

ALFRED CARBOGNO

BADANIA ZMĘCZENIOWE OSOBOWYCH KRZESEŁEK KOLEJEK LINOWYCH

Streszczenie. Wprowadzenie do eksploatacji nowych konstrukcji krzesełek osobowych kolejek linowych wymaga przeprowadzenia badań zmęczeniowych. W artykule omówiono metody badań zmęczeniowych konstrukcji nośnej krzesełek oraz podano wyniki badań przeprowadzonych w Katedrze Mechanizacji Górnictwa.

1. Wstęp

Rozwój turystyki górskiej spowodował konieczność budowania coraz to nowych osobowych kolejek linowych, szczególnie kolejek lekkich posiadających jedno lub dwuosobowe krzesełka. Ostatnio ten rodzaj transportu znalazł także szerokie zastosowanie do przewozu załogi w kopalniach podziemnych i odkrywkowych.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa jazdy, wymagane jest przeprowadzenie badań zmęczeniowych krzesełek. W praktyce stosuje się dwie metody badań zmęczeniowych krzesełek.

- A. Na podstawie wielkości naprężeń powstających w krzesełku podczas ruchu kolejki przyjmuje się naprężenia dynamiczne do laboratoryjnych badań zmęczeniowych. Krzesełko nie jest badane w całości, lecz tylko określone jego elementy wycina się i umieszcza w pulsatorze laboratoryjnym [1]
- B. Krzesełko umieszczone w stoisku pomiarowym poddaje się działaniu zewnętrznych sił dynamicznych, uzyskiwanych za pomocą pulsatora bezwładnościowego umieszczonego na siedzeniu krzesełka lub za pomocą pulsatora hydraulicznego ciągnącego krzesełko od spodu [3].

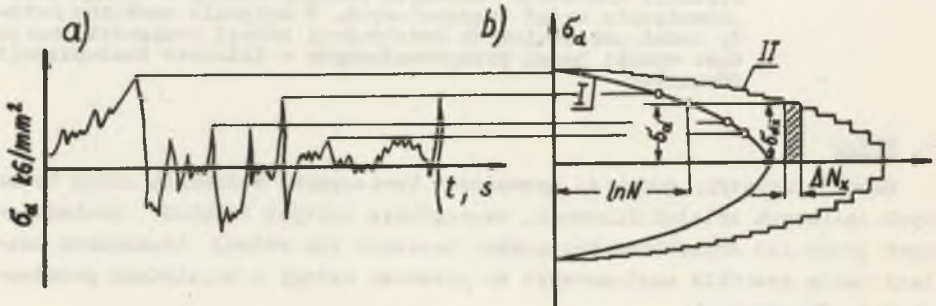
2. Badanie zmęczeniowe krzesełka wg metody A

Podczas ruchu kolejki badane krzesełko obciążone jest jedną lub dwoma osobami w zależności od przeznaczenia, natomiast aparaturę pomiarową umieszcza się na sąsiednim krzesełku. Naprężenia mierzy się za pomocą czujników tensometrycznych. W czasie ruchu kolejki rejestruje się naprężenia powstałe w krzesełku:

- a) przy jeździe w przelocie między podporami,
- b) przy przejeździe przez podporę,
- c) przy przejeździe przez stacje końcowe.

Na podstawie otrzymanego wykresu zmian naprężeń występujących w czasie ruchu kolejki dla danego elementu krzesełka wykreśla się krzywą częstotliwości powstawania poszczególnych amplitud naprężeń $\sigma_d = f(N)$, gdzie N - ilość

występowania danego σ_d - krzywa I rys. 1b w ciągu całego założonego okresu pracy elementu. Krzywa ta wykreślona dla dostatecznie wielkiej ilości zmian obciążeń tworzy parabolę rozłożoną najczęściej symetrycznie względem osi x . Na podstawie tej krzywej wykreśla się krzywą sumarycznego przekroczenia naprężeń σ_d - krzywa II rys. 1b. Ta krzywa II stanowi podstawę do badań zmęczeniowych za pomocą pulsatorów laboratoryjnych. Dla ułatwienia badań krzywą II zastępuje się linią schodkową. Szczegółowy opis tej metody przedstawiono w literaturze [1].



Rys. 1. a - wykres obciążeń dynamicznych podczas pracy elementu krzeszełka
b - krzywe I i II częstości występowania obciążenia dynamicznego w jednym cyklu obciążeń i w okresie pracy

3. Badanie zmęczeniowe krzeszełek wg metody B

Według tej metody przeprowadzono badania zmęczeniowe krzeszełek jednoosobowych i dwuosobowych w laboratorium Katedry Mechanizacji Górniczo. Krzeszełka wraz z wprzęgłem umieszczano w stojaku rys. 2 w położeniu odpowiadającym zawieszeniu na linie kolejki. Tak zawieszono krzeszełko obciążono siłą statyczną w zależności od tego czy krzeszełko było jedno lub dwuosobowe. W wybranych miejscach konstrukcji naklejono tensometry oporowe. Przy ww. obciążeniu dokonano pomiarów naprężeń i ugięć statycznych. Po wykonaniu tych pomiarów krzeszełko poddano działaniu pulsatora bezwładnościowego przeciwniebieżnego z dwoma jednakowymi nieważonymi masami, dającego pionową siłę dynamiczną obu stronnie zmienną. W wibratorach tych powstające podczas ruchu mas nieważonych składowe poziome siły wymuszającej znoszą się, podczas gdy pionowe składowe sumują się tak, że całkowita siła wymuszająca jest równa,

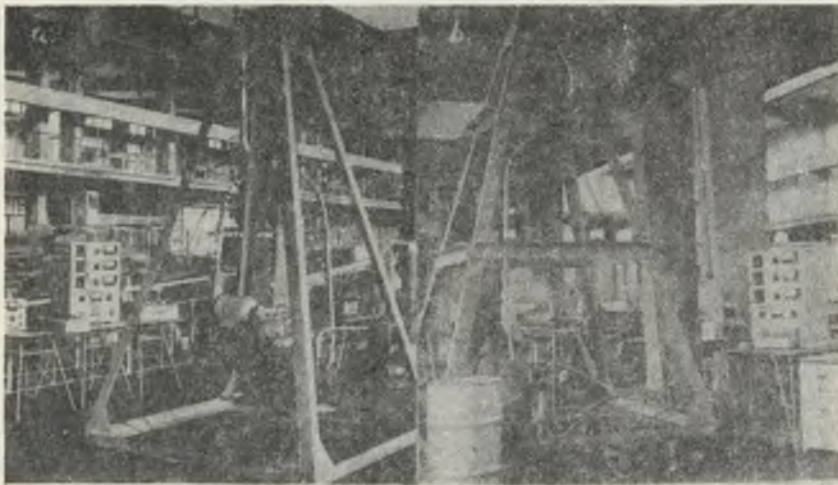
$$P = P_0 \sin \omega t = 2 m_0 r \cdot a^2 \sin \omega t \quad (1)$$

gdzie:

P_0 - stała amplituda siły wymuszającej,

ω - częstotliwość kołowa siły wymuszającej,

- $2 m_0$ - całkowita masa wirująca,
 r - promień masy wirującej.



Rys. 2. Widok stanowisk badawczych krzesełek

- a) przy użyciu wibratora bezwładnościowego, b) przy użyciu pulsatora hydraulicznego

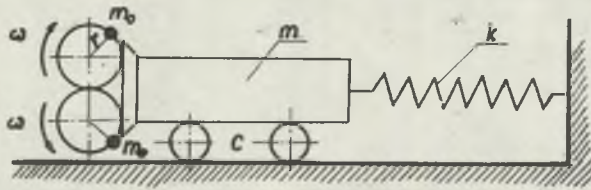
Przy tym sposobie obliczeń przyjęto, że krzeszko odzwierciedla element sprężysty, więc siła obliczona w wzorze (1) jest według teorii drgań "pozorną siłą wzbudzenia". Rzeczywistą siłę wzbudzenia określa związek, który ujmuje wpływ masy drgającej m , stałej sprężystości układu k oraz wpływ tłumienia c [2]

$$P = 2m_0 r \cdot \omega^2 \cdot \sqrt{\frac{c^2 \omega^2 + (k - m \omega^2)^2}{c^2 \omega^2 + (k - m \omega^2 - m_0 \omega^2)^2}} \quad (2)$$

gdzie:

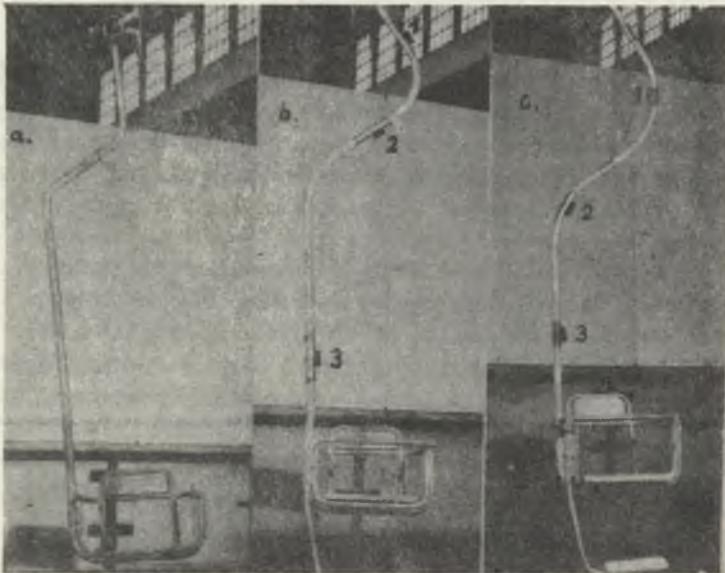
- $2 m_0 = 0,0224 \frac{\text{kg} \cdot \text{a}^2}{\text{cm}}$ - całkowita masa wirująca,
 $r = 1,3 \text{ cm}$ - promień masy wirującej,
 $\omega = 74 \text{ sek}^{-1}$ - częstość kołowa siły wymuszającej,
 k - stała sprężystości,
 m - całkowita masa drgająca,
 c - współczynnik tłumienia.

Badania prowadzono aż do uzyskania 6×10^6 zmian obciążeń siły wymuszającej. Punkt podparcia wpręgła krzeselka był podporą stałą. Schemat napędu bezwładnościowego przedstawiono na rys. 3. Przy użyciu wibratora bezwładnościowego przeprowadzono badania krzeselków jednosobowych, przedstawionych na rys. 4 oraz dwuosobowych rys. 5. W kraju do niedawna stosowano krzeselka jednosobowe konstrukcji firmy Bleichert rys. 4a i 4b. Po wprowadzeniu do eksploatacji krzeselków jednosobowych własnej konstrukcji, krzeselka firmy Bleichert zostały wycofane. Obecnie wprowadza się do eksploatacji krzeselka zaprojektowane przez "Mostostal" Zabrze rys. 4c. W krzeselku tym zmieniono nieco kształt rury nośnej oraz zastosowano bardziej bez-



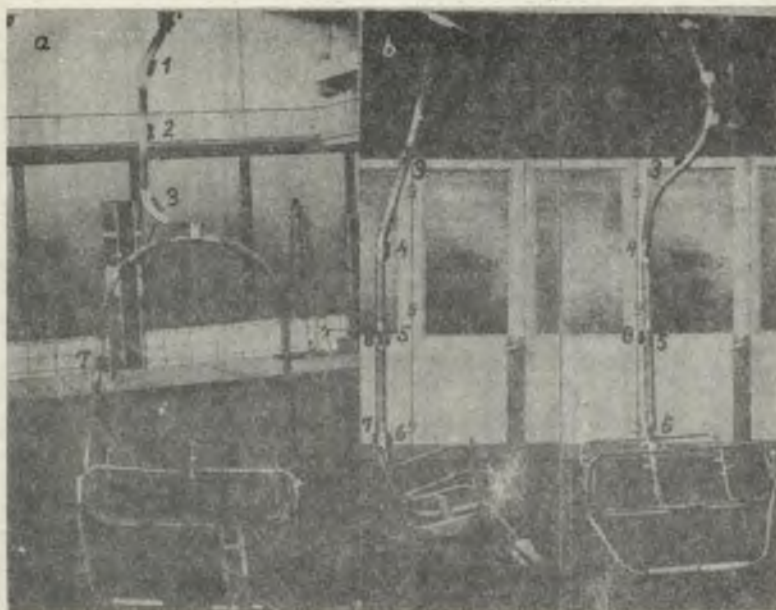
Rys. 3. Schemat napędu bezwładnościowego

$2m_0$ - masa wirująca, m - masa drgająca, k - stała sprężystości, c - współczynnik tarcia



Rys. 4. Badane krzeselka jednoosobowe

a) firmy Bleichert, b) to samo po zmianie kształtu rury nośnej, c) prototypowe konstrukcji "Mostostal"



Rys. 5. Badane krzesełka dwuosobowe kolejki

a) w WPK i W Katowice oraz na "Hali Goryczkowej", b) na "Czantorię"

pieczne zamki w porównaniu do zamków krzesełek firmy Bleichert. Badania dynamiczne krzesełek jednoosobowych rys. 4a i b przeprowadzono przy ich obciążeniu statycznym $P_g = 280$ kG oraz sile dynamicznej pulsatora $P_d = 160$ kG, a krzesełka przedstawionego na rys. 4c przy obciążeniu statycznym $P_g = 170$ kG i sile dynamicznej wibratora $P_d = 160$ kG, 100 kG, 60 kG. W badaniach przyjęto zgodnie z przepisami ciężar jednego pasażera 80 kG.

Przykładowo - wyniki pomiarów ugięć oraz naprężeń statycznych krzesełek jednoosobowych przedstawiono w tabelicy 1.

Badane krzesełka dwuosobowe różniły się między sobą konstrukcją rury nośnej. Krzesełko dwuosobowe rys. 5a posiadało konstrukcję dwuczłonową. Krzesełka te były obciążane podczas badań dynamicznych siłą statyczną $P_g = 390$ kG oraz siłą dynamiczną wibratora $P_d = 230$ kG. Wyniki badań statycznych krzesełek dwuosobowych przytoczono w tabelicy 2, a badań dynamicznych w tabelicy 3.

Badania zmęczeniowe krzesełek przy użyciu będącego do dyspozycji wibratora bezwładnościowego miały szereg niedogodnień. Mianowicie zgodnie z teorią drgań wielkość siły wzbudzenia wibratora zależy od prędkości kątowej poruszających się mas. Stosowany do badań wibrator nie posiadał możliwości płynnej regulacji częstotliwości siły wzbudzającej. Zmianę częstotliwości siły wymuszającej osiągnano przez zmianę przekładni pasowej oraz do-

Tablica 1

Wyniki pomiarów ugięcia oraz naprężeń statycznych σ_B w konstrukcji krzeszełek jednoosobowych przedstawionych na rys. 4b i c dla różnego obciążenia statycznego P_{st} (+) - rozciąganie, (-) ściskanie

Punkt pomiarowy	40 kg	80 kg	120 kg	160 kg	280 kg	240 kg	340 kg
	σ_B kg/cm ²	σ_B kg/cm ²	σ_B kg/cm ²	σ_B kg/cm ²	σ_B kg/cm ²	σ_B kg/cm ²	kg/cm ²
	c)	c)	c)	c)	b)	c)	c)
1	+134	+508	+860	+1140	-1310	+1670	+2380
2	+122	+332	+598	+795	-634	+1170	+1630
3	+163	+365	+665	+900	+2017	+1390	+2010
Ugięcia statyczne mm	3	9	14	21	33	25	34

Tablica 2

Wyniki pomiarów ugięcia oraz naprężeń statycznych σ_g w konstrukcji krzesełek dwuosobowych przedstawionych na rys. 5a i b dla różnego obciążenia statycznego P_g , (+) rozciąganie, (-) ściskanie

Punkt pomiarowy	160 kg		230 kg		390 kg		620 kg	
	σ_g kg/cm		σ_g kg/cm		σ_g kg/cm ²		σ_g kg/cm ²	
	a)	b)	a)	b)	a)	b)	a)	b)
1	+ 575	- 340	+ 933	- 590	+ 1577	- 874	+ 2475	- 1398
2	+ 571	- 424	+ 815	- 683	+ 1433	- 1061	+ 2123	- 1718
3	+ 573	+ 306	+ 758	+ 395	+ 1281	+ 746	+ 1987	+ 960
4	+ 12	+ 576	+ 38	+ 819	+ 42	+ 1659	+ 121	+ 2163
5	- 15	+ 557	+ 21	+ 777	- 2,1	+ 1628	+ 44	+ 2131
6	+ 143	+ 634	+ 260	+ 882	+ 550	+ 1796	+ 855	+ 2394
7	+ 74	- 441	+ 76	- 618	+ 77	- 1236	+ 178	- 1804
8	-	+ 67	-	70	-	+ 237	-	+ 256
Ugięcie statyczne mm	5	8	10	12	15	18	20	28

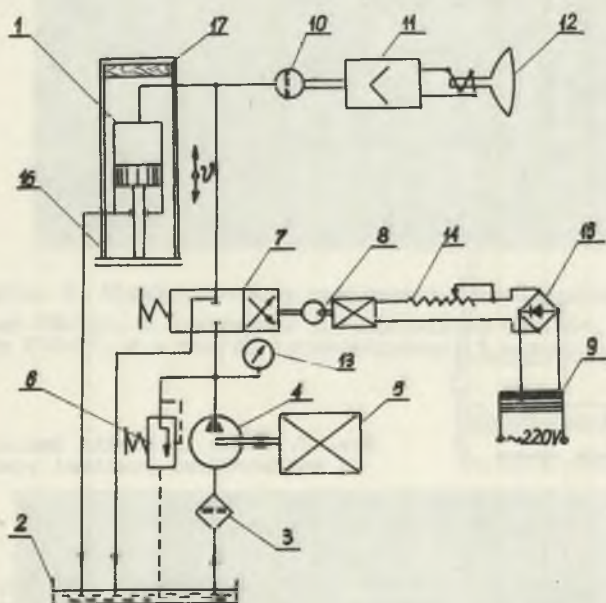
Tablica 3

Wartości naprężeń występujących podczas badań dynamicznych krzeszelek dwuosobowych, przedstawionych na rys. 5a i b. Naprężenia minimalne σ_{\min} oraz maksymalne σ_{\max} podano w kg/cm^2

Obciążenie statyczne krzeszelek $P_g = 390 \text{ kg}$, siła dynamiczna wibratora $P_d = 230 \text{ kg}$,
(+) rozciąganie, (-) ściskanie

Punkt pomiarowy	Włączenie wibratora				Ruch ustalony				Włączenie wibratora			
	krzeszełko 5a		krzeszełko 5b		krzeszełko 5a		krzeszełko 5b		krzeszełko 5a		krzeszełko 5b	
	σ_{\min}	σ_{\max}	σ_{\min}	σ_{\max}	σ_{\min}	σ_{\max}	σ_{\min}	σ_{\max}	σ_{\min}	σ_{\max}	σ_{\min}	σ_{\max}
1	+ 1243	+ 1911	- 1353	- 395	+ 1370	+ 1783	- 1162	- 586	+ 580	+ 2574	- 1562	- 186
2	+ 1163	+ 1700	- 1771	- 351	+ 1290	+ 1580	- 1509	- 613	+ 474	+ 2392	- 2021	- 101
3	+ 993	+ 1569	+ 494	+ 998	+ 1197	+ 1369	+ 571	+ 921	+ 286	+ 2276	+ 293	+ 1199
4	- 218	+ 302	+ 1500	+ 1818	- 172	+ 256	+ 1543	+ 1775	- 53	+ 137	+ 1429	+ 1889
5	-	-	+ 1482	+ 1773	-	-	+ 1543	+ 1713	-	-	+ 1407	+ 1849
6	+ 319	+ 781	+ 1592	+ 2000	+ 382	+ 720	+ 1700	+ 1900	+ 322	+ 778	+ 1423	+ 2169
7	+ 37	+ 117	-	-	+ 52	+ 102	-	-	+ 4	+ 150	-	-

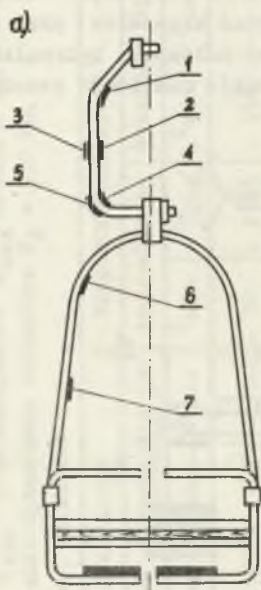
bór silnika o innych obrotach, co było bardzo pracochłonne oraz zawierało się w pewnych sztywnych granicach. Celem uniknięcia powyższych kłopotów, zaprojektowano oraz wybudowano stanowisko do badań krzesełek przy użyciu pulsatora hydraulicznego rys. 2b. Schemat ideowy pulsatora hydraulicznego przedstawiono na rys. 6a. W pulsatorze tym istnieje możliwość bezstopnio-



Rys. 6. Schemat ideowy pulsatora hydraulicznego

1 - siłownik, 2 - zbiornik oleju, 3 - filtr ssawny, 4 - pompa zębata, 5 - silnik napędowy pompy zębatej, 6 - zawór przelewowy, 7 - rozdzielacz, 8 - układ sterowania rozdzielacza, 9 - autotransformator, 10 - manometr ciśnieniowy oleju, 11 - wzmacniacz, 12 - oscylograf pętlicowy, 13 - manometr, 14 - oprornica suwakowa, 15 - prostownik, 16 - ciężko siłownika, 17 - krzesełko

wej regulacji częstotliwości siły wymuszającej. Za pomocą tego pulsatora przebadano krzesełko dwuosobowe, którego szkic wraz z zaznaczonymi punktami pomiarowymi przedstawiono na rys. 7. Krzesełko to podczas badań dynamicznych było obciążone statycznie siłą 160 kG oraz siłą dynamiczną zmieniającą się od 0 do 460 kG. Widok aparatury wzmacniająco-rejestrującej przedstawiono na rys. 8. Wyniki badań dynamicznych krzesełka dwuosobowego przy użyciu pulsatora hydraulicznego zebrano w tabelicy 4.



Rys. 7. Szkic krzesła dwuosobowego wraz z zaznaczonymi punktami pomiarowymi

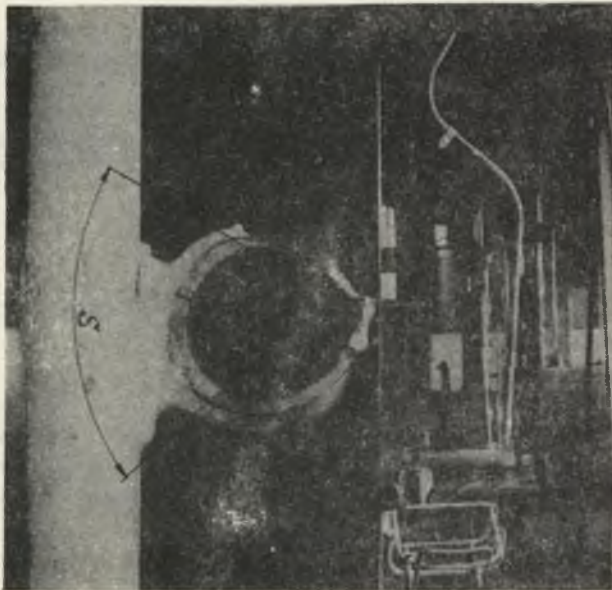
Tablica 4

Wyniki naprężeń dynamicznych w punktach pomiarowych krzesła pokazanego na rys. 7, przy częstotliwości siły dynamicznej pulsatora hydraulicznego $f = 8,5$ Hz. Obciążenie statyczne krzesła $P_s = 160$ kG, obciążenie dynamiczne $P_d = 0$ do 460 kG

Punkt pomiarowy	σ_s kG/cm ²	σ_{min} kG/cm ²	σ_{max} kG/cm ²	σ_m kG/cm ²	$\pm \sigma_a$ kG/cm ²
1	+ 545	+ 545	+ 1911	+ 1228	683
2	+ 505	+ 505	+ 1763	+ 1134	629
3	- 483	- 483	- 1659	- 1071	588
4	+ 505	+ 505	+ 2100	+ 1303	797
5	- 420	- 420	- 1550	- 985	565
6	+ 15	+ 15	+ 45	+ 30	15
7	+ 105	+ 105	+ 399	+ 252	147



Rys. 8. Widok aparatury pomiarowej i zasilającej
1 - wzmacniacz UM-121, 2 - skrzynki przełącznikowe UMM-161, 3 - oscylograf pętlicowy K12-21, 4 - mostek tensometryczny, 5 - oscylograf RAP-4



Rys. 9. Widok zerwanego krzesełka
s - wielkość pęknięcia rury nośnej

4. Zakończenie

Przeprowadzone po raz pierwszy w kraju badania statyczne i dynamiczne krzesełek kolejek linowych rzuciły pewne światło na ich trwałość zmęczeniową. Badane krzesełka jednoosobowe oraz dwuosobowe przeszły próbę na 6×10^6 zmian obciążeń siły wymuszającej, po czym nie zauważono trwałych odkształceń ani też innych uszkodzeń. Podczas badań zdarzył się jednak wypadek zerwania krzesełka jednoosobowego rys. 4b przed ukończeniem prób. Krzesełko uległo zerwaniu podczas badań dynamicznych po $2,9 \times 10^6$ cyklach siły wymuszającej. Zerwanie krzesełka wystąpiło w miejscu przyspawania oparcia siodełka do rury nośnej. Zerwanie to było wynikiem powstałego pęknięcia w rurze nośnej podczas spawania, o czym świadczy zniszczony przekrój rys. 9 oraz postępująca korozja konstrukcji krzesełka. Krzesełko to pracowało poprzednio na innym wyciągu. Na podstawie badań zalecono kontrolę wszystkich połączeń spawanych krzesełek eksploatowanych na tym wyciągu, przy użyciu nowoczesnych metod defektoskopii. Z powyższego wynika, że należałoby przeprowadzić okresowo badania dynamiczne krzesełek będących w eksploatacji. Z badań wynika, że konstrukcje krzesełek są odpowiednio wytrzymałe, jednak należy zwrócić uwagę w konstrukcji na połączenia spawane tak przy projektowaniu jak i eksploatacji.

LITERATURA

- [1] Hajduk J.: Obciążenia dynamiczne w osobowych kolejkach linowych i metody ich pomiaru. Przegląd mechaniczny 1961, z. 7.
- [2] Dietrych J.: Teoria i budowa przesiewaczy. WGH Katowice 1962 r.
- [3] Carbogno A.: Badania laboratoryjne oraz eksploatacyjne krzesełek osobowych kolejek linowych. Katedra Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Gliwice 1970 r.

ИССЛЕДОВАНИЯ НА УСТАЛОСТЬ КРЕСЕЛ ПАССАЖИРСКИХ КАНАТНЫХ ГОРОД

Резюме

Внедрение в эксплуатацию новых конструкций кресел пассажирских канатных город требует исполнения исследований на усталость. Описано способы исследования на усталость а также результаты испытаний проведенных в Кафедре Торной механизации.

INVESTIGATIONS CONCERNING METAL FATIGUE OF FUNICULAR CHAIRS

Summary

New construction chairs used in the funiculars need metal fatigue investigations.

In the paper new methods of metal fatigue investigations of funicular chairs and their results conducted by the Mining Mechanization Department at the Silesian Institute of Technology have been discussed.