# Modelowanie i wizualizacja deformacji wywołanych podziemną eksploatacją górniczą

Andrzej Kwinta Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Agnieszka Malinowska Akademia Górniczo-Hutnicza
Ryszard Hejmanowski Akademia Górniczo-Hutnicza

**IV Akademia Kartografii i Geoinformatyki**
**„Modelowanie czasoprzestrzenne”**
Wrocław 22-24 maja 2024r.

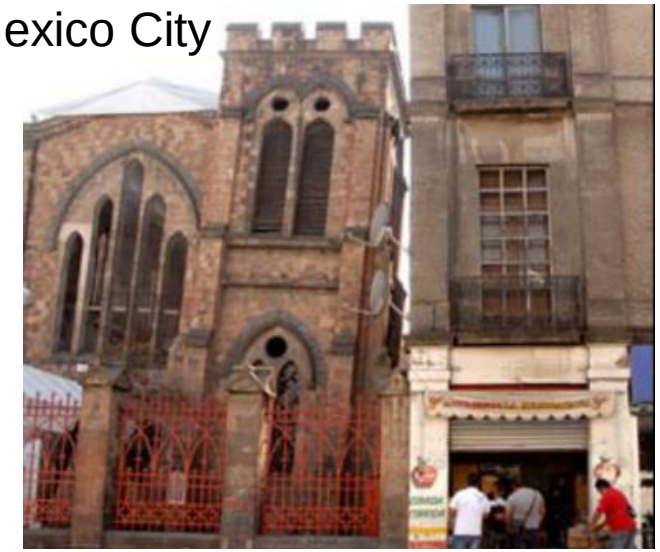
Politechnika Wrocławska

Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

# Modelowanie i wizualizacja deformacji wywołanych podziemną eksploatacją górniczą

Roczny przyrost obniżeń do 0.4m/rok
Całkowite obniżenie 12m/100lat

Mexico City



Deformacje nieciągłe Olkusz

Uszkodzenie obiektu Górny Śląsk

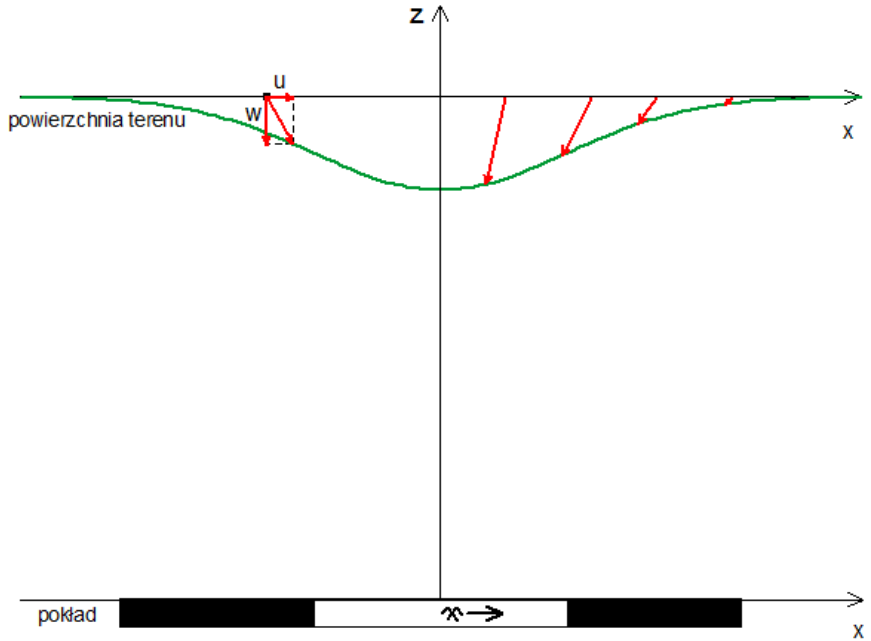
## Schemat powstawania deformacji wywołanych podziemną eksploatacją górniczą

Niecka obniżeniowa na powierzchni

Migracja na powierzchnię

Pustka poeksploatacyjna

Eksploatacja górnicza




**Skutek**

**Przyczyna**

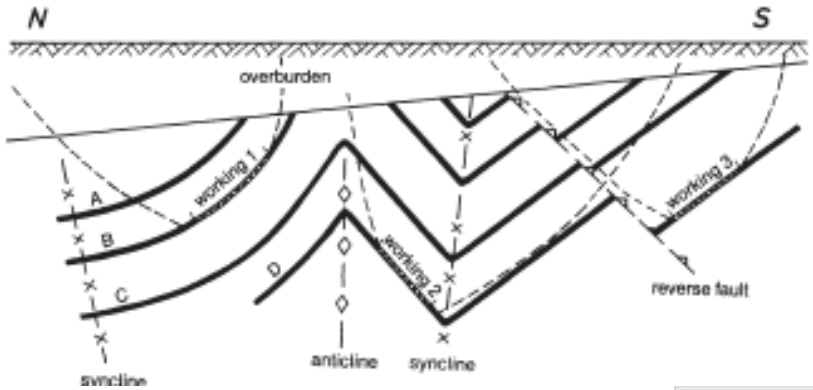
# Modelowanie i wizualizacja deformacji wywołanych podziemną eksploatacją górniczą

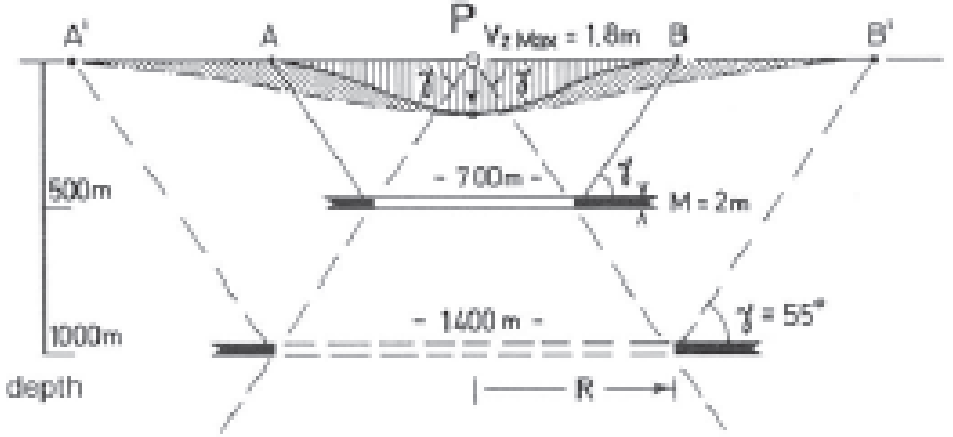
Czynników determinujące kształtowanie się pola przemieszczeń na skutek eksploatacji górniczej:

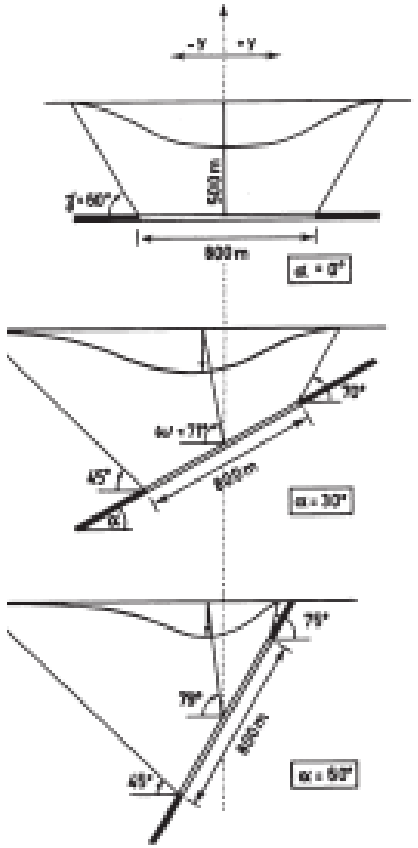
- ✓ **Geologiczne** – związane z geometrią złoża oraz budową górotworu,
- ✓ **Geomechaniczne** – opisują zdolność górotworu do przenoszenia wpływów (własności geomechaniczne skał górotworu)
- ✓ **Górnicze** – związane z technologią prowadzenia eksploatacji
- ✓ **Czasowe** – związane z harmonogramem eksploatacji, konwergencją pustki i propagacji przez górotwór

## Czynniki Geologiczne

| | |
|---|---|
| Głębokość eksploatacji | - zasięg oddziaływań |
| Miąższość nadkładu | - wygładzanie wskaźników |
| Nachylenie warstw | - odrzutowanie wpływów |
| Występowanie uskoków | - odcięcie wpływów |



# Modelowanie i wizualizacja deformacji wywołanych podziemną eksploatacją górniczą

Czynników determinujące kształtowanie się pola przemieszczeń na skutek eksploatacji górniczej:

- ✓ **Geologiczne** – związane z geometrią złoża oraz budową górotworu (głębokość, miąższość, nachylenie, uskokoki),
- ✓ **Geomechaniczne** – opisują zdolność górotworu do przenoszenia wpływów (własności geomechaniczne skał górotworu),
- ✓ **Górnicze** – związane z technologią prowadzenia eksploatacji (np. geometria pól eksploatacyjnych, system).
- ✓ **Czasowe** – związane z harmonogramem eksploatacji, konwergencją pustki i propagacji przez górotwór

## Czynniki Górnicze

Wymiary i kształt eksploatacji

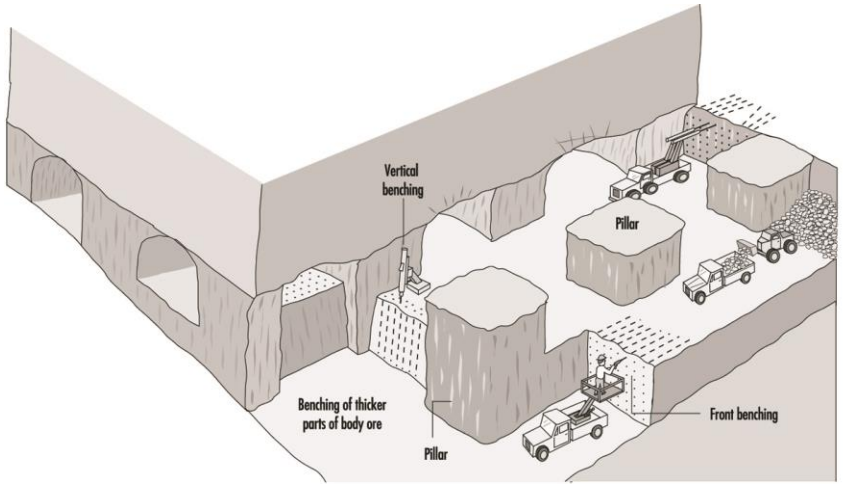
Wzajemne usytuowanie eksploatacji

System eksploatacji

Sposób kierowania stropem

Prędkość eksploatacji

Kolejność wybierania pokładów

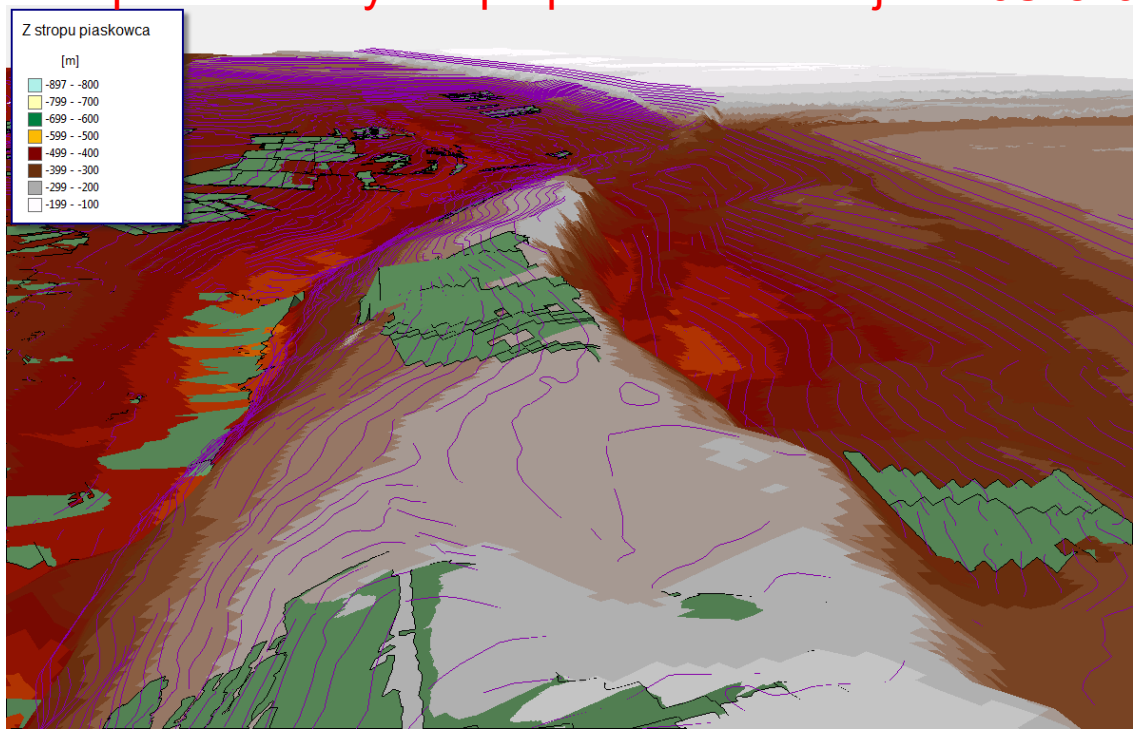


# Modelowanie i wizualizacja deformacji wywołanych podziemną eksploatacją górniczą

Czynników determinujące kształtowanie się pola przemieszczeń na skutek eksploatacji górniczej:

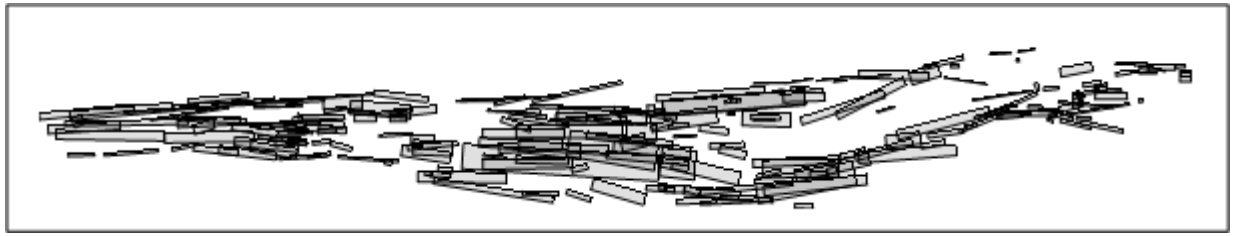
- ✓ **Geologiczne** – związane z geometrią złoża oraz budową górotworu (głębokość, miąższość, nachylenie, uskokoki),
- ✓ **Geomechaniczne** – opisują zdolność górotworu do przenoszenia wpływów (własności geomechaniczne skał górotworu),
- ✓ **Górnicze** – związane z technologią prowadzenia eksploatacji (np. geometria pól eksploatacyjnych, system).
- ✓ **Czasowe** – związane z harmonogramem eksploatacji, konwergencją pustki i propagacji przez górotwór

Rozkład przestrzenny stropu piaskowca w rejonie uskoku



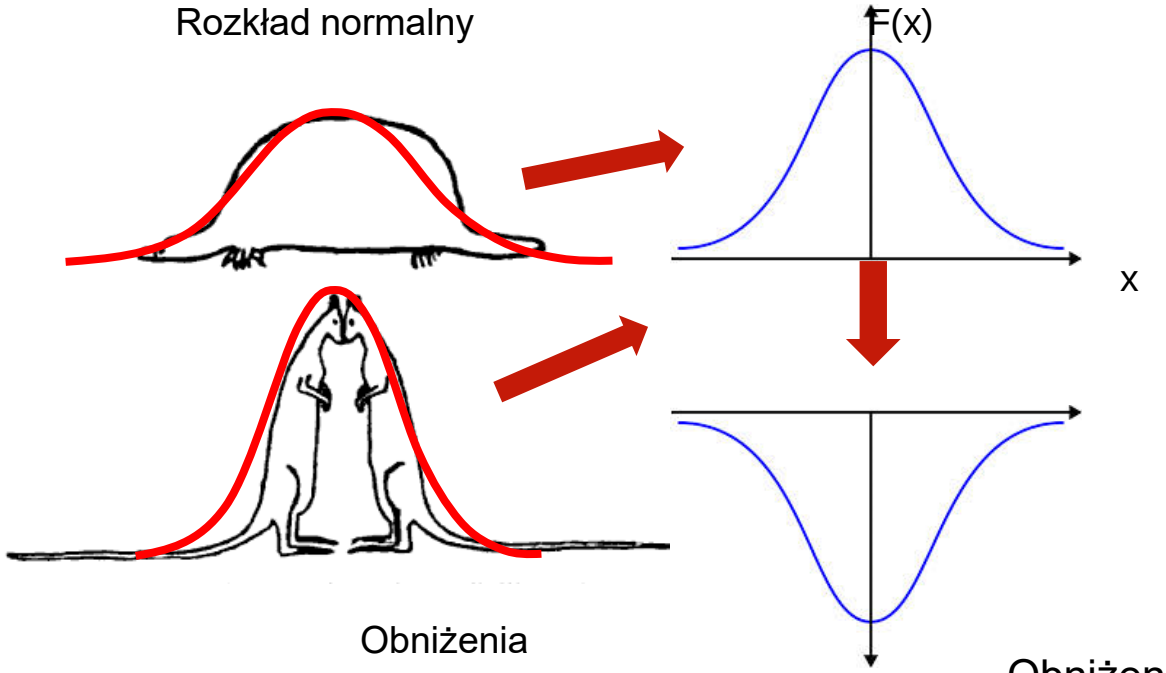

Komory poeksploatacyjne soli

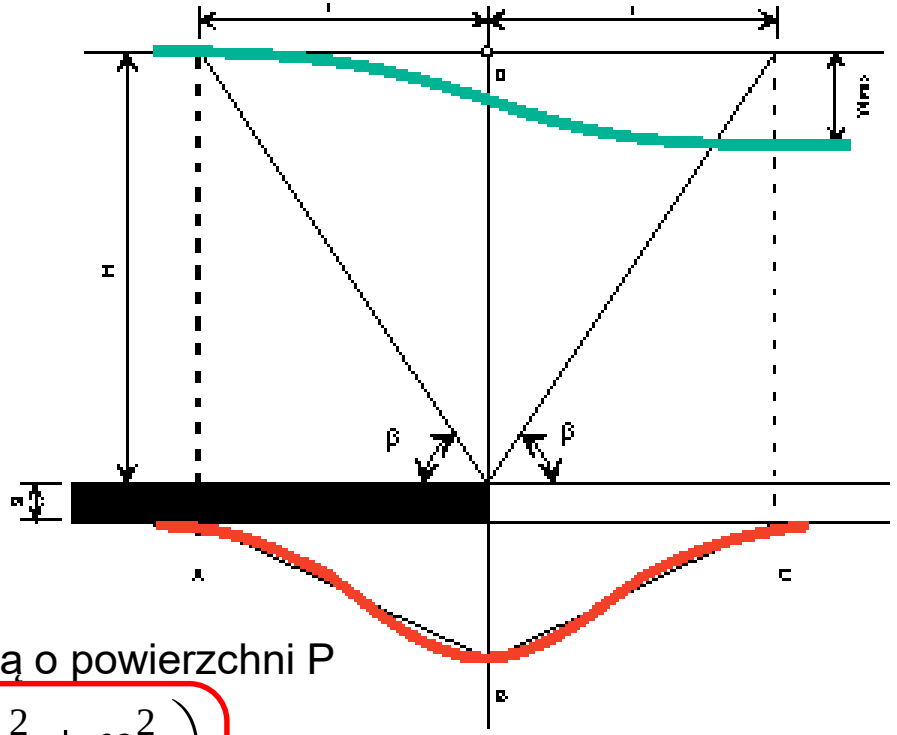
Układ parcel eksploatacyjnych



# Modelowanie i wizualizacja deformacji wywołanych podziemną eksploatacją górniczą

W Polsce, w ponad 90% przypadków do modelowania deformacji wykorzystuje się teorię geometryczno-całkową Knothego






Obniżenie wywołane eksploatacją o powierzchni P

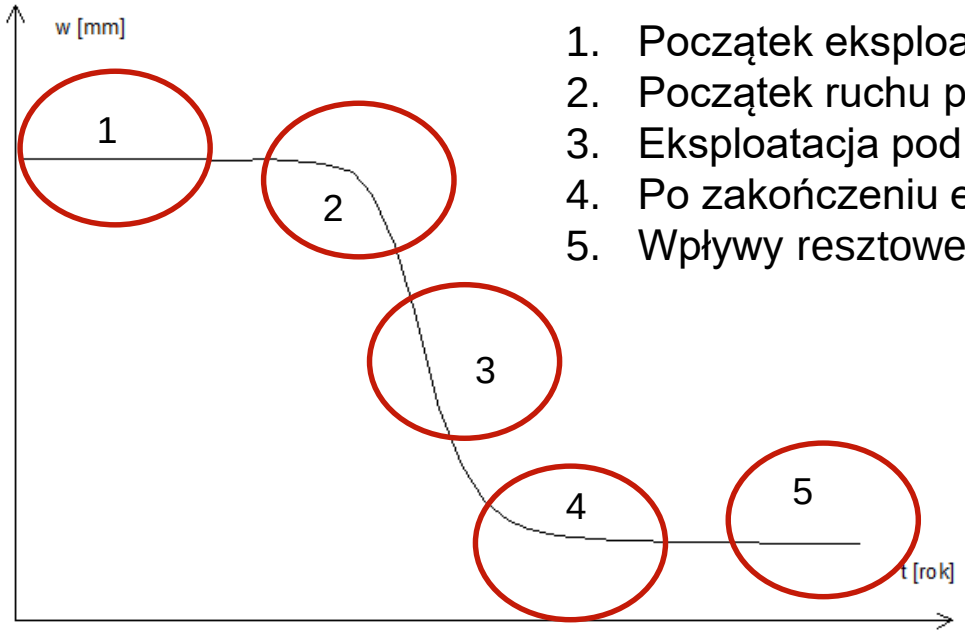
$$w = \frac{w_{max}}{r^2} \cdot \iint_P \exp\left(-\pi \frac{\lambda^2 + \eta^2}{r^2}\right) dP$$

Funkcja wpływów

**Wskaźniki deformacji:**

- Obniżenia
- Nachylenia profilu niecki
- Krzywizny pionowe
- Przemieszczenia poziome
- Odkształcenia poziome

## Przebieg deformacji w czasie




**Etapy ruchu punktu w czasie**

1. Początek eksploatacji; punkt poza zasięgiem oddziaływania
2. Początek ruchu punktu; maksymalne przyspieszenie
3. Eksploatacja pod punktem; maksymalna prędkość
4. Po zakończeniu eksploatacji; uspokojenie ruchu punktu
5. Wpływy resztowe

**Funkcja czasu Knothego**

$$\frac{dw(t)}{dt} = c \cdot \left[ w^k(t) - w(t) \right]$$

**Funkcja czasu Sroki-Schobera**

$$f(t) = 1 + \frac{\xi}{c-\xi} \exp(-ct) - \frac{c}{c-\xi} \exp(-\xi t)$$

**Przeciętne czasy trwania ruchów dla różnych kopalin**

| | | konwergencja | | propagacja | |
|---|---|---|---|---|---|
| Nr | Kopalina | min. [Rok] | max. [Rok] | min. [Rok] | max. [Rok] |
| 1 | Węgiel kamienny | 0.05 | 0.5 | 0.1 | 1.5 |
| 2 | Ruda miedzi | 3 | 9 | 0.3 | 1.5 |
| 3 | Sól kamienna | 60 | 300 | 0.6 | 1.5 |
| 4 | Ropa, woda, gaz | 15 | 60 | 0.6 | 1.5 |

# Modelowanie i wizualizacja deformacji wywołanych podziemną eksploatacją górniczą

**Projekt zagospodarowania złoża (PZZ)** - dokument określający wymagania w zakresie racjonalnej gospodarki złożem oraz przyjętej technologii eksploatacji sporządzany dla zakładu górniczego na etapie wniosku o przyznanie koncesji na eksploatację danej kopaliny użytecznej. Stanowi obligatoryjny załącznik do wniosku o udzielenie koncesji wydobywczej.

**Rozp. Min. Środ. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów zagospodarowania złóż (RMŚPZZ)**

§ 2. 1. Projekty zagospodarowania złóż sporządza się w formach opisowej, graficznej i tabelarycznej.

3. Część graficzna projektów zagospodarowania złoża, stosownie do zamierzonego sposobu eksploatacji i rodzaju kopaliny, zawiera:

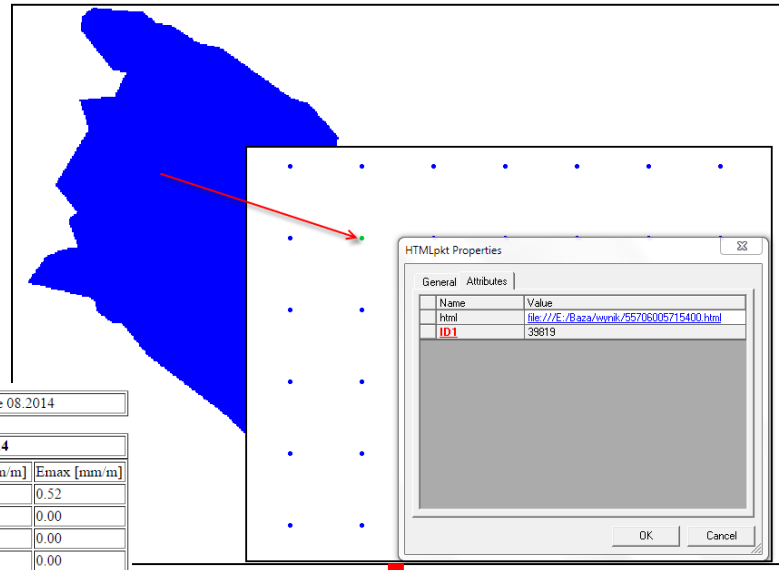
2) mapę lub mapy sytuacyjno-wysokościowe powierzchni z oznaczeniem przewidywanych zmian powstałych na skutek eksploatacji, oznaczeniem stref i wielkości przewidywanych deformacji terenu, jego przydatności do zabudowy i zagospodarowania;

| Kategoria terenu | Wartości wyznaczanych deformacji | | |
|---|---|---|---|
| | Nachylenie T [mm/m] | Odkształcenie ε [mm/m] | Promień krzywizny R [km] |
| 0 | $\langle 0.0, 0.5 \rangle$ | $\langle 0, 0.3 \rangle$ | $\langle 40.0, \infty \rangle$ |
| I | $\langle 0.5, 2.5 \rangle$ | $\langle 0.3, 1.5 \rangle$ | $\langle 20.0, 40.0 \rangle$ |
| II | $\langle 2.5, 5.0 \rangle$ | $\langle 1.5, 3.0 \rangle$ | $\langle 12.0, 20.0 \rangle$ |
| III | $\langle 5.0, 10.0 \rangle$ | $\langle 3.0, 6.0 \rangle$ | $\langle 6.0, 12.0 \rangle$ |
| IV | $\langle 10.0, 15.0 \rangle$ | $\langle 6.0, 9.0 \rangle$ | $\langle 4.0, 6.0 \rangle$ |
| V | $\langle 15.0, \infty \rangle$ | $\langle 9.0, \infty \rangle$ | $\langle 0.0, 4.0 \rangle$ |

Prognoza deformacji z zaznaczonymi kategoriami zagrożenia terenu górniczego

# Modelowanie i wizualizacja deformacji wywołanych podziemną eksploatacją górniczą

Sporządzenie prognozy deformacji w regularnej siatce kwadratów i w stałym interwale czasu




| Prognozowane wskaźniki deformacji dla IWEG 2014-20 | | | | X : 5698050 | Y : 5583000 | Obliczenie 08.2014 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (*) UWAGA! wartości promienia krzywizny są orientacyjn | | | | | | | | |
| | Wartości całko | | | Wartości przyrostowe od 01-01-2014 | | | | |
| Data | W [m] | [mm/m] | (*)Rmin [km] | W [m] | Tmax [mm/m] | (*)Rmin [km] | Emin [mm/m] | Emax [mm/m] |
| Ekstremalne | | 0.69 | 51.0 | 0.980 | 1.20 | 51.0 | -0.30 | 0.52 |
| 2014 | 0.576 | 0.51 | 51.0 | 0.000 | 0.00 | 51.0 | 0.00 | 0.00 |
| 01-01-2015 | 0.580 | 0.51 | 51.0 | 0.004 | 0.00 | 51.0 | 0.00 | 0.00 |
| 01-01-2016 | 0.584 | 0.51 | 51.0 | 0.008 | 0.00 | 51.0 | 0.00 | 0.00 |
| 01-01-2017 | 0.588 | 0.51 | 51.0 | 0.012 | 0.00 | 51.0 | 0.00 | 0.00 |
| 01-01-2018 | 0.592 | 0.51 | 51.0 | 0.016 | 0.00 | 51.0 | 0.00 | 0.00 |
| 01-01-2019 | 0.596 | 0.51 | 51.0 | 0.020 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2020 | 0.600 | 0.51 | 51.0 | 0.024 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2021 | 0.604 | 0.51 | 51.0 | 0.028 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2022 | 0.608 | 0.51 | 51.0 | 0.032 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2023 | 0.612 | 0.51 | 51.0 | 0.036 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2024 | 0.616 | 0.51 | 51.0 | 0.040 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2025 | 0.620 | 0.51 | 51.0 | 0.044 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2026 | 0.624 | 0.51 | 51.0 | 0.048 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2027 | 0.628 | 0.51 | 51.0 | 0.052 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2028 | 0.632 | 0.51 | 51.0 | 0.056 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2029 | 0.636 | 0.51 | 51.0 | 0.060 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2030 | 0.640 | 0.51 | 51.0 | 0.064 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2031 | 0.644 | 0.51 | 51.0 | 0.068 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2032 | 0.648 | 0.51 | 51.0 | 0.072 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2033 | 0.652 | 0.51 | 51.0 | 0.076 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2034 | 0.656 | 0.51 | 51.0 | 0.080 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2035 | 0.660 | 0.51 | 51.0 | 0.084 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |
| 01-01-2036 | 0.664 | 0.51 | 51.0 | 0.088 | 0.00 | 51.0 | -0.00 | -0.00 |

Zadanie na przyszłość:

Generowanie „w locie” mapy przyszłych deformacji dla wybranego rejonu eksploatacji i wybranego okna czasowego z zastosowaniem sztucznej inteligencji

# Dziękujemy za uwagę

Andrzej Kwinta Uniwersytet Rolniczy w Krakowie andrzej.kwinta@urk.edu.pl

Agnieszka Malinowska Akademia Górniczo-Hutnicza amalin@agh.edu.pl

Ryszard Hejmanowski Akademia Górniczo-Hutnicza hejman@agh.edu.pl