

UKD 622.363.1: 622.624.044-047.72

Badania i prognoza deformacji górotworu w rejonie szybu Św. Kingi w Kopalni Soli „Wieliczka”

Study of and research on rock mass deformation in the area of St. Kinga shaft in Wieliczka salt mine



Dr hab. inż. Ryszard Hejmanowski, Prof. AGH)* *Dr inż. Agnieszka Malinowska*)* *Dr inż. Kajetan d'Obyrn**) , (***)*



*Mgr inż. Paweł Ulmaniec***)*



*Dr inż. Andrzej Kwinta*****)*

Treść: Przedmiotem artykułu są wyniki badań rozwoju ciągłych deformacji górotworu w rejonie szybu Św. Kingi w Kopalni Soli „Wieliczka” S.A., w całym okresie istnienia szybu, tj. od drugiej połowy XIX w. Ze względu na to, że szyb pierwotnie nie podlegał monitoringowi geodezyjnemu, badania zostały wsparte wynikami obliczeń modelowych. Wyniki obliczeń skonfrontowano dla okresu po 1985 r. (pierwsze pomiary geodezyjne w murze szybowej) z wynikami pomiarów wysokościowych. Zgodność wyników modelowania i pomiarów pozwoliła na objęcie górotworu w rejonie szybu prognozą na okres 25 i 50 lat. Zaprezentowane analizy pozwoliły ocenić dotychczasowe zagrożenia wzdłuż rury szybowej. Wyniki prognozy dają możliwość odpowiedniego wczesnego projektowania ewentualnych prac profilaktycznych w obudowie szybowej, jak również zabezpieczeń w komorach zlokalizowanych w rejonie szybu. Efektem wykonanych badań będzie zapewnienie informacji o warunkach stabilności szybu w perspektywie kolejnych 50 lat.

Abstract: The results of the prognosis of continuous deformation in the region of the St. Kinga Shaft in Salt Mine “Wieliczka” SA have been presented. The prognoses were performed over the shaft lifetime (from the second half of the 19th century until 2013). The shaft has been measured since 1985 but deformations in that region occurred earlier. That is why the estimation of the total deformation around the shaft was reprognosed for the period preceding the year 1985. The results of the reprognosis were confronted with the results of measurements done in the shaft after 1985. Basing on the reprognosis and measurement results one could predict deformation that might have occurred around the shaft within 25 and 50 years. Current threats around the shaft could be assessed on the basis of the presented analyses. Besides, the reinforcement of the shaft could be designed and protection plans worked out for chambers located in the region of the shaft. The result of the calculations provided information on the stability conditions of the shaft for the next 50 years.

*) AGH w Krakowie, **) Politechnika Krakowska, ***) Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A., *****) Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Słowa kluczowe:

szyb górniczy, pomiary geodezyjne, przemieszczenia, deformacje, prognoza deformacji

Key words:

mining shaft, surveying, displacements, deformation, deformation prognosis

1. Wprowadzenie

Szyby górnicze w nieczynnych, zabytkowych kopalniach są jednym z podstawowych elementów infrastruktury zapewniającym możliwość dostępu i kontroli stanu wyrobisk podziemnych. Ich bezpieczeństwo i stabilność stanowią zatem przedmiot szczególnej uwagi służb kopalnianych. Szyby historyczne, zglębione przed XX w., bardzo często nie były poddane monitoringowi przemieszczeń, bądź był to monitoring fragmentaryczny. Z punktu widzenia współczesnych potrzeb oceny stanu bezpieczeństwa takich szybów ważna jest wiedza o przemieszczeniach i deformacjach rury szybowej w całej jej historii. Celem badań było przeprowadzenie analizy zmian zachodzących w górotworze w rejonie szybu Św. Kingi w okresie od jego wydrążenia do chwili obecnej. Górotwór solny cechuje zazwyczaj niezwykle złożona budowa geologiczna, stąd znaczne trudności z jego monitorowaniem oraz modelowaniem jego ruchów w długich okresach [9, 10, 12]. Szyb św. Kingi powstał w latach 1864 - 1866 r., a oddziaływania komór solnych na rurę szybową w okresie do 1985 r. praktycznie nie są znane. Szyb jest jednym z podstawowych wyrobisk kopalni soli „Wieliczka”. Pełny monitoring obudowy szybowej do poziomu VIII w zakresie przemieszczeń pionowych datuje się od 1985 r. Oddziaływania wyrobisk komorowych w okresie od końca XIX w do 1985 r. można było wyznaczyć jedynie na drodze teoretycznej. Model wykorzystany w obliczeniach teoretycznych bazował na stochastycznym modelu Knothe'go [4]. Dla zastosowań w górotworze solnym został on uogólniony między innymi poprzez uzupełnienie o parametr prędkości konwergencji [6, 7,3]. Model czasowy oparty jest na dwuparametrowej funkcji czasu i pozwala na pełny opis ruchu górotworu solnego w czasie. Model jest oprogramowany i może być stosowany dla różnych systemów eksploatacji w złożach soli [2]. Jest to kluczowe dla niezwykle złożonej sytuacji przestrzennej oraz powolnego czasowego zaciskania się komór. Jednym z zasadniczych zadań była estymacja parametrów modelu. W oparciu o wyniki obliczeń teoretycznych możliwe było określenie wartości podstawowych wskaźników deformacji, jakie w okresie od zglębienia szybu mogły oddziaływać na rurę szybową. Dla zoptymalizowanych parametrów modelu obliczeniowego wykonana została również analiza prognozowanych oddziaływań komór solnych w tej części górotworu wielickiego na rurę szybową w okresie 25 i 50 lat według obecnego stanu zabezpieczenia.

2. Charakterystyka szybu św. Kingi i warunków geologiczno-hydrogeologicznych w jego otoczeniu

Szyb Św. Kingi zlokalizowany jest w centralnej części byłego obszaru górniczego Kopalni Soli „Wieliczka”. Został zglębiony w okresie od 1864 do 1866 r. (rys. 1).

Warunki geologiczne i hydrogeologiczne w bezpośrednim sąsiedztwie szybu zostały zbadane m.in. w oparciu o wyniki wierceń badawczych. Na rysunku pokazano lokalizację sześciu otworów badawczych o numerach: 4, 8, 9, 10, 42/22, 53/22 (rys. 2).

Wszystkie otwory zostały wykonane w utworach czwartorzędowych i pogłębione do utworów neogenu. Miąższość utworów czwartorzędowych w rejonie szybu waha się w gra-



Rys. 1. Szyb Św. Kingi [16]

Fig. 1. St. Kinga shaft [16]



Rys. 2. Rozmieszczenie otworów badawczych przy Szybie Św. Kingi [17]

Fig. 2. Distribution of the boreholes close to St. Kinga shaft [17]

nicach 5.5-6.6 m. W szybie utwory czwartorzędowe dochodzą do głębokości 13,5 m [5, 8, 9, 11, 12]. Warstwy czwartorzędowe tworzą gliny, gliny pylaste, rumosze o konsystencji plastycznej. Utwory neogenu i paleogenu (chodenickie) wykształcone zostały w formie ilów pylastych (ciemnopopielatych

z domieszką gipsu) oraz ilów szarych (o konsystencji twaroplastycznej i plastycznej). W rejonie Szybu św. Kingi brak jest szczegółowego rozpoznania hydrogeologicznego [9]. Właściwości hydrogeologiczne warstw zlokalizowanych w rejonie szybu pozyskano zatem poprzez analogię. Utwory chodenickie mogą zawierać przerosty wodonośne w formie piaskowców drobnoziarnistych. Utwory neogenu tworzone są przez: czapę gipsową (iły margliste ze skupieniami gipsu). Jest to kompleks praktycznie nieprzepuszczalny. Poniżej zlokalizowane są utwory złoża bryłowego, tj. ilowce i zubry solne z bryłami soli zielonej. Warstwy te można uznać za nieprzepuszczalne. Głębiej występują pokłady soli i warstwy utworów ilowcowych i mułowcowych z anhydrytem i gipsem.

W rejonie Szybu św. Kingi rejestrowano dotąd nieznaczne wycieki wody [14]. Obserwowane zagrożenie w rurze szybowej to głównie zawilgocenie lub sączenie się wody po obudowie oraz wycieki kropłowe. Głębokości, na których zaobserwowano zawilgocenie lub sączenie się wody to: 136 m, 185 m, 236 m, 255 m. Obserwacje prowadzone w latach osiemdziesiątych wykazały, że dopływ wody do szybu oscyluje w granicach od 0,2 l/min do 2,0 l/min. Po 2012 roku, kiedy wykonany został nowy kanał wentylacyjny nie rejestruje się już dopływów do szybu z utworów czwartorzędowych. Okresowe zawodnienie szybu na niższych poziomach związane jest z przedostawaniem się do niego wód technologicznych (pełno nasyconych solanek) z podsadzki. Niejednokrotnie były to ilości znaczące, zatem w przedziale od wysokości poziomu V (198 m p.p.t.) można spodziewać się zawilgocenia górotworu (przewarstwień skał płonnych w obrębie pokładów soli kamiennych), a także osłabienia parametrów geomechanicznych skał, wynikłego z intensywnego przepływu wód.

3. Ciągłe deformacje w rurze Szybu Św. Kingi

Wieloletnia eksploatacja prowadzona w rejonie szybu generowała ciągłe deformacje zarówno w rurze szybowej, jak i na powierzchni terenu. Na podstawie wyników obserwacji możliwe jest określenie ciągłych deformacji powierzchni terenu, które wystąpiły w osi szybu. Monitoring geodezyjny

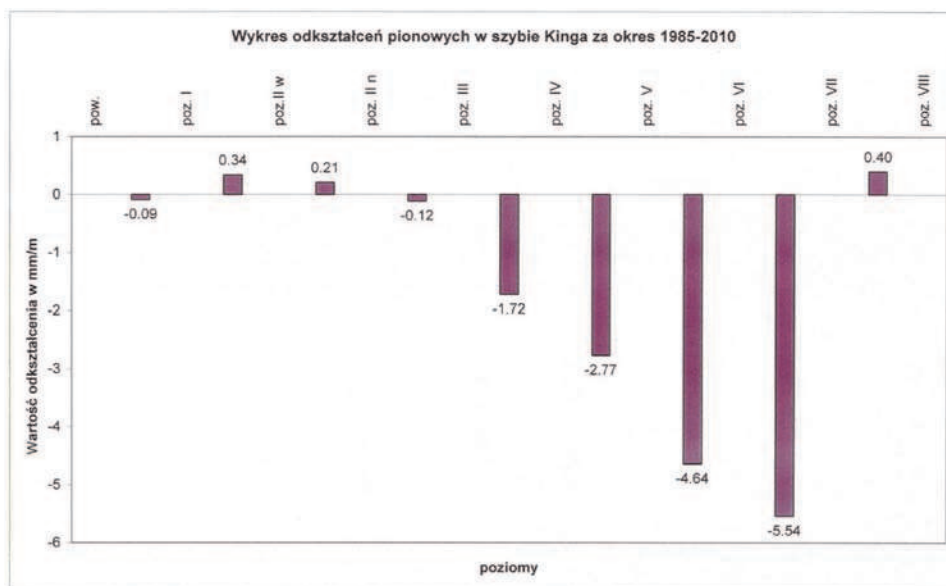
w rurze szybowej prowadzony był dopiero od 1985 roku. Dlatego też, nie są znane wartości deformacji ciągłych, które oddziaływały na rurę szybową przed wprowadzeniem pomiarów geodezyjnych.

3.1. Analiza deformacji mierzonych w rurze szybowej

Pomiary wysokościowe prowadzone na powierzchni terenu za okres 1926-1984 wykazały całkowite obniżenia przekraczające 0,9 m [15]. Świadczyłyby to o średniej prędkości osiadania w granicach 15,5 mm/rok. O współczesnych przemieszczeniach pionowych zrębu szybu świadczą osiadania reperu zastabilizowanego na budynku nadszybia Szybu św. Kingi. W okresie 1985-2010 punkt ten obniżył się o 0,408 m (19,2 mm/rok). Prędkość obniżeń tego punktu nie była stała, w latach 1990-2000 dochodziła do 23 mm/rok. Po roku 2005 nastąpiło spowolnienie obniżeń.

Osiadania punktów w górotworze wzdłuż rury szybowej wykazywały podobne tendencje jak punkt powierzchniowy. Punkt 1-1 zlokalizowany na poziomie I obniżył się od 1985 r. do 2010 r. o 0,48 m (19,2 mm/r), a punkt 2w-1 na poziomie II w o 0,49 m. Punkt 2n-2s na poziomie II n w tym samym okresie obniżył się o 0,504 m (20,2 mm/rok). Interesujące jest zmniejszanie się obniżeń w miarę wzrostu głębokości, co dla obniżeń szybów jest typowe, nie występowało jednak np. w szybie Regis. Punkty obserwowane na poziomach niższych wykazywały znacznie mniejsze prędkości obniżeń i mniejsze wartości maksymalnych osiadań. Przykładowo na poziomie V punkt 5-1 obniżył się w latach 1985-2010 o 0,35 m (14 mm/rok). Generalnie tendencja ruchów pionowych w Szybie św. Kingi wskazuje na hamowanie prędkości osiadań od poziomu IV do VI. Poziomy VII i VIII praktycznie nie wykazują osiadań.

Wyniki pomiarów odkształceń pionowych w rurze szybowej pozwalają stwierdzić, że deformacje w dolnym odcinku szybu są stosunkowo znaczne (rys. 3). Między poziomami V a VII odkształcenia ściskające przekraczają -3 mm/m i dochodzą maksymalnie do -5,54 mm/m. Jest to odzwierciedleniem hamującego ruchu obniżeniowego w tej strefie górotworu. Do poziomu II n występują w szybie niewielkie odkształcenia rozciągające.



Rys. 3. Rozkład pomierzonych odkształceń pionowych wzdłuż rury Szybu św. Kingi w latach 1985-2010 [15]

Fig. 3. Distribution of vertical strains measured along St. Kinga shaft in the years 1985-2010 [15]

3.2. Obliczenia teoretyczne deformacji ciągłych

Prognozowanie przemieszczeń i deformacji w górotworze i na powierzchni wykonano przy wykorzystaniu modelu obliczeniowego bazującego na modelu Knothego. Model ten został wielokrotnie sprawdzony przez autorów w innych złożach soli i uzyskiwane rezultaty były weryfikowane przez pomiary przemieszczeń z zadowalającą dokładnością [1].

Obliczenia dla szybów są o tyle specyficzne, że wymagają zazwyczaj oceny wartości wskaźników deformacji, które oddziaływały na rurę szybową w okresie od uruchomienia wyrobiska, do czasów współczesnych. Obliczenia takie są teoretycznym oglądem sytuacji, estymowanym za pomocą modelu obliczeniowego poprzez uwzględnienie konwergencji wyrobisk istniejących w zasięgu oddziaływania na szyb. Dla rury szybowej kluczowymi wskaźnikami deformacji są odkształcenia pionowe ε_z . Oprócz nich wyznaczono obniżenia, przemieszczenia poziome i odkształcenia poziome.

Obliczenia realizowano przy następujących założeniach:

- geometria wyrobisk komorowych przyjęta została zgodnie z cyfrowymi mapami górnictwymi,
- określono przypuszczalny czas wykonania poszczególnych wyrobisk komorowych,
- uwzględniono zabezpieczenia i stopień podsadzenia wyrobisk, a także rodzaj podsadzki,
- uwzględniono przyszłe zabezpieczenia wyrobisk komorowych, które na obecnym etapie zostały zaplanowane.

3.3. Analiza teoretycznych deformacji w rurze szybowej

Obliczenia teoretyczne zrealizowane dla szybu św. Kingi pozwalają stwierdzić, że historyczne wartości obniżen osiągnęły maksymalnie do $w_{max} = 0,900$ m w rejonie zrębu szybu (rys. 4). Wynik ten jest zbliżony z wynikami pomiarów za lata 1926-1985 i trochę zanizony, jeśli wziąć pod uwagę wyniki pomiarów reperu na budynku nadszymbia z okresu 1985-2010

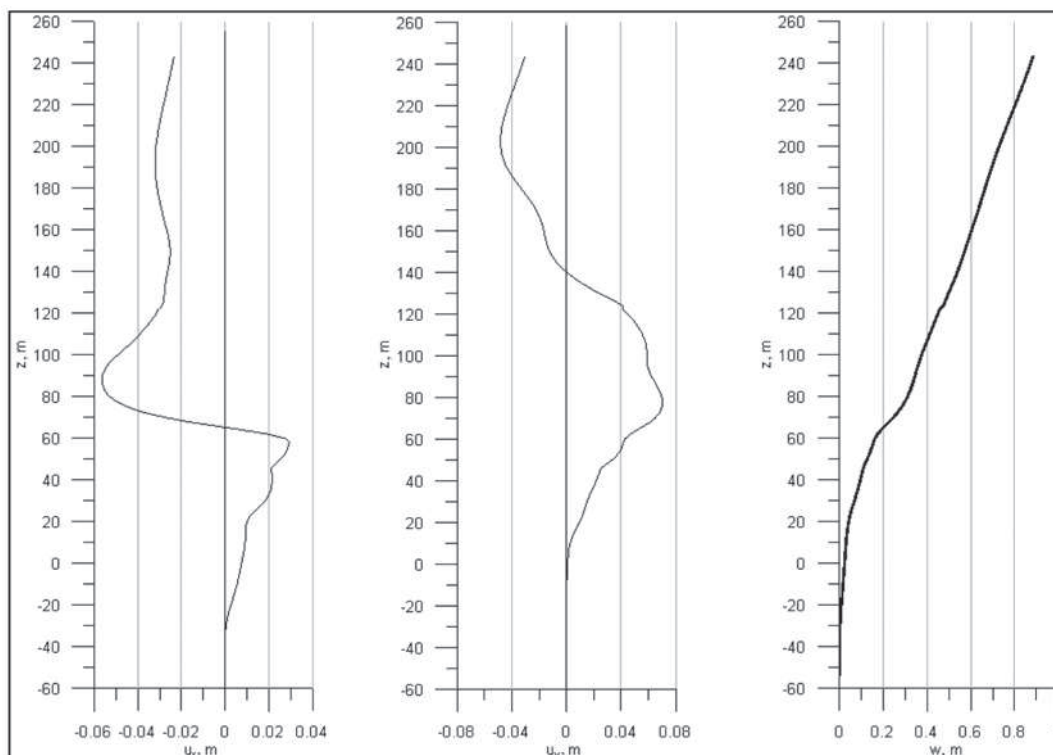
o wartości ok. 0,4 m. Wyniki modelowania w zakresie 1985-2010 dały wartość 0,28 m. Prawdopodobnie wpływ na ten wynik obliczeń miały uwzględnione zabezpieczenia komór wprowadzone do modelu zgodnie ze zaktualizowanymi danymi oraz interpolowane dane z okresu przed 1985 r. Istotne jest natomiast zachowanie tendencji w przemieszczeniach i deformacjach rury szybowej, co pozwoliło na wnioskowanie o ich przyczynach zarówno historycznie, jak i w odniesieniu do prognozy.

Osiadania w szybie zanikają wraz z głębokością od wartości maksymalnych w rejonie zrębu. Przemieszczenia poziome historycznie nie miały znaczenia, osiągały niewielkie wartości maksymalne, które nie przekraczały 0,07 m. Przemieszczenia te mówią jednak wiele o charakterze wychyleń rury szybowej, która w górnej części odchyliła się na południe i zachód, a w dolnej w kierunku północy i wschodu (rys. 4).

Prognoza obniżen i przemieszczeń na kolejne lata pozwala przewidywać zachowanie charakteru ruchu górotworu. Przyrost osiadania osiągnie w okresie 25 lat po 2013 r. wartość maksymalną ok. 0,3 m, a w ciągu 50 lat 0,47 m (rys. 5).

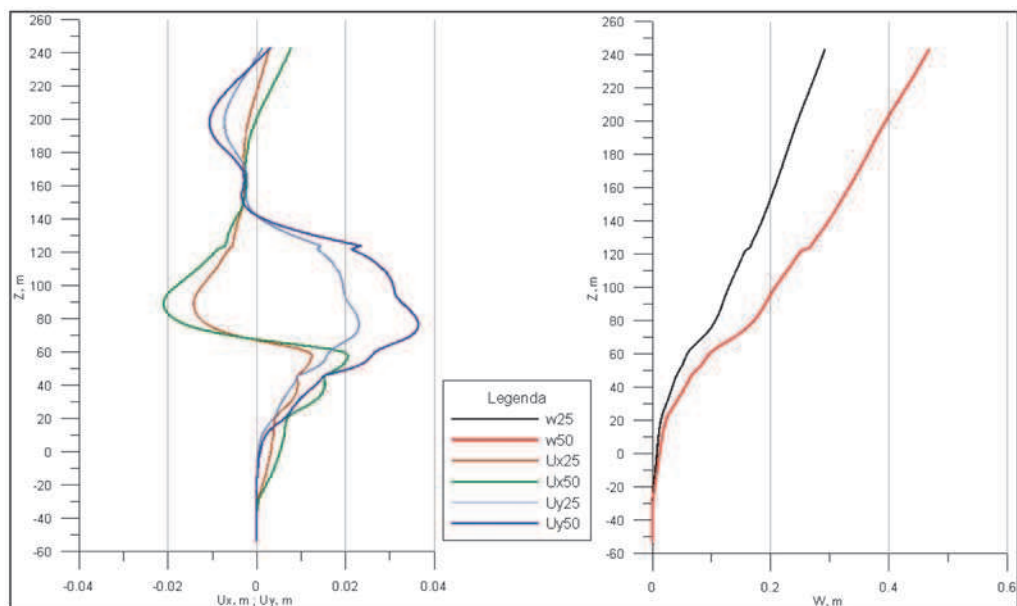
Wartości prognozowanych przemieszczeń poziomych wzdłuż rury Szybu św. Kingi nie przekroczą 0,04 m, ich charakter ulegnie jednak pewnej zmianie w stosunku do przemieszczeń historycznych. Zaznaczy się mianowicie wyraźna redukcja przemieszczeń w górnym odcinku rury szybowej, powyżej rzędnej +140m n.p.m. (powyżej poziomu III). Ich wartości nie przekroczą tam 0,01 m w perspektywie 50 lat. Największe wartości przemieszczeń mogą wystąpić w rejonie pomiędzy poziomami III a V (rys. 5).

Analiza deformacji historycznych, jakie występowały w Szybie św. Kingi pozwala stwierdzić po pierwsze znaczną zgodność wyników modelowania z wynikami obserwacji. Polega ona na tym, że w zakresie odkształceń pionowych występują ściskania w całym profilu rury szybowej (rys. 6), co jest zgodne z profilem pomiarowym (rys. 3) wykazującym tylko miejscami zaniedbywalnie małe rozciągania.



Rys. 4. Historyczne przemieszczenia wzdłuż rury szybowej Szybu św. Kingi do 2013 r. [13]

Fig. 4. Historical displacements along St. Kinga shaft up to 2013 [13]

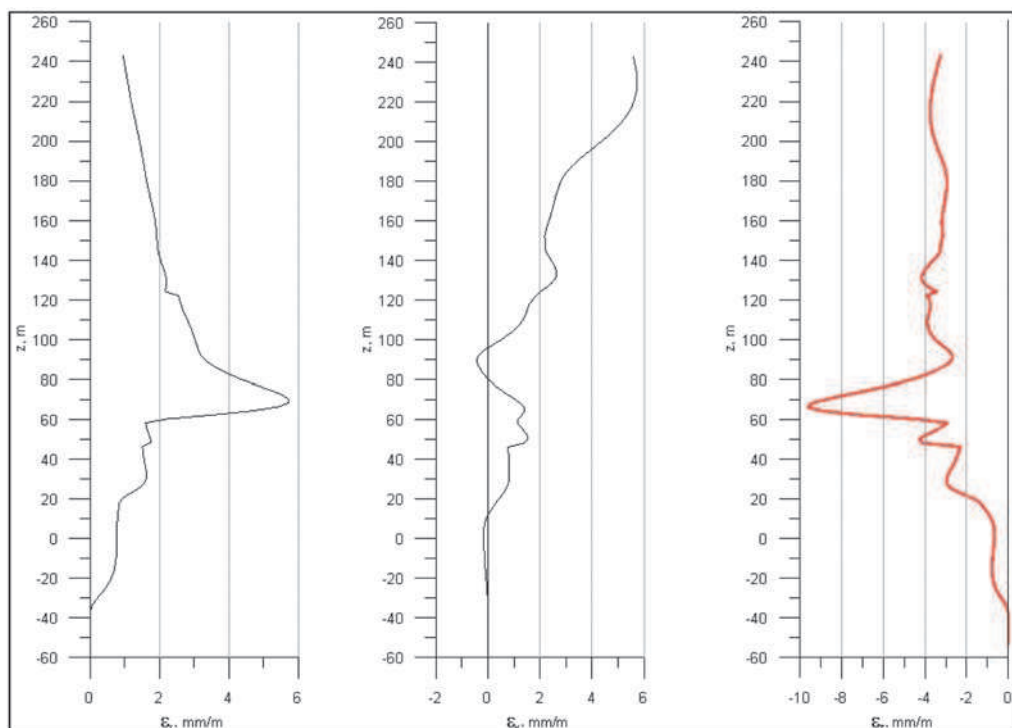


Rys. 5. Prognozowany przyrost obniżen i przemieszczeń poziomych w Szybie św. Kingi, w okresie 25 i 50 lat [13]

Fig. 5. Predicted subsidence and horizontal displacements in St. Kinga shaft, a period of 25 and 50 years [13]

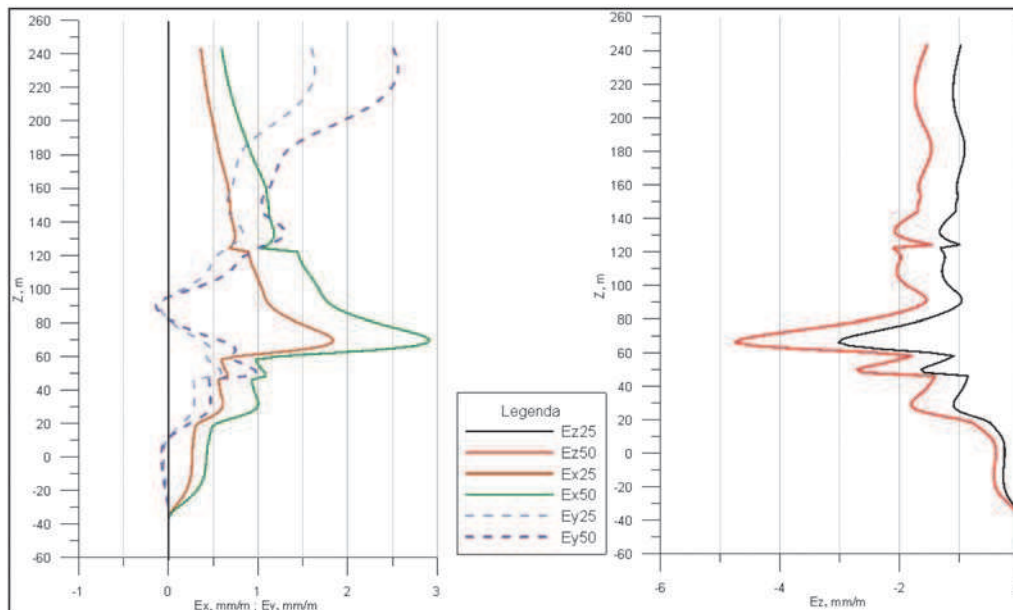
Maksymalne wartości odkształceń pionowych występowały w rejonie rzędnych +60 m n.p.m. +70 m n.p.m. (między poziom Kołobrzeg (KŁ) i poziom IV), gdzie dochodziły do $\epsilon_{z \max}^{(-)} = -9,8$ mm/m. W tym samym rejonie występowały maksymalne odkształcenia poziome w kierunku wschód-zachód o wartościach $\epsilon_{x \max}^{(+)} = +7,9$ mm/m. Biorąc pod uwagę te fakty, należałoby zalecać bardziej wnikliwą analizę stanu obudowy szybu we wskazanym rejonie.

Prognozowane wartości odkształceń pionowych w Szybie św. Kingi przedstawione zostały na rysunku (rys. 7). Tendencja w rozwoju odkształceń pionowych zostanie utrzymana w kolejnych latach. W okresie 25 lat należy się spodziewać przyrostu odkształceń pionowych o wartość ok. $\epsilon_{z \max}^{(-)} = -3,0$ mm/m w rejonie poziomów KŁ i IV. W ciągu 50 lat wartość ta zwiększy się do $\epsilon_{z \max}^{(-)} = -4,8$ mm/m. Przyrost odkształcenia poziomego w tym samym okresie nie przekroczy 3 mm/m, odkształcenia będą zatem niewielkie w sensie zagrożenia obudowy szybowej.



Rys. 6. Historyczne odkształcenia wzdłuż rury szybowej Szybu św. Kingi do 2013 r. [13]

Fig. 6. Historical strains along St. Kinga shaft up to 2013 [13]



Rys. 7. Prognoza odkształceń wzdłuż rury szybowej w Szybie św. Kingi [13]

Fig. 7. Strains prognosis along St. Kinga shaft [13]

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono analizę wpływu wyrobisk komorowych zlokalizowanych w rejonie Szybu św. Kingi Kopalni Soli „Wieliczka” S.A. na rurę szybową. Wykazano możliwość zastosowania modelowania matematycznego deformacji ciągłych jako narzędzia wspomagającego pomiary geodezyjne celem określenia oddziaływań i zagrożeń historycznych. Wpływ eksploatacji na rurę szybową w okresie od wybudowania szybu do chwili obecnej charakteryzują następujące wartości maksymalnych wskaźników deformacji, wyznaczone na drodze obliczeń teoretycznych:

- $w_{max} = 0,90$ m;
- $u_x = 0,058$ m w kierunku zachodnim;
- $u_y = 0,07$ m w kierunku północy;
- $\varepsilon_{z_{max}}^{(-)} = -9,80$ mm/m w rejonie rzędnych +60 m do +70 m n.p.m (między poziomami KŁ i IV);
- $\varepsilon_{x_{max}}^{(+)} = +7,90$ mm/m w rejonie rzędnych +60 m do +70 m n.p.m (między poziomami KŁ i IV);
- $\varepsilon_{y_{max}}^{(+)} = +5,80$ mm/m w rejonie zrębu szybu.

Generalnie cała rura szybowa poddawana była odkształceniom pionowym ściskającym, co należy uznać za czynnik pozytywny, wpływający zazwyczaj na uszczelnienie obudowy i minimalizację wycieków. Cały górny odcinek rury szybowej podlegał dosyć równomiernym naprężeniom ściskającym. Ekstremalne wartości naprężeń ściskających w pionie, które wystąpiły w rejonie poziomów KŁ i IV były sprzężone z rozciągającymi naprężeniami poziomymi działającymi w kierunku wschód-zachód. Celowe byłoby skonfrontowanie przedstawianych spostrzeżeń z bieżącą inwentaryzacją stanu obudowy szybowej w tej strefie. Obliczone poziome odkształcenia ściskające w kierunku wschód-zachód są prawdopodobną przyczyną ujawniających się od międzypoziomu Kołobrzeg-IV nieznacznych spękań obudowy rury szybowej.

Prognozowane deformacje w osi rury szybowej będą osiągały następujące wartości przyrostów wskaźników deformacji po roku 2013:

- $w_{max}^{25} \leq 0,30$ m; $w_{max}^{50} \leq 0,47$ m;
- $u_x^{25} \leq 0,012$ m w kierunku wschodnim; $u_y^{25} \leq 0,023$ w kierunku północy;

- $u_x^{50} \leq 0,027$ m w kierunku wschodnim; $u_y^{50} \leq 0,037$ w kierunku północy.

Należy podkreślić, że przemieszczenia poziome będą wykazywały istotne, ale niewielkie przyrosty jedynie w rejonie rzędnych +40 do +130 m n.p.m., czyli między poziomami III a V.

- w ciągu 25 lat przyrost $\varepsilon_{z_{max}}^{(-)} = -3,00$ mm/m w rejonie rzędnych +60 m do +70 m n.p.m (między poziomami KŁ i IV);
- w ciągu 50 lat przyrost $\varepsilon_{z_{max}}^{(-)} = -4,80$ mm/m w rejonie rzędnych +60 m do +70 m n.p.m (między poziomami KŁ i IV);
- w ciągu 25 lat przyrost $\varepsilon_{x_{max}}^{(+)} = +1,60$ mm/m w rejonie rzędnych +60 m do +70 m n.p.m (między poziomami KŁ i IV);
- w ciągu 50 lat przyrost $\varepsilon_{x_{max}}^{(+)} = +2,90$ mm/m w rejonie rzędnych +60 m do +70 m n.p.m (między poziomami KŁ i IV);
- w ciągu 25 lat przyrost $\varepsilon_{y_{max}}^{(+)} = +1,65$ mm/m w rejonie zrębu szybu;
- w ciągu 50 lat przyrost $\varepsilon_{y_{max}}^{(+)} = +2,55$ mm/m w rejonie zrębu szybu.

Można zauważyć, że w szybie występować będą w przyszłości jedynie pionowe odkształcenia ściskające o stosunkowo niewielkich wartościach. Równocześnie należy zwrócić uwagę na rejon poziomów KŁ i IV, gdzie nastąpi kumulacja ekstremalnych naprężeń ściskających – pionowych oraz oddziaływań naprężeń rozciągających w kierunku wschód-zachód. Górna część rury szybowej będzie podlegała rozciąganiu poziomym w kierunku północ-południe o wartościach mieszczących się w granicach II kategorii.

Niniejsze badania zostały sfinansowane ze środków na Badania Statutowe Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie nr 11.11.150.195.

Literatura

1. *Hejmanowski R., Bieniasz J., Kwinta A.*: Prognoza deformacji powierzchni terenu w rejonie otworowej eksploatacji złoża soli kamiennej w polu Łęzkowice. Materiały z V spotkania Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego. Bochnia, 2-4.09.1998 r.
2. *Hejmanowski R., Kwinta A.*: System prognozowania deformacji „MODEZ”. AGH, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, 2009 s. 113–124.
3. *Hejmanowski R.*: Prognozowanie deformacji górotworu i powierzchni terenu na bazie uogólnionej teorii Knothe dla złóż surowców stałych, ciekłych i gazowych. Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Kraków 2001.
4. *Knothe St.*: Równanie profile ostatecznie wykształconej niecki osiadania. Archiwum Górnictwa. T.1., z.1. PWN. Warszawa 1953.
5. *Kortas G., Wilk Z.*: Variations in the Yield of Water Effluents in a Salt Mine as Basis for the Prediction of their Behavior. Archiwum Górnictwa T. 29, z. 1, Warszawa – Kraków 1984.
6. *Schober F., Sroka A.*: Die Berechnung von Bodenbewegungen über Kavernen unter Berücksichtigung des zeitlichen Konvergenz und Gebirgsverhaltens. Kali und Steinsalz Bd.8, Heft 10. 1983.
7. *Sroka A., Hejmanowski R.*: Nietypowe zastosowania teorii Knothe do obliczania deformacji powierzchni. III Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych. Konferencja nauk.-techn. SITG. Ustroń-Zawodzie, 24-26.09.1995 r.
8. *d'Obyrn K., Hydzik-Wiśniewska J.*: Wpływ zmienności warunków geologiczno-górnictwowych na stan techniczny wyrobisk na przykładzie zespołu komór Ksawer w Kopalni Soli „Wieliczka”. „Przeгляд Górnictwa” 2011, nr 12.
9. *Przybyło J.*: Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne górotworu w najbliższym otoczeniu szybu Wilson w Kopalni Soli Wieliczka – poziomy I – III Arch. KS „Wieliczka” w Wieliczce, 1998.
10. *Vakiner A.A., Antrett P., Strozyk F., Back S., Kukla P., Stollhofen H.*: Salt kinematics and regional tectonics across a Permian gas field: a case study from East Frisia, NW Germany. International Earth Science. Springer. 2013.
11. O.B.R.G. Sur. Chem.: Dokumentacja technicznych badań podłoża gruntowego w rejonie szybu Daniłowicz, Kraków 1981.
12. Praca zbiorowa: Opisowa inwentaryzacja i wstępna dokumentacja geologiczno-histeryczna wyrobisk zabytkowych I poziomu kopalni soli w Wieliczce, Arch. Działu Geologicznego Kopalni Soli Wieliczka, 1987.
13. Praca zbiorowa (pod kierownictwem R. Hejmanowskiego): Analiza stanu deformacji górotworu w rejonie szybów Paderewski, Regis, Kinga, Daniłowicz oraz Wilson. Etap II, Szyby REGIS, KINGA, DANIŁOWICZ, WILSON, praca niepublikowana, 2013.
14. Rejestr wycieków kopalnianych 1969 – 2010. Arch. Działu Geologicznego Kopalni Soli Wieliczka.
15. Wyniki obserwacji geodezyjnych w rejonie Szybu Św. Kingi. Arch. Działu Miernictwa Kopalni Soli Wieliczka, 2013.

Źródła internetowe:

16. <http://www.kopalnia.pl/blog/wycieczka-na-dzis/szyb-sw-kingi-wczoraj-i-dzis> (01.04.2014)
17. [https://maps.google.pl/\(01.04.2014\)](https://maps.google.pl/(01.04.2014))