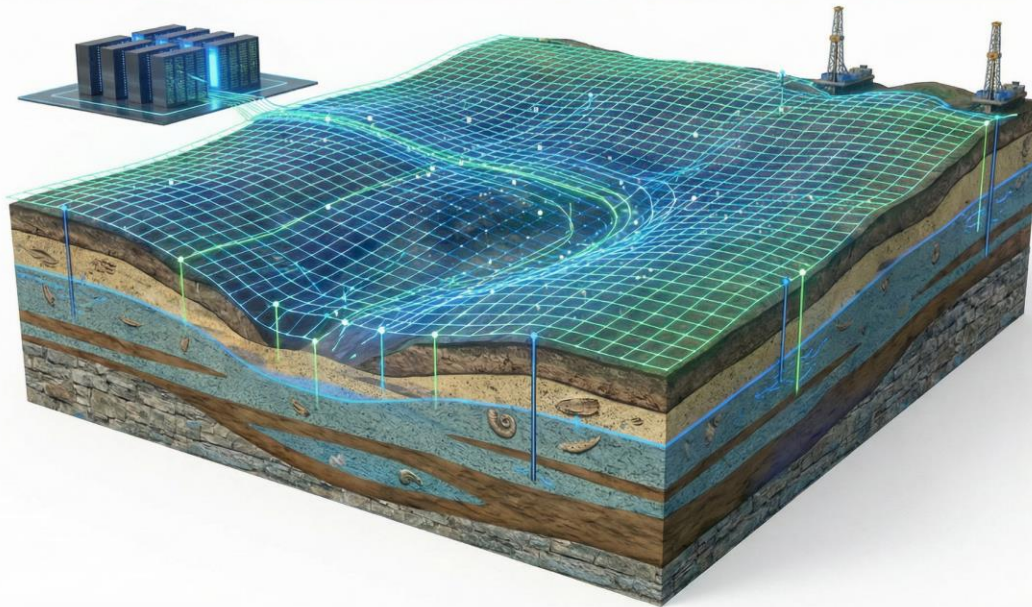
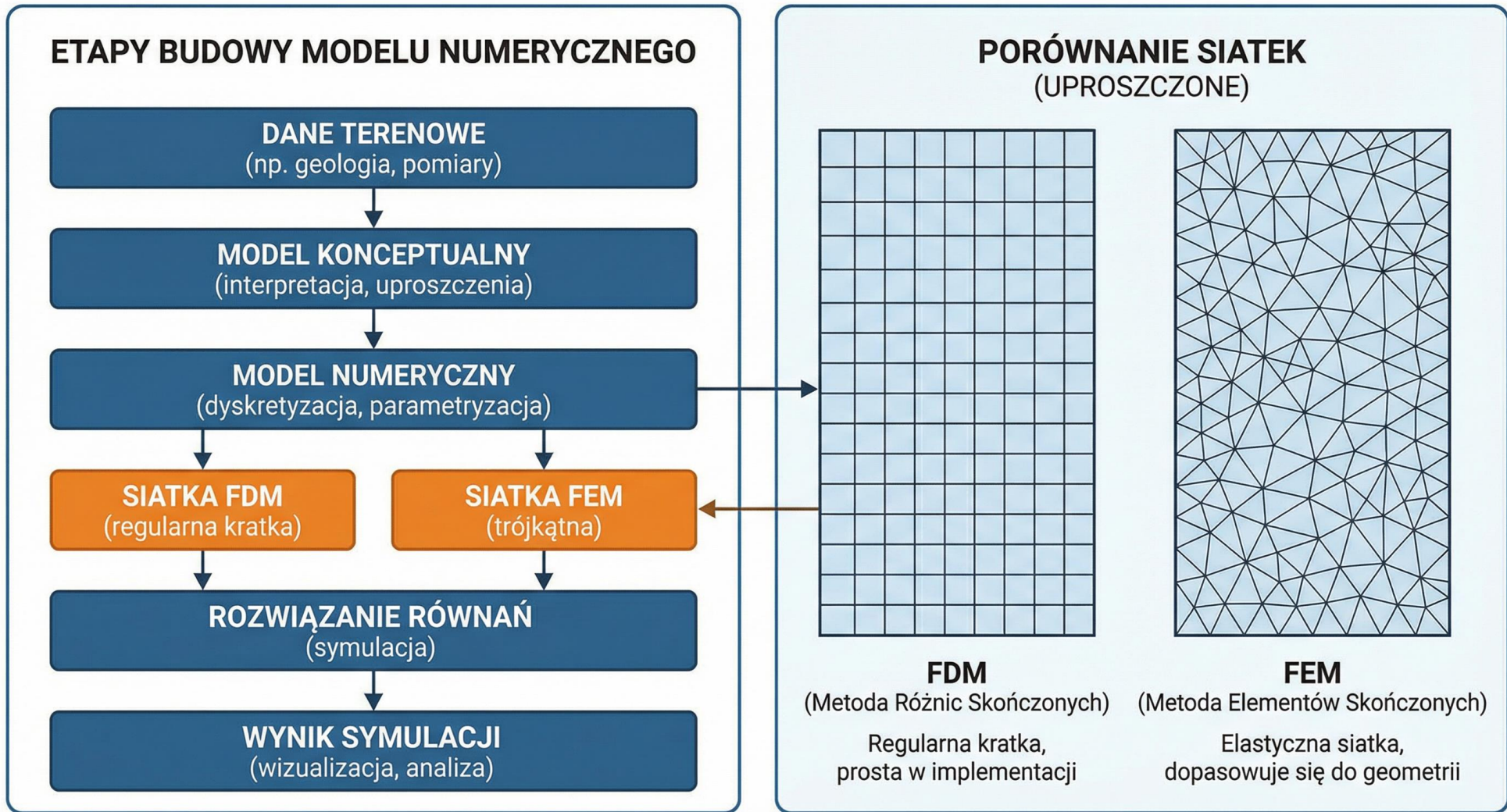


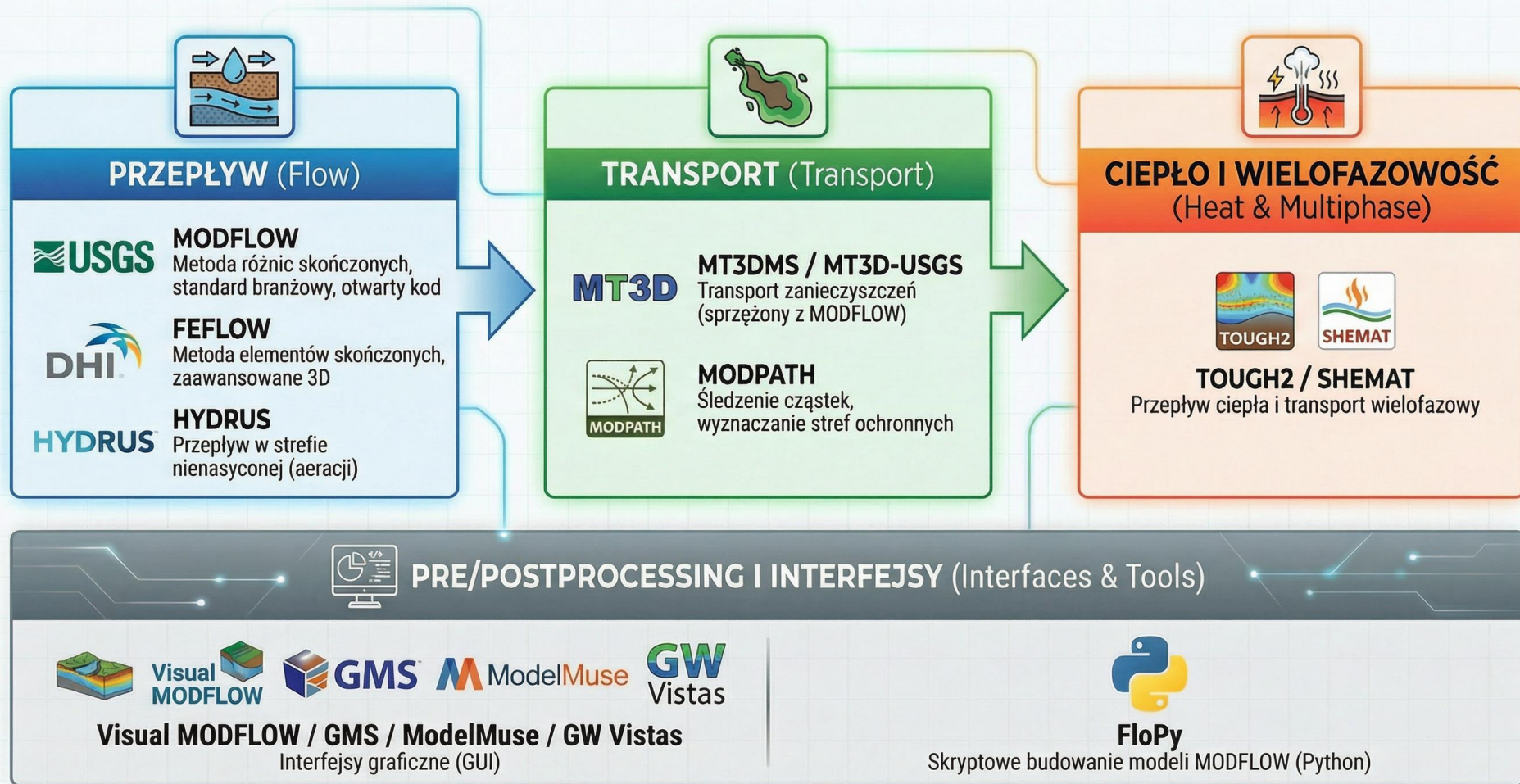
Możliwości zastosowania modelowania numerycznego w hydrogeologii

CYFROWE PODZIEMIA: WODA, DANE I GEOLOGIA

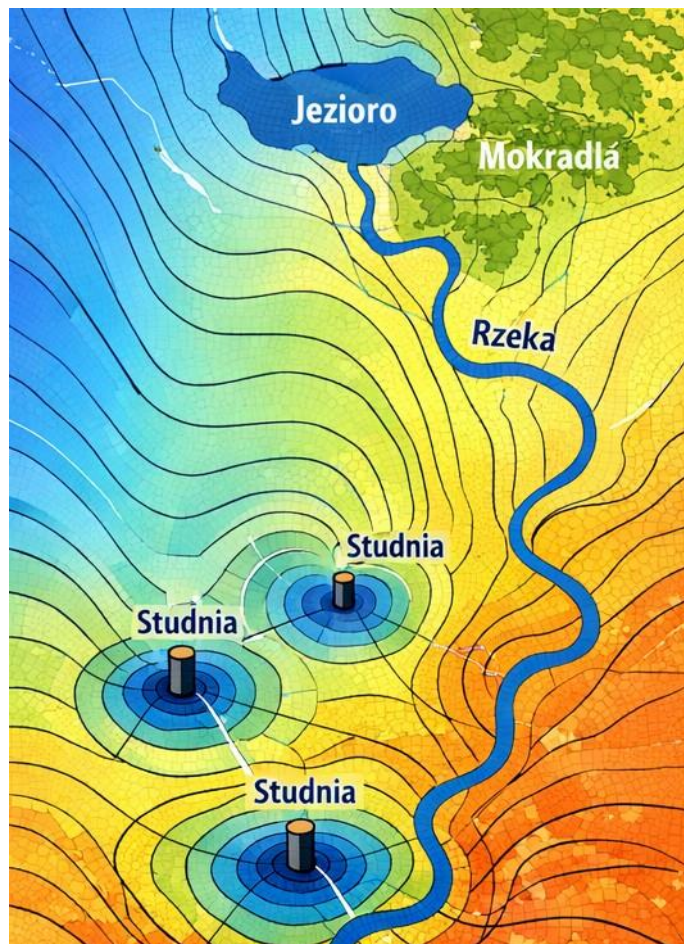




OPROGRAMOWANIE DO MODELOWANIA WÓD PODZIEMNYCH



Zastosowanie: Ocena i zarządzanie zasobami wód podziemnych

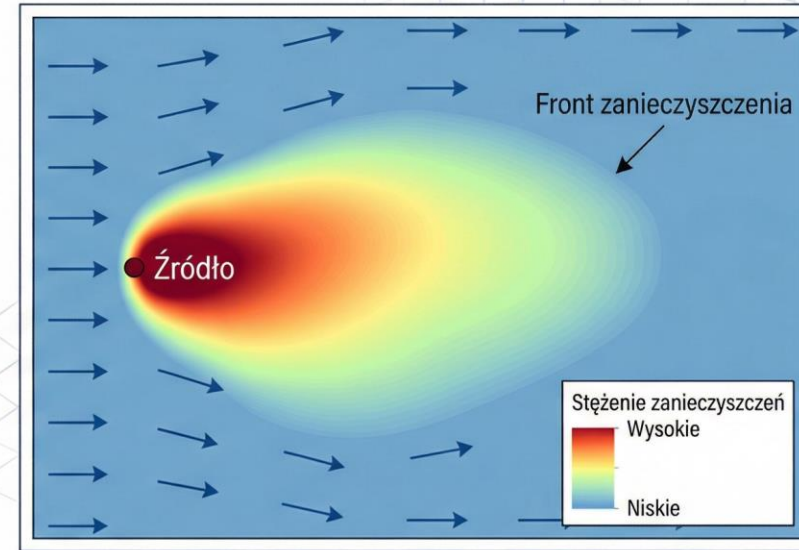


- **Bilans wodny** – oszacowanie zasilania, drenażu, poboru
- **Optymalizacja eksploatacji ujęć** – rozmieszczenie studni, wydajność
- **Wyznaczanie stref ochronnych** – strefy bezpośrednie i pośrednie (MODPATH)
- **Ocena zasobów** dyspozycyjnych i eksploatacyjnych
- **Interakcje wód podziemnych** z powierzchniowymi (rzeki, jeziora, mokradła)
- **Scenariusze zarządzania** – „co jeśli zwiększymy pobór o 30%?”



Zastosowanie: Symulacja migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych

- Procesy uwzględniane w modelu:
 - Adwekcja – unoszenie z prądem wody
 - Dyspersja – mechaniczne rozpraszanie
 - Sorpcja – wiązanie z ośrodkiem skalnym
 - Biodegradacja – rozkład biologiczny
- Zastosowania praktyczne:
 - Ocena zasięgu skażenia (pióropusz zanieczyszczeń)
 - Projektowanie systemów remediacji (pump & treat, bariery reaktywne)
 - Analiza ryzyka dla ujęć wody i ekosystemów



Narzędzia:

MT3DMS, RT3D, PHT3D



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy
państwowa służba geologiczna

pgi.gov.pl



SESJA
BEZPIECZEŃSTWO
WÓD PODZIEMNYCH.
MONITORING, ZAGROŻENIA,
OCHRONA. 23.03.2026
WARSZAWA

Zastosowanie: Górnictwo i budownictwo

Odwadnianie wyrobisk górniczych – prognoza doływów wody

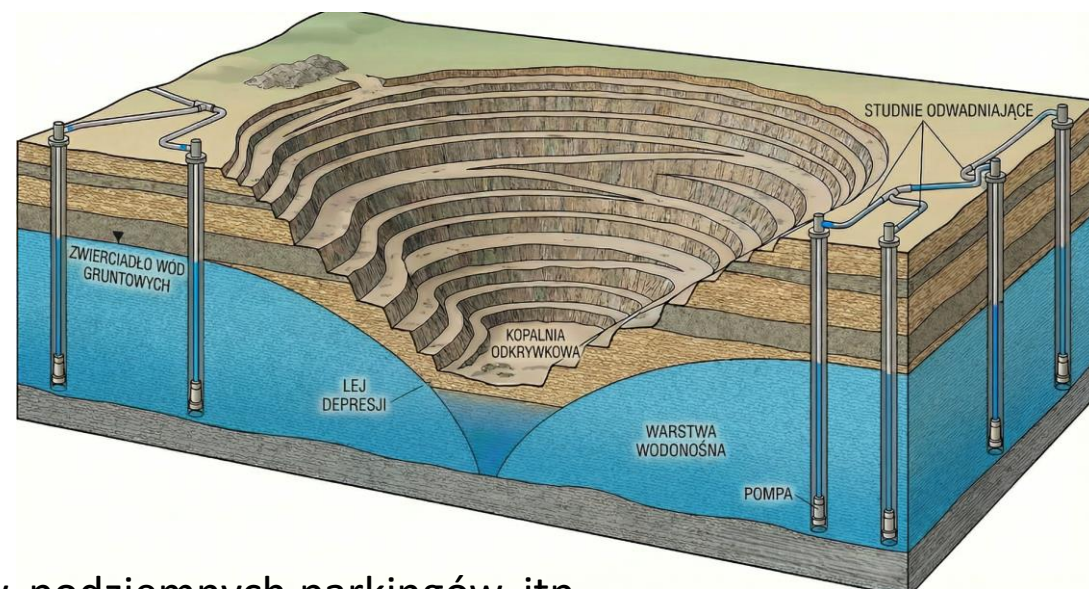
Projektowanie systemów depresji – rozmieszczenie studni odwadniających

Ocena wpływu na otoczenie:

- obniżenie zwierciadła wody w okolicznych studniach
- zagrożenie dla zabudowy (osiadanie terenu)
- wpływ na ekosystemy zależne od wód podziemnych

Faza poeksploatacyjna: prognoza odbudowy zwierciadła wody po zamknięciu kopalni

Budownictwo: budowa tuneli metra, głębokich wykopów, podziemnych parkingów, itp..



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy
państwowa służba geologiczna

pgi.gov.pl



SESJA
BEZPIECZEŃSTWO
WÓD PODZIEMNYCH.
MONITORING, ZAGROŻENIA,
OCHRONA. 23.03.2026
WARSZAWA

Zastosowanie: Analiza zmian klimatycznych

Wpływ zmian klimatu na zasilanie wód podziemnych



Zmiany wielkości i rozkładu opadów



Wzrost ewapotranspiracji

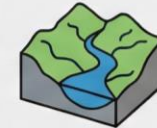


Zmiana okresów wegetacyjnych

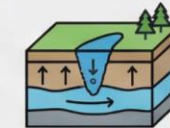
Modele sprzężone



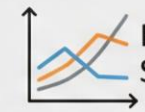
Modele klimatyczne (GCM/RCM)



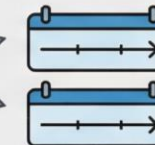
modele hydrologiczne



modele hydrogeologiczne

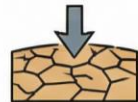


Scenariusze IPCC



symulacje długoterminowe (2050, 2100)

Prognozowane efekty



Spadek zasobów odnawialnych w regionach suchych



Zmiana interakcji wód podziemnych z powierzchniowymi

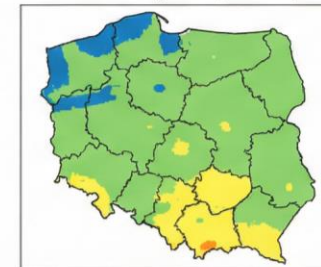


Wzrost zagrożenia intruzją wód słonych w strefach przybrzeżnych

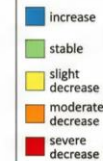
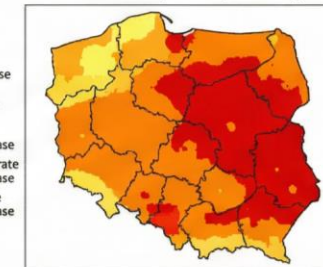
Mapa porównawcza

Prognozowane zmiany poziomu wód podziemnych

RCP 4.5 (2050, 2100)



RCP 8.5 (2050, 2100)



Inne zastosowania modelowania numerycznego

Geotermia:

- Modelowanie transportu ciepła
- Optymalizacja układów dubletowych



Intruzja wód słonych:

- Interfejs woda słodka – woda słona
- Zarządzanie barierami hydraulicznymi



Modelowanie Numeryczne



Składowanie odpadów i CO₂:

- Bezpieczeństwo składowisk odpadów
- Sekwestracja geologiczna CO₂



Rolnictwo:

- Optymalizacja nawodnień, drenaż melioracyjny



Hydrogeologia kryminalistyczna:

Ustalanie źródła i czasu skażenia



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy
państwowa służba geologiczna

pgi.gov.pl



SESJA
BEZPIECZEŃSTWO
WÓD PODZIEMNYCH.
MONITORING, ZAGROŻENIA,
OCHRONA. 23.03.2026
WARSZAWA

Dlaczego modelowanie numeryczne w hydrogeologii? Zalety, wyzwania i ograniczenia



✓ ZALETY:

- Integracja danych z różnych źródeł w spójny obraz
- Możliwość testowania scenariuszy „co jeśli?” (analiza wariantowa)
- Prognozowanie w czasie – perspektywa dekad i stuleci
- Kwantyfikacja procesów – liczby zamiast opisów jakościowych
- Wsparcie decyzji administracyjnych i inwestycyjnych

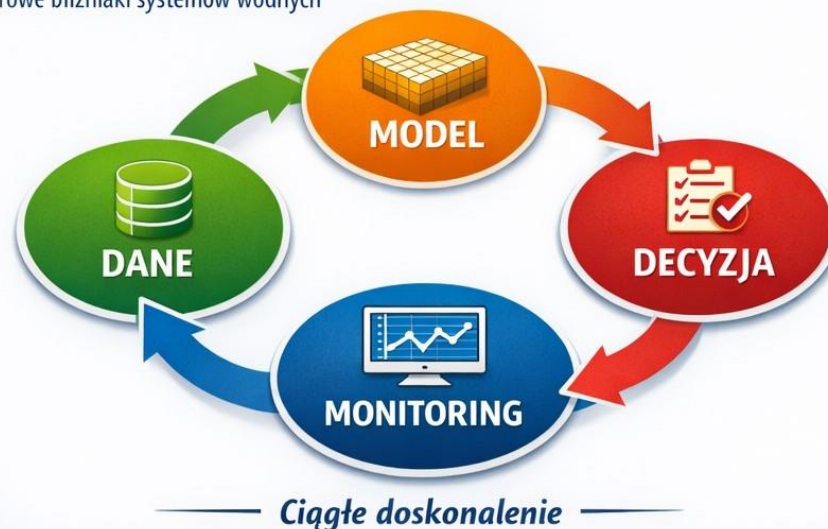
⚠ WYZWANIA I OGRANICZENIA:

- Niepewność danych wejściowych (parametry geologiczne, zasilanie)
- Problem niejednoznaczności kalibracji (equifinality)
- Koszty i czas budowy modelu
- Ryzyko nadmiernego zaufania do wyników („model powiedział...”)
- Wymagana wiedza ekspercka – model to narzędzie, nie wyrocznia



Podsumowanie i wnioski

- Modelowanie numeryczne to „**najważniejsze narzędzie**” współczesnej hydrogeologii ilościowej
- Szerokie spektrum zastosowań: od zarządzania zasobami, przez ochronę środowiska, po geotermię i klimat
- **Rosnąca dostępność**: otwarty kod (MODFLOW), środowisko Python, chmura obliczeniowa
- **Kluczowe wnioski**:
 1. Jakość modelu zależy od jakości danych i modelu konceptualnego
 2. Analiza niepewności powinna być integralną częścią każdego projektu
 3. Model to wsparcie decyzji, nie ich substytut
- **Przyszłość**: integracja z uczeniem maszynowym, modelowanie w czasie rzeczywistym, cyfrowe bliźniaki systemów wodnych



**DZIĘKUJĘ ZA
UWAGĘ!**

© PGI-PIB, Warszawa 2026



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy
państwowa służba geologiczna

pgi.gov.pl



SESJA
BEZPIECZEŃSTWO
WÓD PODZIEMNYCH.
MONITORING, ZAGROŻENIA,
OCHRONA. 23.03.2026
WARSZAWA