

200

lat  
Politechniki  
Warszawskiej

# Immersyjna wizualizacja 3D Marsa w silniku gier Unreal

Projekt MarsVR: Integracja wielorozdzielczych danych z wykorzystaniem silnika gier

Milosz Gnat, Robert Olszewski | Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska



MARS IS THERE  
WAITING TO  BE REACHED

Buzz Aldrin

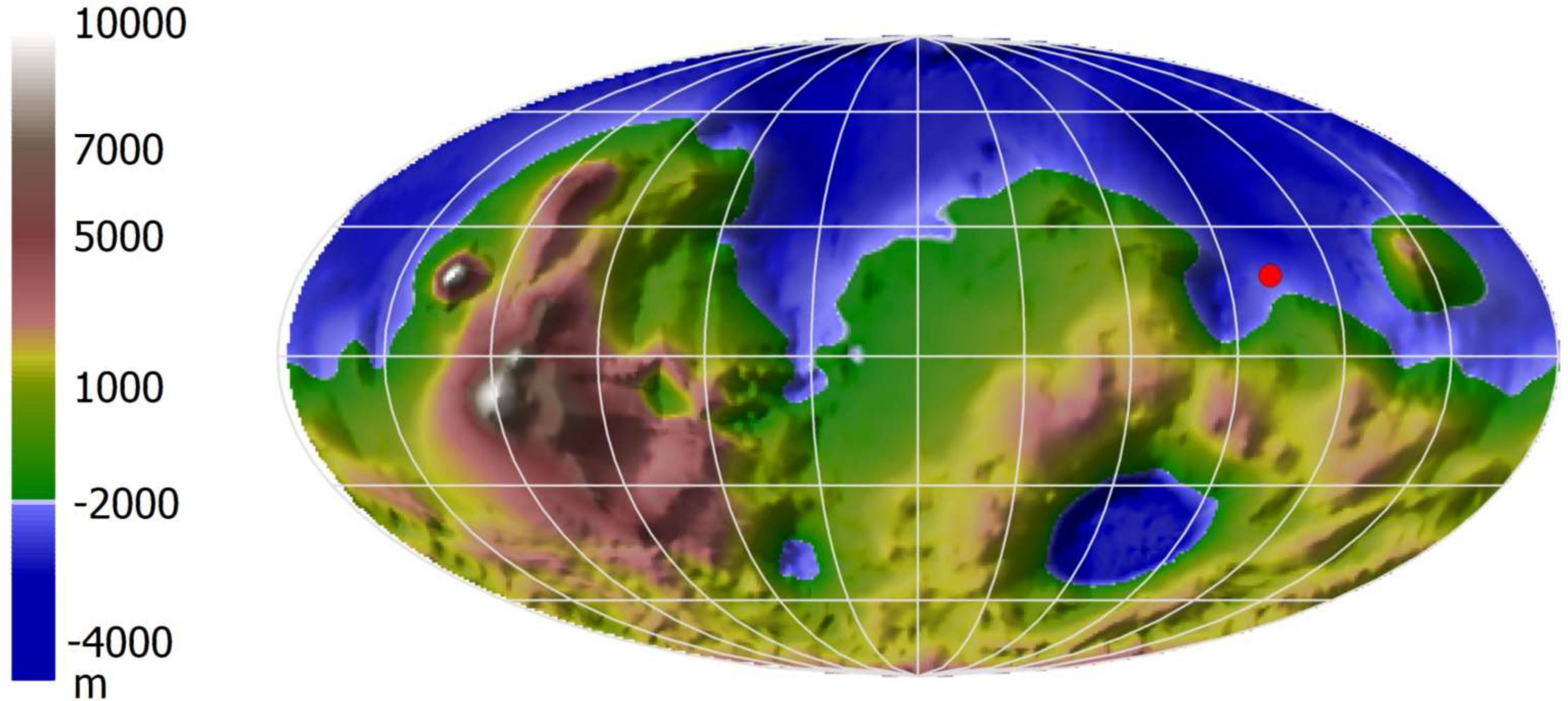


# Interdyscyplinarny Zespół Eksploracji Marsa PW



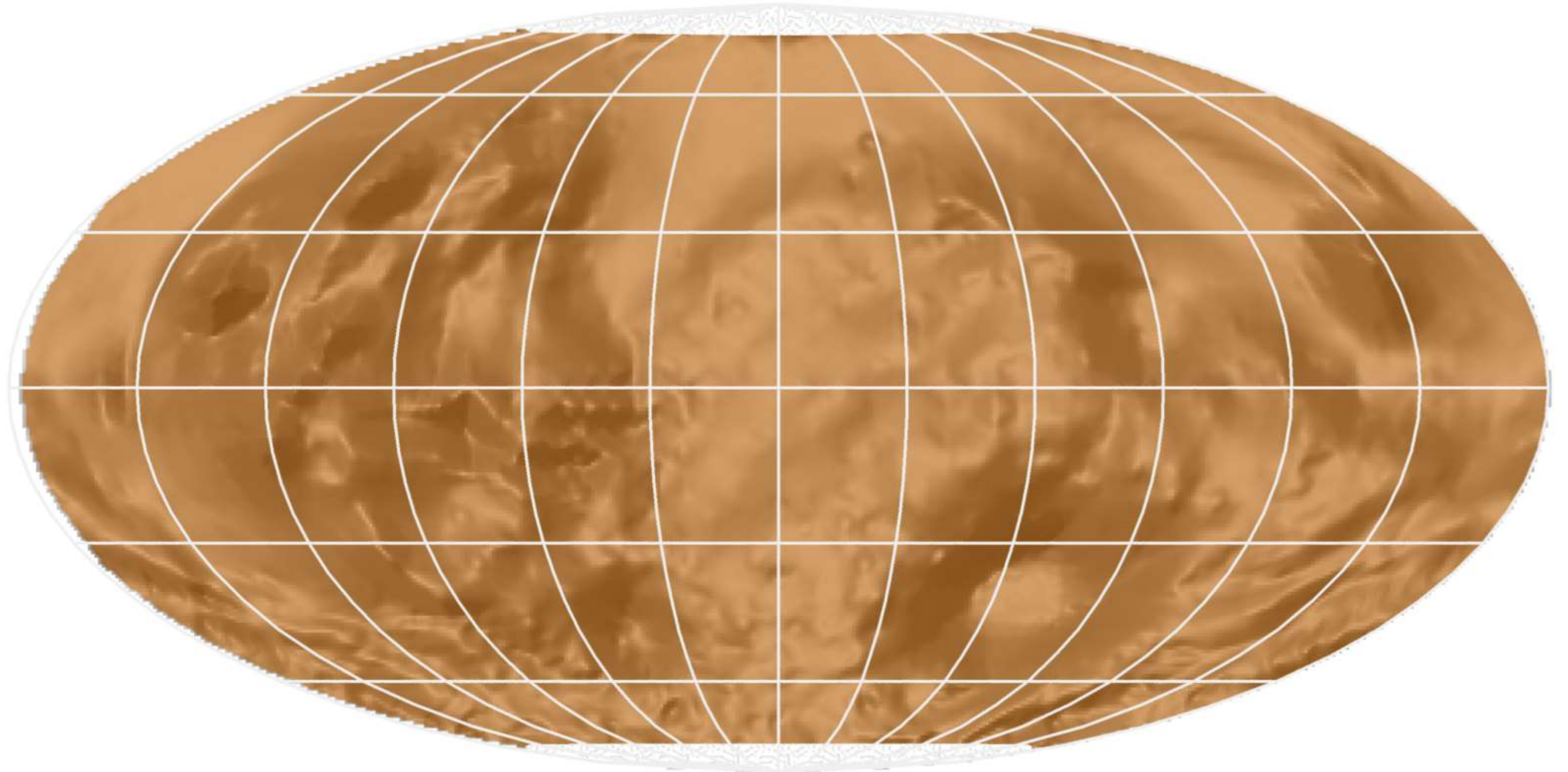
PER ASPERA  
AD MARTEM

# MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter)

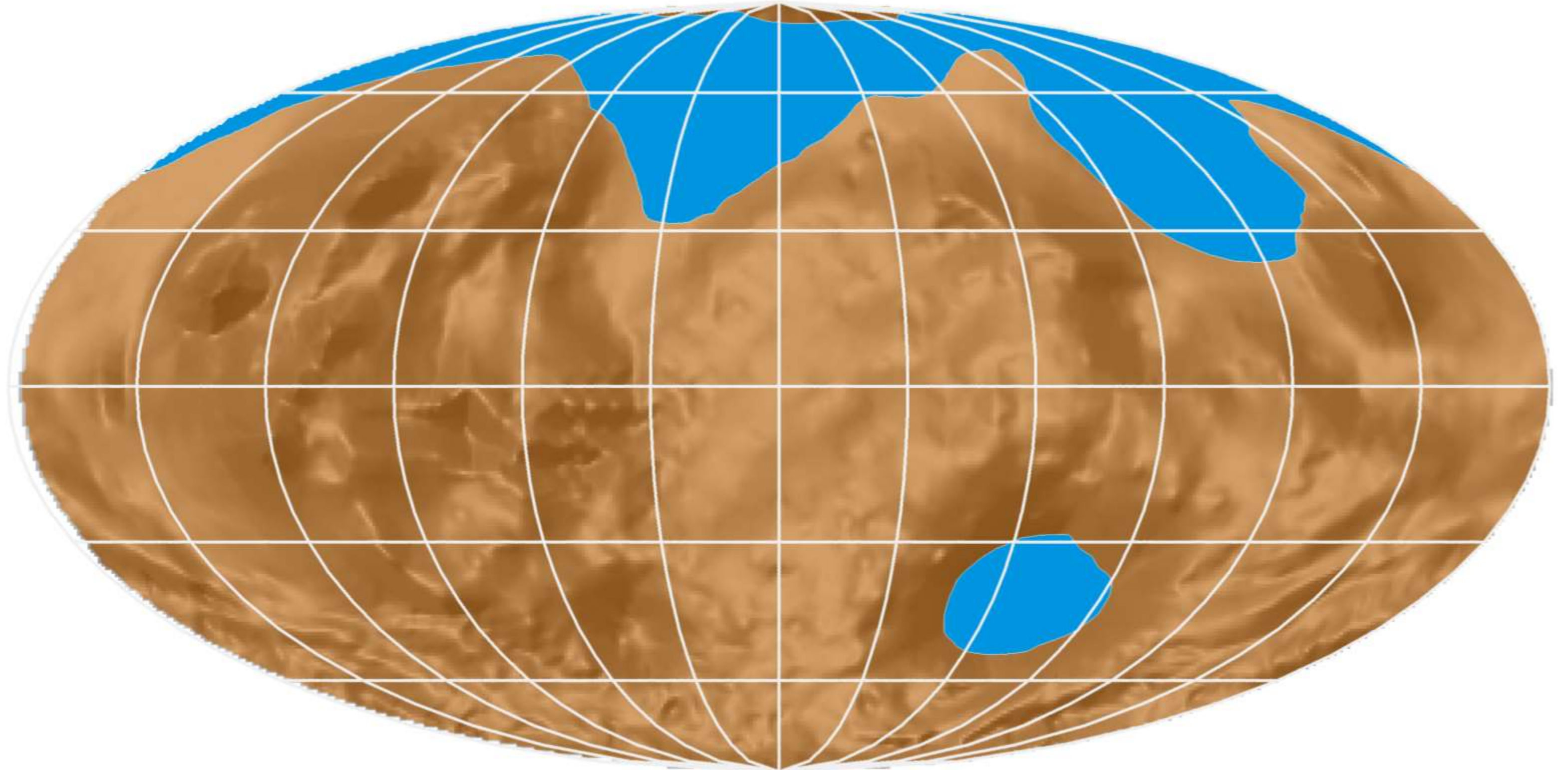


Mars Global Surveyor

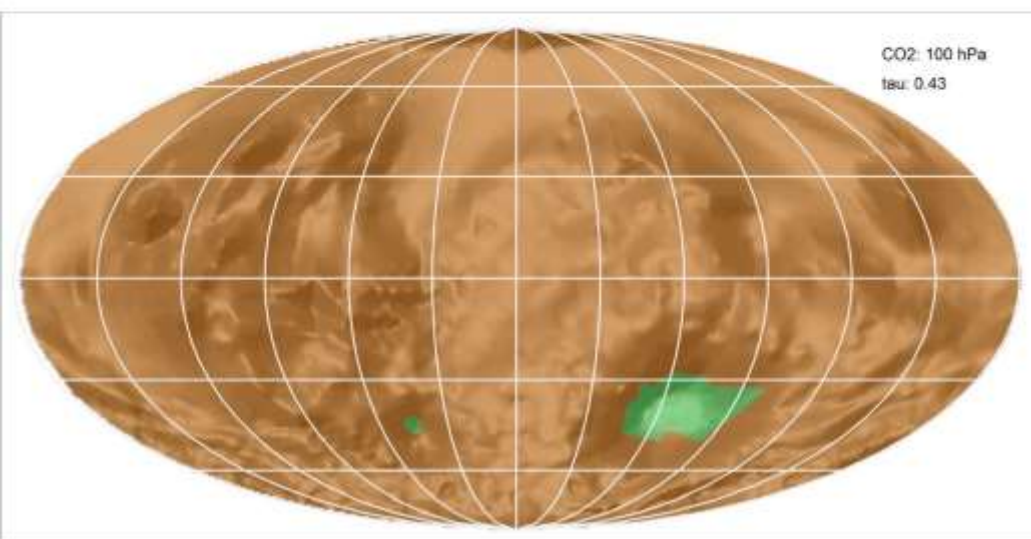
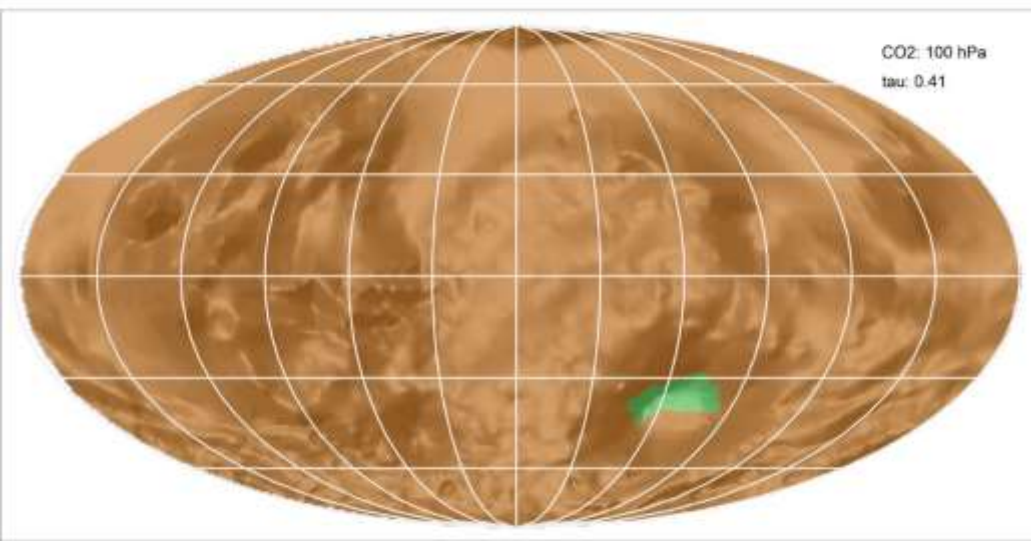
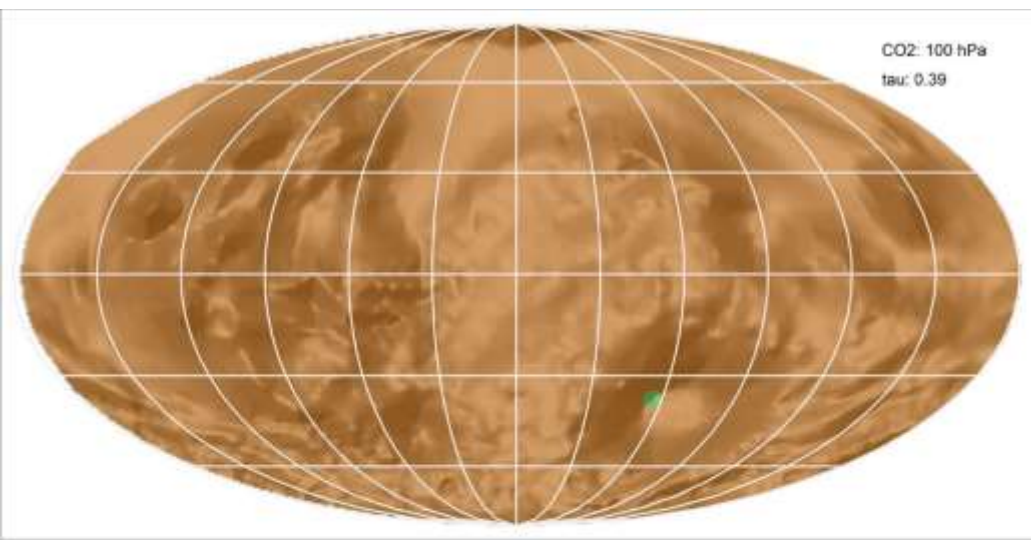
# Czerwona planeta



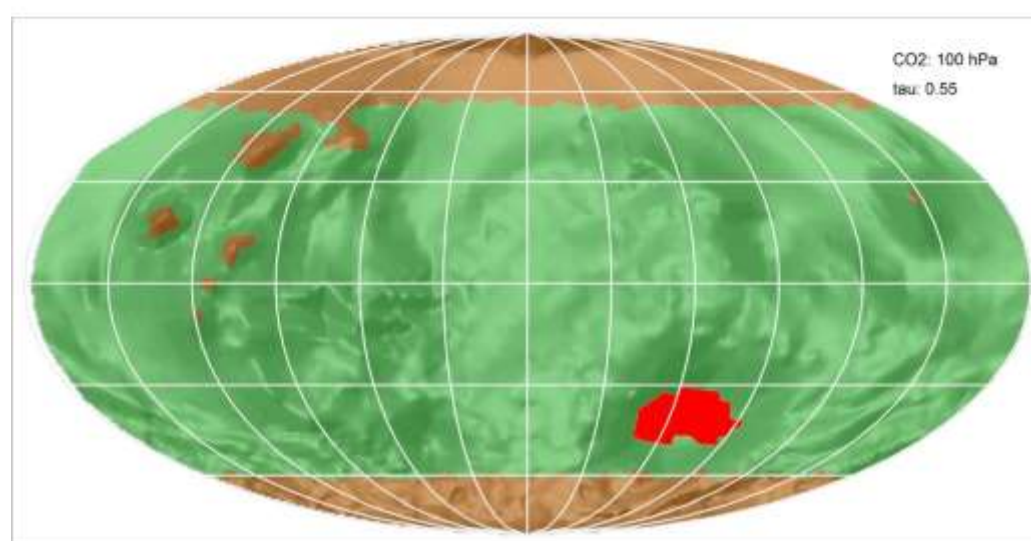
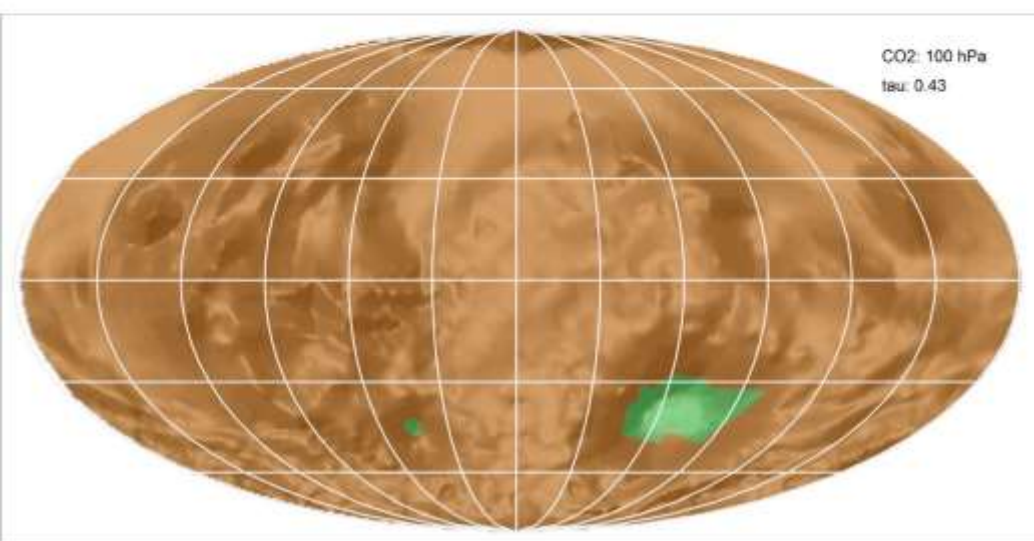
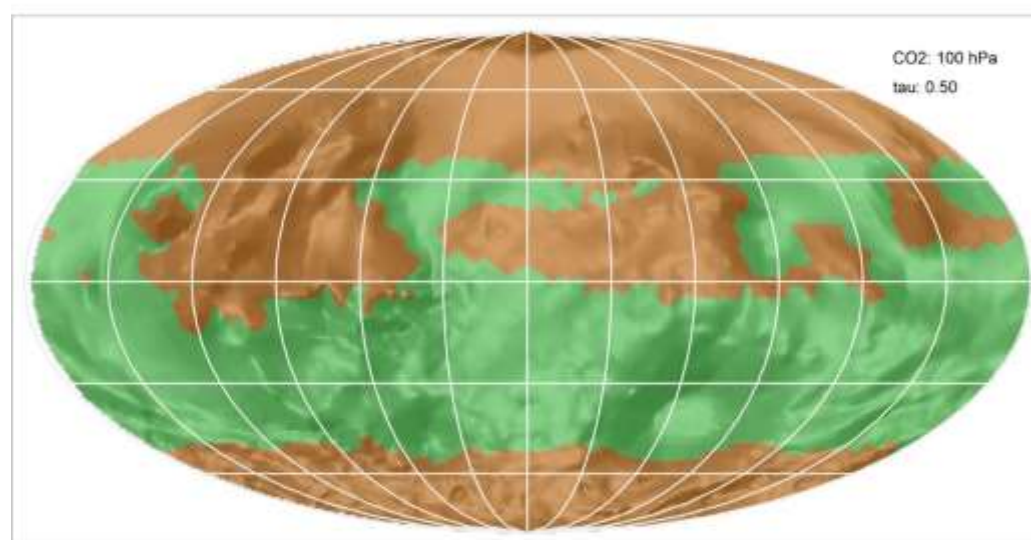
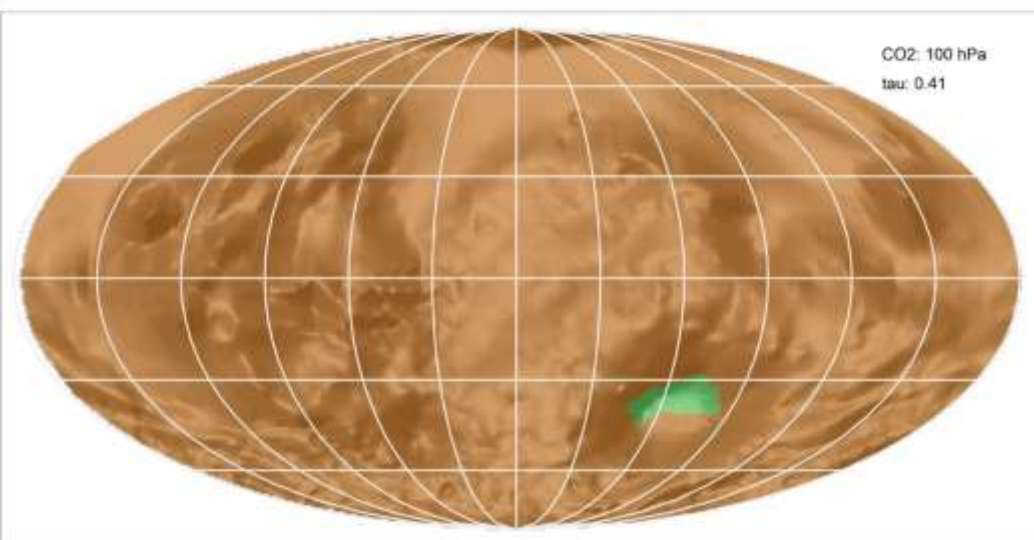
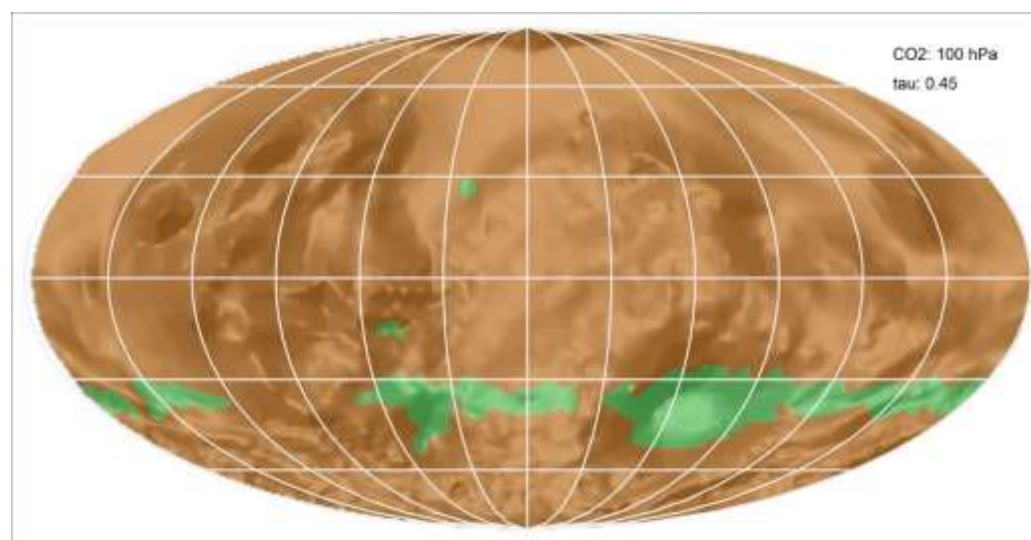
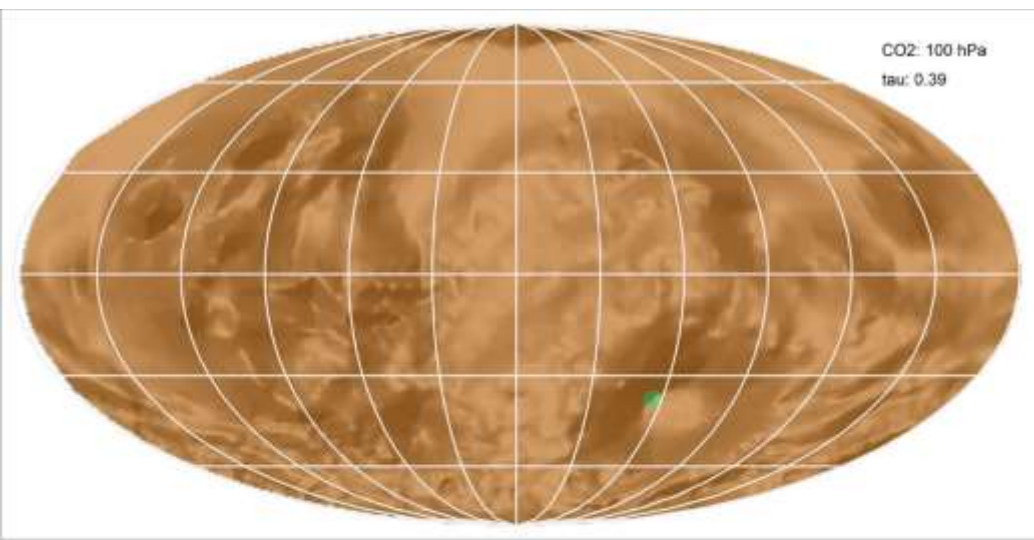
# Czerwona planeta



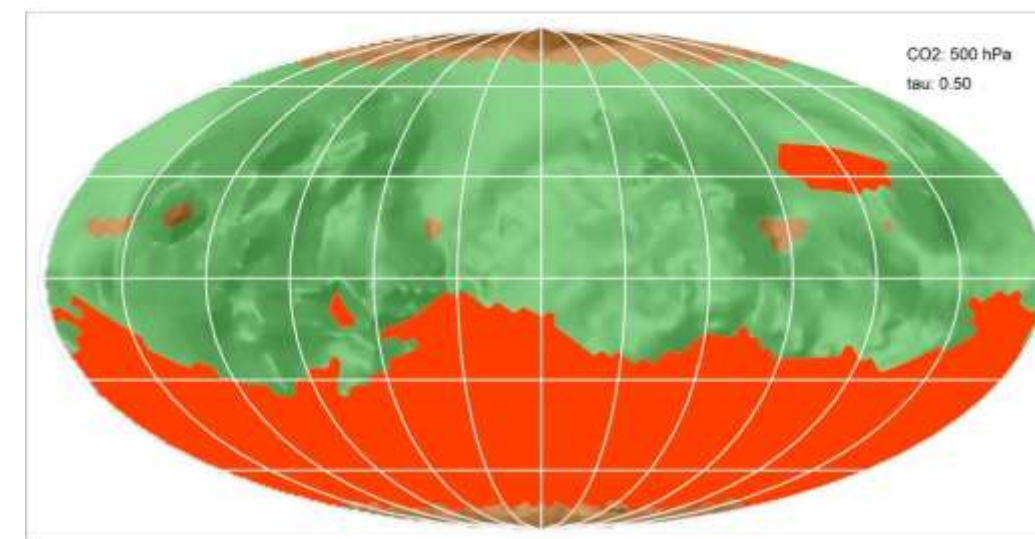
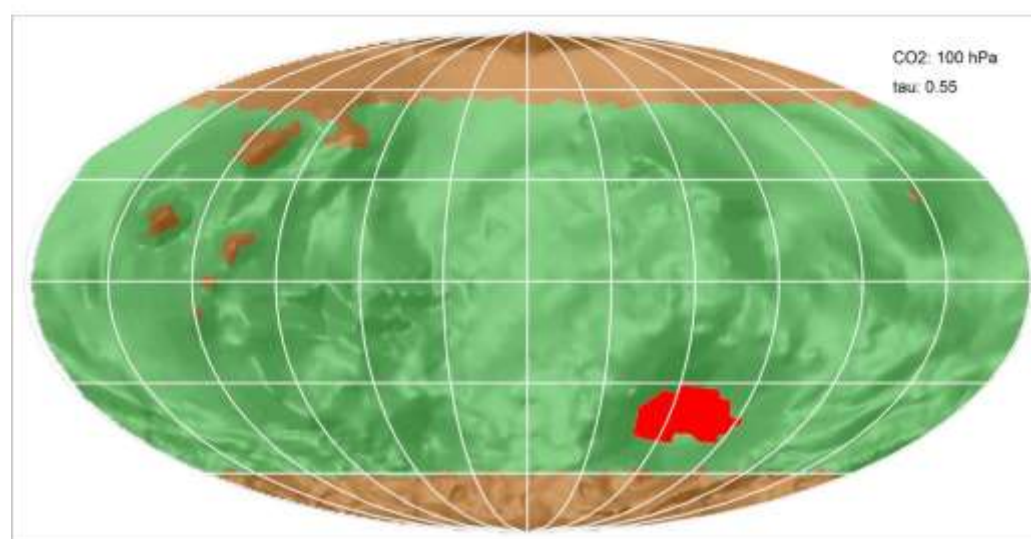
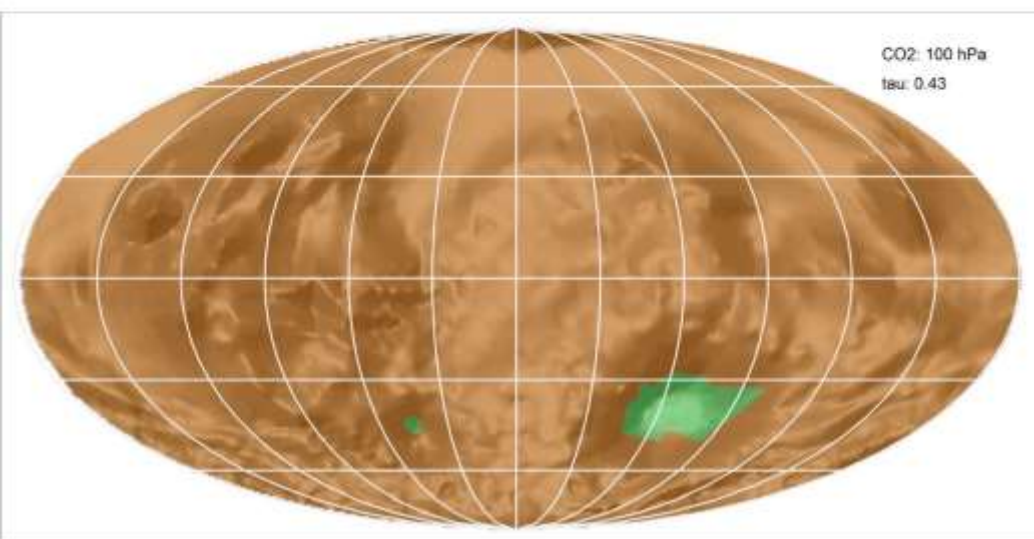
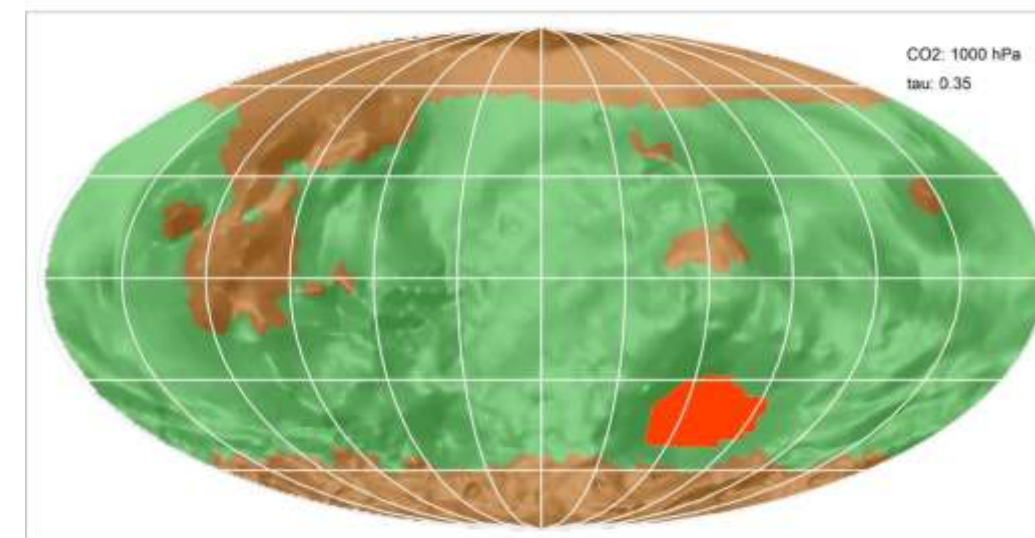
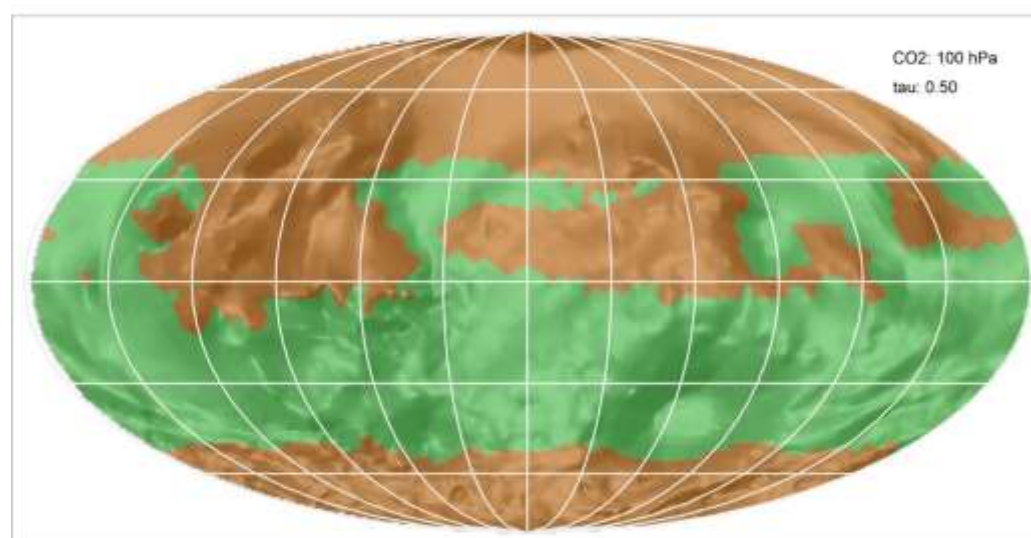
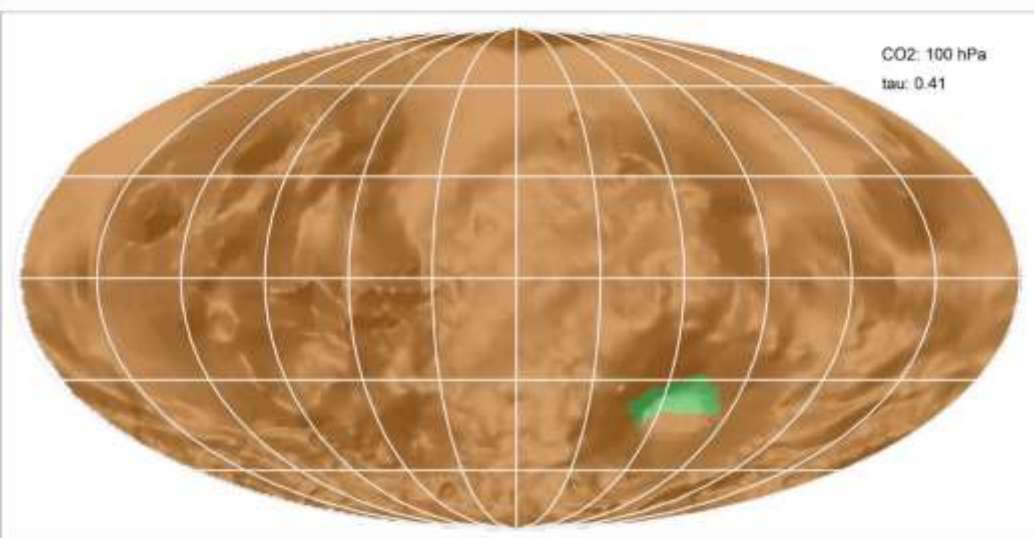
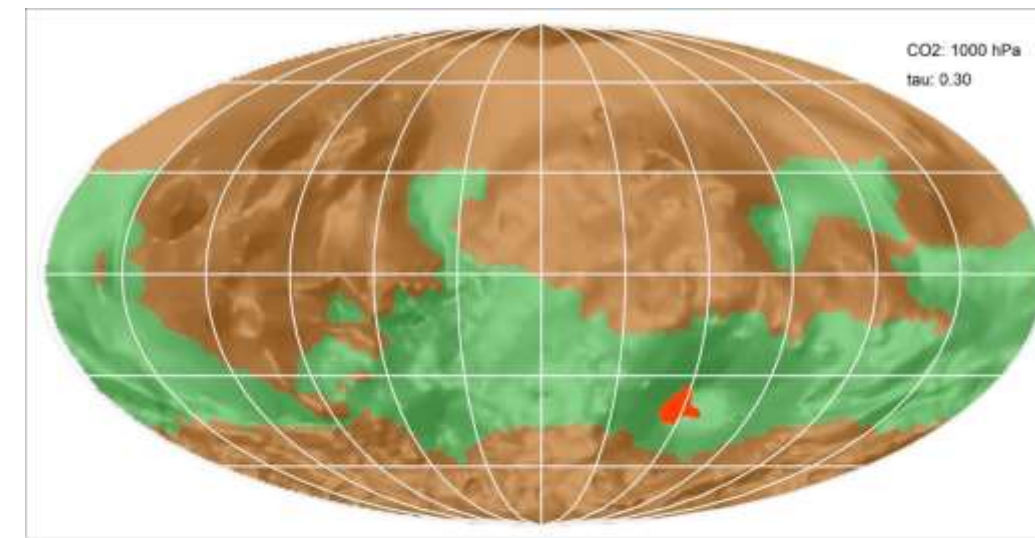
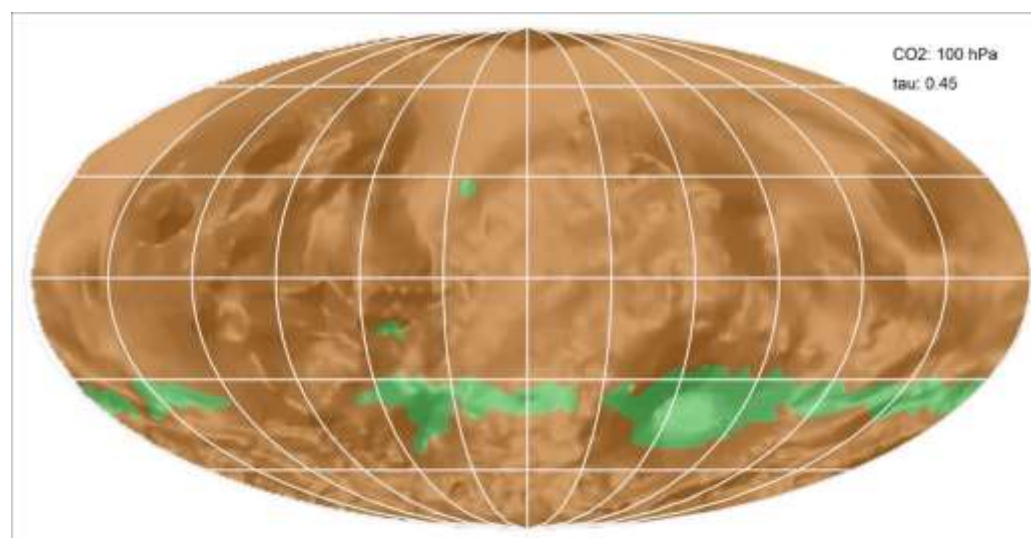
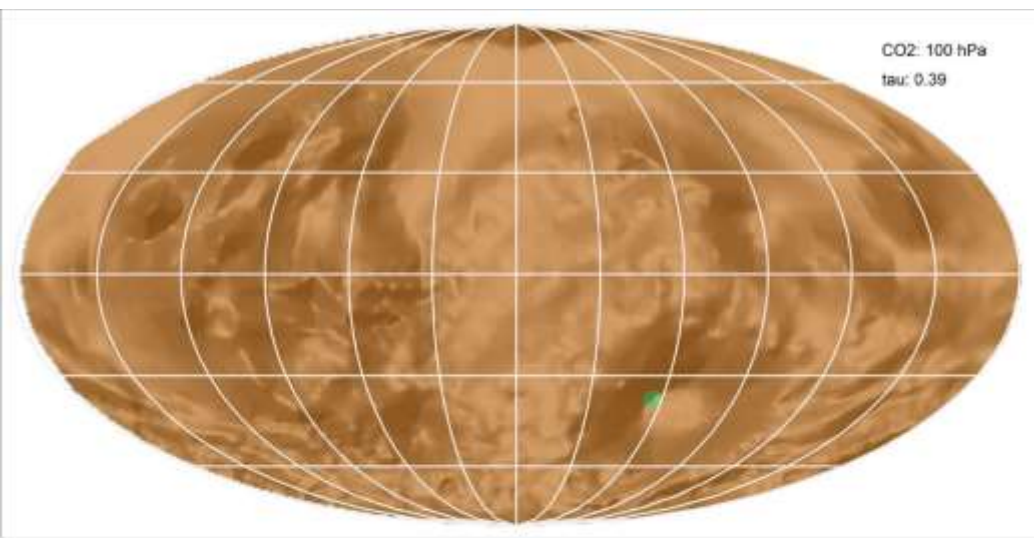
# Etapy terraformacji Marsa



# Etapy terraformacji Marsa



# Etapy terraformacji Marsa



# TERRAFORMACJA MARSA – MODEL ETAPOWY

WIZJA STOPNIOWEJ PRZEMIANY MARSA W PLANETĘ ZDATNĄ DO ŻYCIA

## 1. DZISIAJ 2020–2030



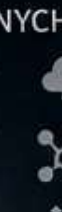
Zimny, suchy świat.  
Brak gęstej atmosfery, ciekłej wody i pola magnetycznego.  
Temperatura:  $\sim -60^{\circ}\text{C}$  | Ciśnienie:  $\sim 6$  mbar

## 2. INICJACJA 2030–2050



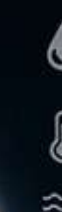
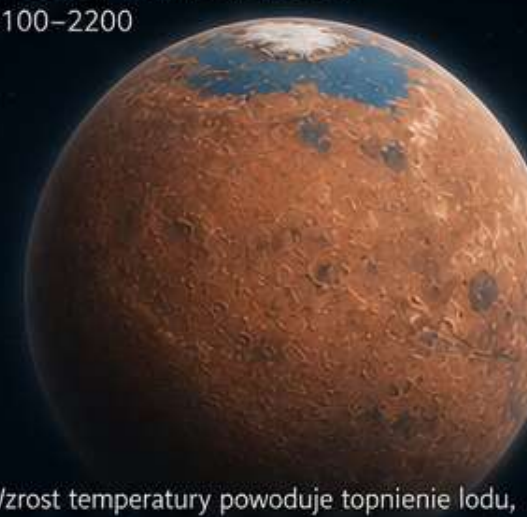
Rozpoczęcie działań:  
uwalnianie gazów cieplarnianych ( $\text{CO}_2$ , CFC, PFC),  
importowanie lodu, budowa kopuł i siedlisk.  
Temperatura:  $\sim -40^{\circ}\text{C}$  | Ciśnienie:  $\sim 10$  mbar

## 3. WZMOCNIENIE GAZÓW CIEPLARNIANYCH 2050–2100



Zagęszczanie atmosfery dzięki gazom  
hipercieplarnianym (CFC, PFC,  $\text{SF}_6$ ) i  $\text{CO}_2$ .  
Pierwsze ocieplenie klimatu i topnienie lodu.  
Temperatura:  $\sim -20^{\circ}\text{C}$  | Ciśnienie:  $\sim 100$  mbar

## 4. OCIEPLENIE I WODA 2100–2200



Wzrost temperatury powoduje topnienie lodu,  
powstają rzeki, jeziora i pierwsze rozległe zbiorniki  
w okolicach bieguna północnego.  
Temperatura:  $\sim 0^{\circ}\text{C}$  | Ciśnienie:  $\sim 300$  mbar

## 5. BŁĘKITNY MARS 2200–2400



Stabilne zbiorniki wodne na półkuli północnej,  
cykl hydrologiczny, pierwsze organizmy  
modyfikowane genetycznie.  
Temperatura:  $\sim 10^{\circ}\text{C}$  | Ciśnienie:  $\sim 600$  mbar

## 6. ZAZIELENIE 2400–2700



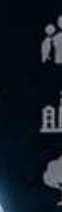
Wprowadzenie mchów, porostów, roślin naczyniowych.  
Produkcja tlenu, rozwój gleby.  
Temperatura:  $\sim 15^{\circ}\text{C}$  | Ciśnienie:  $\sim 900$  mbar

## 7. STABILIZACJA 2700–3000



Wzmocnienie pola magnetycznego,  
stabilizacja klimatu i atmosfery.  
Temperatura:  $\sim 18^{\circ}\text{C}$  | Ciśnienie:  $\sim 1000$  mbar

## 8. NOWY ŚWIAT 3000+



Mars staje się drugą zamieszkałą planetą.  
Zróżnicowane ekosystemy, miasta, cywilizacja.  
Temperatura:  $\sim 20^{\circ}\text{C}$  | Ciśnienie:  $\sim 1000+$  mbar

### KLUCZOWE TECHNOLOGIE



UWALNIANIE GAZÓW  
CIEPLARNIANYCH  
( $\text{CO}_2$ , CFC, PFC)



IMPORT LODU  
I KOMET



KOPUŁY I SIEDLISKA  
ODPORNE NA WARUNKI



BIOINŻYNIERIA  
I MIKROORGANIZMY



WZMOCNIENIE POLA  
MAGNETYCZNEGO

### CEL: DRUGA ZIEMIA

Terraformacja Marsa to projekt na tysiąclecia,  
wymagający wiedzy, cierpliwości i współpracy całej ludzkości.  
Nowy dom dla przyszłych pokoleń.



# TERRAFORMACJA MARSA – ZBLIŻENIE: OD PUSTYNI DO ŻYCIA





WIZUALIZACJA PROCESU – OD DZISIEJSZEGO MARSA DO PLANETY PEŁNEJ ŻYCIA

## 1. DZIŚ – SUCHA PUSTYNYA

2024



Mars dziś to zimna, sucha pustynia z cienką atmosferą, silnym promieniowaniem i brakiem ciekłej wody na powierzchni.

-  Średnia temperatura: ~ -60°C
-  Ciśnienie: ~6 mbar
-  Woda: lód pod powierzchnią, brak wody ciekłej
-  Atmosfera: głównie CO<sub>2</sub> (95%), bardzo rzadka

## 2. PIERWSZE FORMY ŻYCIA

~500–1000 LAT



Wzrost temperatury i ciśnienia umożliwia powstanie ciekłej wody w okresach ciepłych. Na skałach pojawiają się mchy i porosty, rozpoczynając proces tworzenia gleby.






-  Średnia temperatura: ~ -10°C
-  Ciśnienie: ~150–300 mbar
-  Woda: sezonowe kałuże, lokalne zbiorniki
-  Roślinność: mchy, porosty, sinice
-  Atmosfera: gęstsza, z parą wodną i gazami cieplarnianymi

## 3. ZIELONY MARS

~5000–10000 LAT



Stabilny klimat, stała obecność wody i rozwinięta gleba pozwalają na ekspansję roślinności. Powstają lasy, rzeki, jeziora i ekosystemy.

-  Średnia temperatura: ~15°C
-  Ciśnienie: ~600–1000+ mbar
-  Woda: rzeki, jeziora, oceany (głównie na półkuli północnej)
-  Roślinność: trawy, krzewy, drzewa, różnorodne ekosystemy
-  Atmosfera: bogata w azot, tlen i parę wodną

### KLUCZOWE TECHNOLOGIE



UWALNIANIE GAZÓW  
CIEPLARNIANYCH  
(CO<sub>2</sub>, CFC, PFC, SF<sub>6</sub>)



IMPORT LODU  
I KOMET



KOPUŁY I SIEDLISKA  
ODPORNE NA WARUNKI



BIOINŻYNIERIA  
I MIKROORGANIZMY



WZMOCNIENIE POLA  
MAGNETYCZNEGO

### CEL: DRUGA ZIEMIA

Terraformacja Marsa to projekt na tysiąclecia, wymagający wiedzy, cierpliwości i współpracy całej ludzkości. Nowy dom dla przyszłych pokoleń.



# TERRAFORMACJA MARSA – DWA ŚWIATY, JEDEN CEL

OD DZIŚ... DO JUTRA

## DZISIEJSZY MARS

BADAMY. ROZUMIEMY. PRZYGOTOWUJEMY SIĘ.



### ŁAZIK: PERSEVERANCE

Analiza gleby, poszukiwanie śladów dawnego życia, zbieranie próbek.



### DRON: INGENUITY

Pierwszy lot w atmosferze Marsa, rekonesans terenu.

## DOCZELOWY MARS

ŻYJEMY. TWORZYMY. ROZWIJAMY SIĘ.



### STAŁA KOLONIA

Samowystarczalne habitaty, ochrona, energetyka i uprawy.



### POJAZDY PRZYSZŁOŚCI

Eksploatacja, transport i rozwój nowego świata.



**JEDNA MISJA: PRZYSZŁOŚĆ LUDZKOŚCI**

Terraformacja Marsa to największe wyzwanie w historii naszej cywilizacji. Dziś stawiamy pierwsze kroki. Jutro – budujemy drugi dom.



# TERRAFORMACJA MARSA – DWA SPOJRZENIA, TO SAMO MIEJSCE

DZIŚ I JUTRO TEGO SAMEGO MIEJSCA NA MARSIE

MARS – DZISIAJ  
MODEL TOPOGRAFICZNY

DANE PLANETARNE

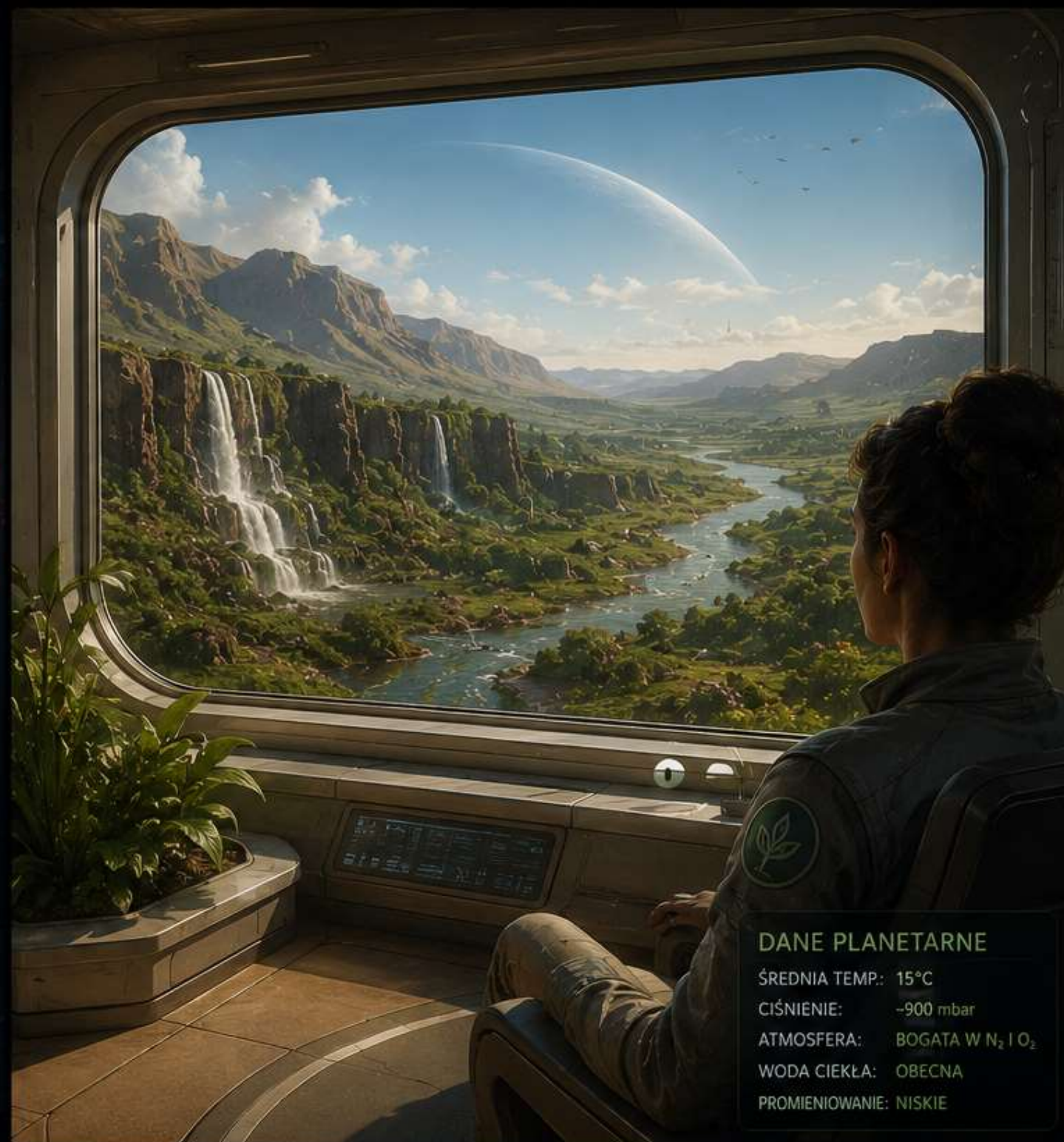
ŚREDNIA TEMP.: -60°C

CIŚNIENIE: -6 mbar

ATMOSFERA: -95% CO<sub>2</sub>

WODA CIEKŁA: BRAK

PROMIENIOWANIE: WYSOKIE



DANE PLANETARNE

ŚREDNIA TEMP.: 15°C

CIŚNIENIE: -900 mbar

ATMOSFERA: BOGATA W N<sub>2</sub> I O<sub>2</sub>

WODA CIEKŁA: OBECNA

PROMIENIOWANIE: NISKIE

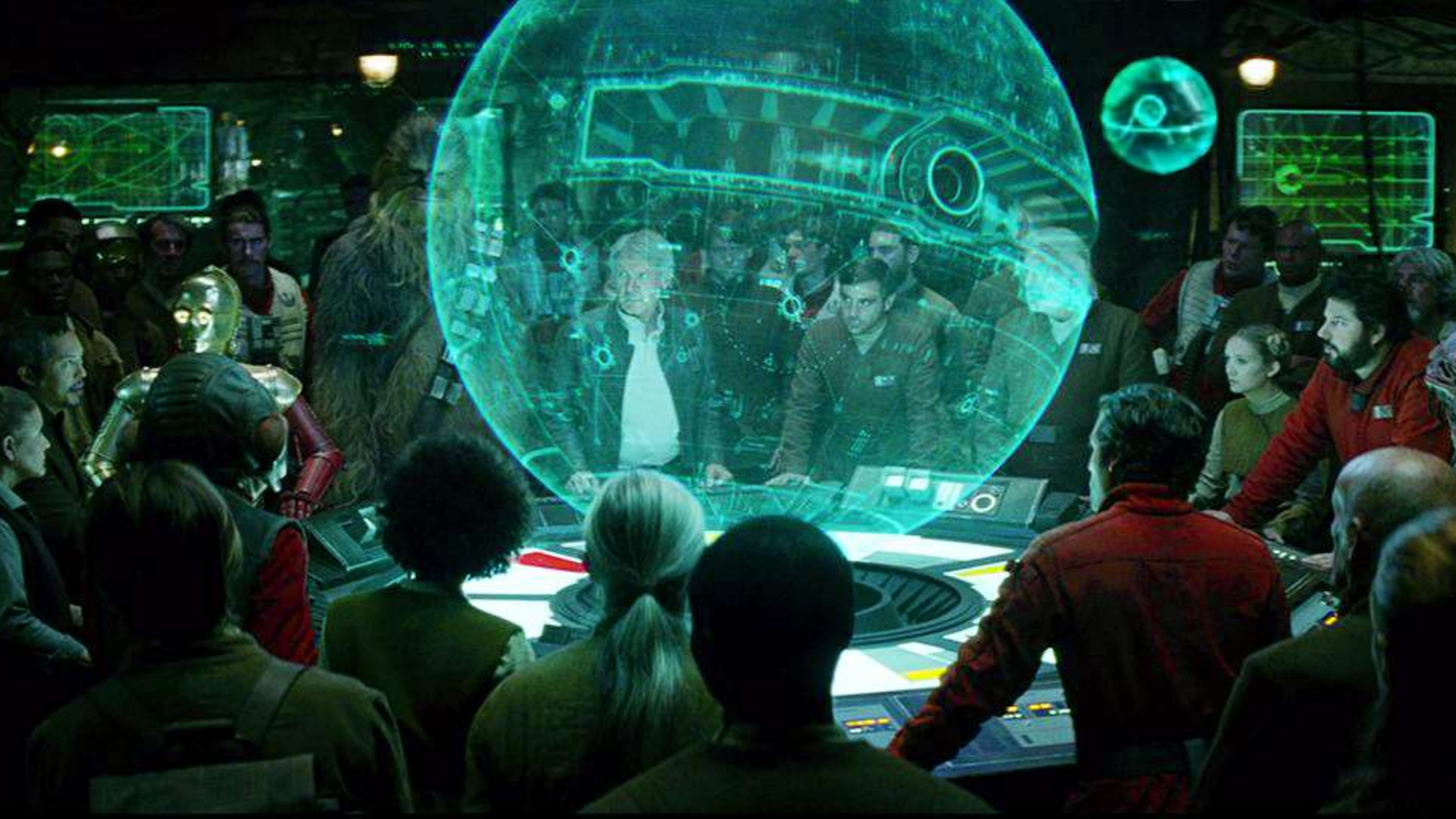
TEN SAM REGION: 18.7°N, 77.5°E  
CANDOR CHASMA



DZIŚ

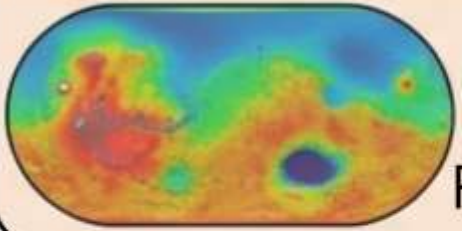


JUTRO



**Data Acquisition**

**MOLA**



Global Topography  
made by NASA  
Resolution ~500m/pix

**HiRISE**



Regional Topography  
made by NASA  
Resolution ~0.5m/pix


**Ingenuity Helicopter Data**



Local Topography  
made by NASA & WUT  
Resolution ~3.5cm/pix

**Methodological Workflow**

**1. Elevation Data Preparation**




Convert to Unified Reference System (spatial registration)

**2. 3D Tiles And CESIUM Streaming**




Process into 3D Tiles  
Publish to 3D Tiles Server  
Configure CESIUM Data in Unreal Engine

**3. Terraforming Model Integration**




Terraforming Models

Temperature + Pressure + Other Layers



**4. Integration With Application Logic**




Define dependencies of spatial data in Unreal Engine


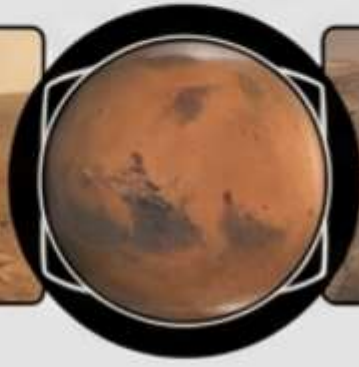
User VR control and real-time updates

**Final Integration And User Experience**

**VR Environment**




User Perspective




Climatic Changes


**Seamless Transition**



Global (MOLA)

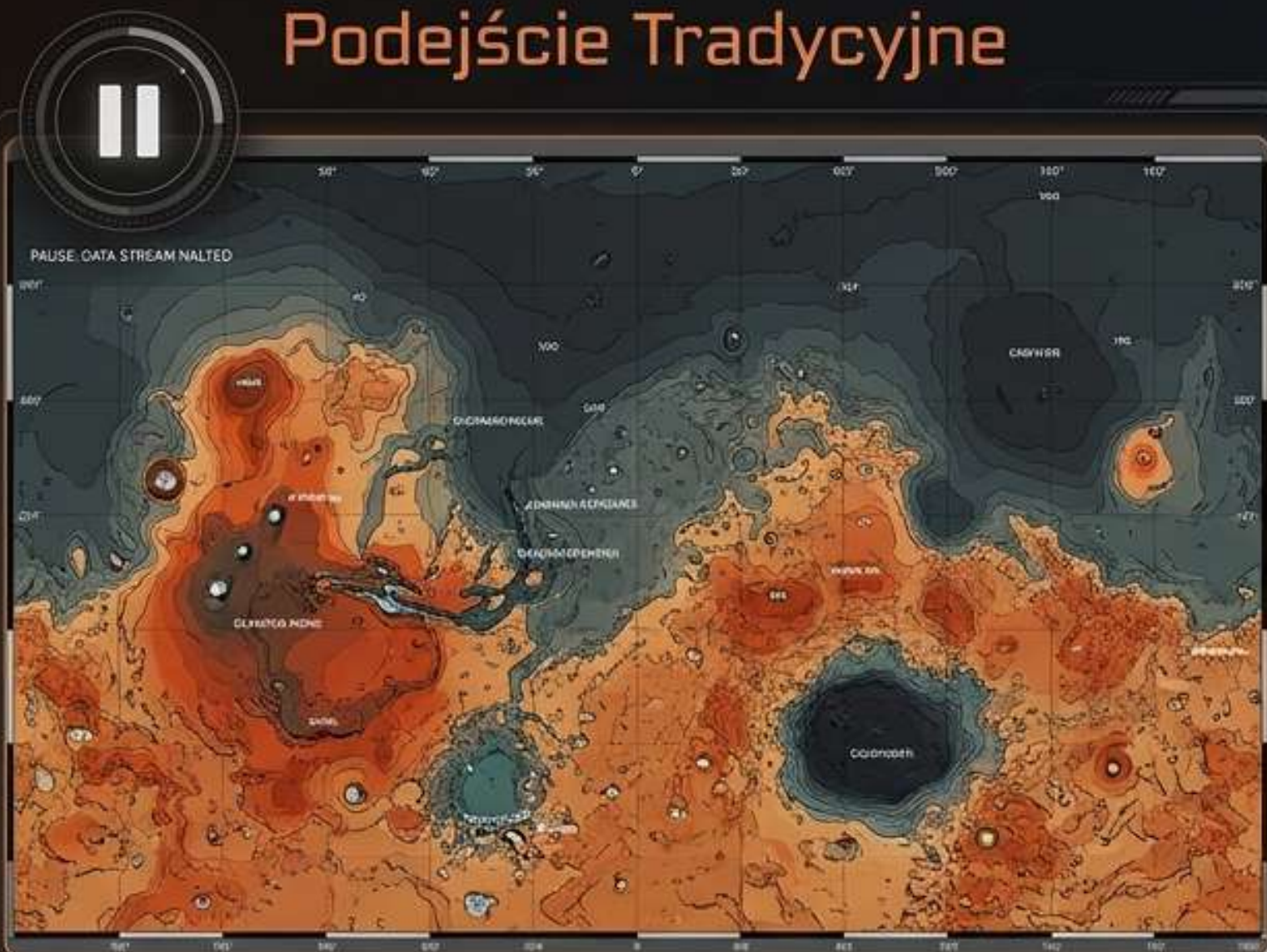


Regional (HiRISE)



Local (Ingenuity)

## Podejście Tradycyjne



## Procesy Dynamiczne



# Wyzwanie Współczesnej Kartografii Planetarnej



### Złożoność czasoprzestrzenna:

Terraformowanie to wysoce sprzężony proces geofizyczny. Zmiany temperatury, ciśnienia i pokrywy lodowej rozchodzą się nierównomiernie w zależności od topografii.



### Ograniczenia map 2D:





Płaskie wizualizacje utrudniają percepcję gradientów spadków, barier terenowych i dynamiki zmian klimatycznych.



### Wniosek:

Zrozumienie terraformowania wymaga map 3D reagujących w czasie rzeczywistym.

# Zmiana Paradygmatu: Systemy GIS a Silniki Gier

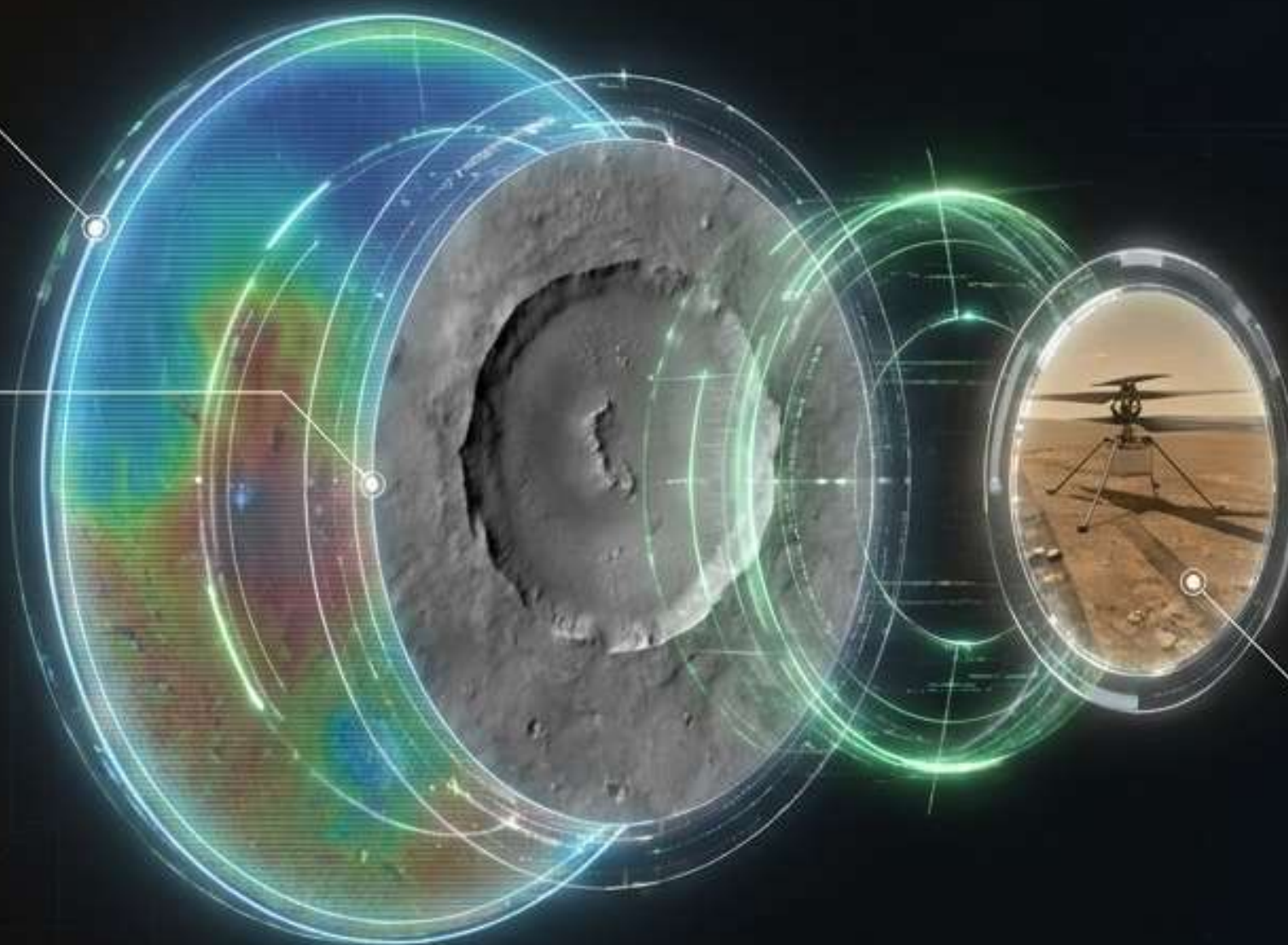
	Tradycyjny GIS	Silnik Gier (Unreal Engine)
<b>Cel nadrzędny</b> 	Funkcje analityczne i najwyższa dokładność geodezyjna.	Wydajność renderowania, płynność i bogata interakcja.
<b>Złożone sceny 3D</b> 	Spadki wydajności i wąskie gardła przy milionach obiektów.	Płynne 90+ FPS, optymalizacja otwartych światów (World Partition).
<b>Zjawiska atmosferyczne</b> 	Ograniczone, statyczne lub wymagające pre-renderingu.	Dynamiczne oświetlenie, mgła, chmury, fizyka w czasie rzeczywistym.
<b>Środowisko VR</b> 	Wymaga zewnętrznych wtyczek i trudnych integracji.	Natywne wsparcie dla gogli VR i kontrolerów przestrzennych.

# TRZY SKALE DANYCH: ARCHITEKTURA WIELOROZDZIELCZA

## RESOLUTION MATRYOSHKA

**SKALA GLOBALNA: MOLA**  
(Mars Orbiter Laser Altimeter).  
Rozdzielczość: ~500 m/px.  
Cel: Globalny kontekst topograficzny.

**SKALA REGIONALNA:**  
HiRISE (High Resolution Imaging Science  
Experiment).  
Rozdzielczość: ~0.5 m/px.  
Cel: Szczegóły kraterów (np. Jezero)  
i potencjalnych miejsc lądowania.



**SKALA LOKALNA:**  
Dane z helikoptera Ingenuity.  
Rozdzielczość: ~3.5 cm/px  
(subdecymetrowa).  
Cel: Analiza mikrorzeźby terenu  
i testy fotogrametryczne.

### Key Insight Box:

Główne wyzwanie projektowe polega na zintegrowaniu tych trzech skrajnie różnych rozdzielczości w jedną, płynną scenę 3D bez przekraczania limitów pamięci RAM.

# Hierarchiczny Streaming Danych z Wykorzystaniem 3D Tiles



**UNREAL**  
ENGINE

# Projektor Holograficzny: Wymiar Interfejsu Diegetycznego

1

**Miniatura Planety:** Trójwymiarowy, interaktywny glob lewitujący nad wirtualnym biurkiem (inspiracja Gwiezdnymi Wojnami).

2

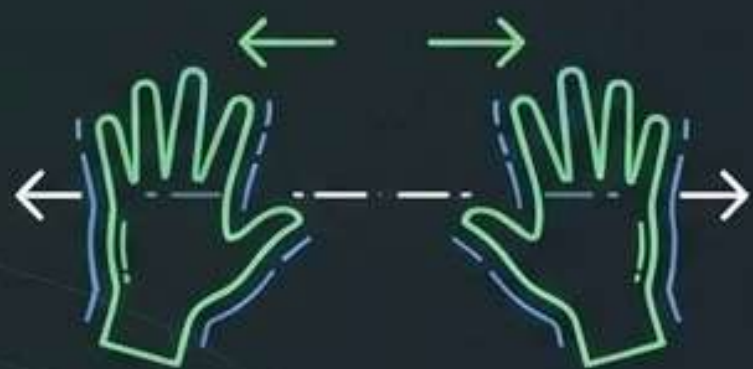
**Interfejs Diegetyczny:** Panele sterowania są osadzone bezpośrednio w świecie VR, nie jako płaskie nakładki na ekran. Zwiększa to poczucie immersji.

3

**Panel Parametrów:** Pływające suwaki pozwalające na manipulację emisją gazów cieplarnianych, czasem symulacji i uwalnianiem CO<sub>2</sub> z czap polarnych.

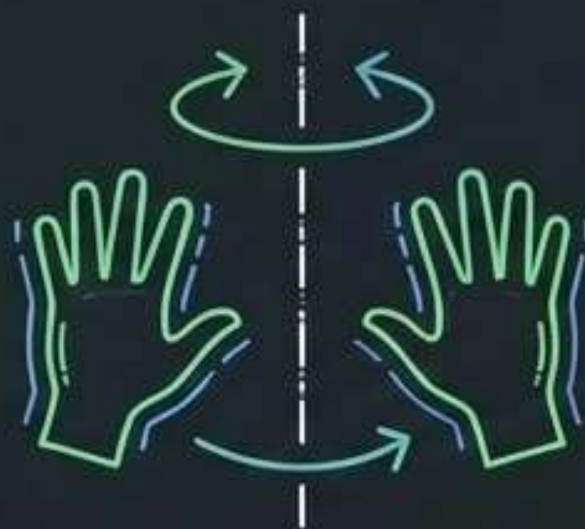


# Ergonomia Nawigacji: Przestrzenne Sterowanie Gestami



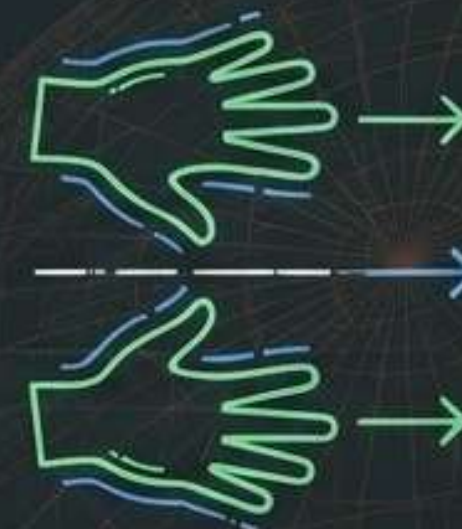
## Zmniejszanie / Zwiększanie (Zoom)

Przybliżanie rąk do siebie lub oddalanie względem modelu płynnie skaluje widok od ujęcia globalnego do szczegółu powierzchni.



## Obrót Modelu (Rotate)

Rotacja dłoni wokół własnej osi obraca trójwymiarową miniaturę Marsa, umożliwiając szybki przegląd półkul.

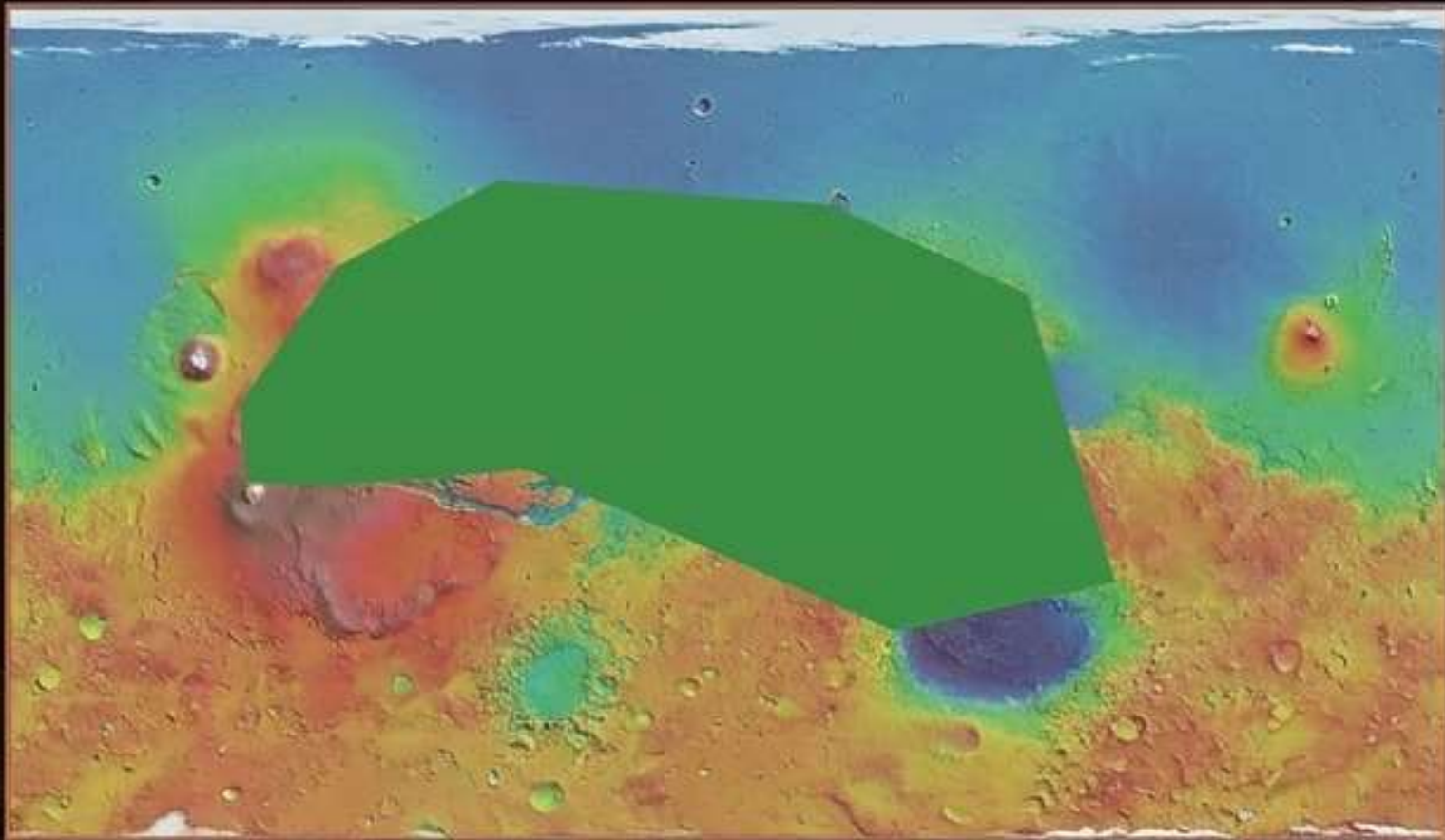


## Translacja Widoku (Pan/Translate)

Przesuwanie obu rąk w przestrzeni przenosi pole widzenia nad konkretne obszary, takie jak Hellas Planitia.

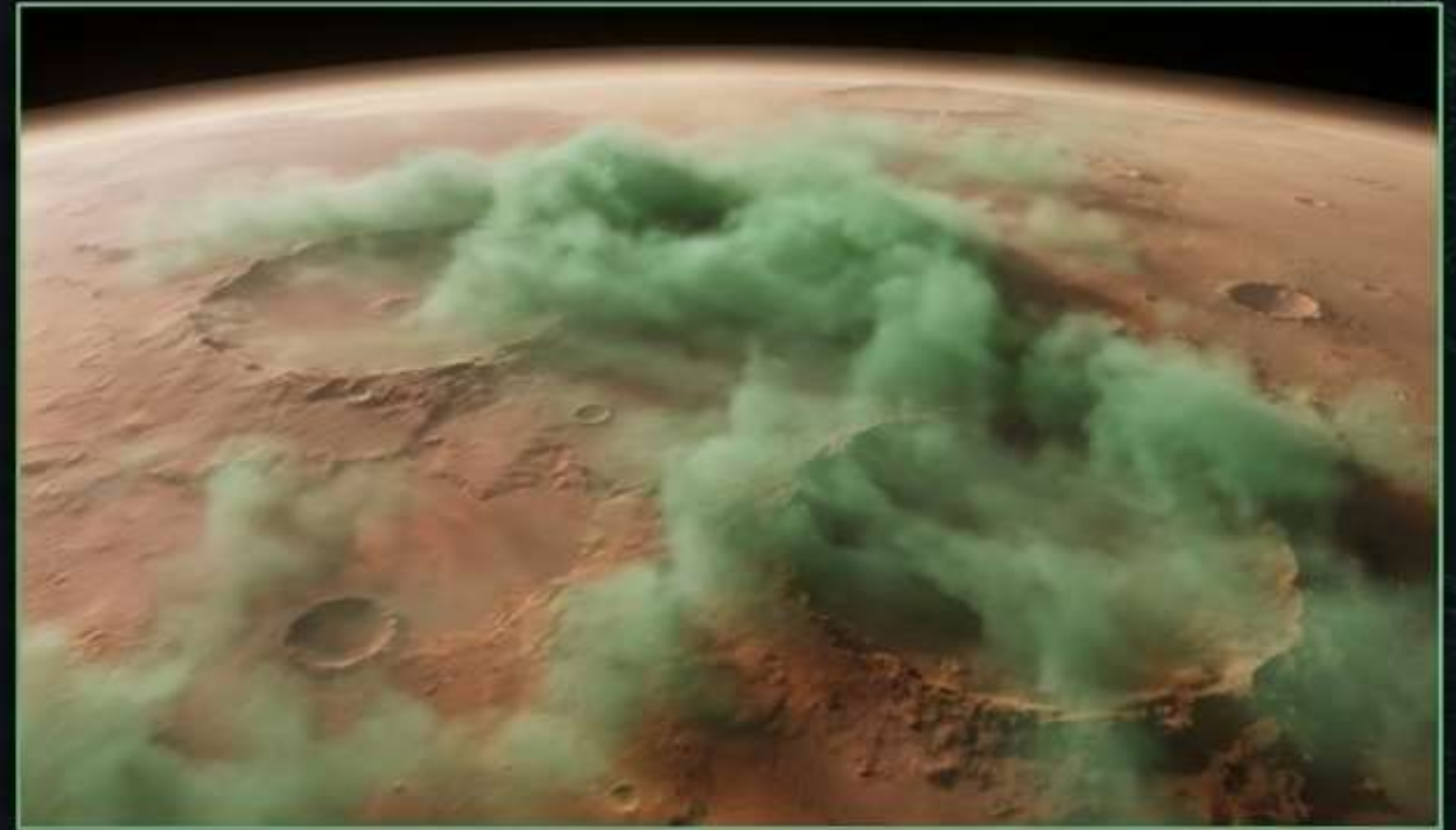
# Nowatorska Symbolika: Mgła Wolumetryczna (System Niagara)

Podejście Tradycyjne:  
Sztywne Bryły i Poligony



Tradycyjne jednolite wypełnienia nie oddają gazowej i przenikalnej natury zjawisk atmosferycznych.

System Niagara:  
Miękkie, Dynamiczne Granice



Zastosowanie systemu cząsteczek Niagara pozwala na generowanie wolumetrycznej mgły i dymu. Podkreśla to dynamikę, miękkość krawędzi i ciągłą zmienność procesów klimatycznych, co jest intuicyjne dla użytkownika.

# Język Danych: Kodowanie Kolorystyczne Procesów



## Błękitne / Chłodne opary

Zjawisko: Początkowy wzrost temperatury i ciśnienia. Strefy, gdzie proces dopiero się rozpoczyna.



## Zieleń / Ciepłe opary

Zjawisko: Zaawansowany proces terraformowania. Znacznie gęstsza atmosfera i warunki zdolne do podtrzymania podstawowej roślinności.



## Czerwień / Strefy przegrzane

Zjawisko: Obszary o zbyt wysokiej temperaturze. Przestroga: warunki uniemożliwiające występowanie ziemskiego życia biologicznego.

# Płynne Przejście: Od Skali Orbitalnej do Powierzchni



Z widoku makro do mikro: Użytkownik może w ułamku sekundy wejść z miniatury na projektorze w pełnoskalowy widok 1:1 na powierzchni Marsa.



# Podsumowanie: Nowy Standard Komunikacji Kartograficznej



Silniki gier nie zastępują systemów GIS – one redefiniują możliwości komunikacji procesów trójwymiarowych i czasoprzestrzennych.

Projekt MarsVR udowadnia, że integracja rzetelnych danych z mechanikami Serious Games tworzy narzędzie równie użyteczne do analiz badawczych, co do popularyzacji nauki.

Przyszłość kartografii leży w interaktywnych, immersyjnych światach danych, w których mapa ożywa pod wpływem decyzji użytkownika.

 GameMaker Studio

 Gamebryo

  
DEFOLD

 lumberyard

**HERO**  
ENGINE


  
COCOS2D-x

  
CRYENGINE

 unity

  
XENKO™

 **GODOT**  
Game engine

 GameSalad

 Shiva

 **UNREAL**  
ENGINE

 **JMONKEYENGINE**

**libGDX**

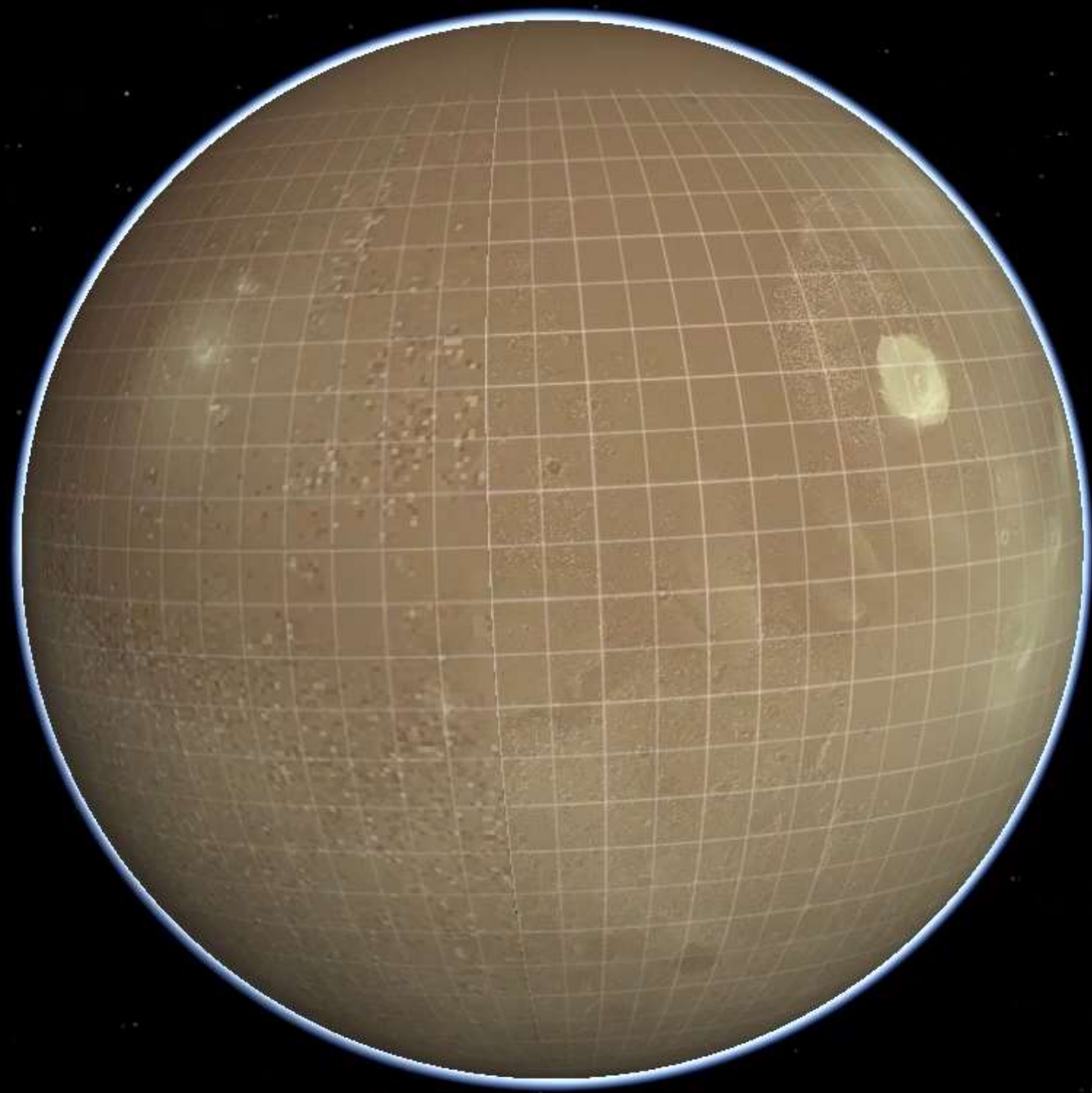
 **PLAYCANVAS**

 **LÖVE** ♥

 **MONOGAME**

 **TORQUE 3D™**

 **Corona Labs**





# Interdyscyplinarny Zespół Eksploracji Marsa PW



<https://mars.badawcza.pw.edu.pl/>

PER ASPERA  
AD MARTEM



**ICC 2027**  
WARSAW – POLAND



# 33rd International Cartographic Conference

21st General Assembly of the ICA



18–23 July 2027



Warsaw, Poland

**BIG DATA CARTOGRAPHY**  
Understanding More Than Ever Before



SCAN FOR MORE INFO