

Piotr KOŁODZIEJCZYK, Stefan MUSIOŁ, Marek WESOŁOWSKI  
Politechnika Śląska, Gliwice

## **PROBLEM WTÓRNYCH DEFORMACJI POWIERZCHNI TERENU I WSTRZĄSÓW GÓROTWORU SPOWODOWANYCH PROCESEM LIKWIDACJI KOPALŃ PRZEZ ICH ZATAPIANIE**

**Streszczenie.** Przedstawiony artykuł stanowi wprowadzenie do dyskusji nad mało do tej pory rozpoznany w Polsce związkiem zachodzącym pomiędzy likwidacją kopalń przez ich zatapianie, a więc zmianą stosunków wodnych w górotworze naruszonym eksploatacją górnictwem, a możliwością inicjacji zjawisk dynamicznych w postaci pionowych ruchów wypiętrzających górotworu i aktywności sejsmicznej w postaci wysokoenergetycznych wstrząsów. Wskazano w nim prawdopodobne przyczyny występowania tych zjawisk oraz nakreślono kierunki koniecznych badań.

## **PROBLEM OF LAND AREAS DEFORMATIONS AND TREMORS CAUSED BY DROWNING OF LIQUIDATED COAL MINES**

**Summary.** This article introduce into discussion about problem that is almost unknown in Poland with is connection between drowning of liquidated coal mines (so changing the water relations in rock mass broken by mining exploitation) and possibility of initiating dynamic phenomena such as vertical movement of rock mass and seismic activity such as high-energy tremors. This article show possible reasons of such phenomena and also shows the future way of indispensable researches needed to find solution of such problems.

### **1. Wprowadzenie**

Za przyczynę deformacji powierzchni i aktywności sejsmicznej górotworu uważa się naruszenie jego równowagi na skutek prowadzenia robót górniczych. Problem wpływów prowadzonej eksploatacji na powierzchnię po jej zakończeniu był do tej pory rozważany tylko w obszarze ich ujawniania się, do całkowitego uspokojenia terenu i zaniku dalszych ruchów powierzchni. Czas trwania procesu deformowania górotworu na skutek prowadzonej eksploatacji wynosi zwykle od roku do dwóch lat po jej zakończeniu. Jednak stadium

przemieszczeń końcowych nie jest do końca zdefiniowane. W zależności od głębokości, na której prowadzono wybieranie, a także własności skał budujących górotwór, stadium gasnących osiadań terenu trwa do umownej granicy, gdy dwa pomiary wykonane w odstępie jednego miesiąca wykazują obniżenia mniejsze od np. 1 cm lub 1% obniżeń, jakie już wystąpiły [2]. Po tym okresie w zasadzie teren uważa się za uspokojony i wolny od deformacji wywołanych przeprowadzoną eksploatacją, dlatego nie były w takich obszarach prowadzone dalsze obserwacje geodezyjne ruchów powierzchni. Brak więc jest informacji dotyczących zachowania się górotworu po długim czasie od zakończenia eksploatacji górniczej. Sytuacja ulega zmianie, gdy rejon, w którym przeprowadzono wybieranie złoża, są na skutek zaprzestania odwadniania kopalni zatapiane i odtwarzane są pierwotne stosunki wodne, lub gdy zrobi się celowo wykorzystywane jako zbiornik wodny. Z obserwacji prowadzonych w Holandii i Niemczech wynika, że wtórnie nawadnianie górotworu może powodować mierzalne, pionowe ruchy wypiętrzające powierzchnię terenu [4, 12]. W Polsce dotychczas nie prowadzono badań w tym zakresie ani też nie analizowano tego zjawiska. Pomimo prowadzonej w ostatnich latach likwidacji licznych kopalń lub rejonów eksploatacyjnych do zagadnienia skutków tych przedsięwzięć podchodzi się nadal w sposób tradycyjny. Poza aspektem ekonomicznym przedsięwzięcia, od strony technicznej generalnie przyjmuje się, że oddziaływanie na środowisko naturalne i ewentualne zagrożenia spowodowane takimi działaniami mogą dotyczyć:

- zagrożenia wodnego dla czynnych kopalń pracujących w sąsiedztwie,
- problemów związanych z odprowadzaniem wypompowanej z wyrobisk kopalni wody na powierzchnię, jak np. tworzenie się zalewisk,
- problemów związanych z chemizmem odprowadzanych wód, itp.

W wyraźniej mniejszym zakresie rozważane są skutki odtworzenia stosunków wodnych w górotworze.

Ponowna wielka zmiana stosunków wodnych w górotworze, jaka jest spowodowana zatopieniem kopalni, w sytuacji gdy dokonana eksploatacja wygenerowała określony stan naprężeń w otoczeniu wyrobisk i zrobów, oraz gdy wybranie spowodowało obniżenie terenu i przemieszczenie się dużych mas skalnych, może być przyczyną wystąpienia dwóch niekorzystnych zjawisk:

- wtórnej aktywności sejsmicznej górotworu,
- wtórnych ruchów pionowych powierzchni terenu w postaci jej wypiętrzenia.

## 2. Zatapiając kopalni jako przyczyna wtórnych pionowych ruchów powierzchni

Dopiero od niedawna w Polsce pojawiły się pierwsze publikacje dotyczące zagadnienia wpływu zatapiając kopalń na ruchy górotworu i powierzchni [3, 12]. Wynika z nich, że wypełnianie wodą wyrobisk podziemnych i zrobów pozostałych po zlikwidowanej kopalni może prowadzić do wypiętrzenia terenu nad tworzonym zbiornikiem. Są to wprawdzie przemieszczenia stosunkowo niewielkie, niemniej mogą prowadzić do wystąpienia nawet znacznych szkód górniczych, zwłaszcza w rejonach oddziaływania dużych uskoków, gdzie ruchy powierzchni są niesymetryczne po obu jego stronach. Zjawisko to zaobserwowano wielokrotnie w Holandii i Niemczech, rejestrując je pomiarami. Podjęto również próby jego ilościowego opisu, sporządzając podstawy prognozowania wielkości pionowych przemieszczeń gruntu. W Polsce dotychczas uchodziło to uwadze. Być może powodem była prowadzona intensywna eksploatacja, kiedy to znacznie większe obniżenie terenu, spowodowane prowadzonym wybieraniem, niwelowało zdecydowanie mniejsze podnoszące ruchy terenu wywołane zatapiając stosunkowo małych obszarów. Pojedyncze, stwierdzone przypadki podnoszenia się punktów pomiarowych interpretowano jako błędy pomiaru lub stabilizacji punktów pomiarowych. Zjawisko podnoszenia się terenu w zasięgu oddziaływania tworzonych podziemnych zbiorników wodnych z całą wyrazistością można rejestrować dopiero w terenie nieobjętym wpływami czynnej eksploatacji górniczej oraz w obszarach, gdzie rozmiary tworzonych zbiorników są znaczne. Dlatego należy przypuszczać, że zjawisko to zostanie także w Polsce zaobserwowane w rejonach likwidowanych kopalń. W tej sytuacji warto skorzystać z doświadczeń górnictwa niemieckiego, śledząc publikacje dotyczące tego problemu.

W pracy [12] przedstawiono krytyczną ocenę dotychczasowych metod prognozowania wpływu zatapiając kopalń na pionowe ruchy górotworu. A. Sroka [12] pisze, że zaniechanie odwadniania w nieczynnych kopalniach węgla kamiennego wywołuje zazwyczaj wielkopowierzchniowy wzrost poziomu wód kopalnianych. To planowe zatapiając kopalń prowadzi, jak wynika z międzynarodowych obserwacji i doświadczeń, do obejmujących duży obszar i mierzalnych na powierzchni terenu procesów podnoszenia [1, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12].

Istnieją już obecnie matematyczne metody prognozy wspomnianego procesu wtórnych ruchów. Ich krytyczną ocenę zawarto w pracy A. Sroki [12]. Do metod tych należą przede wszystkim:

- metoda Pöttgensa [10, 11],

- analityczna metoda Fenka [4],
- model matematyczny A. Sroki i R. Hejmanowskiego [7] do prognostycznego obliczania ruchów podnoszących spowodowanych wzrastaniem poziomu wód kopalnianych.

Według Pöttgensa [11] maksymalne podniesienie terenu może wynosić 2 do 5% maksymalnego osiadania, jeśli poziom wód kopalnianych osiągnie powierzchnię terenu. Ruchy podnoszące tej wielkości nie prowadzą z reguły do powstawania nowych szkód górniczych. Jako granica powstawania szkód podawana jest przez Pöttgensa maksymalna wartość odkształceń ściskających lub rozciągających wynosząca 0,25 mm/m. Nie dotyczy to rejonów wychodni uskoków tektonicznych oraz stref nieciągłości spowodowanych wcześniejszą eksploatacją górnictwem.

Przeprowadzone dotąd w Niemczech obserwacje geodezyjne wypiętrzeń wykazały, że ich wartość nie przekracza 30 cm. Procentowo stanowi to około 2÷5% końcowej wartości obniżenia wywołanych zakończonej eksploatacją.

Pionowe ruchy wypiętrzające mogą być niebezpieczne w strefach występowania uskoków, zwłaszcza o dużych zrzutach, posiadających wychodnie na powierzchni. W rejonach tych może dochodzić do wystąpienia deformacji nieciągłych. Jak wykazują doświadczenia niemieckie, prawdopodobieństwo wystąpienia takich zjawisk istnieje zwłaszcza w tych rejonach, w których deformacje nieciągłe występowały już w trakcie prowadzenia eksploatacji złoża.

### **3. Zatapianie kopalń jako przyczyna indukowania aktywności sejsmicznej**

Za przyczynę aktywności sejsmicznej górotworu uważa się naruszenie jego pierwotnego stanu równowagi, głównie na skutek prowadzenia robót górniczych. W obszarach nieobjętych eksploatacją górnictwem przyczyn aktywności sejsmicznej można się dopatrywać w ruchach tektonicznych związanych ze zmianą tektonicznych naprężeń rezydualnych tkwiących w górotworze.

Kolejną przyczyną aktywności sejsmicznej górotworu może być zmiana stosunków wodnych, powodująca w trakcie odwodnienia górotworu ruch jego warstw, ich osiadanie, oraz zmiana parametrów wytrzymałościowych skał budujących górotwór, wywołana zmniejszeniem się ich nawodnienia.

Zawodnienie górotworu, zwłaszcza w strefach zaburzeń tektonicznych, powodować może także spadek tarcia na powierzchniach płaszczyzn uskoków, ułatwiając poślizg i przemieszczanie się bloków, co wywołuje wstrząsy górnicze.

Znacznie rzadszą przyczyną aktywności sejsmicznej górotworu są zjawiska tektoniczne w postaci ruchów górotworu w rejonach występowania dużych dyslokacji tektonicznych. Możliwe są wtedy wstrząsy górotworu o dużej energii, zwykle występujące niespodziewanie. Przyczyny ich występowania upatruje się w rozładowaniu tektonicznych naprężeń rezydualnych, chociaż i w tym przypadku jako impuls uruchamiający cały proces uważa się naruszenie równowagi górotworu spowodowane prowadzeniem robót górniczych w rejonach występowania zaburzeń tektonicznych.

Najczęstszą przyczyną aktywności sejsmicznej górotworu w obrębie Górnśląskiego Zagłębia Górniczego są prowadzone roboty górnicze, zwłaszcza eksploatacja ścianowa. Ona też ma największy wpływ zarówno na częstotliwość, jak i dynamikę tego zjawiska.

Zmiana warunków hydrogeologicznych jako przyczyna wzrostu aktywności sejsmicznej górotworu była dotychczas w Górnśląskim Zagłębiu Węglowym traktowana jako zjawisko marginalne, nieistotne w porównaniu z wpływem innych czynników. W związku z tym brak jest systematycznych badań i opracowań dotyczących mechanizmu tego zjawiska.

Związku przyczynowego pomiędzy odwodnieniem górotworu a jego aktywnością sejsmiczną dopatrywano się również w przypadku silnego wstrząsu w rejonie kopalni odkrywkowej w Bełchatowie. Wstrząs ten wystąpił po kilkunastu latach prowadzenia intensywnej eksploatacji złoża i jego odwadniania. Stwierdzono więc, że istnieje wprawdzie związek przyczynowo–skutkowy pomiędzy tymi zjawiskami, niemniej oddziaływanie zmian stosunków wodnych w górotworze na intensywność występowania w nim zjawisk sejsmicznych jest znikome i uznano, że wstrząs wystąpił incydentalnie po bardzo długim okresie eksploatacji i odwadniania złoża. Wszystkie wymienione przypadki dotyczyły sytuacji, gdy eksploatacji górniczej towarzyszyło niezbędne odwadnianie górotworu.

W ostatnim jednak okresie mamy w Górnśląskim Zagłębiu Węglowym do czynienia z coraz częstszym zamykaniem kopalń i ich likwidacją, której towarzyszy zatapianie wyrobisk podziemnych. Z upływem czasu nastąpi przywrócenie pierwotnej równowagi hydrologicznej w górotworze. Rodzi się więc pytanie, w jaki sposób zmiana warunków hydrogeologicznych w górotworze naruszoną eksploatacją górniczą wpłynie na jego zachowanie się i czy nie zostaną uruchomione procesy powodujące wystąpienie zjawisk dynamicznych mogących powodować określone, niepożądane skutki na powierzchni.



Próbując odpowiedzieć na tak sformułowane pytanie, należy uświadomić sobie pewne fakty i poczynić konieczne założenia:

- przyczyny generującej wstrząsy górotworu w zatopianej kopalni można upatrywać w zmianie stanu naprężenia wywołanej wzrostem ciśnienia hydrostatycznego w górotworze i wypiętrzeniem kolejnych warstw skalnych na skutek ich zatopienia [3],
- przyczyną ewentualnych wstrząsów górotworu mogą być również zmiany własności fizykomechanicznych skał budujących górotwór na skutek jego nawodnienia,
- miejscem generowania ewentualnych wstrząsów mogą być najprawdopodobniej strefy koncentracji naprężenia wytworzone wcześniej prowadzoną eksploatacją górniczą, a więc kształtowane przez przestrzenną konfigurację krawędzi eksploatacji zatrzymanej i niewybranych resztek pokładów, gdzie superpozycja wpływów dwu wcześniej wymienionych czynników może prowadzić do przekroczenia wytrzymałości skał, w których nastąpiła koncentracja naprężenia,
- za miejsca potencjalnego wystąpienia warunków najbardziej sprzyjających do wystąpienia wstrząsu górotworu o dużych energiach, niekorzystnie oddziałujących na powierzchnię, należy w pierwszym rzędzie uznać warstwy zwięzłych piaskowców, zdolne do koncentracji energii sprężystej,
- ewentualne zagrożenia mogące towarzyszyć wystąpieniu zjawisk dynamicznych związanych z zatopianiem kopalni dotyczą wyłącznie obszarów zurbanizowanych, a więc skala tych zjawisk musi być odpowiednio duża, aby było to zagrożenie realne. W zakresie oceny tego zjawiska można się nadal posługiwać stosowanymi do tej pory skalami intensywności drgań gruntu i ich oddziaływania na środowisko naturalne, zabudowę i ludzi.

Próbując ocenić możliwość wystąpienia zjawisk dynamicznych w kopalni po zatopieniu nieczynnych wyrobisk górniczych i zrobów, można przyjąć tezę roboczą sformułowaną następująco: *przyczyn potencjalnych wstrząsów górotworu w zatopionej kopalni należy upatrywać w zmianie własności fizykomechanicznych skał budujących górotwór w wyniku ich nawodnienia, zwłaszcza w obszarach wzmożonej, niebezpiecznej koncentracji naprężenia lub obszarach podwyższonych naprężeń ściskających, wygenerowanych w górotworze na skutek oddziaływania krawędzi eksploatacji zatrzymanej i niewybranych resztek. Również w obszarach występowania tektonicznych naprężeń rezydualnych, a także w przypadkach spadku tarcia na powierzchniach płaszczyzn uskoków, co ułatwia poślizg i przemieszczanie się bloków skalnych.*

Zmiana wytrzymałości skał budujących górotwór, polegająca na spadku tej wytrzymałości w określonych granicach, może prowadzić do osiągnięcia krytycznego stanu wyężenia w rejonach, w których przy braku zawodnienia naprężenia osiągały stan bliski wartości krytycznej. Nie musi to jednak wcale oznaczać wystąpienia wstrząsów wysokoenergetycznych. Zniszczenie struktury skał następować bowiem może przy zmniejszonej na skutek nawodnienia ich wytrzymałości, czyli przy niższych naprężeniach krytycznych, a więc przy niższym poziomie energii skoncentrowanej w skałach.

#### 4. Podsumowanie

Przedstawiony problem jest niewątpliwie zagadnieniem bardzo złożonym i interdyscyplinarnym obejmującym sferę badań z zakresu geomechaniki, geofizyki górniczej, ochrony powierzchni przed szkodami górniczymi i geodezji górniczej, hydrogeologii i ochrony środowiska. Metody badawcze, jakich należy użyć do obserwacji i opisu przedstawionych zjawisk, są dobrze znane od lat, jednak zakres problemów badawczych jest olbrzymi. Rozpoznanie opisanych zjawisk wymaga bowiem odpowiedzi na niżej sformułowane problemy:

- jakie są parametry budowy geologicznej górotworu, przy których dochodzi do wystąpienia opisanych zjawisk (wypiętrzeń terenu i wstrząsów górotworu),
- nie są znane parametry zbiornika, takie jak jego wielkość (obszarowo), objętość, tempo napełniania, przy którym zjawiska takie zachodzą,
- nie jest znany stan wypełnienia zbiornika, przy którym proces się rozpoczyna,
- nie wiadomo, czy wielokrotne napełnianie i opróżnianie zbiornika wpłynie i w jaki sposób na te zjawiska,
- jak wpływają grubość nadkładu i właściwości budujących go skał, głębokość położenia zrobów i ciśnienie panujące w zbiorniku na przebieg procesu wypiętrzania,
- jak na proces wypiętrzania terenu wpływają wyżej położone zroby eksploatacji nieobjęte zatapianiem. W jakim stopniu zaciskanie pustek w zrobach wyżej położonych jest w stanie „skompensować” niewielkie pionowe ruchy wypiętrzające,
- w jakim momencie uruchamia się mechanizm tworzenia się deformacji nieciągłych na uskokach w trakcie podnoszenia się warstw górotworu,

- w jakim stopniu doświadczenia niemieckie w zakresie opisu przedmiotowych zjawisk można przenieść bezpośrednio na grunt polski, zważywszy, że część rozwiązań tam stosowanych ma charakter empiryczny.

Odpowiedź na te pytania ma istotne znaczenie dla bezpieczeństwa powszechnego w rejonach likwidowanych kopalń. Wyniki przyszłych obserwacji i badań będą miały także ogromne znaczenie poznawcze dla wielu przypadków likwidacji kopalń. Będą one nieodpartym argumentem w przypadku dochodzenia roszczeń z tytułu szkód górniczych.

## BIBLIOGRAFIA

1. Baglikow V.: Bergschäden nach Beedigung der Grubenwasserhaltung im tiefen Bergbau. *Markscheidewesen* 110 (2003). Zeszyt 2, s. 45-49.
2. Borecki M. (praca zbiorowa): *Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi*. Wyd. Śląsk, Katowice 1980.
3. Fenk J.: Analityczne rozwiązanie opisujące wypiętrzenie powierzchni występujące przy likwidacji kopalń przez zatopienie. *Przegląd Górniczy* 11/1999.
4. Fenk J.: Eine analytische Lösung zur Berechnung von Hebung der Tagesoberfläche bei flutung unterirdischer Bergwerksanlage. *Das Markscheidewesen* 107(2000) nr 2.
5. Goerke-Mallat P., Preuß A., Coldewey W. G.: Hebungen der Tagesoberfläche über betriebseben und gefluteten Bergwerken. 43. DMV-Tagung, Trier 2001.
6. Heitfeld M., Rosner P., Mühlenkamp M., Sahl H.: Bergschäden im Erkelenzer Steinkohlenrevier. 4. Altbergbau-Kolloquium Leoben 2004.
7. Hejmanowski R., Sroka A.: Time-space gradnu subsidence prediction determined by volume extraction from the rock mass. *Proceedings of the sixth International Symposium on Land Subsidence*. Ravenna, Italia. 24-29 September 2000, Vol.II.
8. Mühlenbeck H.: Hebungen nach Einstellung von Wasserhaltungen im Ruhrgebiet. *Markscheidewesen* 112 (2005), Zeszyt 3, s. 97-102.
9. Oberst-Brink K.: Die Frage der Hebungen bei Bodenbewegungen infolge Bergbaues. *Glückauf* nr 76/1940, s. 249-256.
10. Pöttgens J.J.E.: Bodenhebung durch ansteigendes Grubenwasser. 6 Międzynarodowy Kongres Geodezji Górniczej, Harrogate 1985.



11. Pöttgens J.J.E.: Bodenhebung und Grundwasseranstieg aus geotechnischer und markscheiderisch-geodätischer Sicht im Aachen-Limburger Kohlenrevier. Freiburger Forschungshefte A 847, Bergbau und Geotechnik, S 193-207, Freiberg 1998.
12. Sroka A.: przyczynek do prognostycznego obliczania ruchów pionowych powierzchni terenu spowodowanych wzrostem poziomu wód kopalnianych. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Szczyrk 2006.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Majcherczyk