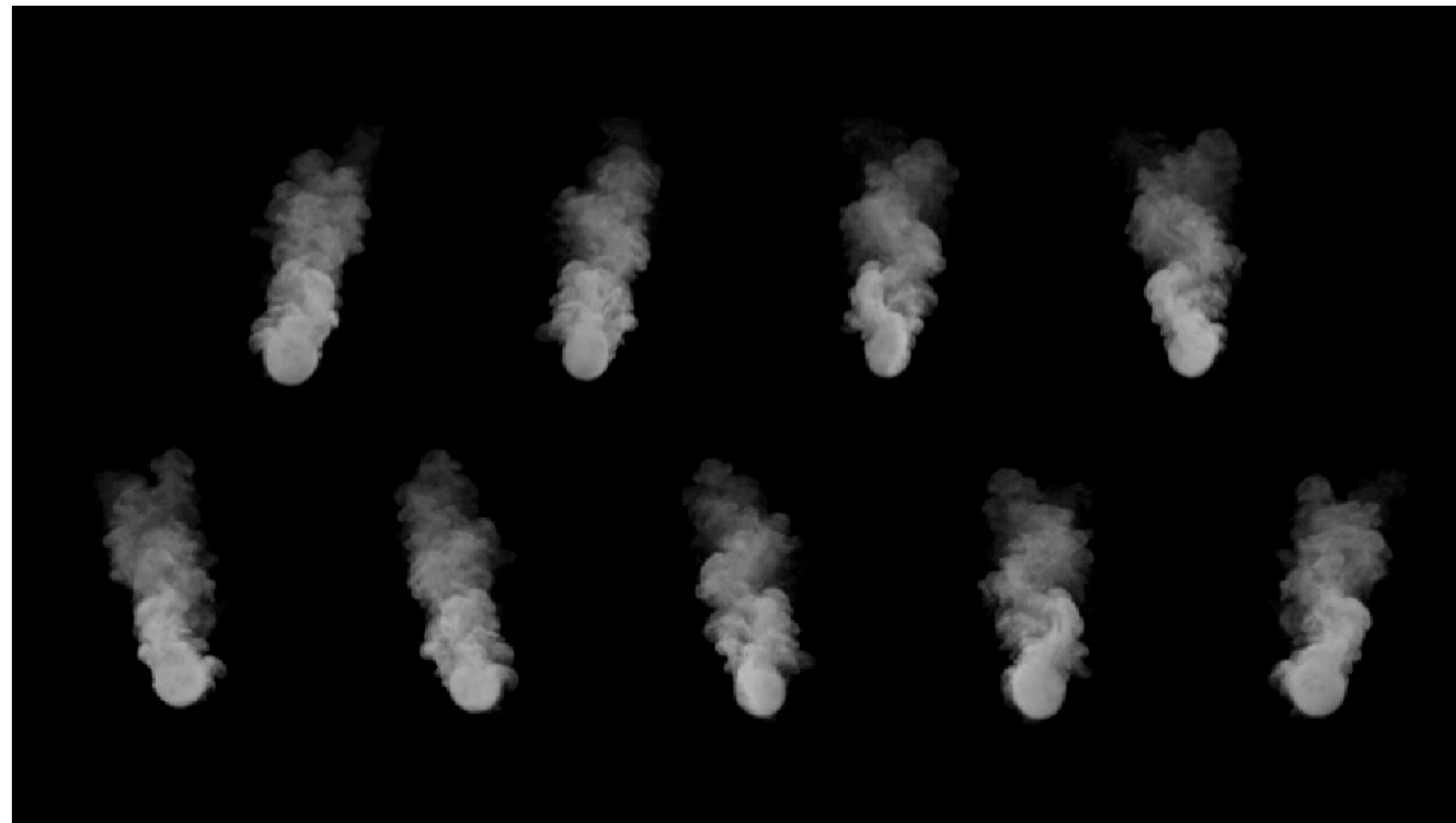
## Differenciálható Volumetrikus Rendering?



Lehetséges, de nagyon költséges is!

# Inverz Grafika

## Differenciálható Volumetrikus Rendering?



Lehetséges, de nagyon költséges is!

# Inverz Grafika

## Differenciálható Volumetrikus Rendering?

*Egyszerűsítsünk...*



Elnyelődés



Szórás

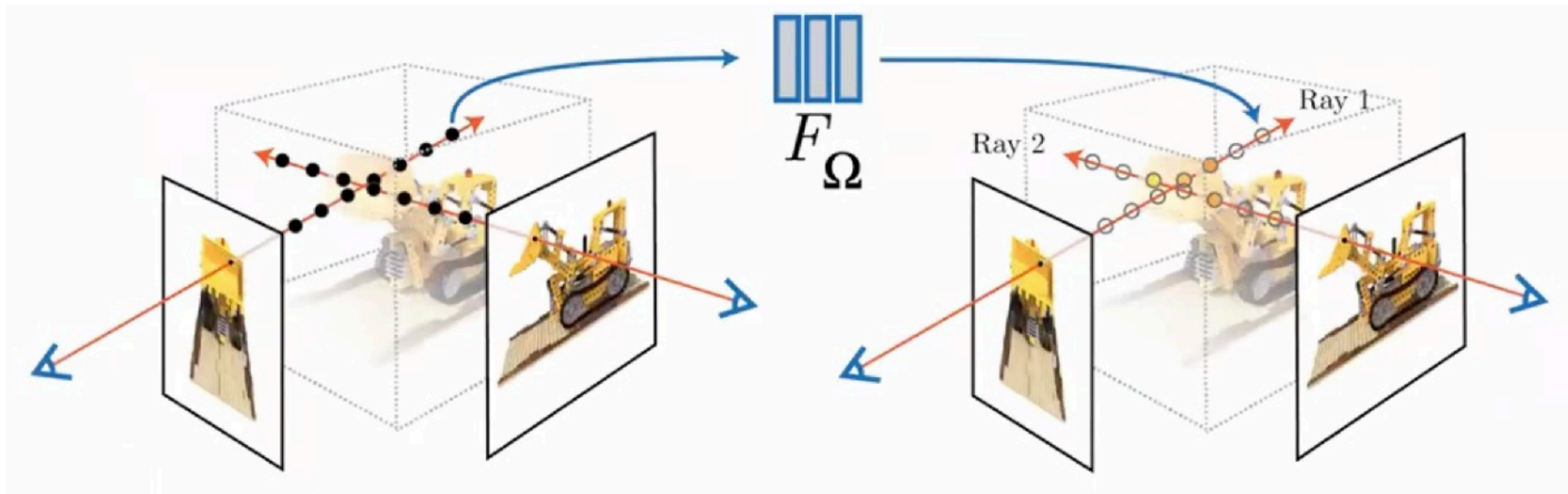


Kibocsátás

**Radiancia Mező** (Radiance Field)

# Inverz Grafika

## Radiancia Mezők



**Radiancia mező:** Rugalmas 3D reprezentáció  
Hatékony optimalizáció, *differentiálható rendering!*

# Inverz Grafika

## Radiancia Mezők – Neural Radiance Field (NeRF)



NeRF [2020]

# Inverz Grafika

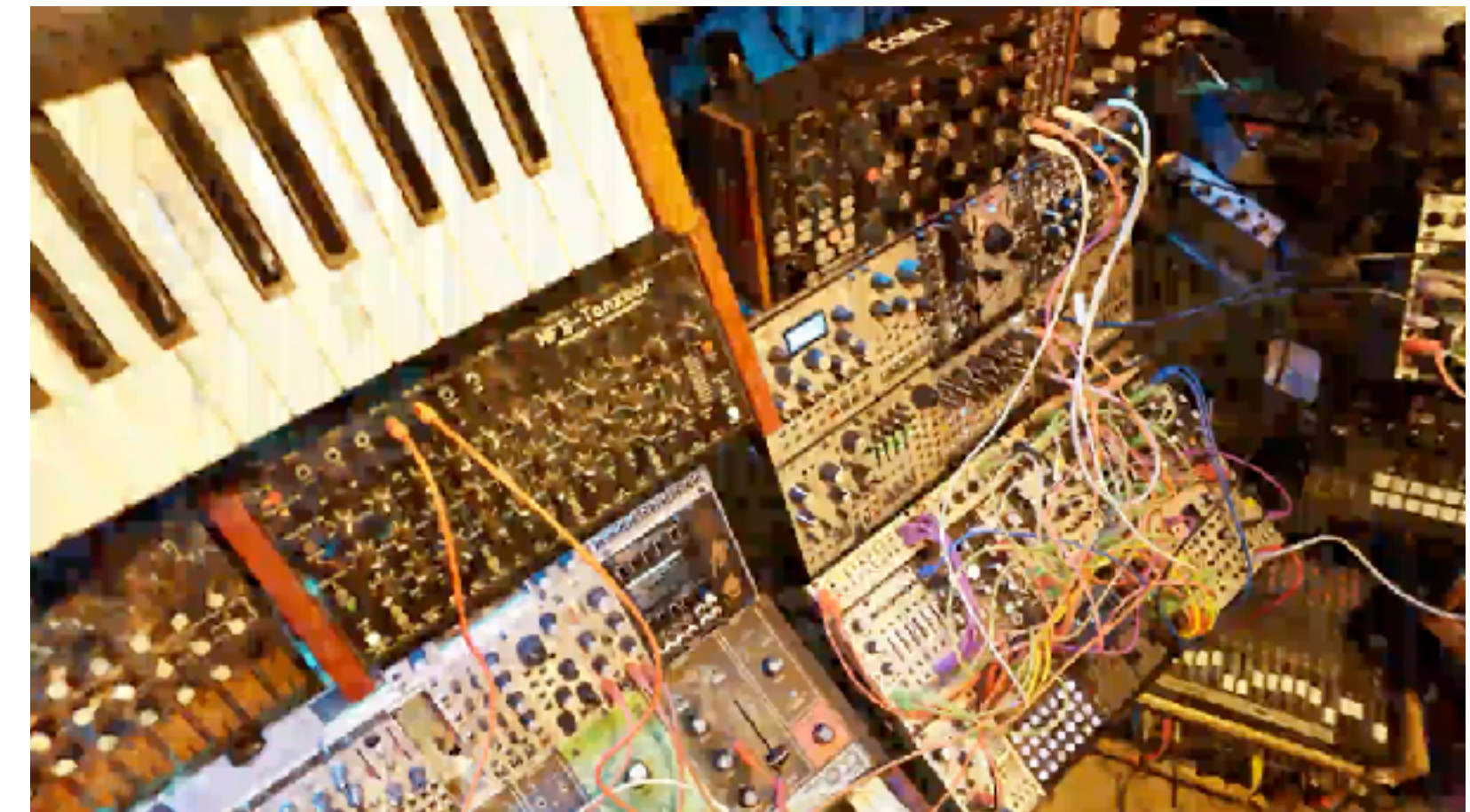
## Radiancia Mezők – Neural Radiance Field (NeRF)



NeRF [2020]

# Inverz Grafika

## Differenciálható Volume Rendering — Radiancia Mezők (NeRF)

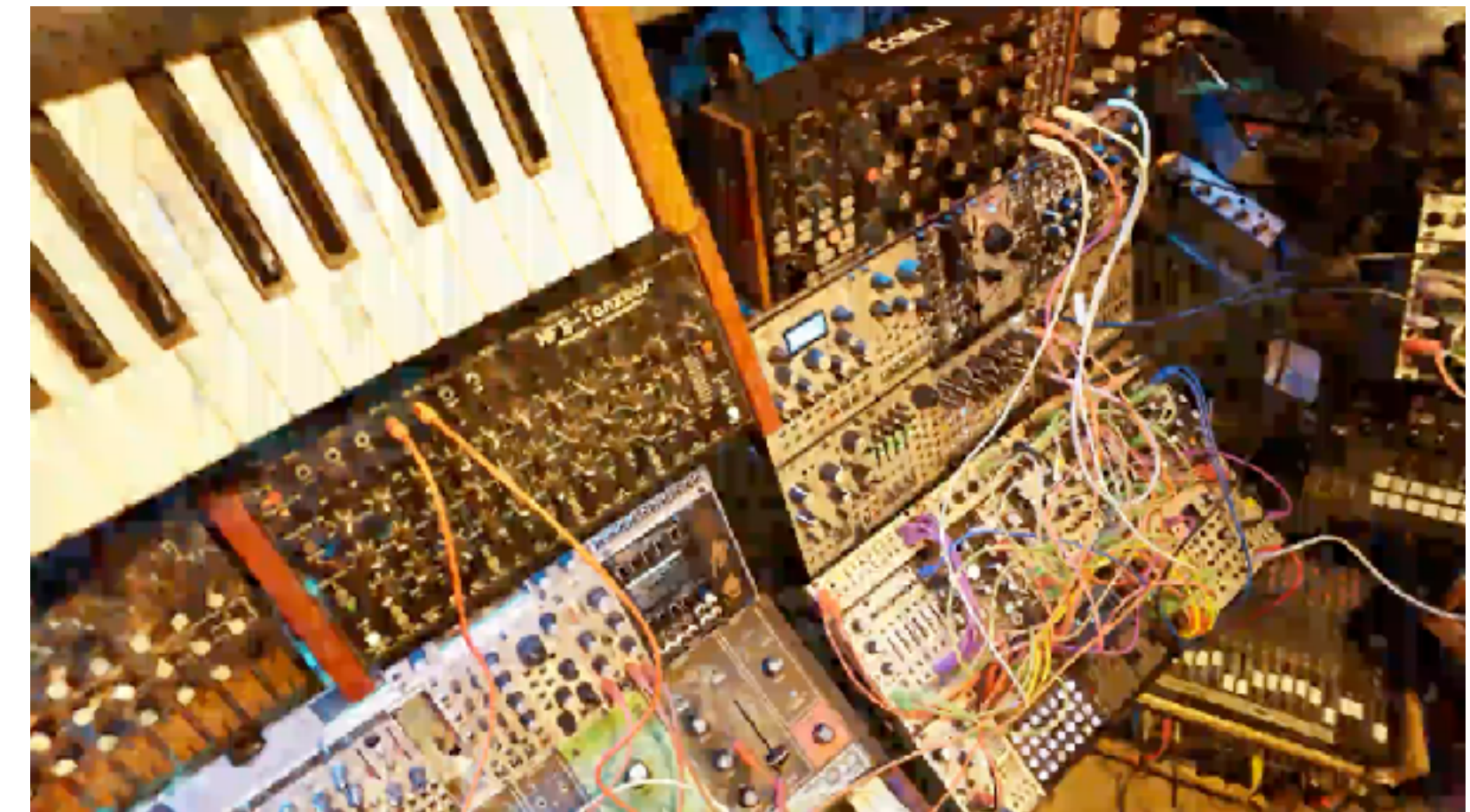


<https://nvlabs.github.io/instant-ngp/>

2020: 1-2 nap  
2022: 1-2 mp.!

# Inverz Grafika

## Differenciálható Volume Rendering — Radiancia Mezők (NeRF)



<https://nvlabs.github.io/instant-ngp/>

2020: 1-2 nap  
2022: 1-2 mp.!

# Inverz Grafika

## Differenciálható Volume Rendering — Radiancia Mezők (NeRF)



<https://jonbarron.info/zipnerf/>

# Inverz Grafika

## Differenciálható Volume Rendering — Radiancia Mezők (NeRF)



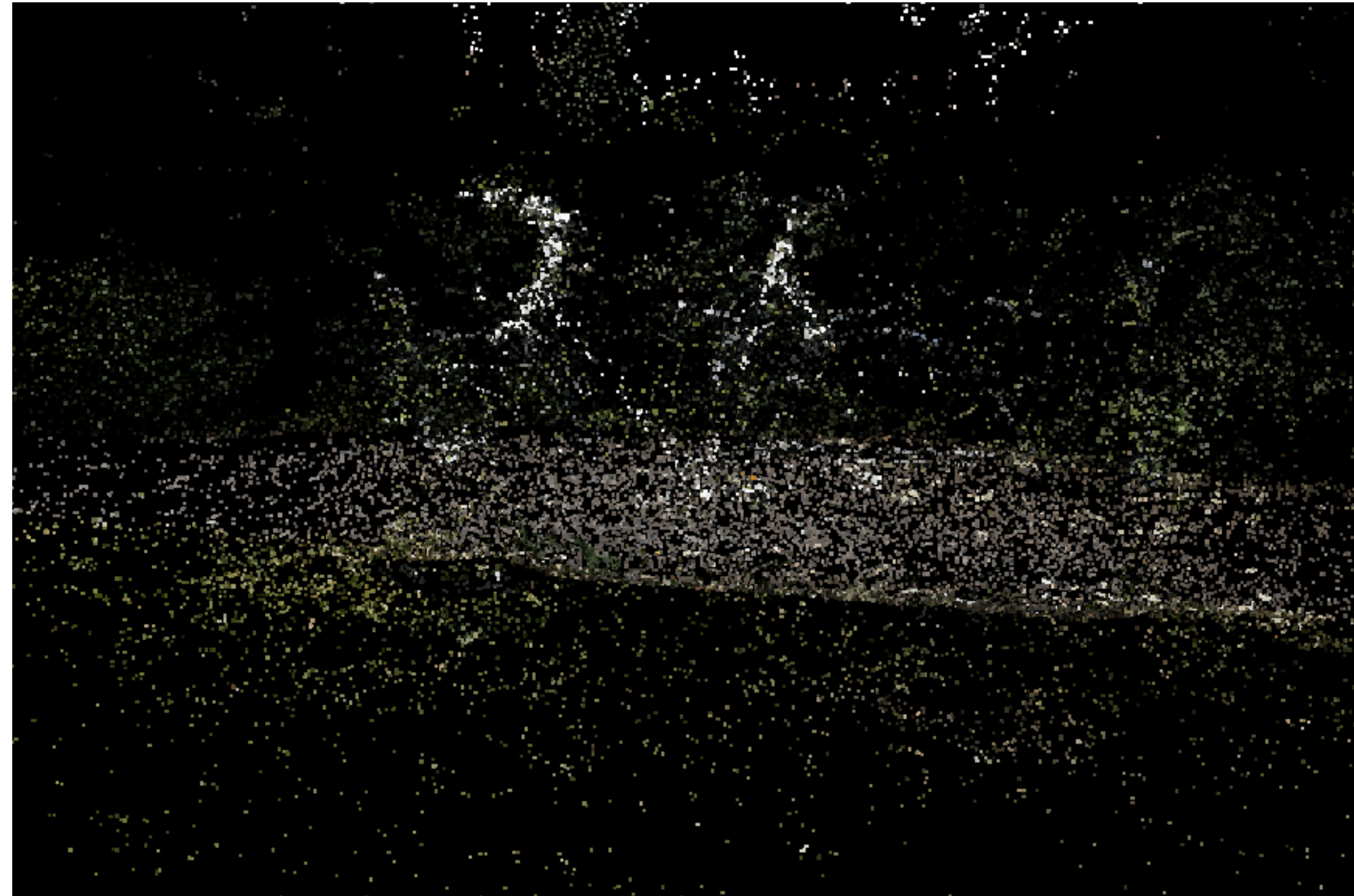
<https://jonbarron.info/zipnerf/>

# Inverz Grafika

## Radiancia Mezők – 3D Gaussian Splatting (3DGS)

# Inverz Grafika

## Radiancia Mezők – 3D Gaussian Splatting (3DGS)



Pontfelhő

# Inverz Grafika

## Radiancia Mezők – 3D Gaussian Splatting (3DGS)



Gauss Ellipszoidok

# Inverz Grafika

## Radiancia Mezők – 3D Gaussian Splatting (3DGS)



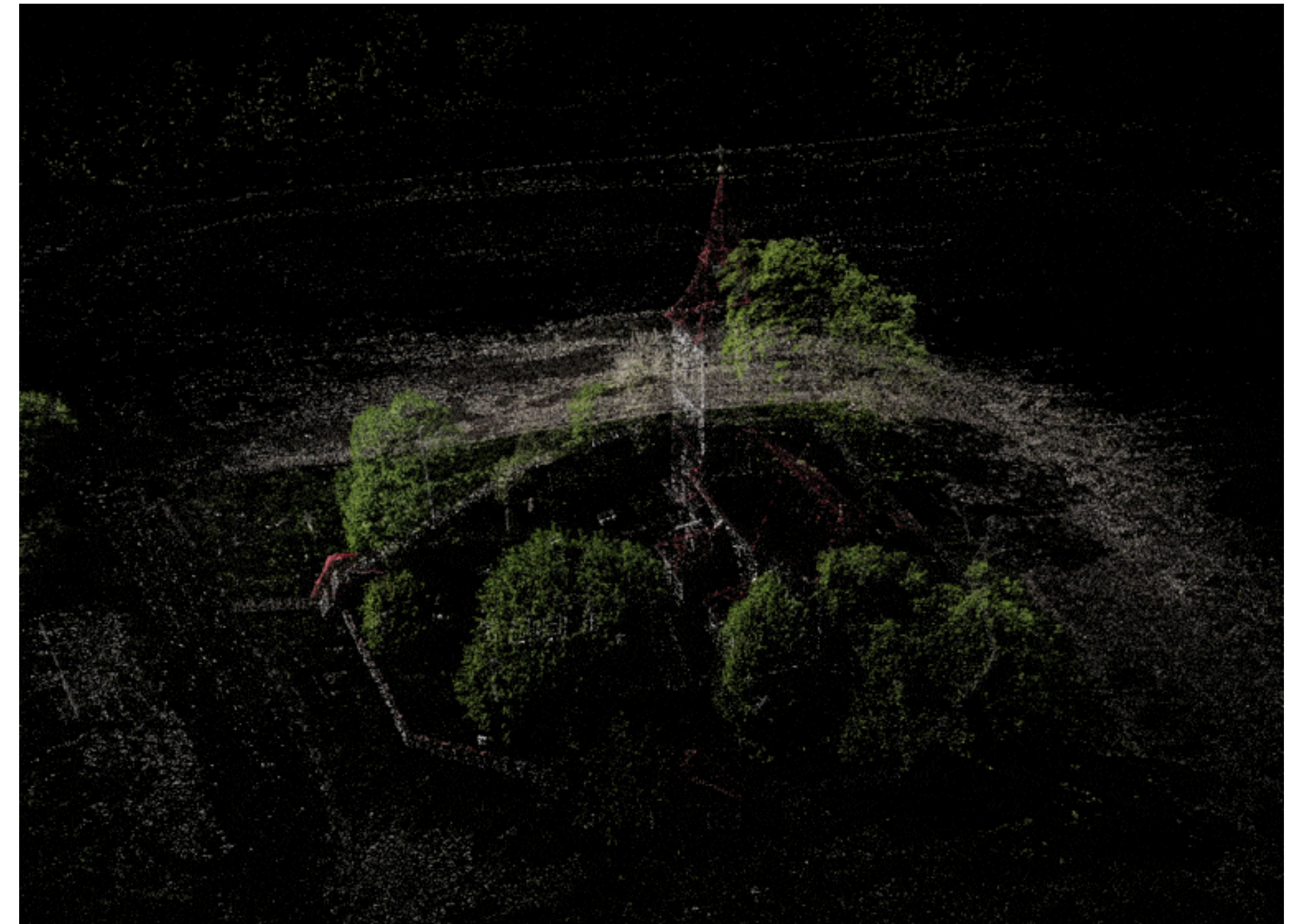
Raszterizált kép

# Inverz Grafika

## Radiancia Mezők – 3D Gaussian Splatting (3DGS)



Kerbl et al. [SIGGRAPH 2023]



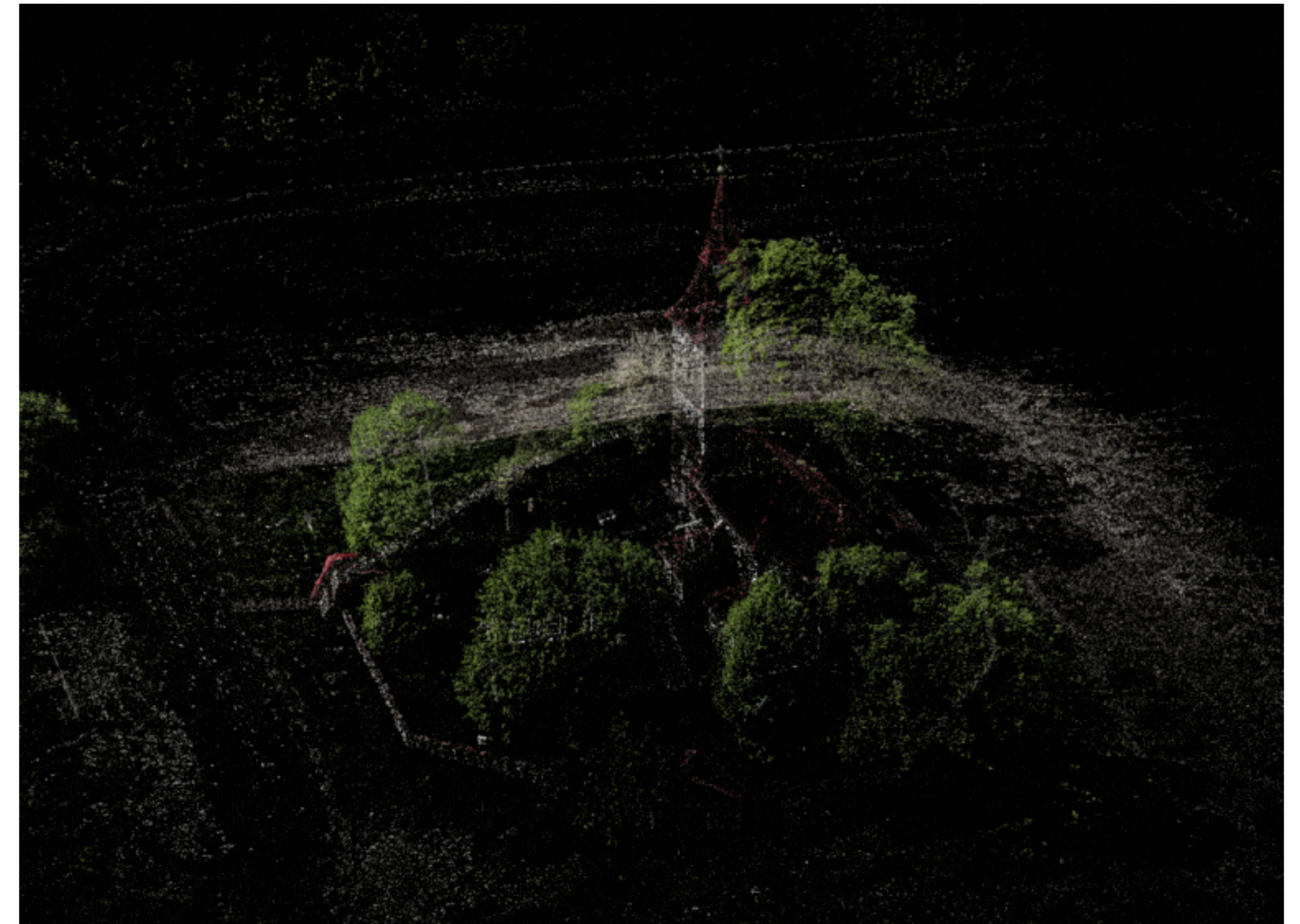
**Villámgyors (differenciálható) rendering (100+ FPS)!**  
**Bármilyen platformon könnyen implementálható!**

# Inverz Grafika

## Radiancia Mezők – 3D Gaussian Splatting (3DGS)



Kerbl et al. [SIGGRAPH 2023]



Villámgyors (differenciálható) rendering (100+ FPS)!  
Bármilyen platformon könnyen implementálható!

# Inverz Grafika

## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Példák



<https://superspl.at/view?id=4454e2c9>



<https://superspl.at/view?id=5c0f892e>



<https://superspl.at/view?id=c67edb74>



<https://superspl.at/view?id=f44ad5f8>



[https://vincentwoo.com/3d/sutro\\_tower/](https://vincentwoo.com/3d/sutro_tower/)



<https://superspl.at/view?id=cf6ac78e>

# Inverz Grafika

## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Alkalmazások



Nucleus4D



Project Aria [Meta]

“Digitális Iker”

# Inverz Grafika

## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Alkalmazások



Nucleus4D

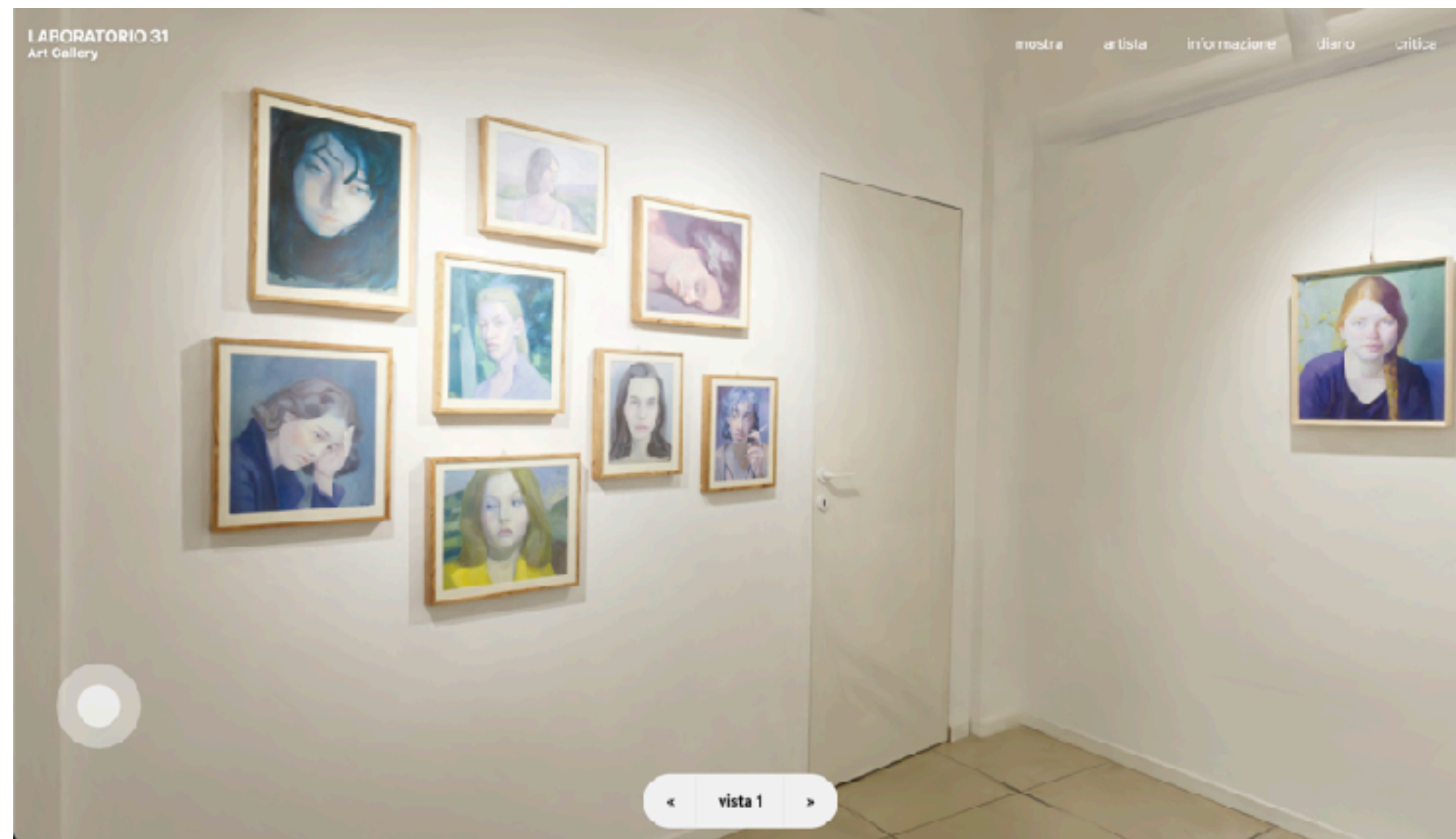


Project Aria [Meta]

“Digitális Iker”

# Inverz Grafika

## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Alkalmazások



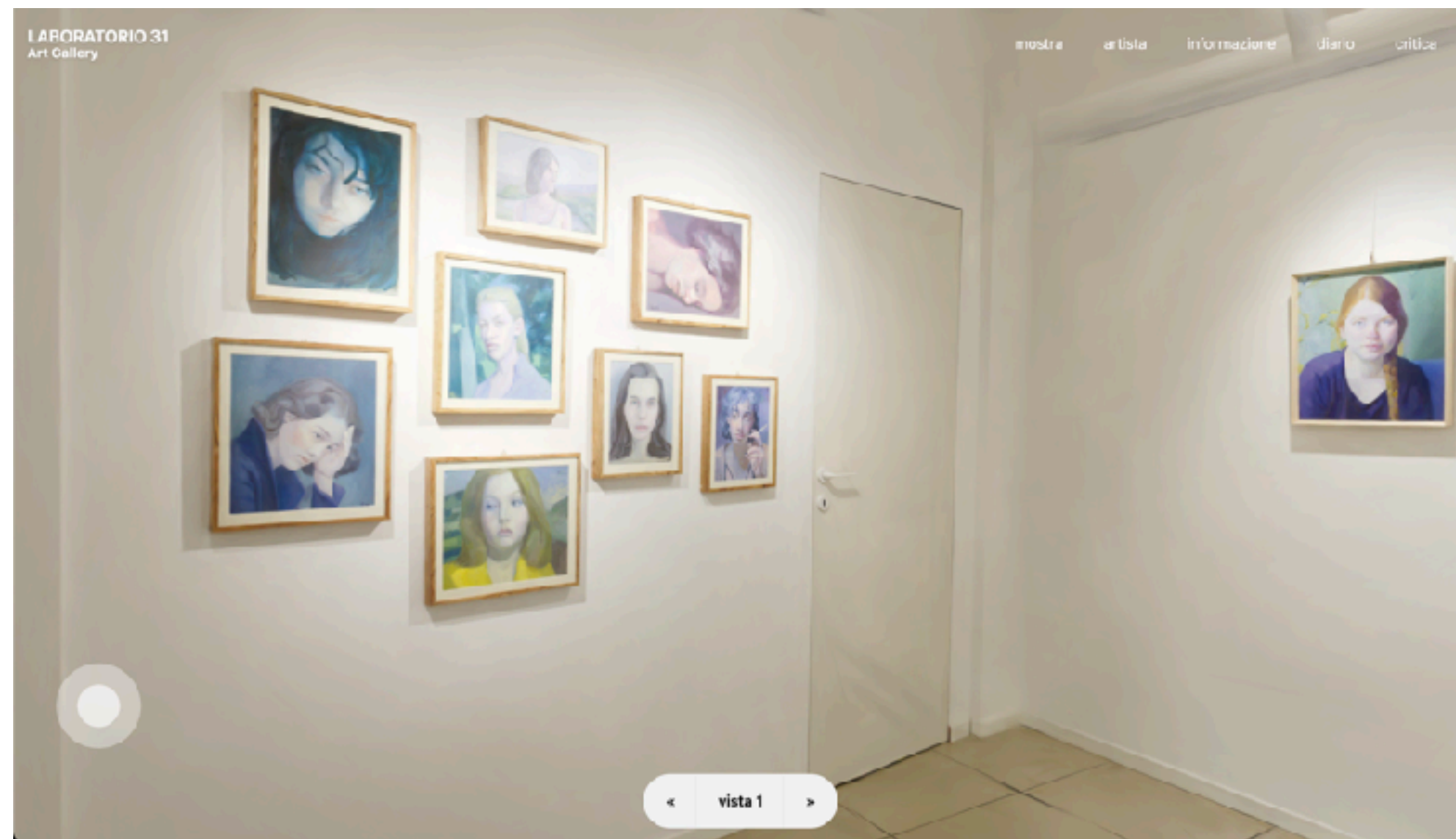
Virtuális Galéria



Dune: Prophecy

# Inverz Grafika

## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Alkalmazások



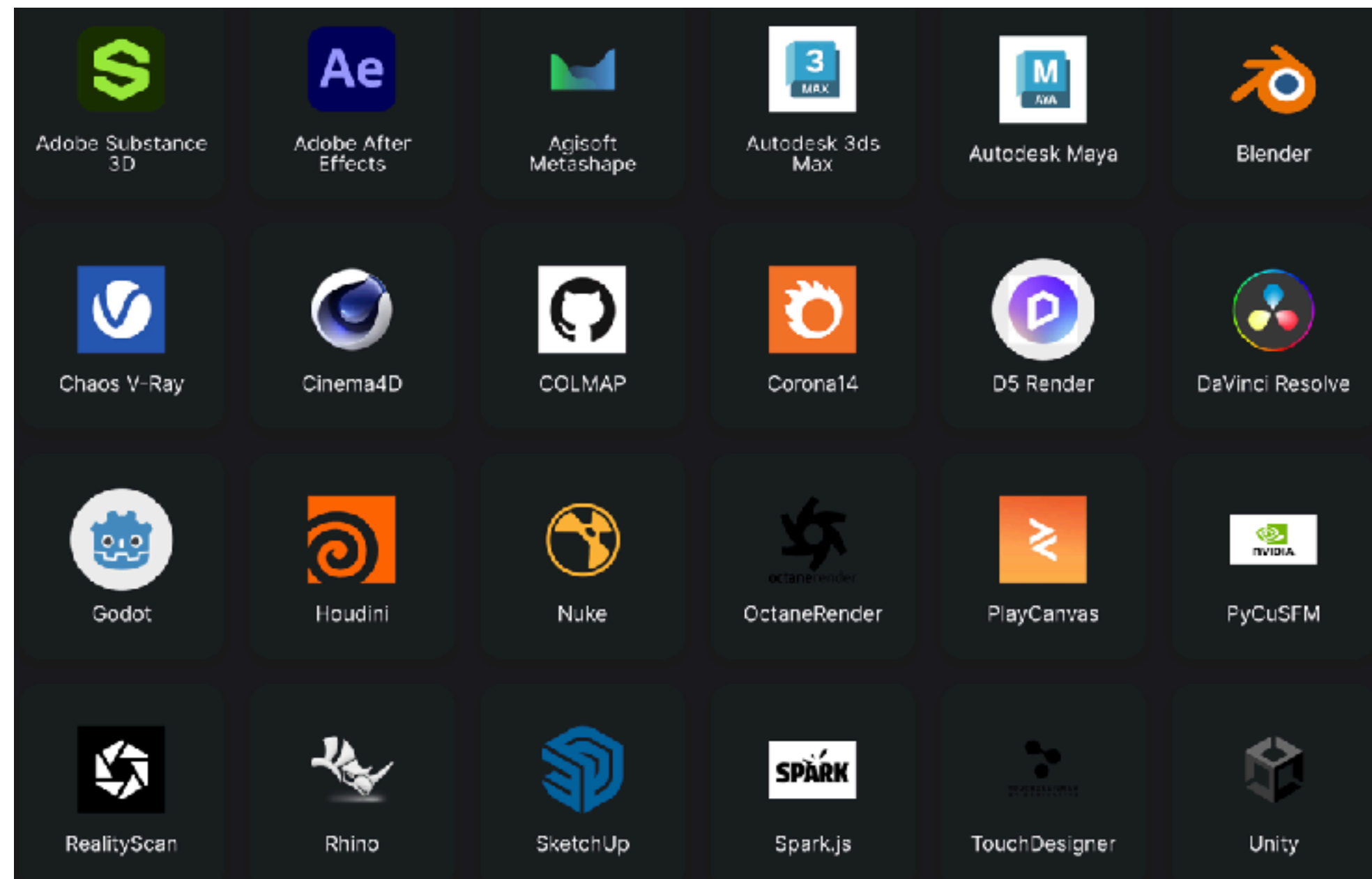
Virtuális Galéria



Dune: Prophecy

# Inverz Grafika

## 3D Gaussian Splatting (3DGS)



<https://radiancefields.com/3d-gaussian-splatting-engine-support>

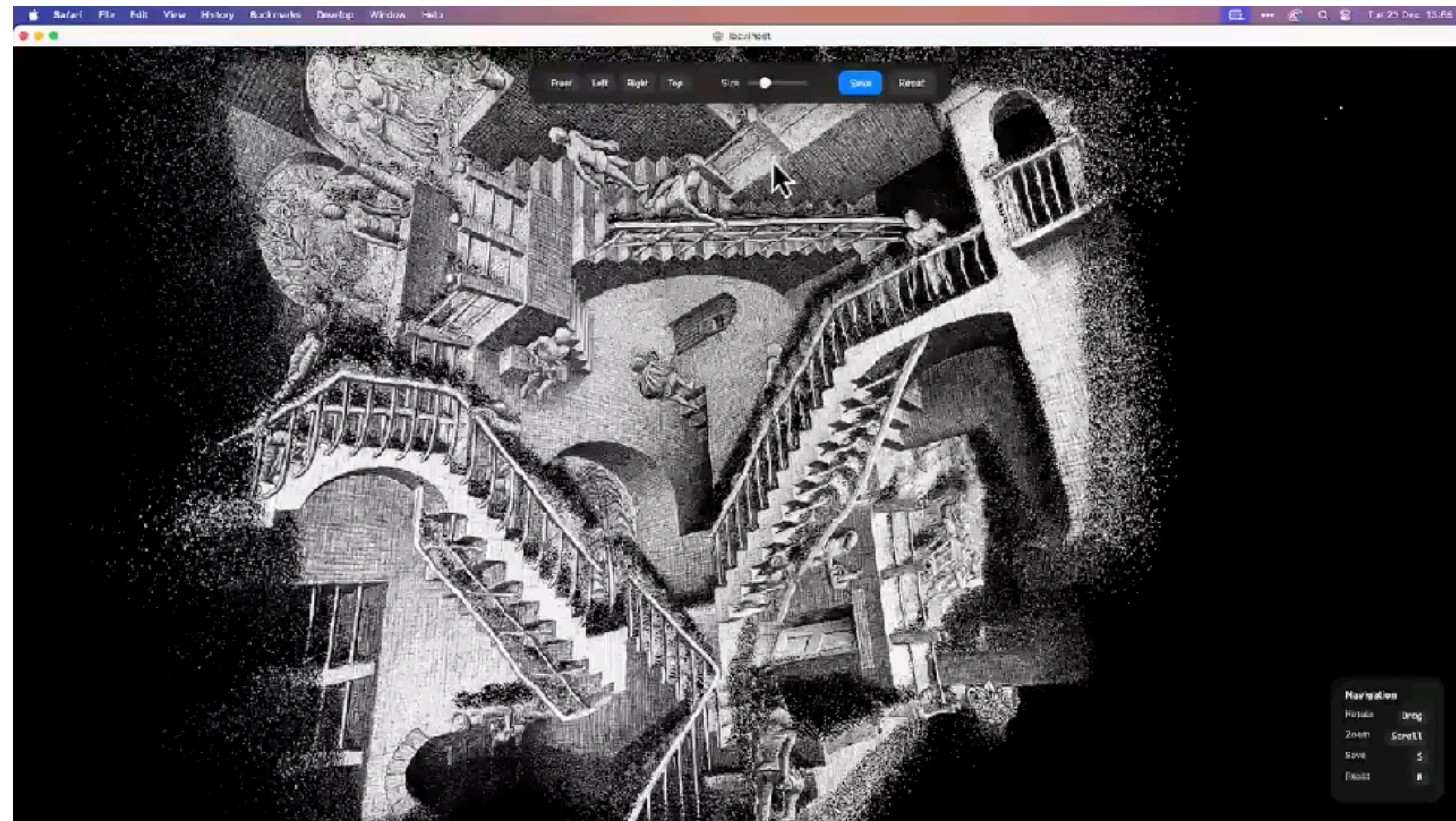


<https://www.khronos.org/blog/khronos-ogc-and-geospatial-leaders-add-3d-gaussian-splats-to-the-glTF-asset-standard>

2023-26: Alap kutatásból ipari szabvány!

# Inverz Grafika

## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Elég egyetlen kép?

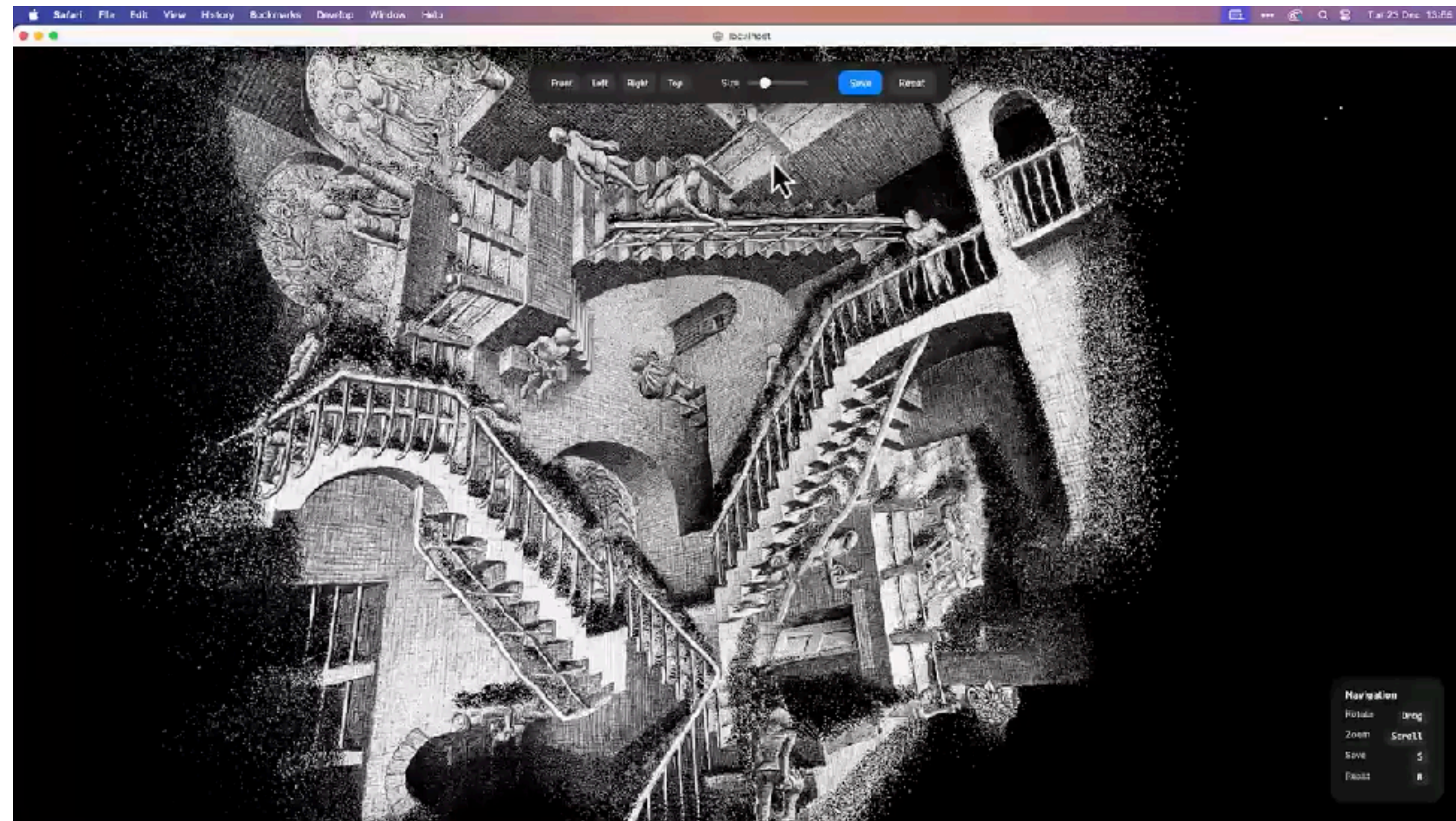


Forrás: [LinkedIn](#)



# Inverz Grafika

## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Elég egyetlen kép?

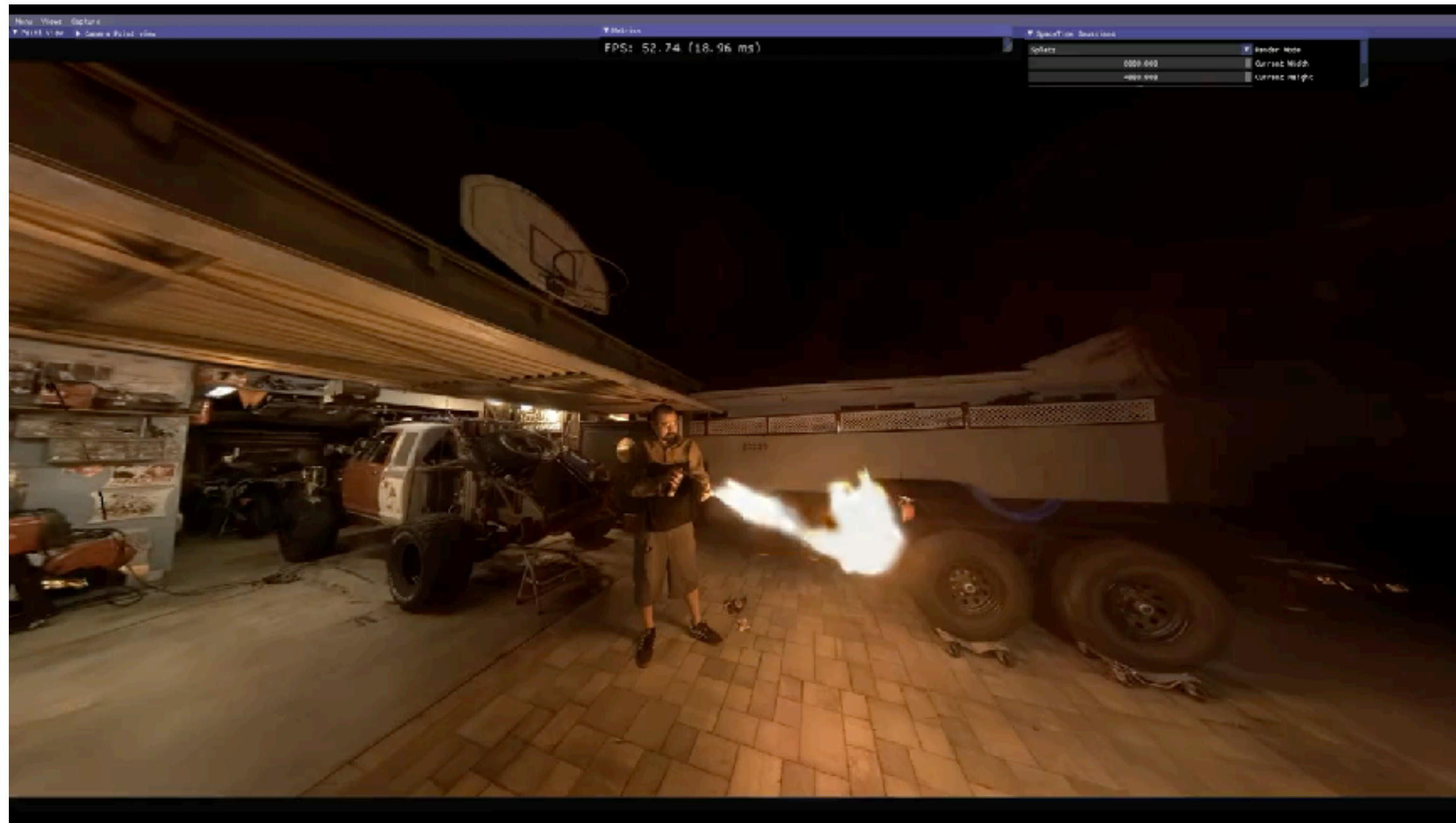


Forrás: [LinkedIn](#)



# Inverz Grafika

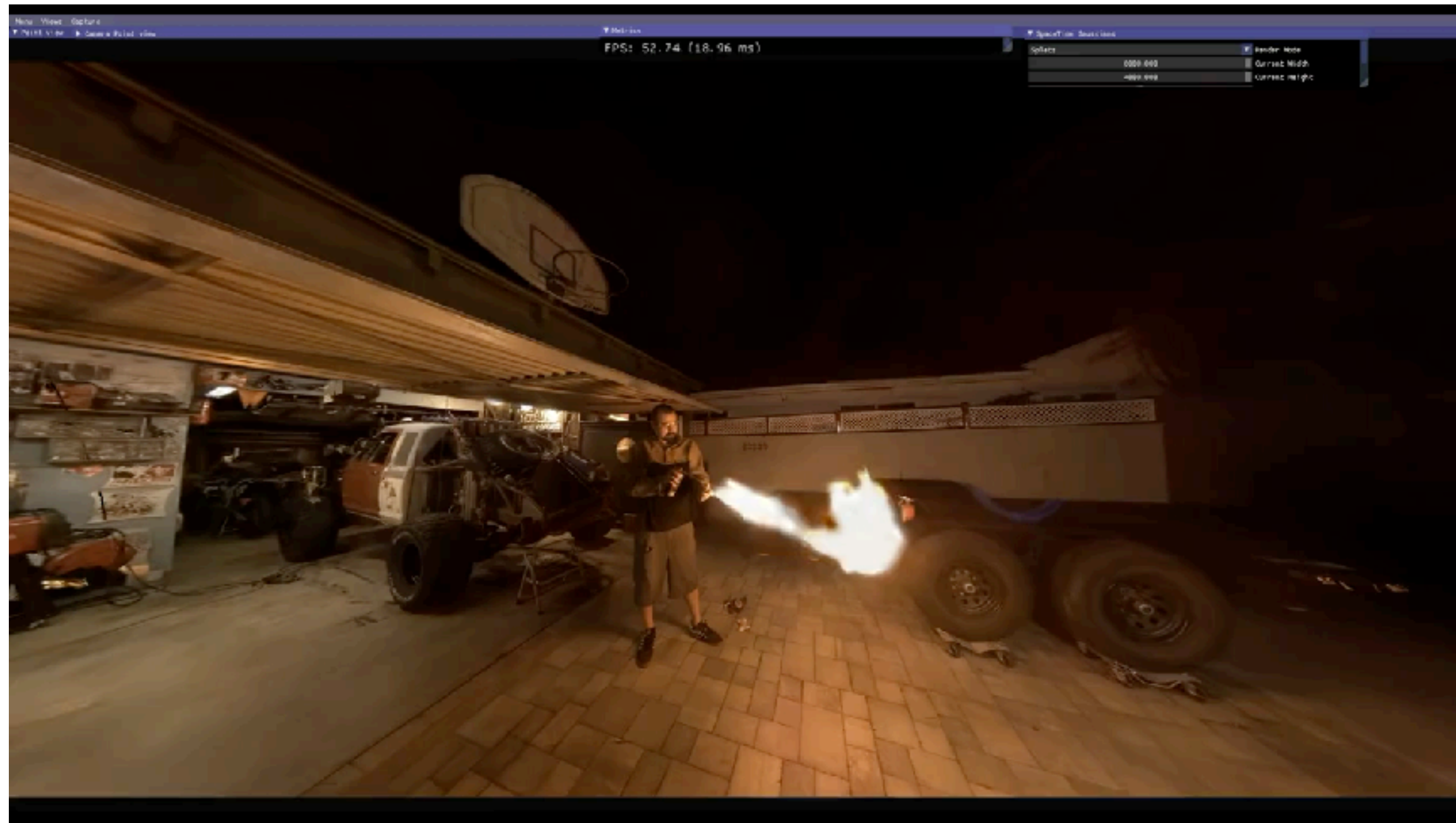
## 4D Gaussian Splatting (4DGS) – Volumetrikus Videó



<https://www.4dv.ai/>

# Inverz Grafika

## 4D Gaussian Splatting (4DGS) – Volumetrikus Videó



<https://www.4dv.ai/>

# Inverz Grafika

## 4D Gaussian Splatting (4DGS) – Alkalmazások



Videóklippek



Mozifilmek



Sportközvetítések



# Inverz Grafika

## 4D Gaussian Splatting (4DGS) – Alkalmazások



Videóklippek



Mozifilmek



Sportközvetítések



# Inverz Grafika

## 4D Gaussian Splatting (4DGS) – Alkalmazások



Videóklippek



Mozifilmek



Sportközvetítések



# Inverz Grafika

## 4D Gaussian Splatting (4DGS) – Alkalmazások



Videóklippek



Mozifilmek



Sportközvetítések



# Inverz Grafika

## 4D Gaussian Splatting (4DGS) – Alkalmazások



Videóklippek



Mozifilmek

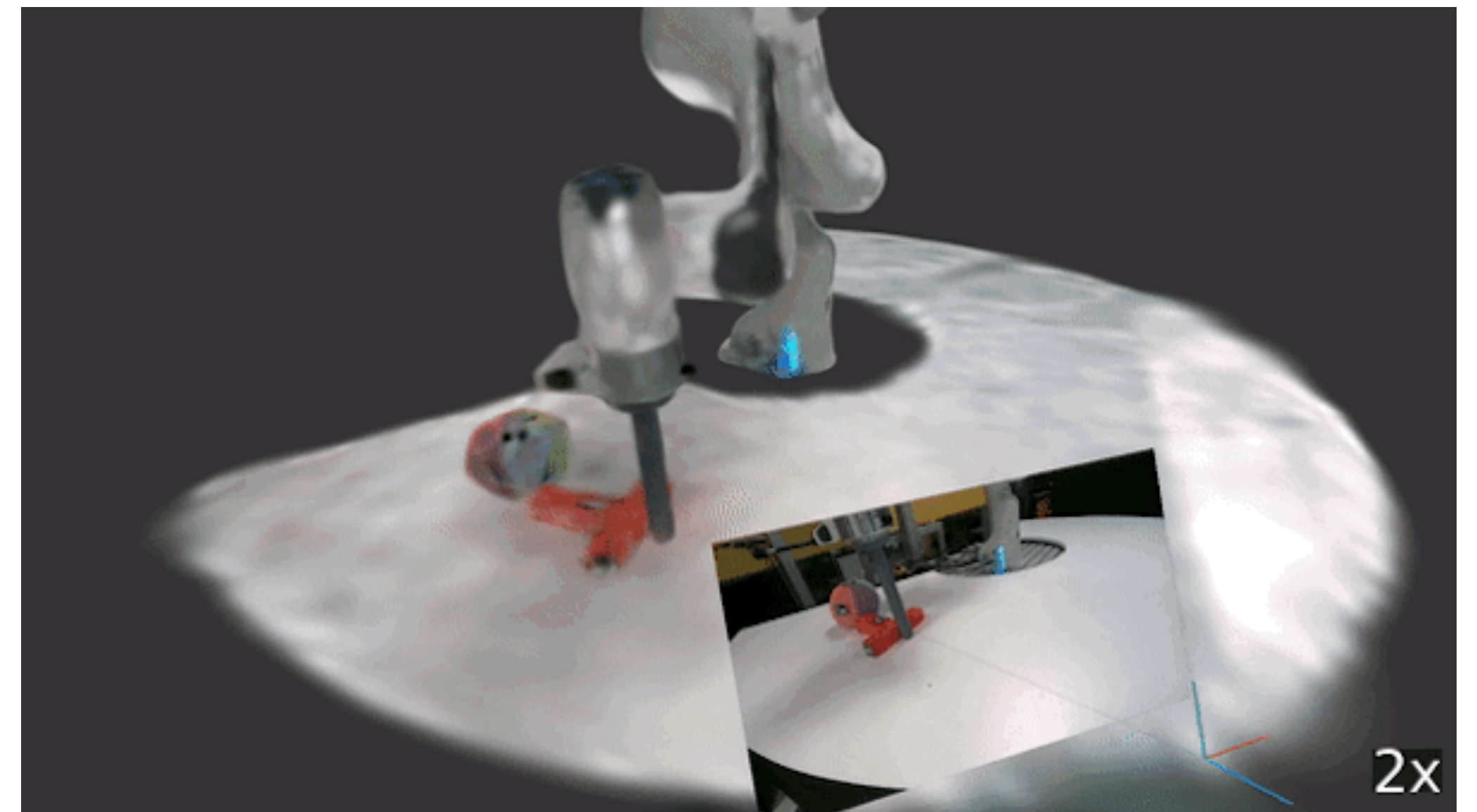
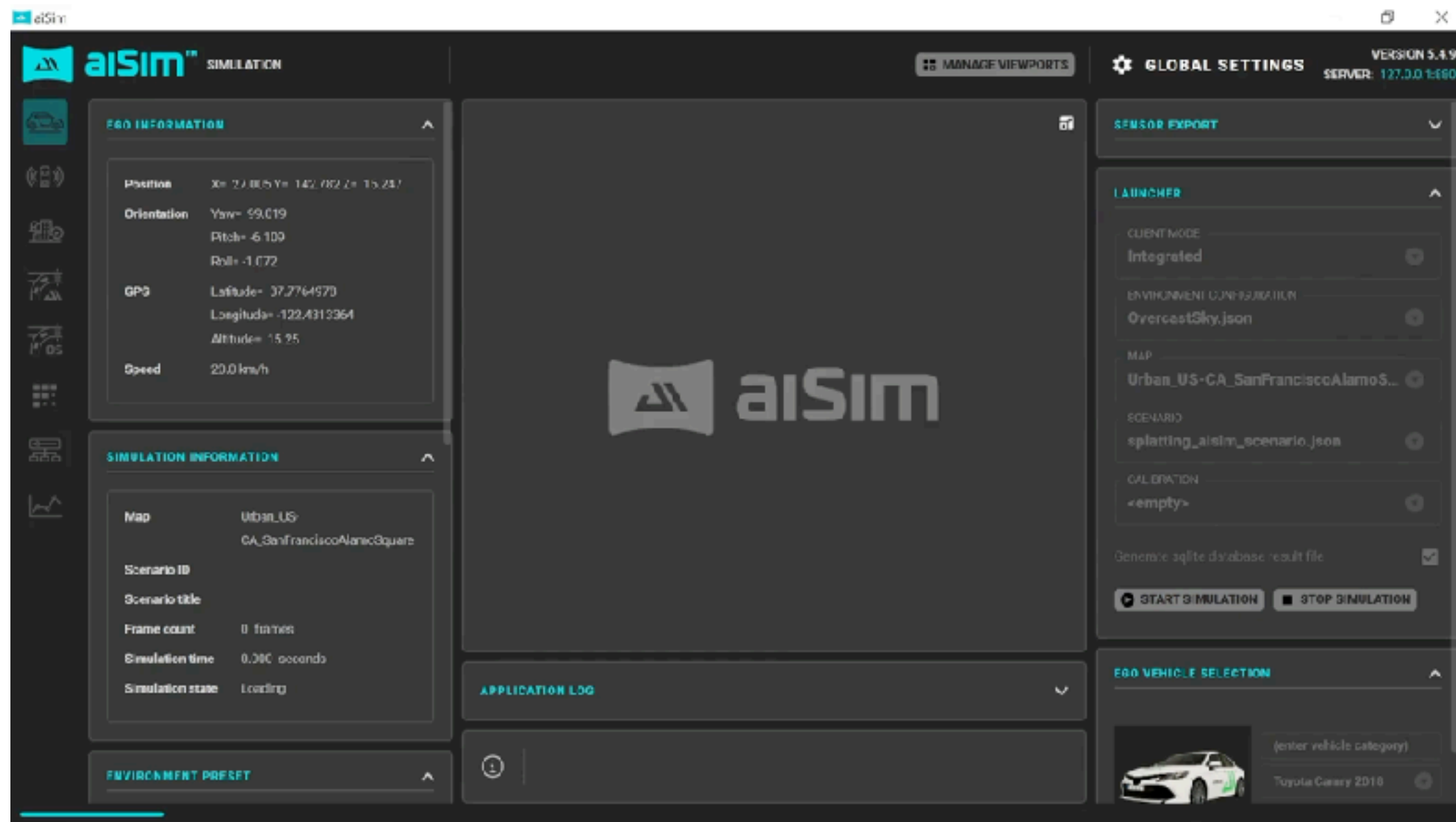


Sportközvetítések



# Inverz Grafika

## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Egyéb Alkalmazások

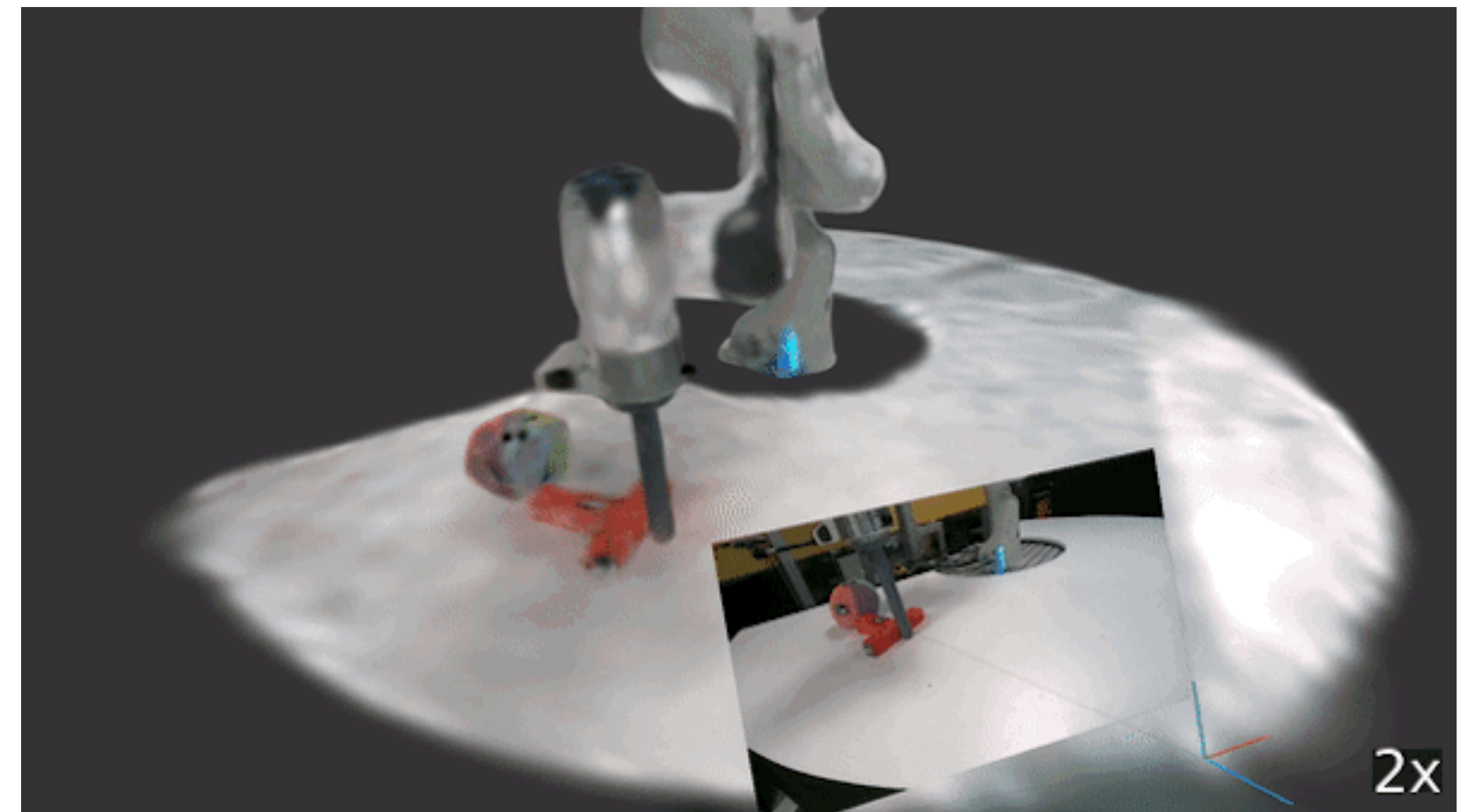
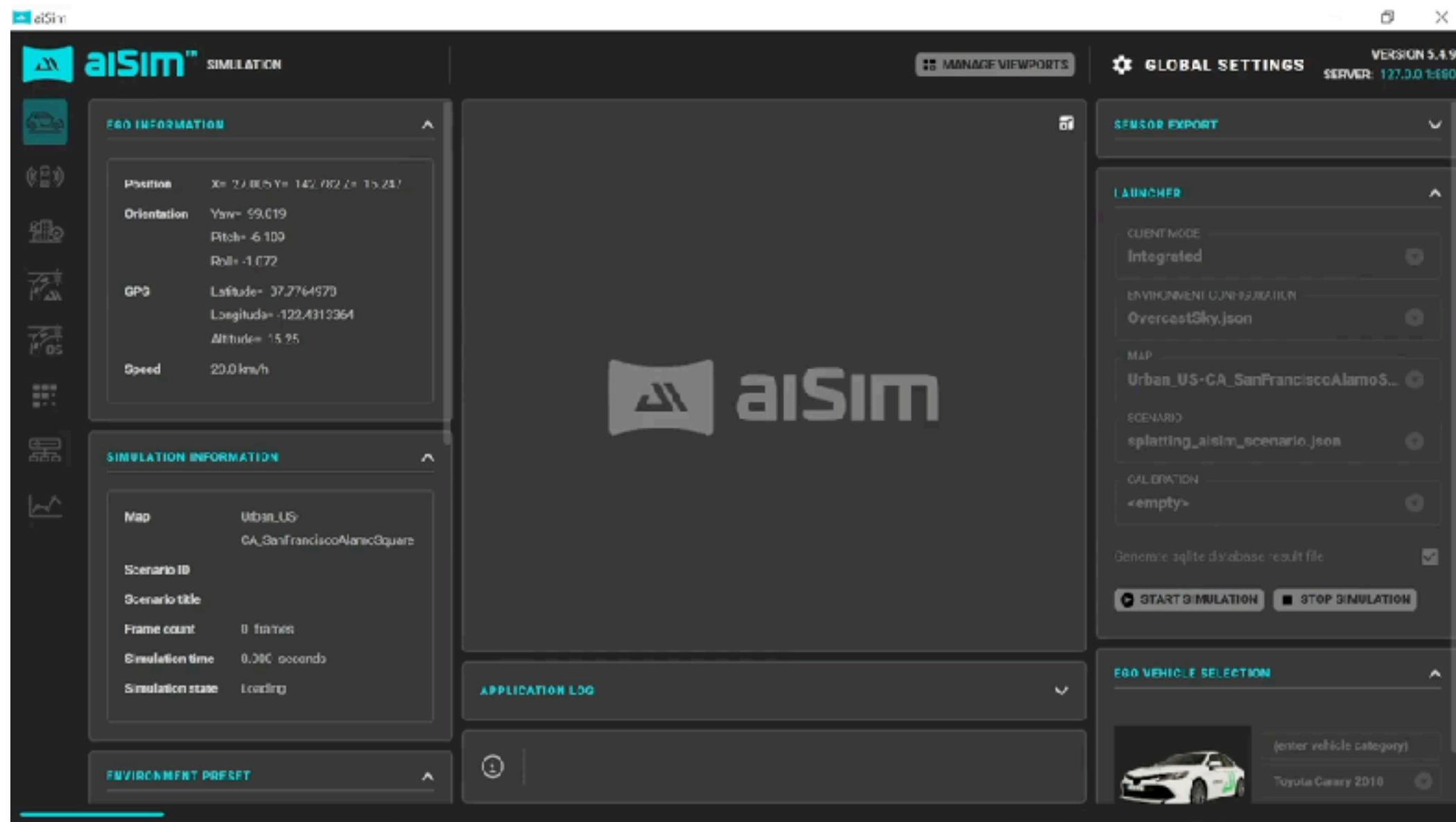


<https://embodied-gaussians.github.io/>

Szimuláció – önvezető járművek, robotika, stb.

# Inverz Grafika

## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Egyéb Alkalmazások

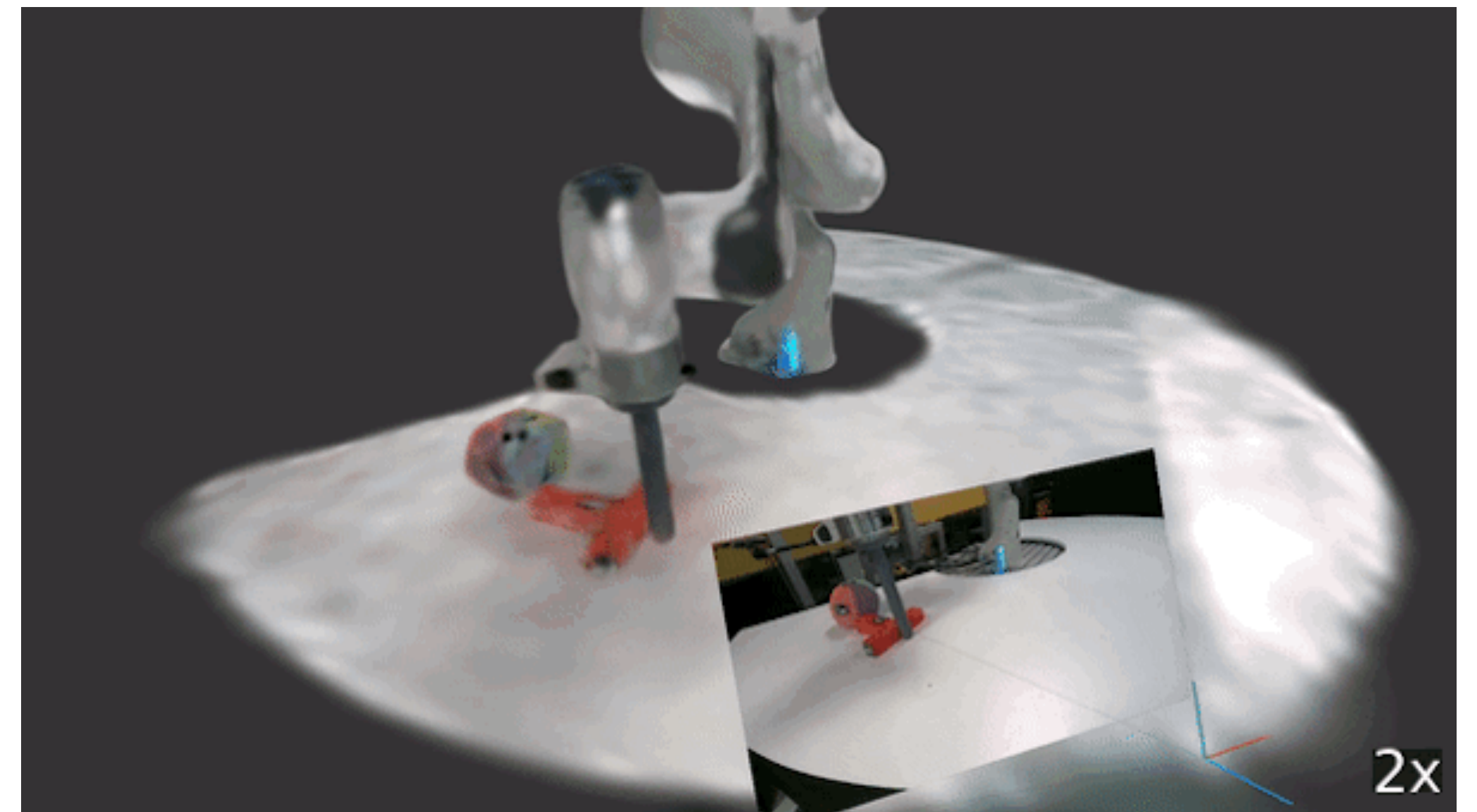
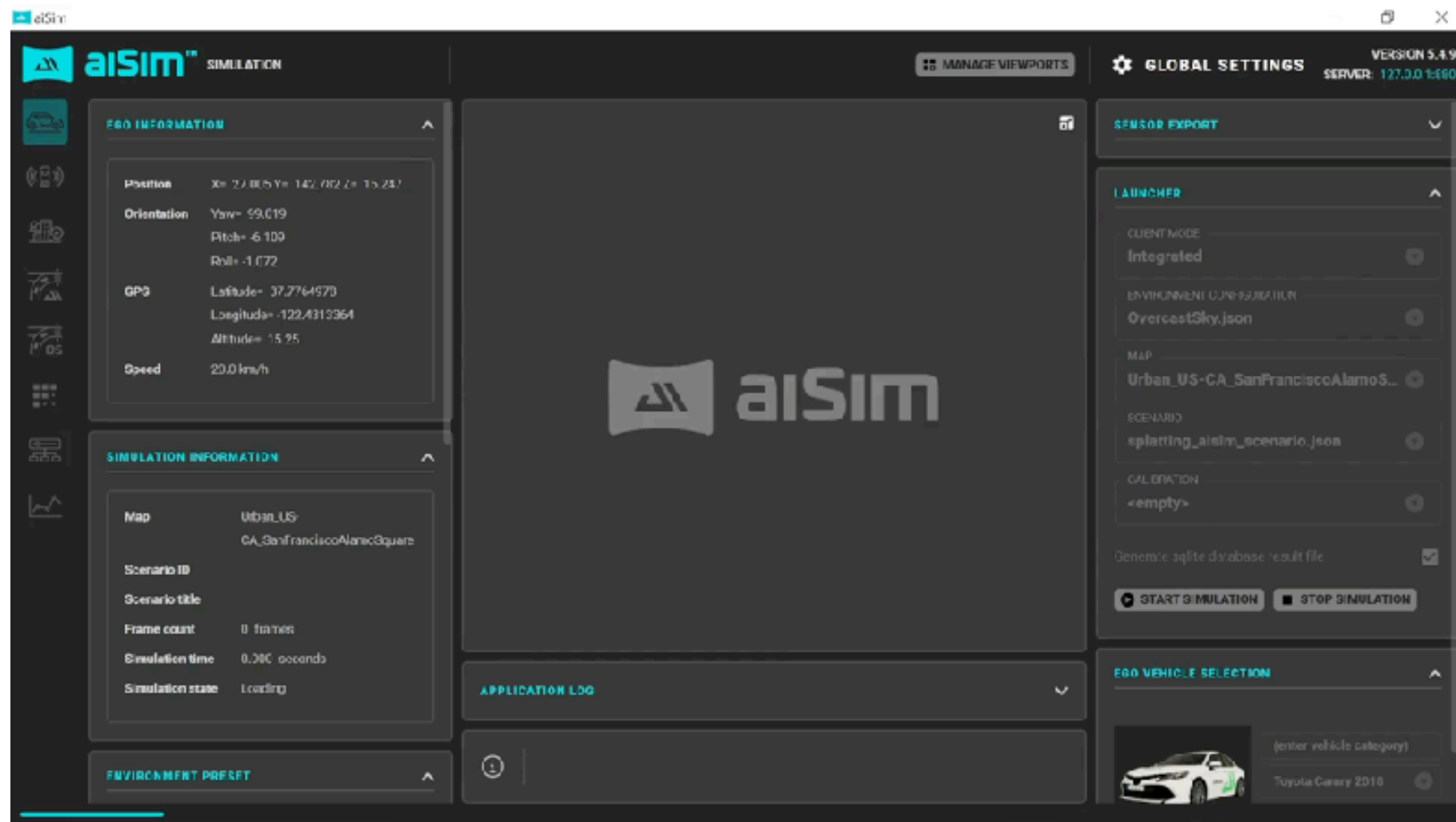


<https://embodied-gaussians.github.io/>

Szimuláció – önvezető járművek, robotika, stb.

# Inverz Grafika

## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Egyéb Alkalmazások



<https://embodied-gaussians.github.io/>

Szimuláció – önvezető járművek, robotika, stb.

# Inverz Grafika

## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Egyéb Alkalmazások



Gaussin Splatting SLAM



Depth Anything 3

### Valós idejű térképezés / lokalizáció (SLAM)

# Inverz Grafika

## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Egyéb Alkalmazások



Gaussin Splatting SLAM



Depth Anything 3

### Valós idejű térképezés / lokalizáció (SLAM)

# Inverz Grafika

## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Egyéb Alkalmazások



Gaussin Splatting SLAM

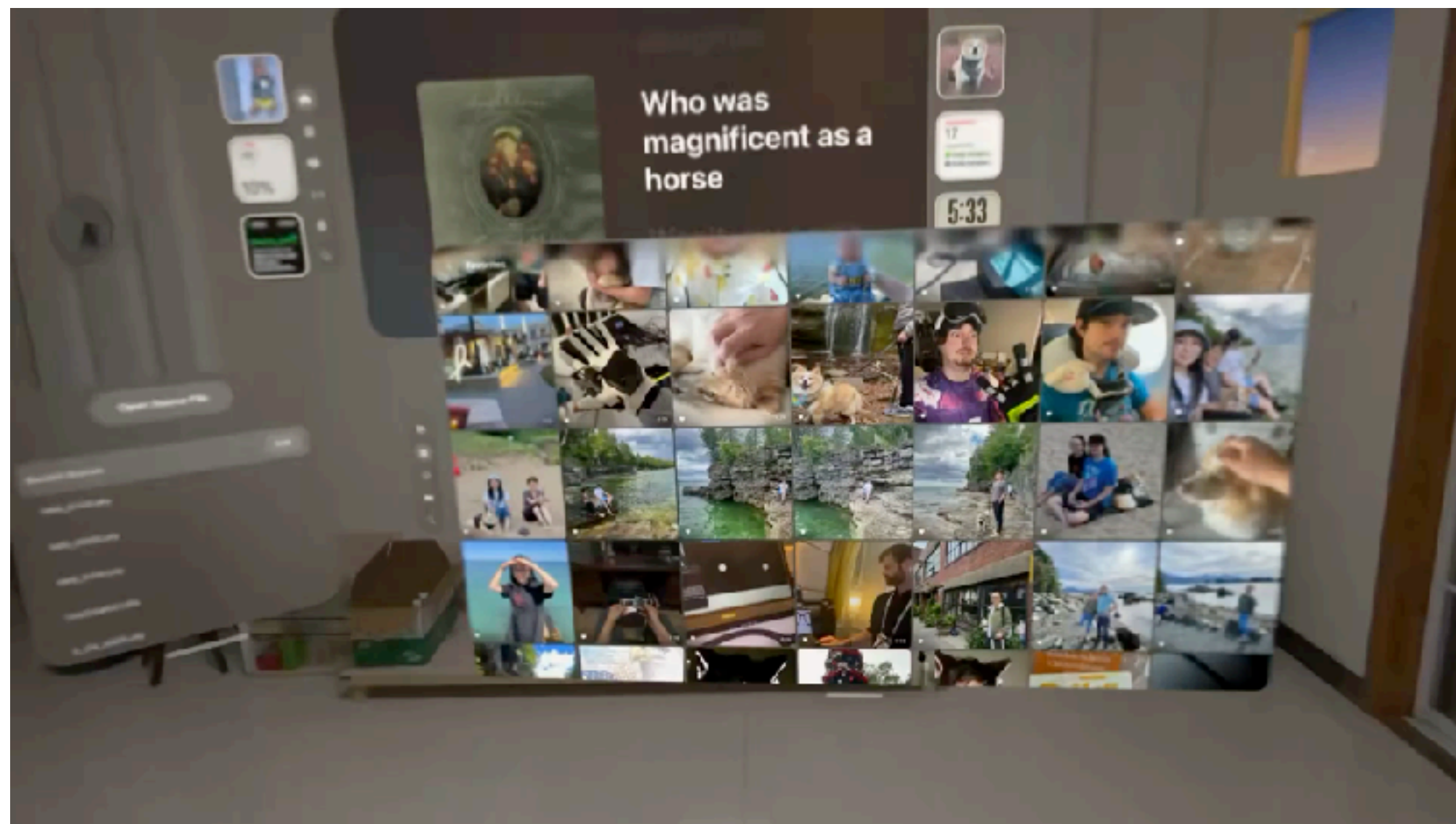


Depth Anything 3

### Valós idejű térképezés / lokalizáció (SLAM)

# Inverz Grafika

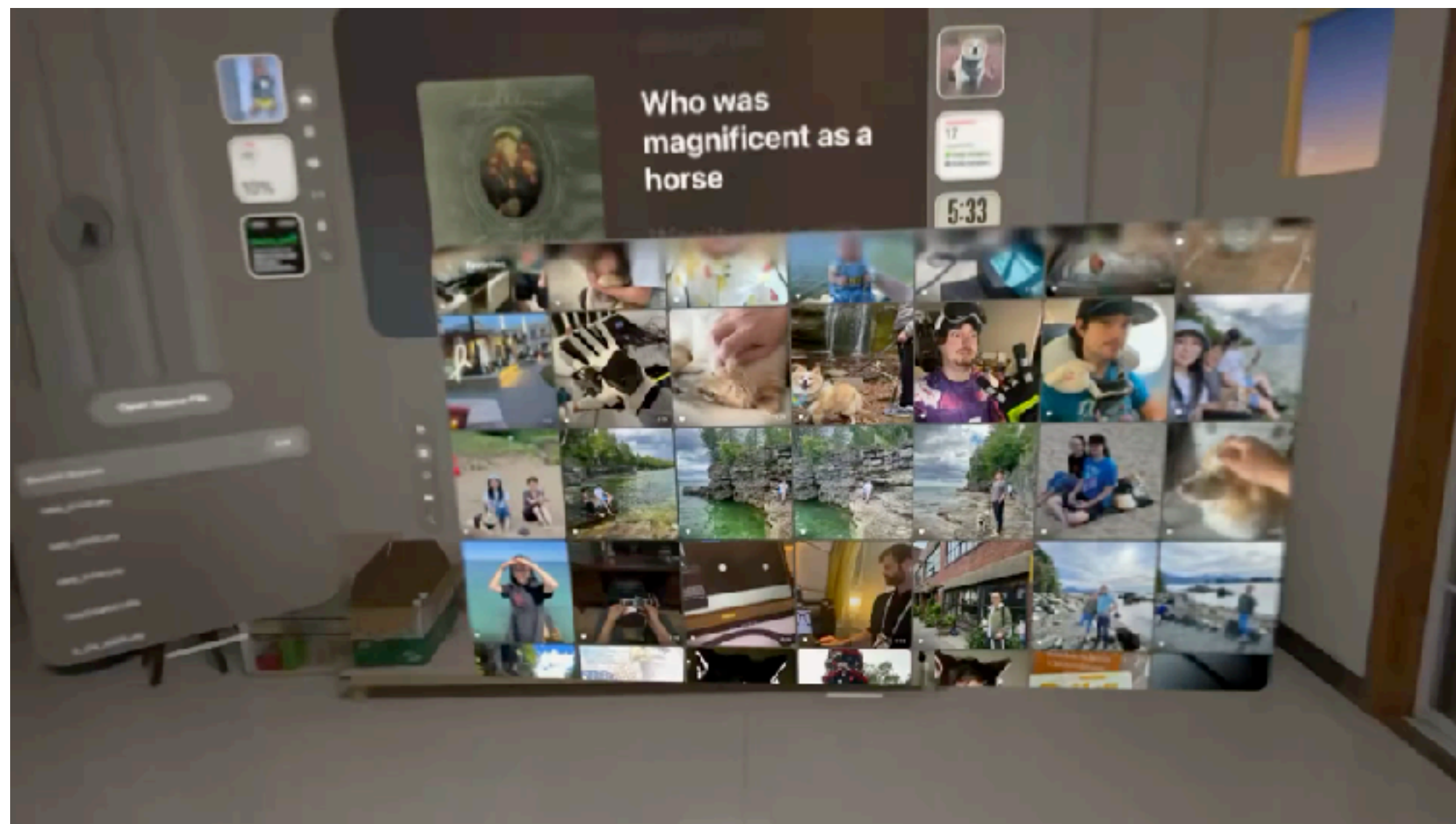
## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Egyéb Alkalmazások



### Virtual Reality (VR)

# Inverz Grafika

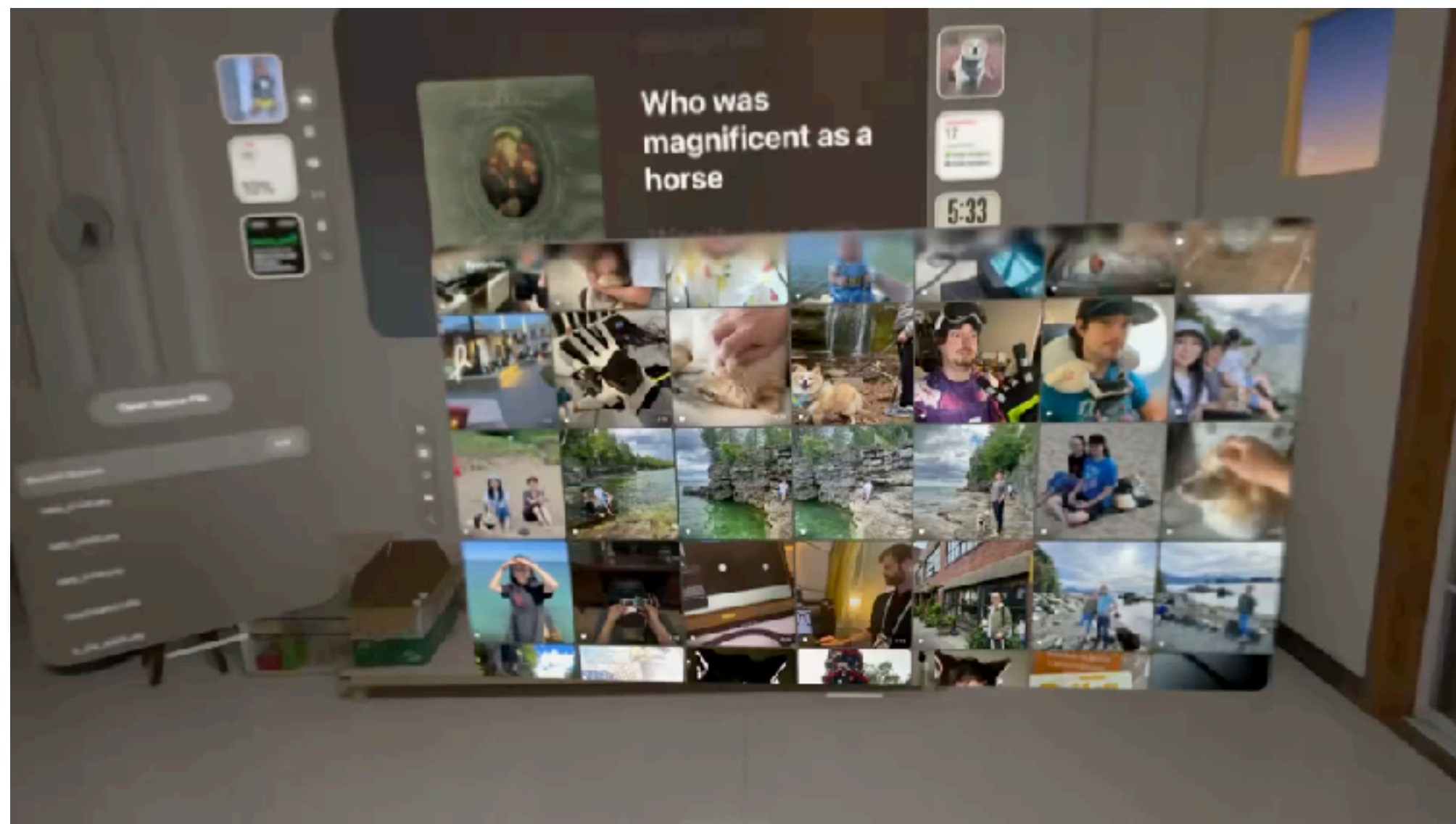
## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Egyéb Alkalmazások



### Virtual Reality (VR)

# Inverz Grafika

## 3D Gaussian Splatting (3DGS) – Egyéb Alkalmazások



Virtual Reality (VR)

# A 3D Generálás Jövője?

“Világmodellek” – Interaktív 3DGS generálás



<https://marble.worldlabs.ai/>



# A 3D Generálás Jövője?

“Világmodellek” – Interaktív 3DGS generálás



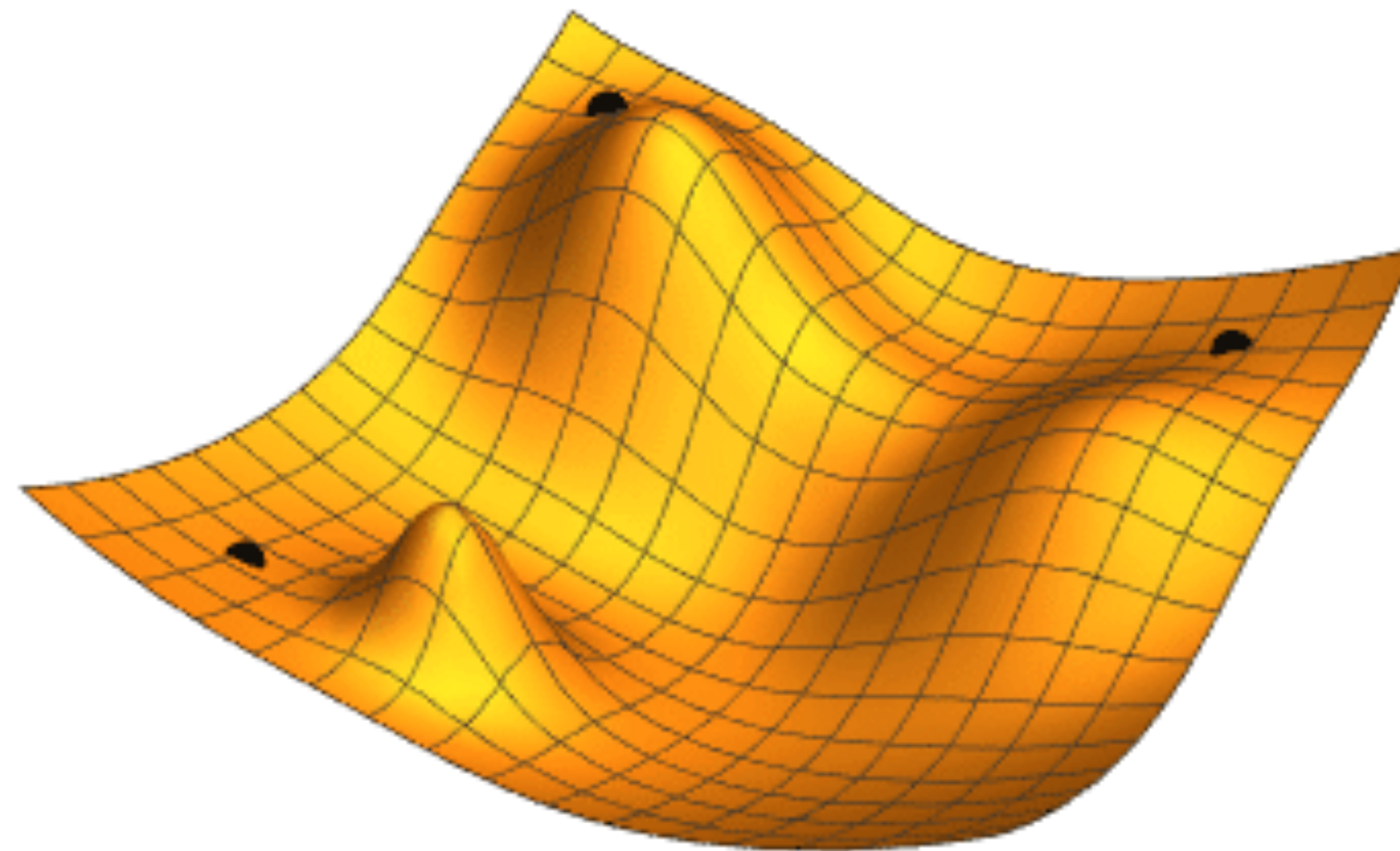
<https://marble.worldlabs.ai/>



# Következő előadás:

## Optimalizáció és automatikus differenciálás

- Optimalizációs feladat fogalma
- Optimalizációs módszerek
- Automatikus differenciálás



# Következő előadás:

## Optimalizáció és automatikus differenciálás

- Optimalizációs feladat fogalma
- Optimalizációs módszerek
- Automatikus differenciálás

