

REKTYFIKACJA KONSTRUKCJI GÓRNICZYCH WIEŻ SZYBOWYCH

PIOTR DYBEL, e-mail: dybel@agh.edu.pl

DANIE WAŁACH L

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Streszczenie: Stan techniczny i bezpieczeństwo wież szybowych zależy głównie od zachowania określonych odchylek geometrycznych ich konstrukcji. Wieże szybowe narażone są na występowanie lokalnych deformacji podłoża w wyniku bliskiego sąsiedztwa szybu, działalności górniczej a także dynamicznych obciążeń od pracy urządzeń wyciągowych. W referacie przedstawiono wyniki pomiarów geometrii dwóch wież szybowych, która wymagała przeprowadzenia rektyfikacji oraz opisano przyczyny wychYLENIA od pionu analizowanych wież szybowych. Przeprowadzono ocenę wpływu odchylenia trzonów prowadniczych od pionu na stateczność i nośność ich konstrukcji. Przedstawiono również sposób prowadzenia prac rektyfikacyjnych konstrukcji górniczych wież szybowych.

Słowa kluczowe: rektyfikacja, wieże szybowe, awaria konstrukcji

1. Wprowadzenie

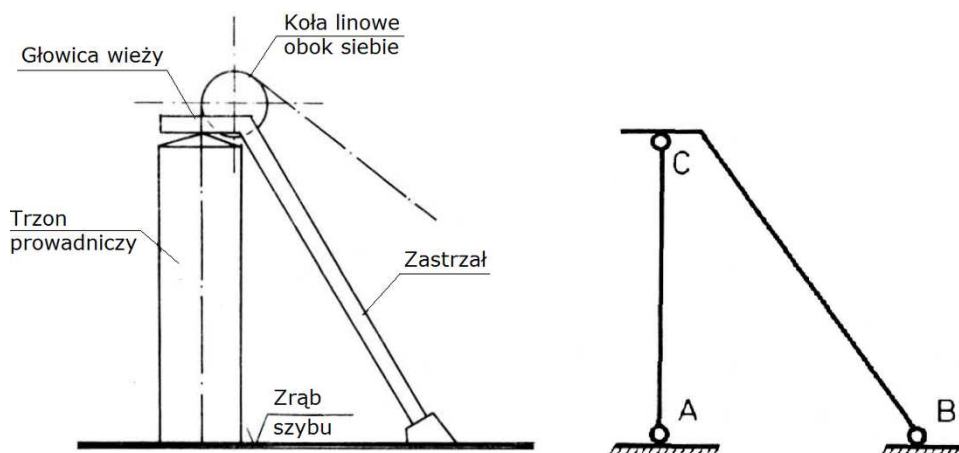
Stan techniczny górniczych wież szybowych w dużym stopniu warunkuje bezpieczne i ekonomiczne prowadzenie działalności wydobywczej kopalni. Wieża szybowa jest podstawowym obiektem umożliwiającym ruch naczyń wyciągowych transportujących urobek, materiały i ludzi między podziemiem i powierzchnią kopalni. W związku z tym konstrukcjom wież szybowych stawia się szczególnie wysokie wymagania, zwłaszcza w zakresie ich nośności i stateczności, które wraz z upływem czasu mogą ulegać zmianom. Wieże szybowe są poddane stałej obserwacji zmian ich geometrii, a zwłaszcza określenia wychYLENIA ich trzonów prowadniczych od pionu. Zmiana geometrii trzonu wpływa na prostoliniowość i pionowość przebiegu ciągów prowadniczych urządzeń wyciągowych. Odchylenie osi trzonu prowadniczego wieży od pionu większe niż $1/500$ wysokości wieży, tj. odległości osi górnego koła linowego od belek podtrzonowych, zalicza się do wad zagrażających bezpieczeństwu konstrukcji. WychYLENIE trzonu prowadniczego wieży szybowej od pionu występuje najczęściej na skutek eksploatacji urządzeń wyciągowych oraz zmiany warunków gruntowych w podłożu. Prowadzone pomiary odchylenia osi trzonów wież od pionowości wykazują bardzo często zbliżone do normowych wartości odchYLEK dopuszczalnych. W referacie na przykładzie dwóch wież szybowych przedstawiono wyniki z pomiarów ich geometrii, która wymagała przeprowadzenia rektyfikacji ich trzonów prowadniczych. W pracy opisano przyczyny wychYLENIA analizowanych trzonów wież szybowych. Przeprowadzono ocenę odchylenia trzonów prowadniczych od pionu na stateczność i nośność konstrukcji wież szybowych. Przedstawiono sposób prowadzenia prac związanych z rektyfikacją analizowanych obiektów. Podane uwagi i wnioski mogą być przydatne przy wykonywaniu rektyfikacji podobnych konstrukcji.

2. Charakterystyka analizowanych konstrukcji

Wieża szybowa to budowla usytuowana nad pionowym szybem kopalnianym o konstrukcji szkieletowej lub monolitycznej, na której umieszczone są urządzenia do transportu urobku,

materiałów oraz ludzi między podziemiem i powierzchnią kopalni. Konstrukcja wieży szybowej dla maszyn wyciągowych zrębowych może być wykonana jako wieża jednozastrzałowa, dwuzastrzałowa, kozłowa lub bezzastrzałowa [1]. W niniejszym referacie analizowane konstrukcje wież szybowych były zrealizowane jako jednozastrzałowe konstrukcje stalowe. W skład wieży jednozastrzałowej wchodzi następujące elementy konstrukcyjne (rys. 1):

- belki podtrzonowe – konstrukcja wsporcza przenosząca obciążenia z trzonu prowadniczego wieży i jego wyposażenia na głowicę szybu lub na niezależne fundamenty zlokalizowane obok szybu,
- trzon prowadniczy – konstrukcja umożliwiająca umocowanie przewodników, belek odbojowych, pochwytywów, wrót szybowych oraz uszczelnienia szybu w szybach wydechowych,
- głowica wieży – konstrukcja przeznaczona do zamocowania kół linowych oraz przynależnych urządzeń,
- zastrzał – konstrukcja przenosząca z głowicy wieży na fundament wypadkową siłę pochodzącą z naciągu lin.



Rys. 1. Konstrukcja wieży jednozastrzałowej w układzie koła obok siebie

Stateczność układu na działanie obciążeń prostopadłych do układu przedstawionego na rysunku 1 zapewnia kratownica zastrzału o sztywności wielokrotnie większej od sztywności trzonu prowadniczego. W rozwiązaniu konstrukcyjnym wieży należy uwzględnić możliwość likwidacji skutków nadmiernego nierównomiernego osiadania wieży z tytułu eksploatacji górniczej lub innych wpływów, tj. należy przewidzieć możliwość rektyfikacji.

Wieże jednozastrzałowe są traktowane jako ustrój trójpřzegubowy, statycznie wyznaczalny. Ze względów konstrukcyjnych dopuszcza się w tym schemacie następujące odstępstwa w konstrukcji węzłów, polegające na odejściu od schematu idealnego przegubu [2] (rys. 1):

- węzeł A, tj. podparcie trzonu prowadniczego z reguły wykształca się jako czteropunktowe lub sześciopunktowe, ponieważ wykształcenie tego podparcia w formie przegubu jest na ogół niemożliwe lub bardzo kłopotliwe,
- węzeł B, tj. podparcie zastrzału może być wykonane jako płaskie, bez wykształcenia przegubu, dla urządzeń wyciągowych o sile zrywającej do 2000 kN; dla urządzeń o sile zrywającej powyżej 2000 kN musi być wykształcony przegub,
- węzeł C należy wykształcić jako przegub.

2.1 Wieża szybowa nr 1

Wieża szybowa nr 1 została wykonana w latach siedemdziesiątych poprzedniego stulecia. Zrealizowano ją jako jednozastrzałową konstrukcję stalową w układzie koła obok siebie. Zastrzał opiera się przegubowo na trzonie oraz na fundamentach stopowych posadowionych na głębokości -2,5 m p.p.t o wymiarach w poziomie posadowienia 3,5×5,5 m. Trzon przewodniczy oparty jest bezpośrednio przez belki podtrzonowe na głowicy szybu. W analizowanym obiekcie oparcie przegubowe trzonu zrealizowano jako czteropunktowe. Wieża szybowa zainstalowana jest nad szybem wentylacyjno-materiałowym. Poniżej przedstawiono charakterystyczne dane analizowanej wieży szybowej:

- całkowita wysokość wieży: + 28,60 m,
- poziom osi kół linowych: + 23,00 m,
- odległość osi fundamentów zastrzałów do osi wieży: 12,82 m,
- rozstaw osiowy fundamentów zastrzałów: 10,04 m,
- koła linowe: $\phi 4000$ mm,
- lina nośna: $\phi 42$ mm,
- trzon przewodniczy: jednoprzedziałowy,
- naczynia: klatki dwupiętrowe.

W rejonie analizowanej wieży szybowej do głębokości 2,5 m od poziomu terenu występują grunty nasypowe składające się z żużla, cegły, kamienia, gliny i piasku. Poniżej znajduje się warstwa plastycznych glin piaszczystych i glin pylastych o miąższości od 1,7 do 3,7 m. Głębiej zalegają nieskonsolidowane grunty mało i średnio spoiste w postaci pyłów i glin pylastych w stanie plastycznym i miękkoplastycznym. Fundamenty zastrzału posadowiono w warstwie pyłów piaszczystych i glin pylastych, która teoretycznie była najbardziej wytrzymała z zalegających warstw gruntowych. Decyzja ta wynikała również z obawy przed wpływem agresywnej wody gruntowej względem betonu, której zwierciadło o charakterze naporowym stabilizuje się na głębokości 4,5 m p.p.t.

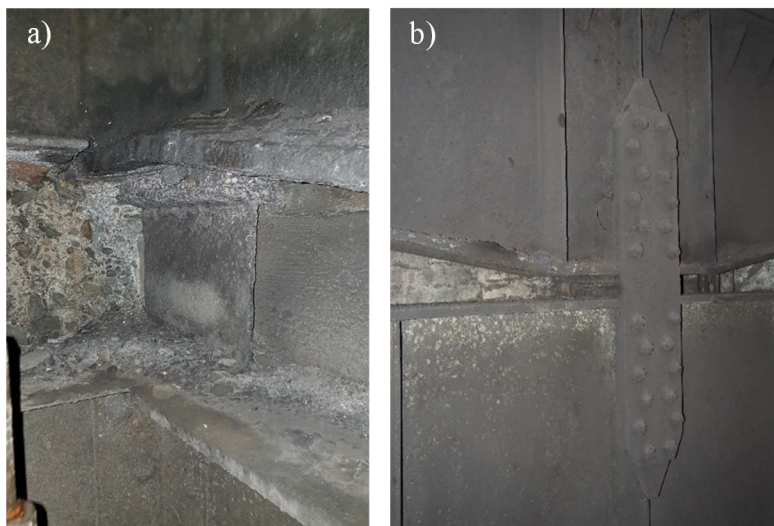
Podczas eksploatacji wieży szybowej pojawiły się znaczne osiadania fundamentów zastrzału wieży, zagrażające bezpiecznej pracy obiektu. Na podstawie analiz warunków gruntowych wykazano, że przyczyną jest występowanie bezpośrednio pod fundamentami gruntów o znacznie niższej nośności, niż przyjęto podczas projektowania konstrukcji. Mając na uwadze warunki geotechniczne oraz specyficzne warunki terenowe, podjęto próbę wzmocnienia posadowienia fundamentów zastrzału wieży szybowej kolumnami formowanymi w technologii iniekcji strumieniowej „jet grouting”. Pod każdą stopą fundamentową wykonano sześć kolumn o średnicy 0,4 m i długości 15,0 m, zbrojonych rurami stalowymi 60,3×6,3 mm. Pomimo wykonania wzmocnienia posadowienia fundamentów po okresie około 2 lat stabilizacji, odnotowano ponowne osiadanie fundamentów zastrzału powodujące dalsze odchylenie wieży szybowej od pionu.

2.2 Wieża szybowa nr 2

Wieża szybowa nr 2 została wybudowana w latach pięćdziesiątych poprzedniego stulecia jako jednozastrzałowa konstrukcja stalowa w układzie koła obok siebie. Zastrzał opiera się przegubowo na trzonie oraz na fundamentach stopowych. Trzon przewodniczy oparty jest przez belki podtrzonowe na konstrukcji wsporczej stalowej zakotwionej w głowicy szybu. Wieża szybowa zainstalowana jest nad szybem wentylacyjno-materiałowym. Poniżej przedstawiono charakterystyczne dane analizowanej wieży szybowej:

- całkowita wysokość wieży: + 47,50 m,
- poziom osi kół linowych: + 40,50 m,

- odległość osi fundamentów zastrzałów do osi wieży: 22,72 m,
- rozstaw osiowy fundamentów zastrzałów: 18,00 m,
- koła linowe: $\phi 6500$ mm,
- lina nośna: $\phi 60$ mm,
- trzon prowadniczy: dwuprzędziowy,
- naczynia: klatki dwupiętrowe.



Rys. 2. Rozwiązanie konstrukcyjne podparcia trzonu prowadniczego: a) lokalne odkształcenie belki podtrzonowej w miejscu zastosowania dodatkowego elementu stabilizującego, b) widok zrealizowanego połączenia przegubowego

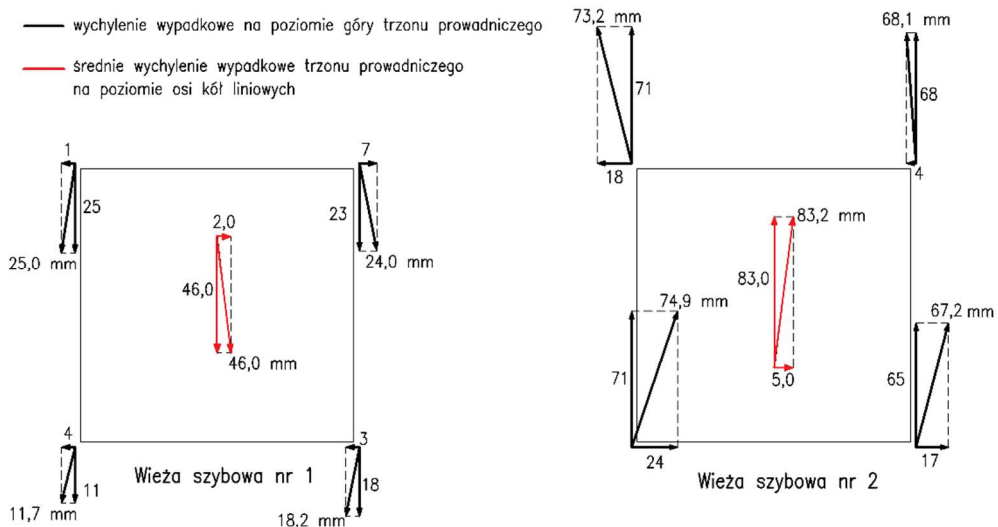
Według dokumentacji projektowej oparcie trzonu prowadniczego na głowicy szybu zaprojektowano jako przegubowe. Belki podtrzonowe opierają się w środku rozpiętości na belkach głowicy szybu za pomocą łożyska stycznego nieprzesuwnego. Przeprowadzona wizja lokalna ujawniła występowanie dodatkowych elementów konstrukcyjnych podpierających naroża belek podtrzonowych. W opisywanych miejscach między belkami podtrzonowymi a belkami głowicy szybu wstawiano krótkie odcinki belek dwuteowych. Wprowadzone elementy pełniły funkcje dodatkowej stabilizacji trzonu. Wychylenia trzonu prowadniczego spowodowało lokalne odkształcenie środków i półek dolnych belek podtrzonowych. Rozwiązanie konstrukcyjne podparcia trzonu prowadniczego przedstawiono na rysunku 2.

3. Pomiary geodezyjne

Zarządcy analizowanych obiektów prowadzą systematyczne pomiary geodezyjne osiadania obiektów przyszybowych oraz wychylenia wież szybowych od pionu. Prowadzone pomiary geodezyjne dają niezbędne informacje dla oceny bezpieczeństwa funkcjonowania wieży szybowej oraz stanowią podstawę do wszczęcia prac związanych z jej rektyfikacją. Na rysunku 3 przedstawiono szkice wychylenia trzonu prowadniczego w analizowanych wieżach szybowych.

Zgodnie z § 469 ust. 1 Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz.U. 2002 nr 139,

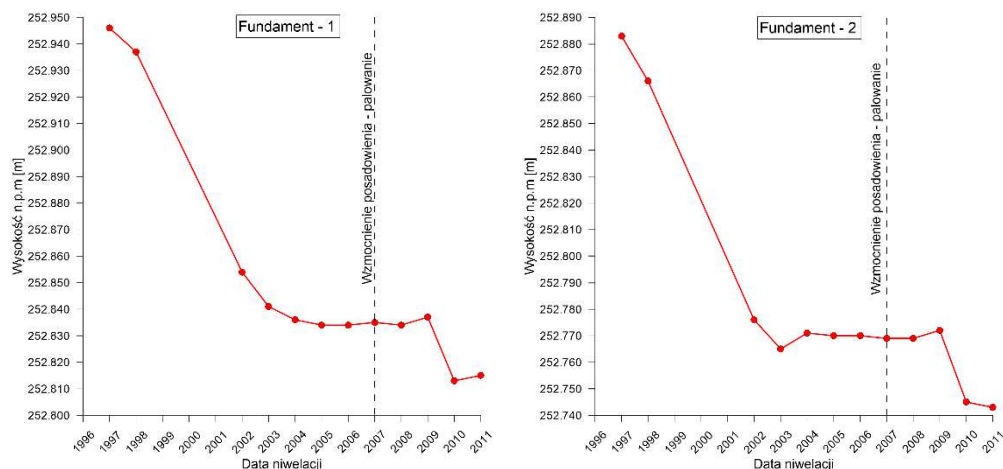
poz. 1169) [3] wychylenie wieży szybowej od pionu podczas jej eksploatacji nie może być większe niż $1/500$ wysokości wieży, zmierzonej od osi górnego koła linowego lub osi koła albo bębna pędnego maszyny wyciągowej na wieży szybowej do belek podtrzonowych wieży szybowej.



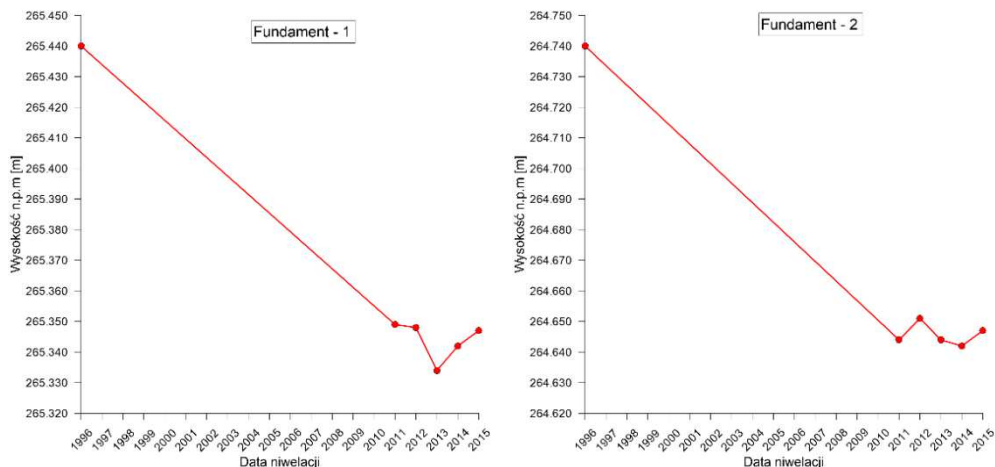
Rys. 3. Szkic wychyleń trzonów prowadniczych

Odnotowane w analizowanych obiektach średnie wychylenie wypadkowe trzonu prowadniczego na poziomie osi kół linowych jest zbliżone do wartości granicznej jaką dopuszcza Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28.06.2002 r. [3]. Dla obiektu wieży szybowej nr 1 stosunek wychyleń aktualnego do granicznego wynosił 0,99. W przypadku wieży szybowej nr 2 – 0,96.

Z analizy pomiarów geodezyjnych (rys. 4 i 5) wynika, że w obydwóch obiektach powstałe wychylenie trzonów prowadniczych spowodowane zostało poprzez osiadanie fundamentów zastrzału. W przypadku wieży szybowej nr 2 brakuje ciągłości wykonywanych pomiarów, co utrudnia ocenę przebiegu procesu osiadania fundamentów w czasie. Wyniki pomiarów geodezyjnych prowadzonych w obecnym czasie wskazują, że czynniki wywołujące osiadanie fundamentów zastrzałów ustabilizowały się. Niemniej jednak, ze względu na bliskie sąsiedztwo szybu oraz w przypadku obiektu nr 1 złożone warunki geotechniczne nie można wykluczyć, że proces osiadania nie wystąpi ponownie.



Rys. 4. Niwelacja fundamentów zastrzału wieży szybowej nr 1



Rys. 5. Niwelacja fundamentów zastrzału wieży szybowej nr 2

4. Obliczenia sprawdzające nośność wybranych elementów konstrukcyjnych

Przeprowadzone obliczenia kontrolne miały na celu sprawdzenie w jakim stanie wyteżenia znajdują się wybrane elementy konstrukcyjne wież szybowych po zaistniałym przemieszczeniu się fundamentów zastrzału. Zestawienie obciążeń działających na analizowane obiekty opracowano na podstawie archiwalnych projektów technicznych.

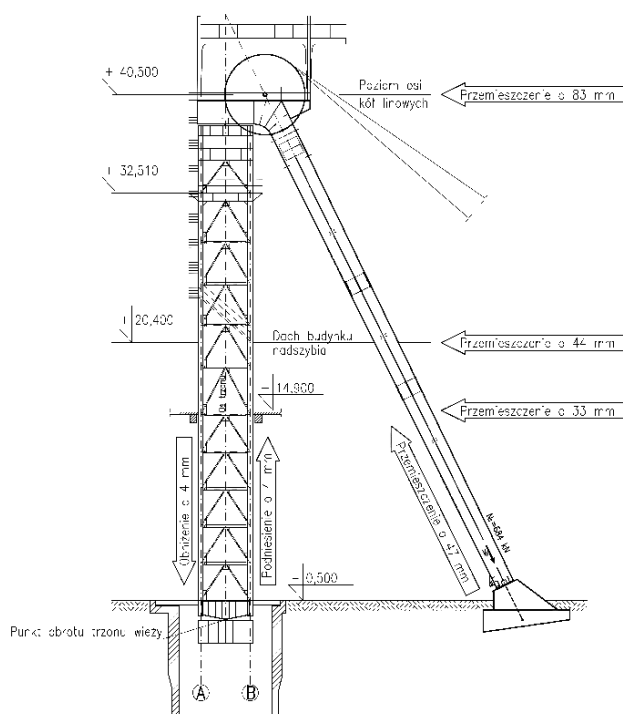
Obliczenia statyczne przeprowadzono za pomocą programu Autodesk Robot Structural Analysis 2013. W modelu obliczeniowym uwzględniono osiadanie fundamentów zastrzałów. W wyniku nierównomiernego osiadania podpór następuje inna redystrybucja sił i odkształceń w głównych elementach konstrukcyjnych wież szybowych.

Obliczenia sprawdzające nośność elementów konstrukcyjnych wykazały, że stan naprężenia z tytułu odchylenia wieży od pionu, jako dodatkowy stan naprężenia w stosunku do naprężeń wywołanych obciążeniami uwzględnionymi w projekcie technicznym, nie powoduje bezpośredniego zagrożenia dla konstrukcji wież szybowych. Powstały dodatkowy stan

naprężenia zwiększa wyężenie narożników trzonów prowadniczych, natomiast nie podwyższa naprężeń w zastrzałach.

5. Rektyfikacja trzonów wież szybowych

Rektyfikację, czyli sprowadzenie trzonów przewodniczych wież szybowych do pionu, przeprowadzono poprzez podniesieniu słupów zastrzału w miejscach ich podparcia na fundamentach stopowych. Rektyfikacja sprowadzała się do wykonania obrotu wieży szybowej w płaszczyźnie pionowej dookoła osi prostopadłej do kierunku wychylenia wypadkowego. Jako punkt obrotu przyjęto podparcie trzonu przewodniczego na głowicy szybu. Podniesienie zastrzału wieży dokonano za pomocą podnośników hydraulicznych sterowanych siłą. Podobny sposób rektyfikacji przedstawiono w pracach [4, 5]. Przykładowy schemat obrotu wieży szybowej nr 2 przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Schemat obrotu wieży szybowej nr 2

Przed przystąpieniem do prac związanych z prostowaniem, wieże szybowe oraz budynki nadszymbia wymagały szeregu zabiegów przygotowawczych. Ze względu na konieczność wykonania obrotu konstrukcji wieży szybowej należało zapewnić możliwość jej swobodnego przemieszczenia. Wykonane liczne modernizacje budynku nadszymbia wieży szybowej nr 2 nie uwzględniły konieczności pozostawienia wolnej przestrzeni między konstrukcją wieży a nowymi elementami konstrukcyjnymi budynku. Na rysunku 7 przedstawiono przykłady wybranych kolizji skratowania zastrzału z elementami konstrukcyjnymi budynku nadszymbia oraz brak odpowiedniej przestrzeni do wykonania bezkolizyjnej rektyfikacji. Na rysunku 7 można również zaobserwować niepoprawne rozwiązanie uciąglenia pasa ściskanego kratownicy w miejscu kolizji ze skratowaniem zastrzału.



Rys. 7. Przykłady wybranych kolizji skratowania zastrzału z elementami konstrukcyjnymi budynku nadszybia

W rozwiązaniach konstrukcyjnych analizowanych wież szybowych nie uwzględniono możliwości likwidacji skutków ich nadmiernego nierównomiernego osiadania. Na górnej powierzchni fundamentów zastrzałów nie wykonano odpowiednich miejsc do ustawienia podnośników do rektyfikacji wież. Konieczne więc było sprawdzenie możliwości oparcia podnośników hydraulicznych na istniejących fundamentach zastrzałów. Miejsce oparcia zweryfikowano ze względu na nośność betonu niezbrojonego na docisk miejscowy. W przypadku wieży szybowej nr 1 miejsce podparcia podnośnika zlokalizowano na bocznej części fundamentu. Na zwieńczeniu fundamentu wykonano konstrukcje stalową zwiększając powierzchnię docisku oraz dodatkowo krępującą górną część bloku betonowego. W wieży szybowej nr 2 konstrukcję pomocniczą zabudowano od przodu słupa zastrzału. W tym przypadku nośność na miejscowy docisk betonu została spełniona bez konieczności stosowania dodatkowych zabiegów. Widok wykonanych konstrukcji pomocniczych przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Widok konstrukcji pomocniczych do prowadzenia rektyfikacji wież szybowych: a) wieża szybowa nr 1, b) wieża szybowa nr 2

Podczas prowadzonych prac rektyfikacji wież szybowych sterowanie wielkością skoku podnoszenia odbywało się indywidualnie w każdym podnośniku przez wymuszanie siły. W czasie podnoszenia pod stopami słupów zastrzału sukcesywnie zabudowywano podkładowe rektyfikacyjne z blach stalowych od najgrubszych do najcieńszych. Pionowanie trzonów prowadniczych prowadzono przy ciągłej obserwacji geodezyjnej. Przeprowadzona rektyfikacja doprowadziła geometrię trzonów prowadniczych do wymogów normowych.

6. Analiza przyczyn wystąpienia osiadania fundamentów zastrzałów

Po wykonaniu prac związanych z rektyfikacją wieży szybowej nr 1 przystąpiono do analizy przyczyn wystąpienia ponownego osiadania fundamentów zastrzału. Wykonano badania grawimetryczne (metoda geofizyczna do wykrywania pustek oraz określania struktury ośrodka gruntowego), które wykazały istnienie trzech ujemnych anomalii w bliskim sąsiedztwie szybu. Jako prawdopodobną przyczynę występowania anomalii wskazano lokalne rozluźnienia w gruncie lub istnienie pierwotnych lub wtórnych pustek. W celu weryfikacji wskazanych przyczyn wykonano otwory geologiczno-inżynierskie, które miały na celu wykrycie stref potencjalnego zagrożenia powierzchni terenu deformacjami. W wykonanych otworach geologiczno-inżynierskich nie stwierdzono pustek czy też stref rozluźnionych gruntów, których występowanie wskazywały wyniki badań geofizycznych. Analiza laboratoryjna pobranych próbek gruntów z otworów wiertniczych wykazała, że grunty spoiste wykształcone w postaci glin pylistych i pyłów, przewarżające w profilu gruntowym, są bardzo wrażliwe na zawilgocenie a pod wpływem wody oraz wstrząsów ich parametry fizyczno-mechaniczne pogarszają się, a same grunty się uplastyczniają. Biorąc pod uwagę występowanie na analizowanym obszarze wysokiego poziomu wód gruntowych oraz generowane wstrząsy przez pracę urządzeń wyciągowych jako bezpośrednią przyczynę osiadania fundamentów zastrzału wskazano występowanie w miejscu ich posadowienia gruntów posiadających dużą wrażliwość strukturalną, a tym samym małą odporność na obciążenia dynamiczne.

W przypadku wieży szybowej nr 2 ze względu na brak informacji o warunkach gruntowych występujących w bliskim sąsiedztwie fundamentów zastrzału oraz przebiegu procesu osiadania w czasie, nie było możliwe jednoznaczne wskazanie przyczyn zaistniałego zjawiska. Jako jeden z prawdopodobnych czynników można wskazać wystąpienie w czasie eksploatacji wieży szybowej obciążenia wyjątkowego takiego jak np.: zaklinowanie się w szybie podnoszonego naczynia wyciągowego, uderzenia naczynia wyciągowego o belki odbojowe, które wygenerowało znaczne obciążenie dynamiczne działające na fundamenty zastrzału. Nie bez znaczenia są również wpływy działalności górniczej oraz bliskie sąsiedztwo szybu.

7. Podsumowanie

Przeprowadzona rektyfikacja dwóch wychylonych z pionu górniczych wież szybowych przywróciła pełną wartość użytkową obiektów. Prace rektyfikacyjne przeprowadzone zostały w stosunkowo krótkim czasie (około 8 godzin dla każdej z wież), co nie wpłynęło zasadniczo na funkcjonowanie poszczególnych zakładów górniczych. Należy podkreślić że możliwość wykonania prac naprawczych wymagała szczegółowej analizy zachowania się konstrukcji wież szybowych w trakcie rektyfikacji oraz uwzględnienia w analizie statyczno-wytrzymałościowej zupełnie nowych obciążeń działających na poszczególne konstrukcje. Ze względu na strategiczne znaczenie szybów górniczych oraz ich infrastruktury dla zakładów górniczych należy monitorować ewentualne dalsze przemieszczenia się wież, a w przypadku stwierdzenia ich nadmiernych wychyleń koniecznym jest podjęcie kolejnych prac naprawczych zmierzających do uzyskania pełnej użyteczności obiektów.

Literatura

1. BN-78 8902-04: Wieże szybowe obciążenia. Budownictwo wiertnicze i górnicze.
2. BN-84 8902-05: Konstrukcje wież szybowych. Obliczenia statyczne i zasady projektowania. Budownictwo górnicze.
3. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. Dz.U. 2002 nr 139, poz. 1169.
4. Niemiec T., Gromysz J.: Metody prostowania budynków przechylonych. Budownictwo Górnicze i Tunelowe nr 3/1995.
5. Wichtowski B.: Rektyfikacja stalowych wież antenowych na podstawie inspekcji okresowych, XXIII KN-T, Awarie budowlane 2007.

THE RECTIFICATION OF STRUCTURES OF THE MINING SHAFT TOWERS

Abstract: The safety and technical condition of shaft towers depends mostly on the deflection tolerances of the certain structural components. Shaft towers are affected by the occurrence of the local ground surface deformation due to their proximity to the shaft, mining operations and dynamic loads induced by equipment in operation. This paper shows the results of measurements of the geometry of two shaft towers, which required rectification, and assessment of the deflection causes. The impact of the vertical deflection on the stability and load carrying capacity of the shaft towers was analyzed. The protocols for conducting the rectification works on the shaft towers were proposed.

Keywords: rectification, shaft tower, structural failure