

ANTON SROKA*

Projektowanie eksploatacji górniczej przy zagrożeniu powierzchni deformacjami nieciągłymi typu liniowego

Wprowadzenie

Proces restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego w Niemczech, prowadzony w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego stulecia, doprowadził do wzrostu nakładów na działania związane z likwidacją szkód górniczych.

Duża koncentracja eksploatacji górniczej i wprowadzenie ścian wysoko wydajnych prowadziły coraz częściej do formalnych i nieformalnych konfliktów z miejscową administracją i mieszkańcami. Konsekwencją było także zwiększenie wydatków na usuwanie szkód górniczych z 184 mln marek w roku 1975 do 503 mln marek w roku 1990 (rys. 1).

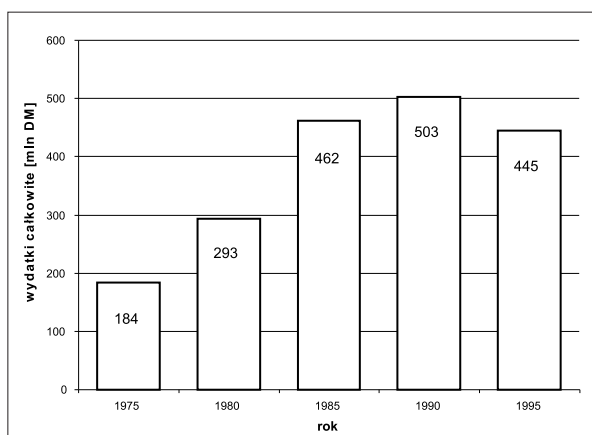
Stałe zwiększanie długości frontu wyrobiska ścianowego i prędkości jego postępu prowadziło do zwiększenia tzw. dynamiki eksploatacji. Cechowała się ona większymi niż dotychczas wskaźnikami deformacji i bardzo szybkim ujawnianiem się na powierzchni wpływów prowadzonej eksploatacji górniczej.

Ponadto notowano znacznie większą liczbę deformacji nieciągłych na powierzchni, co prowadziło z reguły do znacznego zwiększenia liczby tzw. szkód totalnych, oraz znaczne zwiększenie liczby indukowanych zjawisk sejsmicznych, jakimi są wstrząsy górnicze.

W latach 1990–1998 prowadzono w Koncernie Deutsche Steinkohle AG intensywne badania nad tą problematyką w celu znalezienia podstaw teoretycznych i praktycznych związanych z planowaniem eksploatacji górniczej – ze szczególnym uwzględnieniem ścian wysoko wydajnych – zmierzającej do zmniejszenia jej wpływów na powierzchnię terenu.

W niniejszym artykule przedstawiono zagadnienie planowania eksploatacji górniczej przy dużym zagrożeniu powierzchni zjawiskami nieciągłymi. Zagadnienie to przedstawiono

* Prof. dr hab. inż., Uniwersytet Techniczny Akademia Górnicza we Freibergu;
e-mail: Anton.Sroka@tu-freiberg.de



Rys. 1. Całkowite wydatki na szkody górnicze w koncernie Deutsche Steinkohle AG w latach 1975–1995

Fig. 1. Total expenditure on the mining damages in Deutsche Steinkohle AG in 1975–1995

na przykładzie opracowanego przez autora projektu eksploatacji, który został zrealizowany przez jedną z kopalń koncernu DSK AG.

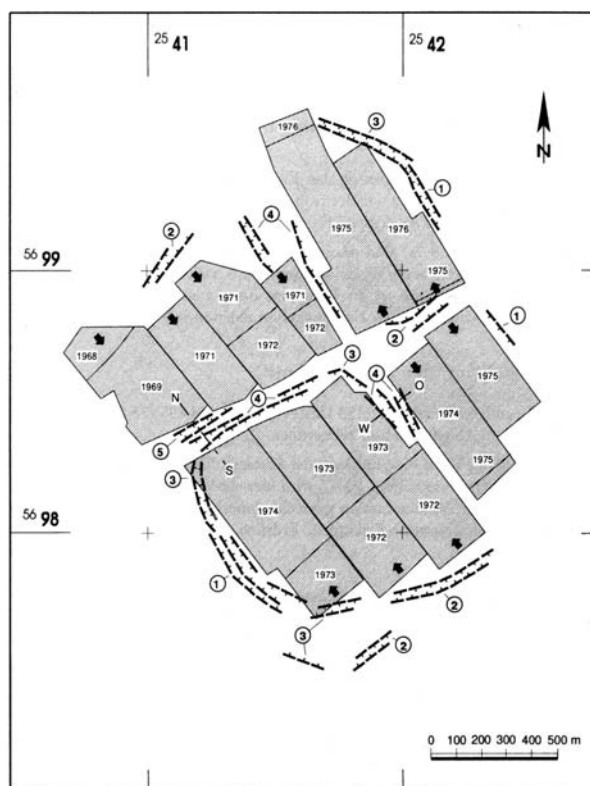
1. Eksploatacja pokładu Mausegatt pod miejscowością Kapellen przez kopalnię Niederberg

Ze względu na dużą koncentrację eksploatacji i trudną sytuację spowodowaną wystąpieniem licznych zjawisk nieciągłych i związanych z nimi istotnych szkód górniczych zdecydowano, że eksploatacja pokładu Mausegatt zostanie przeprowadzona jednocześnie czterema ścianami, w taki sposób, że pod terenem zabudowanym eksploatacja przebiegnie jednym, w przybliżeniu prostoliniowym frontem.

Przy takim planie eksploatacji, strefy odkształceń rozciągających leżały – z małymi wyjątkami – poza terenem zabudowanym. Z wcześniejszych obserwacji wynikało bowiem, że deformacje nieciągłe powstają prawie wyłącznie w strefach objętych deformacjami rozciągającymi (rys. 2).

Podane na rysunku 2 zestawienie położenia nieciągłości typu liniowego w stosunku do elementów geometrii wybranego pola dotyczy wyników statystycznej analizy ponad 1100 nieciągłości w rejonie Dolnego Renu (Grün 1995).

Zaprojektowana przez kopalnię Niederberg eksploatacja górnicza w pokładzie Mausegatt zawierała jednak związane z ochroną powierzchni dwa problemy, które należało dokładnie wyjaśnić i rozwiązać (Sroka 1992). Pierwszy problem dotyczy geometrii projektowanej eksploatacji w części wschodniej miejscowości Kapellen, w rejonie ulicy Höhenweg (rys. 3). Z powodu uskoku „Neukirchener-Sprung”, w rejonie ulicy Höhenweg pomiędzy projektowanymi wyrobiskami ścianowymi 651 i 652 konieczne było pozostawienie niewybranej części złoża o minimalnej szerokości około 60 m.



krawędź boczna (1)	63,0%
krawędź początkowa (2)	15,5%
krawędź końcowa (5)	1,4%
rogi pól eksploatacyjnych (3)	9,5%
rejon rozciągania nad filarami (4)	10,6%

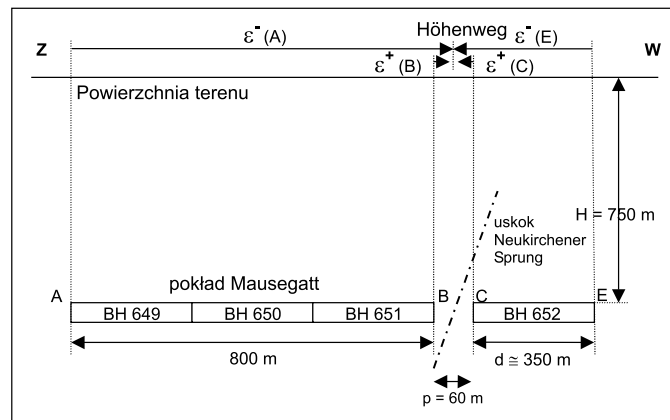
Rys. 2. Położenie nieciągłości typu liniowego w stosunku do eksploatacji górniczej z rejonu kopalni Niederberg (Grün 1995)

Fig. 2. Localization of the cracks in the region of longwall faces

Rejon ulicy Höhenweg posiada gęstą zabudowę willową, która już w przeszłości dotknięta była wpływem nieciągłości typu liniowego, przebiegających prawie równolegle do projektowanych bocznych krawędzi ścian 651 i 652.

Pierwszym problemem było zagadnienie wyznaczenia i dobrania szerokości niewybranego pasa złoża p i wyznaczenie długości d frontu wyrobiska ścianowego 652, tak aby zapewnić maksymalną ochronę obiektów powierzchni w rejonie Höhenweg i nie dopuścić do aktywacji istniejącej nieciągłości.

Drugi problem dotyczył tzw. dynamiki eksploatacji górniczej. Już wtedy, tzn. w 1992 roku istniało przekonanie, poparte licznymi obserwacjami empirycznymi, że sposób prowadzenia eksploatacji w czasie ma decydujący wpływ na wielkość uszkodzeń obiektów



Rys. 3. Schemat planowanej eksploatacji pokładu Mausegatt pod miejscowością Kapellen

Fig. 3. Diagram of designing underground seam Mausegatt excavations under the Kapellen town

budowlanych i tym samym na koszty szkód górniczych. Zagadnienie to było także interesujące w tym sensie, że dotychczasowe doświadczenia z eksploatacji pojedynczych ścian należało przenieść na równoczesną eksploatację czterech ścian o sumarycznej długości frontu eksploatacji około 1150 m.

Przeprowadzone rozważania zostały dokonane przy wykorzystaniu metody Ruhrkohle. Metoda ta jest pod względem matematycznym identyczna z teorią Knothego, ponieważ obie bazują na funkcji wpływów w postaci funkcji Gaussa. Obydwie metody różnią się jedynie definicjami kątów opisujących zasięgi wpływów eksploatacji górniczej.

Kąt zasięgu wpływów głównych β teorii Knothego i kąt graniczny γ metody Ruhrkohle stoją w ścisłej zależności funkcyjnej podanej wzorem (1):

$$k \cdot \tan^2 \gamma = \pi \cdot \tan^2 \beta \quad (1)$$

gdzie:

$$k = -\ln 0,01.$$

Z powyższego otrzymamy:

$$\beta = \arctan (1,211 \cdot \tan \gamma) \quad (2)$$

oraz

$$\gamma = \arctan (0,826 \cdot \tan \beta)$$

Promień zasięgu wpływów granicznych R metody Ruhrkohle i promień zasięgu wpływów głównych r teorii Knothego związane są następującymi zależnościami:

$$R = 1,211 r \quad (3)$$

$$r = 0,826 R$$

Promień zasięgu wpływów granicznych metody Ruhrkohle opisujący granicę wpływów eksploatacji ze względu na szkody górnicze jest zatem o około 21% większy niż promień zasięgu wpływów głównych teorii Knothe'go.

Zgodnie z sytuacją dotyczącą planowanej eksploatacji ukazaną schematycznie na rysunku 3 należy stwierdzić, że rejon Höhenweg znajduje się pod wpływem odkształceń rozciągających opisanych przez położenie krawędzi B (ściana 651) i krawędzi C (ściana 652) oraz pod wpływem odkształceń ściskających opisanych przez położenie krawędzi A (ściana 649) i krawędzi E (ściana 652).

Z powodu stosunkowo niedużego zrzutu uskoku Neukirchener-Sprung (około 10 m) przyjęto, że wszystkie ściany leżą praktycznie na tej samej głębokości równej około 750 m. Miąższość pokładu Mausegatt wynosiła około 0,75 do 0,80 m. Średnia wartość kąta zasięgu wpływów granicznych γ wyznaczona na podstawie wieloletnich obserwacji osiadania wynosiła 55 gon.

Ponieważ odległość krawędzi opisanej na rysunku literą A od rejonu ulicy Höhenweg położonego nad pozostawioną niewybraną częścią złoża jest większa niż głębokość eksploatacji oraz większa od promienia zasięgu wpływów granicznych, przyjęto, że jej wpływ jest praktycznie równy zeru. Tak więc na rejon ulicy Höhenweg oddziałują praktycznie tylko krawędzie B, C i E.

Rozciągające oddziaływania krawędzi B i C na środek rejonu ulicy Höhenweg są równe i wynoszą

$$\varepsilon^+ \left(\frac{P}{2} \right) = \varepsilon_{\max} \cdot \sqrt{2ke} \left(\frac{P}{2} \right) \exp \left[-k \left(\frac{P}{2} \right)^2 \right]$$

zaś odkształcenie ściskające od krawędzi E wynosi:

$$\varepsilon^- \left(D + \frac{P}{2} \right) = -\varepsilon_{\max} \cdot \sqrt{2ke} \left(D + \frac{P}{2} \right) \exp \left[-k \left(D + \frac{P}{2} \right)^2 \right]$$

gdzie:

ε_{\max} – maksymalne odkształcenie poziome dla tzw. nieskończonej płaszczyzny,

$P = \frac{p}{R}$ – relatywna szerokość pasa niewybranego złoża,

$D = \frac{d}{R}$ – relatywna długość frontu ścianowego ściany 652.

Z równania

$$2\varepsilon^+ \left(\frac{P}{2} \right) + \varepsilon^- \left(D + \frac{P}{2} \right) \leq 0$$

wynika, że wielkości P i D są od siebie zależne.

Wykres tej zależności dla analizowanej powierzchni eksploatacji ukazano na rysunku 4. Z rysunku tego wynika, że relatywna szerokość niewybranej części złoza nie może przekroczyć wartości

$$P_{\max} = 0,21$$

czyli wartości absolutnej

$$p_{\max} = 0,21 \cdot R$$

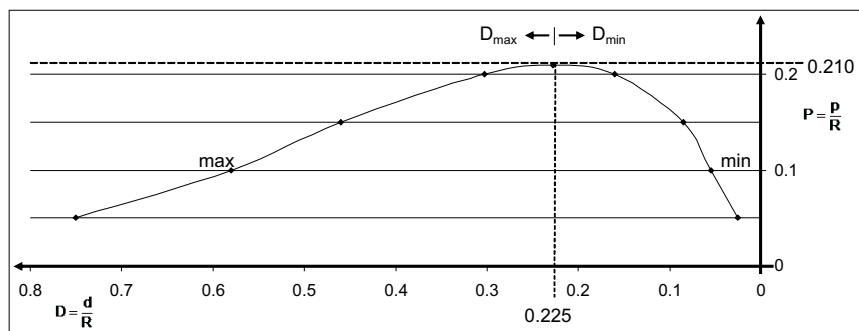
Przy szerokości większej od $0,21 \cdot R$ nad niewybraną częścią złoza dojdzie bowiem do powstania odkształceń rozciągających, niezależnie od długości frontu ściany 652 i w konsekwencji do możliwości aktywacji istniejącej nieciągłości.

Dla średniej głębokości eksploatacji $H = 750$ m i dla trzech wybranych wartości kąta granicznego, maksymalne nieprzekraczalne wartości szerokości pasa niewybranego złoza wynoszą:

$$\gamma = 50 \text{ gon} \rightarrow p_{\max} = 157,5 \text{ m}$$

$$\gamma = 55 \text{ gon} \rightarrow p_{\max} = 134,5 \text{ m}$$

$$\gamma = 60 \text{ gon} \rightarrow p_{\max} = 114,4 \text{ m}$$



Rys. 4. Graficzne przedstawienie zależności pomiędzy relatywną szerokością P niewybranego pasa w pokładzie Mausegatt i relatywną długością D frontu eksploatacji ściany 652

Fig. 4. The graphic presentation the dependence between relative wide of the unexcavated panel P in Mausegatt's seam and the "D" relative length of longwall face panel 652

Zależność pomiędzy szerokością niewybranej części złoża p (w granicach od 60 do 100 m) i dopuszczalną długością frontu ścianowego d dla ściany 652 dla podanych powyżej trzech różnych wartości kąta granicznego γ pokazano na rysunku 5.

Dla planowanej długości frontu ścianowego $d_{pl} = 350$ m wynika, że np. dla kąta $\gamma = 60$ gon i p w granicach od 60 do 80 m, długość ta byłaby za duża i prowadziłyby do powstania odkształceń rozciągających w rejonie Höhenweg.

Z rysunku 5 wynika także, że dla $\gamma = 55$ m i dla $p \leq 73$ m planowana długość frontu ścianowego $d_{pl} \leq 350$ m spełnia stawiane wymogi.

Przy $p = 80$ m dopuszczalna długość frontu ścianowego wynosiłaby na przykład 330 m, co musiałoby prowadzić do korekty geometrii ściany 652.

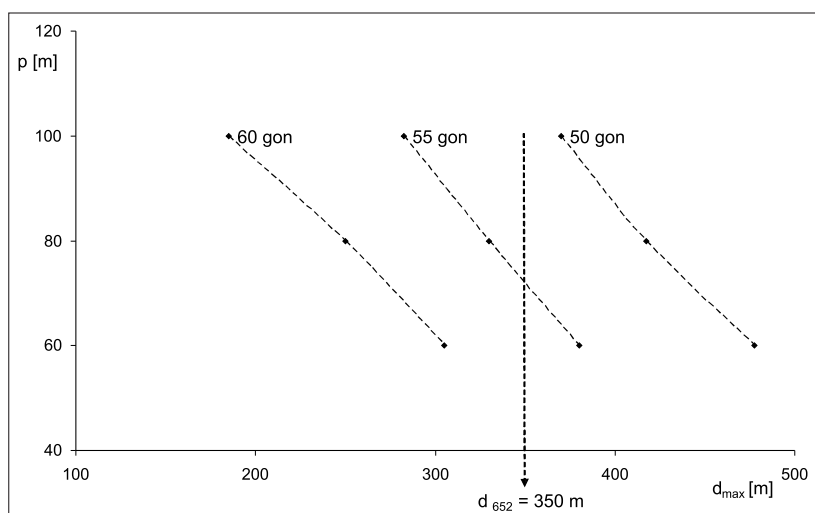
Z prowadzonych wtedy pomiarów i z rejestrowanych szkód górniczych wynikało jednocześnie, że duży wpływ na powstanie tych szkód, a także na powstanie zjawisk nieciągłych, ma sposób prowadzenia eksploatacji w czasie (Sroka 1993).

Wyznaczone wtedy na podstawie pomiarów osiadania, pomiarów długości i pomiarów tensometrycznych odkształceń poziomych graniczne wartości prędkości narastania osiadania i poziomych odkształceń wynosiły:

$$\dot{w}_{gr} = 6,0 \text{ mm/dzień}$$

$$\dot{\varepsilon}_{gr}^{+} = 0,015 \text{ mm/m/dzień}$$

$$\dot{\varepsilon}_{gr}^{-} = 0,035 \text{ mm/m/dzień}$$



Rys. 5. Zależność pomiędzy szerokością p niewybranego pasa w pokładzie Mausegatt i długością frontu eksploatacyjnego ściany 652 dla trzech różnych wartości kąta granicznego γ

Fig. 5. Dependence between P and D for face 652 for a different angle of drift γ values

Wartości te dotyczyły w dużej mierze pojedynczych budynków w zabudowie jednorodzinnej. Ustalenie to pozwoliło na obliczenie dopuszczalnej maksymalnej prędkości eksploatacji górniczej dla tych trzech wartości kryterialnych.

Dla kąta $\gamma = 55$ gon charakterystycznego dla warunków kopalń Niederberg otrzymano $v_{\max} = 4,5$ m/dobę.

Ze względu na możliwe deformacje nieciągłe zalecono eksploatację ciągłą (tzn. siedem dni w tygodniu) z możliwie stałą prędkością (Sroka 1992).

Przeprowadzona według powyższych zaleceń eksploatacja górnicza nie doprowadziła do żadnej aktywacji starych czy też powstania nowych deformacji nieciągłych w miejscowości Kapellen. Także zmniejszenie oddziaływań dynamicznych przez ograniczone prędkości eksploatacji do 4,5 m/dzień oraz prowadzenie eksploatacji ciągłej doprowadziło do znacznej redukcji wydatków na szkody górnicze spowodowane tą eksploatacją w porównaniu z eksploatacją dokonaną. Przeprowadzone w rejonie Höhenweg pomiary deformacji w kierunku prostopadłym do przebiegu szczeliny nie stwierdziły wystąpienia odkształceń rozciągających. Przeprowadzona eksploatacja i wyniki obserwacji potwierdziły poprawność poczynionych założeń i przeprowadzonych obliczeń. Przyczyniły się także do wydatnego zwiększenia akceptacji przeprowadzonej eksploatacji przez lokalne społeczności.

Podsumowanie

Eksploatacja graniczna w rejonach występowania zjawisk nieciągłych lub w warunkach zagrożenia deformacjami nieciągłymi typu liniowego, wymaga zarówno teoretycznego jak i praktycznego rozwiązania. Dotyczy ona m.in. wyznaczenia granicy eksploatacji górniczej, wielkości spodziewanych deformacji nieciągłych, także geometrii, kierunku i charakterystyki przebiegu w czasie planowanej eksploatacji górniczej (rys. 6).

Od roku 1990, w ramach badań Koncernu DSK AG, prowadzone są intensywne prace nad rozwiązaniem tych problemów. Grün (1995) w swojej pracy doktorskiej wykazał m.in., że zagrożenie wynikające z usytuowania kierunku eksploatacji w stosunku do chronionego obiektu przy zagrożeniu deformacjami nieciągłymi jest różne. Dla przypadku c, czyli eksploatacji prowadzonej do chronionego obiektu prawdopodobieństwo powstania nowej lub aktywacji istniejącej już nieciągłości jest około 10 razy mniejsze niż w przypadku b, czyli eksploatacji prowadzonej od chronionego obiektu (rys. 6).

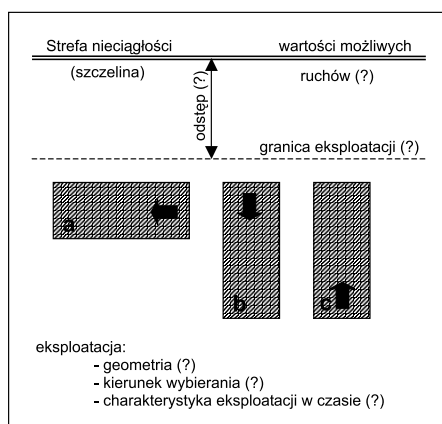
Grün przedstawił także wyniki dotyczące zależności pomiędzy prawdopodobieństwem powstania deformacji nieciągłej a sumaryczną wartością maksymalnego odkształcenia rozciągającego w postaci empirycznego wzoru:

$$P(\varepsilon^+) = 0,07(\varepsilon_{\max}^+ - 2,0) \cdot 100\%$$

dla $\varepsilon_{\max}^+ \leq 13,5$ mm/m.

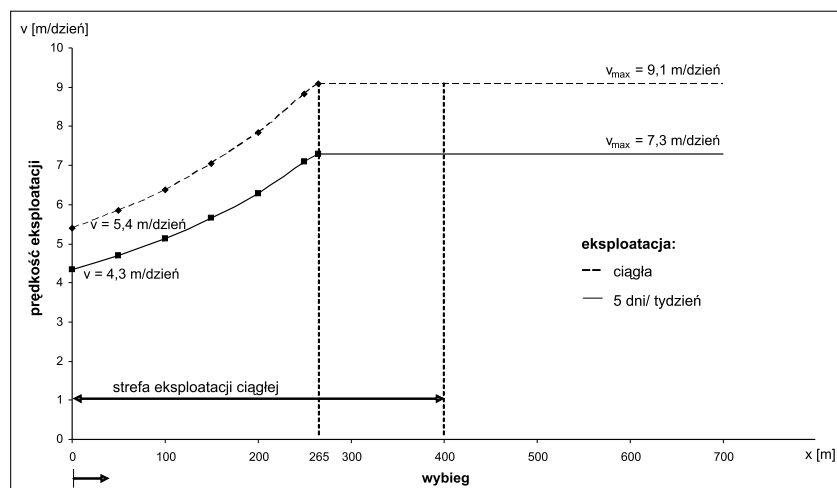
Ze wzoru tego wynika, że eksploatacja wielu pokładów do tej samej granicy powoduje duży wzrost zagrożenia powierzchni deformacjami nieciągłymi.

Zainicjowane w roku 1990 prace zostały podsumowane w formie wytycznych dotyczących systematyki podejścia do planowania eksploatacji górniczej m.in. w warunkach zagrożenia powierzchni deformacjami nieciągłymi. Opracowano m.in. wzory umożliwiające wyznaczenie dopuszczalnych prędkości postępu frontu dla przypadków a, b i c (rys. 6), przy czym np. w przypadku b prędkość eksploatacji jest w pierwszym okresie syste-



Rys. 6. Problemy przy eksploatacji górniczej w rejonach deformacji nieciągłych typu liniowego

Fig. 6. Problems during the underground excavations in the region of cracks



Rys. 7. Charakterystyka przebiegu dopuszczalnych prędkości postępu frontu eksploatacji górniczej w przypadku nieciągłości w rejonie krawędzi początkowej dla ściany 355 w pokładzie H/kopalnia Prosper-Haniel (Sroka 2005)

Fig. 7. Characteristic of mining excavations speed in a case of cracks in a region of initial face edge 355 in a seam H/mine Prosper-Haniel (Sroka 2005)

matycznie zwiększana (Sroka 2002–2003). Przykład takiego rozwiązania pokazano na rysunku 7. Rozwiązania te są standardowymi rozwiązaniami dla kopalń DSK AG i zdaniem autora mogłyby one z powodzeniem znaleźć zastosowanie w polskim górnictwie węglowym.

LITERATURA

- Grün E., 1995 – Analyse und Prognose von Unstetigkeiten als Folge bergbaubedingter Bodenbewegungen im linksrheinischen Steinkohlengebiet. Rozprawa doktorska. RWTH Aachen 05.12.1995.
- Knothe S., 1954 – Przybliżona metoda wyznaczania wielkości odkształceń powierzchni poza ścianką zaporową. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, Tom II, Zeszyt 4.
- Litwiniszyn J., 1955 – Niektóre zagadnienia mechaniki górotworu w świetle równania procesów stochastycznych. Archiwum Mechaniki Stosowanej, t. VII, z. 2, PWN Warszawa.
- Sroka A., 1992 – Stellungnahme zum geplanten Abbau unter der Ortschaft Kapellen. Ekspertyza wewnętrzna koncernu DSK AG, Duisburg 24.11.1992.
- Sroka A., 1993 – Zum Problem der Abbaugeschwindigkeit aus bergschadenkundlicher Sicht. Szkoła Eksploatacji Podziemnej'92. Polska Akademia Nauk, Kraków 1993.
- Sroka A., 1999 – Dynamika eksploatacji górniczej z punktu widzenia szkód górniczych. Polska Akademia Nauk, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi, Energią; Studia, Rozprawy, Monografie 58, Kraków.
- Sroka A., 2002–2003 – Erstellung einer Systematik zur Bewertung der abbaudynamischen Auswirkungen auf die Tagesoberfläche, Schächte und Untertagestrecken. Opracowanie dla DSK AG. Uniwersytet Techniczny Akademia Górnicza we Freibergu, Freiberg.
- Sroka A., 2003 – Der Einfluß von Hochleistungsstreben auf das Gebirge und die Tagesoberfläche. Glückauf-Forschungshefte 64, Nr. 3.
- Sroka A., 2005 – Gutachterliche Stellungnahme zum geplanten Abbau des Parallelbetriebes der Bauhöhen 355 im Flöz H und 432 im Flöz I im Baufeld Prosper Nord des Bergwerkes Prosper-Haniel. Ekspertyza dla DSK AG, Dresden, styczeń–sierpień 2005.

PROJEKTOWANIE EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ PRZY ZAGROŻENIU POWIERZCHNI DEFORMACJAMI NIECIĄGLYMI TYPU LINIOWEGO

Słowa kluczowe

Eksploatacja węgla kamiennego, projektowanie eksploatacji, deformacje powierzchni

Streszczenie

Racjonalizacja wydobycia węgla kamiennego prowadzi do planowania coraz dłuższych frontów ścianowych i do wzrostu ich dziennego postępu, co – jak wykazują obserwacje – zwiększa znacznie zagrożenie powierzchni terenu, między innymi poprzez deformacje nieciągłe typu liniowego oraz znaczny wzrost tzw. wstrząsów górniczych.

W niniejszej pracy przedstawiono problem projektowania eksploatacji górniczej w sensie minimalizacji możliwości aktywacji istniejących lub wystąpienia nowych deformacji nieciągłych na powierzchni terenu. Podstawy teoretyczne oparto na geometryczno-całkowej metodzie Ruhrkohle, która pod względem matematycznym jest identyczna z teorią profesora Knothe. Na przykładzie z kopalni Niederberg położonej w Zagłębiu Ruhry pokazano ideę działań minimalizacyjnych, konieczny aparat matematyczny i uzyskane wyniki.

Przeprowadzona według danych uzyskanych z obliczeń eksploatacja górnicza, w pełni potwierdziła poprawność poczynionych założeń i podanego algorytmu obliczeniowego.

Przedstawiona metodyka planowania eksploatacji górnicznej pod kątem minimalizacji deformacji nieciągłych typu liniowego może być według autora stosowana we wszystkich zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny metodą ścianową.

**DESIGNING COAL EXTRACTION WHERE THE SURFACE IS THREATENED
BY DISCONTINUOUS LINEAR DEFORMATIONS**

Key words

Hard coal mine extraction, designing of extraction, deformations of surface

Abstract

Rationalizing coal mining results in longwall faces becoming longer and advancing at greater daily rates, which, as proven by observations, increases the threat to the surface from, among others, discontinuous linear deformations and considerably more intense mining-induced seismicity.

The work discusses the problem of designing mining activity with the aim to minimize the possibility of activating the existing or developing new discontinuous deformations on the ground surface. The theoretical analysis is based on the geometric integral Ruhrkohle method, which in the mathematic sense, is identical to the theory developed by professor Knothe. Possible activities involved, the required mathematical methodology and the results obtained were shown on the example of two mines located in the Ruhr Coal Region: Niederberg and Blumenthal/Haard.

The extraction, conducted in line with the results of the calculations, fully proved correctness of the assumptions taken and the calculation algorithm used.

The presented methodology can, in the author's opinion, be used in all underground mines which extract coal by means of the longwall method.