



Deformacje powierzchni terenu w aspekcie wycieku „Mina” w Kopalni Soli „Wieliczka”

Land surface deformations with regard to the “Mina” leak in the Wieliczka Salt Mine

Paweł ULMANIEC³, Krzysztof PARASZCZUK²,
Agnieszka MALINOWSKA¹, Ryszard HEJMANOWSKI¹

¹Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,

²Okręgowy Urząd Górniczy w Krakowie, ul. Lubicz 25, 30-001 Kraków,

³Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A., Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka

STRESZCZENIE

Naruszenie granicy złoża w poprzeczni Mina na IV poziomie kopalni skutkowało ujawnieniem się wycieku, a w kwietniu 1992 roku wdarciem wód. Spływ wód spowodował wykształcenie lejki depresji i zjawisko sufozji. Woda wymywała materiał skalny, udrażniając i tworząc system szczelin oraz pustek, cyklicznie wypełniający się i opróżniający. Skutkiem tego procesu były pojawienie się niecki osiadań, a długotrwały drenaż utworów wodonośnych spowodował wyniesienie dużych ilości drobnego materiału skalnego. Zamknięcie wycieku w 2007r. spowodowało proces przywracania naturalnych warunków hydrogeologicznych. Skutkiem tego procesu było pojawienie się wypiętrzeń na powierzchni terenu.

Wpływy obu tych procesów były od początku obserwowane w ramach badania deformacji powierzchni i górotworu metodami geodezyjnymi ale także przez pomiary zwierciadła wody w piezometrach. Analiza i interpretacja wyników tych badań doprowadziły do szeregu bardzo istotnych spostrzeżeń i wniosków. W niniejszym artykule przedstawiono tło obserwowanych zjawisk i wyniki wspomnianych.

Słowa kluczowe: monitoring przemieszczeń, deformacje powierzchni i górotworu, wypiętrzenia powierzchni,

ABSTRACT

The mining operation close to the salt deposit boundary at Mine 4's level resulted in water leakage the introduction of water (April 1992). Water flow caused the depression cone

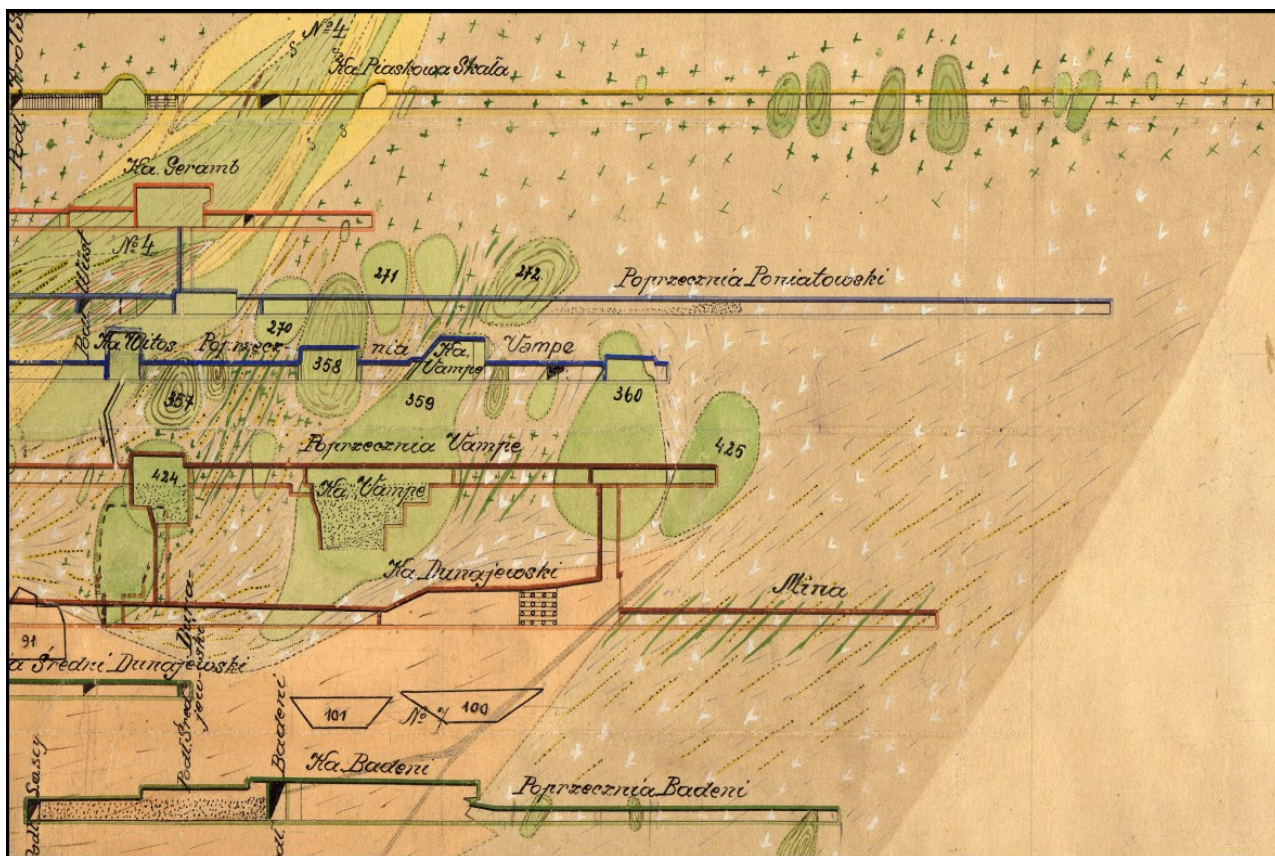
and mechanical suffosion on the terrain surface. Water washed out the rock material creating a system of gaps and voids. The result of this process was development of subsidence troughs, and long-term drainage of aquifers. Closing the water leak in 2007 caused the process of restoring natural hydrogeological conditions. The result of this process was the terrain uplift.

The effects of both these processes were observed from the beginning as part of the surveying of terrain surface and rock deformation. The hydrological measurements of the water table in piezometers was also provided. The analysis and interpretation of the results of these studies has led to a number of very important observations and conclusions. This article presents the background of the observed phenomena and the premises for the future.

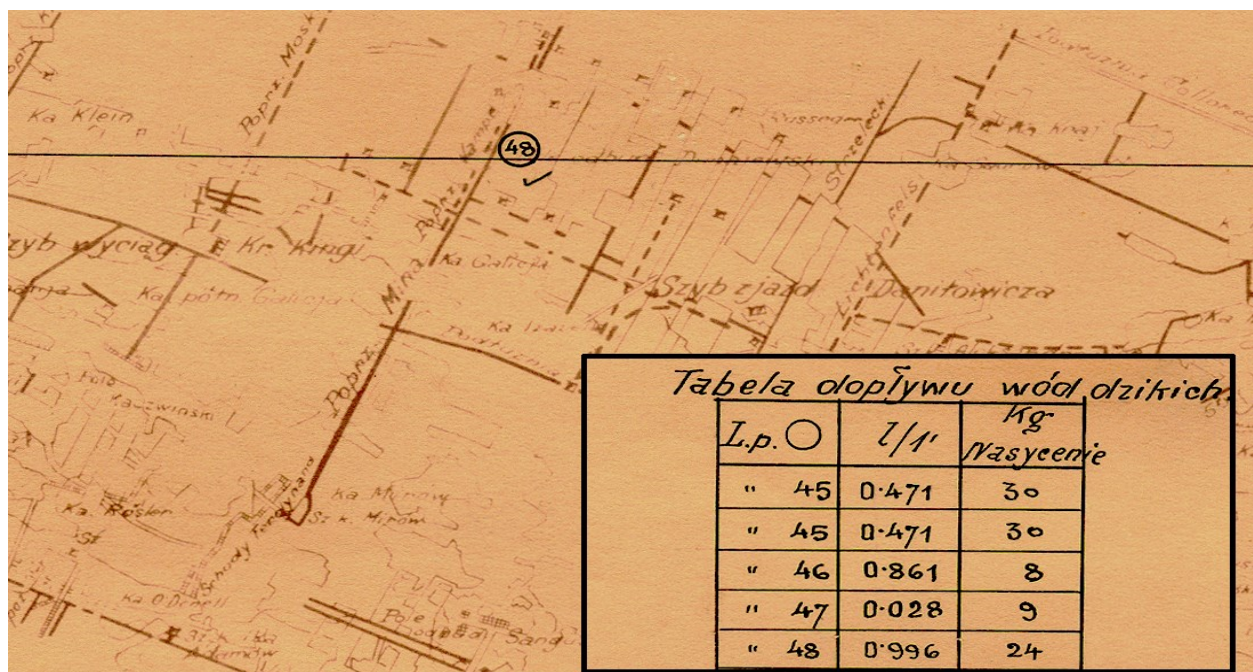
Key words: displacement monitoring, surface and rock deformation, surface uplift,

WSTĘP

Aby dokładnie przedstawić stany procesu deformacji, jakie zaszły na powierzchni terenu a w tym przypadku bezpośrednio nad wyciekami w poprzeczni Mina należy przybliżyć genezę powstania wycieku, ponieważ to on miał bezpośredni wpływ na powstanie niecki obniżeniowej i licznych deformacji, jakie można było zarejestrować bezpośrednio po wypływie. Wyciek WIV-27 zlokalizowany jest w czole poprzeczni Mina na poziomie IV Kopalni Soli „Wieliczka”. Jego genezę należy wiązać z ostatnim okresem jego drążenia. Dla zobrazowania i usytuowania poprzeczni względem



Ryc. 1. Wycinek przekroju poprzecznego nr 5 z 1927 r.
 Fig. 1. Cross-section of water leakage No. 5 in 1927



Ryc. 2. Wycinek dopływu wód „dzikich” poziomu IV z zaznaczonym wyciekem w poprzeczni Mina (nr 48)
 Fig. 2. Water leakage of 'wild waters' level I, marked in Mina drift (No. 48)



Ryc. 3. Wycinek mapy sytuacyjno – wysokościowej powierzchni
(zaznaczone otwory R-I i R-II)

Fig. 3. Part of the land survey and height map (R-I and R-II were marked in red)

innych wyrobisk znajdujących się w złożu bryłowym posłużono się wycinkiem z przekroju poprzecznego wykonanego w 1927 r. (Ryc. 1) (Ulmaniec, 2004).

Prawdopodobnie tuż przed I wojną światową przekroczone otulinę ilowo gipsową i naruszono północną granicę złoża. Pierwsze archiwalne informacje o wycieku pochodzą z 1935 r. (Ryc. 2.)

Wyciek charakteryzował się wtedy wydatkiem około 1 l/min i nasyceniem 240 g/l NaCl. Systematyczne odwadnianie wycieku prowadzono do około 1951 r., później z uwagi na pogarszający się stan poprzeczni Mina, ograniczono się jedynie do kontroli prowadzonych do 1970 r. Prowadzenie późniejszych obserwacji uniemożliwiło zawalenie się chodnika, a tym samym stracono kontrolę nad wyciekiem.

W latach 1990 – 1992 według ściśle opracowanego projektu prowadzono przebudowę chodnika w celu ponownego ujęcia znajdującego się w jego czole wycieku WIV-27. Następstwem tych w zamierzeniu słusznych działań był początkowo od 13.04.1992 r. słaby dopływ wód do poprzeczni Mina rzędu około 4-5 l/min zlokalizowany i ujęty około 40 m przed czołem poprzeczni. Przebudowę chodnika kontynuowano nadal i 7.04.1992 r. około 3,5 m przed osiągnięciem czoła dawnego chodnika zaobserwowano wzrost wydatku wody do około 20 l/min.

W związku z tą sytuacją przebudowę wstrzymano. W dniu 13.04.1992 r. nastąpił gwałtowny wzrost wielkości dopływu oceniany na około 18 – 20 m³/h. Pulsacyjny charakter wypływu oraz niesione przez wodę masy skalne, głównie piasku i mułu, utrudniały w pierwszym okresie opanowanie i ujęcie

wycieku. Doraźnie wykonywane ujęcia i rurociągi ulegały szybkiemu zanieczyszczeniu a w konsekwencji niszczeniu, co z kolei prowadziło do zalewania najgłębszego IX poziomu kopalni.

W dniu 30.08.1992 r. zaobserwowano przebicie się wód wokół tamy, na skutek tego ponownie otwarto zasuwę i rozpoczęto prace iniekcyjne w otworze R-I. Dnia 9.09.1992 r. wody ponownie obeszły tamę i rozpoczął się okres olbrzymich pulsacyjnych dopływów wód, o maksymalnym wydatku dochodzącym do 20 tys. l/min (Garlicki i inni, 2008).

OBSERWACJE GEODEZYJNE NA POWIERZCHNI

Na skutek wzmoczonego dopływu wód do poprzeczni Mina na poz. IV kopalni w dniu 13.04.1992 r. wykonano kontrolny pomiar obniżeń wzdłuż linii geodezyjnej „Daniłowicz” przebiegającej około 150 m na wschód od przodka chodnika Mina. Niwelacja ujawniła pierwsze zmiany na powierzchni w postaci obniżeń rzędu 0,005 m. W związku z zaistniałą sytuacją w rejonie przewidywanych wpływów wycieku zastabilizowano sieć reperów na powierzchni w siatce o bokach 50 x 50 m.

Po wzmocnionym wpływie 11-14.09.1992 r. ukształtowała się niecka obniżeń o centrum w rejonie torów kolejowych relacji Kraków – Wieliczka i wartością obniżenia wynoszącą $W = 0,462$ m. Na powierzchni pojawiły się też pierwsze deformacje nieciągłe w postaci spękań wskazujące na powstanie dużych sił rozciągających (Ryc.4.) oraz wyraźnie tworząca się niecka obniżeniowa w początkowej swojej fazie (Ryc.5.).



Ryc. 4. Spękania gruntu – deformacje nieciągłe w rejonie klasztoru w Wieliczce (Fot. J. Przybyło)

Fig. 4. Earth fractures – monastery in Wieliczka (after J. Przybyło)



Ryc. 5. Niecka osiadań tworząca się w profilu torowiska kolejowego (Fot. J. Przybyło)

Fig. 5. Subsidence along railway tracks after (J. Przybyło)

W ślad za rozwojem niecki następowała dalsza destrukcja powierzchni i dalsze powstawanie deformacji nieciągłych w postaci szczelin o rozwarości do 0,03 m i głębokości kilkunastu metrów. Następstwem tych deformacjami była destrukcja zabudowy i urządzeń infrastruktury kolejowej i podziemnej (Ryc.6.).



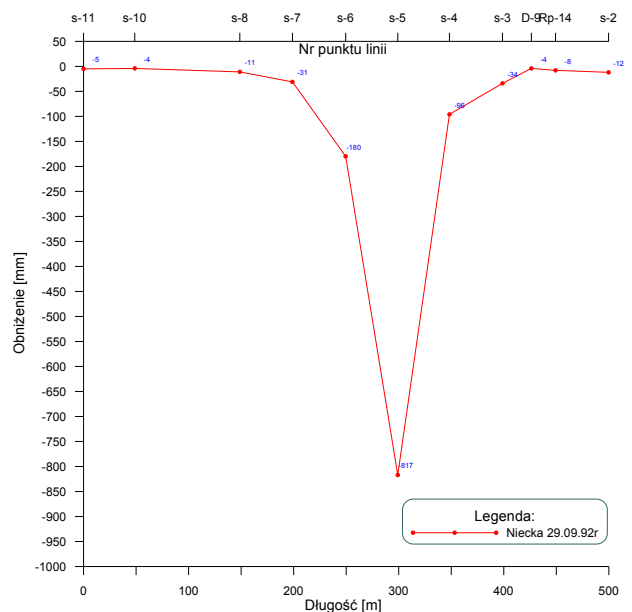
Ryc. 6. Zniszczone tory kolejowe oraz uszkodzony mur klasztorny (Fot. J. Przybyło)

Fig. 6. Deflection along railway tracks and damages to the monastery Wall (after J. Przybyło)

Dla dokładniejszego śledzenia wpływu wycieku na powierzchnię i zabudowę powierzchni w 1993 r. siatkę obserwacyjną zagęszczono (25m x 25 m) oraz zastabilizowano dodatkowe repery na zagrożonych budynkach. Prowadzone obserwacje niwelacyjne uzupełniono także o pomiar kąto-wo-liniowy do badania pozostałych wskaźników deformacji [Ulmaniec, 2004; Szewczyk, 2001].

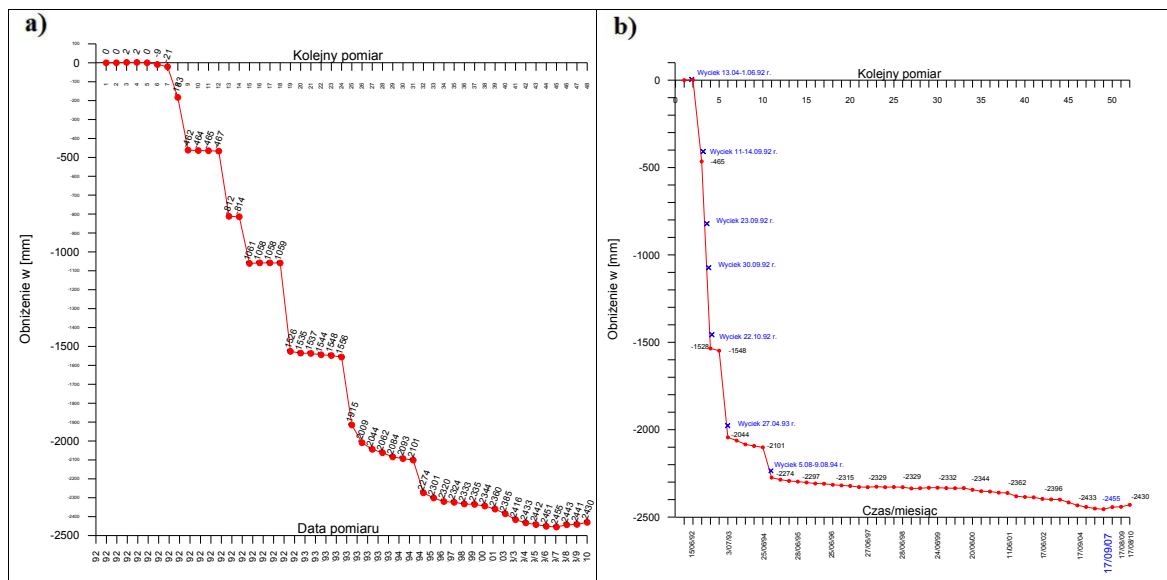
WYNIKI OBSERWACJI GEODEZYJNYCH POWIERZCHNI DO 2007 ROKU

W wyniku zjawiska sufozji od samego początku tzn. od 13.04.1002 r. zaczęła tworzyć się niecka, co obrazuje (Ryc. 7.).



Ryc. 7. Obniżenia wzdłuż linii S-11_S-2 za okres 13.04.1992 r. – 29.09.1992 r.

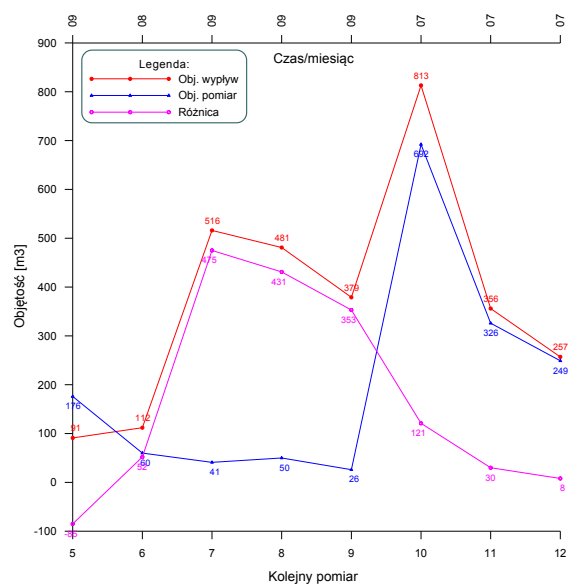
Fig. 7. Subsidence along line S-11_S-2 from 13th of April 1992 to 29th of September 1992



Ryc. 8. Obniżenia punktu S-5: a) obniżanie w czasie, b) w czasie w odniesieniu do daty wycieku
 Fig. 8. Subsidence of point S-5: a) subsidence in time, b) in time vs date of water leakage

Na wykresie wyraźnie widać kształtujące się centrum niecki w punkcie S-5. Woda wymywała materiał skalny, udrażniając i tworząc system szczelin i pustek, cyklicznie wypełniający się i opróżniający. Dla dokładniejszego zobrazowania charakteru zjawiska powstawania niecki obniżeniowej wykreślono dodatkowo przebieg obniżenia punktu znajdującego się w centrum w zależności od daty pomiaru (Ryc. 7.), oraz od daty gwałtownego wdarcia wody do poprzeczni Mina (Ryc. 8). Z rysunków można odczytać, iż zjawisko miało charakter pulsacyjny tzn. po każdym wypływie następowało znaczne obniżenie punktu, później chwilowe uspokojenie przemieszczeń powierzchni i kolejne obniżenie. Stabilizacja przemieszczeń i zanik pulsacyjnego charakteru ruchów nastąpiła dopiero w 1994 roku. Był to równocześnie końcowy okres fazy dynamicznej wypływu wód.

Długotrwały drenaż utworów wodonośnych spowodował wyniesienie dużych ilości drobnego materiału skalnego. Porównanie tworzącej się niecki z wyniesionym materiałem obrazuje (Ryc. 9). Na podstawie pomiaru niwelacyjnego powierzchni terenu i analiz wynoszenia części stałych (nierozpuszczalnych) przez wyciek prowadzonych przez dział mierzniczo – geologiczny wyznaczono objętości hipotetycznych pustek i porównano z objętościami niecek powstałych w kolejnych latach. Na podstawie wykresu można odczytać, że w początkowej fazie powstawała duża pustka w górotworze, gdyż objętość niecki powstającej na powierzchni była mniejsza od objętości niecki powstającej w wyniku wynoszenia części stałych. Dopiero w 2001 roku objętości te wartościami zbliżyły się do siebie.

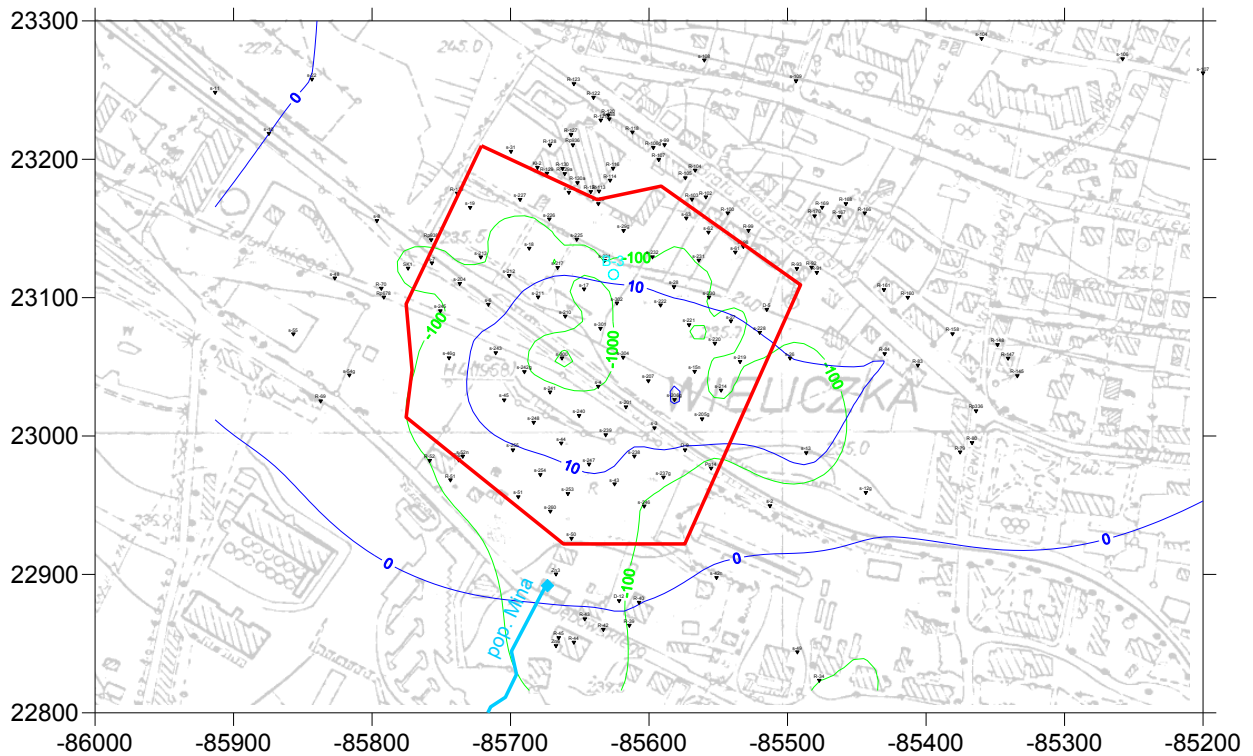


Ryc. 9. Wykres porównań przyrostu objętości pustki uzyskanej z analizy wycieku i uzyskanej z pomiaru wypływających cząstek skalnych

Fig. 9. Comparison of the void volume in time

WYNIKI OBSERWACJI GEODEZYJNYCH POWIERZCHNI PO 2007 ROKU

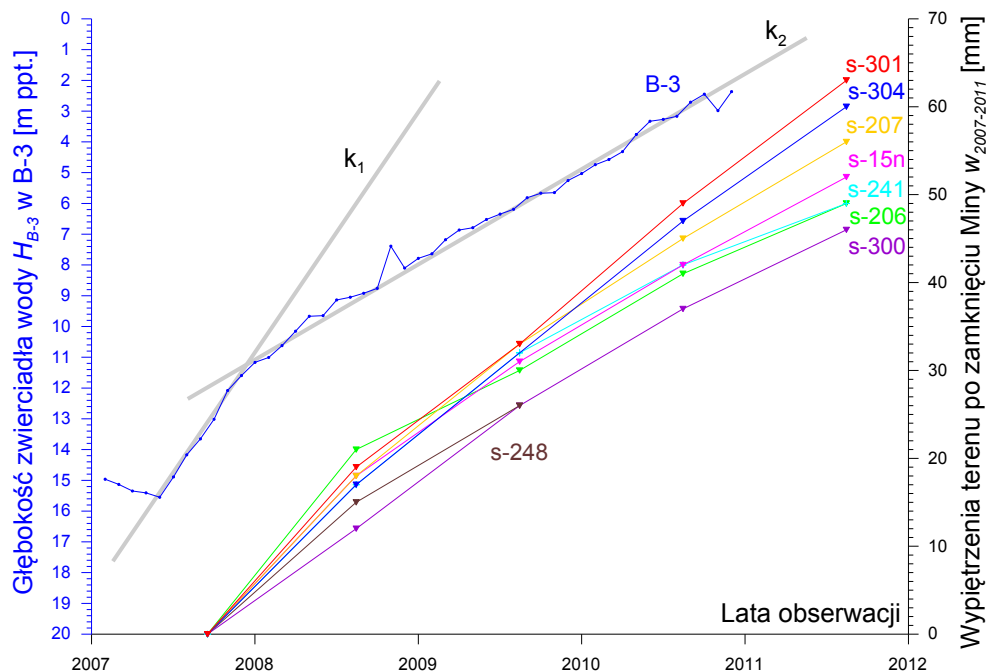
Zamknięcie wycieku 15.10.2007 r. spowodowało proces przywracania naturalnych warunków hydrogeologicznych, podnoszenie poziomu wód z wypełnianiem pustek i nawadnianiem utworów. Wpływ tego procesu na deformację terenu obserwowany jest przez geodezyjne pomiary przemieszczeń pionowych powierzchni. Po zamknięciu wycieku wystąpiło podnoszenie się poziomu zwierciadła wód i wypiętrzanie terenu, obserwowane na dużym obszarze niecki



Ryc. 10. Rozkład wypiętrzeń po zamknięciu wycieku w Minie w okresie 2007 – 2008 w mm wg. (Kortas, 2011)]
 Fig. 10. Terrain uplift in millimeters after water leakage closure from 2007 to 2008 (Kortas, 2011)

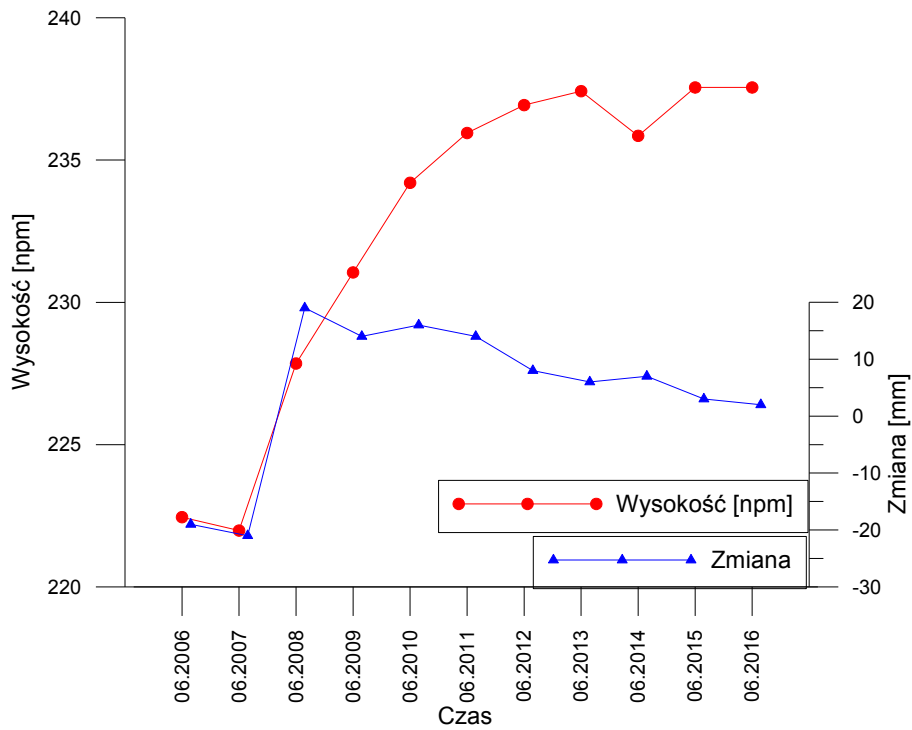
sufozyjnej. Zjawisko wypiętrzeń terenu jest dosyć powszechne, np. w rejonie zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego (Stecka, Przybyło, 2014; Vervoort, 2016). Maksimum ruchu stwierdzono na reperze S-206, +21 mm w okresie od 2007 do 2008 r. Obszar wypiętrzeń ponad 10-cio milimetrowych (30 reperów, na powierzchni ok. 6 ha) objął swoim zasięgiem

centralną – najgłębszą i wschodnią część niecki sufozycznej. Na (Ryc. 10) pokazano izolinie wypiętrzeń w okresie 2007 – 2008 (kolor granatowy) oraz izolinie osiadań: -100 mm, -1000 mm i -2000 mm w okresie 1992 – 2007 (kolor zielony). Zaznaczono także granice strefy technicznego zabezpieczenia (kolor czerwony) (Kortas, 2011).



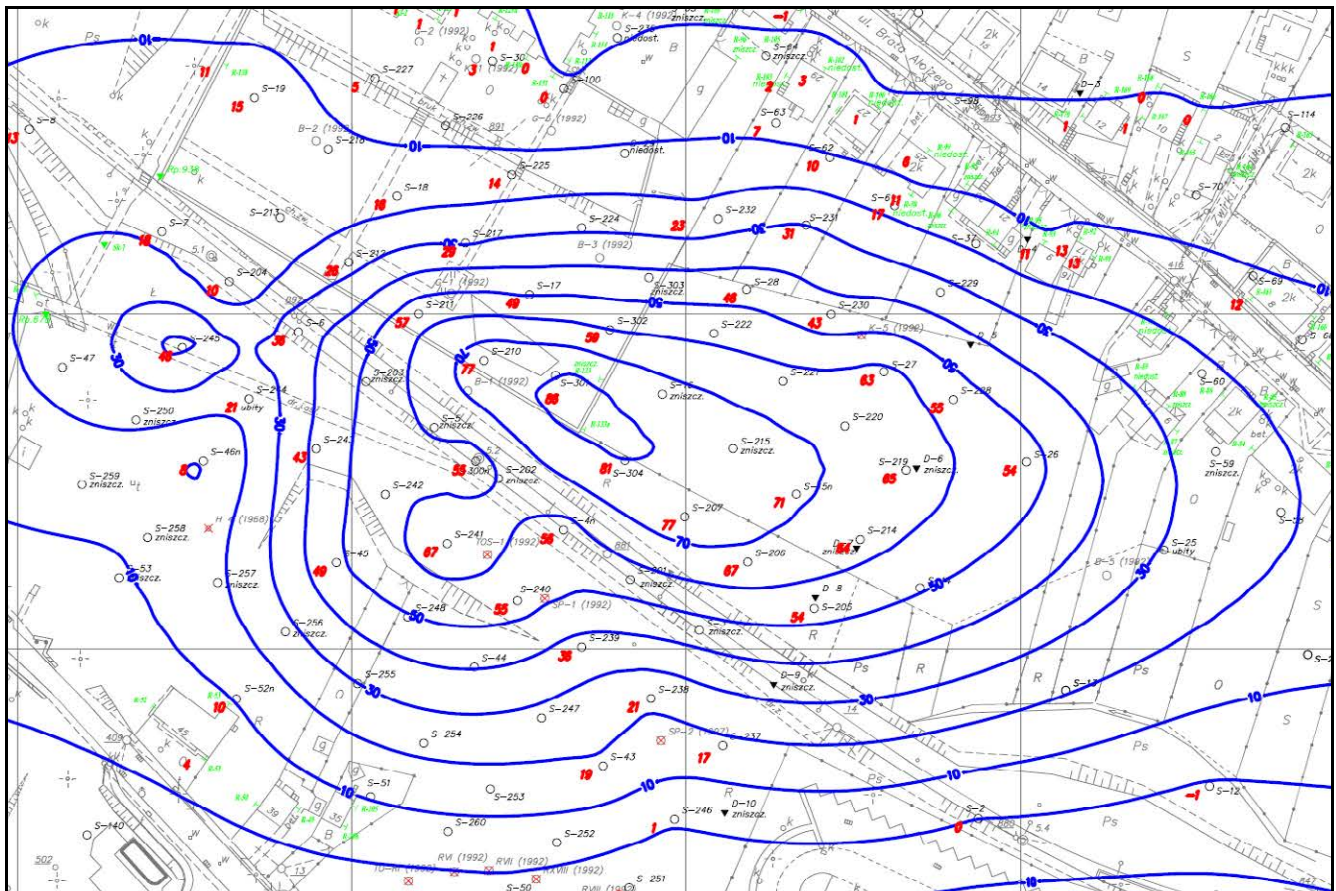
Ryc. 11. Wyniki obserwacji głębokości zwierciadła wody w otworze B-3 i wypiętrzenia reperów po zamknięciu wycieku w poprz. Mina wg. (Kortas, 2011)

Fig. 11. Water level observation in piezometer B-3 and benchmarks uplift (Kortas, 2011)



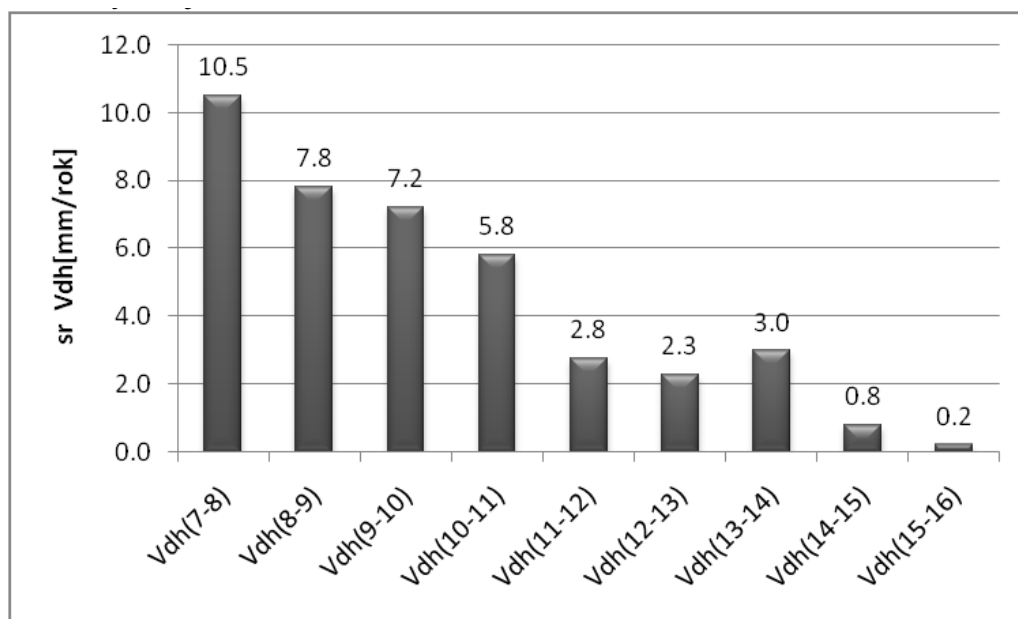
Ryc. 12. Wyniki obserwacji głębokości zwierciadła wody w otworze B-3 i średnie wypiętrzenie terenu po zamknięciu wycieku w poprz. Mina

Fig. 12. Water level observation in piezometer B-3 and benchmarks uplift after Mina drift closure



Ryc. 13. Powierzchniowy rozkład osiadań mierzony w okresie 2007-2016 [mm] (Hejmanowski, 2016)

Fig. 13. Subsidence measured from 2007 to 2016, mm. (Hejmanowski, 2016)



Ryc. 14. Uśredniona prędkość przemieszczeń w latach 2007-2016 (Hejmanowski, 2016).
 Fig. 14. Middle Subsidence/divergence velocity in 2007-2014 (Hejmanowski, 2016)

W kolejnych latach teren nadal się wypiętrzał do maksimum w 2016 r. ok +86 na punkcie S-301 w rejonie ogrodu klasztornego. Wypiętrzenia te korelowały ściślej z kształtowaniem się zwierciadła wody w piezometrach, co przedstawiano na (Ryc. 11. i 12.).

Powierzchniowy rozkład wypiętrzeń obserwowanych od 2007 r. w rejonie poprzeczni Mina ma wydłużony kształt w kierunku równoleżnikowym W podłużnej strefie wypiętrzeń występuje jedno lokalne maksimum wypiętrzeniowe. W zachodnim rejonie występuje jedno lokalne residuum, w którym wypiętrzenie powierzchni wyniosło około 40 mm (Maj i inni, 2012).

Zaobserwowane pomiarami w 2016 r. zmiany powierzchni na przedpolu Mina są niewielkie, obszarowo ograniczone i nie stanowią zagrożenia dla istniejących obiektów budowlanych. Analizując powstałe po zamknięciu wycieku niecki wypiętrzeń możemy stwierdzić, iż pomimo nadal obserwowanego wypiętrzenia (odpowiednio od 2007 r. +19, +14, +16, +14, +8, +6, +7, +3, +2 mm w okresach rocznych), wyraźnie uwidacznia się proces odbudowy warunków hydrogeologicznych, co obrazują zasięgi izolunii, wartości wypiętrzeń i obniżen terenu nie przekraczające ± 2 mm. Na rysunku 14 pokazano kinematykę ruchów w analizowanym rejonie.

Można stwierdzić, że ruch powierzchni w rejonie wycieku Mina praktycznie zanika, a roczne ruchy zbliżają się do dokładności pomiarów, co dobrze ilustruje wykres (Ryc. 14).

Należy jednak przy tym pamiętać, że z uwagi na występującą deniwelację terenu oraz wpływ zaciskania wyrobisk przedmiotowe wypiętrzenia lokalnie mogły być znacznie wyższe.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

1. Na całokształt deformacji powierzchni terenu w obserwowanym rejonie wpływały w okresie aktywności wycieku ruchy zachodzące pod wpływem sufozji (przepływ wód w utworach trzeciorzędowych związane z wypłukiwaniem materiału skalnego) oraz ruchy spowodowane powolnym choć systematycznym zaciskaniem wyrobisk górniczych kopalni „Wieliczka”
2. Deformacje powierzchni terenu w rejonie wycieku miały w początkowej fazie gwałtowny i nieregularny przebieg, charakterystyczny dla deformacji nieciągłych. Na podstawie opracowań graficznych można stwierdzić, że powstanie tak dużej niecki obniżeniowej było efektem niekontrolowanych wdarć wody do kopalni, jakie miały miejsce od kwietnia 1992 r. do sierpnia 1994 r.
3. Od końca 1994 r. obserwowano stopniowe zmniejszenie wpływu wody z poprzeczni Mina, co przyczyniło się do ustabilizowania procesu deformacji powierzchni.
4. Proces tworzenia się niecki nie miał charakteru liniowego, ponieważ po prawie całkowitym ustaniu procesu następowały zwiększone procesy sufozyjne.
5. Od 2007 roku obserwacje geodezyjne potwierdzają zahamowanie procesu narastania obniżen i pojawienie się wypiętrzeń.
6. W artykule dowiedziono, że w ostatnich latach szybkość wypiętrzeń zmierza do zera.
7. Zmiany powierzchni terenu, wypiętrzenia rzędu 3 – 6 mm obserwowane są w obrębie ujemnych anomalii grawimetrycznych związanych z awariami w poprzeczniach Mina oraz Kloski i Colloredo. Kształtują się one eliptycznie wzdłuż granicy złoża.

8. W okresie po zamknięciu wycieku przemieszczenia i deformacje górotworu oraz przemieszczenia powierzchni terenu wywołane były skutkami przywracania pierwotnego stanu hydrogeologicznego, co przejawiało się podnoszeniem poziomu wód podziemnych, obserwowanych w otworach B-3, K-2, W-1.
9. Ruchy powierzchni w omawianym rejonie kształtowane będą w następnych latach nadal przez czynniki hydrogeologiczne i geomechaniczne wynikające ze stanu górotworu po wdarciu wód do kopalni na północnym przedpołu złoża. Należy jednak przypuszczać, że obecnie następuje stabilizacja warunków w rejonie wycieku Mina.

LITERATURA

- GARLICKI A. (red.), 2008. Opinia ekspertów dotycząca sprawdzenia prawidłowości zastosowanych rozwiązań związanych z zamknięciem wycieku w poprz. Mina. Archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- HEJMANOWSKI R., 2016. Analiza wraz z interpretacją wyników pomiarów deformacji powierzchni w związku z wyciekami „Mina”. Archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- KORTAS G., 2011. Analiza wraz z interpretacją wyników pomiarów deformacji powierzchni w związku z wyciekami Mina w Kopalni Soli „Wieliczka” w aspekcie ochrony powierzchni. Archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- MAJ A., KORTAS G., ULMANIEC P., 2012. Wypiętrzenia terenu po zamknięciu wycieku w poprzeczni Mina w Kopalni Soli Wieliczka. *Przegląd Geologiczny* 1:9-22
- STECKA J., PRZYBYŁO J., 2014. Analiza budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych górotworu w rejonie północnego przedpoła poprzeczni Mina. Archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- SZEWczyk J., 2001. Długookresowe zmiany ukształtowania powierzchni terenu Wieliczki pod wpływem procesów zachodzących w górotworze. Materiały konferencji Warsztaty Górnicze, 407-420
- ULMANIEC P., 2004. Praca na uprawnienia mierniczego górniczego. Archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- VERVOORT A., 2016. Surface movement above an underground coal longwall mine after closure. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16: 2107–2121,.