

Wypiętrzanie terenu pod wpływem zmian warunków hydrogeologicznych na przykładzie skutków zamknięcia wycieku w poprzeczni Mina w kopalni soli Wieliczka

AGNIESZKA MAJ

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

Streszczenie

Po zamknięciu wycieku w poprzeczni Mina w kopalni soli Wieliczka w 2007 r. ustały osiadania powierzchni i obecnie wykształcają się wypiętrzenia. W pracy przedstawiono warunki geologiczno-górnice i hydrogeologiczne w strefie wycieku. Na tle osiadań sprzed zamknięcia wycieku pokazano narastające w czasie wypiętrzenia terenu. Maksymalne obserwowane metodą niwelacji precyzyjnej wypiętrzenia osiągnęły w ciągu 4 lat wartość 63 mm, a teren w następnych latach może się nadal wypiętrzać. Wskazano, że przyczyną wypiętrzeń jest zwiększenie ciśnienia w kawernach sufozcyjnych i nawadnianie wcześniej osuszonych i zdrenowanych utworów geologicznych.

Słowa kluczowe: wypiętrzenia terenu, niecka osiadań, warunki hydrogeologiczne, kopalnia Wieliczka

1. Wstęp

Eksploracja kopaliny zaburza warunki hydrogeologiczne w sąsiedztwie kopalń. Z drugiej strony warunki hydrogeologiczne oddziałują na kopalnię. Na powierzchni terenu wpływy wspólnych oddziaływań eksploatacji podziemnej i zmian warunków hydrogeologicznych obserwowane są w postaci przemieszczeń. Drenaż wód w wyniku podziemnej lub odkrywkowej eksploatacji węgla czy rud powoduje osuszanie rozległych obszarów. Dopływy wód do kopalń powodują utrudnienia w prowadzeniu wydobywania, a w przypadku kopalń soli stwarzają poważne zagrożenie i doprowadzić mogą do katastrofy wodnej. Skutki zmieniających się warunków hydrogeologicznych na terenach górniczych nad kopalniami soli mogą się pojawić dopiero, kiedy następuje awaria wodna. Jej przejawem jest powstająca na powierzchni niecka obniżen z deformacjami nieciągłymi. Z drugiej strony awaryjne wypełnienie wyrobisk zmienia warunki geomechaniczne, czego przejawem mogą być wypiętrzenia terenu.

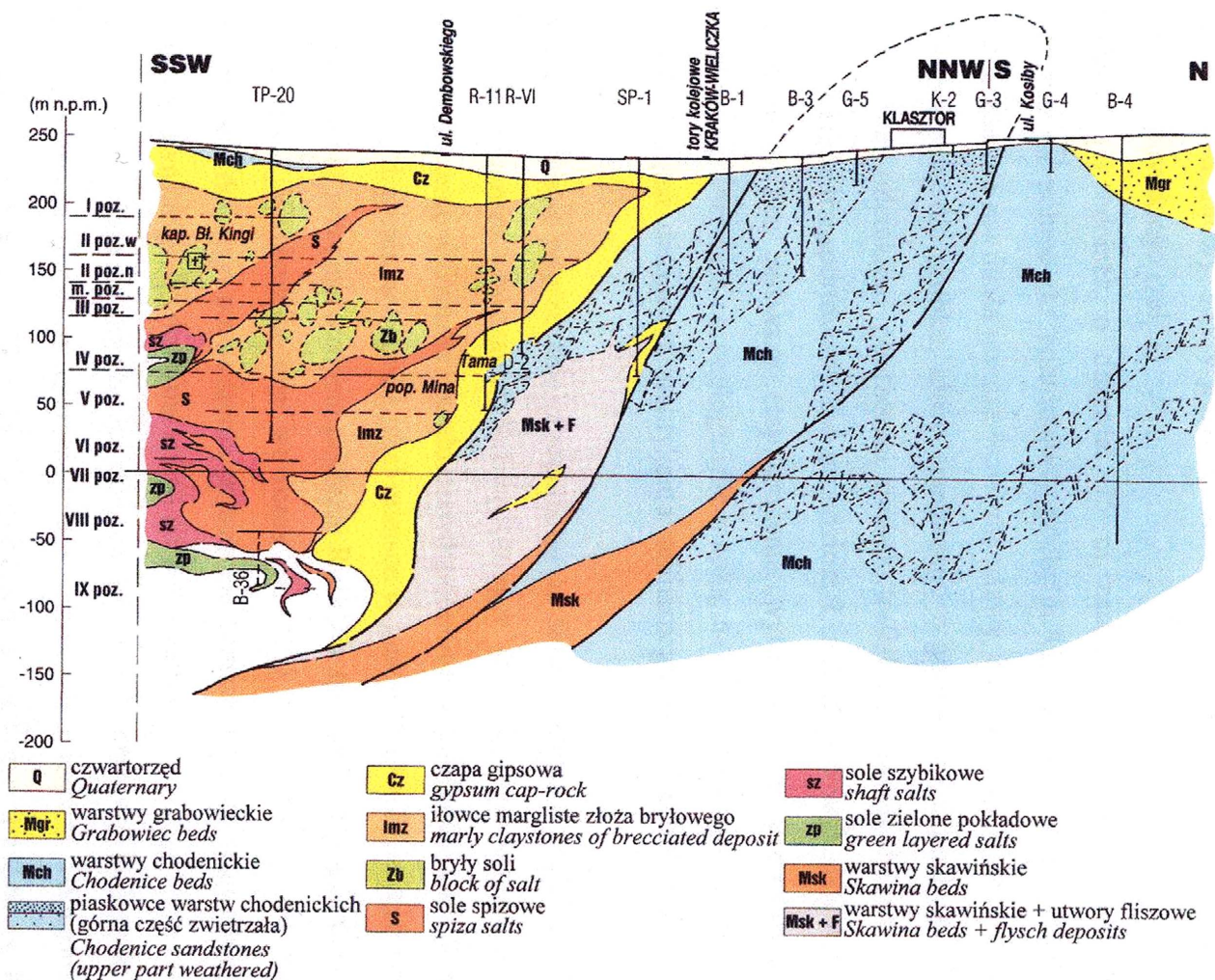
Wypiętrzenia terenu obserwowane były po katastrofalnym zatopieniu kopalni soli w Wapnie [Kortas 1984] i planowym zatopieniu kopalni Solno w Inowrocławiu [Kortas 1979, 2008]. Również w Wieliczce w trakcie awaryjnego dopływu wód do poprzeczni Mina wyniki częstych pomiarów niwelacyjnych wykazywały naprzemienne osiadanie i wypiętrzenie terenu [*Studium...* 1995]. Okoliczności, przebieg wdarcia wód, jego charakterystyka, ocena i analiza zagrożeń były przedmiotem szeregu opracowań i publikacji [np. Bromowicz, Brudnik 1997, Garlicki, Wilk 1993, Gonet i in. 1997, *Studium...* 1995]. W tej pracy przedstawiono warunki geologiczno-górnice w rejonie wdarcia wód omawiane szerzej w wielu publikacjach [np. Garlicki, Szybist 1995, Kortas 2004, Nałęcki 1995, d'Obyrn, Przybyło 2010]. Na tle wyników pomiarów osiadań w fazie aktywności wycieku omówiono obserwowane przemieszczenia, charakterystyczne dla procesu przywracania naturalnych warunków hydrogeologicznych.

2. Warunki geologiczno-górnictwa

Budowa geologiczna przygranicznej strefy złoża soli kamiennej Wieliczka jest skomplikowana. Szerokość strefy waha się od 200 do 500 m. Do złoża przylega czapa gipsowa, a dalej utwory warstw skawińskich wymieszane z utworami fliszu karpackiego i piaskowce chodenickie. Utwory te są często porozrywane i zazębiają się wzajemnie w formie języków lub łusek. Bloki piaskowców mają rozmiary do około 20 m, a ich nagromadzenie jest bezładne, są poprzysuwane, miejscami rozdzielone utworami ilastymi, tworzą szczeliny i kawerny. Drobnopiękiste, zwięzłe lub słabo zwięzłe, a nawet rozsypliwie piaskowce wykazują ślady krasowienia i przepływu wód. Lokalnie, w obrębie piaskowców występują fragmenty oderwanej czapy gipsowej. Strefa ta jest drogą połączeń hydraulicznych wód w kilku podsystemach wodnych.

Poprzeczna Mina na horyzoncie 76 m n.p.m. przecina granicę złoża, jej północny kraj przekroczył czapę gipsową i otworzył połączenie hydrauliczne z wodami w piaskowcach warstw chodenickich. Budowę złoża w tej strefie i położenie pop. Mina charakteryzuje przekrój geologiczny przedstawiony na rys. 1.

Procesy deformacji górotworu i powierzchni terenu od czasu wystąpienia wdarcia wód do chwili obecnej kształtowane są przez pierwotne i wtórne warunki hydrogeologiczne w utworach warstw chodenickich. Utwory te izolują złożę od kontaktów z wodami czwartorzędowymi i powierzchniowymi. Występujące w nich drobnopiękiste, zailone i pylaste piaskowce o zróżnicowanym współczynniku filtracji w granicach od 10^{-10} do 10^{-6} m/s, tworzą warstwy wodonośne, umożliwiając przepływy w przestrzeniach między bryłami potrzaskanych piaskowców. W wyniku zaburzeń tektonicznych i procesów krasowych w otoczeniu poprzeczni Mina wytworzyły się lokalne systemy krążenia w dwu lub trzech warstwach piaskowców.



Rys. 1. Przekrój geologiczny przez rejon poprzeczni Mina [Ulmaniec 2004 za: Brudnik & Szybist 1995]

Rejon w okolicach poprzeczni Mina jest częścią północną centralnego obszaru kopalni. Pod poprzeczną Mina znajdują się XIX i XX-wieczne komory eksploatacji suchej oraz kilkanaście XX-wiecznych ługowni. Na górnych poziomach znajdują się nieliczne komory i wyrobiska chodnikowe. Wyrobiska te ulegają konwergencjom objętościowym o niewielkich prędkościach: od 0 ‰/rok do -7,3 ‰/rok, lokalnie nawet -11,10 ‰/rok. Komory na poziomach od IV do VIII zostały wypełnione materiałem podsadzki, ale dopiero po uzyskaniu podpórności podsadzki spowoduje to zatrzymanie ich zaciskania.

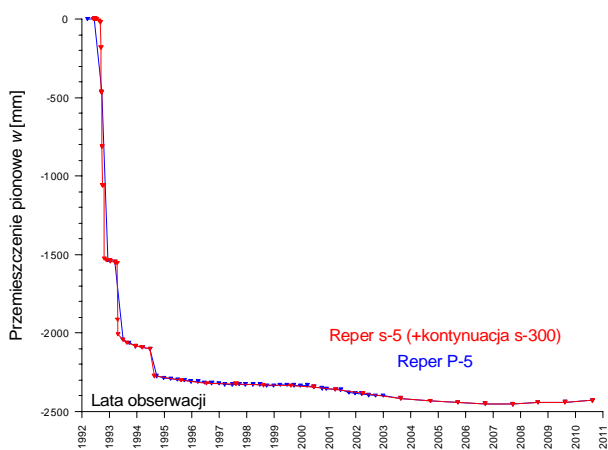
Naruszenie granicy złoża w poprzeczni Mina w 1912 roku spowodowało pojawienie się wycieku, a do 1992 r. wpłynęło do kopalni 226 tys. m³ wód. Przy średnim stężeniu 40 g/dm³ NaCl rozługowania osiągnęły wtedy przestrzeń ok. 4,2 tys. m³. Wdarcie wód w 1992 roku uruchomiło początkowo szereg gwałtownych spływów, które przeszły w prawie jednostajny wypływ o malejącym wydatku (120 dm³/min przed zamknięciem wycieku).

Długotrwały drenaż utworów wodonośnych doprowadził do wyniesienia z wyciekem 45 tys. m³ części nierozpuszczalnych i NaCl. Wymywany materiał skalny czopował kanały sufozyjne, a wzrost ciśnienia wód udrażniał je. Powstające okresowo znaczne gradienty hydrauliczne były przyczyną uruchomienia sufozji. Wtórny objawem tego procesu były okresowe osiadania, a w czasie zatrzymania wypływu wypiętrzania powierzchni terenu w obrębie wykształcającej się niecki sufozyjnej.

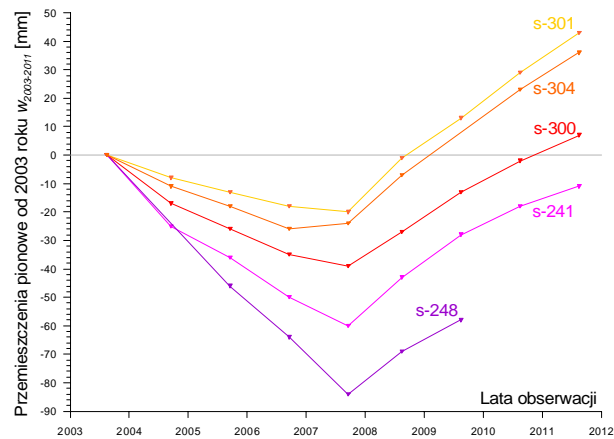
Zamknięcie wycieku w 2007 r. rozpoczęło proces przywracania naturalnych warunków hydrogeologicznych: podnoszenia poziomu wód z wypełnianiem pustek, nawadnianiem zdrenowanych utworów i odbudowaniem naturalnych ciśnień. Wpływ tego procesu na ruchy terenu nadal jest obserwowany.

3. Przemieszczenia terenu po zamknięciu wycieku w poprzeczni Mina

Pomiary niwelacyjne na północnym przedpolu złoża prowadzone są od lat 20. ubiegłego wieku. Zagęszczoną sieć dla obserwacji skutków niekontrolowanych przepływów wód założono po pojawieniu się intensywnego wypływu w 1992 r. W następnych miesiącach maksymalne obniżenie terenu (reper S-5 i potem S-300) osiągało -14 cm/dobę. Ostatnie gwałtowne ruchy terenu wystąpiły pod koniec kwietnia 1993 roku. Potem teren obniżał się z nie równomierną, ale malejącą prędkością od -25 do -2 mm/rok (rys. 2 i 3), aż do zamknięcia wycieku. Od 2007 r. teren systematycznie się wypiętrza (rys. 3).



Rys. 2. Przemieszczenie pionowe reperu S-5 [wg Ulmaniec 2004]

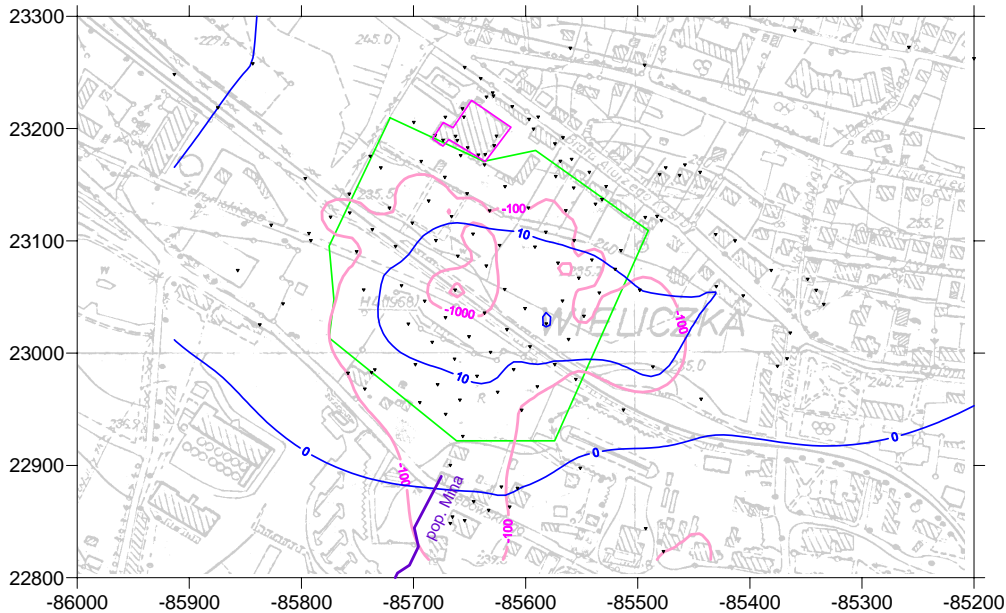


Rys. 3. Przemieszczenie pionowe reperów w centrum niecki od 2003 r.

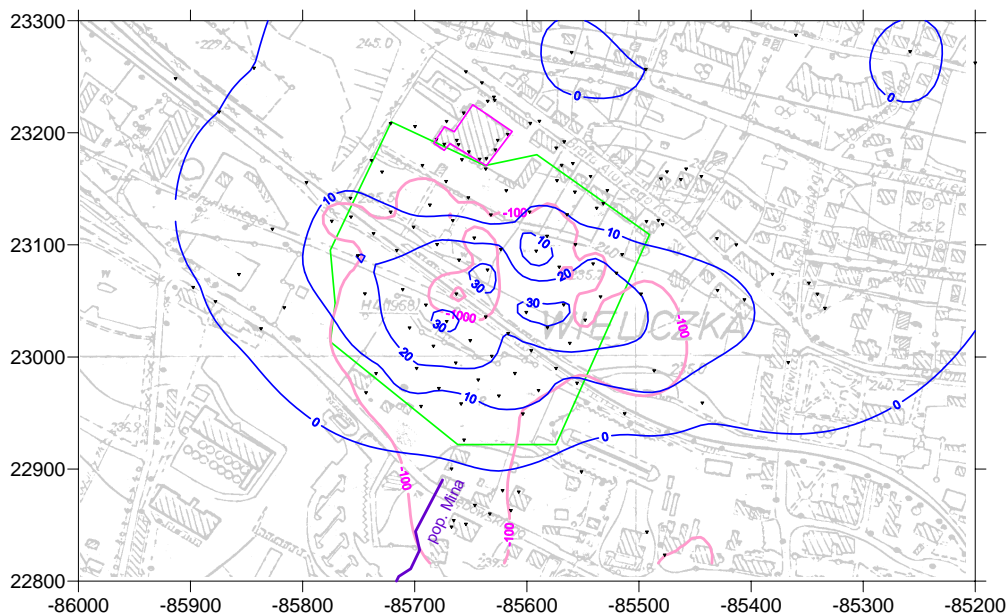
Na rysunkach 4-7 przedstawiono kształtowanie się wypiętrzeń na tle niecki osiadań z lat 1992-2007. W pierwszym roku po zamknięciu wycieku maksimum ruchu równe +21 mm stwierdzono na reperze S-206. Obszar wypiętrzeń ponad 10-cio milimetrowych o powierzchni ok. 6 ha objął swoim zasięgiem centralną – najgłębszą i wschodnią część niecki sufozyjnej (rys. 4). Maksymalne wypiętrzenia w 2009 r. zaobserwowano na reperach S-207 i S-301: +33 mm. Izolinia +10 mm w okresie 2007-2009 r. objęła prawie cały obszar zasięgu osiadań ponad -100 mm z okresu obserwacji w latach 1992-2007 (rys. 5). Do 2010 r. maksymalne wypiętrzenia występowały za torami kolejowymi w odległości 200 m na północ od ujęcia wycieku

i osiągnęły wartość +49 mm (rys. 6). Sumaryczne maksymalne wypiętrzenia po zamknięciu wycieku do jesieni 2011 roku wyniosły +63 mm, jednocześnie zasięg izolinii +10 nieznacznie się powiększył (rys. 7), a objętość wypiętrzeń osiągnęła wartość ok. 2,3 tys. m³.

Porównanie osiadań sprzed zamknięcia wycieku z wypiętrzeniami po jego zamknięciu pokazać można na przykładzie kilku reperów w centrach niecek z różnych okresów. Na wszystkich reperach obserwuje się przejście od osiadań do wypiętrzeń (rys. 3).

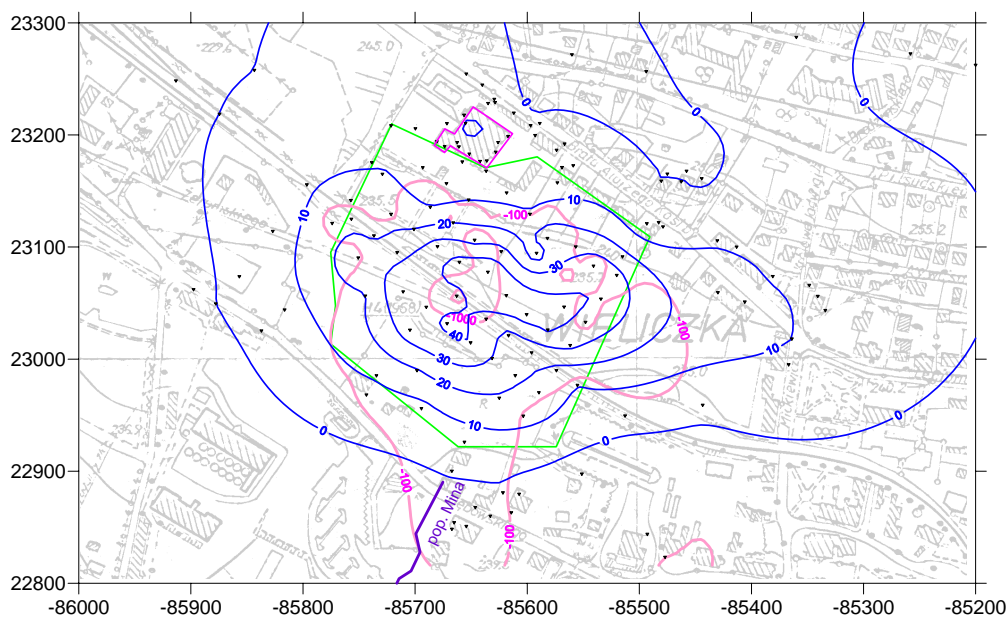


Rys. 4. Rozkład wypiętrzeń po zamknięciu wycieku w Minie w okresie 2007-2008 w mm

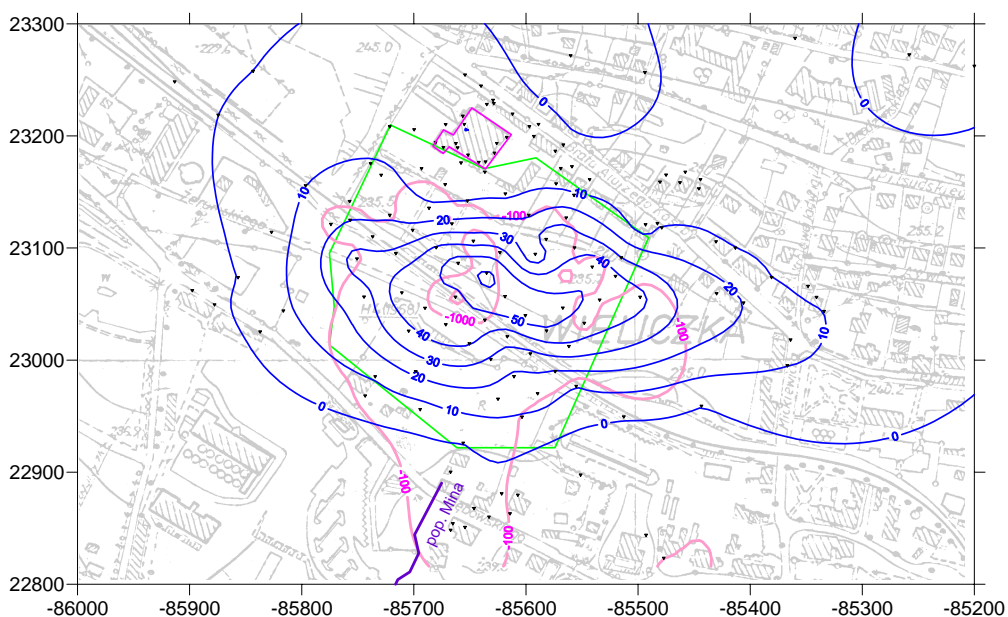


Rys. 5. Rozkład wypiętrzeń po zamknięciu wycieku w Minie w okresie 2007-2009 w mm

Kształtowanie się niecki wypiętrzeń zilustrowano przy pomocy przekrojów poprzecznych. W profilu niecki 1992-2007 dominują skutki gwałtownych i znacznych obniżen spowodowanych odwadnianiem górotworu i sufozją w latach 1992-1993 (rys. 8).



Rys. 6. Rozkład wypiętrzeń po zamknięciu wycieku w Minie w okresie 2007-2010 w mm

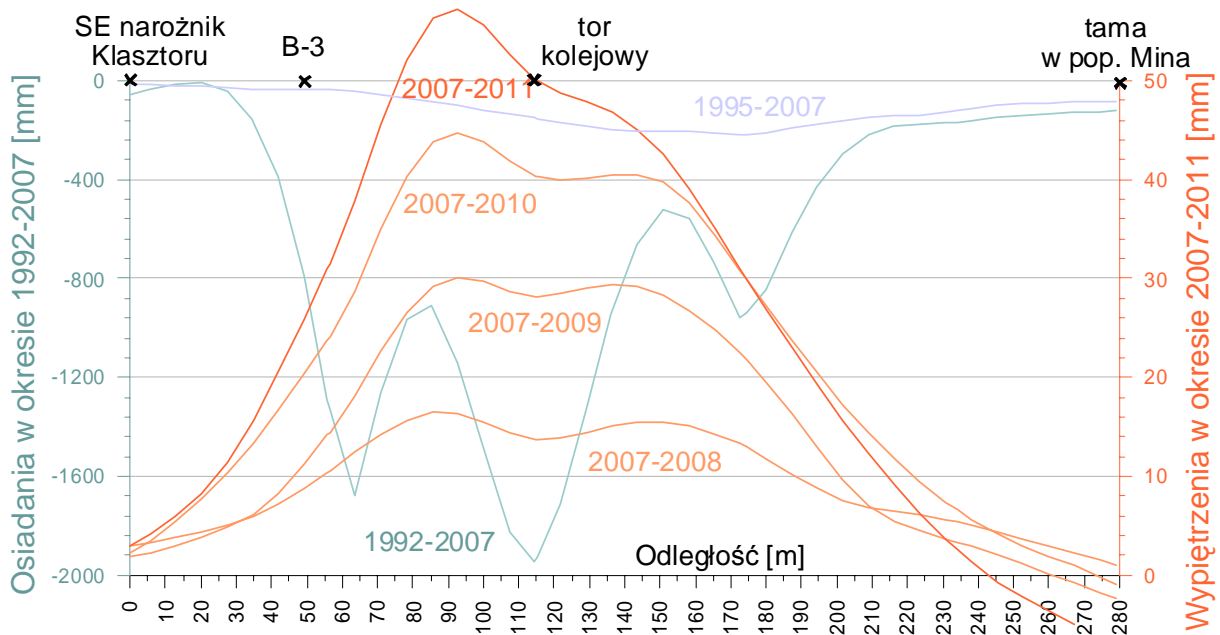


Rys. 7. Rozkład wypiętrzeń po zamknięciu wycieku w Minie w okresie 2007-2011 w mm

W pierwszym roku obserwacji wypiętrzeń niecka wykształcała się po obu stronach toru kolejowego, nad centrum obniżen w poprzednim okresie oraz nad wychodną piaskowców. W kolejnych latach centrum południowe zanika, a maksima wypiętrzeń sytuują się nad piaskowcami z charakterystycznym wydłużeniem formy niecki w kierunku rozciągłości piaskowców.

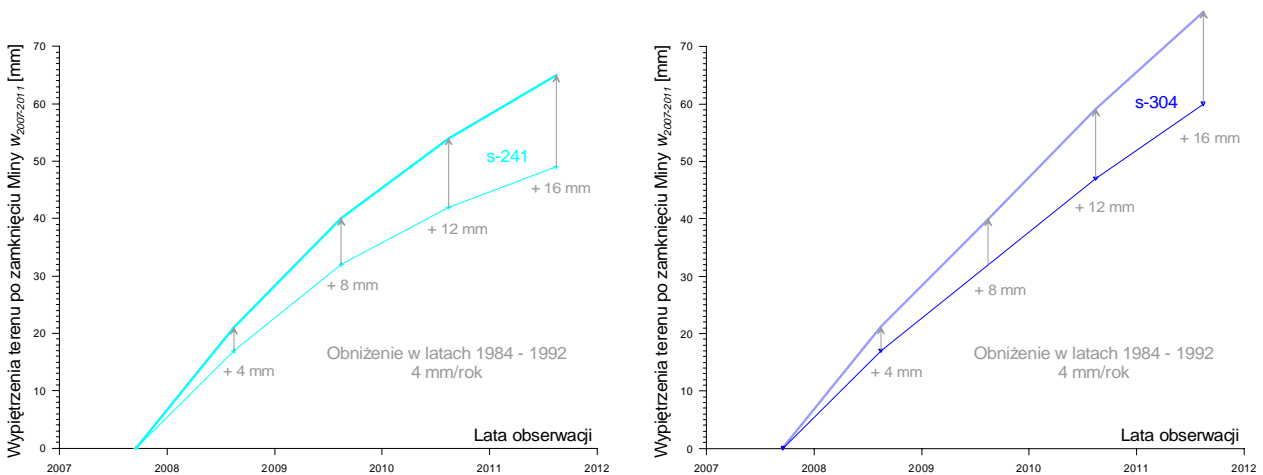
4. Analiza obserwacji geodezyjnych ruchów terenu

Obserwowane przemieszczenia pionowe są sumą wypiętrzenia wywołanego odbudową zwierciadła wodnego i obniżania terenu wynikających z zaciskaniem wyrobisk kopalnianych. Ze stałą prędkością konwergencji objętościowej wyrobisk kopalnianych powiązane są stałe prędkości osiadań terenu, także w omawianym obszarze powierzchni. Dlatego rzeczywiste wartości wypiętrzeń spowodowanych wypełnianiem się leja depresji wód są jeszcze większe. Z obserwacji osiadań przed wdarciem wód do poprzeczni Mina wynika,



Rys. 8. Profile N-S niecki obniżenia i kształtowanie się profilu niecki wypiętrzeń

że okolice centrum niecki obniżały się z prędkością ok. -4 mm/rok. Zakładając, że podobne osiadania są wynikiem obecnego oddziaływania zaciskających się wyrobisk na powierzchnię terenu dla reperów s-241 i s-304 poprawka wynosi $+16$ mm/4 lata. Efekty korekcji widoczne są na wykresach wypiętrzeń reperów (rys. 9) i na profilach pokazanych na rysunku 10.

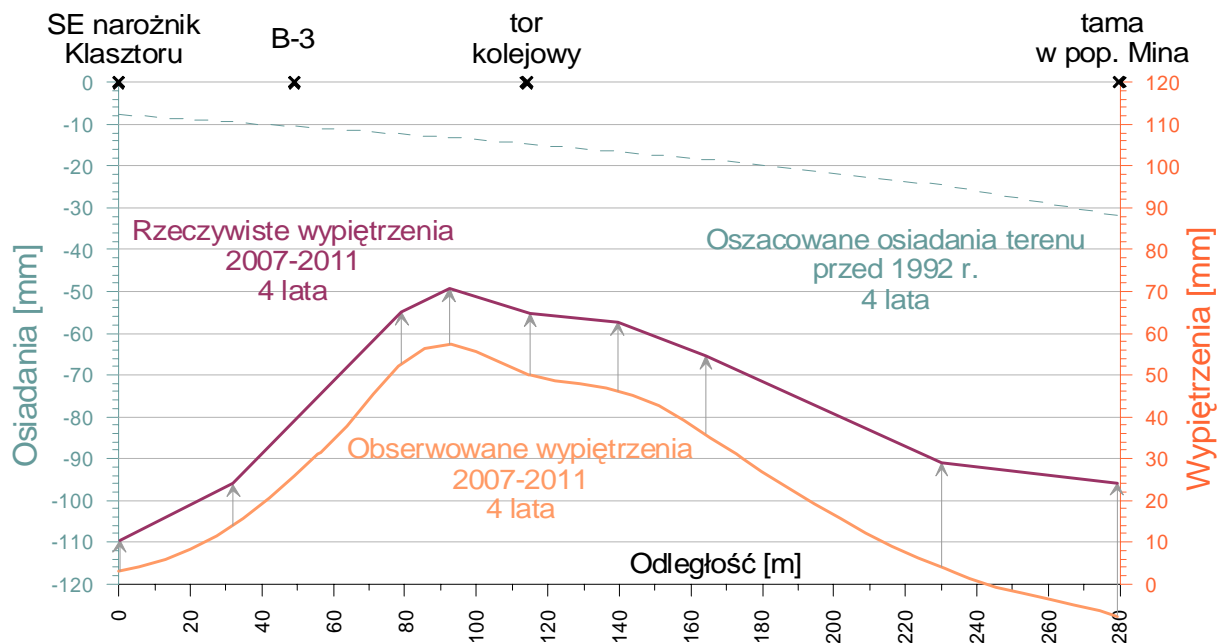


Rys. 9. Wypiętrzenie reperów S-241 i S-304 po uwzględnieniu wpływów na powierzchnię terenu zaciskania wyrobisk

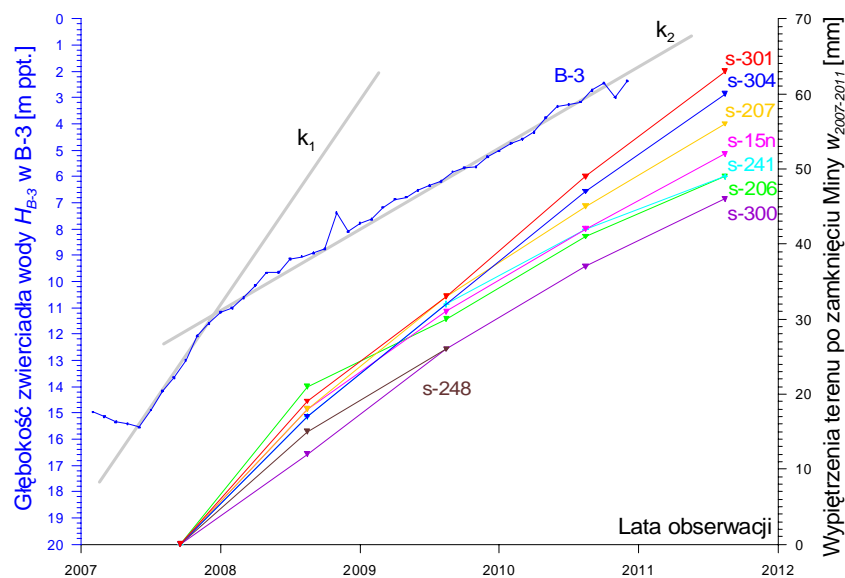
Wprowadzenie tej poprawki prowadzi do zmiany rozkładu wypiętrzeń i wzrostu objętości podnoszonych mas do $V_w = 2,6$ tys. m^3 . Powiększa się zasięg niecki wypiętrzeń w kierunku poprzeczni Mina i złagodzenia ulega południowe zbocze niecki (rys. 10).

Z wyników pomiarów poziomu zwierciadła wody w otworze B-3 wynika, że w trakcie wypełniania się lejki występowały dwie odrębne prędkości podnoszenia poziomu wody. Początkowo, po likwidacji rury D-1, prędkość ta wynosiła $k_1 = 8$ m/rok. Później, po zamknięciu zasuw na rurach D-2 i D-3 prędkość spadła do $k_2 = 3$ m/rok (rys. 11). Zmiana tych prędkości odzwierciedla się także w wypiętrzeniach reperów.

Objętość pustek pierwotnych i powstałych w trakcie wynoszenia materiału skalnego oszacowano na $V_p = 11,5$ tys. m^3 [Analiza... 2011], zatem stosunek objętości niecki wypiętrzeń do objętości pustek wynosi



Rys. 10. Nakładanie się procesów osiadania i wypiętrzania terenu



Rys. 11. Wyniki obserwacji głębokości zwierciadła wody w otworze B-3 i wypiętrzania reperów po zamknięciu wycieku w poprz. Mina

$V_w/V_p = 0,23$. Wypiętrzania spowodowane są sprężystą reakcją mechaniczną wywołaną wzrostem ciśnienia na ściany pustki, rosnącego proporcjonalnie do wysokości zwierciadła wody, a także efektem wypornościowym. Inną przyczyną jest pęcznienie utworów, szczególnie iłów, spowodowane ich namakaniem. W pierwszym roku centra obniżen i wypiętrzeń pokrywają się, a dominującą składową wypiętrzeń były skutki reakcji mechanicznej. W kawernach sufozycznych powstały dodatnie konwergencje objętościowe i skierowane ku górze przemieszczenia pionowe. Potem centrum niecki wypiętrzeń przesuwa się na północ. Powodem tego może być wypełnianie płytko rozmieszczonych pustek na wychodniach piaskowców, ale długotrwałość procesu wskazuje, że dominujące mogą być skutki namakania poprzednio zdrenowanych i osuszonych utworów.

Wtórny skutkiem przywracania poprzednich warunków hydrogeologicznych jest także przejściowy wzrost aktywności górotworu, który jest zauważany na górnych poziomach kopalni. Nad poprzeczną Mina po 2007 r. zaobserwowano wypiętrzania w chodnikach, poprzednio obniżających się.

Geodezyjne obserwacje przemieszczeń powierzchni terenu wskazują, że nie zakończył się jeszcze proces przywracania warunków sprzed wdarcia wód. Wypiętrzenia wynikające ze wzrostu ciśnienia w wypełnionych wodą kawernach zatrzymają się dopiero po pełnym zaniku leja depresji i zakończeniu procesu pęcznienia ilów. Symptodem tego będzie zanik wypiętrzeń oraz osiadanie terenu, podobne do obniżeń występujących przed 1992 r. Należy podkreślić to, że dopływ wód do drenowanej do 2007 r. zlewni był niewielki, wpływ w poprzeczni Mina wynosił ok. 120-170 l/min. Tak ograniczona ilość tego dopływu była zasadniczą okolicznością, która umożliwiła opanowanie wdarcia wód do kopalni po 1992 r. W konsekwencji jednak, przy tym samym zasilaniu, okres wypełniania się zdrenowanej zlewni jest wieloletni, a spowodowane tym ruchy terenu będą długotrwałe.

Podsumowanie i wnioski

Wdarcie wody do poprzeczni Mina w 1992 r. stworzyło poważne zagrożenie kopalni i terenów na jej północnym przedpolu. Po zamknięciu wycieku w 2007 r. ustały dopływy wód, a na powierzchni w strefie poprzednich osiadań wykształcają się niewielkie, ale systematyczne wypiętrzenia. Ruchy terenu po zamknięciu wycieku kontrolowane są przez coroczne pomiary wysokości reperów metodą niwelacji precyzyjnej, której błąd średni nie przekracza ± 1 mm.

Niecka wypiętrzeń lokalizuje się w strefie wcześniejszych obniżeń z centrum po północnej stronie torów kolejowych. Maksymalne wypiętrzenia w okresie od 2007 do 2011 r. osiągnęły wartość +63 mm, a tendencja ruchu wskazuje, że proces ten będzie postępował w kolejnych latach. Niecka ma kształt wydłużonej elipsy, której dłuższy bok sytuuje się nad wychodnią piaskowców.

Obserwowane na powierzchni terenu przemieszczenia są sumą wpływów zmiany ciśnień w kawernach sufozycznych powstałych w czasie niekontrolowanego przepływu wód, efektu wypornościowego wynikającego z wypełniania się leja depresji oraz namakania osuszonych poprzednio utworów, szczególnie ilów w rejonie piaskowców chodenickich, ale także systematycznych wpływów zaciskania wyrobisk kopalnianych, które uwzględniono w obliczeniach faktycznego podnoszenia się terenu.

Symptodem zakończenia procesu przywracania warunków hydrogeologicznych po zamknięciu wycieku będzie spowolnienie wypiętrzeń i pojawienie się osiadań o rozkładzie podobnym do obserwowanego przed wdarciem wód do poprzeczni Mina.

Praca została wykonana w roku 2012 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- Analiza wraz z interpretacją wyników pomiarów deformacji powierzchni w związku z wyciekami Mina w Kopalni Soli „Wieliczka” w aspekcie ochrony powierzchni*, Praca zbiorowa. Maszynopis. Archiwum Działu Mierniczego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A. 2011
- Bromowicz A., Brudnik K., 1997: *Raport z wykonania programu prac dla likwidacji zagrożenia wodnego od wycieku WIV-27 w poprzeczni Mina*. Maszynopis. Archiwum Działu Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- Garlicki A., Wilk Z., 1993: *Geologiczne i hydrogeologiczne tło awarii na poziomie IV kopalni soli Wieliczka*. Przegląd Geologiczny Nr 3
- Garlicki A., Szybist A., 1995: *Ogólne założenia dla zabezpieczenia Kopalni Soli Wieliczka oraz nowy obraz geologiczny złoża wielickiego*. Materiały z III Spotkania Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego. Likwidacja zagrożenia wodnego dla zabezpieczenia Kopalni Soli Wieliczka
- Gonet A., Brudnik K., Stryczek S., 1997: *Zabezpieczenie Kopalni Soli „Wieliczka” przed zagrożeniem wodnym w otoczeniu poprzeczni „Mina”*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, Miesięcznik WUG Nr 12 (40)
- Kortas G., 1979: *Wpływ eksploatacji górniczej w Inowrocławiu na powierzchnię*, Przegląd Górniczy Nr 4/1997
- Kortas G., 1984: *Górotwór po zatopieniu Kopalni Soli im. T. Kościuszki w Wapnie*. Ochrona Terenów Górniczych Nr 69/3
- Kortas G. (red.), 2004: *Ruch górotworu i powierzchni w otoczeniu zabytkowych kopalń soli*. Wydawnictwo Inst. Gosp. Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Kraków
- Kortas G. (red.), 2008: *Ruch górotworu w rejonie wysadów solnych*. Wydawnictwo Inst. Gosp. Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Kraków

- Nałęcki T., 1995: *Warunki hydrogeologiczne*. W: Mazurkiewicz M. red. Kompleksowa koncepcja zabezpieczenia zabytkowej kopalni soli Wieliczka przed zagrożeniem wodnym. Studium możliwości likwidacji zagrożenia wodnego dla zabytkowej kopalni soli Wieliczka za pomocą bariery drenażowej lub ekranu izolującego. PBZ 066-01. Maszynopis Archiwum Działu Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka”
- d’Obyrn K., Przybyło J., 2010: *Rozpoznanie geologiczne złoża soli kamiennej „Wieliczka” do 1945 roku*. Przegląd Górniczy Nr 3-4
- Studium możliwości likwidacji zagrożenia wodnego dla zabytkowej kopalni soli Wieliczka za pomocą bariery drenażowej lub ekranu izolującego*. Praca zbiorowa. Projekt Badawczy Zamawiany nr PBZ 066-01. Maszynopis. Archiwum Działu Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka”. 1995
- Ulmaniec P., 2004: *Badanie deformacji powierzchni terenu nad wyciekami „Mina” na poziomie IV kopalni wraz z interpretacją wyników*. Praca na uprawnienia mierniczego górniczego w podziemnych zakładach górniczych. Wieliczka. Czerwiec 2004

Ground Uplift due to changes in the hydrogeological conditions using the example of the effects of the closure of the water leak in the Mina Drift in the Wieliczka Salt Mine

Abstract

After the closure of the water leak in the Mina Drift in the Wieliczka Salt Mine in 2007, the ground subsidence stopped and now ground uplifts are observed on land surface. This paper presents geological, mining, and hydrogeological conditions occurring in the leak areas. Using the examples of subsidence before water leak's closure increasing in time uplifts has been demonstrated. Maximum ground uplifts observed by precise levelling method reached within 4 years 63 mm, with the continuing trends in the years to come. It was established that the causes of uplifting included increase of pressure in suffosion caverns and the irrigation of dried and drained earlier geological formations.

Keywords: ground uplift, subsidence trough, hydrogeological conditions, Wieliczka salt mine