

Zbigniew **RACZYŃSKI**
Jacek **SPAŁEK**

DOŚWIADCZALNE OKREŚLENIE WPLYWU KSZTAŁTU ŁBA ŚRUB MOCUJĄCYCH ŁOŻYSKO OBROTNICY ŻURAWIA NA WYSTĘPUJĄCE W NICH NAPRĘŻENIA MONTAŻOWE

Streszczenie: W opracowaniu przedstawiono problem wpływu kształtu łba śrub mocujących łożysko obrotnicy do podstawy żurawia na występujące w nich naprężenia wywołane momentem dokręcającym. Wykazano doświadczalnie, że wartość tych naprężeń wpływa istotnie na czułość określenia momentu obciążenia roboczego żurawia, wyznaczonego poprzez pomiar szczeliny pomiędzy czołową powierzchnią wieńca łożyskowego a płaszczyzną podstawy żurawia.

1. WSTĘP

Dźwignice, dla których wymaga się udowodnienia stateczności, tj. żurawie powinny być wyposażone w ograniczniki obciążenia, wyłączające po przekroczeniu dopuszczalnego obciążenia dźwignicy wszystkie ruchy robocze, oprócz opuszczania ładunku i ruchów zmniejszających moment wywracający. Ogranicznik obciążenia powinien zadziałać przy przekroczeniu obciążenia nominalnego o wartość nie większą niż 15% [1].

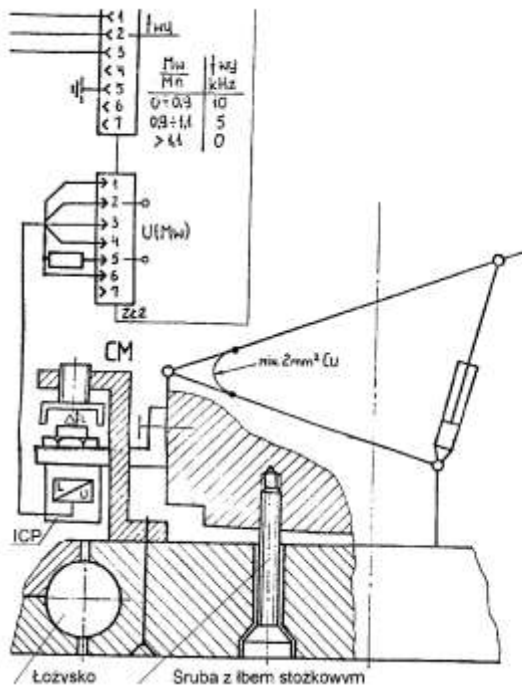
Obecnie w ogranicznikach obciążenia wykorzystuje się wiele metod pomiaru momentu wyrotu żurawia. Powszechnie stosowany jest np. pomiar ciśnienia w cylindrze podnośnika żurawia nad i pod tłoczyskiem oraz pomiar kąta pochylenia i długości wysięgnika, a następnie przeliczanie uzyskanych parametrów przez sterownik mikroprocesorowy na moment obciążenia żurawia. [2].

W wojskowych pojazdach zabezpieczenia technicznego WZT-3 użytkowanych przez Wojsko Polskie stosuje się ograniczniki obciążenia [1], w których zastosowano bezpośrednią metodę pomiaru momentu obciążenia żurawia, polegającą na pomiarze wielkości szczeliny pomiędzy podstawą żurawia, a płaszczyzną osadczą obudowy łożyska obrotnicy (rys. 1). Wykorzystano tutaj fakt, że pod wpływem momentu obciążenia działającego na wysięgnik żurawia, w śrubach mocujących obudowę łożyska wysięgnika do podstawy powstają dodatkowe naprężenia rozciągające σ . Zgodnie z prawem Hooke'a, pod wpływem naprężeń, śruby ulegają wydłużeniu względnemu o wartość $\varepsilon = \Delta l/l = \sigma/E$, gdzie: E – moduł Younga.

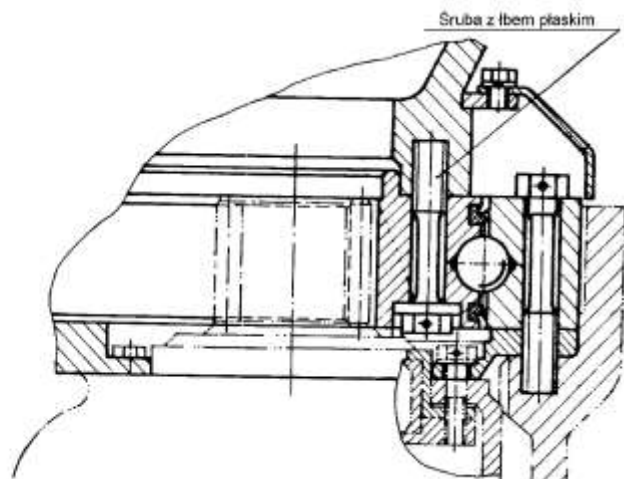
Do 1991 roku w żurawiach TD50 pojazdu WZT-3 do mocowania obudowy łożyska obrotnicy do podstawy stosowane były śruby M20x2 z łbem stożkowym, dokręcane momentem 250^{+30} Nm (rys. 1a). Szczelina Δl przy podstawie żurawia mierzona była indukcyjnym czujnikiem przesunięcia ICP [3] względem nieruchomej zwory czujnika momentu CM.

Przeprowadzone badania wykazały, że w tym rozwiązaniu elektronicznego ogranicznika obciążenia, w zakresie momentu obciążenia powyżej 50%, wartość nominalnej szczeliny przy podstawie mocowania łożyska zmienia się liniowo w funkcji momentu obciążenia. Podkreślić należy przy tym, że uzyskiwany przyrost bezwzględny szczeliny Δl zależy również od momentu wstępnego dokręcenia śrub mocujących obudowę łożyska. Przy zmianie momentu obciążenia roboczego w granicach do 100%, uzyskuje się szczelinę Δl rzędu $(0,12 \pm 0,22)$ mm. Takie wartości szczeliny Δl łatwo można przetworzyć na sygnał elektryczny momentu, wykorzystywany przez elektroniczny ogranicznik obciążenia.

a)



b)



Rys. 1. Fragment posadowienia obudowy łożyska żurawia:

a - mocowanego śrubami z łbem stożkowym ze szkicem toru pomiarowego momentu obciążenia ogranicznika, b - mocowanego śrubami z łbem płaskim.

W 1992 roku została wprowadzona zmiana konstrukcyjna podstawy żurawia, w wyniku czego śruby z łbem stożkowym zastąpiono śrubami M20x2 z łbem walcowym (rys. 1b).

Okazało się, że śruby z łbem walcowym (dokręcane tym samym momentem 250 Nm co śruby z łbem stożkowym), pod wpływem działania znamionowego momentu obciążenia ulegają prawie dwukrotnie mniejszemu wydłużeniu, niż śruby z łbem stożkowym stosowane w poprzednich wersjach żurawi. Pogorszyło to znacznie dokładność przetwarzania ogranicznika obciążenia. Aby ocenić występujące zjawisko, obydwa rodzaje śrub poddano badaniom modelowym.

W niniejszym artykule zostaną przedstawione wybrane fragmenty rozważań teoretycznych i otrzymanych wyników badań przy zastosowaniu obydwu rodzajów śrub.

2. ANALIZA TEORETYCZNA STANU NAPRĘŻEŃ W ŚRUBACH MOCUJĄCYCH ŁOŻYSKO WIĘNCOWE DO PODSTAWY ŻURAWIA

W analizie stanu naprężeń w śrubach złączy wyróżnia się kilka charakterystycznych przypadków obciążenia [4]. Rozpatrywane zagadnienie jest przypadkiem złożonym, w którym śruby złącza: łożysko wieńcowe – podstawa obciążone są siłą wzdłużną montażową F_W , a następnie dodatkowo siłą F_R wynikającą z oddziaływania zewnętrznego obciążenia roboczego.

W rozważanej sytuacji, w wyniku działania momentu roboczego M_R połowa śrub ulega dodatkowemu działaniu siły rozciągającej ($+F_R$) a połowa jest ściskana siłą ($-F_R$). Naprężenia wynikowe w śrubach zależą zarówno od naprężeń wstępnych σ_c zwanych też montażowymi, jak i od naprężeń roboczych σ_r . Okazuje się, że naprężenia wynikowe σ_c nie są prostą sumą arytmetyczną $\sigma_w + \sigma_r$ lecz do ich wyznaczenia należy użyć formuły ogólnej o postaci:

$$\sigma_c = \sigma_w + \lambda |\sigma_r| \quad (1)$$

gdzie: λ - współczynnik sztywności złącza uwzględniający sztywność trzpienia śruby C_s oraz sztywność tzw. kołnierza C_k związanych zależnością:

$$\lambda = \frac{C_s}{C_s + C_k} \quad (2)$$

Łatwo zauważyć, że współczynnik sztywności złącza śrubowego spełnia warunek $\lambda \leq 1$. Wyznaczenie sztywności rdzenia śruby C_s nie przedstawia trudności, gdyż przyjmując liniową zależność pomiędzy naprężeniem σ a odkształceniem względnym ε (prawo Hooke'a), dla przypadku rozciągania otrzymujemy:

$$C_s = \frac{l_s}{E \cdot A_s} \quad (3)$$

gdzie: E - moduł sprężystości dla materiału śruby,
 A_s - pole przekroju poprzecznego śruby,
 l_s - długość trzpienia śruby (bez łba śruby).

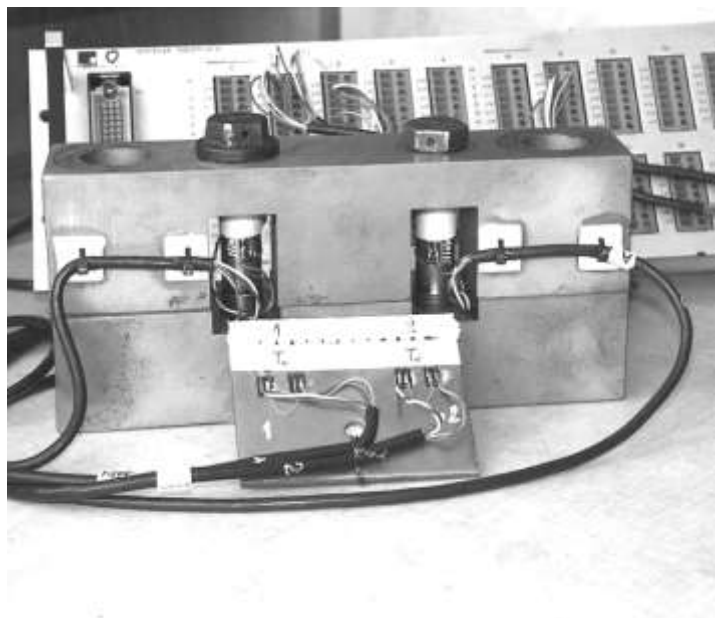
Natomiast wyznaczenie sztywności łączonych elementów jest trudne, gdyż nie można w prosty sposób wyznaczyć sztywności kołnierzy C_k , która wiąże się z określeniem tzw. stożka wpływu uwzględniającego oddziaływanie łba śruby na powierzchnie łączone. Zagadnienie to można rozwiązać numerycznie dla konkretnej postaci konstrukcyjnej łączonych elementów i łba śruby.

W analizowanym przypadku można stwierdzić ogólnie, że sztywność kołnierza dla śrub z łbem stożkowym będzie większa niż dla kontaktu z kołnierzem śrub posiadających łeb walcowy. Skutkiem tego są mniejsze naprężenia rozciągające w śrubie, a zatem i mniejsze wydłużenie względne ε (mniejsza wartość szczeliny Δl).

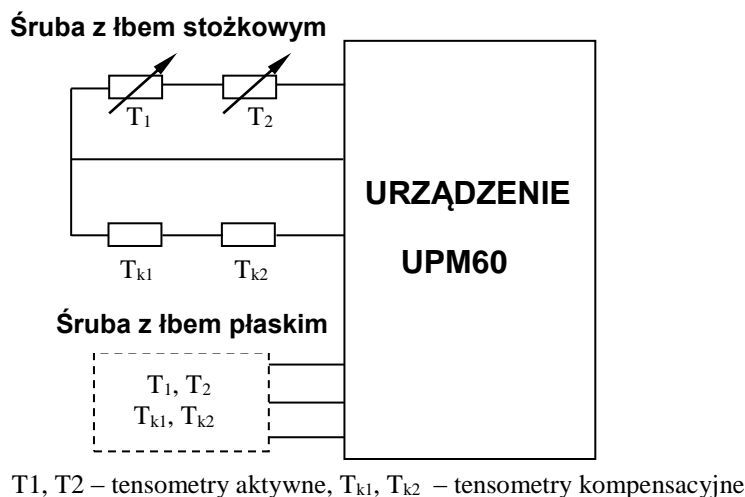
Zatem aktualnie najlepszą metodą rozwiązania zagadnienia naprężeń w śrubach złączy z tzw. napięciem wstępnym, jest ich wyznaczenie na drodze badań doświadczalnych.

3. DOŚWIADCZALNE WYZNACZENIE NAPREŻEŃ W ŚRUBACH

Aby określić odkształcenia dla obydwu rodzajów śrub żurawia, wykonano specjalny model urządzenia badawczego (rys. 2). Na gładkich powierzchniach śrub naklejono po dwa tensometry T1 i T2, które w układzie półmostkowym podłączono do dwóch kanałów urządzenia pomiarowego UPM60, mierzącego wydłużenie względne $\varepsilon_i = \Delta l_i / l$ badanych śrub (rys. 3).



Rys. 2. Model urządzenia badawczego śrub



Rys. 3. Schemat podłączenia tensometrów do urządzenia UPM60

Po zamontowaniu badanych śrub w urządzeniu badawczym i wyzerowaniu obydwu kanałów, śruby dokręcano znanym momentem w zakresie (150÷300) Nm, rejestrując każdorazowo mierzone wydłużenia względne śrub.

Korzystając z zależności prawa Hooke'a, obliczono naprężenia σ w badanych śrubach. Do obliczeń przyjęto moduł Younga dla stali $E = 2,1 \times 10^5$ MPa.

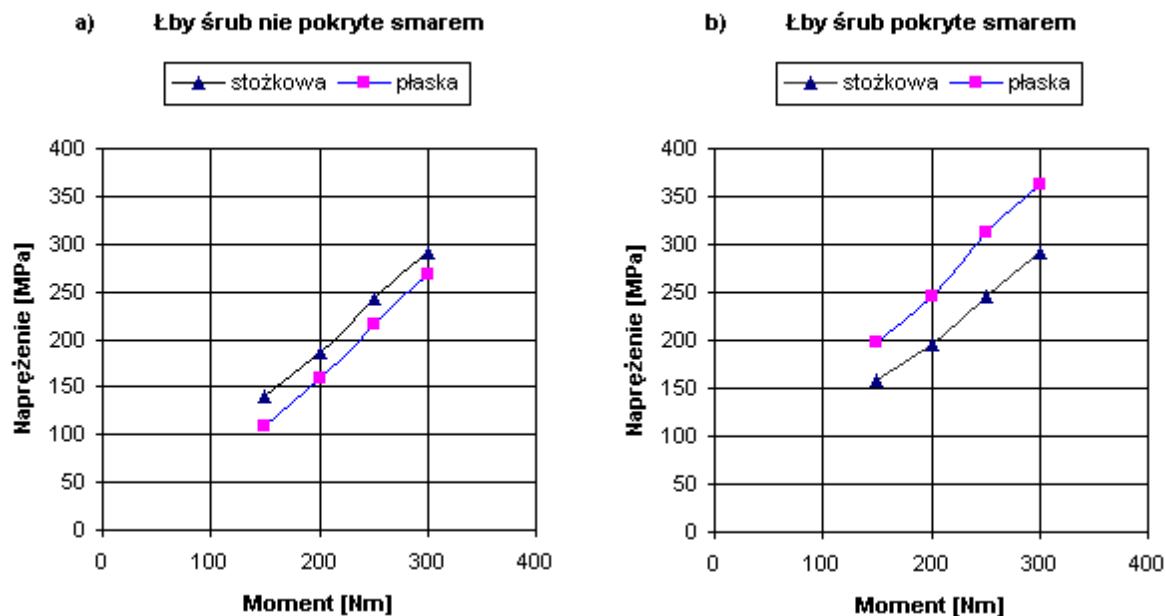
Pomiary naprężeń badanych śrub wykonano dla dwóch przypadków:

- gwint śrub pokryty smarem, łby śrub (powierzchnie robocze) były suche,
- całe śruby były pokryte smarem.

Wyniki pomiarów przedstawiono w tablicy 1, a ich ilustrację graficzną na rys. 4.

Tablica 1. Wyniki pomiarów naprężeń w śrubach.

Lp	Śruba z łbem stożkowym		Śruba z łbem walcowym		Moment dokręcenia [Nm]	Uwagi
	ϵ [$\mu\text{m}/\text{m}$]	σ [MPa]	ϵ [$\mu\text{m}/\text{m}$]	σ [MPa]		
1	0	0	0	0	0	
2	667	140,1	523	109,8	150	Tylko gwint śrub pokryte smarem
3	890	186,9	763	160,2	200	
4	1159	243,4	1025	215,6	250	
5	1385	290,9	1280	268,8	300	
6	0	0	0	0	0	
7	751	157,7	942	197,8	150	Gwint i łby śrub pokryte smarem
8	931	195,5	1172	246,1	200	
9	1167	245,1	1486	312,1	250	
10	1390	291,9	1728	362,9	300	



Rys. 4. Charakterystyki naprężeń w śrubach z łbem płaskim i stożkowym:
a - gwint smarowany, łby śrub nie pokryte smarem,
b - gwint i łby śrub smarowane

4. OMÓWIENIE OTRZYMANYCH WYNIKÓW BADAŃ

Z analizy otrzymanych pomiarów wynika, że:

- w trzpieniu śruby z łbem stożkowym naprężenia występujące w części roboczej śruby praktycznie nie zależą od tego, czy łeb śruby jest pokryty smarem, czy też jest niesmarowany,
- w śrubie z łbem płaskim, naprężenia w części roboczej śruby zależą od stanu płaskiej powierzchni kontaktu z podłożem. Posmarowanie płaskiej części łba śruby smarem, powoduje przeniesienie większej części momentu dokręcenia na część roboczą, a w konsekwencji znaczące zwiększenie naprężeń występujących w śrubie.

W omawianym przypadku, w śrubie z łbem walcowym pokrytym smarem na całej powierzchni, przy momencie 250 Nm naprężenia są ok. 45% większe, w porównaniu ze śrubą z łbem płaskim nie pokrytym smarem.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Stosowanie w starszych wersjach żurawi śrub z łbem stożkowym, mocujących wieniec łożyska do podstawy żurawia, zapewniło stabilniejsze wskazania elektronicznego ogranicznika obciążenia, niż w obecnie stosowanych wersjach żurawi ze śrubami z łbem walcowym.

Zastosowanie śrub z łbem płaskim, mocujących łożysko żurawia, narzuca konieczność bezwzględnego smarowania całej powierzchni śruby, aby zachować powtarzalność charakterystyk naprężeń, a co za tym idzie - charakterystyk pomiarowych szczeliny w podstawie żurawia od momentu jego obciążenia.

Ponieważ przy tym samym momencie dokręcenia śrub, naprężenia w śrubie z łbem walcowym są większe, niż naprężenia w śrubie z łbem stożkowym (rys. 5b), to dla otrzymania tej samej szczeliny, potrzebnej do określenia momentu indukcyjnym czujnikiem przesunięć ogranicznika obciążenia, śruby te powinny być smarowane na całej powierzchni i należy je dokręcać zmniejszonym momentem rzędu 200 Nm.

6. LITERATURA

- [1] PN-90/M-45013. Dźwignice. PKNMiJ, Warszawa 1990.
- [2] Elektryczny system sterowania i zabezpieczeń żurawia TD-50 z mikroprocesorowym ogranicznikiem obciążenia MAK 1.2. Instrukcja obsługi. STK Serwis Techniczny.
- [3] Elektroniczny Ogranicznik Obciążenia EO.101. Dokumentacja Techniczna.
- [4] Badania poznawcze śrub z łbem stożkowym TD50.00.014-A i śrub z łbem płaskim TD50.00.014-2. Prace własne (nie publikowane). OBRUM, Gliwice 09.2002r.

INFLUENCE OF SHAPE OF HEAD OF SCREW FASTENING BEARING OF CRANE ON TENSIONS CALLED OUT WITH MOMENT SCREWING TIGHT

Abstract: The paper characterized problem of influence of change of shape of head of screw fastening bearing of crane to bases, on change of initial tensions in screws fastening bearing. In consequence follows change of tenderness of measurement of moment of charge of crane, measured on rule of measurement of crevice coming into being in base of crane under influence of moment of charge.

Recenzent: dr inż. Andrzej SZAFRANIEC