

Problem korozji łbów złączy śrubowych w aspekcie bezpieczeństwa funkcjonowania obudowy tubingowej szymbów kopalń KGHM Polska Miedź S.A.

Problem of bolts heads corrosion in respect of tubing lining safety in the shafts of KGHM Polska Miedź S.A.



Mgr inż. Sławomir Fabich^{*)}



Mgr inż. Marcin Szluzak^{*)}



Dr inż. Sławomir Świtoń^{*)}

Treść: W szymbach wentylacyjnych kopalń KGHM Polska Miedź S.A. stwierdza się korozję łbów śrub tubingowych, która wynika z warunków środowiskowych. Zgodnie z wymaganiami śruby powinny przez cały okres funkcjonowania szymbu odpowiadać wymaganiom normowym. W przypadku zmniejszenia się objętości łbów istnieje obawa co do zachowania warunku ich nominalnej wytrzymałości na rozciąganie i tym samym zachowania bezpieczeństwa funkcjonowania całej kolumny tubingowej. W artykule przedstawiono wyniki analizy warunków środowiskowych panujących w szymbach KGHM Polska Miedź S.A., ocenę stanu śrub po ich oczyszczeniu z produktów korozji i analizę badań wytrzymałościowo-deformacyjnych.

Abstract: The ventilation shafts in mines owned by KGHM Polska Miedź S.A. face the corrosion problem of the bolts that are installed at horizontal flanges of tubing rings. According to the requirements, the bolts should comply with the standard requirements throughout the lifetime of the shaft. If the volume of the heads decreases, the nominal tensile strength will also decrease. This may cause significant safety issue. This paper presents an analysis of environmental conditions prevailing in the KGHM Polska Miedź S.A shafts, in connection with the assessment of bolts condition based on strength and deformation tests.

Słowa kluczowe:

śruby tubingowe, korozja, stan techniczny, obudowa tubingowa

Keywords:

tubing bolts, corrosion, technical condition, tubing lining

1. Wstęp

Na obszarze górniczym Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) funkcjonuje 28 szymbów, 7 w O/ZG „Lubin” (pięć o średnicy 6,0 m, dwa o średnicy 7,5 m), 10 w O/ZG „Rudna” (wszystkie o średnicy 7,5 m) oraz 11 w O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” (cztery o średnicy 6,0 m, sześć o średnicy 7,5 m). Wymienione wyrobiska zgłębione zostały w bardzo trudnych warunkach hydrogeologicznych, wynikających ze specyfiki budowy geologicznej monokliny przedsudeckiej, a więc w górotworze o bardzo zróżnicowanej budowie geologicznej i hydrogeologicznej oraz zmiennych własnościach wytrzymałościowych. W związku z powyższym podstawową obudową na odcinku utworów czwartorzędowych i trzeciorzędowych oraz stropowych warstw górnego

i środkowego pstręgo piaskowca (triasu dolnego) jest obudowa tubingowa z koszulką betonową.

Na rys. 1 przedstawiono lokalizację (kolor czerwony) szymbów wentylacyjnych - wydechowych funkcjonujących w ramach poszczególnych Zakładów Górniczych KGHM Polska Miedź S.A.

W kopalni O/ZG „Lubin” szymbami wydechowymi są szymba L-III, L-IV i L-V, na terenie O/ZG „Rudna” szymba R-V, R-VIII, R-X i R-XI, na terenie O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” szymba P-VII, SG-2 i SW-3.

Podczas realizacji prac związanych z oceną stanu technicznego obudów szymbów, a dokładnie stanu śrub łączących segmenty tubingowe stwierdzono korozję łbów śrub. Ubytki korozyjne łbów śrub zaczęto obserwować z końcem lat 90., początkowo w szymbie L-V oraz w ślad za tym kolejno w szymbach P-VII, R-VIII, R-XI, SW-3.

^{*)} KGHM Cuprum sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe, Wrocław

niedokładnością stosowanych metod obliczeniowych, błędami oszacowania rzeczywistych obciążeń eksploatacyjnych itp. Destrukcyjny wpływ procesów korozyjnych w praktyce przemysłowej ogranicza się głównie przez stosowanie nadatków materiału oraz ochronę elementów przy pomocy powłok. Śruby pobrane do badań z obudowy tubingowej nie były zabezpieczone przed korozją. W związku z powyższym nasuwa się stwierdzenie, że przyczyną intensywnej korozji śrub tubingowych jest bardzo silna agresywność korozyjna środowiska w szybach (woda migrująca do szybu + zużyte powietrze kopalniane), spotęgowana jego funkcją wentylacyjną. Wpływ funkcji wentylacyjnej na lokalną intensyfikację korozji wynika z faktu trwałego utrzymywania się w szybie, podczas pracy stacji wentylatorów poduszki z zawiesiny wodnej, powstałej z kondensacji pary wodnej zawartej w odprowadzanym zużyтым powietrzu.

3. Badania metalograficzne oraz analiza chemiczna materiału śrub

3.1. Analiza chemiczna materiału śrub

W celu potwierdzenia jakości materiału z jakiego zostały wykonane śruby tubingowe zostały przeprowadzone badania składu chemicznego materiału śrub. Badania przeprowadzono klasycznymi metodami analizy chemicznej. Wióry pobrano z całych przekrojów śrub po wcześniejszym usunięciu skorodowanej warstwy wierzchniej. Wyniki analizy chemicznej przedstawiono w tabeli 1.

Materiał śrub odpowiada pod względem składu chemicznego stali niestopowej konstrukcyjnej ogólnego przeznaczenia gatunku St3SX (PN-88/H-84020). Zawartość krzemu (Si) poniżej 0,07% wskazuje, że jest to stal nieuspokojona (litera X na końcu znaku stali).

3.2. Badania mikroskopowe

W stanie nietrawionym stwierdzono niewielką ilość wtrąceń niemetalicznych w postaci tlenków, siarczków i krzemianów ułożonych zgodnie z kierunkiem zastosowanej obróbki plastycznej – rys. 2.

Po wytrawieniu 3% nitałem ujawniono strukturę ferrytyczno-perlityczną o nieznacznym nasileniu cech struktury Widmanstättena- rys. 3. Struktura ta jest typowa dla stali gatunku St3SX w stanie surowym (bez obróbki cieplnej i po obróbce plastycznej).

3.3. Wnioski z badań metalograficznych

Wyniki badań makroskopowych wskazują, że badane śruby uległy uszkodzeniom korozyjnym w niejednakowym stopniu. Dla wszystkich badanych śrub większy stopień skorodowania obserwowano na powierzchni łba niż trzpienia.

Wygląd powierzchni i produktów korozji świadczy o występowaniu korozji w środowisku wilgotnym (atmosferycznej) z udziałem mechanizmu elektrochemicznego. Korozja trzpieni wszystkich trzech śrub zachodziła w sposób równomierny, a na powierzchni łbów w sposób lokalny o czym świadczy obecność wżerów.

Wyniki analizy chemicznej, badania wytrzymałości próbek na rozciąganie oraz badania mikroskopowe wskazują, że wszystkie trzy badane śruby zostały wykonane z tej samej stali gatunku St3SX (PN-88/H-84020). Jest to stal niestopowa konstrukcyjna ogólnego przeznaczenia nieuspokojona. Wyroby ze stali nieuspokojonej w porównaniu do stali uspokojonej (o zbliżonym składzie chemicznym) posiadają mniejszą ilość wtrąceń niemetalicznych oraz mniejszą zawartość węgla w warstwie wierzchniej. Prawie czysto ferrytyczna, bez cementytu (perlitu), warstwa powierzchniowa oraz mniejsza ilość wtrąceń niemetalicznych jest korzystna z punktu widze-

Tabela 1. Wyniki analizy chemicznej materiału śrub
Table 1. Results of chemical analysis of the bolts material

Śruba	Skład chemiczny w % masowych						
	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr
70-1	0,190	0,52	0,02	0,016	0,022	0,07	0,08
90-2	0,150	0,58	0,01	0,015	0,018	0,05	0,10
100-1	0,150	0,48	0,03	0,018	0,025	0,08	0,05



Rys. 2. Wtrącenia tlenków, siarczków i krzemianów w stali – stan nietrawiony

Fig. 2. Inclusions of oxides, sulphides and silicates in steel – unpickled condition



Rys. 3. Mikrostruktura materiału śruby (jasny ferryt, ciemny perlit)

Fig. 3. Microstructure of the bolts material (light ferrite, dark pearlite)

nia odporności na korozję (mniejsza ilość lokalnych ogniw galwanicznych).

Występujące różnice w szybkości korozji trzpienia i łba śrub są prawdopodobnie efektem zwiększonej ekspozycji na działanie czynników korozyjnych oraz zabrudzeń. Intensywność korozji atmosferycznej zwiększa się bowiem, gdy powierzchnia metalu pokryta jest cząstkami stałymi, takimi jak np. kurz, brud i sadza, co wiąże się z dłuższym zatrzymywaniem na powierzchni lub gromadzeniem przez nie wilgoci i soli.

4. Badania laboratoryjne

4.1. Badania makroskopowe

Ogłędzinom makroskopowym poddawane są przede wszystkim łby śrub. Korozyjne ubytki ich trzpieni oraz części gwintowanych są na ogół znacznie mniejsze.

Śruby pokryte są produktami korozji oraz bliżej niezidentyfikowanymi osadami i wykazują zróżnicowany stopień korozyjnego zużycia części cylindrycznych oraz łbów. Korozja części cylindrycznych oraz gwintowanych jest na ogół zdecydowanie mniejsza w porównaniu z korozją łbów. Produkty korozji oraz osady pokrywające powierzchnię śrub znajdują się przede wszystkim na łbach i na ogół łatwo dają się usunąć przez zadrapanie ostrym narzędziem. Na częściach cylindrycznych oraz miejscami na łbach stwierdzono charakterystyczną zendrę jako hutniczą pozostałość poprodukcyjną.

Ubytki materiału łbów spowodowane są przede wszystkim działaniem nierównomierniej korozji. Silnie nierównomierny charakter ubytków może wskazywać na działanie erozji lub ewentualnie lokalnie tworzących się osadów. Cienkie warstwy produktów korozji są na ogół dobrze związane z podłożem i nie są łatwo usuwalne przez zadrapanie ostrym narzędziem. Grube warstwy produktów korozji i osadów łatwo dają się usunąć przez zadrapanie lub uderzenie. Ubytki objętościowe łbów śrub są nierównomiernie rozmieszczone na obwodzie, duże od strony światła szybu, znacznie mniejsze od strony ścianki tubinga.



Rys. 4. Łeb śruby pobranej ze złącza poziomego obudowy tubingowej, 21% zachowania objętości normowej łba

Fig. 4. Bolt's head taken from the horizontal flange of the tubing lining (21% preservation of the standard head volume)

4.2. Sprawdzenie kształtu i wymiarów śrub

Po oczyszczeniu śruby zostają poddane pomiarom gwintu i innych charakterystycznych wymiarów, które są porównywane do obowiązujących norm (PN-EN ISO 4016, PN-ISO 261, PN-ISO 965-1).

Zgodnie z ww. normami, dla śrub M39 wykonanych w zgrubnej klasie dokładności „C”, wymiary charakterystyczne gwintów powinny się zawierać w granicach klasy dokładności 8g, co sprowadza się do następujących warunków:

38,190	≤	d	≤	38,940,
35,987	≤	d ₂	≤	36,342,
		d ₁	≤	34,610,
37,75	≤	D	≤	40,25.

Tolerancje wymiarów łba śruby są następujące:

$$k=25,0^{±0,8}$$

$$s=60,0^{±1,25}$$

Zgodnie z przedmiotowymi normami, dla śrub M42 wykonanych w zgrubnej klasie dokładności „C”, wymiary charakterystyczne gwintów powinny się zawierać w granicach klasy dokładności 8g, co sprowadza się do następujących warunków:

41,137	≤	d	≤	41,937,
38,639	≤	d ₂	≤	39,014,
		d ₁	≤	37,066,
41	≤	D	≤	43.

Tolerancje wymiarów łba śruby są następujące:

$$k=26,0^{±1,1}$$

$$s=65,0^{±1,3}$$

4.3. Ilościowa ocena ubytków korozyjnych łbów śrub

Przed próbami obciążenia i wytrzymałości przeprowadzone zostają pomiary aktualnej objętości łbów V wszystkich śrub pobranych do badań. Polegają one na pomiarze objętości nafty wypartej przez łeb śruby ustawionej pionowo, łbem ku dołowi, w naczyniu i zanurzonej do poziomu płaszczyzny styku cylindrycznej części trzpienia z bryłą łba. Przykładowe wyniki tych pomiarów są podane w tabeli 2, gdzie przytoczono stopień zachowania objętości normowej określony jako stosunek objętości łbów w chwili pomiaru (V) do średniej objętości normowej śruby nieuszkodzonej V_{pocz} . Dla śrub M39 przyjęto $V_{pocz} = 77 ± 4,5 \text{ cm}^3$. Dla śrub M42 założono $V_{pocz} = 93 ± 6,5 \text{ cm}^3$.

4.4. Próba obciążenia próbnego oraz wytrzymałości na rozciąganie śrub pełnowymiarowych

Celem przeprowadzenia obciążenia próbnego oraz próby wytrzymałości na rozciąganie, realizowanej na całych śrubach było sprawdzenie, czy wciąż spełniają one określone wymagania, jakie stawia się śrubom wykonanym w klasie własności mechanicznych 3.6 (PN-EN ISO 898-1:2001, PN-EN 10002-1). Każda śruba została poddana próbie obciążania oraz próbie wytrzymałości na rozciąganie (zwykłej). Kryterium akceptacji dla próby rozciągania śruby M39 wykonanej w 3.6 klasie własności mechanicznych jest przeniesienie do momentu zniszczenia siły osiowej wynoszącej co najmniej 322 kN. W próbie obciążania wydłużenie trwałe śruby przy określonej sile (dla śrub M39 176 lub 181,3 kN, zaś dla M42 214 lub 220,4 kN) nie powinno przekroczyć 12,5 mm.

4.4.1. Próba obciążania próbnego śrub pełnowymiarowych

Celem próby było określenie wartości sił niszczących śruby tubingowe, zgodnie z wymaganiami normy (PN-EN ISO 898-1:2001, tablica 5 pkt. 8.2 oraz tablica 6) z uwzględnieniem odstępstw polegających na:

Tabela 2. Zmierzone objętości łbów śrub - przykład
Table 2. Measured volume of bolt heads - example

Nr śruby	8-1	8-2	8-3	8-4	8-5	8-6	8-7	8-8	8-9	8-10	8-11
Gwint	M39	M39	M39	M39	M39	M39	M39	M39	M42	M42	M42
Aktualna objętość łba V [cm ³]	36,0	69,6	67,1	67,3	65,5	65,6	64,1	61,5	24,4	84,4	34,0
Procent zachowania objętości (V/V _{pocz.})	46,3%	89,6%	86,4%	86,6%	84,3%	84,5%	82,5%	79,2%	26,4%	91,5%	36,9%
Nr śruby	8-12	8-13	8-14	8-15	8-16	8-17	8-18	8-19	8-20	8-22	8-23
Gwint	M42	M42	M42	M42	M42	M42	M42	M42	M42	M39	M39
Aktualna objętość łba V [cm ³]	24,6	82,3	44,8	78,8	19,9	67,8	31,4	26,9	69,0	34,3	30,4
Procent zachowania objętości (V/V _{pocz.})	26,7%	89,2%	48,5%	85,4%	21,6%	73,5%	34,0%	29,1%	74,8%	44,1%	39,1%
Nr śruby	8-24	8-25	8-26	8-27	8-28	8-29	8-30	8-31	8-32	8-33	8-34
Gwint	M39	M39	M39	M39	M39	M39	M39	M39	M39	M39	M39
Aktualna objętość łba V [cm ³]	35,1	31,9	38,5	18,4	39,0	42,8	30,6	52,0	47,9	44,6	24,6
Procent zachowania objętości (V/V _{pocz.})	45,2%	41,0%	49,5%	23,6%	50,2%	55,0%	39,4%	66,9%	61,6%	57,4%	31,7%

- badaniu śrub bez nakrętek,
- stosowaniu uchwytu wkręcane go na śrubę,
- określeniu siły powodującej zapoczątkowanie płynięcia plastycznego.

Badania przeprowadzono na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej model ZD-100. Do badań zastosowano próbki w postaci śrub M39 i M42 bez nakrętek. Zgodnie z **PN-EN ISO 898-1:2001**, prędkość obciążania nie przekraczała 3 mm/min. Wydłużenia śrub mierzone czujnikiem o zakresie 1 mm, dziółka pomiarowa 0,001 mm. Przykładowe wyniki próby obciążania przedstawiono w tabeli 3.

4.4.2. Próba wytrzymałości na rozciąganie śrub pełnowymiarowych

Celem próby było określenie wartości sił niszczących śruby tubingowe, zgodnie z wymaganiami normy **PN-EN ISO 898-1:2001**, tablica 5 pkt. 8.2 oraz tablica 6 z uwzględnieniem odstępstw polegających na:

- badaniu śrub bez nakrętek,
- stosowaniu uchwytu wkręcane go na śrubę,
- określeniu siły powodującej zapoczątkowanie płynięcia plastycznego.

Badania przeprowadzono na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej model ZD-100. Do badań zastosowano prób-

Tabela 3. Wyniki próby obciążenia próbnego śrub
Table 3. The results of the trial load test of the bolts

Nr śruby	Siła obciążająca F _{Pr} [kN]	Przyrost długości ΔL [mm]	Siła obciążająca F _{Pr} × 1,03 [kN]	Przyrost długości Δl [mm]	Wynik próby
8 - 1	176	7	-----	-----	pozytywny
8 - 4	176	8	-----	-----	pozytywny
8 - 6	176	8	-----	-----	pozytywny
8 - 9	214	12	-----	-----	pozytywny
8 - 11	214	9	-----	-----	pozytywny
8 - 13	214	15	220	9	pozytywny
8 - 14	214	10	-----	-----	pozytywny
8 - 17	214	9	-----	-----	pozytywny
8 - 19	214	12	-----	-----	pozytywny
8 - 22	176	10	-----	-----	pozytywny
8 - 23	176	8	-----	-----	pozytywny
8 - 25	176	8	-----	-----	pozytywny
8 - 28	176	9	-----	-----	pozytywny
8 - 30	176	11	-----	-----	pozytywny
8 - 33	176	7	-----	-----	pozytywny

Tabela 4. Wyniki próby rozciągania śrub
Table 4. Tensile test results

Oznaczenie śruby	Siła płynięcia plast. F_{pl} [kN]	Siła maksymalna F_{max} [kN]	Miejsce złomu	Wynik próby
8 - 1	240	380	trzczeń	pozytywny
8 - 4	295	420	trzczeń	pozytywny
8 - 6	285	315	ścięcie gwintu	negatywny
8 - 9	-	245	ścięcie łba	negatywny
8 - 11	310	455	ścięcie łba	negatywny
8 - 13	345	465	trzczeń	pozytywny
8 - 14	335	485	ścięcie gwintu	negatywny
8 - 17	325	460	ścięcie gwintu	negatywny
8 - 19	-	230	ścięcie łba	negatywny
8 - 22	285	425	ścięcie łba	negatywny
8 - 23	280	330	ścięcie łba	negatywny
8 - 25	265	335	ścięcie łba	negatywny
8 - 28	295	410	trzczeń	pozytywny
8 - 30	260	330	ścięcie łba	negatywny
8 - 33	290	435	ścięcie gwintu	negatywny

ki w postaci śrub M39 bez nakrętek. Zgodnie z PN-EN ISO 898-1:2001, prędkość obciążania nie przekraczała 25 mm/min. Przykładowe wyniki próby rozciągania przedstawiono w tabeli 4.

Znane są przypadki, że śruby z podobnie dużymi uszkodzeniami korozyjnymi nie ulegały zniszczeniu wskutek ścięcia osłabionego łba, lecz prawidłowemu zerwaniu trzczenia albo części gwintowanej śruby, spełniając normowy warunek nośności przekraczającej 322 kN.

Z powyższego wynika, że ryzyko wystąpienia ścięcia łba śruby podczas próby rozciągania pojawia się przy spadku jego objętości poniżej 50 cm³. Udział procentowy takich śrub w badanej populacji może być wskaźnikiem zaawansowania procesu postępu degradacji korozyjnej populacji śrub.

4.5. Prognoza trwałości funkcjonowania śrub w obudowie tubingowej

Po wykonaniu badań wytrzymałości na rozciąganie śrub pełnowymiarowych wykonywana jest analiza statystyczna wraz z prognozą trwałości funkcjonowania śrub tubingowych.

Obliczana jest wartość średnia nośności dla badanej partii śrub, odchylenie standardowe oraz współczynnik zmienności

dla każdej badanej partii śrub (Warszyński, 1978, Biegus, 1996, Volk, 1973).

Poniżej przedstawiono przykładowy tok obliczeń.

Nośność średnia F_m plus/minus odchylenie standardowe oraz współczynnik zmienności v =(odchylenie standard)/ (wartość średnia) dla poszczególnych grup badanych śrub wynoszą odpowiednio:

- śruby M39: $F_m = 331,1 \pm 109,7$ kN, $v=0,331$;
- śruby M42: $F_m = 381,9 \pm 141,3$ kN, $v=0,370$.

Analiza statystyczna wartości sił niszczących dokonana na podstawie testu *t Studenta* wykazała, że wartości charakterystyki niezawodności t_α określającej prawdopodobieństwo wystąpienia nośności niższej od 322 kN dla śrub M39, zaś dla śrub M42 369,9 kN wynoszą dla poszczególnych odcinków:

- szyb SW-3 śruby M39: $t_\alpha = (331,1 - 322) / 109,7 = 0,083$;
- szyb SW-3 śruby M42: $t_\alpha = (381,9 - 369,9) / 141,3 = 0,085$.

Oszacowane na tej podstawie prawdopodobieństwa p wystąpienia na poszczególnych odcinkach śrub o nośności niższej od wymaganej $F < 322$ kN (M39) i 369,9 (M42) wynoszą:

- śruby M39: $p = 0,9351$, to jest 1 śruba na około 1,1 sztuk o nośności < 322 kN,
- śruby M42: $p = 0,9336$, to jest 1 śruba na około 1,1 sztuk o nośności $< 369,9$ kN.



Rys. 5. Stan śrub tubingowych po badaniach wytrzymałościowych
Fig. 5. Bolts after strength tests

Z oszacowań dokonanych na podstawie prób wytrzymałości śrub M39 i M42 pobranych do badań wynika, że nośność mniejszą od wymaganej wartości normowej może mieć następująca ilość śrub:

- śruby M39 – 94%,
- śruby M42 – 93%.

5. Podsumowanie

Na podstawie wykonanych analiz wynika, że możliwość obniżenia nośności śrub poniżej 322 kN lub 369,9 kN jest duża. W takich przypadkach rzeczywiste zagrożenie możliwością zniszczenia śrub, przy przyjętych założeniach odnośnie występujących obciążeń, praktycznie nie występuje. Stwierdzenie to odnosi się do stanu na dzień dzisiejszy i opiera się głównie na statystyce właściwości wytrzymałościowych śrub. Oznacza to, że obecnie o tej ocenie decyduje pole rozrzutu statystycznego nośności trzpienia śrub. O zniszczeniu decyduje „najsłabsze ogniwo”, którym obecnie z reguły pozostaje nośność trzpienia. Występująca sytuacja jest stabilna, lecz należy mieć na uwadze, iż proces korozji łbów śrub nie został zatrzymany.

Znane są przypadki, że śruby z podobnie dużymi uszkodzeniami korozyjnymi nie ulegały zniszczeniu wskutek ścięcia osłabionego łba, lecz prawidłowemu zerwaniu trzpienia albo części gwintowanej śruby, spełniając normowy warunek nośności przekraczającej 322 kN.

W przypadku osiągnięcia przez łeb śruby objętości poniżej 50 cm³ prawdopodobieństwo wystąpienia zniszczenia wskutek ścięcia łba jest jednak dość duże. W sytuacji, gdy o nośności śruby decyduje przekrój ścinany łba o nieregularnym profilu, często z faktycznym lokalnym zanikiem jego wysokości, ryzyko uruchomienia w bliskiej przyszłości mechanizmu

zniszczenia przez ścięcie łba przy sile o wartości niższej od 322 kN dla śrub M39 lub 369,9 kN dla śrub M42 staje się bardzo realne. Jest wysoce prawdopodobne, że w śrubach o stopniu skorodowania łbów podobnym do stwierdzonego w około 60% pobranych z obudowy śrub, postępujący spadek powierzchni przekroju ścinanego może spowodować w ciągu kilku najbliższych lat obniżenie nośności łba o 1/3-1/2 w stosunku do wartości określonych obecnie. To stworzyłoby sytuację zaniku znacznej części aktualnego zapasu nośności śrub.

Literatura

- FABICH i in. 2015 - Ekspertyza stanu złączy śrubowych w obudowie tubinowej w szybie SW-3. Praca KGHM Cuprum Sp. z o.o. CBR, Wrocław.
- WARSZYŃSKI M. 1978 - Niezawodność w obliczeniach konstrukcyjnych, PWN, Warszawa.
- BIEGUS A. 1996 - Podstawy probabilistycznej analizy bezpieczeństwa konstrukcji, OW PWr, Wrocław.
- VOLK W. 1973 - Statystyka stosowana dla inżynierów, WNT, Warszawa.
- PN-EN ISO 898-1:2001 - Własności mechaniczne części złącznych wykonanych ze stali węglowej oraz stopowej. Śruby i śruby dwustronne.
- PN-88/H-84020 - Stal niestopowa konstrukcyjna ogólnego przeznaczenia – Gatunki.
- PN-EN 10002-1 - Metale. Próba rozciągania. Część 1: Metoda badania w temperaturze otoczenia.
- PN-EN ISO 4016 - Śruby z łbem sześciokątnym. Klasa dokładności C.
- PN-ISO 261 - Gwinty metryczne ISO ogólnego przeznaczenia. Układ ogólny.
- PN-ISO 965-1: Gwinty metryczne ISO ogólnego przeznaczenia. Tolerancje. Część 1: Zasady i dane podstawowe.

Artykuł wpłynął do redakcji – kwiecień 2018
Artykuł akceptowano do druku 11.07.2018

Szanowni Czytelnicy!

Przypominamy o wznowieniu

prenumeraty „Przeglądu Górniczego”

Informujemy też, że od 2009 roku w grudniowym zeszycie P.G. zamieszczamy listę naszych prenumeratorów.