

Analiza deformacji powierzchni terenu związana z działalnością górnictwem przy uwzględnieniu zmieniających się warunków brzegowych

ANTON SROKA, KRZYSZTOF TAJDUŚ, RAFAŁ MISA

Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

Streszczenie

Podziemna eksploatacja górnictwa może wywołać szkody górnicze w obiektach budowlanych znajdujących się na powierzchni terenu. Z uwagi na wysoką szkodliwość tego zjawiska naukowcy z całego świata próbowali opisać wpływ eksploatacji podziemnej na deformacje powierzchni terenu i obiektów na niej się znajdujących. W latach pięćdziesiątych pojawiły się pierwsze teorie oparte na rozkładzie Gaussa, które stosowane są po dzień dzisiejszy.

W tym artykule przedstawiona została metodyka prognozowania osiadania oparta na teoriach geometryczno-całkowych przy uwzględnieniu różnych warunków brzegowych. Zaprezentowany jest przykład modelowania matematycznego na bazie porowatego elementu złożowego, przy czym czynnikiem wywołującym osiadanie jest kompakcja tego elementu spowodowana spadkiem ciśnienia w porach. Kolejną część artykułu opisuje badania nad wartością współczynnika B wykorzystując pomierzone wartości obniżen i przemieszczeń poziomych i sporządzając wykresy wartości przemieszczeń poziomych w funkcji obliczonych wartości nachyleń.

Słowa kluczowe: przemieszczenia poziome, deformacje powierzchni, osiadania nad kawernami solnymi i złożami fluidalnymi, modelowanie matematyczne, szkody górnicze, hipoteza Awierszyna

1. Wstęp

Prowadzenie podziemnej eksploatacji górnictwa powoduje deformacje struktury górotworu. W wyniku tego procesu na powierzchni terenu powstają szkody górnicze w postaci: zapadlisk, lejów oraz niecek obniżeniowych. Stanowią one poważny problem w wielu obszarach, powodując zniszczenia w obiektach budowlanych, których konsekwencje, w tym ekonomiczne, są znaczne. Profilaktyka tych szkód opiera się w dużej mierze na ich przewidywaniu (Kwiatek, 1997; Sroka, 1999).

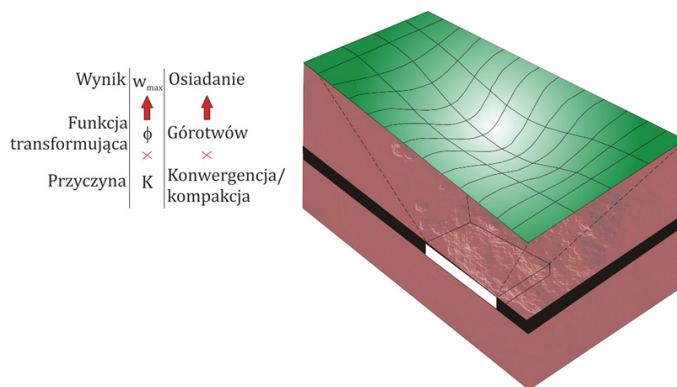
2. Stosowanie metod geometryczno-całkowych w celu określenia deformacji powierzchni terenu

Do tej pory na świecie stosuje się metody prognozowania opracowane w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku z których wyróżnić można: metody oparte na normalnym rozkładzie wpływów Gaussa (metody geometryczno-całkowe), takie jak metoda Ruhrkohle, metoda Knothego; metody empiryczne, takie jak: metoda NCB; lub metody środka ciężkości „Senkungsschwerpunktes”, np.: metoda Balsa, Keinhorsta, Beyera i inne (Tajduś et al., 2010). Najszersze zastosowanie znalazły metody oparte na normalnym rozkładzie wpływów Gaussa, które do dzisiaj stosowane są powszechnie m.in. w Europie, USA, Kanadzie i Chinach (Schober et al., 1987; Sroka i Hejmanowski, 2006).

Istota metod geometryczno-całkowych jest przedstawiona schematycznie na rys. 1.

Przyczyną osiadania (rys. 1) w ogólności może być:

- wypełnienie pustki poeksploatacyjnej w przypadku eksploatacji z zawałem stropu,
- sukcesywna konwergencja w przypadku wyrobisk solnych lub,
- kompakcja złóż porowatych przy wydobyciu ropy i gazu.



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie istoty metod geometryczno-całkowych

Ogólny wzór na obliczanie osiadania punktu powierzchni terenu metodami geometryczno-całkowymi można przedstawić w postaci:

$$w(x_p, y_p) = a \cdot g \cdot \iint_p \varphi(x - x_p, y - y_p) dx dy \quad (1)$$

z warunkiem:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x, y) dx dy = 1 \quad (2)$$

gdzie:

- a – współczynnik osiadania, jego wartość zależy od przyjętego systemu wypełnienia pustki po eksploatacyjnej,
- g – grubość wybieranego pokładu,
- φ – funkcja wpływów, której postać zależna jest od metody obliczeniowej.

Aktualnie w Europie stosuje się dwie funkcje wpływu:

- Knothego (1953):

$$\frac{1}{r_K^2} \cdot \exp\left(-\pi \cdot \frac{l^2}{r_K^2}\right) \quad (3)$$

$$r_K = H \cot \beta,$$

oraz,

- Ruhrkohle (Ehrhardt i Sauer, 1961):

$$\frac{k}{\pi} \cdot \frac{1}{r_R^2} \cdot \exp\left(-k \cdot \frac{l^2}{r_R^2}\right) \quad (4)$$

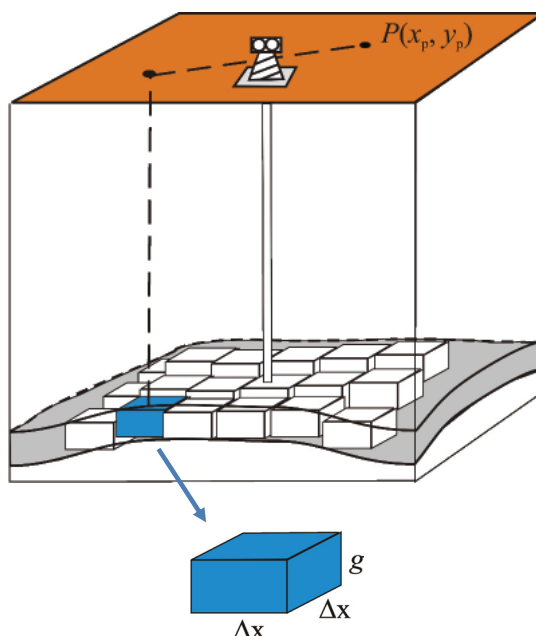
$$r_K = H \cot \gamma,$$

gdzie:

- γ, β – kąty zasięgu wpływów wartość ich jest różna dla różnych metod,
- $k = -\ln 0,01$,
- H – głębokość eksploatacji,
- r – parametr zasięgu oddziaływania, jego wartość jest różna dla różnych metod,
- l – pozioma odległość punktu pomiarowego od elementu wybranego.

Zgodnie z związkiem przyczynowo-skutkowym pomiędzy eksploatacją górnictwem a osiadaniem (rys. 1), zakładając że elementarna eksploatacja górnictwa ma kształt funkcji Diraca, otrzymamy wg Knothego, że elementarna niecka osiadania ma kształt funkcji Gaussa.

W roku 1984 Sroka zaproponował model obliczeniowy polegający na dyskretyzacji wyeksploatowanego pola na małe skończone elementy powierzchniowe o kształcie kwadratu i boku Δx (rys. 2).



Rys. 2. Zaproponowany model obliczeniowy

Dla takiego elementu wzór pozwalający na obliczanie wartości osiadania jest następujący:

$$w(l,t) = \frac{M(t)}{r^2} \cdot \exp\left(-\pi \frac{l^2}{r^2}\right) \quad (5)$$

$$M(t) = a \cdot V \cdot z(t) \quad (6)$$

gdzie:

- $M(t)$ – objętość elementarnej niecki osiadania w momencie t .
- L – odległość rozpatrywanego punktu od elementu złożowego,
- r – promień zasięgu wpływów głównych, wg teorii Knothe'go,
- V – objętość wybranego elementu ($V = \Delta x^2 \cdot g$),
- B – kąt zasięgu wpływów głównych,
- $z(t)$ – funkcja czasu.

Rozwiązanie to ma taką zaletę, że każdy element może być charakteryzowany indywidualnie poprzez grubość wybraną g_i , głębokość zalegania elementu H_i , oraz czas wybrania elementu t_{0i} . Obliczenie osiadania punktu dla całej eksploatacji otrzymuje się stosując zasadę superpozycji liniowej, tzn. przez zsumowanie osiadań częściowych od pojedynczych pól elementarnych. Ze względu na dokładność obliczeń długość boku elementu nie powinna przekraczać wartości $\Delta x_{\max} \leq 0,1r$, oraz ze względu na możliwość analizy wpływu prędkości eksploatacji górniczej oraz przerw postępu frontu na przebieg deformacji w czasie, długość boku elementu nie powinna być większa niż średni postęp eksploatacji górniczej (Sroka, 2008/2009).

Stosowana w Niemczech metoda Ruhrkohle jest oparta także na funkcji Gaussa i z tego powodu jest pod względem matematycznym identyczna z teorią Knothe'go. Przy czasoprzestrzennej analizie ważnym etapem jest dobór funkcji czasu. Poniżej przedstawiono kilka wybranych funkcji czasu które są używane w górnictwie europejskim (więcej funkcji podanych zostało w pracy: Sroka, Tajduś, Preusse, 2011).

Funkcje czasu $z(t)$ wg.:

- Knothe (1953):

$$z(t) = 1 - \exp(-at^2) \quad \text{i} \quad \dot{w}(t) = c[w_k(t) - w(t)] \quad (7)$$

- Schober, Sroka (1983):

$$z(t) = 1 - \frac{f}{f - \xi} \exp(-\xi \cdot t) + \frac{\xi}{f - \xi} \exp(-f \cdot t) \quad (8)$$

– Sroka (1999):

$$z(t) = [1 - \exp(-\xi \cdot t)] \cdot [1 - \exp(-f \cdot t)] \quad (9)$$

– Sroka (2003):

$$z(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m\right] \quad (10)$$

gdzie:

$w_k(t)$ – osiadanie końcowe w momencie t ,

$w(t)$ – osiadanie rzeczywiste w chwili t ,

c – relatywna prędkość rozchodzenia się wpływów,

ξ – relatywna prędkość konwergencji (np. wartość $0,02 \text{ rok}^{-1}$ odpowiada chwilowej prędkości zaciskania o wartości 2% rocznie),

f – relatywna prędkość przenoszenia wpływów przez górotwór.

Przy eksploatacji ścianowej bez pozostawionych filarów pomiędzy nimi wzory pozwalające na obliczanie maksymalnych wartości wskaźników deformacji są stosunkowo proste; na przykład dla tzw. pola pełnego, czyli dla pola o wymiarach większych jak $2r \times 2r$, wzory te są następujące:

– maksymalne osiadanie:

$$w_{\max} = a \cdot g \quad (11)$$

– maksymalne nachylenie:

$$T_{\max} = \frac{w_{\max}}{H} \tan \beta \quad (12)$$

– minimalny promień krzywizny:

$$R_{\min} = 0,66 \frac{H^2}{w_{\max}} \cot^2 \beta \quad (13)$$

– maksymalna wartość odkształcenia poziomego:

$$\varepsilon_{\max} = 0,60 \frac{w_{\max}}{r} \tan \beta \quad (14)$$

Przedstawioną metodę obliczeniową (rys. 2) można z powodzeniem stosować do różnych systemów eksploatacji kopalin stałych (systemów ścianowych, filarowo-komorowych, continuous miner, etc.) (Sroka, Tajduś, Preusse, 2011) jak i również złóż płynnych i gazowych (Sroka i Tajduś, 2009). Ogólnie ujmując ważne jest określenie konwergencji (kompakcji) elementu złożowego spowodowanej wybraniem medium a następnie za pomocą funkcji wpływów odpowiednie opisanie osiadania powierzchni terenu.

3. Badania nad wartością współczynnika B

Zarówno w teorii Knothego, jak i metodzie Ruhrkohle przemieszczenia poziome obliczane są wg hipotezy Awierszyna (1947) zakładając proporcjonalność pomiędzy wektorem nachylenia T i wektorem przemieszczenia poziomego u .

$$u = -B \cdot T \quad (15)$$

gdzie: B – współczynnik przemieszczeń poziomych.

Budryk (1953) bazując na wynikach pomiarów in situ uznał, że maksymalna wartość odkształcenia poziomego z reguły nie przekracza 60% wartości maksymalnego nachylenia. Wychodząc z tej zależności uzyskał wartość:

$$B = \frac{r}{\sqrt{2\pi}} \approx 0,40 \cdot r \quad (16)$$

W późniejszym czasie podstawowe badania z zakresu kształtowania się wartości współczynnika B prowadzili m.in. Popiołek i Ostrowski (1978) uzyskując po uproszczeniu otrzymanego przez siebie wzoru regresyjnego wartość:

$$B = 0,16 r \cdot \tan\beta \quad (17)$$

i przyjmując, że średnia wartość kąta zasięgu wpływów głównych β dla rejonu Śląska wynosi $63,43^\circ$ otrzymano $B = 0,32r$.

Drzęzła w swojej pracy (1979) uzależnił wartości współczynnika B od wartości promienia zasięgu wpływów głównych r , średniej wartości liczby Poissona skał nadległych ν , oraz wartości kąta zasięgu wpływów głównych β :

$$B = -0,106 \cdot \frac{1-\nu}{\nu} \frac{r}{\tan\beta} \quad (18)$$

Ogólnie w literaturze najczęściej stosuje się wzór empiryczny służący do określenia wartości współczynnika B w postaci $B = \lambda \cdot r$, gdzie parametr λ jest wartością zmienną w zależności od warunków górniczo-geologicznych.

Badania nad wartością współczynnika B dowodzą, że istnieje proporcjonalność między wektorem przemieszczenia poziomego, a wektorem nachylenia profilu niecki osiadania. Tajduś i inni autorzy (Tajduś et al., 2012; Tajduś, 2013) przedstawili w swoich pracach, że dla analizowanego rejonu kopalń niemieckich współczynnik przemieszczenia dla kierunków prostopadłych do postępu frontu eksploatacji przyjmuje inne wartości niż dla kierunków równoległych do postępu frontu. Dla kierunków prostopadłych uzyskuje się wartości ok. $B = 0,34r$ natomiast dla kierunków równoległych do wybiegu otrzymano wartość współczynnika przemieszczenia wynoszący ok. $B = 0,40r$.

Nieco inaczej wygląda sytuacja dla przeanalizowanych w niniejszej pracy rozkładów wartości współczynnika B dla przykładowych płytek eksploatacji. Uzyskano wartości w przedziale od $0,16r$ do $0,49r$. Rozmieszczenie punktów pomiarowych wzdłuż ciągów pomiarowych w stosunku do eksploatowanych ścian przedstawiono na rys. 3, 6 i 9. Eksploatacja była prowadzona na głębokości ok. $H = 170$ m. W części południowej (rys. 3) eksploatację rozpoczęto 20 czerwca 1929 roku a jej zakończenie przypadło na dzień 17 marca 1932 roku. Długość ściany wynosiła ok 360 m, a wybieg sięgał blisko 600 m. Bezpośrednio po zakończeniu eksploatacji części południowej nastąpiła eksploatacja części północnej (rozruch ściany zaczął się 18 marca 1932 roku) w części środkowej ściany i eksploatacja postępowała równocześnie w dwóch przeciwstawnych kierunkach (rys. 6). Zakończenie eksploatacji w kierunku zachodnim nastąpiło w dniu 15 lutego 1933 roku, natomiast w kierunku wschodnim bieg ściany zakończono dnia 14 czerwca 1933 roku. Długość ściany północnej wynosiła ok 110 m przy wybiegu części zachodniej ok. 240 m i części wschodniej niemal 360 m.

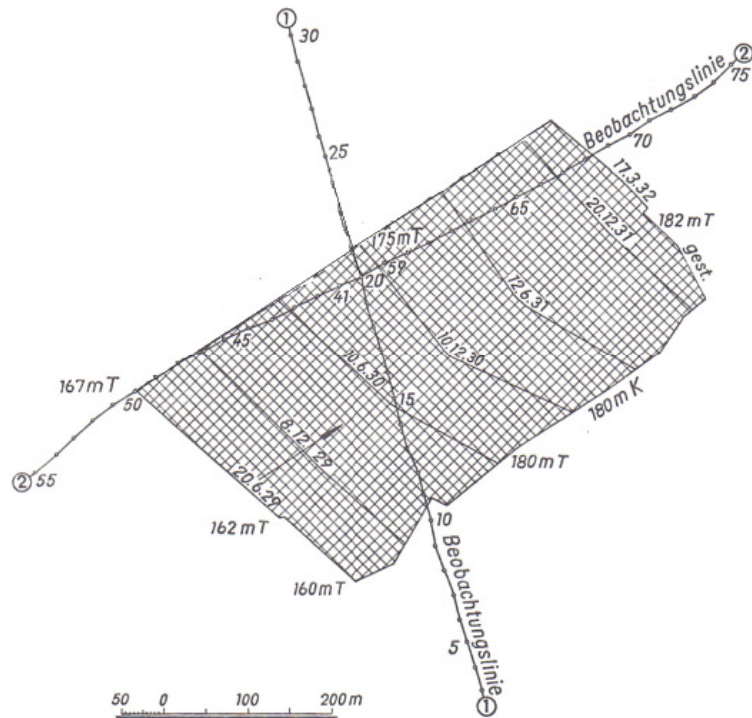
Bazując na pomierzonych wartościach obniżeń i przemieszczeń poziomych sporządzono wykresy wartości przemieszczeń poziomych w funkcji obliczonych wartości nachyleń (rys. 4, 5, 7, 8, 10 i 11).

Dla przedstawionej sytuacji określono zależności pomiędzy przemieszczeniami poziomymi a nachyleniami dla metody regresji liniowej (Tab. 1). W zestawionych wzorach w tabeli 1 wartość przemieszczeń poziomych wyrażono w milimetrach, a nachylenie w mm/m co oznacza że wartość parametru B wyrażona jest w metrach.

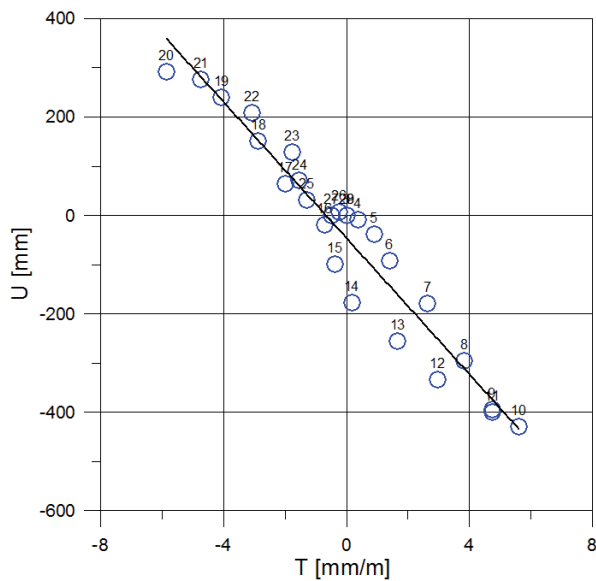
Tab. 1. Wzory dopasowania regresji liniowej

Eksploatacja	Linia pomiarowa	Wzór regresji liniowej	Dopasowanie
Południowa	1	$U = -69,18 \cdot T - 46,19$	$R^2 = 0,937$
Południowa	2	$U = -59,61 \cdot T + 146,78$	$R^2 = 0,479$
Północna	1	$U = -59,92 \cdot T - 1,00$	$R^2 = 0,924$
Północna	2	$U = -23,20 \cdot T + 40,18$	$R^2 = 0,401$
Całość	1	$U = -69,46 \cdot T - 46,96$	$R^2 = 0,889$
Całość	2	$U = -52,37 \cdot T + 188,42$	$R^2 = 0,523$

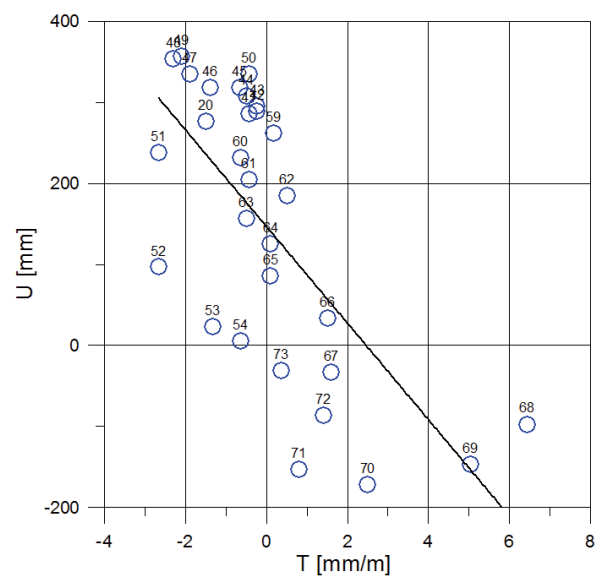
Analizując wyniki dopasowań regresji liniowej dla sześciu przypadków (tab. 1) można zauważyć, że dla linii pomiarowej nr 1 (niezależnie od geometrii złoża) wyniki dopasowania znajdują się w przedziale



Rys. 3. Położenie frontu eksploatacji części południowej wraz z rozmieszczeniem punktów pomiarowych wzdłuż 2 linii pomiarowych



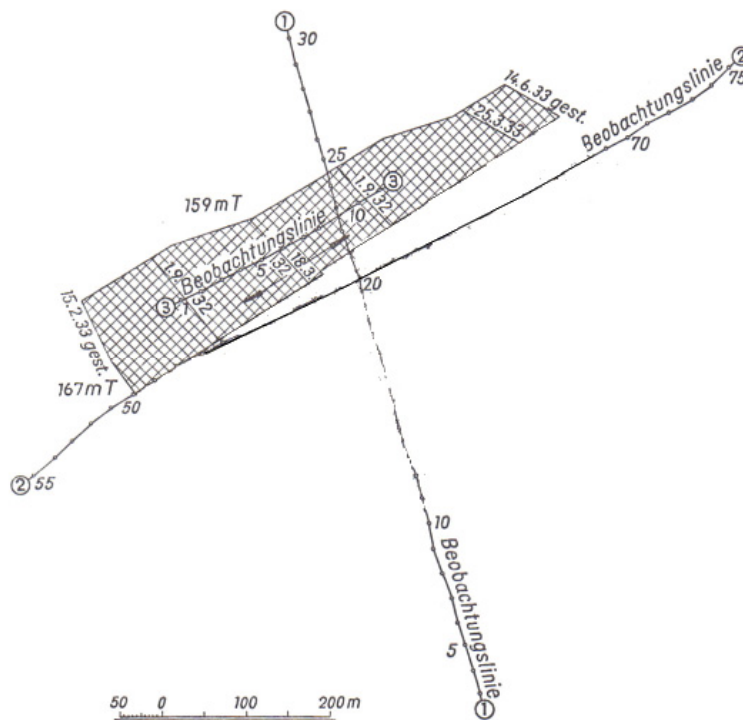
Rys. 4. Wykres przemieszczeń poziomych u w funkcji nachylenia T dla linii nr 1 (eksploatacja południowa)



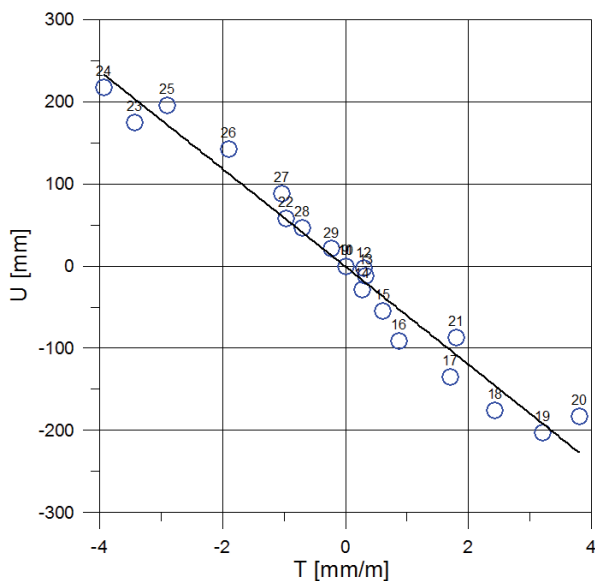
Rys. 5. Wykres przemieszczeń poziomych u w funkcji nachylenia T dla linii nr 2 (eksploatacja południowa)

wartości $0,89 \leq R^2 \leq 0,92$, natomiast dla linii pomiarowej nr 2 dopasowanie jest zdecydowanie mniej dokładne $0,40 \leq R^2 \leq 0,52$ (zmiennie są słabo dodatnio skorelowane).

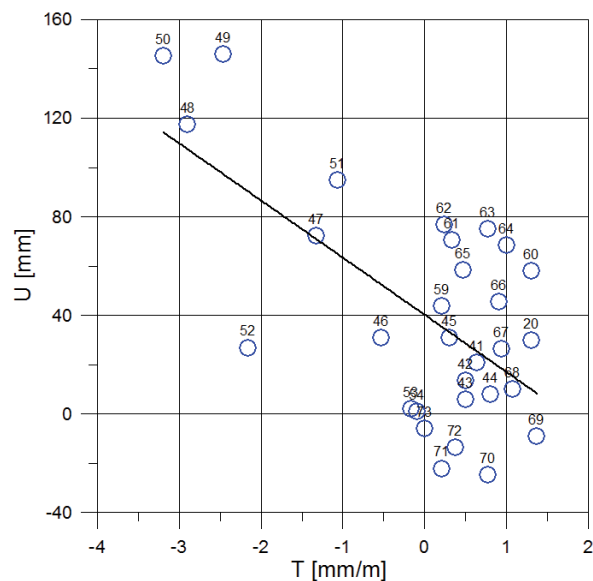
Przedstawione powyżej wzory dopasowania prostych regresji do wyników pomiarów różnią się od przyjętej hipotezy Awierszyna o wartość wyrazu wolnego. W celu przybliżenia tych wartości dla rozwiązania zaprezentowanego przez Awierszyna, założono że proste regresji będą przecinać się w środku układu współrzędnych. Wyniki takiego dopasowania przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 6. Położenie frontu eksploatacji części północnej wraz z rozmieszczeniem punktów pomiarowych wzdłuż 2 linii pomiarowych



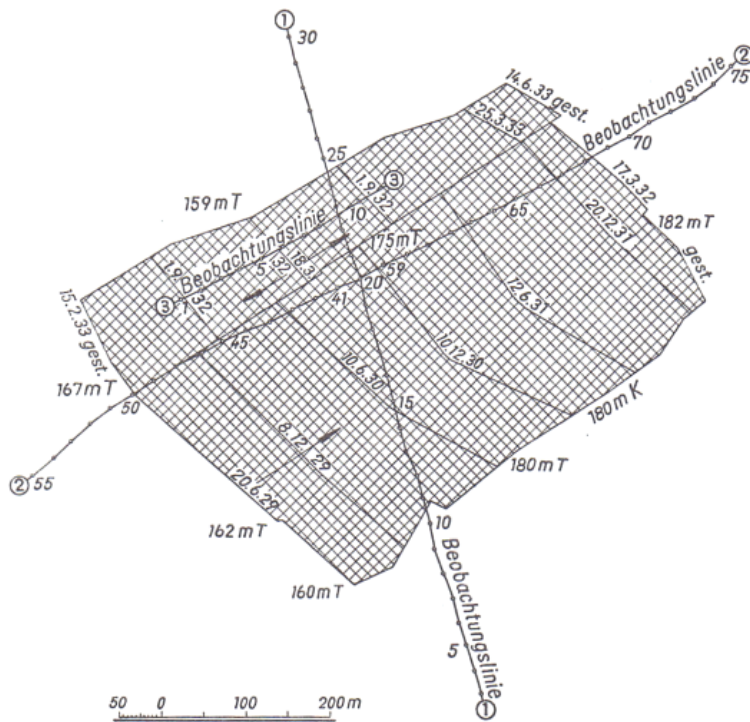
Rys. 7. Wykres przemieszczeń poziomych u w funkcji nachylenia T dla linii nr 1 (eksploatacja północna)



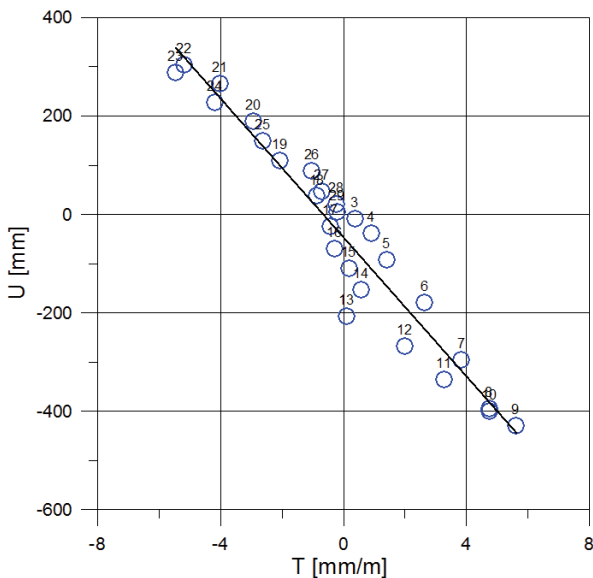
Rys. 8. Wykres przemieszczeń poziomych u w funkcji nachylenia T dla linii nr 2 (eksploatacja północna)

Tab. 2. Wzory dopasowania regresji liniowej zgodnie z hipotezą Awierszyna

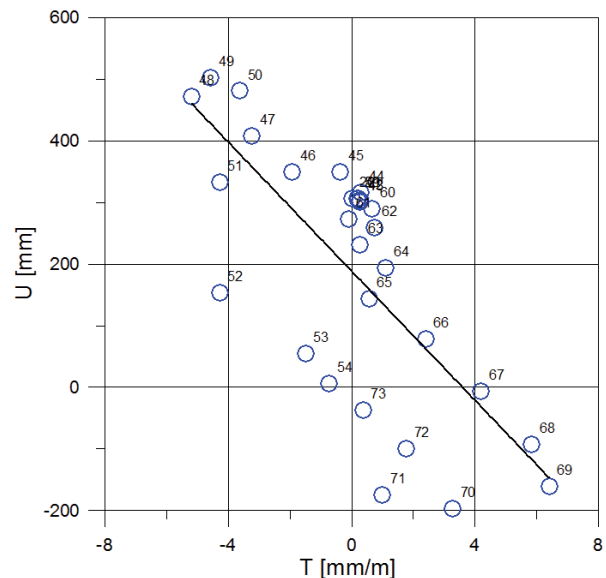
Eksploatacja	Linia pomiarowa	Wzór regresji liniowej	Dopasowanie
Południowa	1	$U = -69,18 \cdot T$	$R^2 = 0,8$
Południowa	2	$U = -59,69 \cdot T$	$R^2 = -0,27$
Północna	1	$U = -59,92 \cdot T$	$R^2 = 0,93$
Północna	2	$U = -23,20 \cdot T$	$R^2 = -0,40$
Całość	1	$U = -69,46 \cdot T$	$R^2 = 0,84$
Całość	2	$U = -52,43 \cdot T$	$R^2 = -0,36$



Rys. 9. Położenie frontu eksploatacji części południowej oraz północnej wraz z rozmieszczeniem punktów pomiarowych wzdłuż 2 linii pomiarowych



Rys. 10. Wykres przemieszczeń poziomych u w funkcji nachylenia T dla linii nr 1 (dla całości)



Rys. 11. Wykres przemieszczeń poziomych u w funkcji nachylenia T dla linii nr 2 (dla całości)

Dla linii pomiarowej nr 1 uzyskano wartości współczynnika przemieszczenia w granicach 59,92 m $\leq B \leq$ 69,46 m. Wartości te można przedstawić w funkcji promienia zasięgu wpływów głównych i wynosi ona odpowiednio (eksploatacja południowa, północna, całość): $B = 0,49 \cdot r$, $B = 0,42 \cdot r$ i $B = 0,49 \cdot r$.

Dla linii pomiarowej nr 2 wartości współczynnika przemieszczenia znajdują się w przedziale od 23,20 m do 59,69 m. Te wartości odpowiadają wartościom funkcji promienia zasięgu wpływów głównych i wynoszą odpowiednio (eksploatacja południowa, północna, całość): $B = 0,42 \cdot r$, $B = 0,16 \cdot r$ i $B = 0,37 \cdot r$.

4. Wnioski

Stosowane w Europie metody obliczeniowe służą głównie projektowaniu eksploatacji górnictwa w silnie zabudowanych aglomeracjach miejskich takich jak Zagłębie Ruhry w Niemczech i Zagłębie Górnosląskie w Polsce w celu minimalizacji jej wpływów na budynki i obiekty infrastruktury powierzchni takie jak: drogi, autostrady, sieci gazowe i wodne, sieci kanalizacyjne, duże obiekty przemysłowe, czy też na obiekty naturalne takie jak: zbiorniki wodne i warstwy wodonośne w górotworze.

Należy wyraźnie zaznaczyć, że przedstawione metody obliczeniowe pozwalają na obliczanie deformacji terenu z uwzględnieniem dowolnego kształtu prowadzonej eksploatacji oraz w dowolnym czasie. Teoria Knothe jest obecnie stosowana nie tylko w górnictwie węgla kamiennego ale także w górnictwie solnym, rud miedzi oraz przy eksploatacji złóż ropy i gazu a także przy obliczaniu osiadania nad zespołami kawern solnych do składowania płynnych i gazowych środków energetycznych, oraz przy wypiętrzaniu i osiadaniu spowodowanym geotermią.

Przeprowadzone analizy wykazały, że współczynnik B jest uzależniony nie tylko od geometrii eksploatacji, ich natężenia ale również od budowy geologicznej i hydrogeologicznej nadkładu, tektoniki, głębokości eksploatacji, prędkości eksploatacji oraz sposobu likwidacji pustki. Analiza rozkładu współczynnika przemieszczeń poziomych B , przeprowadzona dla wybranych pól eksploatacyjnych wykazała istnienie proporcjonalności między wektorem przemieszczenia poziomego, a wektorem nachylenia profilu niecki osiadania.

Literatura

- Awierszyn S.G., 1947: *Sdwiżenije gornych porod pri podziemnych razrobotkach*. Ugletiechizdat, Moskwa.
- Budryk W., 1953: *Wyznaczanie wielkości poziomych odkształceń terenu*. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, Kwartalnik, Tom I. Zeszyt 1, PWN, Warszawa.
- Drzęzła B., 1979: *Zmienność zasięgu wpływów eksploatacji w górotworze*. Przegląd Górnictwa, nr 10 Katowice.
- Ehrhardt W., Sauer A., 1961: *Die Vorausberechnung von Senkung, Schiefelage und Krümmung über dem Abbau in flacher Lagerung*. Bergb.-Wiss. 8 415/28.
- Knothe S., 1953. *Wpływ czasu na kształtowanie się niecki osiadania*. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, 1(1).
- Kwiatkiewicz J., 1997: *Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych*. (Praca zbiorowa), Katowice, Wydawnictwo GIG.
- Popiołek E., Ostrowski J., 1978: *Zależność pomiędzy nachyleniami a przemieszczeniami poziomymi terenu w ostatecznie wykształconych nieckach osiadania*. Ochrona Terenów Górniczych nr 46, Katowice.
- Schober F., Sroka A., 1983: *Die Berechnung von Bodenbewegungen über Kavernen unter Berücksichtigung des zeitlichen Konvergenz – Und Gebirgsverhaltens*. Kali und Steinsalz, 10.
- Schober F., Sroka A., Hartmann A., 1987: *Ein Konzept zur Senkungsvorausberechnung über Kavernefeldern*. Kali u. Steinsalz 9, H. 11, S. 374/79.
- Sroka A., 1984: *Abschätzung einiger zeitlicher Prozesse im Gebirge*. Schriftenreihe Lagestättenerfassung und – Darstellung, Bodenbewegungen und Bergschäden, Montanuniversität Leoben.
- Sroka A., 1999: *Dynamika eksploatacji górnictwa z punktu widzenia szkód górniczych*. Studia, Rozprawy, Monografie 58, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Polska Akademia Nauk, Kraków.
- Sroka A., 2003: *Funkcja czasu w świetle wyników obserwacji ciągłych i quasi-ciągłych*. VII Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Zakopane 4-7 czerwca 2003, Geodezja, 9(2/1) Kraków.
- Sroka A., Hejmanowski R., 2006: *Subsidence prediction caused by the oil and gas development*. 3rd IAG/12th FIG Symposium, Baden, 05. 22-24.
- Sroka A., 2008/2009: *Untersuchungen zur Senkung der Tagesoberfläche durch förderbedingte Druckabsenkung in der Erdöllagerstätte Speyer*. Gutachten für die GDF SUEZ E&P Deutschland GmbH, unveröffentlicht, Dresden, Juli 2008-März 2009.
- Sroka A., Preuß A., 2009: *Zur Prognose flutungsbedingter Hebungen*. 9. Altbergbau-Kolloquium 05. bis 07. November 2009, Verlag Glückauf GmbH Essen.
- Sroka A., 2009: *Influence of time-based parameters of longwall panel exploitation on objects inside rock mass and on the surface*. Archives of Mining Sciences, Vol. 54, Iss. 4, Krakow.
- Sroka A., Tajduś K., 2009: *Obliczanie osiadania powierzchni terenu przy eksploatacji złóż ropy i gazu*. Wiertnictwo Nafta Gaz, AGH, 26(1-2):327-334, Kraków.
- Sroka A., Tajduś K., Preusse A., 2011: *Calculation of subsidence for room and pillar and longwall panel methods of coal exploitation*. Underground Coal Operator Conference, Wollongong, Australia, p. 83-90.

- Tajduś K., Sroka A., Misa R., 2010: *Przemieszczenia poziome powierzchni terenu wywołane podziemną eksploatacją górnictwa – teoria i praktyka*. Prace naukowe IMG PAN, Tom/Vol. 12, Nr/No. 1-4, s. 79-92.
- Tajduś K., Misa R., Sroka A., 2012: *Przemieszczenia poziome w rejonach eksploatacji górnictwa*. Prace naukowe IMG PAN, Tom/Vol. 14 Nr/No. 1-4, s. 83- 92.
- Tajduś K., 2013: *Mining-induced surface horizontal displacement: The case of BW Prosper Haniel Mine*. Archives of Mining Sciences, 58(4): 1037-1055.

Abstract

Underground mining exploitation may induce mining damage of surface building objects. This highly harmful phenomenon instigated numerous attempts undertaken by researchers from all over the world at describing the influence of underground excavation on surface deformation and surface buildings. First theories based on Gauss function distribution, applied also nowadays, appeared already in 1950s. In the article, among others, subsidence prognosis methodology are presented based on the geometrically integral theories taking into account different boundary conditions. An example of the mathematical modeling based on the porous reservoir are presented. The induce medium of subsidence was compaction of the element due to the pressure drop in the pores. In the next part of this article research was conducted on the value of the coefficient B, using the measured values of subsidence and horizontal displacement.

Keywords: horizontal displacement, mining-induced deformation, subsidence above the salt caverns and fluidized bed, mathematical modeling, mining damages, hypothesis of Awierszyn