ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: GÓRNICTWO z. 137 Nr kol. 838

Alfred CARBOGNO

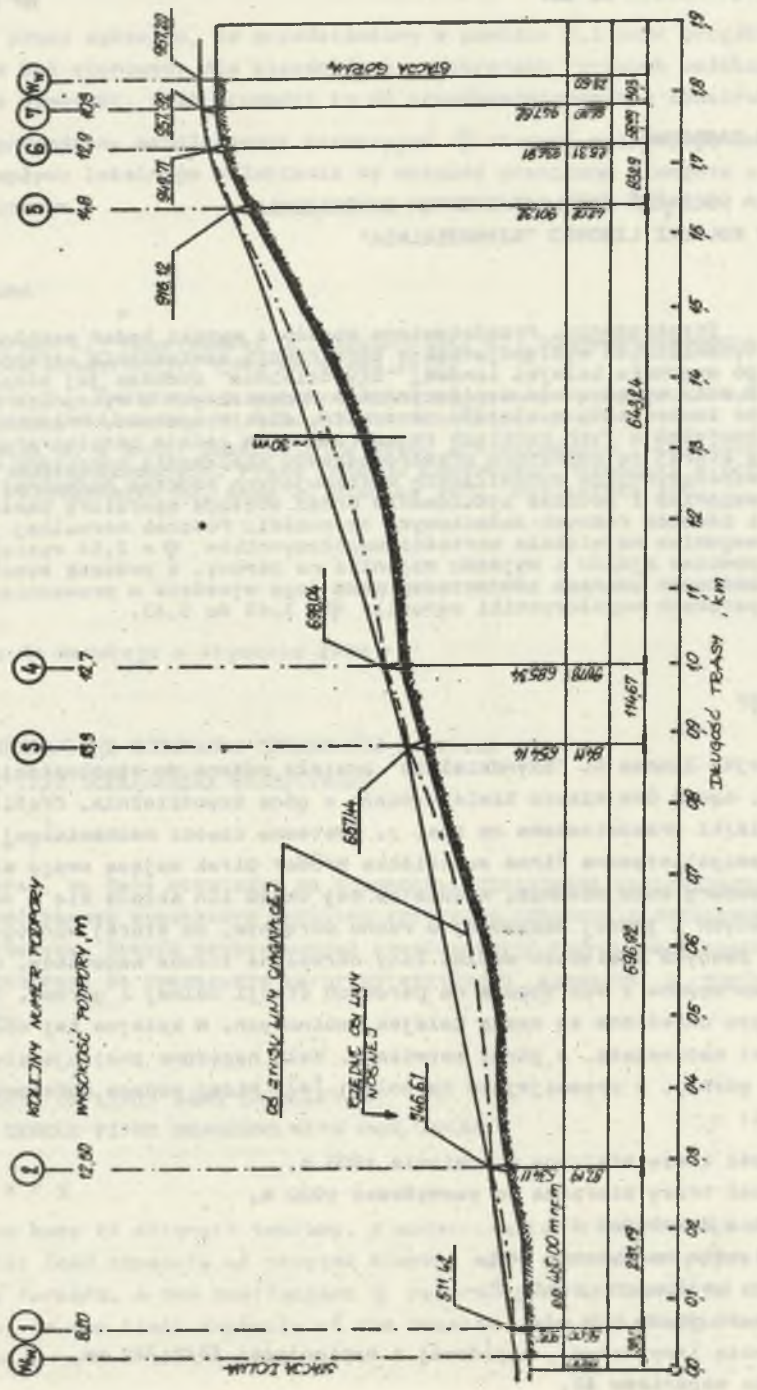
BADANIA OBCIĄŻEŃ EKSPLOATACYJNYCH ZAWIESZENIA KABINY KOLEJKI LINOWEJ "SZYNDZIELNIA"

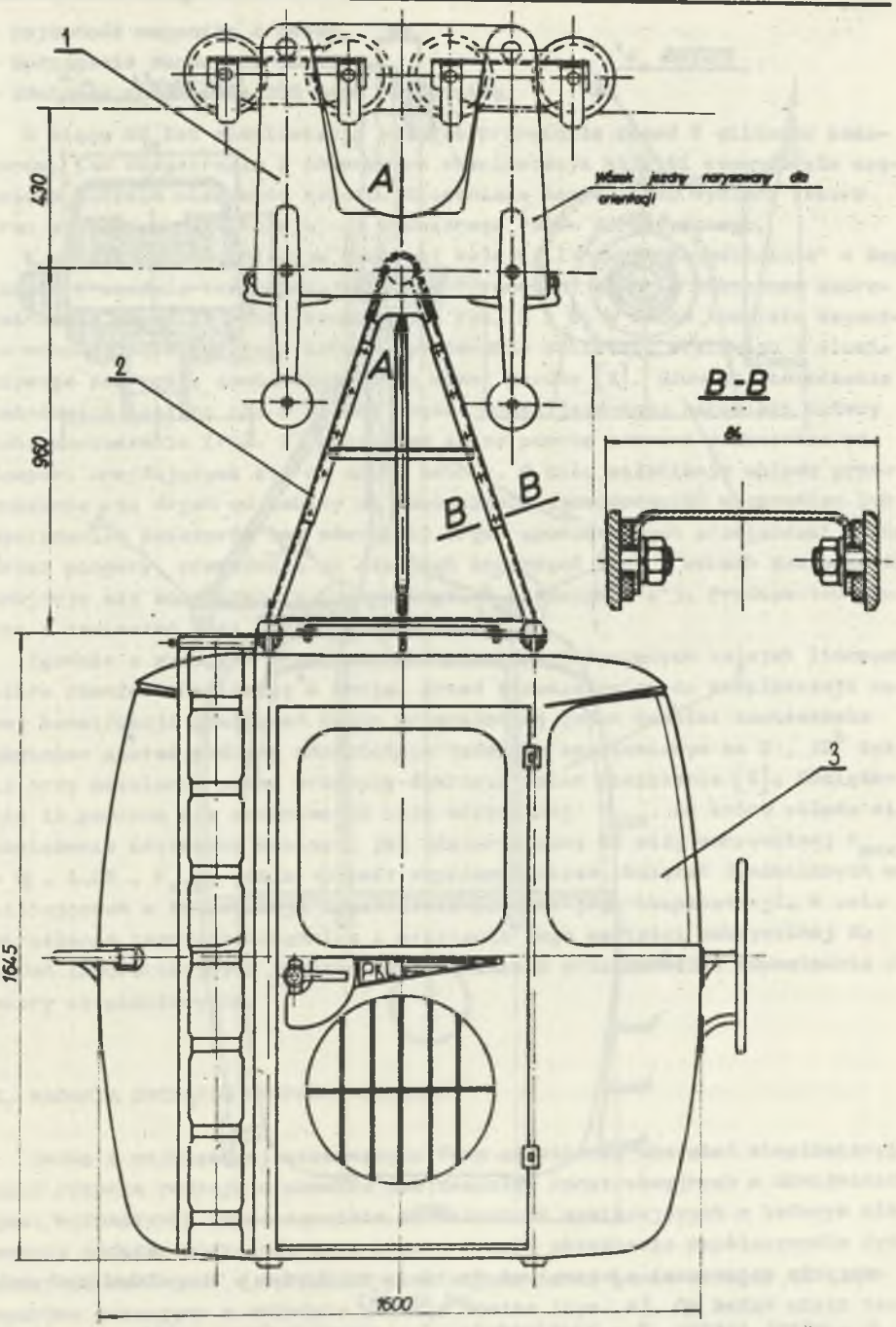
Streszczenie. Przedstawiono sposób i wyniki badań współczynników dynamicznych występujących w konstrukcji zawieszenia czteroosobowego wagonika kolejki linowej "Szyndzielnia" podczas jej eksploatacji. W celu wyznaczenia współczynników dynamicznych w wybranych miejscach na zawieszeniu naklejono tensometry elektrooporowe. Przebieg zmian naprężeń w tych punktach rejestrowano na taśmie oscylografu K12-22, z której po uprzednim przeprowadzeniu skalowania odczytano wartości współczynników dynamicznych występujących podczas normalnej jazdy wagonika i podczas symulowania przez obsługę aparatury pomiarowej i peronów różnych dodatkowych czynności. Podczas normalnej jazdy wagonika największe wartości współczynników $\psi = 2,54$ występowały podczas wjazdu i wyjazdu wagonika na perony, a podczas symulowania bocznych uderzeń zawieszenia przy jego wjeździe w prowadnice na peronach współczynniki wynosiły $\psi = 3,43$ do 5,43.

1. WSTĘP

Kolejka linowa KL "Szyndzielnia" została oddana do eksploatacji w 1953 r. Łączy ona miasto Bielsko-Biała z górą Szyndzielnia. Profil trasy tej kolejki przedstawiono na rys. 1. Dostawcą części mechanicznej kolejki była specjalistyczna firma austriacka Brüder Girak mająca swoją siedzibę w Korneuburg koło Wiednia. W kolejce tej układ lin składa się z dwóch lin nośnych i jednej napędowej o ruchu okrężnym, do której wprzęgnięta jest w pewnych odstępach wzdłuż liny określona liczba wagoników. Wagoniki te są wprzęgane i wyprzęgane na peronach stacji dolnej i górnej. Kolejki tego typu określone są nazwą kolejek kabinowych. W kolejce tej dolna stacja jest napinającą, a górna kotwiczną. Koło napędowe znajduje się na stacji górnej, a przewijające na dolnej [4]. Niżej podano podstawowe dane kolejki:

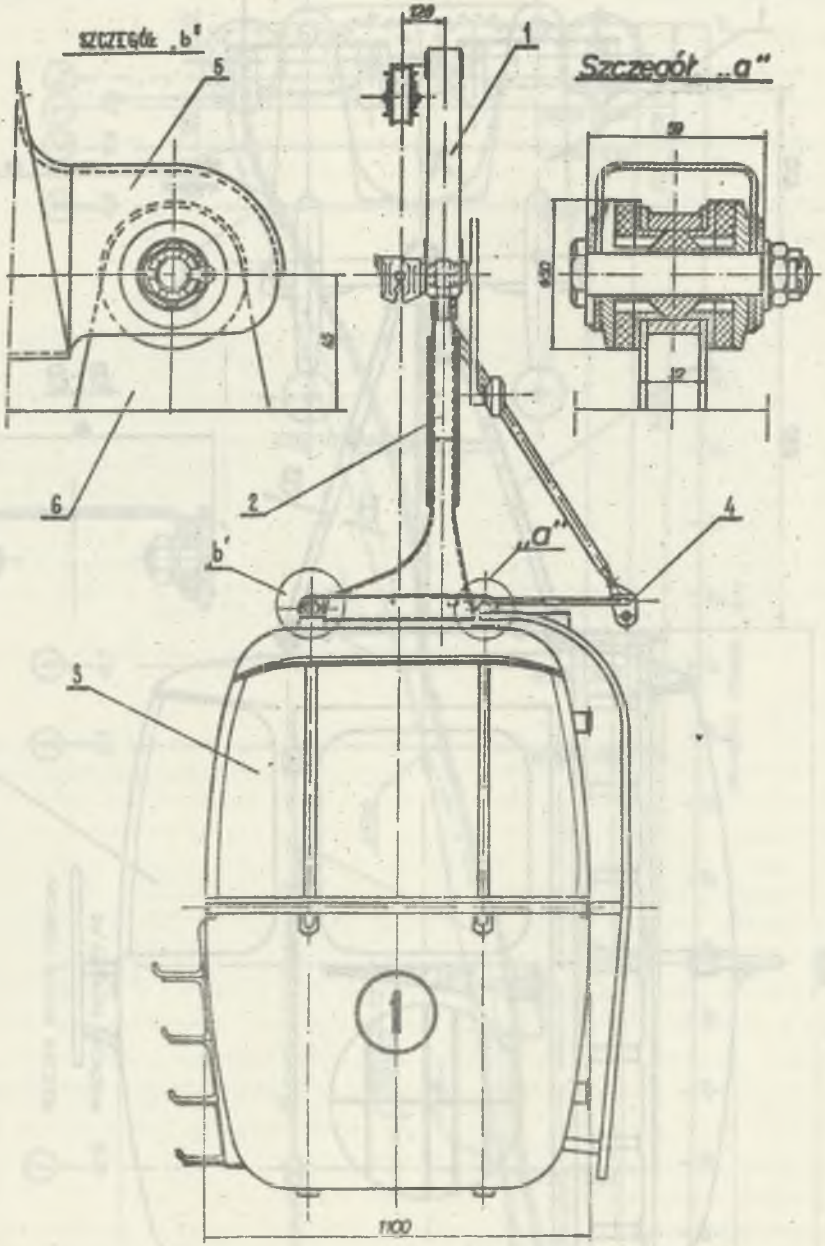
- długość trasy mierzona w poziomie 1806 m,
- długość trasy mierzona po pochyłości 1920 m,
- różnica wysokości 451 m,
- największe nachylenie 54%,
- liczba stalowych podpór 7,
- prędkość jazdy 2,6 m/s,
- średnica liny nośnej, napędowej i napinającej 32/21/42 mm,
- liczba wagoników 32,


KOLEJNY NUMER PODPORY
WYSOKOŚĆ PODPORY, m
DŁUGOŚĆ TRASY, km
GŁĘBOKA GÓRNA
PŁYTKA DOLNA
~30m
698.04
657.14
546.61
511.42
916.12
946.71
957.20
957.28
1145
00 45'00 m n.m
636.02
64.824
14.67
1.78
1.78
1.78



Rys. 2. Wagonik nowej konstrukcji kolejki linowej "Szyndzielnia" (widok z boku)

1 - wózek jezdny, 2 - zawieszenie, 3 - kabina czteroosobowa



Rys. 3. Wagonik nowej konstrukcji kolejki linowej "Szyndzielnia" (widok od czoła)

1 - wózek jezdny, 2 - zawieszenie, 3 - czteroosobowa kabina, 4 - wysięgnik do ewakuacji, 5 - ucho zawieszenia, 6 - zaczep kabiny, "a" - przekrój przez amortyzator

- pojemność wagonika 4 osoby,
- wprzęganie wagoników co 48 s,
- zdolność przewozowa 300 osób na godzinę.

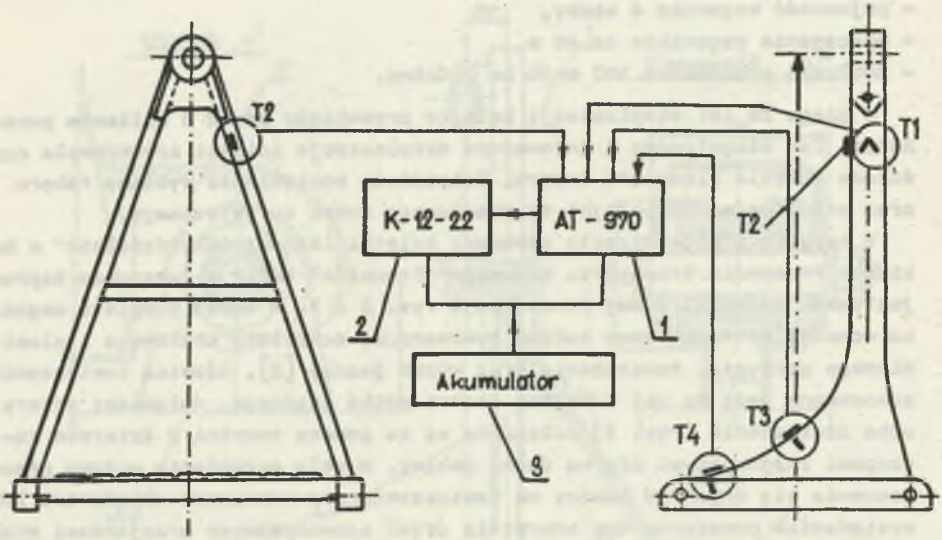
W ciągu 25 lat eksploatacji kolejka przewiozła ponad 6 milionów pasażerów. Tak długotrwała i intensywna eksploatacja kolejki spowodowała częściowe zużycie elementów taboru. Zaistniała konieczność wymiany taboru oraz przystosowanie kolejki do wzmożonego ruchu turystycznego.

W związku z modernizacją osobowej kolejki linowej "Szyndzielnia" w Beskidach Pracownia Transportu Linowego "Translin" KBPBP w Zakopanem zaprojektowała wagoniki nowej konstrukcji rys. 2 i 3. W skład kompletu wagonika wchodzi czteroosobowa kabina wykonana ze szkieletu stalowego i aluminiowego pokrycia, zawieszenie oraz wózek jezdny [2]. Głowica zawieszenia zamocowana jest na osi w dolnej części wózka jezdnego, natomiast cztery ucha zawieszenia (rys. 3) połączone są za pomocą sworzni z czterema zaczepami znajdującymi się na dachu kabiny. W celu osłabienia wpływu przenoszenia się drgań od kabiny na zawieszenie spowodowanych wsiadaniem lub wysiadaniem pasażerów czy odwrotnie drgań spowodowanych przejazdami wózka przez podpory, prowadnice na stacjach końcowych itp. w uchach zawieszenia znajdują się amortyzatory gumowe (rys. 3, szczegół "a"). Producentem kabin i zawieszeń jest WSK "Delta" w Mielcu.

Zgodnie z wymogami przepisów austriackich dotyczących kolejek linowych, które również obowiązują w kraju, przed dopuszczeniem do eksploatacji nowej konstrukcji zawieszeń kabin przynajmniej jeden komplet zawieszenia powinien zostać poddany odpowiednim badaniom zmęczeniowym na $5 \cdot 10^6$ cykli przy ustalonym przez przepisy zakresie zmian obciążenia [3]. Obciążenie to powinno się zmieniać od siły minimalnej P_{min}, na którą składa się obciążenie użyteczne kabiny i jej ciężar własny do siły maksymalnej $P_{max} = \psi \cdot 1{,}25 \cdot P_{min}$, gdzie ψ jest współczynnikiem obciążeń dynamicznych występujących w konstrukcji zawieszenia podczas jego eksploatacji. W celu określenia tego współczynnika i przyjęcia jego wartości maksymalnej do badań laboratoryjnych zmęczeniowych należało przeprowadzić odpowiednie pomiary eksploatacyjne.

2. BADANIA OBCIĄŻEŃ EKSPLOATACYJNYCH

Jedną z najczęściej stosowanych fora określenia obciążeń eksploatacyjnych różnego rodzaju elementów lub zespołów konstrukcyjnych w dźwignicach jest wyznaczenie współczynników dynamicznych występujących w badanym elemencie podczas normalnej jego pracy. W celu określenia współczynnika dynamicznego naklejono w wybranych punktach zawieszenia tensometry elektrooporowe pracujące w układzie pełnego mostka (rys. 4). Do badań użyto tensometrów o bazie pomiarowej 0,020 m i oporności 140 omów. Tensometry naklejano po odpowiednim przygotowaniu miejsc pomiarowych przy unierucho-



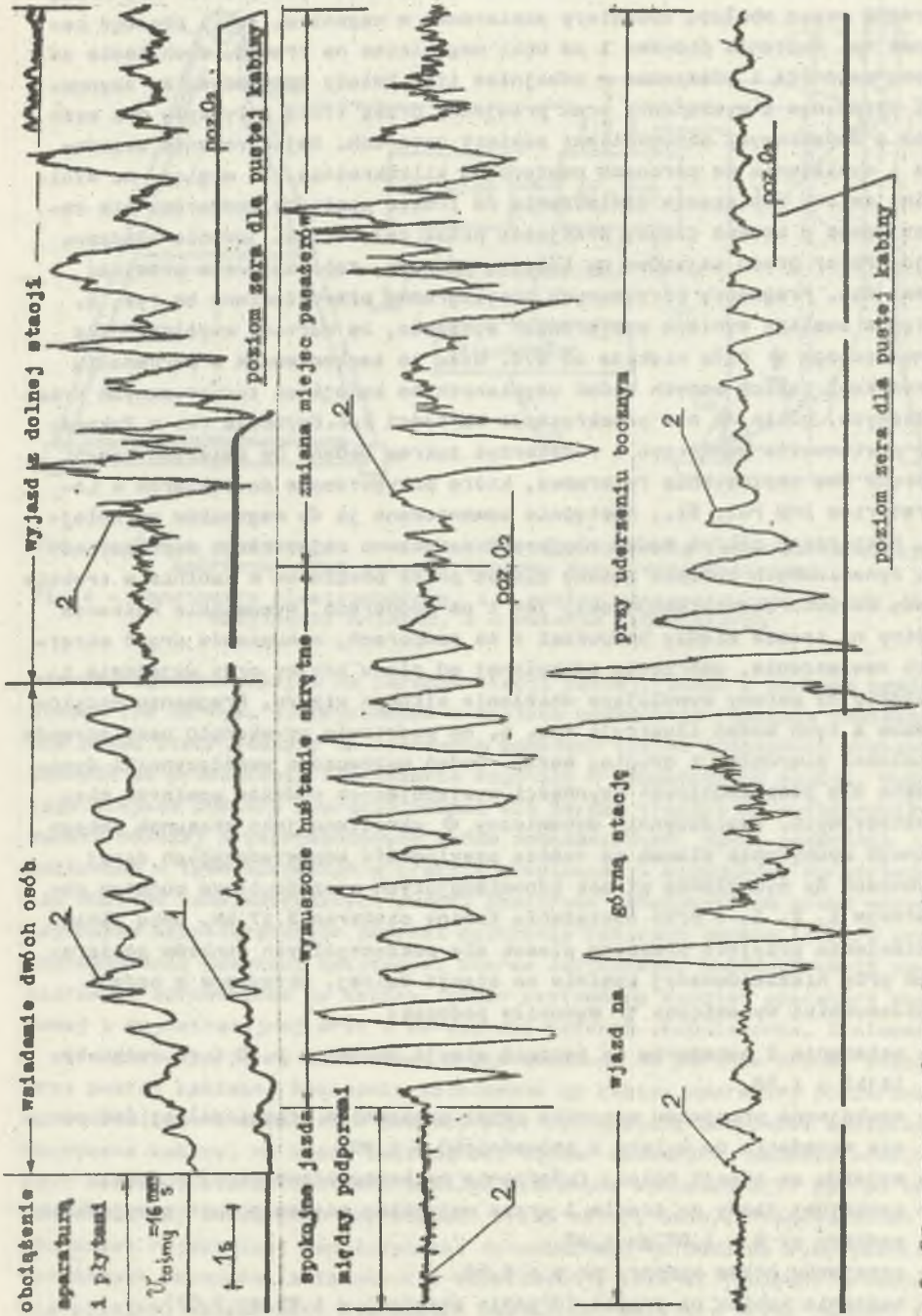
Rys. 4. Szkic zawieszenia z miejscami rozmieszczenia tensometrów elektrooporowych oraz schemat blokowy aparatury pomiarowej

T1-T4 - tensometry elektrooporowe, 1 - mostek tensometryczny AT-970, 2 - oscylograf K-12-22, 3 - bateria akumulatorów

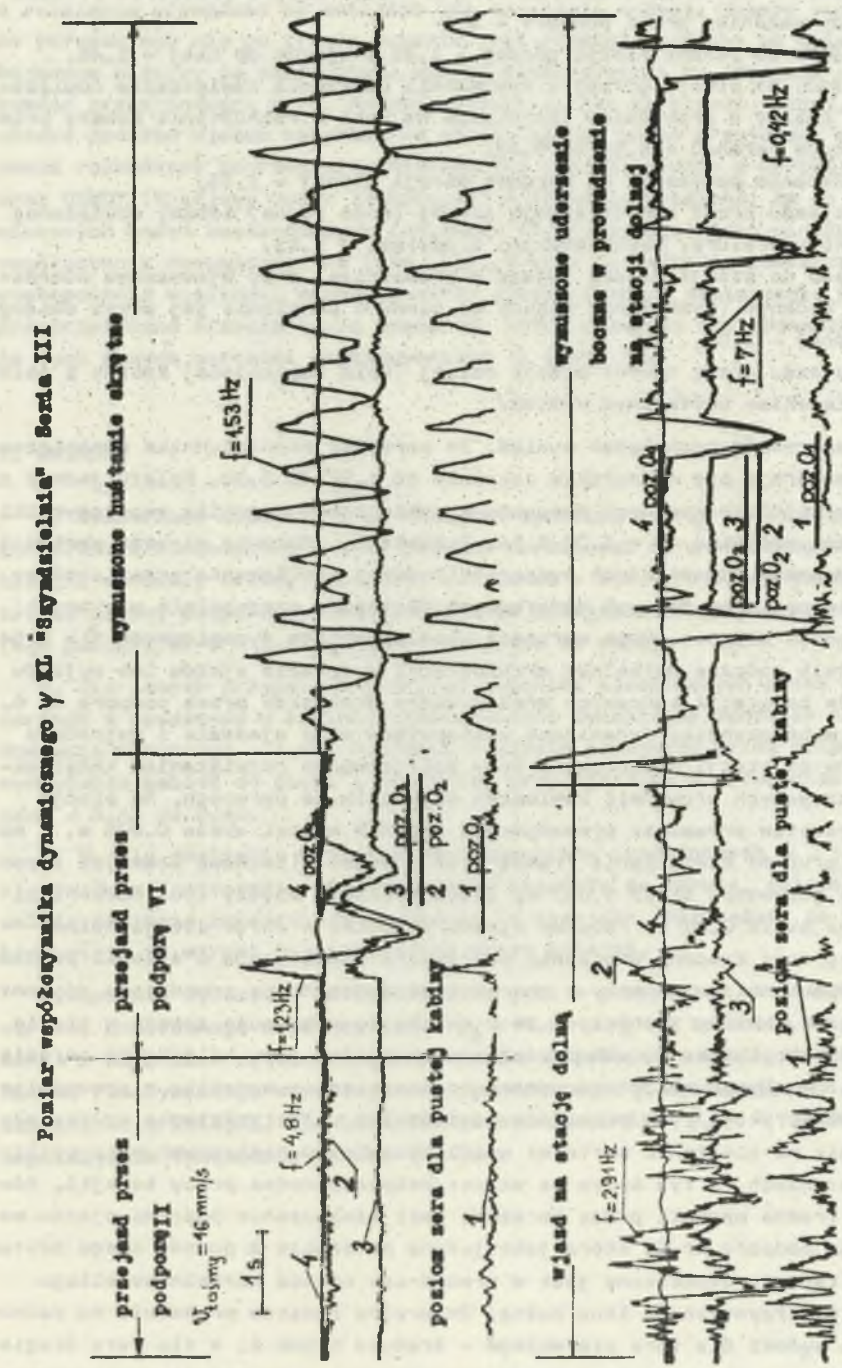
mionym wagoniku kolejki na peronie stacji dolnej. Jeden z punktów pomiarowych (T2 na rys. 4) usytuowano w miejscu osłabienia ramienia zawieszenia przez otwór służący do mocowania bocznych listew ślizgowych przeznaczonych do prowadzenia zawieszenia wagonika w prowadnicach stacji. Wybór tego miejsca pomiaru naprężeń okazał się bardzo trafny, co potwierdziły wyniki później przeprowadzonych badań zmęczeniowych, jak i powstanie uszkodzeń w tych miejscach w trakcie eksploatacji wagoników. Po sprawdzeniu mostków tensometrycznych punkty pomiarowe zabezpieczono przed wpływem czynników atmosferycznych poprzez nałożenie czterech warstw lakieru oraz obandażowanie opaskami nasyconymi smarem łożyskowym. Końcówki kabli pomiarowych wprowadzono do kabiny, gdzie usytuowano komplet aparatury pomiarowej i rejestracyjnej wraz z 24-woltową baterią akumulatorów. Skalowanie i zerowanie aparatury pomiarowej przeprowadzono na peronie dolnej stacji przy pustej kabinie. Następnie załadowano do kabiny aparaturę pomiarową oraz dodatkowe obciążniki w postaci płyt betonowych. Całkowite obciążenie statyczne kabiny, na które składał się ciężar aparatury, akumulatorów, płyt betonowych oraz dwu osób obsługi aparatury wynosiło 3,17 kN, co odpowiadało jej obciążeniu użytecznemu przez cztery osoby. Program badań obejmował rejestrację współczynnika dynamicznego ψ podczas wykonywania normalnych czynności związanych z eksploatacją kolejki (rozruch i hamowanie kolejki, wsiadanie i wysiadanie pasażerów, przejazd przez podpory i między nimi, przejazd przez prowadzenie wagonika na peronach, wyjazd i

wjazd wagonika do stacji) oraz podczas specjalnie wykonywanych czynności zarówno przez obsługę aparatury pomiarowej w wagoniku, jak i obsługę peronów np. huśtanie pionowe i na boki wagonikiem na trasie, wychylenie od pionu wagonika i uderzenie w odbojnice itp. Należy zaznaczyć, że czynności wsiadania i wysiadania oraz przejazdu przez trasę dotyczyły dwu osób wraz z dodatkowymi obciążnikami zamiast czterech. Rejestrowanie wsiadania i wysiadania na peronach powtarzano kilkakrotnie. Ze względu na minimalne zmiany obciążenia zawieszenia na trasie pomiędzy podporami nie rejestrowano w sposób ciągły przejazdu przez całą trasę, jedynie włączano rejestrator przed najazdem na kolejne podpory, zapisując sam przejazd przez nie. Fragmenty otrzymanych oscylogramów przedstawiono na rys. 5. Wstępna analiza wyników pomiarowych wykazała, że wartość współczynnika dynamicznego ψ była większa od 2,5. Było to zaskoczeniem w porównaniu z wynikami takich samych badań uzyskanych na kolejkach turystycznych krzesełkowych, gdzie ψ nie przekraczało wartości 2,2. Dyrekcja PKL w Zakopanem postanowiła powtórzyć i rozszerzyć zakres badań. Do dalszych badań wybrano dwa zawieszenia rezerwowe, które przygotowano do pomiarów w Laboratorium IMG Pol. Śl., następnie zamontowano je do wagoników na kolejce. Poszerzony zakres badań obejmował dodatkowo rejestrację współczynników dynamicznych podczas zmiany miejsc przez pasażerów w kabinie w trakcie jazdy zarówno między podporami, jak i na podporach, wymuszanie huśtania kabiny na trasie między podporami i na podporach, wymuszanie drgań skrętnych zawieszenia, uderzenie odchylonej od pionu kabiny przy wyjeździe i wjeździe na perony symulujące działanie silnego wiatru. Fragmenty oscylogramów z tych badań ilustruje rys. 6. Na podstawie uzyskanych oscylogramów z całości pierwszej i drugiej serii badań wyznaczono współczynniki dynamiczne dla poszczególnych czynności występujących podczas pomiarów eksploatacyjnych. Współczynnik dynamiczny ψ określano jako stosunek maksymalnego wychylenia plamek na taśmie oscylografu odpowiadających danej czynności do wychylenia plamek odpowiadających poszczególnym punktom pomiarowym 1, 2, 3, 4 przy obciążeniu kabiny ciężarem 3,17 kN. Jako linię odniesienia przyjęto przebieg plamek dla poszczególnych punktów pomiarowych przy niezaładowanej kabinie na stacji dolnej. Otrzymane z badań współczynniki dynamiczne ψ wynosiły podczas:

a - wsiadanie 2 pasażerów na peronie stacji dolnej - 1,35 i ro_ruchu kolejki - 1,38,
b - spokojnego przejazdu wagonika przez prowadnice stacji dolnej (od miejsca wsiadania do wylotu z prowadnicy) - 1,89,
c - wyjazdu ze stacji dolnej (uderzenia na końcu prowadnicy) - 2,54,
d - spokojnej jazdy na trasie i przez wszystkie siedem podpór z wyjątkiem podpory nr 6 - 1,07 do 1,48,
e - przejazdu przez podporę nr 6 - 1,68,
f - huśtania kabinę na trasie (drgania skrętne - 1,25 do 2,07),



Rys. 5. Fragmenty oscylogramów przebiegu obciążeń dynamicznych w punkcie pomiarowym 2 zawieszenia otrzymanych w I serii badań



Rys. 6. Fragmenty oscylogramów przebiegu obciążeń dynamicznych w punktach pomiarowych 1-4 zawieszenia otrzymanych w III serii badań

g - wymuszone huśtanie kabiną na boki i zmiana miejsc pasażerów podczas jazdy wagonika przez podpory - 3,3,
h - dojazdu do peronu stacji górnej - 1,15 i wjazdu do niej - 1,46,
i - dojazdu do stacji górnej i wymuszeniu uderzenia zawieszenia obciążonej kabiny o prowadnice (pchnięcie na boki i rozhuśtanie kabiny przez obsługę peronu) - 4,54 do 5,38,
j - wysiadania pasażerów na peronie stacji górnej - 1,35,
k - przejazdu przez nawrót stacji górnej (koło pędne) kabiny obciążonej tylko aparaturą, akumulatorami i płytami - 2,23,
l - wjazdu do stacji dolnej (wjazd w prowadnica) przy wymuszonym uderzeniu bocznym (wychylenie kabiny od pionu i pchnięcie jej przez obsługę peronu) - 3,54,
ł - przejazdu przez nawrót stacji dolnej (koło napinające) kabiny z pełnym obciążeniem użytecznym - 3,46.

Z przeprowadzonych badań wynika, że wartości współczynnika dynamicznego ψ zawierają się w szerokim zakresie od 1,07 do 5,38. Należy jednak zaznaczyć, że dla normalnych warunków i cyklu pracy wagonika współczynniki dynamiczne wynosiły ψ = 1,07-2,54. Pozostałe, znacznie większe wartości współczynników dynamicznych wystąpiły podczas symulowania przez obsługę w trakcie pomiarów różnych dodatkowych obciążeń, szczególnie poziomych, działających udarowo. Duże wartości współczynników dynamicznych ψ = 2,54 występowały podczas normalnej eksploatacji w trakcie wjazdu lub wyjazdu wagoników ze stacji końcowych oraz podczas przejazdu przez podporę nr 6. Znaczne współczynniki dynamiczne występujące przy wjeździe i wyjeździe wagoników ze stacji spowodowane były zastosowanym rozwiązaniem konstrukcyjnym sztywnych prowadnic zawieszeń wagoników na peronach. Na stacji dolnej rozstaw prowadnic prowadzących wagonik wynosi około 0,095 m, a maksymalna grubość zawieszenia (ramię wraz z dwiema listwami bocznymi i podkładkami gumowymi) około 0,087 m. Zatem istnieje między tymi elementami szczelina około 0,01 m. Podczas wjazdu wagonika w obręb stacji dolnej występują dość znaczne uderzenia poprzeczne zawieszenia o ścianki prowadnic, czego wynikiem są siły o charakterze dynamicznym powodujące zginanie zawieszenia. Należy zaznaczyć, że zjawisko to występuje zawsze w czasie normalnej eksploatacji, chociaż pracownik obsługujący kolejkę na peronie stara się możliwie złagodzić uderzenia zawieszenia wagonika o prowadnice. Zmiana konstrukcji tych prowadnic poprzez ich uelastycznienie wpłynęłaby korzystnie na obniżenie wartości współczynników dynamicznych występujących w zawieszeniach, a tym samym na wzrost bezpieczeństwa pracy kolejki. Również na trudne warunki pracy narażone jest zawieszenie podczas wjazdu wagonika na podporę nr 6, która jako jedyna na trasie z powodu swego usytuowania w terenie wyposażona jest w prowadnice oprócz normalnego ślizgu (płozy) podtrzymującego linę nośną. Zmierzony rozstaw prowadnic na podporze nr 6 wynosi dla toru pierwszego - średnio 0,088 m, a dla toru drugiego 0,091 m, co oznacza, że luzy między gabarytową grubością zawieszenia

a rozstawem prowadnic są mniejsze niż na stacji dolnej. Należy podkreślić, że poruszający się po trasie wagonik jest również narażony na działanie bocznego wiatru, co szczególnie wpływa niekorzystnie na przejazd zawieszenia przez podporę nr 6. Podobne zjawiska, jak na stacji dolnej, zachodzą podczas wjazdu wagonika na stację górną, gdzie przyjeżdża on często mocno rozhuśtany poprzecznie. Dlatego też w porozumieniu z Dyrekcją PKL oraz OIKDT (Kolejowy Dozór Techniczny) w Krakowie ustalono, że do stanowiskowych badań zmęczeniowych zawieszeń należy przyjąć jako minimalny współczynnik dynamiczny $\phi = 2,54$ [1]. W celu sprawdzenia powtarzalności występowania wielkości współczynników dynamicznych w zawieszeniu kabiny przeprowadzono trzecią serię pomiarów, która wykazała występowania prawie że tych samych wartości współczynników ϕ (rys. 6).

3. WNIOSKI

1. Pomierzone współczynniki obciążeń dynamicznych ϕ występujących w konstrukcji zawieszenia kabiny podczas normalnych warunków eksploatacji kolejki wynosiły średnio podczas: wsiadania - 1,4, spokojnej jazdy na trasie między podporami 1,07, spokojnego przejazdu przez podpory - 1,2 (dla podpory nr 6 - 1,6), wyjazdu i wjazdu na stacje - 2,54.

2. Dla innych przypadków obciążeń wagonika symulowanych przez obsługę peronów i pasażerów w kabinie współczynniki dynamiczne wynosiły podczas: huśtania skrętnego - 1,97, huśtania w czasie przejazdu przez podpory - 3,3, wychylania kabiny od pionu i uderzania przy wjeździe w prowadnice na peronach - 3,43 do 5,43.

3. W celu obniżenia wartości współczynników dynamicznych ϕ, jakie występowały w zawieszeniu podczas wjazdu wagonika na perony, celowe byłoby uelastycznienie konstrukcji prowadnic na stacjach. Wpłynęłoby to również korzystnie na wzrost bezpieczeństwa pracy kolejki.

4. Badania wykazały, że uzasadniona jest w przepisach austriackich [3] wartość kontrolnego współczynnika $\phi_k = 1,25$. $\phi = 3$ zalecana do przyjmowania w badaniach zmęczeniowych zawieszeń w przypadku braku danych odnośnie do rzeczywistego współczynnika dynamicznego ϕ występującego podczas eksploatacji kolejki. Dla kontrolnego współczynnika $\phi_k = 3$ rzeczywisty współczynnik dynamiczny wynosi $\phi = 2,4$.

LITERATURA

[1] Dramski St., Carbogno A.: Badania zmęczeniowe zawieszeń wagonu KL "Szyndzielnia". ORPOT SIMP. Ekspertyza R-190/78/U-100, Katowice 1979.

[2] Dokumentacja techniczna kabiny i zawieszenia kolejki linowej na "Szyndzielnię". Pracownia Transportu Linowego KBPBP, Zakopane 1974.

[3] Przepisy austriackie: Bedingnisse für den bau und betrieb von seilförderanlagen mit personenbeförderung. SB876.

[4] Schneigert Z.: Koleje linowe napowietrzne. Wyd. Komunikacyjne, Warszawa 1957.

Recenzent: Doc. dr inż. Karol REICH

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1984 r.

ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК ПОДВЕСОК КАБИНЫ ФУНИКУЛЁРА "ШИНДЗЕЛЬНЯ"

Р е з ю м е

В работе представлены способ и результаты исследований динамических коэффициентов, выступающих в конструкции подвесок четырёхместной кабины фуникулёра "Шиндзельня" во время её эксплуатации. Для определения динамических коэффициентов в выбранных местах на кабине приклеены электрические тензометры сопротивления. Процесс изменений напряжений были регистрирован осциллографом К12-22. Коэффициенты снимались непосредственно с ленты осциллографа в определённом масштабе для режима нормальной работы и работы имитированной оператором измерительной аппаратуры и персоналом станций различные добавочные действия. При нормальном движении кабины наибольшие динамические коэффициенты $\phi = 2,54$ выступали при въезде и выезде кабины с платформы. При имитировании боковых ударов подвесок во время въезда кабины на направляющие, коэффициенты имели величины от $\phi = 3,43$ до 5,43.

STUDIES ON A SUSPENSION WORKING LOAD
OF "SZYNDZIELNIA" CABLE RAILWAY CABIN

S u m m a r y

The way and the results of the studies on dynamic coefficients occuring in the suspension construction of a 4-person cabin of "Szyndzielnia" cable railway during its work have been presented. Electroresistant tensiometer was fixed to the suspension in order to indicate dynamic coefficients in some chosen points. The changes of stresses in these points were registered on a K12-22 oscillograph tape, from which, after proper

graduation, the values of the dynamic coefficients occuring during normal travel of the cabin and during simulating some additional activities by the measuring instruments staff and the platforms staff were read out. During the normal travel of the cabin the biggest value of the coefficient $\phi = 2,54$ occured during getting the cabin in and out of the platforms, while during the simulating side hit of the suspension during getting onto the platform the coefficients were $\phi = 3,43$ to $5,43$.