

Piotr KOŁODZIEJCZYK, Marek WESOŁOWSKI

Politechnika Śląska, Gliwice

Teoretyczne ujęcie problemu wtórnych ruchów górotworu spowodowanych zatapianiem likwidowanych wyrobisk górniczych

Słowa kluczowe

Górotwór, wypiętrzenia, teren górniczy.

Streszczenie

W przedstawionym artykule podjęto próbę określenia wielkości wtórnych ruchów powierzchni terenu górniczego wywołanych zatapianiem likwidowanych wyrobisk górniczych. Analizę możliwych deformacji prowadzono na przykładzie przestrzennego modelu górotworu. W modelu tym założono pole eksploatacyjne o wymiarach 1200 m x 840 m. Wymiary pola eksploatacyjnego przy założonej głębokości eksploatacji powinny zapewnić powstanie na powierzchni modelu pełnej niecki obniżień.

Obliczenia numeryczne prowadzone były w kilku etapach mających na celu odwzorowanie procesu tworzenia się niecki obniżień oraz jej zmian na skutek zatopienia wyrobisk eksploatacyjnych.

Przeprowadzona analiza numeryczna wykazała, że stosując modele numeryczne istnieje możliwość prognozowania wtórnych ruchów powierzchni terenu spowodowanych zatapianiem wyrobisk podziemnych. Istotnym czynnikiem wpływającym na wielkość wypiętrzeń jest wartość ciśnienia w zrobach poeksploatacyjnych oraz nasiąkliwość górotworu nadległego.

1. Wstęp

Eksploatacja górnicza prowadzi do trwałych zmian w górotworze, których efektem jest przemieszczenie mas skalnych w kierunku przestrzeni wybranej oraz migracja wód gruntowych do czynnych wyrobisk górniczych. W okresie istnienia kopalni wody te są na bieżąco odprowadzane do powierzchniowych zbiorników wodnych. Sytuacja ta zmienia się z chwilą likwidacji zakładu górniczego. Likwidowane kopalnie z reguły ulegają zatopieniu poprzez zaniechanie odwadniania istniejących oraz zlikwidowanych wyrobisk podziemnych. Podczas zatapiania kopalni obserwuje się względne podnoszenie się (wypiętrzenie) powierzchni terenu górniczego. Obserwacji takich dokonano głównie Niemczech. Uwzględniając pierwotne obniżenie powierzchni terenu powstałe na skutek wybrania złoża należy stwierdzić, że wypiętrzenia te są stosunkowo niewielkie (Fenk J., 1999, Sroka A. 2006).

Niewielkie nawet wypiętrzenia powierzchni terenu szczególnie w obszarach zabudowanych mogą być przyczyną szkód górniczych. Z tego właśnie powodu zachodzi potrzeba szerszej analizy przyczyn oraz skutków zatapiania likwidowanych kopalń oraz opracowanie skutecznej metody prognozowania wypiętrzeń powierzchni terenu górniczego.

Aktualnie niewiele jest w polskiej literaturze informacji dotyczących zarówno wyników obserwacji, jak i metody prognozowania pionowych ruchów górotworu polegających na podnoszeniu się powierzchni terenu (wypiętrzaniu) na skutek zatapiania kopalni (Kołodziejczyk P i in. 2007) Prawdopodobnie zjawisko to uchodziło do tej pory uwadze. Być może powodem była intensywna eksploatacja, kiedy to znacznie większe obniżenie terenu spowodowane prowadzonym wybieraniem, niwelowało zdecydowanie mniejsze podnoszące ruchy terenu wywołane zatapianiem stosunkowo małych obszarów. Pojedyncze, stwierdzone przypadki podnoszenia się punktów pomiarowych interpretowano jako błędy pomiaru lub stabilizacji punktów pomiarowych. W przedstawionym artykule podjęto próbę określenia wielkości wtórnych ruchów powierzchni terenu górniczego wywołanych zatapianiem wyrobisk górniczych w oparciu o modelowanie numeryczne.

2. Model górotworu

Model górotworu, w oparciu o który prowadzona będzie numeryczna analiza wpływu zatapiania nieczynnych wyrobisk górniczych na powierzchnię terenu, stanowi przestrzenną bryłę o wymiarach podstawy 2200 m x 1900 m oraz wysokości 900 m. Na głębokości 600 m (głębokość spągu pokładu) zamodelowano pokład węgla o grubości 3 m. W centralnej części pokładu węgla przyjęto pole eksploatacyjne o wymiarach 1200 m x 840 m. Wymiary pola eksploatacyjnego przy założonej głębokości eksploatacji powinny zapewnić powstanie na powierzchni modelu pełnej niecki obniżeń. Skrajne części modelu stanowią rejon wyłączony spod bezpośredniej eksploatacji górniczej. Schemat modelu górotworu przedstawia rys. 2.1.

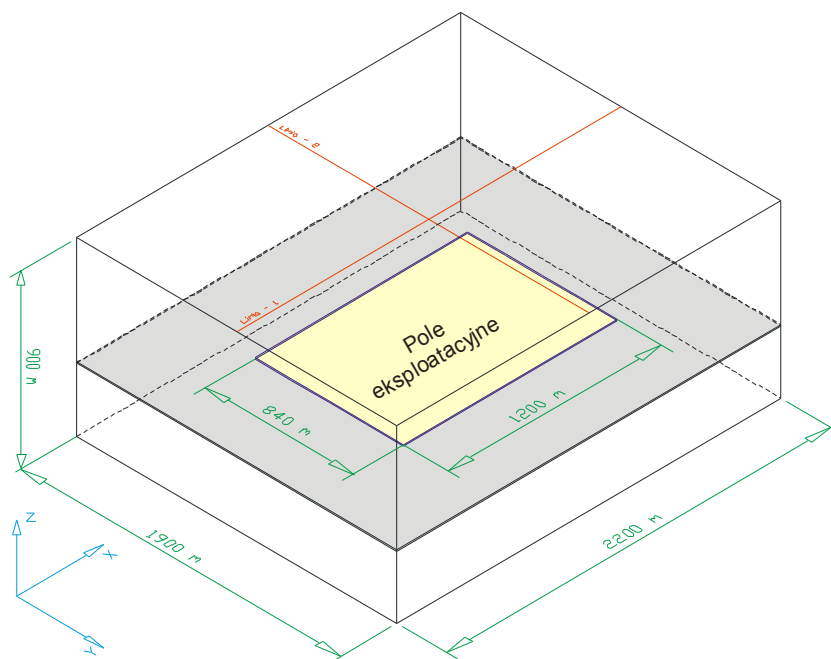
Powyżej pokładu węgla zamodelowano kolejno 11 warstw skalnych reprezentujących górotwór karboński oraz jedną warstwę stanowiącą nadkład karbonu. W spągu pokładu górotwór odwzorowano przy pomocy 6 warstw. Przyjęta grubość warstw skalnych zarówno w przypadku stropu jak i spągu pokładu jest stała i wynosi 50 m. Wszystkie wyróżnione w modelu warstwy są ośrodkami zastępczymi dla pakietu cienkich warstw skalnych.

Celem przeprowadzenia obliczeń numerycznych bryłę górotworu podzielono siatką elementów prostopadłościennych. Budując siatkę elementów modelu górotworu przyjęto zasadę, że punkty węzłowe znajdujące się na skrajnych płaszczyznach bocznych oraz podstawie modelu mogą przemieszczać się jedynie w obrębie tych płaszczyzn. Pozostałe węzły modelu mogą swobodnie przemieszczać się w dowolnym kierunku (Drzęźła B., Wesołowski M., 1999, Filcek H. i in. 1994).

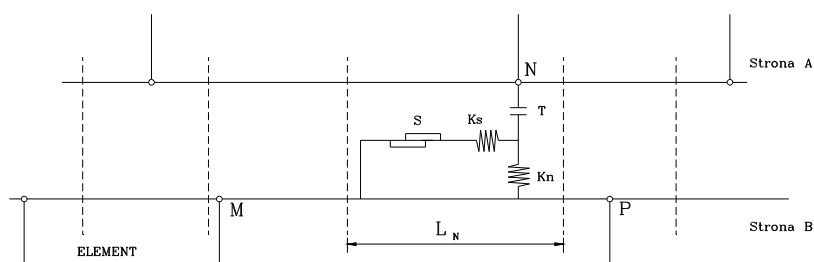
Każda z wyodrębnionych w modelu warstw reprezentuje zastępczy ośrodek liniowo-sprężysty - ortotropowy, a parametry odkształceniowe tych warstw dobrano jako średnie wartości górotworu z rejonu GZW (Białek J. i in. 2001, Kwaśniewski M., Wang J. 1994, Mielimąka R., Wesołowski M. 2004). Przyjęcie liniowo-sprężystej charakterystyki ośrodka pozwoli na uzyskanie statycznej niecki obniżeń przy wybraniu całego pola eksploatacyjnego w jednym cyklu obliczeniowym. Wprowadzenie jednorodnych i niezaburzonych tektonicznie warstw skalnych umożliwi maksymalne uproszczenie procesu budowy modelu (Wesołowski M. 2001). Zakres zmienności parametrów odkształceniowych przyjętych do obliczeń przedstawia tabela nr 2.1.

Wszystkie wyróżnione w modelu warstwy stanowią odrębne części połączone pomiędzy sobą płaszczyznami rozdziału (Kwaśniewski M., Wang J. 1994). Schemat strukturalny i model mechaniczny powierzchni rozdziału przedstawia rys. 2.2. Na model ten składają się dwie prze-

ciwległe strony A i B. Elementy na stronach płaszczyzny rozdziału połączone są sprężynami sztywności normalnej (K_n) oraz sztywności ścinania (K_s), z elementami S i T reprezentującymi, odpowiednio wytrzymałość graniczną na ścinanie i granicę wytrzymałości na rozciąganie. Zastosowanie tego typu połączeń pozwala na symulację poślizgów międzywarstwowych oraz na symulację tworzenia się pustek pomiędzy współpracującymi warstwami modelu. Spójność płaszczyzn rozdziału poszczególnych warstw dobrana została w oparciu o kryterium opadu nie podpartych skał stropowych, przy wykorzystaniu profili oporów rozwarstwienia (Kidybiński A. 1982) i dla wszystkich płaszczyzn wynosi 0,4 [MPa].



Rys. 2.1. Przestrzenny model górotworu
Fig. 2.1. Three-dimensional rock mass model



Rys. 2.2. Schemat kontaktu międzywarstwowego
Fig. 2.2. Layers connection scheme

W górotworze nienaruszonym pomiędzy współpracującymi elementami kontaktu występują siły spójności. Siły te zanikają w chwili wystąpienia rozwarstwienia lub poślizgu warstw. Wielkość otwarcia szczelin pomiędzy współpracującymi warstwami, kontrolowana jest w sposób ciągły przez stosowany program komputerowy. Ponowne zamknięcie szczelin przywraca w elementach kontaktowych jedynie tarcie (Wesołowski M. 2002, Mielimąka R., Wesołowski M. 2004).

Tabela 2.1. Parametry odkształceniowe poszczególnych warstw przyjęte do obliczeń
Table 2.1. Layers deformation parameters used for calculations

Warstwa	E_x, E_y [MPa]	E_z [MPa]	ν [-]	ρ [kg/m ³]
Nadkład	180	18	0,25	2000
Warstwa 1	7000	700	0,12	2400
Warstwa 2	8000	800	0,14	2450
Warstwa 3	14000	1400	0,11	2500
Warstwa 4	7000	700	0,12	2400
Warstwa 5	14000	1400	0,11	2500
Warstwa 6	8000	800	0,14	2450
Warstwa 7	7000	700	0,12	2400
Warstwa 8	10000	1000	0,13	2500
Warstwa 9	6600	660	0,15	2400
Warstwa 10	8000	800	0,14	2450
Warstwa 11 (strop pokładu)	7000	700	0,12	2400
Pokład węgla	2200	2200	0,25	1400
Zawał	120	120	0,25	2200
Warstwa 12 (spąg pokładu)	10000	1000	0,13	2500
Warstwa 12	6600	660	0,15	2400
Warstwa 13	14000	1400	0,11	2500
Warstwa 14	7000	700	0,12	2400
Warstwa 15	8500	850	0,13	2450
Warstwa 16	10000	1000	0,13	2500

E_x, E_y, E_z – moduł sprężystości w kierunku x, y lub z.

Określając warunki początkowe założono, że naprężenia pierwotne są wywołane siłami grawitacji, co jest na ogół słuszne dla górotworu niezaburzonego tektonicznie. Poziome naprężenia pierwotne σ_x oraz σ_y zostały wyznaczone w procesie wstępnych obliczeń numerycznych. Zgodnie klasyczną teorią sprężystości stanowią one ułamek naprężenia pionowego zależny od współczynnika Poissona poszczególnej warstwy zgodnie z tabelą 2.1 (Filcek H. i in. 1994, Kłeczek Z. 1994).

3. Dyskusja wyników obliczeń

Po zasymulowaniu pierwotnego stanu naprężeń w modelu górotworu i utworzeniu tzw. modelu zerowego, przystąpiono do symulacji eksploatacji górniczej w założonym polu eksploatacyjnym. Ten etap symulacji komputerowej ma na celu określenie wpływu dokonanej

eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu. Przyjęcie liniowo-sprężystej charakterystyki ośrodka pozwoli na uzyskanie statycznej niecki obniżenia przy wybraniu całego pola eksploatacyjnego w jednym cyklu obliczeniowym. W oparciu o uzyskane wyniki można stwierdzić, że:

Symulowana eksploatacja górnicza założonego pola eksploatacyjnego spowodowała powstanie na powierzchni modelu pełnej niecki obniżeniowej, dla których osiągnięta została oczekiwana wartość maksymalnych osiadań $w_{max}=2,3$ m (rys.3.1 i 3.2). Porównując maksymalne obniżenia z przyjętą wysokością wyrobisk ścianowych wynoszącą 3 m uzyskana wartość tzw. współczynnika eksploatacji a wynosi ok. 0,76.

Analiza obniżenia punktów węzłowych znajdujących się nad calizną węglową wykazała, że wpływy eksploatacyjne kończą się w przypadku obu modeli w odległości ok. 255 m od krawędzi eksploatacji. Odległość tę należy uznać za tzw. promień zasięgu wpływów głównych (r). Promień ten posłużył do wyznaczenia wartości parametru $tg\beta$, który przyjmuje wartość $tg\beta=2,35$.

Uzyskane w zakresie odkształceń poziomych wyniki symulacji komputerowej wykazały, że ekstremalne wartości odkształceń poziomych odnotowane na linii 1 (wzdłuż dłuższego boku pola eksploatacyjnego) wynoszą odpowiednio 4,04 mm/m oraz -3,86 mm/m (rys.3.3). W przypadku linii 2 (usytuowanej wzdłuż krótszego boku pola eksploatacyjnego) ekstremalne wartości odkształceń wynoszą 4,04 mm/m oraz -3,59 mm/m (rys.3.4). Wyznaczone wartości stanowią odpowiednio wielkości $1,05 w_{max}/h$ w przypadku rozciągań oraz $(0,94\div 1,01) w_{max}/h$ w przypadku ściskań.

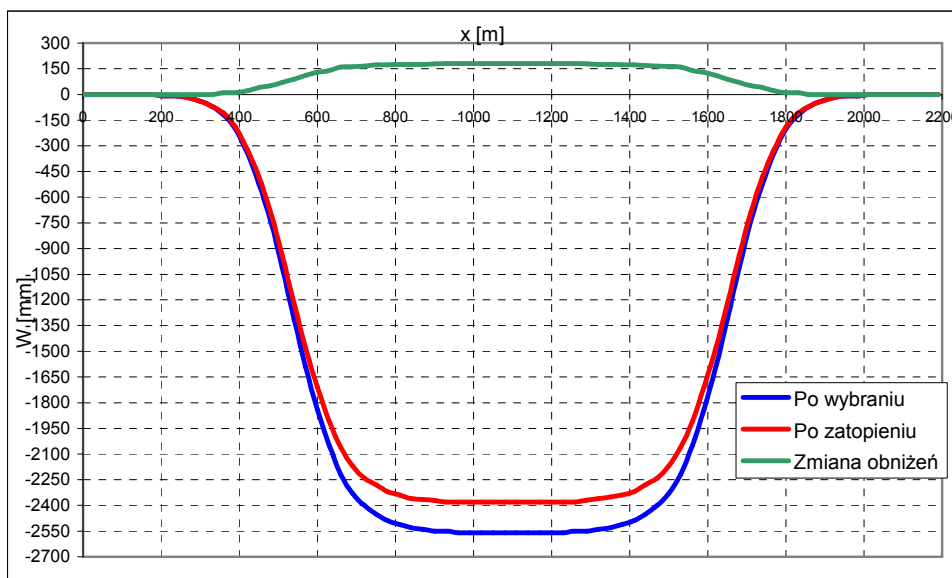
Jak wynika z powyższego zestawienia uzyskane na drodze modelowania numerycznego wskaźniki deformacji są zbliżone do średnich wartości wskaźników wyznaczanych w warunkach GZW.

Kolejnym etapem prowadzonych obliczeń numerycznych była ocena wpływu zatopienia zrobów poeksploatacyjnych na powierzchnię terenu górniczego. W tym celu elementom znajdującym się w zrobach przypisano wzrost ciśnienia wynikający z wysokości poziomu wody kopalnianej. Do obliczeń przyjęto, że wzrost ciśnienia wody w zrobach będzie się kształtował na poziomie 3 [MPa] (zatopienie do głębokości 300 m). Jako, że wyniki symulacji komputerowej będą uzależnione od stopnia nasiąkliwości górotworu do obliczeń przyjęto górotwór o nasiąkliwości 10%. Po przeprowadzeniu pełnego cyklu obliczeń, stwierdzając co następuje:

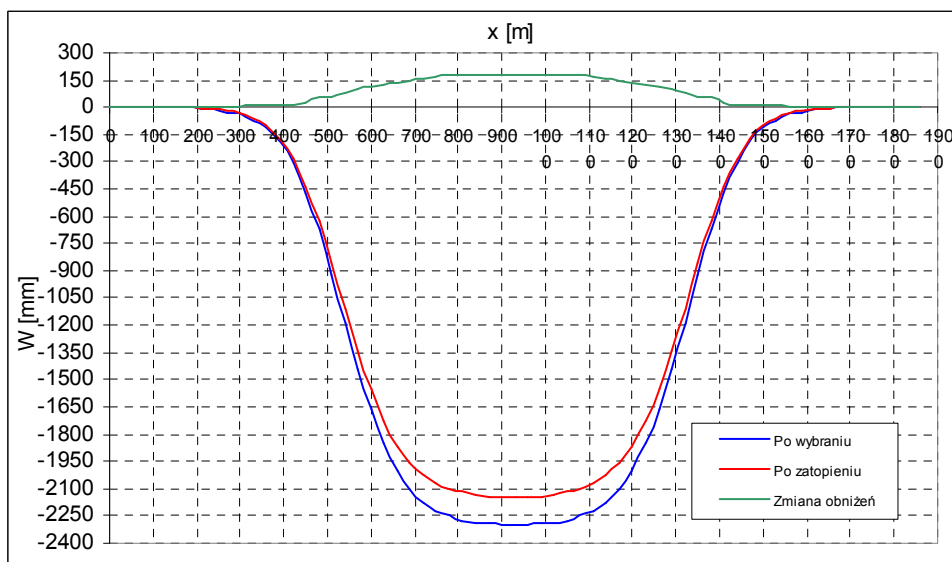
Zatopienie zrobów przyjętego pola eksploatacyjnego spowodowało niewielkie zmiany obniżenia powierzchni modelu (rys. 3.1 i 3.2). Maksymalna wartość obniżenia wynosi obecnie $w_{max}=2,14$ m, co oznacza, że wystąpiło względne wypiętrzenie powierzchni terenu o wartość $\Delta w=0,18$ m. Maksymalna wartość wypiętrzeń odnotowana została w centralnej części niecki obniżeniowej. Oceniając zasięg względnego wypiętrzenia powierzchni modelu należy stwierdzić, że wypiętrzenia zanikają w odległości ok. 160 m od krawędzi pola eksploatacyjnego. Jest to zatem wielkość mniejsza o ok. 40% od wyznaczonego w poprzednim etapie promienia zasięgu wpływów głównych.

Względne wypiętrzenie powierzchni terenu spowodowało również zmianę wartości odkształceń poziomych. Odnotowana zamiana odkształceń poziomych na linii 1 (zlokalizowanej wzdłuż dłuższego boku pola eksploatacyjnego) zatopienie zrobów wynosi odpowiednio $\Delta\varepsilon=0,9$ mm/m w przypadku rozciągań oraz -0,85 mm/m w przypadku ściskań. Analogiczna zmiana wartości odkształceń poziomych odnotowana na linii 2 (usytuowanej wzdłuż krótszego boku pola eksploatacyjnego) wynosi $\Delta\varepsilon=0,89$ mm/m w przypadku rozciągań

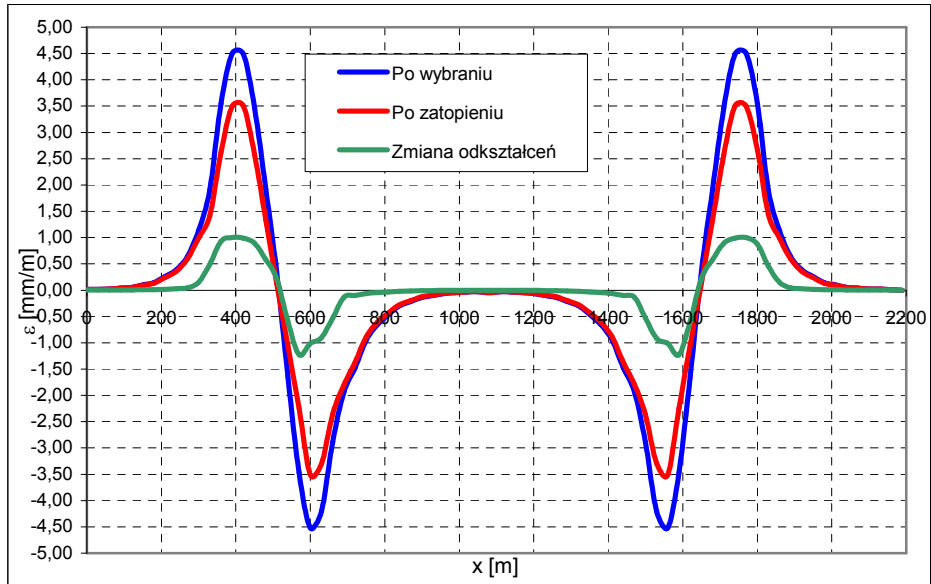
oraz $\Delta\varepsilon = -0,75$ mm/m w przypadku ściskań. Zmiany odkształceń poziomych wyznaczone na modelowych liniach 1 i 2 przedstawiają rysunki nr 3.3 i 3.4.



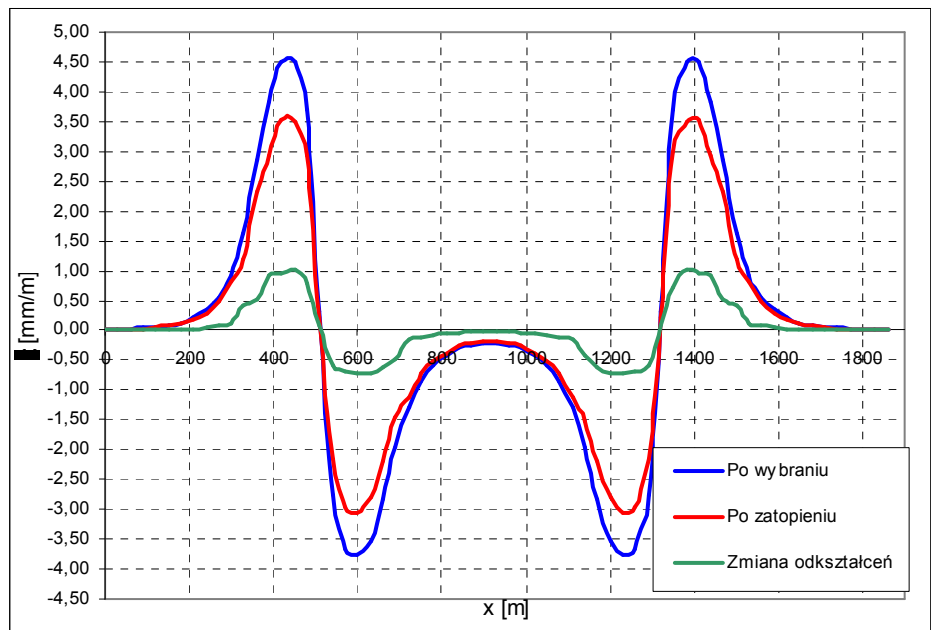
Rys. 3.1. Obniżenia powierzchni terenu przed i po zatopieniu zrobów (linia 1)
Fig. 3.1. Surface drop before and after drowning the abandoned workings (line 1)



Rys. 3.2. Obniżenia powierzchni terenu przed i po zatopieniu zrobów (linia 2)
Fig. 3.2. Surface drop before and after drowning the abandoned workings (line 2)



Rys. 3.3. Odkształcenia poziome powierzchni przed i po zatopieniu zrobów (linia 1)
Fig. 3.3. Surface horizontal deformation before and after drowning the abandoned workings (line 1)



Rys. 3.4. Odkształcenia poziome powierzchni przed i po zatopieniu zrobów (linia 2)
Fig. 3.4. Surface horizontal deformation before and after drowning the abandoned workings (line 2)

4. Podsumowanie i wnioski

W powyższym artykule podjęto wstępną próbę oszacowania możliwości wystąpienia wtórnych ruchów górotworu spowodowanych zatapianiem likwidowanych zakładów górniczych. Ocenę możliwych zmian powierzchni terenu oraz ewentualnej skali tego zjawiska przeprowadzono dla dokonanej eksploatacji górniczej w założonym polu eksploatacyjnym. W oparciu o uzyskane wyniki symulacji komputerowych sformułowano następujące wnioski końcowe:

1. Przeprowadzona analiza numeryczna wykazała, że stosując modele numeryczne istnieje możliwość prognozowania wtórnych ruchów powierzchni terenu spowodowanych zatapianiem wyrobisk podziemnych.
2. Z dostępnej literatury oraz wstępnych obliczeń numerycznych wynika, że istotnym czynnikiem wpływającym na wielkość wypiętrzeń jest wartość ciśnienia w zrobach poeksploatacyjnych oraz nasiąkliwość górotworu nadległego.
3. W oparciu o uzyskane wyniki symulacji komputerowej stwierdzono, że dla analizowanego przypadku wielkość względnego wypiętrzenia powierzchni terenu wynosi $\Delta W=0,18$ m, co stanowi ok. 8% wartości całkowitego obniżenia wywołanego eksploatacją górniczą.
4. Znacznie większe zmiany odnotowano w przypadku odkształceń poziomych. Zatopienie przyjętego pola eksploatacyjnego spowodowało zmianę odkształceń poziomych dochodzącą do 25% wartości ustalonych po zakończeniu eksploatacji. Tak duże zmiany dotyczą odkształceń rozciągających. W przypadku ściskania wielkość zmian odkształceń wynosi ok. 20%.

Literatura

- [1] Białek J., Mielimąka R., Wesołowski M. 2001: Zastosowanie transwersalnie anizotropowego modelu górotworu do opisu wieloetapowego procesu obniżenia terenu górniczego. Materiały Konferencji nt. „Aktualni problemy dulniho merictvi a geologie”, 29 – 38.
- [2] Drzeźła B., Wesołowski M. 1999: Określenie stref deformacji w górotworze w czasie rozruchu wyrobiska ścianowego. Część I: Ogólne zasady numerycznego modelowania górotworu, Zesz. Nauk. Pol. Śl. Z. 239.
- [3] Fenk J. 1999: Analityczne rozwiązanie opisujące wypiętrzenie powierzchni występujące przy likwidacji kopalń przez zatopienie. Przegląd Górniczy.
- [4] Filcek H., Walaszczyk J., Tajduś A. 1994: Metody komputerowe w geomechanice górniczej. Śląskie Wydawnictwo Techniczne.
- [5] Kidybiński A. 1982: Podstawy Geotechniki Kopalnianej. Wydawnictwo Śląsk.
- [6] Kłeczek Z. 1994: Geomechanika górnicza. Śląskie Wydawnictwo Techniczne.
- [7] Kołodziejczyk P., Musioł S., Wesołowski M. 2007: Możliwość prognozowania wypiętrzeń terenu górniczego na skutek zatopienia kopalni. Przegląd Górniczy 9/2007.
- [8] Kwaśniewski M., Wang J. 1994: Symulacja komputerowa eksploatacji pokładu węgla systemem ścianowym z zawałem stropu, II. Zachowanie się uskoków poddanym wpływom eksploatacji. Zesz. Nauk. Pol. Śl. Z. 221.
- [9] Mielimąka R., Wesołowski M. 2004: Modelowanie metodą elementów skończonych wieloetapowego procesu obniżenia i odkształceń poziomych terenu górniczego. Zesz. Nauk. Pol. Śl.
- [10] Sroka A. 2006: Przyczynek do prognostycznego obliczania ruchów pionowych powierzchni terenu spowodowanych wzrostem poziomu wód kopalnianych. Materiały konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej.

- [11] Wesołowski M. 2002: Numeryczny model wyrobiska korytarzowego w górotworze uwarstwowionym. Zesz. Nauk. Pol. Śl. Z. 254.
- [12] Wesołowski M. 2001: Wybrane aspekty modelowania numerycznego ruchów górotworu pod wpływem eksploatacji podziemnej i jej oddziaływania na obiekty. Praca doktorska (niepublikowana).

Theoretical case of secondary rock mass movement caused by drowning of liquidated excavations.

Key words

rock mass, deformations, mining area.

Summary

This article is an attempt to clarify the size of secondary movement of mining area caused by drowning of liquidated excavations. Analyses of possible deformations was made on the three-dimensional rock mass model, in with the size of exploitation area were supposed to be 1200m x 840m. Such size and the supposed depth of exploitation should assure creation of full coal basin drop model at the surface.

The numerical calculations was divided into few parts to show the modeling process of coal trough drop creation and its changes caused by drowning of liquidated excavations.

The numerical analysis shown that using of numerical models gives the possibility to forecast the secondary movement of mining area caused by drowning of liquidated excavations. Important factors effecting the size of upheaval are the pressure level in abandoned workings and absorbability of the above rock mass .

Przekazano: 19 marca 2009 r.