

***Tomasz Niemiec***

Wykład 3. Rybnik, 14 kwietnia 2012

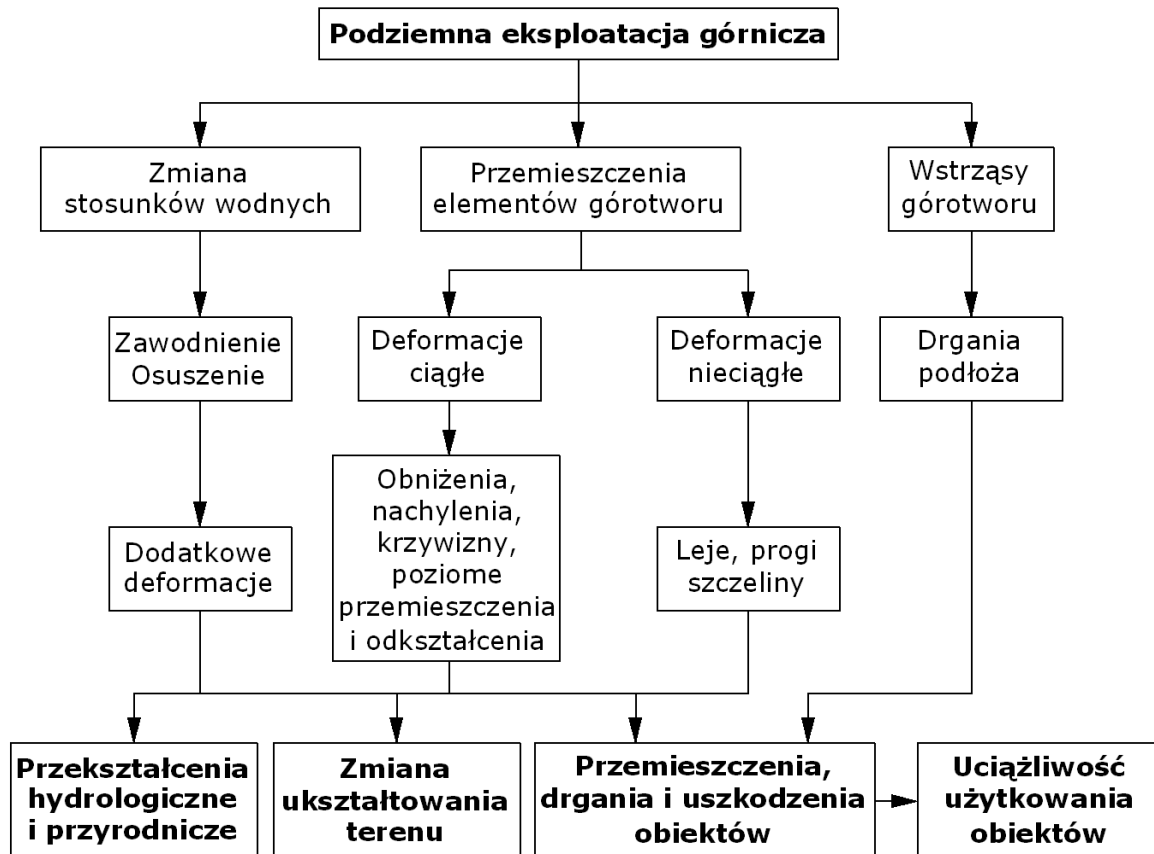
## **Opis wpływów eksploatacji w szczególności kształtowania się przemieszczeń i deformacji powierzchni**

### **1. Powstawanie deformacji i ich rodzaje**

Podziemna eksploatacja górnicza powoduje powstanie w górotworze pustek, które są zaciskane w wyniku działania grawitacji. W przypadku eksploatacji z zawałem stropu, skały położone bezpośrednio nad wybraną przestrzenią ulegają załamaniu – powstaje „rumosz skalny”, który wypełnia pustkę. Wyżej położone nad strefą zawału warstwy ulegają spękanom i ugięciu. Te, które są jeszcze wyżej – najczęściej tylko ugięciu.

Ruch nadległych mas skalnych przyczynia się do zmiany warunków geologicznych i hydrogeologicznych. Mogą mu też towarzyszyć wstrząsy górotworu. Efektem tego procesu są zawsze zmiany ukształtowania terenu a czasami także przekształcenia hydrologiczne. Te mają z kolei bezpośredni wpływ na elementy zagospodarowania powierzchni; zarówno przyrodnicze (np. zniszczenie szaty roślinnej wskutek osuszenia gleby), jak i techniczne (uszkodzenia obiektów budowlanych spowodowane deformacjami podłoża).

Następstwo przyczynowo-skutkowe przekształceń spowodowanych podziemną eksploatacją górniczą zobrazowano schematycznie na rysunku 1.



Rys. 1. Następstwo przyczynowo-skutkowe przekształceń spowodowanych podziemną eksploatacją górnica<sup>1</sup>

Niektóre oddziaływania górniczne są bardzo niekorzystne dla pewnych rodzajów obiektów. Dla tych samych elementów zagospodarowania powierzchni inne rodzaje wpływów mogą być obojętne. W przypadku obszarów leśnych i rolnych są nimi wstrząsy górniczne. Najczęściej szkodliwe skutki prowadzenia podziemnej eksploatacji górnicej są obserwowane w obiektach budowlanych.

Podstawowym podziałem deformacji powierzchni z uwagi na sposób ich ujawniania się jest podział na deformacje ciągłe i nieciągłe.

**Za deformacje ciągłe górotworu i powierzchni przyjmuje się takie, kiedy nie dochodzi do wyraźnego naruszenia spójności skał lub gruntu, tj. gdy nie pojawiają się szczeliny, progi i spękania. Deformacje ciągłe są to**

<sup>1</sup> Kwiatek J.: *Obiekty budowlane na terenach górnicznych*. Wydanie II zmienione i rozszerzone. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 2007

łagodne obniżenia powierzchni terenu w formie niecek obniżeniowych o zasięgu znacznie wykraczającym poza kontury eksploatacji. Deformacje te opisuje się wskaźnikami deformacji, do których zalicza się:

- przemieszczenia poziome  $u$ ,
- przemieszczenia pionowe, określane powszechnie jako obniżenia  $w$ ,
- nachylenia  $T$ ,
- krzywizny  $K$ , które mogą być dodatnie ( $K>0$ ) - wypukłe lub ujemne ( $K<0$ ) - wklęsłe,
- odkształcenia poziome  $\varepsilon$ , które mogą być dodatnie ( $\varepsilon>0$ ) o charakterze rozciągania lub ujemne ( $\varepsilon<0$ ) o charakterze ściskania.

*Deformacje nieciągłe* to szczeliny, progi, spękania, zapadliska (regularne bądź nieregularne leje), których rozmiary zależą od warunków eksploatacji. Występują głównie przy płytkich eksploatacjach, to jest takich, których głębokość jest zazwyczaj mniejsza od 80 m. Występowanie nieciągłości związane jest głównie z głębokością eksploatacji i z rodzajem skał budujących nadległy górotwór. Deformacje nieciągłe na powierzchni mogą występować również przy dużych głębokościach eksploatacji, głównie na skutek eksploatacji w wielu pokładach lub warstwach doprowadzonych w przybliżeniu do wspólnej pionowej płaszczyzny. Z uwagi na czas, deformacje ciągłe dzieli się na nieustalone i ustalone.

**Deformacje nieustalone** występują: po rozpoczęciu eksploatacji, w czasie jej trwania i przez pewien czas po zakończeniu eksploatacji. Są to deformacje chwilowe, zależne od czasu. **Deformacje ustalone** występują po ustaniu ruchów górotworu i powierzchni, często są one nazywane końcowymi lub asymptotycznymi. W praktyce występują od kilku miesięcy do kilku lat po zakończeniu eksploatacji.

Podstawowymi wskaźnikami opisującymi wpływ eksploatacji na osnowy geodezyjne są przemieszczenia poziome i pionowe (obniżenia) przypowierzchniowej warstwy górotworu, a na współdziałanie podłoża gruntowego z obiektami budowlanymi pochodne tych wskaźników: odkształcenia poziome, nachylenia i krzywizny terenu.

## 2. Definicje przemieszczeń punktów powierzchni

W prognozowaniu deformacji terenu spowodowanych eksploatacją podziemną najlepiej sprawdzają się modele geometryczne, opisujące wektorowe pole przemieszczeń  $\vec{U}$  górotworu traktowanego, jako ośrodek ciągły<sup>2</sup>,

$$\vec{U} = [u_x, u_y, u_z] \quad (1)$$

gdzie:

$xyz$  - dowolny nieruchomy, lokalny, prawoskrętny kartezjański układ współrzędnych o osi  $z$  skierowanej przeciwnie do kierunku działania siły ciężkości,

$$u_x = u_x(x, y, z)$$

$$u_y = u_y(x, y, z)$$

$$u_z = u_z(x, y, z)$$

W teoriach ruchu górotworu oznacza się:

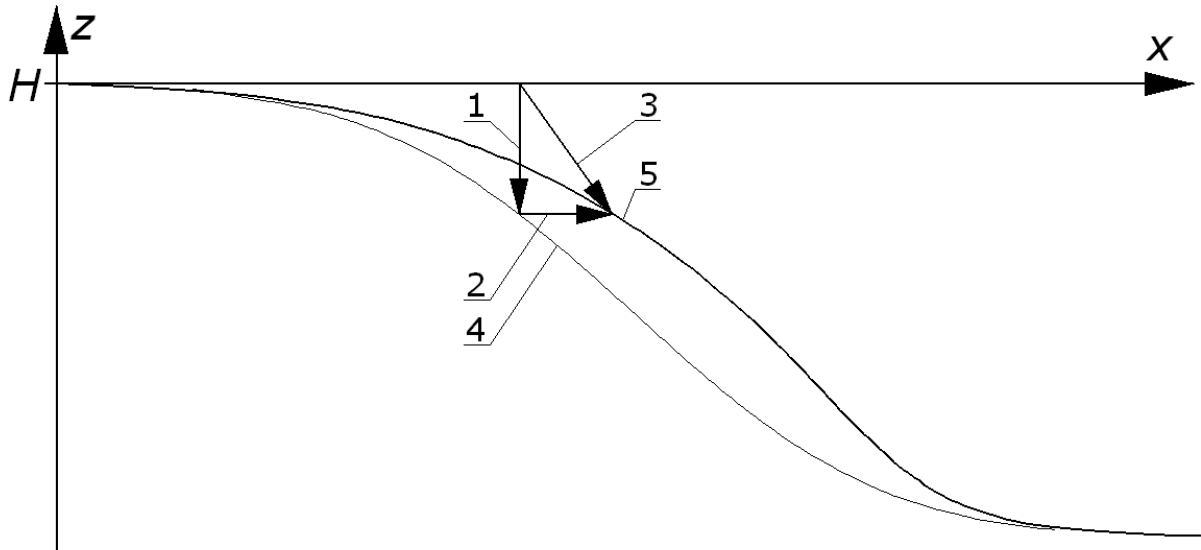
$$u_z = -w = w(x, y, z),$$

gdzie  $w$  jest tzw. *obniżeniem* punktu.

Takie pole jest wszędzie ciągłe wraz z pochodnymi dowolnego rzędu i może być w stosunku do niego stosowana geometria różniczkowa.

Na topograficzne zróżnicowanie powierzchni górotworu, czyli *terenu* nakłada się jego przemieszczenie spowodowane działalnością górnictwem. Oba te składniki rozpatruje się oddzielnie, traktując teren jako pierwotnie poziomą płaszczyznę, deformowaną przez wpływy górnicze. Taki zdeformowany teren „odcina” na dowolnej płaszczyźnie pionowej pewną krzywą nazywaną **profilem niecki** złożonym głównie z obniżeń i dlatego jest nazywany **profilem niecki obniżeniowej** (rys. 2). Jest on w pomijalnym stopniu zniekształcony przez - w ogólności niejednakowe - zmiany wzajemnych poziomych odległości punktów profilu. Położenie każdego punktu niecki obniżeniowej charakteryzuje obniżenie  $w$  oraz dwuwymiarowy wektor przemieszczenia poziomego o składowych  $u_x, u_y$ .

<sup>2</sup> Kwiatek J. i inni (1997): *Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych*. Katowice, GIG.



Rys. 2. Schemat rozkładu wektorów przemieszczeń wzdłuż profilu niecki obniżeniowej nad eksploatacją o kształcie półpłaszczyzny

- 1 - wektor przemieszczenia pionowego  $[0, 0, -w]$
- 2 - wektor przemieszczenia poziomego  $[u_x, 0, 0]$
- 3 - wektor przemieszczenia wypadkowego  $[u_x, 0, -w]$
- 4 - niecka obniżeniowa
- 5 - wypadkowa niecka przemieszczeń

Uwaga: Skala przemieszczeń i skala odległości  $x$  są różne.

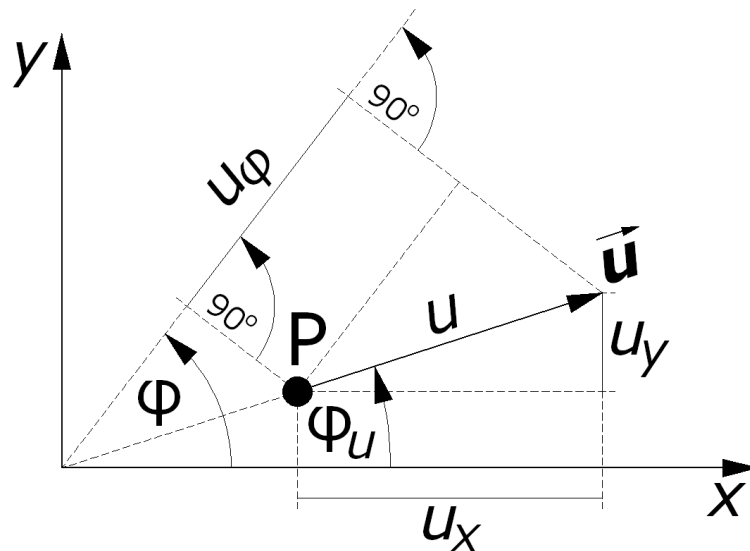
Długość wypadkowego przemieszczenia poziomego dowolnego punktu terenu wynosi zgodnie z rachunkiem wektorowym:

$$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} \quad (2)$$

Azymut  $\varphi_u$  wektora przemieszczenia poziomego określony jest przez równanie:

$$\operatorname{tg} \varphi_u = \frac{u_y}{u_x} \quad (3)$$

Azymut określany jest, jako kąt skierowany od osi  $x$  w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara (rysunek 3.).



Rys. 3. Składowe kartezjańskie ( $u_x, u_y$ ) i biegunowe (azymut  $\varphi_u$ , długość  $u$ ) oraz rzut  $u_\varphi$  dowolnego wektora dwuwymiarowego na wybrany kierunek o azymucie  $\varphi$ , na przykładzie wektora przemieszczenia poziomego  $\vec{u}$ ; P – punkt przyłożenia wektora

Przemieszczenie poziome w dowolnym kierunku  $\varphi$ , jako rzut wektora przemieszczenia poziomego na kierunek  $\varphi$ , wynosi:

$$u_\varphi = u_x \cos \varphi + u_y \sin \varphi \quad (4)$$

W szczególnym przypadku eksploatacji o kształcie półpłaszczyzny i krawędzi równoległej do osi  $y$ , ponieważ  $u_y = 0$ , przemieszczenia poziome w kierunku  $\varphi$  wynoszą (rysunek 5.4.):

$$u_\varphi = u_x \cos \varphi \quad (5)$$

Spośród różniczkowych elementów profilu niecki obniżeniowej opisujących jej lokalne własności, w praktyce używane są najczęściej **nachylenie** i **krzywizna**. Natomiast lokalne deformacje odległości między dwoma dowolnie blisko siebie położonymi punktami charakteryzowane są **stanem odkształcenia w punkcie**.

### 3. Określanie przemieszczeń i deformacji na podstawie geodezyjnych obserwacji

Wskaźniki służące do opisu zdeformowanej powierzchni można określać na podstawie tradycyjnych pomiarów geodezyjnych, a także przy wykorzystaniu Globalnego Pozycyjnego Systemu (GPS). Pozwala on na wyznaczanie współrzędnych dowolnego punktu na kuli ziemskiej w układzie współrzędnych geocentrycznych.

Na podstawie obserwacji długościowych, kątowych i wysokościowych określa się współrzędne punktów pomiarowych, a na ich podstawie wszystkie wskaźniki charakteryzujące deformacje. Najczęściej deformacje te wyznacza się wzdłuż linii pomiarowych.

Dla uproszczenia można założyć, że na linii pomiarowej znajduje się  $n$  punktów obserwacyjnych rozmieszczonych wzdłuż osi  $x$ . Rzędne  $x_i$  punktów określane są na podstawie pomiarów współrzędnych, a często tylko długościowych, natomiast ich obniżenia  $w_i$  na podstawie pomiarów wysokościowych. Numeracja punktów jest taka, że ciąg  $x_i$  dla  $i=1,2,\dots,n$  jest monotoniczny.

**Nachylenie** dowolnego odcinka linii pomiarowej, dla tak uzyskanych obniżeń jest równe:

$$T_{i,i+1} = \frac{w_{i+1} - w_i}{x_{i+1} - x_i} \quad (6)$$

gdzie:

$$w_i = H_i^A - H_i^P \quad (7)$$

$H_i^A$  - aktualna wysokość  $i$ -tego punktu,

$H_i^P$  - wysokość  $i$ -tego punktu w czasie pomiaru wyjściowego lub poprzedniego (dla obniżeń okresowych).

Dla jednakowych odcinków linii pomiarowej  $x_{i+1} - x_i = l$  (odległość między sąsiednimi punktami), **krzywiznę** profilu niecki obniżeniowej w  $i$ -tym punkcie wyznacza się z zależności:

$$K_i = \frac{w_{i-1} - 2w_i + w_{i+1}}{l^2} \quad (8)$$

**Odkształcenie poziome** określone dla odcinków (baz pomiarowych) jest równe:

$$\varepsilon_{l,i+1} = \frac{\Delta l}{l^P} = \frac{l^A - l^P}{l^P} \quad (9)$$

gdzie:

$l^A$  - aktualna długość bazy pomiarowej,

$l^P$  - długość bazy pomiarowej w pomiarze wyjściowym.

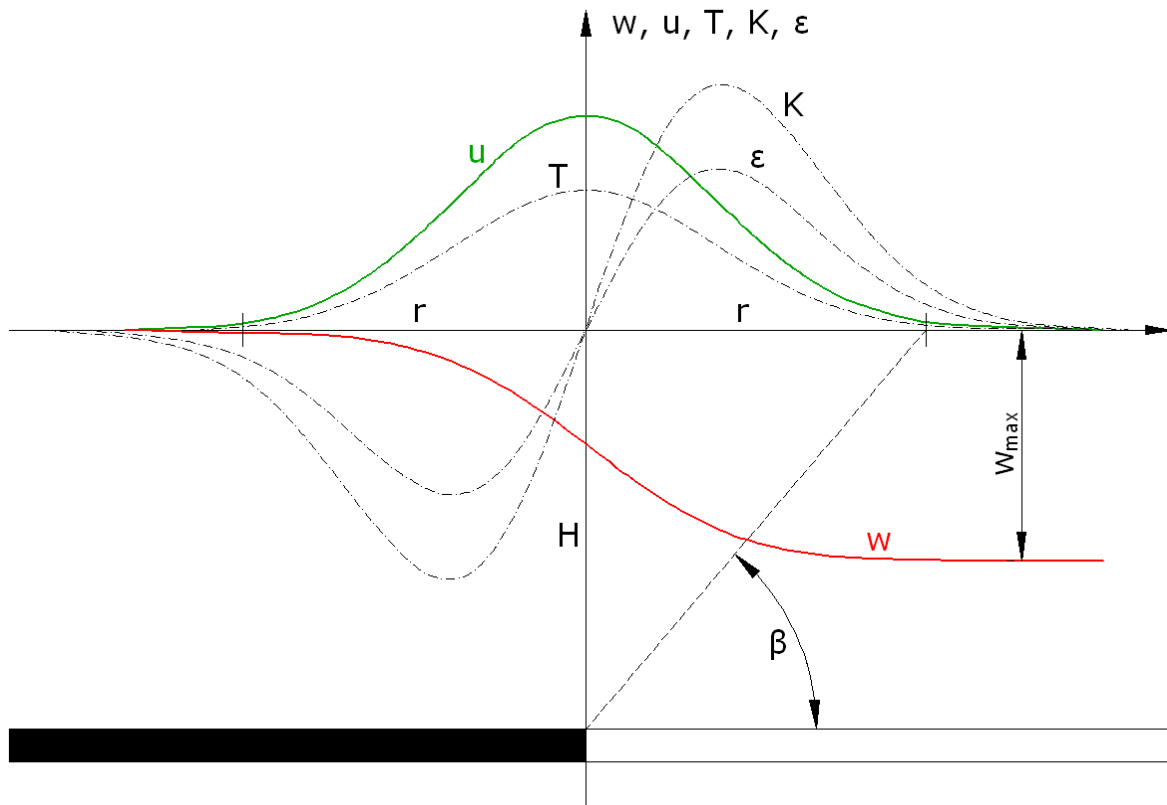
Zmianę  $\Delta l$  długości można określić również na podstawie różnicy przemieszczeń w danym kierunku według zależności:

$$\Delta l = u_x(x_{i-1}) - u_x(x_i) \quad (10)$$

gdzie:

$u_x(x_i)$  - przemieszczenie poziome w kierunku osi  $x$  w punkcie o współrzędnych  $x_i$ , określone z różnicy współrzędnych tego punktu między pomiarem aktualnym i pierwotnym.





Rys. 5. Wykresy podstawowych wskaźników deformacji powierzchni terenu

#### 4. Metody prognozowania deformacji powierzchni

Celem prognozy ciągłych deformacji powierzchni spowodowanych wpływem podziemnej eksploatacji górniczej jest obliczanie wskaźników deformacji w przestrzeni i czasie. W tym celu stosuje się dwie grupy metod, których podstawę stanowią wzory empiryczne bądź wzory będące wynikiem uogólnień i dedukcji.

Prognozowanie deformacji opartych na schematach dedukcyjnych jest bardziej uniwersalne niż przy wykorzystaniu wzorów empirycznych.

W niektórych przypadkach wzory empiryczne mogą jednak trafniej oddawać rzeczywisty opis deformacji. Najczęściej dotyczą one lokalnych warunków geologiczno-górniczych, które nie są powtarzalne.

Teorie ruchów górotworu podzielić można na trzy grupy<sup>3,4</sup>:

<sup>3</sup> Kwiatek J. i inni: *Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych*. Katowice, GIG 1997

- geometryczno-całkowe opracowane na podstawie geodezyjnych obserwacji przemieszczeń i deformacji powierzchni oraz założeniu odpowiednich funkcji wpływów,
- stochastyczne, traktujące górotwór, jako ośrodek sprężysty podlegający prawom losowym,
- oparte na deterministycznych zasadach mechaniki ośrodków ciągłych.

W Polsce najbardziej rozpowszechnione są teorie geometryczno-całkowe *Budryka-Knothego*<sup>5</sup> i *Kochmańskiego*<sup>6</sup>. Ich ponad 40-letnie stosowanie dostarczyło wielu doświadczeń z zakresu prognozowania i zachowania się górotworu, zwłaszcza w zależności od uwarunkowań geologiczno-górnictwowych. Stwierdzenie to odnosi się szczególnie do teorii *Budryka-Knothego*, której stosowanie w ostatnich latach znacznie się rozszerzyło dzięki wprowadzeniu techniki komputerowej do obliczeń.

Teoria *Budryka-Knothego* oparta jest na trzech podstawowych założeniach:

- funkcja wpływów opisująca obniżenia jest funkcją rozkładu normalnego *Gausa*,
- przemieszczenia poziome są proporcjonalne do nachyleń zgodnie z hipotezą *Awierszyna*,
- ośrodek jest nieściśliwy.

Jest ona szczególnym rozwiązaniem teorii *Litwiniszyna*<sup>7</sup>. Teoria opracowana przez *Litwiniszyna* traktuje górotwór jako ośrodek stochastyczny.

Klasycznym przykładem teorii zaliczanych do trzeciej grupy jest teoria *Sałustowicza*, w której przemieszczenia w niecce obniżeniowej traktowane

<sup>4</sup> Praca zbiorowa: *Ochrona powierzchni przed szkodami górnictwowymi*. Katowice, Wydawnictwo „Śląsk” 1980

<sup>5</sup> Knothe S.: *Prognozowanie wpływów eksploatacji górnictwowej*. Katowice, Wydawnictwo „Śląsk” 1984

<sup>6</sup> Kochmański T.: *Obliczenia ruchów punktów górotworu pod wpływem eksploatacji górnictwowej*. Warszawa, PAN 1956

<sup>7</sup> Litwiniszyn J.: *Teorie wpływu eksploatacji na powierzchnię wczoraj, dziś i jutro*. Szkoła Eksploatacji Podziemnej '93. Sympozja i Konferencje nr 6. Kraków, PAN 1993

są analogicznie jak ugięcie warstwy górotworu na sprężystym podłożu. W niektórych warunkach geologiczno-górnich wzory teorii *Sałustowicza* mogą być zastosowane do interpretacji zjawisk osobliwych, jak na przykład wypiętrzenia górotworu.

Do opisu deformacji powierzchni, spowodowanych podziemną eksploatacją górnich, wykorzystuje się również wzory empiryczne oparte na licznych geodezyjnych pomiarach tych deformacji.

Najczęściej stosowaną w Polsce teorią jest teoria *Budryka-Knothego*, która z wystarczającą dla praktyki dokładnością umożliwia przewidywanie deformacji. Istotnym argumentem, który uzasadnia powszechność jej stosowania jest jej związek z klasyfikacją terenów górnich<sup>8</sup>.

## 5. Klasyfikacja terenów górnich

Stopień zagrożenia terenu górnich deformacjami można określać podając:

- wartości wskaźników deformacji terenu,
- kategorie deformacji terenu,
- kategorie terenu górnich.

Obowiązujące obecnie zasady klasyfikacji terenów górnich są wzorowane na klasyfikacji podanej przez *Budryka i Knothego* w 1956 roku<sup>9</sup>. Najczęściej stosuje się podział stopni zagrożenia powierzchni podając kategorie terenu górnich, którą określają łącznie trzy wskaźniki deformacji, tj.: nachylenie, poziome odkształcenie i krzywizna terenu (tablica 1.), przy czym, daną kategorię determinuje wskaźnik kwalifikujący teren do najwyższej kategorii.

W przypadku stosowania podziału według kategorii deformacji teren górnich można scharakteryzować określając przykładowo: IIT, IIK, III $\epsilon$ , co oznacza, iż jest on określony deformacjami II kategorii ze względu na

<sup>8</sup> Praca zbiorowa: *Ochrona powierzchni przed szkodami górnichymi*. Katowice, Wydawnictwo „Śląsk” 1980

<sup>9</sup> Kwiatek J. i inni: *Ochrona obiektów budowlanych na terenach górnichymi*. Katowice, GIG 1997

nachylenia, II kategorii ze względu na krzywizny terenu oraz III kategorii ze względu na odkształcenia poziome.

### Znowelizowane kategorie terenu górniczego

Tablica 1.

Kategoria	Wartości wskaźników deformacji		
	nachylenie	promień Krzywizny	odkształcenie poziome
	[mm/m]	[km]	[mm/m]
0	$T \leq 0,5$	$ R  \geq 40$	$ \varepsilon  \leq 0,3$
I	$0,5 < T \leq 2,5$	$40 >  R  \geq 20$	$0,3 <  \varepsilon  \leq 1,5$
II	$2,5 < T \leq 5$	$20 >  R  \geq 12$	$1,5 <  \varepsilon  \leq 3$
III	$5 < T \leq 10$	$12 >  R  \geq 6$	$3 <  \varepsilon  \leq 6$
IV	$10 < T \leq 15$	$6 >  R  \geq 4$	$6 <  \varepsilon  \leq 9$
V	$15 < T$	$ R  < 4$	$ \varepsilon  > 9$

## 6. Prognozowanie przemieszczeń punktów na powierzchni

### 6.1. Deformacje spowodowane eksploatacją o dowolnym kształcie

Najczęściej stosowaną w Polsce jest teoria *Budryka-Knothego*. Pozwala ona na przewidywanie deformacji z wystarczającą dla praktyki dokładnością. Stosowane są również jej modyfikacje lub odmiany do prognozowania przy zastosowaniu metod komputerowych na przykład opracowanych przez: *J. Białka*<sup>10</sup>, *E. Jędrzejca*<sup>11</sup>, a także dla metody obliczeniowej *T. Niemca*<sup>12</sup> - program **EXPLON**.

<sup>10</sup> Białek J.: *Algorytmy i programy komputerowe do prognozowania deformacji terenu górniczego*. Monografia. Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2003

Przez teorię *Budryka-Knothego* rozumie się jej postać, w której funkcją wpływów jest funkcja rozkładu normalnego *Gaussa*. W pierwszych rozwiązaniach *S. Knothe*<sup>13</sup> stosował uproszczenie, rozkład trójkątny, co było podyktowane brakiem odpowiednich narzędzi obliczeniowych (komputery).

Do opisu pola przemieszczeń w teorii *Budryka-Knothego* przyjmuje się zwykle dwa kartezjańskie, prawoskrętne i poziome układy współrzędnych:

- układ  $\xi\eta$  związany z eksploatowanym pokładem,
- układ  $xy$  związany z dowolnym punktem obliczeniowym  $P(x,y)$ .

Oba układy są geometrycznie tożsame, a ich rozróżnienie podyktowane jest wymogami opisu matematycznego. W celu lepszej ich prezentacji, przedstawiono je na rysunku 6.

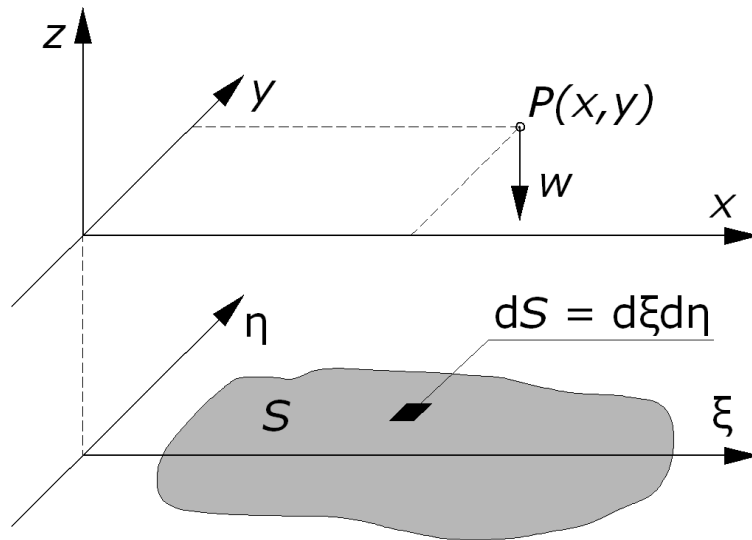
Tablica 2

Wskaźnik deformacji	Wartość ekstremalna	Miejsce występowania ekstremum
$w$	$ag$	$\xi \rightarrow -\infty$
$T$	$\frac{ag}{r}$	$\xi=0$
$K$	$\pm 1.5 \frac{ag}{r^2}$	$\xi = \pm 0.4r$
$u$	$0.4ag$	$\xi=0$
$\varepsilon$	$\pm 0.6 \frac{ag}{r}$	$\xi = \pm 0.4r$

<sup>11</sup> Jędrzejec E.: *32-bitowa aplikacja Szkoły 4.0 do prognozowania poeksploatacyjnych deformacji górotworu*. Prace Naukowe GIG 2002. Seria Konferencje Nr 41. Problemy ochrony terenów górniczych, s. 193-200

<sup>12</sup> Niemiec T, Stawarczyk K.: *Instrukcja obsługi programu Explon*

<sup>13</sup> Knothe S.: *Równanie profilu ostatecznie wykształconej niecki osiadania*. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa t. 1, z. 1. 1953



Rys. 6. Układy współrzędnych przyjęte do opisu deformacji terenu

Ustalone obniżenie punktu  $P(x, y)$  spowodowane eksploatacją poziomego pokładu w obszarze  $S$ , według teorii *Budryka-Knothego* wynosi:

$$w(x, y) = \frac{w_{max}}{r^2} \iint_S \exp\left[-\frac{\pi}{r^2}[(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2]\right] d\xi d\eta \quad (6.1)$$

gdzie:

$w_{max}$  - największe możliwe obniżenie terenu:

$$w_{max} = a g \quad (6.2)$$

$\beta$  - kąt rozproszenia wpływów ( $\text{tg}\beta$  - parametr teorii, tzw. parametr górotworu),

$r$  - promień rozproszenia wpływów na powierzchni terenu, znany z zależności:

$$r = \frac{H}{\text{tg}\beta} \quad (6.3)$$

$S$  - eksploatowane pole pokładu,

$d\xi d\eta$  - pole powierzchni elementu eksploatacji.

Z założenia przyjętego w teorii *Budryka-Knothego* za *Awierszynem* wynika, że składowe przemieszczenia poziome wynoszą:

$$u_x = B \frac{\partial W}{\partial x}$$

$$u_y = B \frac{\partial W}{\partial y}$$
(6.4)

gdzie:

$B$  - współczynnik nazwany przez *Budryka* współczynnikiem poziomego odkształcenia, którego wartość oszacował na:

$$B = \frac{r}{\sqrt{2\pi}} \cong 0,4 r$$
(6.5)

Obecnie uważa się, że wartość tego współczynnika waha się w przedziale od 0,25 do 0,4  $r$ . Najczęściej według *E. Popiołka* przyjmuje się<sup>14</sup>:

$$B = 0,32 r$$
(6.5a)

## 6.2. Parametry teorii Budryka-Knothego i ich wartości

Podstawowymi parametrami teorii *Budryka-Knothego* są:

- parametr górotworu  $\text{tg}\beta$  (6.3), nazywany parametrem rozproszenia wpływów lub parametrem zasięgu wpływów głównych,
- współczynnik eksploatacyjny  $a$ .

Do szczegółowych obliczeń prognostycznych wyznacza się obrzeże eksploatacyjne  $p$ .

Parametr  $\text{tg}\beta$  charakteryzuje własności górotworu położonego nad eksploatacją. Najogólniej, dla górotworu zbudowanego z warstw zwięzłych zasięg wpływów jest większy, nachylenie zbocza niecki obniżeniowej łagodniejsze, natomiast dla górotworu zbudowanego z warstw mało zwięzłych zasięg wpływów jest mniejszy, nachylenie zbocza niecki jest bardziej strome ( $\text{tg}\beta$  jest większy niż w pierwszym przypadku).

Współczynnik eksploatacyjny charakteryzuje sposób eksploatacji i likwidacji przestrzeni poeksploatacyjnej, nazywany jest również parametrem eksploatacji. Definiowany jest jako stosunek największego

---

<sup>14</sup> Greń K., Popiołek E.: *Wpływ eksploatacji górniczej na górotwór i powierzchnię*. Skrypt AGH nr 1179. Kraków 1990

obniżenia niecki pełnej lub nadpełnej do średniej grubości eksploatowanego pokładu:

$$a = \frac{W_{max}}{g} \quad (6.6)$$

Obrzeże eksploatacyjne to pozioma odległość od punktu przegięcia pełnej (lub nadpełnej) niecki obniżeniowej od krawędzi eksploatacji pokładu. W teorii *Budryka-Knothego* przyjmuje się dla uproszczenia, że obniżenia punktów w stropie pokładu są nad calizną równe zero, a nad przestrzenią wybraną równe  $w_{max}$  (tzw. progowy profil ugięcia stropu). Zastąpienie rzeczywistej niecki stropowej profilem progowym przesuniętym w kierunku przestrzeni wybranej o wartość obrzeża  $p$  jest pierwszym najprostszym przybliżeniem uwzględniania profilu ugięcia stropu w rejonie krawędzi eksploatacji.

Parametry teorii należy wyznaczać na podstawie wyników geodezyjnych pomiarów deformacji w danym rejonie lub w rejonie o podobnych warunkach geologiczno-górnictwowych. Najlepiej parametry te wyznaczać z ich definicji, pod warunkiem, że zaobserwowane są odpowiednie wskaźniki deformacji na liniach pomiarowych nad dużymi polami eksploatacyjnymi. Wyznaczone wartości parametrów dla wielu przypadków przez A. Kowalskiego<sup>15</sup> wykazują duże zróżnicowanie, co wynika ze zróżnicowania warunków geologiczno-górnictwowych w kopalniach GZW, są następujące:

- współczynnik eksploatacyjny od 0,5 do 1,0 – średnio 0,8,
- parametr górotworu  $tg\beta$  od 1,3 do 2,5 – średnio 1,93,
- obrzeże eksploatacyjne od 0 do 0,47  $H$  – średnio 0,1 $H$ .

W przypadku, gdy nie dysponuje się odpowiednimi wynikami geodezyjnych pomiarów deformacji do wyznaczenia parametrów, należy je odpowiednio przyjmować. Dla kopalń węgla kamiennego, w których warunki geologiczno-górnictwowe są typowe, przyjmuje się parametr  $tg\beta=2,0$ .

---

<sup>15</sup> Kowalski A.: *Nieustalone górnicze deformacje powierzchni w aspekcie dokładności prognoz*. Prace Naukowe GIG 2007. Nr 871



Współczynniki eksploatacyjne zaleca się przyjmować według zestawienia podanego w tabelicy 2.

Zestawienie wartości współczynnika eksploatacyjnego<sup>16</sup>

Tablica 3.

Sposób likwidacji przestrzeni wybranej - system eksploatacji	Wartość współczynnika <i>a</i>
zawał stropu	0,7 ÷ 0,85 *)
podszadzka sucha – pełna z materiału dostarczanego	0,5 ÷ 0,6 *)
podszadzka sucha pneumatyczna	0,4 ÷ 0,5 *)
podszadzka hydrauliczna z piasku	0,15 ÷ 0,25 *)
podszadzka hydrauliczna z kamienia kruszonego (np. Haldex)	0,3
eksploatacja częściowa pasami w 50% z podszadzką hydrauliczną	0,02 ÷ 0,03 *)
eksploatacja częściowa pasami w 50% z zawałem stropu	0,1

\*) Wartości większe należy przyjmować przy eksploatacji wielokrotnej. Współczynnik odkształceń poziomych należy przyjmować według wzoru (6.5) lub (6.5a), a obrzeże eksploatacyjne równe  $0,1H$ . Do obliczania wpływów eksploatacji, której krawędź znajdzie się w bezpośrednim sąsiedztwie zrobów wcześniej wybranego pokładu, obrzeże należy uwzględniać ze znakiem przeciwnym, tzn. krawędź eksploatacyjną należy umownie przesunąć w kierunku wcześniejszej eksploatacji.

<sup>16</sup> Kwiatek J. i inni: *Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych*. Katowice, GIG 1997

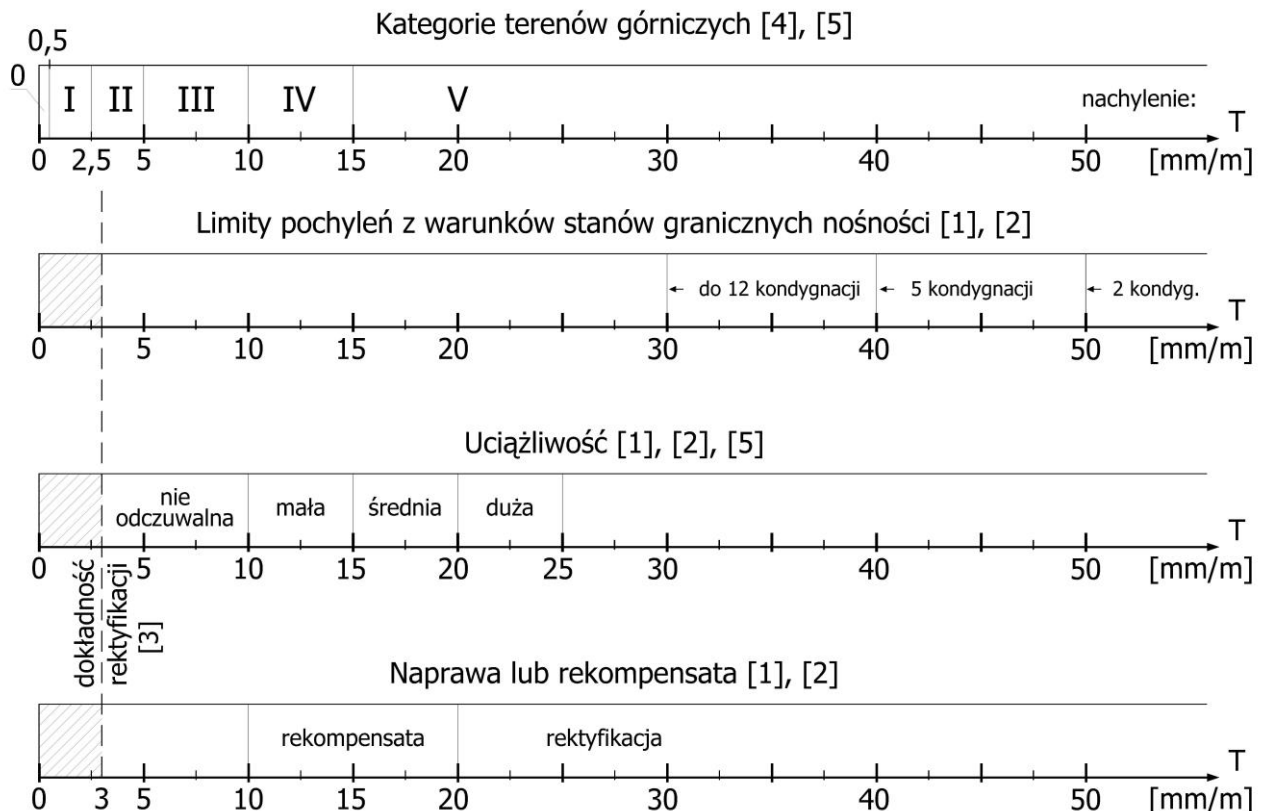
## 7. Usuwanie skutków eksploatacji

### 7.1. Prostowanie obiektów

Jednym z negatywnych skutków eksploatacji górniczej jest nachylenie terenu (Rys. 5. – krzywa  $T$  oraz Tablica 1), a co za tym idzie, pochylenie stropów budynku (odchylenie ścian od pionu). Gdy wartości tego wskaźnika deformacji są znaczne (Tablica 4) – zachodzi potrzeba likwidacji szkody. Zamiast likwidacji obiektu i wypłaty odszkodowania, można obiekt poddać procesowi rektyfikacji.

Tablica 4

### POCHYLENIE BUDYNKU, JAKO KRYTERIUM ODPOWIEDZIALNOŚCI ZA SZKODY GÓRNICZE



- [1] B. Gil-Kleczeńska: „Odporność obiektów kubaturowych na wpływ eksploatacji górniczych w aspekcie ich użytkowania” Prace Głównego Instytutu Górnictwa. Konferencje nr 3. „Ochrona powierzchni i obiektów budowlanych przed szkodami górniczymi”. Katowice 1997
- [2] B. Gil-Kleczeńska: „*Techniczno-ekonomiczne zasady ochrony budynków przed szkodami górniczymi*” Prace Głównego Instytutu Górnictwa. Konferencje nr 20. „*Ochrona powierzchni i obiektów budowlanych przed szkodami górniczymi*”. Katowice 1997
- [3] Instytut Techniki Budowlanej. Praca Naukowo-Usługowa nr SK-407/OG-591 „*Opinia dotycząca prostowania budynków wychylonych na skutek eksploatacji górniczej*”. Gliwice 1995
- [4] A. Kowalski, E. Jędrzejec, J. Kwiatek: „*Kategorie deformacji terenów górniczych*”. IV Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów górniczych. Ryto 1997
- [5] J. Kwiatek i zespół: „Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych”. Katowice 1997

## **7.2. Ekran ochronny**

Drugim negatywnym skutkiem eksploatacji górniczej jest odkształcenie poziome terenu (Rys. 5. – krzywa  $\varepsilon$  oraz Tablica 1). Wskaźnik ten przyjmować może wartości dodatnie (rozciągania) bądź ujemne (ściskania). Przeciwdziałaniem jest wykonanie w gruncie wokół budynku transzei kompensującej ściskania (spełzania) wypełnionej materiałem ściśliwym i porowatym oraz żelbetowej kratownicy, związanej z podłożem systemem pionowych pali wychodzących z węzłów kratownicy (przeciwdziałania rozpełzaniu). Tak wykonaną konstrukcję nazwano „ekranem ochronnym”.

Ułożenie na dnie wykonanej transzei sączków drenarskich pozwala na odprowadzenie wody gruntowej dopływającej w nadmiarze na skutek dodatkowego obniżenia terenu (Rys. 5 – krzywa  $w$ ) spowodowanego wpływem eksploatacji górniczej.