

Sławomir Fabich, Bogdan Kokot*, Jacek Kulicki**, Marcin Szlązak**

OBUDOWA TUBINGOWA SZYBÓW W LGOM. PRZYCZYNY USZKODZEŃ OBUDOWY, STOSOWANA PROFILAKTYKA ZAPOBIEGANIA USZKODZENIOM ORAZ METODY NAPRAW

1. Wstęp

Na obszarze górnictwa Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego funkcjonuje obecnie 29 szybów. Szyby te zgłębione zostały w bardzo trudnych warunkach hydrogeologicznych, wynikających ze specyficznej budowy geologiczno-hydrogeologicznej monokliny przedsudeckiej, a więc w górotworze o bardzo zróżnicowanej budowie geologicznej oraz o zróżnicowanych właściwościach wytrzymałościowych skał. Podstawową metodą przygotowania górotworu dla potrzeb ich zgłębienia było jego mrożenie na odcinku najsłabszych wytrzymałościowo oraz wykazujących największe zawodnienie utworów czwartorzędowych i trzeciorzędowych oraz stropowych warstw piaskowca. Podstawową obudową szybu stosowaną na odcinku mrożonym jest obudowa zespolona, tubingowo-betonowa, wykonywana w szybach o średnicy 6,0 m techniką odcinków „z dołu do góry”, zaś w szybach o średnicy 7,5 m techniką podwieszania pierścieni tubingowych „za postępem przodka”. Zakładając fakt wykonania wymienionych szybów, jak również późniejszego ich funkcjonowania w bardzo złożonych warunkach, kształtowanych zarówno czynnikami naturalnymi, jak i związanymi z wpływami od eksploatacji złoża, konstrukcje obudów szybów zostały zaprojektowane i wykonane tak, by z określonym zapasem bezpieczeństwa przejmowały występujące obciążenia. Z początkiem lat 90. ubiegłego stulecia w obudowach tubingowych szybów LGOM, a w szczególności tych o średnicy 6,0 m, zaczęły jednak stopniowo uwidaczniać się uszkodzenia segmentów tubingowych. We wszystkich przypadkach uszkodzenia dotyczyły segmentów tubingowych zabudowanych na szczelinach pikotażowych i w większości przypadków w początkowym stadium proces uszkodzeń obejmował szczeli-

* KGHM CUPRUM sp. z o.o. CBR Wrocław

** PeBeKa SA, Lubin

ny pikotażowe zlokalizowane w obudowie tubingowej w spągowej strefie trzeciorzędu. Początkowo, wobec braku wystarczających informacji dotyczących aktualnego stanu deformacji obudów szybów, uznawano, iż pojawiające się uszkodzenia są wynikiem nakładania się szeregu elementów, począwszy od stosowanej wówczas przez wykonawcę technologii wznoszenia kolumny tubingowej, poprzez specyficzny kształt kołnierza tubingu pikotażowego oraz ujawnianie się w żeliwie wad materiałowych, kładąc mniejszy nacisk na fakt, jakoby istotnym elementem w generowaniu uszkodzeń było przejmowanie przez obudowę deformacji górotworu o wartościach przekraczających odporność obudowy. Późniejsze analizy, wykonywane w oparciu o prowadzone z coraz większą dokładnością wyniki obserwacji geodezyjnych deformacji obudów szybów, wykazały, iż to właśnie ten element decyduje o generowaniu w obudowie znaczącej wartości naprężeń pionowych, które w powiązaniu ze specyfiką wynikającą z konstrukcji samej szczeliny pikotażowej prowadzą do uszkodzeń segmentów tubingowych.

2. Uszkodzenia segmentów tubingowych

Pierwsze uszkodzenia żeliwnych segmentów tubingowych w szybach LGOM mające miejsce w trakcie ich normalnego funkcjonowania zostały zarejestrowane na początku lat 90. ubiegłego stulecia w szybie L-II kopalni Lubin [1]. Uszkodzenia objęły segmenty tubingowe pierścienia pikotażowego górnego oraz dolnego szczeliny pikotażowej nr 8 posadowionej na głębokości 295,8 m (~50 m powyżej spągu utworów trzeciorzędowych). Uszkodzenia polegały na wyłamaniu kołnierzy poziomych, sąsiadujących bezpośrednio ze szczeliną pikotażową (rys. 1).



Rys. 1. Uszkodzenia segmentów tubingowych szczeliny pikotażowej nr 8 w szybie L-II kopalni Lubin

Uszkodzeniu towarzyszyły dość znaczne przemieszczenia kołnierzy, dochodzące lokalnie nawet do kilku centymetrów. Pomimo faktu, że bezpośrednio za obudową w strefie uszkodzonej zalegała znacznej miąższości warstwa zawodnionego piasku kwarcowego,

uszkodzeniu nie towarzyszył duży dopływ wody do szybu, co ułatwiło wykonanie prac zabezpieczająco-wzmacniających obudowę. Następne uszkodzenia segmentów tubingowych odnotowane zostały w roku 1994 w szybie P-VI Kopalni Polkowice¹). Pęknięciu uległy segmenty tubingowe pierścienia pikotażowego górnego, zabudowanego na głębokości 367,6 m, na 7 szczelinie pikotażowej [2].

Charakter uszkodzeń był zbliżony do odnotowanych w szybie L-II, z tym że uszkodzeniom towarzyszyły nieco mniejsze przemieszczenia kołnierzy. Uszkodzenie wystąpiło w odległości ~30 m od spągu trzeciorzędu, w spągowej strefie warstwy węgla brunatnych o miąższości 8,4 m. Bezpośrednio pod węglem brunatnym zalega warstwa znacznej miąższości (21,3 m) zawodnionych piasków kwarcowych.

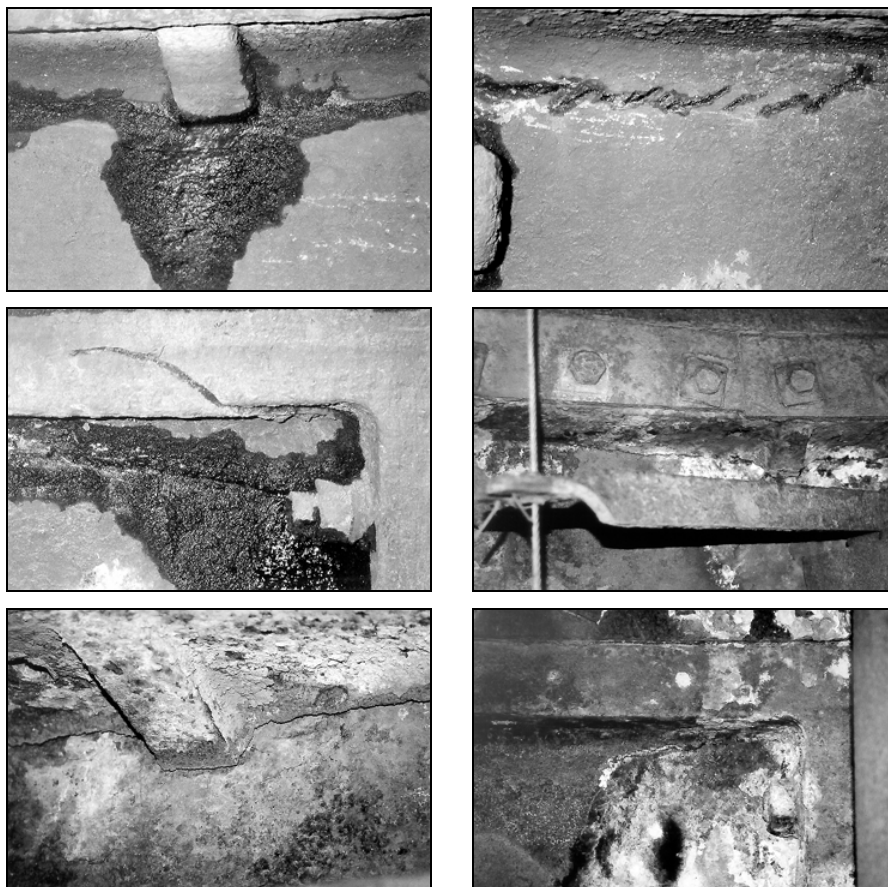
Oba opisane powyżej uszkodzenia traktowano wówczas jako incydenty, o przyczynach utożsamianych bardziej z lokalnymi warunkami geologiczno-górnictwymi oraz ze specyfiką konstrukcji samej obudowy niż z procesem o znaczeniu regionalnym, którego rozwój będzie miał wpływ na pojawienie się następnych uszkodzeń obudów tubingowych, zapoczątkowanych w 1997 r. w szybie L-IV, a następnie w szybie L-V Kopalni Lubin i dalej w szybach P-V, P-II i P-IV Kopalni Polkowice. Charakterystyka najczęściej występujących uszkodzeń segmentów tubingowych szybów LGOM przedstawiona została na rysunku 2.

Wspólne, charakterystyczne cechy wszystkich występujących dotychczas w szybach LGOM uszkodzeń segmentów tubingowych to:

- występowanie uszkodzeń w przeważającej większości w pierścieniach tubingowych zabudowanych bezpośrednio na szczelinach pikotażowych,
- występowanie uszkodzeń niezależnie od stopnia zaciśnięcia danej szczeliny pikotażowej,
- w większości przypadków pierwsze uszkodzenia w danym szybie dotyczą segmentów tubingowych zabudowanych na szczelinach pikotażowych położonych w rejonie spągu utworów trzeciorzędowych,
- wzrost wraz z upływem czasu liczby uszkodzonych tubingów w danym pierścieniu, z tendencją do pojawiania się uszkodzeń segmentów na sąsiednich szczelinach pikotażowych,
- brak spękań segmentów tubingowych zabudowanych na szczelinach pikotażowych posadowionych w skałach zwięzłych,
- uszkodzenia tubingów niespowodowane wadami materiałowymi żeliwa poza jednym stwierdzonym przypadkiem.

Bardzo często w rejonie poddanej kompresji szczeliny pikotażowej występują znaczne deformacje poziome obudowy będące konsekwencją jej działania. O ruchach obudowy w przekroju poziomym świadczą odgięte fragmenty opasek zabezpieczających oraz wyciskanie uszczelki ołowianych ze złączy pionowych (rys. 3).

¹ Obecnie Kopalnia Polkowice-Sieroszowice.



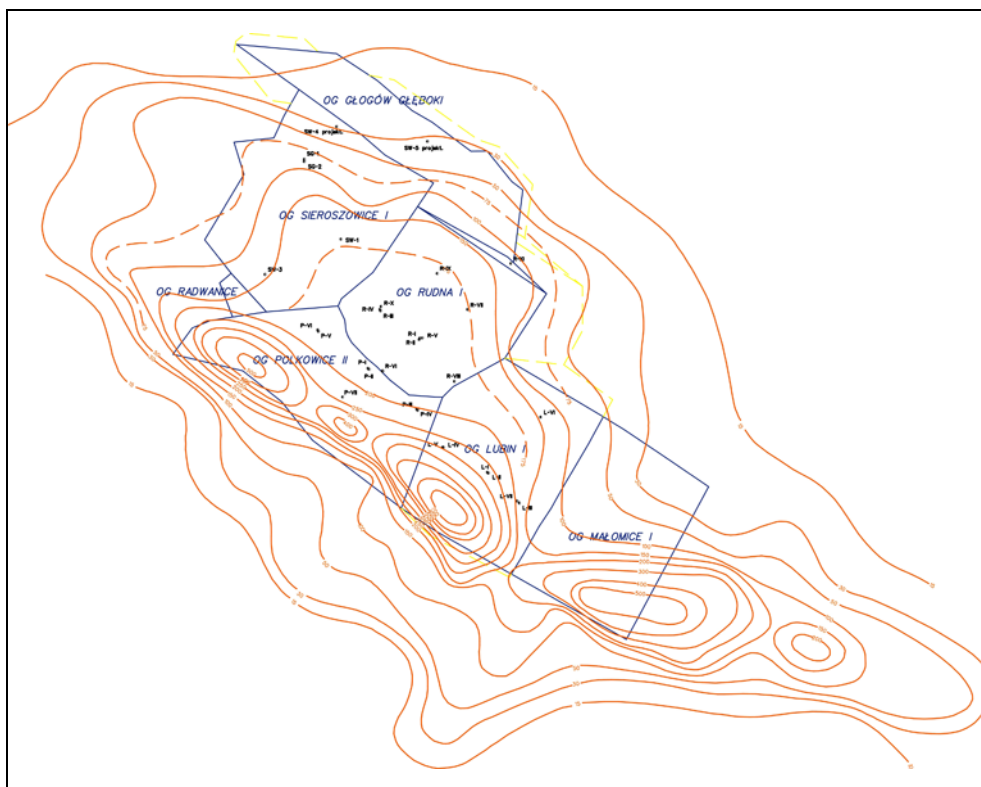
Rys. 2. Uszkodzenia segmentów tubingowych szybów LGOM w rejonach szczelin pikotażowych



Rys. 3. Zjawiska towarzyszące pękaniu kołnierzy segmentów tubingowych

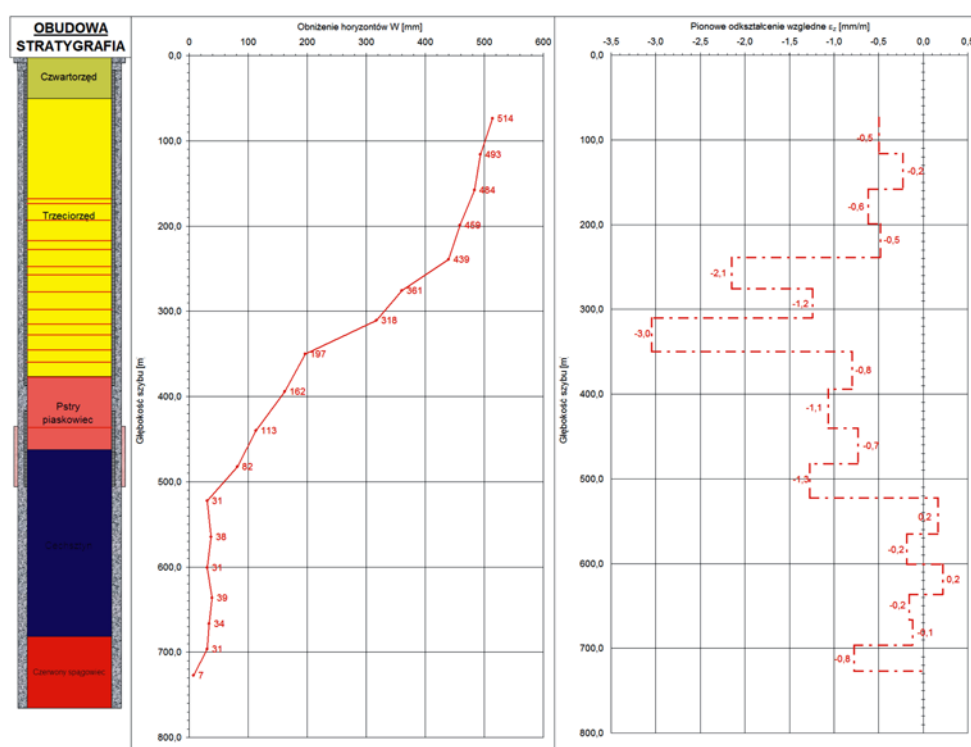
3. Przyczyny uszkodzeń segmentów tubingowych

Lokalizacja szybów w granicach terenów chronionych ogranicza skalę oddziaływania wpływów bezpośrednich od prowadzonej eksploatacji złoża do stopnia „bezpiecznego”. Specyfika budowy geologiczno-hydrogeologicznej górotworu w LGOM powoduje jednak, iż wpływ na deformacje górotworu oprócz wyżej wymienionego ma rozwój tzw. niecki odwodnieniowej, związany z prowadzonym od 1965 r. w południowym rejonie złożowym intensywnym drenażem górniczym w warstwach węglanowych cechsztynu. Potwierdzona obserwacjami na piezometrach łączność hydrauliczna pomiędzy poziomami wodonośnymi podwęglowym oraz zalegającym wyżej międzywęglowym spowodowała, iż już w latach 1973–1974 wystąpiła tendencja do rozwoju depresji powierzchni piezometrycznej w poziomie wodonośnym międzywęglowych utworów trzeciorzędu, utrwalająca się wraz z ciągle postępującym drenażem utworów podwęglowych. Ww. procesy doprowadziły do powstania i rozwoju tzw. wielkopromiennej niecki obniżenia powierzchni terenu, obejmującej swoim zasięgiem również tereny chronione ze zlokalizowanymi na nich szybami górniczymi (rys. 4).



Rys. 4. Wielkopowierzchniowa niecka obniżeniowa — odwodnieniowa w LGOM (stan na koniec 2004 r.)

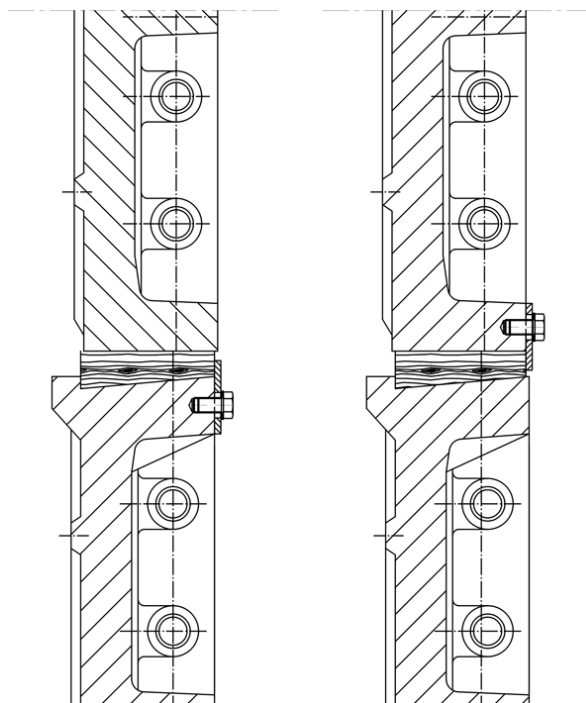
Na przykład według stanu na koniec 2004 r. obniżenia powierzchni terenu w rejonach zrębów szybów, wynikające z odwodnienia górotworu, wynosiły dla najstarszych z nich od 190 mm (rejon Polkowice Głównie i Zachodnie), poprzez 200 mm (rejon Polkowice Wschodnie oraz Lubin Wschodni) i 250 mm (rejon Lubin Główny) do 300 mm (rejon Lubin Zachodni). Specyfika trwającego procesu drenażu powoduje kompresję warstw zawodnionych i w konsekwencji znaczące deformacje pionowe górotworu oraz obudowy w rejonie spągu trzeciorzędu. Na taki stan deformacji górotworu nakładają się wpływy związane z oddziaływaniem samej eksploatacji złoża, prowadzonej na zewnątrz filara ochronnego. Przykładowy stan pionowych deformacji obudowy jednego z szybów LGOM, funkcjonującego od 1967 r., przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Wartości obniżeń oraz pionowe odkształcenia względne obudowy jednego z szybów w LGOM według stanu na I kwartał 2007

Praktycznie we wszystkich szybach LGOM obserwowany jest proces pionowej kompresji obudowy w strefie spągu trzeciorzędu. Stopień jej zintensyfikowania zależy przede wszystkim od miejsca położenia szybu w niecce odwodnieniowej oraz od stopnia zaawansowania eksploatacji złoża w bezpośrednim sąsiedztwie granicy filara ochronnego.

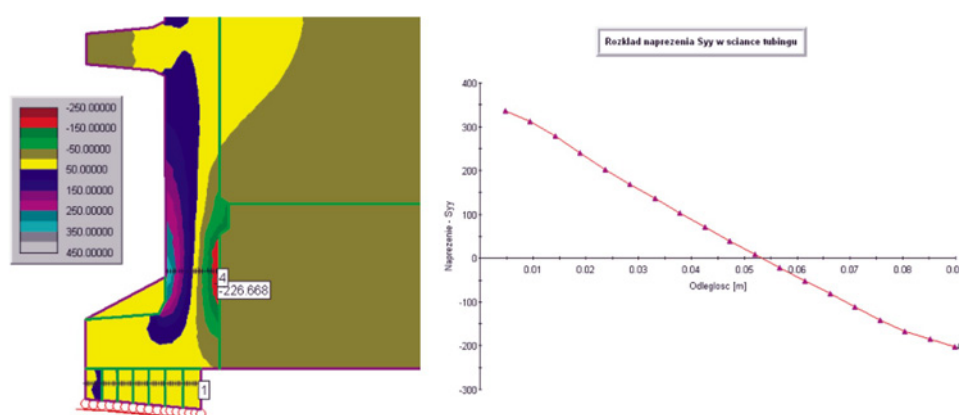
Problem znaczącej kompresji obudowy szybu w strefie spągu trzeciorzędu dotyczy obecnie szybów najstarszych, o średnicy 6,0 m, zgłębionych w górotworze zamrożonym odcinkami „z dołu do góry”. Taka technologia zgłębiania szybu doprowadziła do sytuacji, że w każdym z wymienionych szybów na długości kolumny tubingowej występują tzw. szczeliny pikotażowe. Ich liczba w każdym z szybów jest zmienna i wynosi od 6 do 15 szt. Na etapie wykonywania obudowy tubingowej szczeliny zostały wypełnione klinami dębowymi, doszczelnione mleczkiem cementowym, a następnie zabezpieczone opaskami z blachy stalowej, przymocowanymi do kołnierzy śrubami M24 lub M27 (w zależności od głębokości występowania szczeliny) (rys. 6).



Rys. 6 Konstrukcja szczelin pikotażowych w szybach $\varnothing$ 6 m

Przy pionowej deformacji (kompresji) kolumny tubingowej w stopniu przekraczającym wartość progową (na podstawie własnych analiz uśredniona wartość progowa dla konstrukcji obudów tubingowych $\varnothing$ 6,0 m w LGOM wynosi $\sim 2,0$ mm/m) [3] właśnie tubingi pikotażowe narażone są w pierwszej kolejności na pęknięcia kompresyjne. W pęknięciach kołnierzy pikotażowych istotną rolę odgrywa uformowanie kołnierzy poziomych nośnych, przylegających bezpośrednio do szczeliny pikotażowej. W celu zapewnienia szczelności szczeliny górna płaszczyzna kołnierza pierścienia pikotażowego dolnego jest ukośna, co powoduje pewniejsze utrzymanie w szczelinie drewnianego uszczelnienia. Czynniki zakłócające

równomierny rozkład naprężeń, tj.: kształt kołnierza tubingu pikotażowego, zróżnicowany stopień twardości uszczelnienia zarówno na obwodzie szybu, jak i w kierunku radialnym, występujące przesunięcia poziome i pionowe poszczególnych segmentów tubingowych w pierścieniu, powodują, iż przy pionowej kompresji obudowy poziome, przypikotażowe kołnierze segmentów tubingowych ulegają w początkowym etapie ugięciu, a następnie wyłamywaniu. Przykładowy rozkład naprężeń pionowych w kołnierzu przypikotażowego segmentu tubingowego przedstawiono na rysunku 7 [4]. W przypadku gdy pierścienie tubingowe są przesunięte względem siebie w płaszczyźnie poziomej (rys. 8), rozkład naprężeń wzdłuż krawędzi kontaktu kołnierza ze ścianką tubingu jest jeszcze bardziej niekorzystny.



Rys. 7. Kompresja kolumny tubingowej.
Rozkład naprężeń w kołnierzu sąsiadującym ze szczeliną pikotażową [4]



Rys. 8. Występujące przemieszczenie poziome pierścieni tubingowych w rejonie szczeliny pikotażowej

4. Metody napraw oraz profilaktyka

Awarye kolumny tubingowej, które miały dotychczas miejsce w szybach LGOM, nie zagrażały bezpośrednio bezpieczeństwu ich funkcjonowania, gdyż we wszystkich przedstawionych przypadkach pęknięciu obudowy towarzyszyły jedynie niewielkie dopływy wody do szybu. Bezpieczeństwo szybu tak długo należy uznać za niezagrożone, jak długo zniszczenie ogranicza się wyłącznie do ściśle ograniczonej strefy oraz dopływ wody wywołany awarią mieści się w wartościach granicznych dla systemu odwadniania rejonu. Dopiero gdy zniszczenie obudowy obejmie szerszą strefę i wskutek znacznego wypływu wody dochodzi do ruchów górotworu, możliwość zagrożenia bezpieczeństwa staje się bardziej realna.

W przypadku szybów LGOM, z uwagi na ciągle postępujący proces deformacji górotworu w obrębie szybów, wywołany jego dalszym odwadnianiem (wpływy stopniowo wygasające), a także samą eksploatacją złoża, należy ciągle liczyć się z narastaniem procesów deformacji kolumn tubingowych, a więc i z możliwością występowania dalszych uszkodzeń obudów tubingowych, głównie w rejonie szczelin pikotażowych. O zagrożeniu, jakie może wystąpić w szybie wskutek ich wystąpienia, może świadczyć fakt, iż z racji funkcjonowania kolumny tubingowej w silnie zawodnionych warstwach trzeciorzędu wszelkie jej uszkodzenia mogą prowadzić do wdarcia się do szybu wody pod dużym ciśnieniem. Z tego też względu za priorytetowe w LGOM uznaje się w działania związane z naprawą uszkodzonych segmentów tubingowych oraz profilaktyką przeciwwuszkodzeniową.

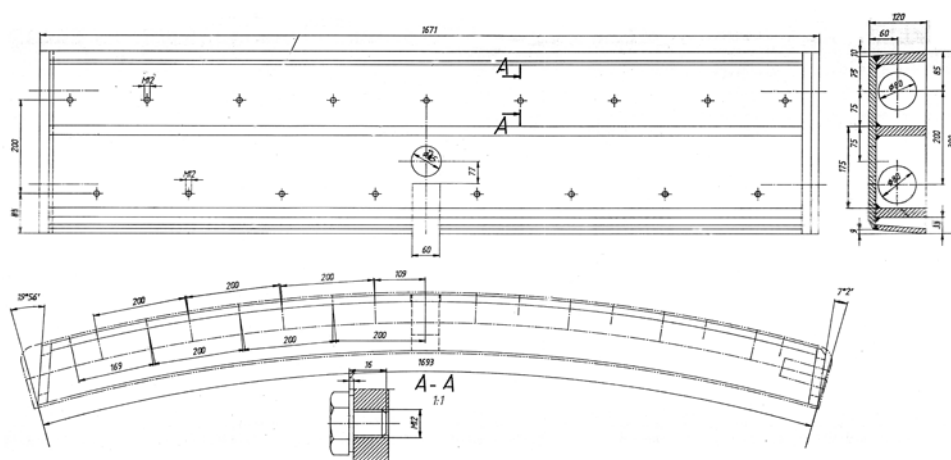
4.1. Metody napraw uszkodzonych segmentów tubingowych

Pierwsze naprawy uszkodzonych segmentów tubingowych wykonywane były poprzez wzmocnienie kołnierzy klamrami stalowymi, a następnie wypełnienie przestrzeni międzyżebrowych tworzywem plastobetonowym (rys. 9).



Rys. 9. Naprawiona obudowa tubingowa szybu L-II w rejonie szczeliny pikotażowej nr 8

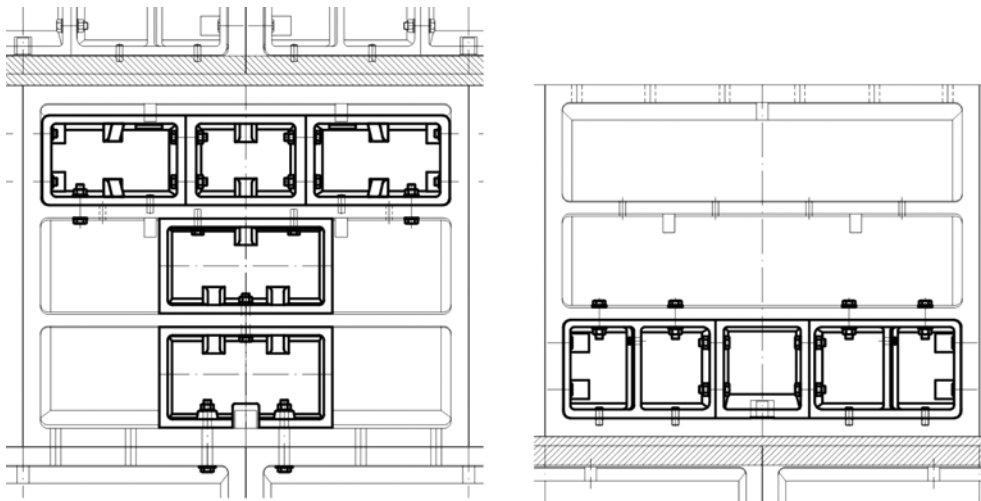
Wraz z pojawianiem się coraz większej liczby uszkodzeń segmentów tubingowych metoda ta ze względu na swoją bardzo dużą pracochłonność została zaniechana, zaś dalsze naprawy realizowano poprzez zabudowę w przestrzenie międzyżebrowe wkładek wzmacniających, wklejanych w przestrzenie międzyżebrowe oraz dodatkowo mocowanych do układu uźebrowania łącznikami śrubowymi oraz kołkami. Początkowo (szyb P-VI) wkładki wykonywano w konstrukcji stalowej, spawanej (rys. 10), z wypełnieniem przestrzeni pomiędzy wkładką a ścianką uszkodzonego segmentu tubingowego żywicą poliestrową typu Polimal.



Rys. 10. Wkładka wzmacniająca wykonana w konstrukcji stalowej, spawanej

Z uwagi jednak na znaczące różnice w geometrii uszkodzonych segmentów tubingowych, powodujące konieczność indywidualnego dopasowywania wkładek, metoda ta okazała się również pracochłonna. Z tego też względu w kolejnych zastosowaniach uległa ona modernizacji, polegającej na zastąpieniu wkładki stalowej wkładką wykonaną z żeliwa sferoidalnego o kształcie indywidualnie dopasowanym do kształtu przestrzeni międzyżebrowej. Efekt dopasowania uzyskano poprzez indywidualne zdejmowanie odcisku przestrzeni międzyżebrowej i przygotowaniu modelu wkładki na jego podstawie. Wkładki są wykonywane w układzie pojedynczym lub jako trójdzielne w zależności od stopnia uszkodzenia segmentu (rys. 11 i 12). Przed wbudowaniem wkładek obudowę w rejonie awarii poddaje się myciu i piaskowaniu, zaś górotwór w rejonie uszkodzenia poddawany jest iniekcji doszczelniającej. Skuteczne wklejenie wkładki w przestrzeń międzyżebrową osiągane jest dzięki zastosowaniu specjalnego kleju do klejenia stali i żeliwa.

Stosowana w LGOM metoda naprawy uszkodzonych segmentów tubingowych z wykorzystaniem żeliwnych wkładek wzmacniających wbudowywanych w przestrzeń międzyżebrową jest optymalna zarówno w aspekcie efektu wzmocnienia obudowy, jak również czasu wykonania naprawy.



Rys. 11. Wkładki wzmacniające wykonane z żeliwa sferoidalnego



Rys. 12. Wkładka trójdzielna wbudowana w przestrzeń międzyżebrową uszkodzonego segmentu tubingowego

4.2. Profilaktyka przeciwuszkodzeniowa

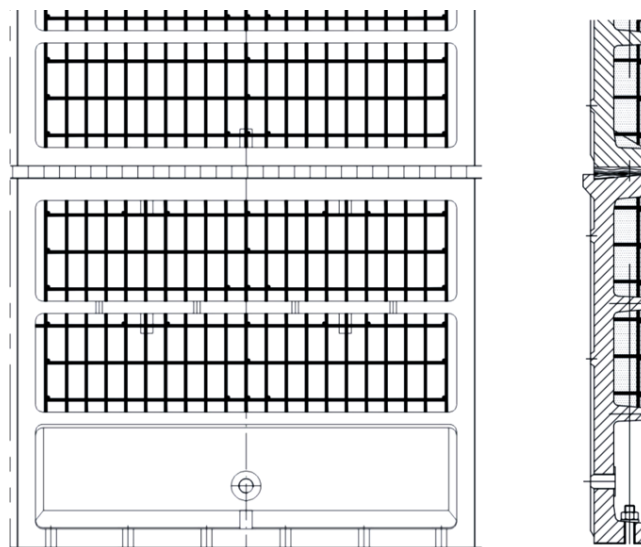
Z uwagi na przewidywany dalszy proces deformacji górotworu w obrębie szybów, wywołany zarówno trwającym procesem jego stopniowego odwadniania, jak i coraz większym oddziaływaniem samej eksploatacji złoża, należy liczyć się z narastaniem procesów deformacji kolumn tubingowych, a więc i z możliwością występowania następnych uszkodzeń

obudów tubingowych. Z tego też względu istotnego znaczenia nabierają działania profilaktyczne, których celem jest ograniczenie do minimum możliwości wystąpienia uszkodzeń. Działania te prowadzone są dwukierunkowo.

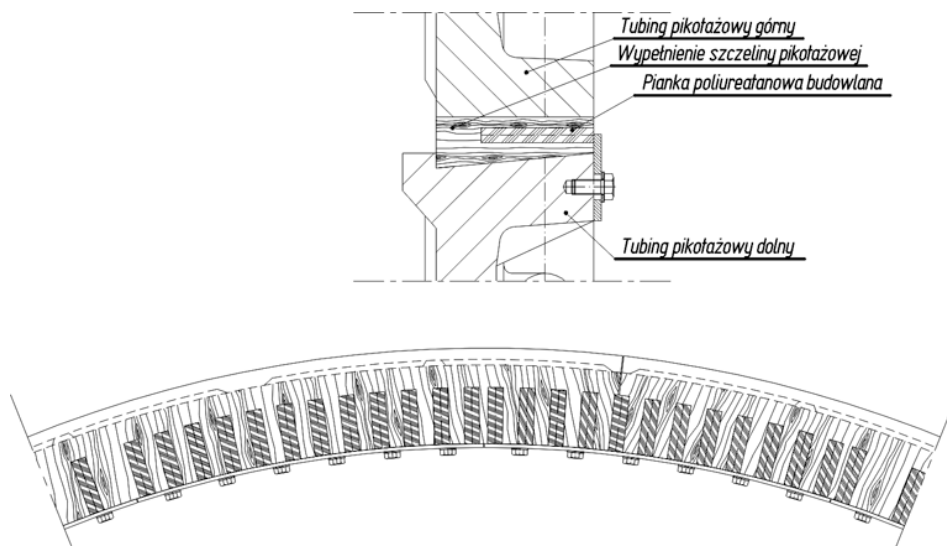
Pierwszym kierunkiem działań jest dobór odpowiedniego systemu eksploatacji złoży w bezpośrednim sąsiedztwie granic filarów ochronnych, tak by ograniczyć do minimum wpływy z nią związane. Stosuje się tu zatem systemy eksploatacji złoży z podszadaniem wybranej przestrzeni podszadką hydrauliczną, a także odpowiedni sposób samej rozcinki złoży.

Drugim kierunkiem podejmowanych działań jest przygotowanie kolumny tubingowej na bezpieczne przejmowanie wpływów od prowadzonej eksploatacji. Tu realizowane są rozwiązania obejmujące:

- Wzmocnienie obudowy w obu szybach w rejonach szczelin pikotażowych poprzez wypełnienie zbrojonym tworzywem przestrzeni międzyżebrowych przylegających bezpośrednio do szczeliny pikotażowej (rys. 13);
- Upodatnienie kolumn tubingowych na szczelinach pikotażowych poprzez odwiercenie otworów w drewnianym wypełnieniu szczeliny (rys. 14). Ze względów bezpieczeństwa długość otworów nie może być większa niż szerokość kołnierza (maks. 150 mm). Dla potrzeb zapewnienia stopniowego odprężania się obudowy w rejonie pikotaży proponuje się wykonanie upodatnienia w dwóch etapach, zaś każdy etap w kolejnych ściśle określonych fazach. Oczywiście wcześniej konieczne jest wykonanie iniekcji koszulki betonowej i górotworu w rejonie upodatnianej szczeliny pikotażowej. Otwory upodatniające na bieżąco wypełniane są pianką poliuretanową, zaś sama szczelina po wykonaniu upodatnienia zabezpieczana jest opaskami stalowymi.



Rys. 13. Sposób wzmocnienia obudowy szybu w rejonie szczeliny pikotażowej



Rys. 14. Sposób upodatnienia kolumny tubingowej w strefie szczeliny pikotazowej

Obecnie w LGOM stosowane jest z dużą skutecznością drugie rozwiązanie. Ww. metodą upodatniono jedną szczelinę pikotazową w szybie L-IV oraz dwie w szybie L-V. Uważa się, że stosowana metoda upodatnienia ograniczy, a przynajmniej znacznie opóźni rozwój uszkodzeń segmentów tubingowych w rejonie szczeliny pikotazowej, wywołanych pionową kompresją obudowy.

LITERATURA

- [1] *Fabich S., Kokot B.*: Ekspertyza stanu technicznego obudowy betonowej i tubingowej szybu L-II O/ZG „Lubin”. Wrocław 1995 (praca niepublikowana)
- [2] *Belzowski A., Kokot B.*: Ekspertyza stanu technicznego obudowy betonowej i tubingowej szybu P-VI ZG „Polkowice-Sieroszowice”. Wrocław 1996 (praca niepublikowana)
- [3] *Fabich S.*: Ocena aktualnego stanu odporności obiektów powierzchniowych i szybów P-III i P-IV na wpływy górnicze od zaprojektowanej eksploatacji złoża oraz analiza zagrożenia wodnego w szybach. Wrocław 2003 (praca niepublikowana)
- [4] *Fabich S., Kokot B., Szlązak M.*: Ocena wpływu upodatnienia szczelin pikotazowych szybów L-I, L-II, L-III, L-IV, L-V na stateczność obudowy szybowej. Wrocław 2005 (praca niepublikowana)