

ALFRED CARBOGNO,  
STANISŁAW DRAMSKI

BADANIA EKSPLOATACYJNE ORAZ LABORATORYJNE  
DWUSOBOWYCH KRZESEŁEK KOLEJKI LINOWEJ "CZANTORIA"

Przedstawiono wyniki badań współczynników dynamicznych  $\Psi$  występujących w konstrukcji krzesełka podczas jego eksploatacji oraz wyniki badań laboratoryjnych krzesełek, przeprowadzone w specjalnie zaprojektowanym i wybudowanym do tego celu stanowisku badawczym z wibratorem hydraulicznym.

1. Wstęp

W celu określenia przydatności do dalszej eksploatacji aktualnie użytkowanych /10 lat/ dwuosobowych krzesełek kolejki linowej na "Czantoria" należało zgodnie z zaleceniami Okręgowego Inspektoratu Kolejowego Dozoru Technicznego w Krakowie przeprowadzić ponowne badania eksploatacyjne i laboratoryjne /statyczne i dynamiczne/ tych krzesełek. Badania laboratoryjne krzesełek kolejek osobowych |zostały zapoczątkowane w latach 1964+1968 w dawnej Katedrze Maszyn Górniczych Politechniki Śląskiej przez prof.dr hab.inż.dr h.c. O.Popowicza [7]. Oprócz badań statycznych krzesełka na rozciąganie wymagane są przez odpowiednie przepisy kolejowe badania zmęczeniowe. Badania zmęczeniowe krzesełek w całości, zgodnie z przepisami austriackimi, które obowiązują w kraju, należy przeprowadzić przy zakresie zmiany siły zmęczeniowej od  $P_{\min} = Q_u + Q_k$  do  $P_{\max} = 1,25 \cdot \Psi \cdot P_{\min}$  gdzie  $Q_u$  - ciężar użyteczny krzesełka /krzesełko jednoosobowe 88,3 daN, dwuosobowe 157 daN/,  $Q_k$  - ciężar własny krzesełka,  $\Psi$  - współczynnik dynamiczny obciążeń krzesełka podczas jego eksploatacji [8]. Siłę wymuszającą podczas badań krzesełek uzyskuje się za pomocą wibratorów np. bezwładnościowych, co przedstawiono w pracach [1, 2, 3, 7]. Liczba cykli zmęczeniowych, jakie powinno przenieść krzesełko do zniszczenia, wynosi

$5 \cdot 10^5$ . W celu określenia przydatności krzeszełek do dalszej eksploatacji przeprowadzono obliczenia wytrzymałościowe krzeszełka, badania współczynników dynamicznych  $\Psi$  na kolejce oraz badania statyczne i dynamiczne krzeszełek w specjalnie zaprojektowanym i wybudowanym do tego celu stanowisku [4].

## 2. Analiza teoretyczna wytrzymałości krzeszełek.

Głównym elementem konstrukcji nośnej krzeszełka przedstawionego na rys.1 jest odpowiednio ukształtowana w dwu płaszczyznach rura stalowa o średnicy  $D_z = 60$  mm wykonana z materiału R45 o dopuszczalnej wytrzymałości materiału na zginanie  $kg = 1700$  daN/cm<sup>2</sup>.

Jako przekrój niebezpieczny przyjęto przekrój A-A, w którym po stronie rozciąganej występują naprężenia zginające i rozciągające.

Maksymalne naprężenia statyczne będące sumą naprężeń rozciągających i zginających wynoszą:

$$\sigma = \sigma_r + \sigma_g = \frac{P}{F} + \frac{M_g}{W} = \frac{P}{F} + \frac{P \cdot l}{W} = P \left( \frac{1}{F} + \frac{l}{W} \right) = P \cdot R \quad /1/$$

gdzie:  $\sigma_r$  - naprężenie rozciągające,

$\sigma_g$  - naprężenie zginające,

$$F = \frac{\pi}{4} (D_z^2 - D_w^2) = 8,64 \text{ cm}^2 \text{ - przekrój poprzeczny rury,}$$

$$D_z = 6 \text{ cm, } D_w = 5 \text{ cm - średnica zewnętrzna i wewnętrzna rury,}$$

$$M_g = P \cdot l, \text{ daN} \cdot \text{cm - moment zginający,}$$

$$l = 34 \text{ cm - ramię działania siły skupionej } P,$$

$$P \text{ - obciążenie krzeszełka, daN,}$$

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_z^4 - D_w^4}{D_z} = 10,97 \text{ cm}^3 \text{ - wskaźnik wytrzymałościowy na zginanie,}$$

$$R = \frac{1}{F} + \frac{l}{W} = 3,22 \text{ cm}^{-2} \text{ - stała pomocnicza.}$$

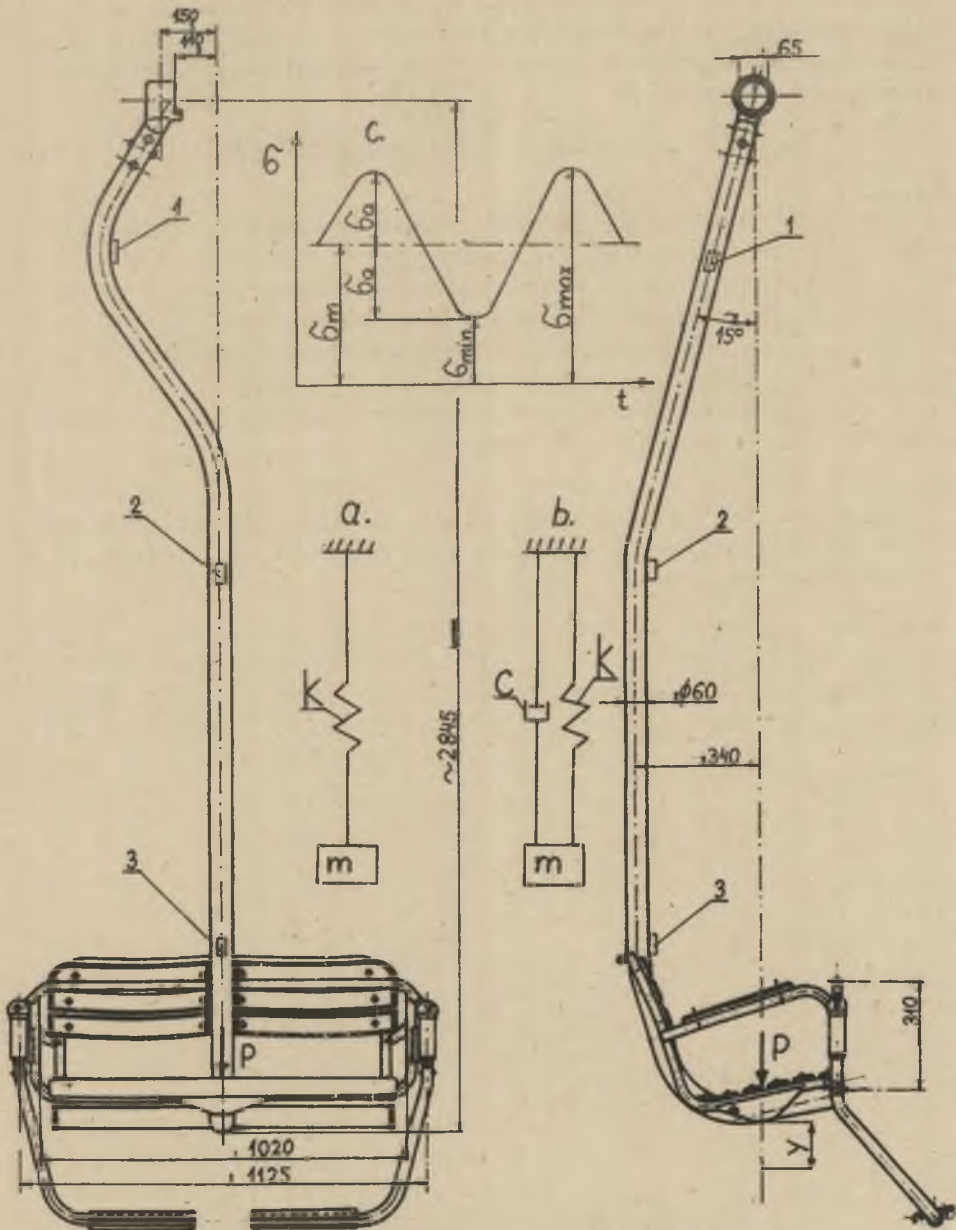
W przypadku zmiany siły przyłożonej do krzeszełka od  $P_{\min}$  do  $P_{\max} = 3P_{\min}$  naprężenia statyczne zmieniają się od

$$\sigma_{\min} = P_{\min} \left( \frac{1}{F} + \frac{l}{W} \right) = Q_u + Q_k \cdot R = P_{\min} \cdot R \quad /2/$$

$$\sigma_{\max} = P_{\max} \left( \frac{1}{F} + \frac{l}{W} \right) = P_{\max} \cdot R = 3 P_{\min} \cdot R = K \cdot R \cdot P_{\min} \quad /3/$$

gdzie:  $K = \Psi \cdot 1,25$  - iloczyn pomocniczy, dla  $P_{\max} = 3P_{\min}$  iloczyn  $K = 3$ . Wyniki obliczeń naprężeń statycznych wg wzorów /1/, /2/ i /3/ zestawiono w tabelicy 1.

Obliczenia zmęczeniowe przeprowadzono jako sprawdzające dla uprzednio dobranych kształtów i wymiarów krzeszełka zawartych w dokumencie, stacji te-



Rys. 1. Krzesiśko dwuosobowe kolejki linowej KL "Czantoria".  
 a, b - modele dynamiczne krzesiśka, c - przebieg zmian naprężeń  
 podczas badań zmęczeniowych krzesiśka.  
 1, 2, 3 - czujniki tensometryczne, Y - ugięcie statyczne krzesiśka



chnicznej. Obliczenia te sprowadzają się do ustalenia zmęczeniowego współczynnika  $x_z$  i sprawdzenia, czy współczynnik ten jest mniejszy od wymaganego współczynnika bezpieczeństwa na zmęczenie  $x_{zw}$ , który określono z zależności [6]:

$$x_{zw} = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,1 = 1,56 \quad /4/$$

gdzie:

- $x_1$  - współczynnik pewności założeń /przyjęto  $x_1 = 1,1$ , ponieważ materiał jest atastowany/
- $x_2$  - współczynnik ważności przedmiotu /przyjęto  $x_2 = 1,2$  ze względu na możliwość spowodowania wypadku/
- $x_3$  - współczynnik jednorodności materiału /przyjęto  $x_3 = 1,1$ , ponieważ rura jest ciągniona/
- $x_4$  - współczynnik zachowania wymiarów /przyjęto  $x_4 = 1,1$ , ponieważ rura jest ciągniona/.

Tablica 1

Wyniki obliczeń naprężeń statycznych i zmęczeniowych oraz współczynników bezpieczeństwa na zmęczenie  $x_z$  w przekroju A-A konstrukcji krzeselka dwuosobowego KL "Czantorja".

Lp.	$P_{min}$ daN	Współczynnik dynamiczny $\Psi$	Czynnik $K=1,254$ $\cdot \Psi$	$P_{max}$ daN	Naprężenia $\sigma$ daN/cm <sup>2</sup>				Współczynnik bezp. $x_z$	
					$\sigma_{min}$	$\sigma_{max}$	$\sigma_m$	$\sigma_a$	względem $Z_g$	względem $Q_g$
1	230	1	1,25	287	740,6	924	832	92		
2	230	1,1	1,375	316	740,6	1017	878	138		
3	230	1,2	1,5	345	740,6	1110	926	185		
4	230	1,3	1,625	374	740,6	1204	972	232		
5	230	1,4	1,75	403	740,6	1298	1019	279		
6	230	1,5	1,875	431	740,6	1388	1064	324		
7	230	1,6	2,0	460	740,6	1481	1110	370		
8	230	1,7	2,125	489	740,6	1575	1158	834		
9	230	1,8	2,25	518	740,6	1668	1215	464		
10	230	1,9	2,375	546	740,6	1758	1249	509		
11	230	2	2,5	575	740,6	1852	1296	556	1,72	1,6
12	230	2,1	2,625	604	740,6	1945	1343	603	1,60	1,53
13	230	2,2	2,75	633	740,6	2038	1384	649	1,57	1,43
14	230	2,3	2,87	660	740,6	2135	1432	693	1,55	1,4
15	230	2,4	3	690	740,6	2222	1481	741	1,5	1,33

Dla stałych granic zmian  $P_{min}$  do  $P_{max}$  obciążenie średnie  $P_m = const.$   
Zmęczeniowy współczynnik bezpieczeństwa  $x_z$  dla rozpatrywanego przypadku

obciążeń zmiennych przy  $\bar{G}_m = \text{const.}$  równy jest mniejszej z dwóch wartości otrzymanych ze wzorów [6]:

$$x_z = \frac{z_{GO} + 2 \bar{G}_m / 1 - \frac{z_{GO}}{z_{Gj}}}{\beta_g \cdot \gamma \cdot \bar{G}_a + \bar{G}_m} \geq x_{zw} \quad /5/$$

oraz

$$x_z = \frac{Q_g}{\beta_g \cdot \gamma \cdot \bar{G}_a + \bar{G}_m} \geq x_{zw} \quad /6/$$

gdzie:  $z_{GO} = 2250 \text{ daN/cm}^2$ ,  $z_{Gj} = 3285 \text{ daN/cm}^2$  - wytrzymałość zmęczeniowa materiału R45 na dwustronne i jednostronne zginanie,

$Q_g = 3100 \text{ daN/cm}^2$  - granica plastyczności materiału R45 przy zginaniu,

$\gamma = 1,04$  - współczynnik wielkości przedmiotu,

$\beta_g = 1,1$  - współczynnik spiętrzenia naprężeń przy zginaniu,

Obliczone współczynniki bezpieczeństwa na zmęczenie  $x_z$  wg wzorów /5/ i /6/ dla różnych wartości siły zmieniającej się od  $P_{\min}$  do  $P_{\max} = 1,25 \cdot \Psi \cdot P_{\min}$  dla  $\Psi = 2 \div 2,4$  zestawiono w tabelicy 1.

Z tabelicy 1 wynika, że można przyjąć spełnienie warunku  $x_z \geq x_{zw}$  dla wartości siły zmieniającej się od  $P_{\min}$  do  $P_{\max} = 1,25 \cdot \Psi \cdot P_{\min}$  dla wszystkich wartości  $\Psi = 1,1$  do  $2,1$ , a naprężenia statyczne nie przekraczają naprężeń dopuszczalnych na zginanie dla siły  $P_{\max}$  odpowiadającej współczynnikowi  $\Psi = 1,9 \div 2$ .

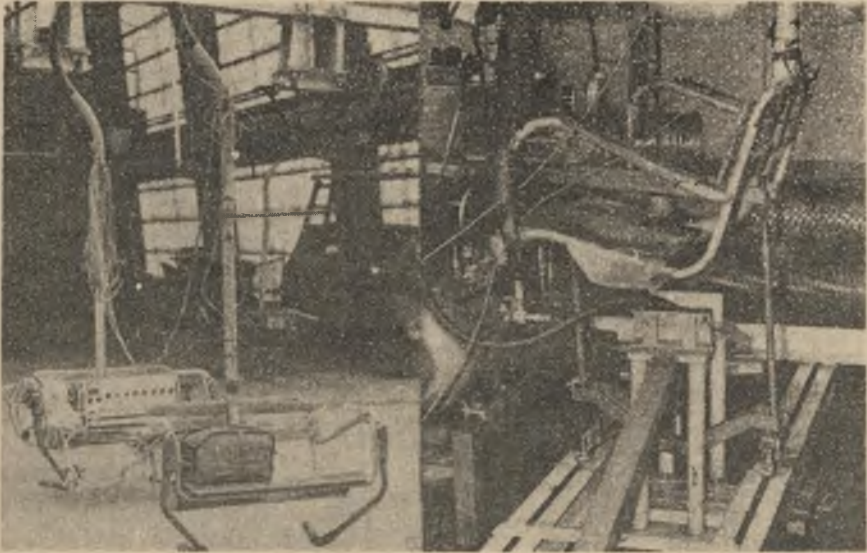
### 3. Badania współczynników dynamicznych $\Psi$

W celu określenia współczynników dynamicznych występujących w konstrukcji krzesełka podczas jego eksploatacji na kolejce na wybranym losowo krzesełku naklejono zgodnie z rys.1 czujniki elektrotensometryczne. Krzesełko z naklejonymi czujnikami zawieszono na linie nośno-ciągnącej kolejki, a w odległości 5 m za nim zawieszono drugie krzesełko, na którym usytuowano aparaturę pomiarową /akumulatory i mostek tensometryczny typu AT-970/. Na badanym krzesełku znajdowały się 2 osoby oraz oscylograf K-12. Łączne obciążenie użyteczne badanego krzesełka wynosiło  $Q_u = 196,2 \text{ daN}$ . Widok usytuowanych krzesełek na linie podczas badań na kolejce przedstawiono na rys.2a.

Aparaturę pomiarową zestrojono dla przypadku krzesełka opartego na peronie przed jego zawieszeniem na linie. Ten przypadek krzesełka opartego na peronie przyjęto jako stan odniesienia, czyli poziom naprężeń zerowych. Po uruchomieniu kolejki 2 osoby wsiadły na badane krzesełko na peronie dolnym przy włączonym oscylografie, który zarejestrował zmianę obciążeń w konstrukcji krzesełka. Podczas dalszej jazdy badanego krzesełka z dwoma pasażerami i oscylografem, rejestrowano na taśmie oscylografu przejażdżę przez wszystkie podpory przy jeździe krzesełka od stacji dolnej do górnej przewojowej i odwrotnie.

a.

b.



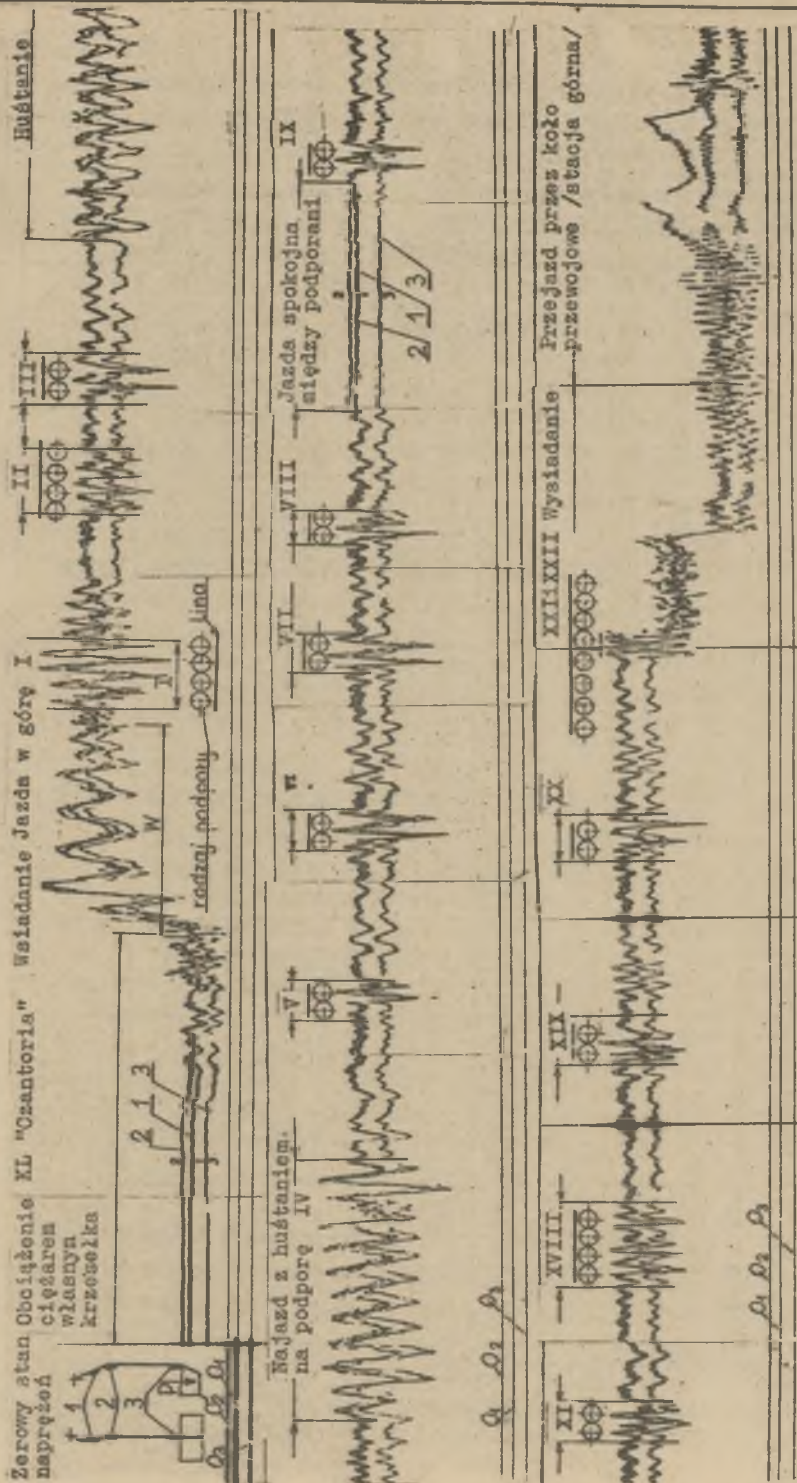
Rys.2. Widok krzeselka dwuosobowego podczas: a - badań na kolejce, b - w stanowisku badawczym.

Rejestrowano także stan naprężeń w konstrukcji krzeselka podczas wykonywania na nim różnych czynności przez dwóch pasażerów np. huśtanie krzeselkiem, jazda spokojna pasażerów pomiędzy podporami, najazd na podpory z huśtaniem, wysiadanie pasażerów na peronie, kołysanie krzeselkiem na boki.

Wybrane istotniejsze fragmenty taśmy oscylograficznej z przebiegami naprężeń w konstrukcji krzeselka podczas badań eksploatacyjnych przedstawiono na rys.3.

Na otrzymanej taśmie oscylograficznej wzdłuż całej jej długości przedłużono linie odpowiadające zerowemu poziomowi naprężeń w punktach pomiarowych 1, 2 i 3 na krzeselku i względem tych linii mierzono wychylenie  $A_1$  w mm przebiegów odpowiadających danemu punktowi pomiarowemu. Jako bazę odniesienia przyjęto poziom przebiegów na oscylogramie odpowiadający spokojnej jeździe dwu pasażerów na krzeselku pomiędzy podporami, co oznaczono przez  $A_m$  w mm. Przez współczynnik dynamiczny  $\Psi$  rozumie się stosunek maksymalnych naprężeń  $\sigma_{maxi}$  występujących w danym punkcie pomiarowym na krzeselku przy wykonywaniu określonej czynności przez pasażerów, np. wsiadanie itd., do naprężeń średnich  $\sigma_m$  odpowiadających spokojnej jeździe pasażerów na krzeselku pomiędzy podporami lub stanowi naprężeń w obciążonym krzeselku wiszącym na linii podczas unieruchomionej kolejki czyli:





Rys.3. Oscylogramy zmian naprężeń w punktach pomiarowych krzeszka dwuosobowego podczas badań na kolejce "Czantoria". Jazda odkrzeszkiem od stacji dolnej napędowej do górnej przewojowej. Obciążenie użytkowe krzeszka  $Q_{u1} = 196 \text{ daN}$  / 2 osoby z aparaturą / I - XXII numer i rodzaj podpory. 1,2,3 - punkty pomiarowe na konstrukcji krzeszka.

Tablica 2

Współczynniki dynamiczne  $\Psi$  występujące w konstrukcji krzeselka dwuosobowego KL "Czantoria" podczas jego eksploatacji na kolejce. I ÷ XXII numerirodzaj podpory.

Nr punktu pomiarowego	Jazda krzeselkiem od stacji dolnej do górnej kolejki										
	wsiadanie	I	II	III	huśtanie	huśtanie	IV	V	VI	VII	VIII
		0000	0000	00			00	00	00	00	00
1	1,28	1,41	1,16	1,22	1,15	1,38	1,13	1,22	1,26	1,30	1,26
2	1,27	1,37	1,16	1,22	1,14	1,39	1,13	1,21	1,27	1,30	1,24
3	1,34	1,42	1,15	1,23	1,17	1,42	1,13	1,22	1,30	1,30	1,25
$\Psi$ sr	1,30	1,40	1,16	1,22	1,15	1,40	1,13	1,22	1,28	1,30	1,25
c.d. Jazda krzeselkiem od stacji dolnej do górnej kolejki											
Nr punktu	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX
	00	00	00	00	00	00	00	0000	0000	0000	00
1	1,20	1,16	1,20	1,22	1,15	1,19	1,17	1,14	1,10	1,15	1,20
2	1,21	1,16	1,19	1,22	1,15	1,17	1,15	1,13	1,10	1,14	1,18
3	1,21	1,18	1,19	1,23	1,15	1,20	1,18	1,13	1,10	1,15	1,19
$\Psi$ sr	1,21	1,17	1,19	1,22	1,15	1,19	1,17	1,13	1,10	1,15	1,19
c.d. Jazda krzeselkiem od stacji górnej do dolnej kolejki											
Nr punktu	XX	XXI	wysiadanie	Kp	wsiadanie	XXII	XX	XIX	XVIII	XVII	XVI
	00	8x0				8x0	00	00	0000	0000	0000
1	1,24	1,10	1,20	1,19	1,32	1,15	1,22	1,24	1,17	1,20	1,17
2	1,22	1,10	1,18	1,26	1,32	1,14	1,21	1,22	1,16	1,19	1,17
3	1,24	1,11	1,17	1,26	1,35	1,14	1,21	1,23	1,17	1,21	1,18
$\Psi$ sr	1,23	1,10	1,18	1,21	1,33	1,14	1,21	1,23	1,17	1,20	1,17
c.d. Jazda krzeselkiem od stacji górnej do dolnej kolejki											
Nr punktu	XV	XIV	XIII	XII	XI	X	IX	VIII	VII	VI	V
	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
1	1,19	1,26	1,23	1,21	1,24	1,25	1,22	1,31	1,35	1,26	1,23
2	1,18	1,24	1,20	1,20	1,22	1,23	1,20	1,29	1,32	1,24	1,19
3	1,20	1,27	1,24	1,20	1,25	1,26	1,22	1,32	1,36	1,27	1,23
$\Psi$ sr	1,19	1,26	1,22	1,20	1,24	1,24	1,21	1,31	1,34	1,26	1,22
c.d.											
Nr punktu	IV	III	II	I		wysiadanie					
	00	00	0000	0000							
1	1,35	1,19	1,22	1,43	1,15	1,07					
2	1,30	1,18	1,22	1,42	1,16	1,06					
3	1,35	1,17	1,24	1,48	1,17	1,08					
$\Psi$ sr	1,33	1,18	1,23	1,44	1,16	1,07					



$$\Psi = \frac{\sigma_{\max.i}}{\sigma_m} \quad /7/$$

gdzie:  $i$  - indeks dotyczący punktu pomiarowego i wykonywania określonej czynności przez pasażerów

Ponieważ zachodzące przebiegi zmian naprężeń są funkcją wychylenia przebiegów na oscylogramach, możemy współczynnik dynamiczny obliczyć jako stosunek odpowiednich wychyleń  $A$  przebiegów na oscylogramach, czyli:

$$\Psi = \frac{\sigma_{\max.i}}{\sigma_m} = \frac{A_{\max.i}}{A_m} \quad /8/$$

gdzie:  $A_{\max.i}$  - maksymalne wychylenie względem poziomu zerowego przebiegu naprężeń w danym punkcie pomiarowym krzeselka przy wykonywaniu określonej czynności przez pasażerów, mm,  
 $A_m$  - wychylenie średnie względem poziomu zerowego przebiegu naprężeń odpowiadające spokojnej jeździe pasażerów pomiędzy podporami itd.

Określone wg wzoru /8/ na podstawie taśm oscylograficznych współczynniki dynamiczne zestawiono w tabelicy 2. Z tabelicy tej wynika, że wartości współczynników dynamicznych w różnych punktach pomiarowych 1,2,3 krzeselka przy wykonywaniu różnych czynności przez pasażerów wynoszą

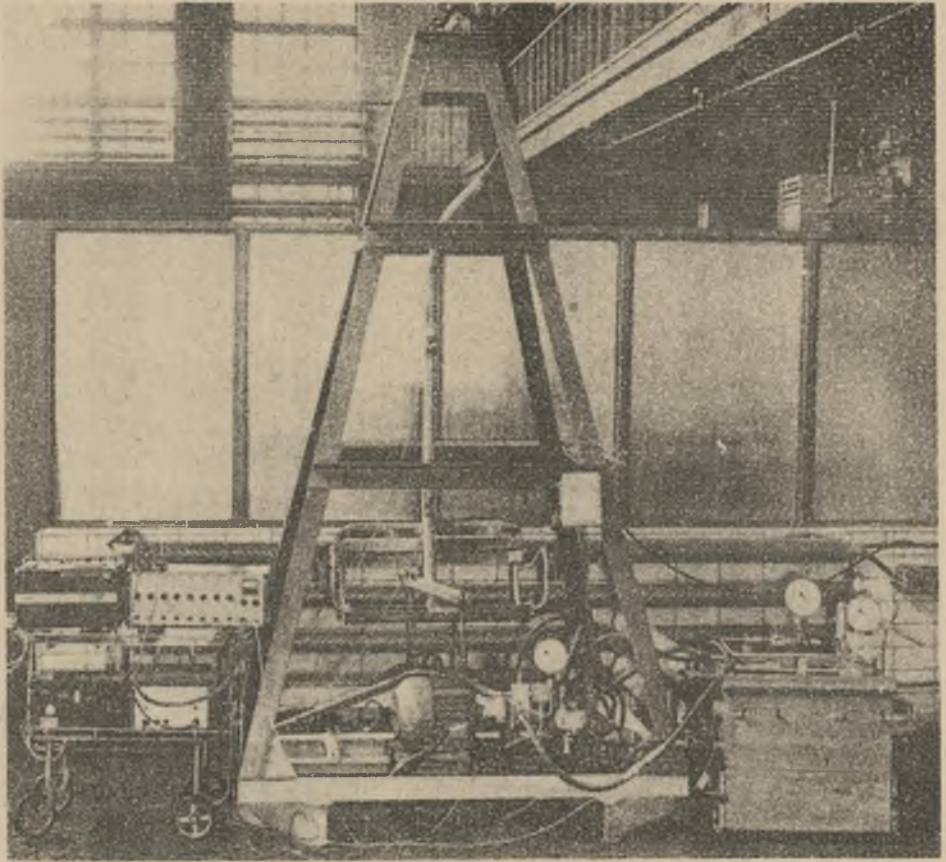
$\Psi_1 = 1,1 \div 1,48$ . Wartości średnie współczynników dynamicznych z trzech punktów pomiarowych na krzeselku podczas wykonywania określonej czynności przez pasażerów wynoszą  $\Psi_{sr} = 1,1 \div 1,44$ . Pomierzone dwukrotnie współczynniki dynamiczne podczas wsiadania pasażerów z aparaturą / $G_u = 196,2 \text{ daN}$ / wynosiły  $\Psi_{wmax} = 1,34$  i  $1,35$ , a średnie z trzech punktów pomiarowych  $\Psi_{sr.w} = 1,3$  i  $1,33$ . Pomierzone dwukrotnie współczynniki dynamiczne przy huśtaniu w różnych miejscach trasy wynosiły  $\Psi_{h,max} = 1,4$  i  $1,43$ , a podczas normalnych przejazdów przez podpory  $\Psi_{ip} = 1,1 \div 1,4$  oraz przy mocnym tąpnięciu z najazdem na podporę z huśtaniem  $\Psi_{ip} = 1,48$ . Najczęściej na podporze  $\Psi_p = 1,2$ . Podczas spokojnej jazdy pasażerów  $\Psi_{sp} = 1,03 \div 1,03$ .

Wartości współczynników dynamicznych  $\Psi$  zależą nie tylko od rodzaju wykonywanej czynności przez pasażerów i rodzaju przejeżdżanej przez krzeselko podpory, ale i także zależą od oddalenia krzeselka od stacji napędowo-napinającej czy przewojowej kolejki.

Na podstawie badań eksploatacyjnych przyjęto do dalszych badań laboratoryjnych /zmęczeniowych/ krzeselka podstawowy współczynnik dynamiczny  $\Psi = 1,5$ .

#### 4. Badania statyczne krzeselka.

Do badań laboratoryjnych dostarczono dwa krzeselka o numerach 72 i 99. Badania laboratoryjne krzeselka składały się z badań statycznych i dynamicznych /zmęczeniowych/. W wybranych punktach pomiarowych na ustroju nośnym krzeselka przedstawionego na rys.1 naklejono tensometry elektrooporowe typu PbKn 20-140 o oporności  $R = 144,7 \Omega$  i stałej  $K = 2,63$ . Krzeselko umieszczono w stanowisku badawczym, którego widok przedstawiono



Rys.4. Widok stanowiska do badań statycznych i dynamicznych krzesełek osobowych kolejek linowych.

na rys. 4 i podano działaniu siłownika hydraulicznego ciągnącego to krzesło za jego siedzisko.

Siłownik hydrauliczny ciągnął krzesło poprzez jarzmo połączone przegubowo z tłokiem siłownika i z siedziskiem krzesła. Naprężenie statyczne w konstrukcji nośnej krzesła mierzone przy pomocy 8-kanalowego mostka tensometrycznego typu AT-970 oraz rejestrowano na taśmie oscylografu pętlicowego typu K12-22.

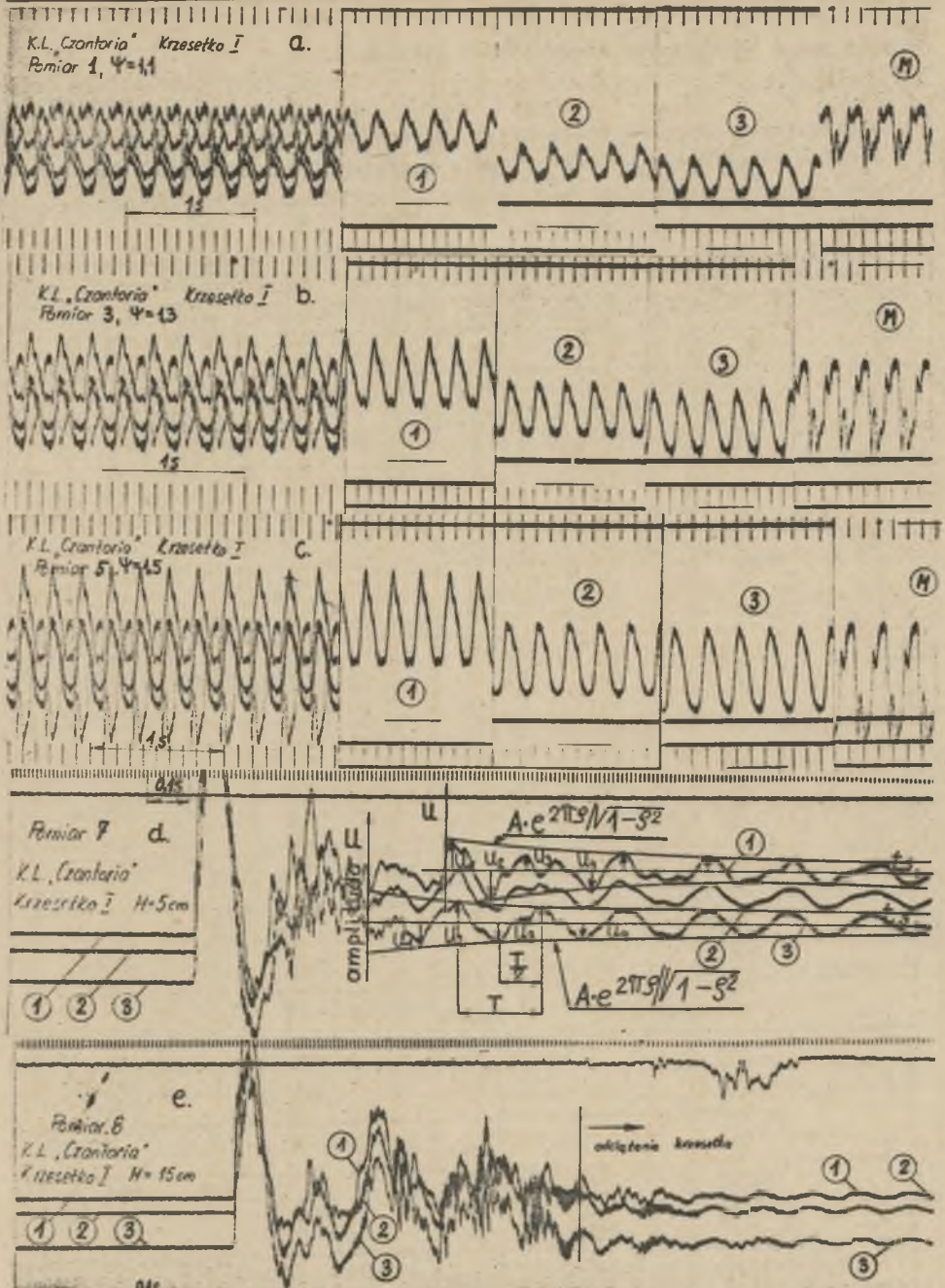
Naprężenie statyczne obliczono ze wzoru

$$\sigma = \xi \cdot E \text{ daN/cm}^2 \quad /9/$$

gdzie:  $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$  - moduł sprężystości,

Krzesło rozciągano stopniowo siłą  $P$  od 78,5 daN do 863,2 daN, mierząc jednocześnie naprężenia w krzesle oraz ugięcia krzesła wywołane daną siłą w celu obliczenia stałej sprężystości krzesła.





Rys.5. Oscylogramy zmian naprężeń w punktach pomiarowych 1,2,3 krzeszka oraz siły wymuszającej P/oznaczenie M/ podczas badań zmęczeniowych krzeszka przy różnym współczynniku dynamicznym /pomiar 1,3,5/ oraz drgań tłumionych podczas prób udarowych /pomiar 7,8/. H-wysokość spadku ciężaru G = 160 daN na siedziąko krzeszka.



Wyniki badań statycznych zestawiono w tablicy 3.

Tablica 3

Wyniki badań naprężeń statycznych  $\sigma_s$  daN/cm<sup>2</sup>, ugięć statycznych  $\gamma_{mm}$ , stałych sprężystości  $k$  daN/cm<sup>2</sup> oraz naprężeń dynamicznych  $\sigma_d$  daN/cm<sup>2</sup> występujących w punktach pomiarowych 1, 2, 3 krzeselka KL "Czantorja" podczas badań laboratoryjnych.

Lp.	Punkt pomiarowy	Siła rozciągająca wywołana siłownikiem hydraulicznym P, daN											
		79	157	236	314	392	471	550	628	707	785	863	
		$\sigma_s$	$\sigma_s$	$\sigma_s$	$\sigma_s$	$\sigma_s$	$\sigma_s$	$\sigma_s$	$\sigma_s$	$\sigma_s$	$\sigma_s$	$\sigma_s$	
Statyczne	1	252	483	735	966	1197	1428	1659	1869	2100	2331	-	
	2	252	441	672	828	1071	1239	1428	1546	1764	1953	-	
	3	252	442	714	915	1176	1386	1617	1806	2016	2226	-	
	4	$\gamma_{mm}$	0	6	9	11	14	16	19	22	24	27	30
	5	$k, \frac{daN}{cm}$	0	261,6	261,6	285	280	294,3	289,1	285,3	294,3	290	287,7
pomiar 1, $P_{minw} = 157$ daN do $P_{maxw} = 240$ daN, $\psi = 1,1$													
		$\sigma_{dmax}, \frac{daN}{cm^2}$	$\sigma_{dmin}, \frac{daN}{cm^2}$			$\sigma_{dm}, \frac{daN}{cm^2}$			$\sigma_{da}, \frac{daN}{cm^2}$				
1		809	368			589			221				
2		735	399			567			168				
3		819	441			630			169				
pomiar 2, $P_{minw} = 157$ daN do $P_{maxw} = 281$ daN, $\psi = 1,25$													
1		751	415			584			168				
2		820	420			620			200				
3		966	462			714			252				
pomiar 3, $P_{minw} = 157$ daN do $P_{maxw} = 302$ daN, $\psi = 1,3$													
1		1071	462			766,5			304,5				
2		882	420			651			231				
3		1040	431			735,5			304,5				
pomiar 4, $P_{minw} = 157$ daN do $P_{maxw} = 332$ daN, $\psi = 1,4$													
1		1208	473			840			367,7				
2		987	420			703,5			283,5				
3		1134	441			787,5			346,5				
pomiar 5, $P_{minw} = 157$ daN do $P_{maxw} = 369$ daN, $\psi = 1,5$													
1		1292	473			882			409,5				
2		1050	399			725			325,5				
3		1218	462			840			378				
pomiar 6, $P_{minw} = 157$ daN do $P_{maxw} = 383$ daN, $\psi = 1,6$													
1		1418	452			934			483				
2		1134	420			777			357				
3		1313	431			872			441				

$P_{minw}$  -  $P_{maxw}$  - granice zmian siły wibratora hydraulicznego. Szkic

Rozmieszczenia punktów pomiarowych 1,2,3 na krzeselku przedstawiono na rys.1.

Częstotliwość drgań własnych  $f_w$  krzeselka obliczono dla dwu modeli dynamicznych krzeselka przedstawionych na rys.1a,b.

- dla układu sprężystego bez uwzględnienia tłumienia rys.1a.

$$f_w = 4,98 \sqrt{\frac{k}{G}} = 4,98 \sqrt{\frac{283}{68,7}} = 10,1 \text{ Hz} \quad /10/$$

- dla układu sprężystego z uwzględnieniem tłumienia rys.1b

$$f_w = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{c^2}{4 \cdot m^2}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k \cdot G}{G} - \frac{c^2 \cdot G^2}{4 \cdot G^2}} \approx 9 \text{ Hz} \quad /11/$$

gdzie:  $k = 283 \text{ daN/cm}$  - wartość średnia stałej sprężystości krzeselka,  
 $G = 68,7 \text{ daN}$  - ciężar własny krzeselka,

$c = 0,467 \frac{\text{daN} \cdot \text{s}}{\text{cm}}$  - współczynnik tłumienia z przeprowadzonych badań drgań tłumionych podczas próby uderowej.

Z uwagi na małą wartość współczynnika tłumienia „c” przyjęto częstotliwość drgań własnych krzeselka  $f_w = 10 \text{ Hz}$ .

#### 5. Badania dynamiczne krzeselka

Badania dynamiczne krzeselka podzielono na badania zmęczeniowe oraz uderowe. Badania zmęczeniowe krzeselka dwuosobowych przeprowadzono w specjalnie do tego celu zaprojektowanym i wybudowanym stanowisku badawczym [4]. Podczas badań zmęczeniowych krzeselko wraz z naklejonymi czujnikami elektrotensometrycznymi /to samo, które było badane na kolejce i statycznie/ było zawieszane wraz z wpręgłem zaciśniętym na odcinku liny na górnej półce konstrukcji stalowej. Zawieszenie to odpowiadało zawieszeniu krzeselka na linie, tzn. krzeselko mogło się swobodnie wychylać w dwu prostopadłych do siebie płaszczyznach, z tym że punkt podparcia odcinka liny był podporą sztywną. Zmianę obciążenia krzeselka od  $P_{\min}$  do  $P_{\max}$  wywoływał pulsator hydrauliczny, którego widok przedstawiono na rys.2b. Do badań ustalono zgodnie z przepisami zakres zmian siły wymuszającej w najbardziej obciążonym przekroju krzeselka przy wpręgłe od  $P_{\min}$  do  $P_{\max} = \psi \cdot 1,25 \cdot P_{\min}$ .

Dla badanych krzeselka siły te wynosiły:

$$P_{\min} = Q_u + Q_k = 230 \text{ daN}, \quad P_{\max} = 1,5 \cdot 1,25 \cdot 230 = 431 \text{ daN}$$

gdzie:  $Q_u = 160 \text{ daN}$  - ciężar użyteczny krzeselka dwuosobowego,

$Q_k = 70 \text{ daN}$  - ciężar własny badanego krzeselka dwuosobowego,

$\psi = 1,5$  - współczynnik dynamiczny wyznaczony podczas badań krzeselka na kolejce.

Nastawy sił  $P_{\min}$  i  $P_{\max}$  wibratora muszą być mniejsze o ciężar własny krzeselka  $Q_k$  czyli

$$P_{\min.w} = P_{\min} - Q_k = 160 \text{ daN}, \quad P_{\max.w} = P_{\max} - Q_k = 360 \text{ daN}$$

Do badań przyjęto częstotliwość zmian siły wymuszającej  $f = 4,5 \text{ Hz}$ . Podczas badań zmęczeniowych na taśmie oscylografu rejestrowano jednocześnie przebiegi zmian naprężeń z czujników pomiarowych 1,2,3 naklejonych na krzesełku oraz przebieg zmian siły wymuszającej, która była rejestrowana za pomocą tensometrycznego czujnika ciśnienia włączonego do przewodu zasilającego bezpośrednio cylinder hydrauliczny wibratora. Przebieg zmian siły na oscylogramach podczas badań zmęczeniowych oznaczono symbolem  $K$ . Prędkość posuwu taśmy oscylografu wynosiła  $V_t = 60 \text{ mm/s}$ . W czasie badań zmęczeniowych rejestrowano przebiegi zmian naprężeń w punktach pomiarowych krzesełka przy uwzględnieniu zmian siły wymuszającej dla różnego współczynnika dynamicznego  $\Psi = 1,1$  do  $1,6$ . Przykładowe przebiegi zmian naprężeń i siły wymuszającej podczas badań zmęczeniowych przedstawiono na rys.5, a wyniki naprężeń i sił odczytano z oscylogramów w tabelicy 3.

Po próbie zmęczeniowej krzesełka przeprowadzono także próby udarowe zrzucając na siedzisko swobodnie wiszącego krzesełka z wysokości  $H=5 \text{ cm}$  i  $H = 15 \text{ cm}$  blok stalowy o wadze  $Q_u = 160 \text{ daN}$  /odpowiadający ciężarowi użytkownemu krzesełka/. Przebiegi drgań tłumionych w krzesełku podczas tych prób przedstawiono na rys.5d i e.

Współczynnik tłumienia obliczono następująco. Z oscylogramów na rys.6 pomierzono stosunki amplitud i obliczono

$$\psi = \ln \frac{U_n}{U_{n+1}} = \ln 1,21 = 0,19 \quad /12/$$

bezwymiarowy współczynnik tłumienia

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\frac{4\psi^2}{\psi^2} + 1}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4 \cdot 0,19^2}{0,19^2} + 1}} = \frac{1}{19} = 0,052 \quad /13/$$

liniowy współczynnik tłumienia

$$c = \beta \cdot 2\sqrt{k \cdot m} = 0,052 \cdot 2 \cdot \sqrt{283 \cdot \frac{70}{981}} = 0,467 \frac{\text{daN} \cdot \text{s}}{\text{cm}} \quad /14/$$

Jedno krzesełko z KL "Czantoria" badano zmęczeniowo przy uwzględnieniu zakresu zmiany siły wymuszającej ze współczynnikiem dynamicznym  $\Psi = 1,5$ , a drugie przy  $\Psi = 1,8$ . Obydwa krzesełka przeszły pomyślnie badania zmęczeniowe na 5 000 000 cykli. Oględziny optyczne obydwu krzesełek po badaniach zmęczeniowych nie wykazały żadnych uszkodzeń ani deformacji trwałych.

## 6. Analiza wyników badań laboratoryjnych

Badania statyczne na rozciąganie potwierdziły wielkość naprężeń statycznych obliczonych teoretycznie, jakie występują w rurze nośnej krzesełka podczas obciążenia go różną siłą  $P$ . Wyznaczona z tych badań war-



tość średnia stałej sprężystości konstrukcji krzeselka KL "Czantoria" wynosi  $k = 283 \text{ N/mm}$ . Przy obciążeniu krzeselka statycznie siłą  $900 \text{ daN}$  nie stwierdzono odkształceń trwałych jego konstrukcji nośnej. Wyznaczony bezwymiarowy współczynnik tłumienia  $\xi = 0,052$ , a liniowy współczynnik tłumienia  $c = 0,467 \text{ daN s/cm}$ . Z dwu dostarczonych do badań zmęczeniowych krzeselek jedno badano przy zmianie siły od  $P_{\min}$  do  $P_{\max} = 1,25 \cdot \Psi \cdot P_{\min}$  z uwzględnieniem  $\Psi = 1,5$ , a drugie z uwzględnieniem  $\Psi = 1,8$ . Obydwa krzeselka przeszły pomyślnie badanie zmęczeniowe na  $5 \cdot 10^6$  cykli zmęczeniowych. Szczegółowe wszystkie przedstawione badania zawarte są w pracy [5].

## 7. Wnioski

1. Z przeprowadzonych obliczeń naprężeń w rurze nośnej krzeselka dwuosobowego KL "Czantoria" wynika, że dla materiału R45, z którego wykonana jest rura, naprężenia statyczne nie przekraczają wartości naprężeń dopuszczalnych na zginanie dla wartości siły  $P = 546 \text{ daN}$ , tj. przy uwzględnieniu współczynnika dynamicznego  $\Psi = 1,9 + 2$ .
2. Z teoretycznych obliczeń zmęczeniowych wynika, że współczynnik bezpieczeństwa na zmęczenie  $x_z$  jest większy od wartości wymaganej  $x_{zw} = 1,56$  przy zmianie siły od  $P_{\min}$  do  $P_{\max} = 1,25 \cdot \Psi \cdot P_{\min}$  dla każdej wartości współczynnika dynamicznego  $\Psi = 1,1$  do  $2,1$ , a w przybliżeniu można przyjąć nawet dla  $\Psi = 2,4$ , tj. przy zmianie siły zmęczeniowej od  $P_{\min}$  do  $P_{\max} = 3 \cdot P_{\min}$ .
3. Z badań naprężeń występujących w rurze nośnej krzeselka podczas jego eksploatacji na kolejce otrzymane maksymalne współczynniki dynamiczne  $\Psi$  wynoszą podczas: jazdy spokojnej  $\Psi_p = 1,08$ , wsiadania pasażerów  $\Psi_w = 1,35$ , przejazdu przez podpory  $\Psi_p = 1,2$  /najczęściej/, huśtania  $\Psi_h = 1,42$  i najazdu na podporę z huśtaniem  $\Psi_h = 1,48$ . Do badań laboratoryjnych przyjęto jako wartość minimalną  $\Psi = 1,5$ .
4. Obydwa krzeselka przeszły pomyślnie badania zmęczeniowe na  $5 \cdot 10^6$  cykli zmian obciążeń: jedno przy uwzględnieniu  $\Psi = 1,5$ , a drugie przy  $\Psi = 1,8$ .
5. Na podstawie przeprowadzonych badań eksploatacyjnych i laboratoryjnych można stwierdzić, że przebadana konstrukcja krzeselek przeszła pomyślnie wszystkie rodzaje wymaganych badań i nadaje się do dalszej eksploatacji, tym bardziej, że w konstrukcji tej nie zastosowano niebezpiecznych połączeń spawanych przenoszących siły, w których mogłyby tworzyć się skupiska korozji, jak to ma miejsce w innych rodzajach konstrukcji krzeselek. Istniejące połączenia spawane rury siedziska do rury nośnej krzeselka nie jest niebezpieczne, ponieważ spoiny znajdują się w linii obojętnej przekroju rury i jako takie nie przenoszą sił pochodzących od ob-

ciążenia użytecznego krzesełka. Korozji oraz deformacji rury krzesełek w wyniku ich eksploatacji nie stwierdzono.

#### LITERATURA

- [1]. Antoniak J., Carbogno A. : Badania naprężeń dynamicznych w konstrukcji dwuosobowego krzesełka w czasie ruchu kolejki. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo Z.49. Gliwice 1972.
- [2]. Antoniak J., Carbogno A. : Wytrzymałość zmęczeniowa ustroju nośnego krzesełka kolejki linowej. Problemy Postępu Technicznego. Nr 2/32/. Katowice 1971.
- [3]. Carbogno A. Badania zmęczeniowe osobowych krzesełek kolejek linowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo. Z.48. Gliwice 1971.
- [4]. Carbogno A. Projekt stanowiska z pulsatorem hydraulicznym do badań zmęczeniowych krzesełek kolejek linowych. Instytut Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Gliwice 1970.
- [5]. Dramski St., Carbogno A. Badania dynamiczne krzesełek jednoosobowych kolejki linowej na "Skrzyczne" w Szczyrku oraz krzesełek dwuosobowych kolejki linowej na "Czantorię". ORIPOT SIMP. Ekspertyza Nr R-367/76. Katowice 1977.
- [6]. Niezgodziński M.E., Niezgodziński T. : Obliczenia zmęczeniowe elementów maszyn. PWN. Warszawa 1973.
- [7]. Popowicz O., Carbogno A., Dramski St.: Badania krzesełek osobowych kolejek linowych "Czantoria", "Skrzyczne", "Nosal", "Hala Goryczkowa" oraz "Elka" w WPKiW w Katowicach. Katedra Maszyn Górniczych Politechniki Śląskiej. Sprawozdanie z badań w latach 1966-1968.
- [8]. Przepisy austriackie. Beadingnisse für den ban und betrieb von Seilförderanlagen zur Personen beförderung. III teil. Kleinseilbahnen. L.1957. Austria.

Эксплуатационные и лабораторные исследования двухместной подвесной канатной дороги с креслами "Чантория" .

В статье представлены результаты исследований динамических коэффициентов выступающих в конструкции кресла во время его эксплуатации, а также результаты лабораторных исследований кресел, проведенных специально в запроектированном и построенном для этого цели испытательном стенде с гидравлическим вибратором.

EXPLOITATION AND LABORATORY STUDIES OF CABLE RAILWAY SEATS  
FOR TWO PERSONS, OF THE CZANTORIA RAILWAY

Investigation results are presented on the dynamic factors occurring in the construction of the seat during its exploitation as well as the results of laboratory studies, conducted in a specially designed and constructed for the purpose, testing stand with a hydraulic vibrator.