

JERZY ANTONIAK

WYKORZYSTANIE RADIOTELEMETRII DO POMIARÓW DYNAMICZNYCH
URZĄDZEŃ TRANSPORTOWYCH STOSOWANYCH W GÓRNICTWIE

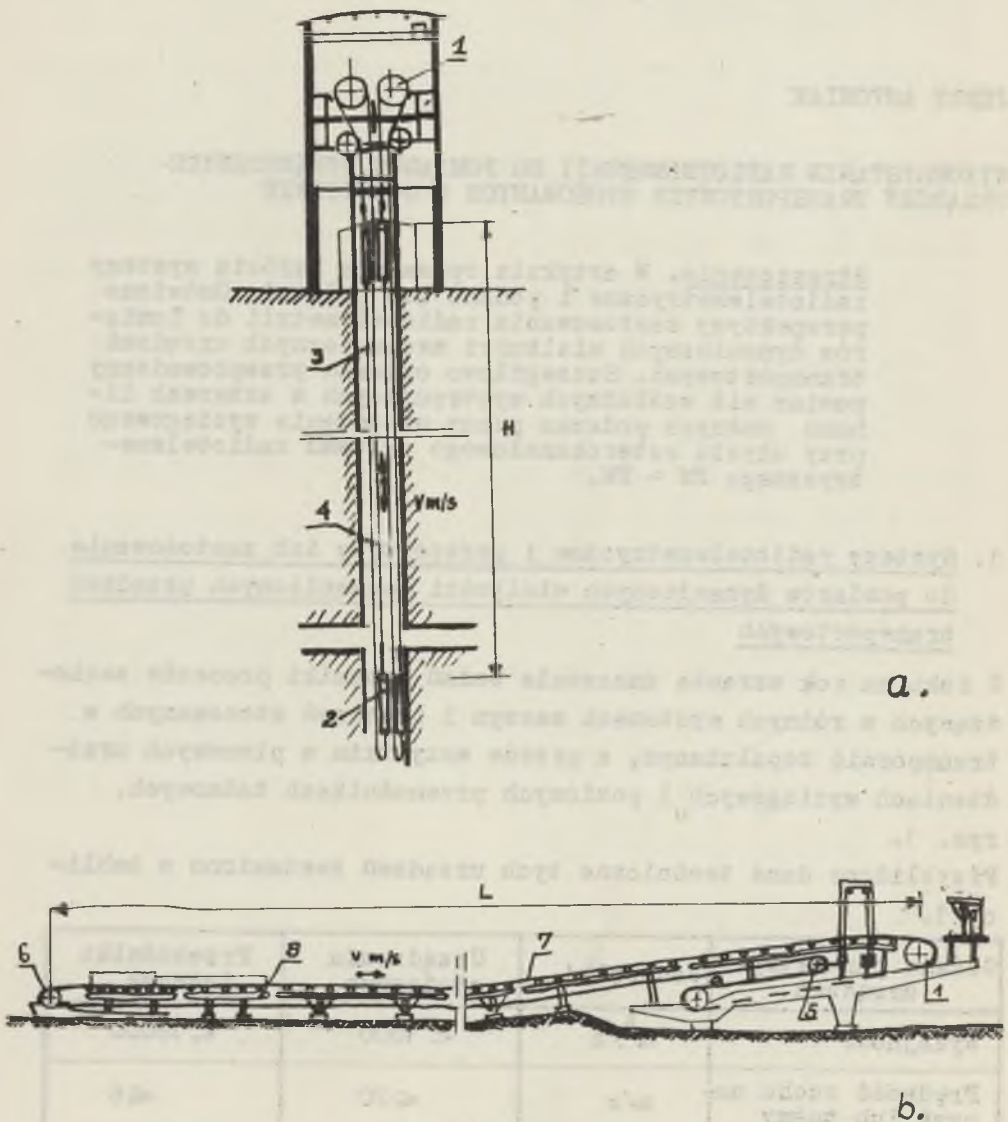
Streszczenie. W artykule opisano w skrócie systemy radiotelemetryczne i podano ich podział. Omówiono perspektywy zastosowania radiotelemetrii do pomiarów dynamicznych wielkości mechanicznych urządzeń transportowych. Szczegółowo opisano przeprowadzony pomiar sił wzdłużnych występujących w czterech linach nośnych podczas pracy urządzenia wyciągowego przy użyciu czterokanałowego systemu radiotelemetrycznego FM - FM.

1. Systemy radiotelemetryczne i perspektywy ich zastosowania do pomiarów dynamicznych wielkości mechanicznych urządzeń transportowych

Z roku na rok wzrasta znaczenie badań dynamiki procesów zachodzących w różnych systemach maszyn i urządzeń stosowanych w transporcie kopalnianym, a przede wszystkim w pionowych urządzeniach wyciągowych i poziomych przenośnikach taśmowych, rys. 1.

Przybliżone dane techniczne tych urządzeń zestawiono w tablicy 1.

Główne parametry urządzeń	Jednostki	Urządzenia wyciągowe	Przenośniki taśmowe
Wydajność	m ³ /h	< 1000	≤ 16000
Prędkość ruchu naczyni lub taśmy	m/s	≤ 20	≤ 6
Wysokość podnoszenia lub długość przenośnika	km	≤ 1,0	≤ 1,0
Moc silników napędowych	kW	≥ 2000	≥ 1000
Maksymalne napięcie ciągnia	t	≤ 100	≤ 100



Rys. 1. Schematy urządzeń transportowych

a) urządzenie wyciągowe, b) przenośnik taśmowy stały służący do transportu nadkładu na kopalni odkrywkowej

1 - bęben napędowy, 2 - naczynia nośne, 3 - liny nośne, 4 - liny wyrównawcze, 5 - bęben napinający, 6 - bęben zwrotny, 7 - taśma, 8 - konstrukcja nośna

Ekonomicznie uzasadniona tendencja do stałego zwiększania przedstawionych parametrów technicznych podkreśla jeszcze bardziej znaczenie poznania zjawisk dynamicznych i studiów nad ich wpływem na zachowanie się urządzeń podczas pracy. Poznanie to jest także niezbędne ze względu na zapewnienie wysokiej pewności i długotrwałości tych kosztownych urządzeń.

Większość systematycznych badań opartych o metody analityczne prowadzi się na urządzeniach rzeczywistych ze względu na trudności występujące w modelowaniu tak dużych urządzeń. Jednakże do dzisiaj duża liczba istotnych problemów naukowych nie jest rozwiązana, z uwagi na ograniczone możliwości tradycyjnych metod pomiarowych. Zasadnicze ograniczenia przewodowej metody pomiaru wynikają z ujemnego wpływu pojemności łąkowych przewodów oraz samych czujników naprężno-oporowych zasilanych prądem zmiennym na dokładność pomiaru oraz z trudności występujących przy odprowadzeniu sygnałów pomiarowych z elementów znajdujących się bądź w ruchu obrotowym, bądź częściowo w ruchu postępowym a częściowo w ruchu obrotowym. Uzyskane przy użyciu metody przewodowej wyniki pomiarów okazały się niepełne i niewystarczające do właściwej oceny obciążenia dynamicznego maszyn lub poszczególnych podzespołów i elementów. Zaczęto więc poszukiwać takiej metody pomiarowej, któraby umożliwiła przeprowadzenie szerokich i bez ograniczenia przestrzennego badań dynamicznych na urządzeniach rzeczywistych.

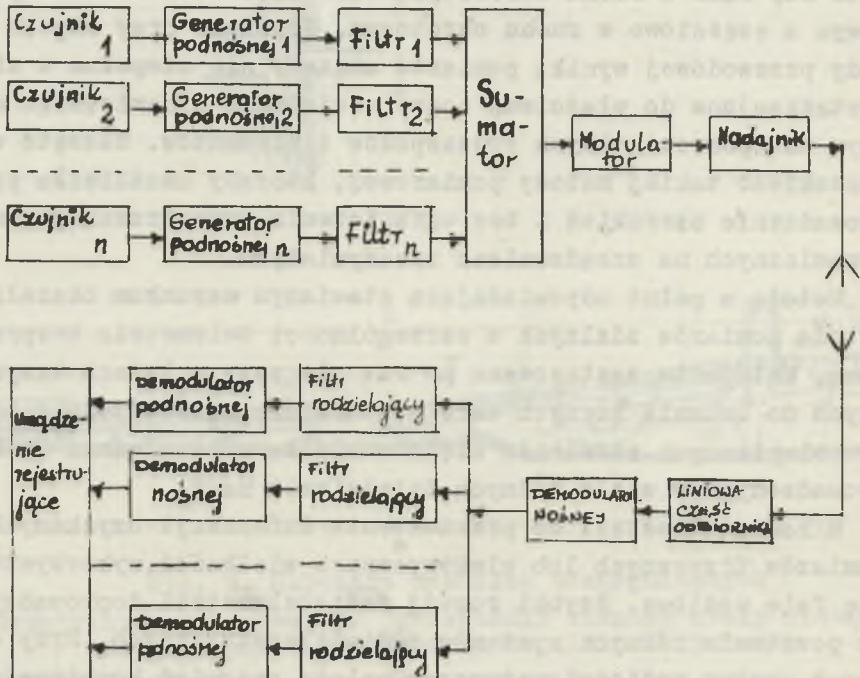
Metodą w pełni odpowiadającą stawianym warunkom okazała się metoda pomiarów zdalnych w szczególności telemetria bezprzewodowa. Metoda ta zastosowana po raz pierwszy w latach trzydziestych do badania górnych warstw atmosfery przy użyciu rakiet meteorologicznych rozwinęła się i znalazła zastosowanie do badań prowadzonych w wielu różnych dziedzinach nauk.

W radiotelemetrii do przenoszenia informacji uzyskanych z pomiarów fizycznych lub elektrycznych wielkości, wykorzystuje się fale radiowe. Szybki rozwój radiotelemetrii doprowadził do powstania różnych systemów radiotelemetrycznych. Przy czym przez system radiotelemetryczny należy rozumieć kombinację zespołu wszystkich środków technicznych służących do dokonania

pomiaru żądanych wielkości, zamiany ich na sygnał elektryczny przesłania do stacji odbiorczej i zarejestrowania.

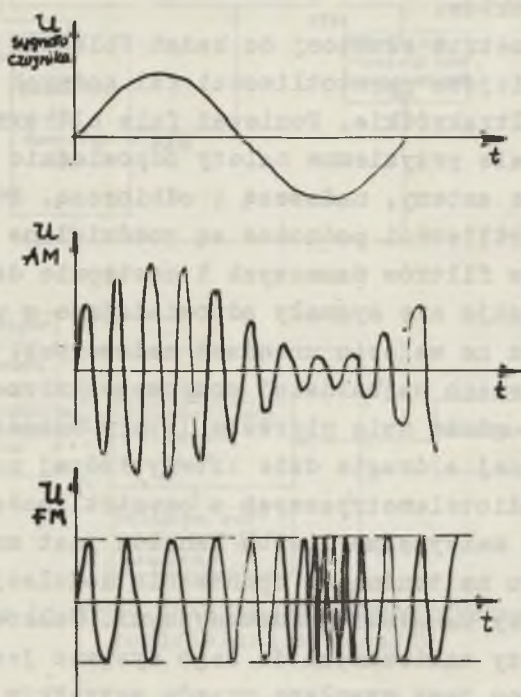
Ze względu na sposób przekazywania kanałów informacyjnych przy pomocy jednej częstotliwości radiowej rozróżnia się następujące grupy łącz wielokrotnych: z częstotliwościowym rozdzielaniem kanałów, z czasowym rozdzielaniem kanałów oraz systemy mieszane.

Schemat blokowy systemu radiotelemetrycznego z częstotliwościowym rozdzielaniem kanałów przedstawiono na rys. 2. W systemie tym każdemu kanałowi odpowiada jedna częstotliwość podnośna. Każdy z kanałów informacyjnych przesyła sygnały pomiarowe w sposób ciągły wykorzystując do tego częstotliwości pod-



Rys. 2. Schemat blokowy łącza radiotelemetrycznego z częstotliwościowym rozdzielaniem kanałów

nośne modulowane bezpośrednio w amplitudzie lub częstotliwości sygnałami pochodzącymi od czujników pomiarowych. Przykłady modulacji amplitudowej i częstotliwościowej sygnału czujnika przedstawiono na rys. 3. Generatory częstotliwości podnośnych są generatorami niskoczęstotliwościowymi (400 Hz do 70 kHz) a częstotliwości te są tak dobrane, aby można było oddzielić dokładnie jedną od drugiej w urządzeniu odbiorczym przy pomocy filtrów. Podnośne zawierające informacje przynależnego kanału są najpierw mieszane liniowo a następnie moduluja falę nośną.



Rys. 3. Przykłady stosowanej modulacji sygnału w systemach radiotelemetrycznych z częstotliwościowym rozdzieleniem kanałów

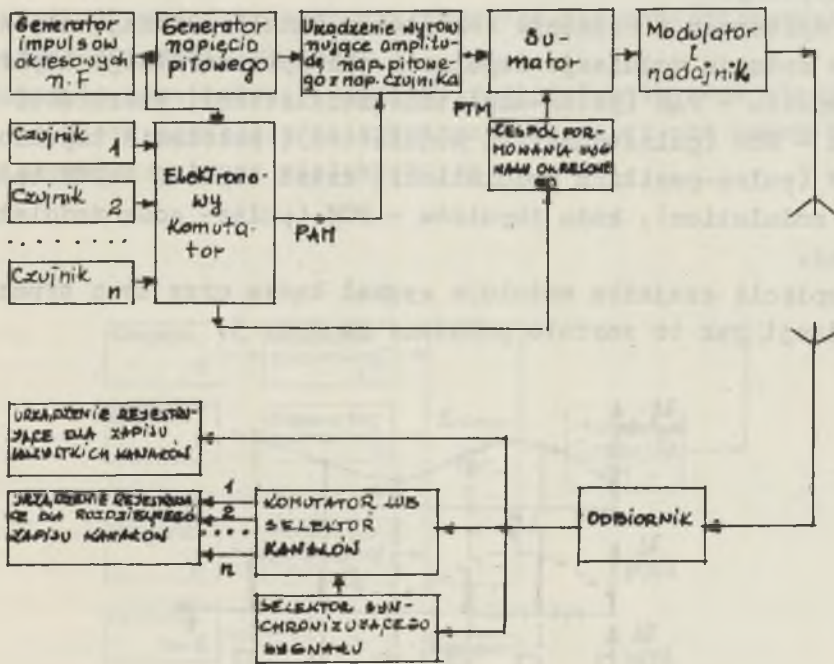
Fala nośna wypromieniowana przez antenę nadajnika a odebrana przez antenę odbiornika zawiera jednocześnie informacje wszystkich kanałów. Częstotliwość fali nośnej zależy od wielu czynników np. przy częstotliwościach mniejszych od 200 MHz następuje odbicie sygnałów radiowych od jonosfery, natomiast przy częstotliwościach wyższych od 10000 MHz występują zakłócenia wywołane deszczem i chmurami. Z tych też względów dla raketowej telemetrii wykorzystuje się w USA częstotliwości leżące w przedziale od 200 do 3000 MHz, gdyż dodatkowo dla tego przedziału stosowanej częstotliwości łatwo daje się skonstruować ukryte anteny nadawcze nie naruszające aerodynamicznych cech obiektów.

W radiotelemetrii służącej do badań obiektów naziemnych można stosować mniejsze częstotliwości fal nośnych jednakże zawsze będą to fale ultrakrótkie. Ponieważ fale ultrakrótkie rozchodzą się jako fale przyziemne należy odpowiednio usytuować względem siebie obie anteny, nadawczą i odbiorczą. Po stronie odbiorczej częstotliwości podnośne są rozdzielane przy pomocy liniowych obwodów filtrów pasmowych i następnie demodulowane. W wyniku otrzymuje się sygnały odpowiadające w pełni wielkościom mierzonym na wejściu urządzeń nadawczych.

W tych systemach najbardziej rozpowszechnione są modulacje AM-FM i FM-FM, gdzie dwie pierwsze litery oznaczają rodzaj modulacji podnośnej a drugie dwie litery rodzaj modulacji nośnej. W systemach radiotelemetrycznych z częstotliwościowym rozdzielaniem kanałów maksymalna liczba kanałów jest mniejsza od 18, a to ze względu na trudną do opanowania modulację skrośną występującą między kanałami informacyjnymi. Całkowita dokładność większości łączy zaliczanych do tego systemu jest mała i wynosi od 3 do 5% co jest wywołane przede wszystkim trudnościami w otrzymaniu dużej stabilności częstotliwości podnośnych.

Poważną zaletą tego typu łączy jest możliwość łatwej współpracy z większością stosowanych w pomiarach typów czujników, a więc tensometrów naprężno-oporowych, indukcyjnych, pojemnościowych itd.

Systemy radiotelemetryczne ze zwielokrotnieniem czasowym dzięki swoim zaletom znalazły szersze zastosowanie mimo, że zostały znacznie później wprowadzone do eksploatacji. Systemy te dają prawie nieograniczone możliwości tworzenia różnych typów urządzeń pracujących na tej samej zasadzie.



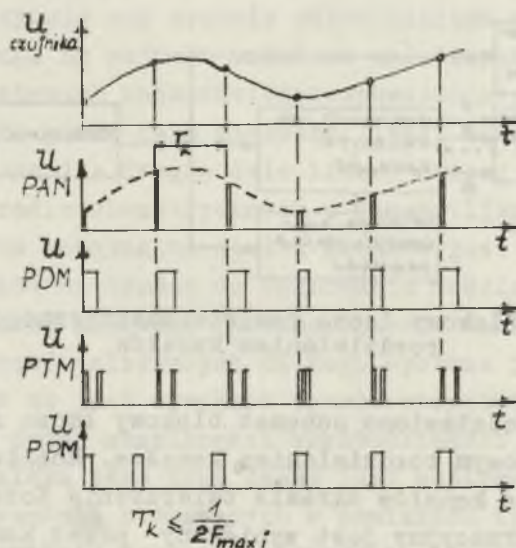
Rys. 4. Schemat blokowy łącza radiotelemetrycznego z czasowym rozdzieleniem kanałów

Na rys. 4 przedstawiono schemat blokowy łącza radiotelemetrycznego z czasowym rozdzieleniem kanałów. Możliwość czasowego rozdzielenia kanałów określa twierdzenie Kotelnikowa. Każdy kanał informacyjny jest wybierany przez komutator mechaniczny lub elektroniczny ze ściśle określoną częstotliwością powtarzania. W wyniku takiej operacji poprzez urządzenie komutujące dokonuje się kwantyzacji przesyłanej informacji,

która jest następnie kodowana tym lub innym sposobem i wreszcie przesyłana do odbiornika przy pomocy jednej fali nośnej. Tak więc informacje ze wszystkich kanałów są przesyłane kolejno w określonych odcinkach czasu w postaci pobranych próbek z pomiarów. Ponieważ w tych systemach w danej chwili włączony jest tylko jeden kanał więc praktycznie nie ma przesłuchów, które jeżeli wystąpią mogą mieć swoją przyczynę jedynie w niewystarczającej szerokości pasma radiowego łącza i innych obwodów wspólnych.

W systemach z czasowym rozdziałem kanałów stosuje się wszelkiego rodzaju modulacje impulsowe jak np.: modulację amplitudy impulsu - PAM (pulse-amplitude modulation), szerokości impulsu - PDM (pulse-duration modulation), położenia impulsu - PPM (pulse-position modulation), czasu impulsu - PTM (pulse-time modulation), kodu impulsów - PCM (pulse-code modulation) i inne.

Napięcie czujnika moduluje sygnał łącza przy tych typach modulacji jak to zostało pokazane na rys. 5.



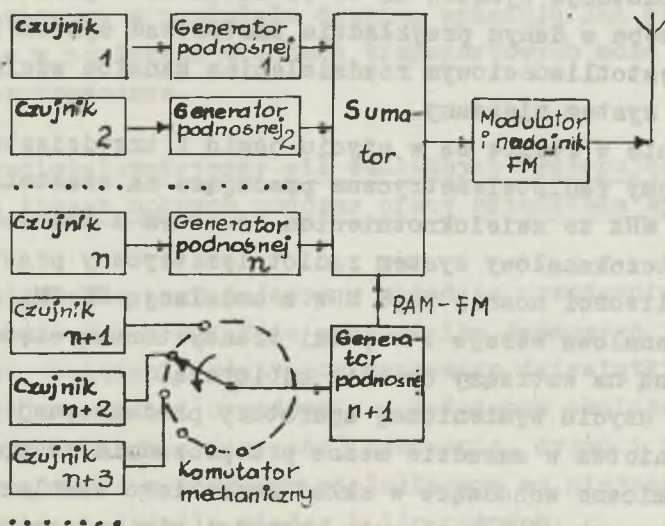
Rys. 5. Impulsowe modulacje stosowane w systemach radiotelemetrycznych z czasowym rozdzieleniem kanałów

T_k - czas cyklu komutacji, $F_{\max i}$ - częstotliwość najwyższej składowej i -tego sygnału pomiarowego

Przy modulacji PAM proporcjonalnie do napięcia czujnika zmienia się amplituda przekazywanych impulsów, przy PDM szerokość, przy PTM rozstaw między dwoma impulsami: okresowym i roboczym. Istotnym dla prawidłowego działania systemu telemetrycznego z czasowym rozdzielaniem kanałów jest aby urządzenia komutacyjno-kodujące - zarówno nadawcze jak i odbiorcze pracowały synchronicznie. To znaczy, aby urządzenie odbiorcze właściwie rozdzielało ciąg odebranych impulsów do właściwych kanałów.

Dla częstotliwości nośnych wykorzystuje się modulację amplitudy, częstotliwości lub fazy.

Ostatnio rozwinęły się systemy radiotelemetryczne mieszane, rys. 6, które pozwalają na wykorzystanie zalet obu poprzednio omówionych grup łączy wielokrotnych.



Rys. 6. Urządzenie nadawcze mieszane systemu radiotelemetrycznego - PAM - FM - FM

Systemy z czasowym rozdzielaniem kanałów dzielą się pod względem pojemności na trzy grupy: urządzenia o małej, średniej

i wielkiej pojemności. Podział ten wynika z wprowadzenia tzw. współczynnika C_1 charakteryzującego przepustowość danego urządzenia przy określonej liczbie kanałów informacyjnych.

$C_1 = n \cdot F_K$, gdzie: n - liczba kanałów pomiarowych, F_K - częstotliwość komutacji. Częstotliwość komutacji musi być większa od podwójnej wartości częstotliwości najwyższej składowej sygnału pomiarowego.

Zatem w jednym cyklu komutacji każdy kanał pomiarowy będzie wybrany tylko jeden raz.

Przykładowo systemem radiotelemetrycznym o średniej pojemności nazywa się system służący do przekazywania szerokiego pasma informacji o częstotliwości od 100 do 2000 Hz i dość dużej liczbie kanałów, $n \leq 30$.

Przy małej liczbie kanałów zabudowanie elektronicznego komutatora jest zbyt kosztowne z powodu jego złożoności, natomiast komutator mechaniczny nie zabezpieczy odpowiedniej częstotliwości komutacji wyższej od 40-90 Hz (2400 - 3000 1/min), dlatego trzeba w danym przykładzie zastosować system telemetryczny z częstotłościowym rozdzieleniem kanałów względnie dla $n > 18$ system mieszany.

Obecnie w Polsce są w użyciu ośmio i trzydziestodwukanałowe systemy radiotelemetryczne pracujące na częstotliwości nośnej 460 MHz ze zwielokrotnieniem czasowym z modulacją PPM-AM oraz czterokanałowy system radiotelemetryczny pracujący na częstotliwości nośnej 56,8 MHz z modulacją FM-FM, a także jego dwukanałowa wersja z w pełni tranzystorową częścią nadawczą i odporną na wstrząsy częścią odbiorczą.

Przy użyciu wymienionej aparatury produkowanej przez Instytut Lotnictwa w zasadzie można przeprowadzić różnorodne pomiary dynamiczne wchodzące w skład szerokiego wachlarza problemów naukowych. I tak obecnie prowadzi się przygotowania do badań mających na celu pomiar odkształceń i naprężeń dynamicznych występujących w powłoce oraz tarczach bębna napędowego stosowanego w maszynach wyciągowych.

Do przekazania sygnałów pomiarowych z tensometrów oporowych naklejonych na wirującym bębnie do aparatury rejestrującej prze-

widuje się wykorzystanie telemetrii bezprzewodowej. Innym przykładem wykorzystania tej metody pomiaru są przygotowywane badania których celem jest pomiar obciążenia dynamicznego wagoników turystycznych i towarowych kolejek linowych. Znajomość sił i drgań występujących podczas pracy kolejek linowych jest bowiem niezbędna do prawidłowego zaprojektowania nowych, lepszych i bezpieczniejszych urządzeń.

Daleko zaawansowane są prace nad jednokanałowym systemem radiotelemetrycznym przystosowanym do pomiarów czujnikami indukcyjnymi oraz czujnikami pojemnościowymi o możliwie subminiaturowym nadajniku i zasilaczu. Urządzenie to jest przewidziane do pomiarów sił wzdłużnych występujących w taśmie podczas pracy dużych przenośników taśmowych. Wymiary nadajnika jak i czujników pomiarowych są dostosowane do grubości taśmy przenośnikowej, w której będą zatopione.

Tematy tych badań, których realizacja jest daleko zaawansowana, a także pomyślne wyniki przeprowadzonego na dużą skalę pomiaru omówionego w rozdziale drugim, wykazują jak szerokie zastosowanie w pomiarach urządzeń transportowych może mieć telemetria bezprzewodowa.

2. Pomiar radiotelemetryczny sił wzdłużnych występujących w czterech linach nośnych podczas pracy urządzenia wyciągowego

Głównym obciążeniem występującym w układzie urządzenia wyciągowego podobnie jak w układzie przenośnika taśmowego jest okresowo zmienne obciążenie statyczne wynoszące dziesiątki ton tylko dla jednej gałęzi urządzenia z nałożonym obciążeniem dynamicznym wynikającym z rozruchu, hamowania, drgań i uderów. W każdym urządzeniu wyciągowym wielolinowym ma miejsce nierówny rozdział obciążenia między k lin nośnych.

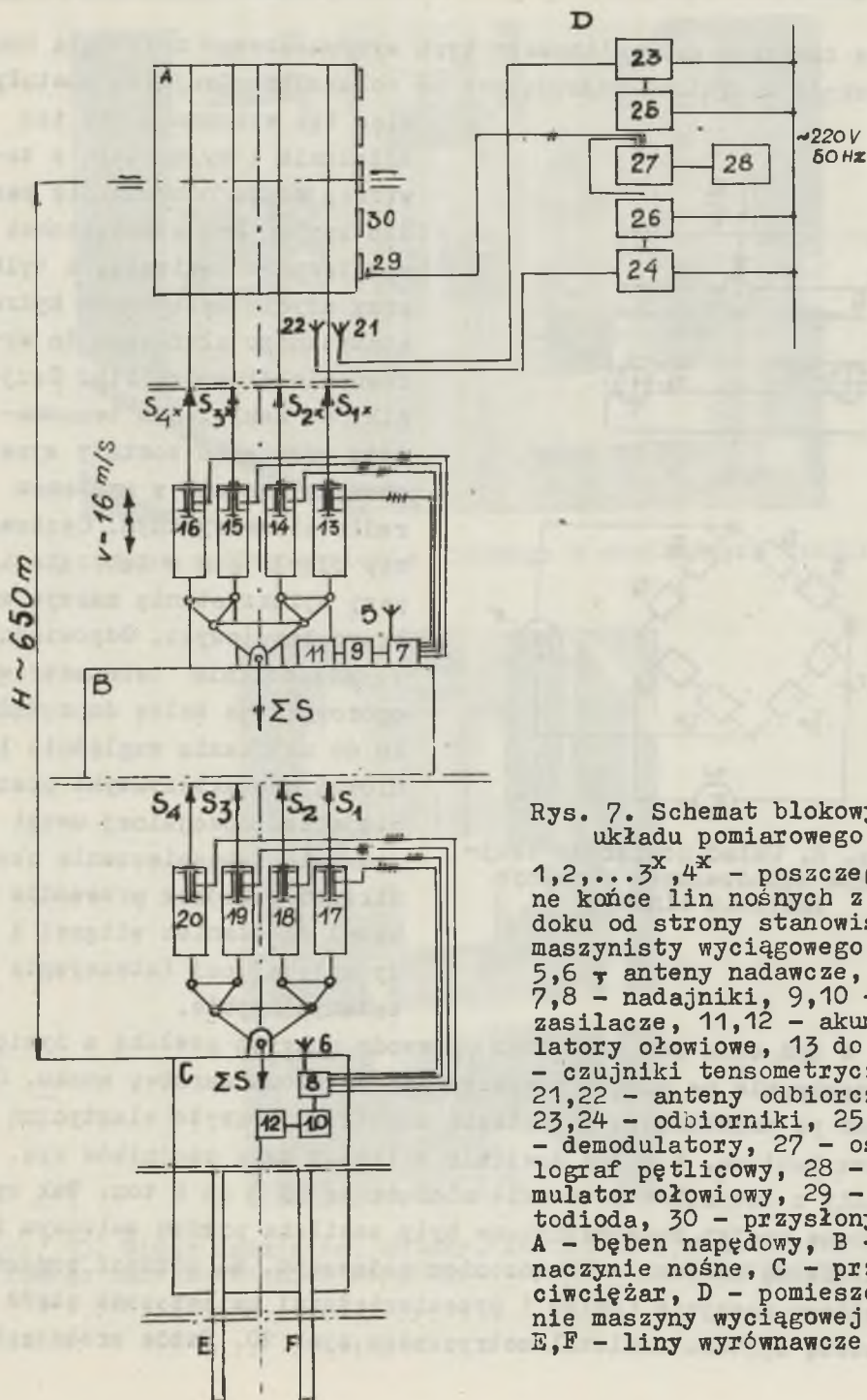
Głównymi przyczynami tego zjawiska są: różnice w własnościach technologicznych i wytrzymałościowych poszczególnych lin, różne długości napiętych lin, różnice w średnicach nawojowych bębna pędnego a także różnice w własnościach fizycznych materiałów wykładzin. Aby zapobiec groźnym w następstwa dużym przeciąże-

niom jednych lin w stosunku do drugich stosuje się środki zapobiegające jak: zawiesia typu wyrównawczego, egalizację średnic nawojowych bębna napędowego, wykładziny z materiałów o miękkiej charakterystyce i wyrównywanie długości lin.

Celem przeprowadzonych badań był pomiar widma obciążenia wzdłużnego lin nośnych występującego w czasie normalnej pracy nowoczesnego urządzenia wyciągowego czterolinowego produkcji krajowej. Między obiema gałęziami urządzenia wyciągowego zachodzi pełna współzależność procesów dynamicznych. Zatem dla uzyskania pełnego obrazu zjawiska należało przeprowadzić jednoczesny pomiar sił występujących we wszystkich ośmiu końcach czterech lin z równoczesną rejestracją wyników na jednej taśmie oscylografu.

W związku z tym do pomiarów użyto podwójny czterokanałowy system radiotelemetryczny pracujący na częstotliwości nośnej 56,8 MHz ze zwielokrotnianiem częstotliwościowym z modulacją FM-FM produkcji Instytutu Lotnictwa. Schemat blokowy całego układu pomiarowego przedstawiono na rys. 7. W skład zastosowanego systemu radiotelemetrycznego wchodziły po dwie sztuki urządzeń nadawczych typ LNM-273, zasilaczy nadajnika typ LZN-232, akumulatorów ołowiowych 10 V, odbiorników typ LOM-282, demodulatorów typ LDM-292 i jeden oscylograf pętlicowy typ K12-21 zasilany prądem stałym.

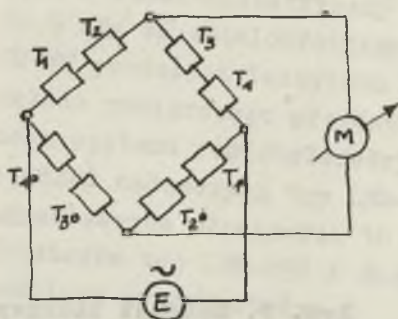
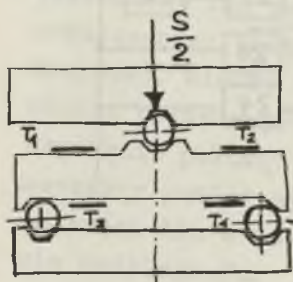
Urządzenie nadawcze tego systemu radiotelemetrycznego jest przystosowane do współpracy z czujnikami naprężno-oporowymi pracującymi w układzie pełnego mostka, chociaż przez wymianę modulatorów na inne można urządzenie przystosować do współpracy z czujnikami indukcyjnymi. W związku z tym czujniki służące do pomiaru sił wykonano w oparciu o tensometry oporowe. Czujnik ten wykonany był w postaci belki z naklejonymi czterema tensometrami oporowymi i wraz z drugim identycznym czujnikiem tworzył całość mostka pomiarowego. Schemat połączenia tensometrów przedstawiono na rys. 8. Umieszczenie tensometrów oporowych doznających odkształceń o wartościach bezwzględnie równych lecz przeciwnych pod względem znaku w sąsiednich gałęziach mostka prowadziło do otrzymywania zwiększonego sygnału mierzonego. Bu-



Rys. 7. Schemat blokowy układu pomiarowego

1,2,...,3^x,4^x - poszczególne końce lin nośnych z widoku od strony stanowiska maszynisty wyciągowego, 5,6 - anteny nadawcze, 7,8 - nadajniki, 9,10 - zasilacze, 11,12 - akumulatory ołowiowe, 13 do 20 - czujniki tensometryczne, 21,22 - anteny odbiorcze, 23,24 - odbiorniki, 25,26 - demodulatory, 27 - oscylograf pętlicowy, 28 - akumulator ołowiowy, 29 - fotodioda, 30 - przysłony, A - bęben napędowy, B - naczyne nośne, C - przeciwciężar, D - pomieszczenie maszyny wyciągowej, E,F - liny wyrównawcze

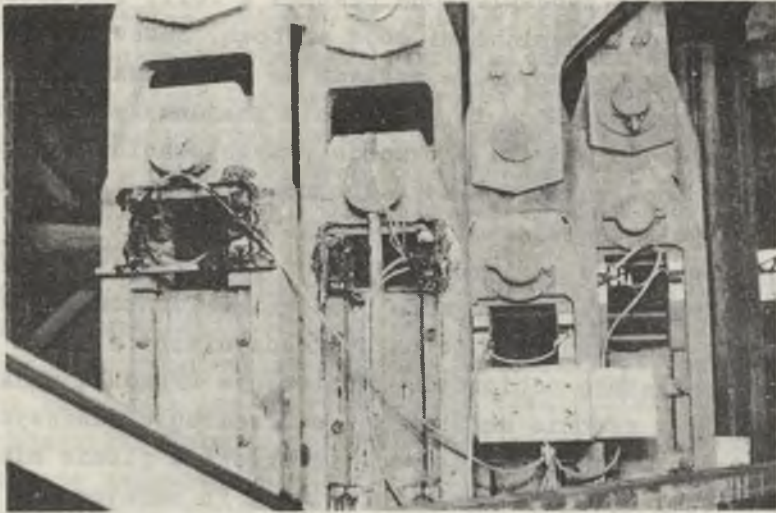
dowa zawiesia czterolinowego typu wyrównawczego narzucała konstrukcję czujników pracujących na ściskanie. Czujniki zostały



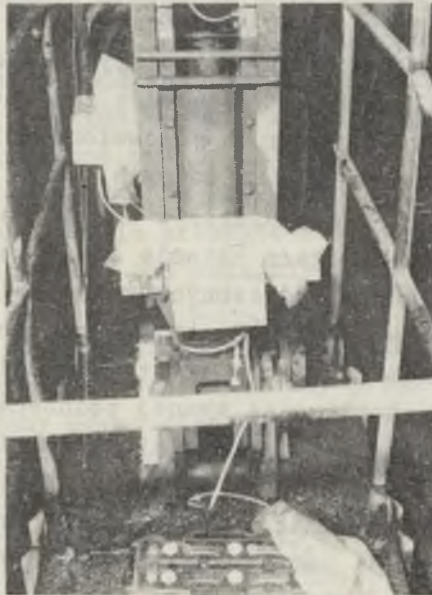
Rys. 8. Układ pomiarowy czujników zabudowanych w jednym zawiesiu linowym

więc tak wykonane, aby ich wkładanie i wyjmowanie z zawiesia mogło odbywać się bardzo szybko bez konieczności rozbierania zawiesia, a tylko przy użyciu urządzenia hydrostatycznego służącego do wyrównania długości lin. Czujniki po naklejeniu tensometrów oporowych zostały wycelowane łącznie z systemem radiotelemetrycznym. Cechowanie odbyło się w laboratorium przy wykorzystaniu maszyn wytrzymałościowych. Odpowiednie rozmieszczenie tensometrów oporowych na belce doprowadziło do uzyskania względnie liniowej charakterystyki pracy czujnika. Specjalnej uwagi wymagało zabezpieczenie czujników i końcówek przewodów przed działaniem wilgoci i wody spływającej intensywnie w badanym szybie.

W tym celu czujniki oraz przewody pokryto powłoką z żywicy a następnie na gorącą powierzchnię nałożono warstwę wosku. Całość po wmontowaniu w zawiesie dodatkowo pokryto elastyczną masą kablową. W każde zawiesie wkładano parę czujników rys. 9. Każdy z czujników przenosił obciążenie od 5 do 8 ton. Tak wykonane mostki tensometryczne były zasilane prądem zmiennym i połączone kablami z urządzeniem nadawczym. Na górnych pomostach każdego naczynia (skipu i przeciwcieżaru) umieszczono część nadawczą systemu radiotelemetrycznego, rys. 10. Każde urządzenie



Rys. 9. Widok ogólny zawiesia linowego z wbudowanymi czujnikami



Rys. 10. Widok nadajnika, anteny, zasilacza i akumulatora ołowiowego umiejscowionych na górnym pomoście przeciwciężaru

zostało starannie zabezpieczone płatami z folii igielitowej przed spływającą strumieniami wodą szybową. Zabezpieczenia przed wodą były konieczne ze względu na długi czas montażu urządzeń i pomiaru. Łącznie urządzenia znajdowały się w szybie około sześciu godzin. W okresie przygotowania i następnie prowadzenia pomiaru utrzymywano łączność telefoniczną między poszczególnymi stanowiskami roboczymi.

Przygotowania do pomiaru na Kopalni przebiegały w następującej kolejności: - jedna grupa pracowników montowała czujniki i aparaturę nadawczą kolejno na obu naczyniach, a druga grupa montowała aparaturę odbiorczą. Montowanie urządzeń nadawczych odbywało się w rejonie nadszybia - a urządzeń odbiorczych w pomieszczeniu maszyny wyciągowej. Odległość w pionie między tymi miejscami wynosiła około 30 metrów. Po zmontowaniu urządzeń przystąpiono do zestrojenia aparatury i pomiaru kontrolnego. Szczególną uwagę zwrócono na zapewnienie dobrej propagacji fal elektromagnetycznych w szybie o głębokości 625 metrów. Sumaryczna odległość między urządzeniem nadawczym w momencie gdy znajdowało się ono na podszybiu a stałymi antenami odbiorczymi wynosiła 650 m. Propagację fali nośnej w szybie wypełnionym stalowym zbrojeniem poprawiono dzięki połączeniu anten nadawczych z jedną z lin nośnych.

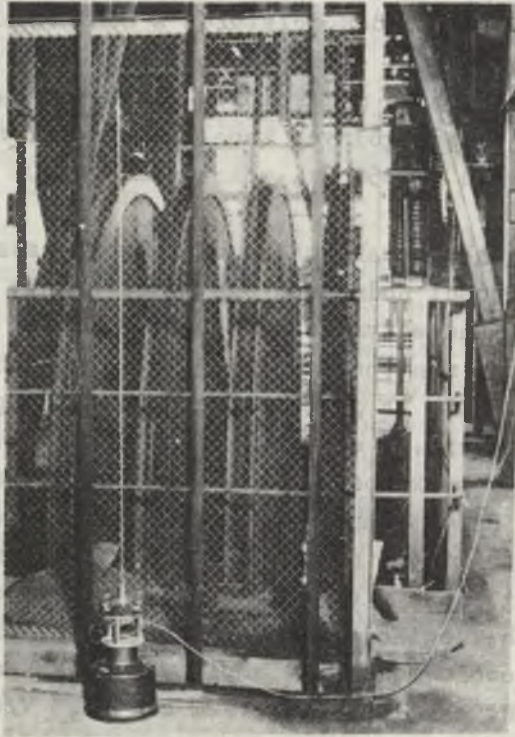
Pomiar przebiegał następująco: w wyniku zaistniałej zmiany napięcia liny nośnej ulegało zmianie obciążenie mechaniczne układu belek czujników umieszczonych w zawiesiu linowym. Zmianie odkształcenia belek odpowiadała zmiana oporności przynależnej gałęzi mostka tensometrycznego, która z kolei powodowała odpowiednią zmianę częstotliwości zwanej podnośną. Częstotliwości podnośne były modulowane bezpośrednio w częstotliwości sygnałem wielkości mierzonej. Każdemu z ośmiu końców czterech lin nośnych odpowiadał jeden kanał informacyjny o innej częstotliwości podnośnej. Ponieważ do pomiaru użyto dwóch urządzeń nadawczych z których jedno było umieszczone na skipie a drugie na przeciwcieżarze w zasadzie były tylko cztery wartości częstotliwości podnośnych. Przy czym dla ograniczenia do minimum modulacji skrośnej między poszczególnymi kanałami informacyjnymi, a któ-

ra to jest wynikiem odchyień od liniowej charakterystyki modulatorów w nadajniku i demodulatorów w odbiorniku, przyjęto znormalizowane przez USA częstotliwości zerowe i ich dewiacje.

Częstotliwości zerowe modulatorów określane wartościami mostków Wiena w poszczególnych kanałach wynosiły: w pierwszym - 5400 Hz, w drugim - 7350 Hz, w trzecim - 10500 Hz i w czwartym - 14500 Hz.

We wszystkich kanałach maksymalne odchylenia częstotliwości od środkowej wartości podnośnej nie przekraczały $\pm 7,5\%$. Z kolei w urządzeniu nadawczym cztery częstotliwości podnośne są mieszane liniowo i następnie moduluja częstotliwościowo falę nośną nadajnika. Fala ta jest w sposób ciągły wypromieniowana przez antenę nadawczą. W efekcie końcowym każdy z kanałów pomiarowych zajmuje tylko pewną określoną część pasma kanału transmisyjnego. Dane techniczne urządzenia nadawczego to: cztery kanały, częstotliwość nośna 56,8 MHz wypromieniowana przez antenę w postaci pręta pionowego $\lambda/8$, stałość częstotliwości $\pm 1,5 \cdot 10^{-4}/1$ h, dewiacja częstotliwości maksymalnie 40 do 50 kHz, nieliniowość modulacji amplitudy mniejsza od 2%, moc wyjściowa 200 mW, zasilanie 150 V/20 mA i 6,3 V/0,6 A. Ze względu na kilkugodzinne pomiary zrezygnowano z wewnętrznego źródła energii elektrycznej a skorzystano ze zwykłych akumulatorów ołowiowych. W celu zróżnicowania przesyłanych sygnałów informacyjnych przez oba nadajniki zmieniono częstotliwości fal nośnych.

W rejonie kół odchylających były ustawione anteny odbiorcze, rys. 11. Sygnał radiowy emitowany przez nadajnik łączy pomiarowego odebrany przez niesymetryczną antenę dipolową doprowadzany był kablem koncentrycznym o oporności falowej $Z_0 = 55 \Omega$ do odbiornika i reszty aparatury zainstalowanej w pomieszczeniu maszyny wyciągowej, rys. 12. Odebrany sygnał radiowy jest następnie wzmacniany w jednostopniowym wzmacniaczu wysokiej częstotliwości. Z kolei sygnał ten jest przykładany na siatkę mieszacza do którego z drugiej strony doprowadzony jest sygnał z heterodyny. Heterodyna pracuje w typowym układzie Colpitts'a. Jednak główne wzmocnienie sygnału następuje we



Rys. 11. Anteny odbiorcze usytuowane na pomoście kół odchyłających



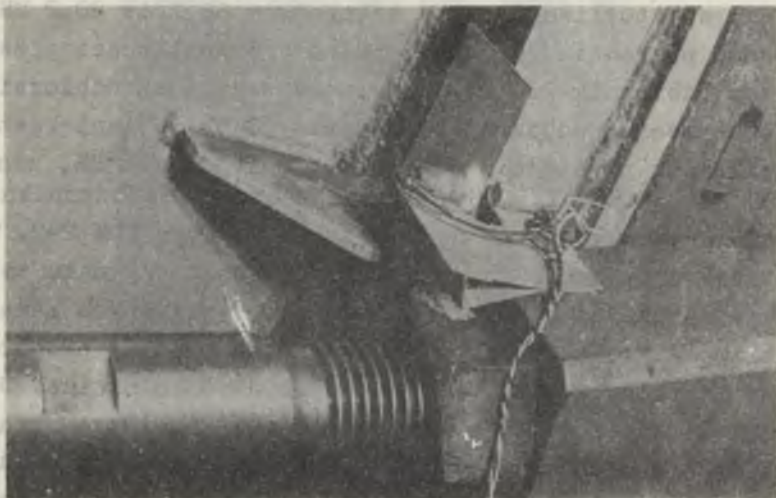
Rys. 12. Widok zblokowanej aparatury odbiorczej zainstalowanej w pomieszczeniu maszyny wyciągowej

wzmacniaczu pośredniej częstotliwości, który jest czterostopniowym wzmacniaczem zbudowanym na lampach EF 80 - VO4 - VO7.

W skład dalszych podstawowych części odbiornika wchodzi: dyskryminator, wzmacniacz wyjściowy małej częstotliwości, wzmacniacz akustyczny, wzmacniacz prądu stałego w układzie ARCz oraz zasilacz. Dane techniczne odbiornika są następujące: rodzaj modulacji FM, zakres częstotliwości sygnałów odbiorczych 55,5 - 69,5 MHz, częstotliwość pracy heterodyny 66,2 do 80,2 MHz, częstotliwość pośrednia 10,7 MHz, pasmo częstotliwości przenoszanej przez odbiornik 200 kHz, oporność wejściowa odbiornika 55Ω, czułość użyteczna odbiornika mniejsza od 5 μV, zniekształcenie nieliniowe powstałe w odbiorniku mniejsze od 2%, zasilanie 127 V/50 Hz lub 220 V/50 Hz. Sygnał radiowy z odbiornika jest następnie przekazywany do demodulatora FM typu LDM 292. W demodulatorze odbywa się rozdzielanie złożonego sygnału telemetrycznego na częstotliwości podnośne poszczególnych kanałów. Częstotliwości te z kolei są przetwarzane w prądy proporcjonalne do mierzonych wielkości na wejściu do nadajnika. Demodulator składa się z czterech demodulatorów kanałowych pracujących na tych samych częstotliwościach podnośnych co modulatory nadajnika. Zasadniczymi zespołami demodulatora są: separator, filtr środkowo-przepustowy, wzmacniacz i układ kształtujący, amplifiltr, dyskryminator i wzmacniacz prądu stałego.

Rozdział informacji telemetrycznej do odpowiednich kanałów wykonuje jednoznacznie i ostatecznie zespół filtrów pasmowych. Po demodulacji sygnały odpowiadające wielkościom mierzonym w zawiesiach lin nośnych po przejściu przez wzmacniacz prądu stałego i miernik magnetoelektryczny zasilają pętlice oscylografu. Rejestracja wszystkich ośmiu kanałów informacyjnych odbywała się jednocześnie na jednej taśmie oscylograficznej. W tym samym czasie aby mieć dokładne wartości współrzędnych obu naczyń poruszających się w szybie ze zmienną prędkością rejestrowano także na tej samej taśmie oscylograficznej przebytą drogę przez naczynia. Z wartości odczytanych na taśmie można z dużą dokładnością określić prędkość jazdy naczyń oraz opóźnienia i przyspieszenia ruchu. Jako znacznika przebytej drogi przez na-

czynia użyto impulsów otrzymywanych od nieruchomej fotodiody umiejscowionej na cięgnie skośnym hamulca maszyny wyciągowej, rys. 13. Impuls elektryczny był wytwarzany w czasie przejścia jednej z dwunastu przysłon między źródłem światła a fotodiodą. Przysłony w liczbie dwunastu były naklejone w równych odstępach na obracającym się bębnie napędowym.



Rys. 13. Przysłona przechodząca przed fotodiodą

W charakterystycznych okresach pomiaru w celu ułatwienia przyszłej analizy oscylogramów nanoszono na nie impulsy otrzymywane z elektronicznego generatora podstawy czasu.

Zastosowany system radiotelemetryczny charakteryzował się całkowitą dokładnością zaliczoną do klasy średniej a błędy pomiaru nie przekroczyły 5%.

Sam pomiar został przeprowadzony w czasie normalnej pracy urządzenia wyciągowego i objął wszystkie fazy pracy a więc: ładowanie urobku do skipu na podszybiu przy czym jednorazowy ładunek użyteczny wynosił 18 ton, rozruch urządzenia, jazdę ustaloną z prędkością 16 m/s, hamowanie, wyładowanie naczynia

na podszybiu, rozruch i jazdę pustym naczyniem w kierunku podszybia itd. Dodatkowo zaprogramowano i objęto pomiarami takie czynności jak hamowanie urządzenia wyciągowego jadącego z prędkością koncesyjną hamulcem manewrowym lub bezpieczeństwa w chwili gdy naczynia znajdowały się w środku głębokości szybu. W rejonie nad i podszybia obserwowano i mierzono wychylenia dźwigni zawiesi linowych. Wycinek taśmy oscylograficznej otrzymany w czasie pomiarów urządzenia wyciągowego zainstalowanego w szybie Lechia kopalni "Wujek" przedstawiono na rys. 14.

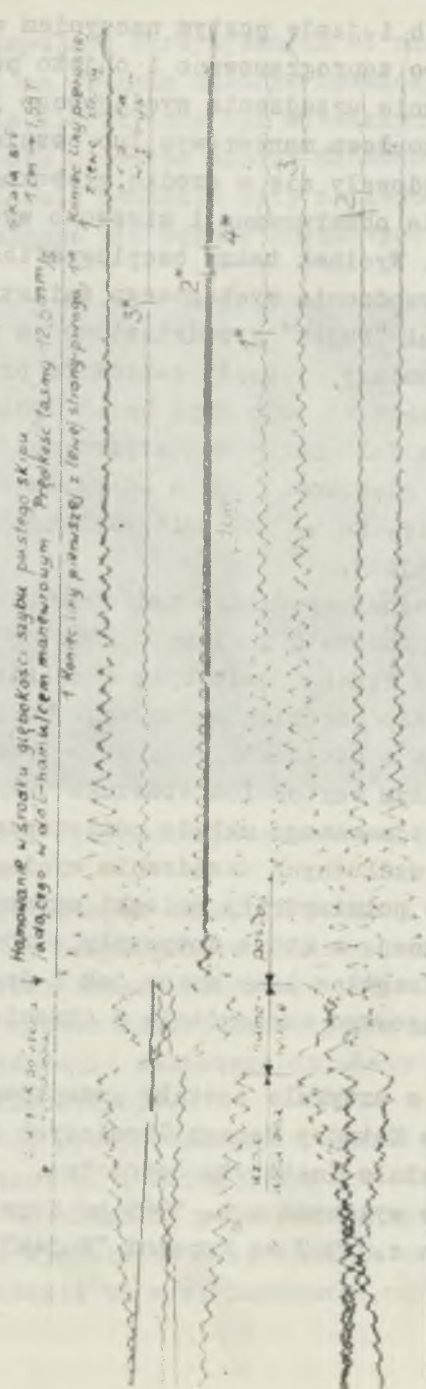
Przeprowadzone pomiary wykazały całkowitą przydatność systemu radiotelemetrycznego do tego typu badań dynamicznych. Stwierdzono, że propagacja fal elektromagnetycznych o częstotliwości 56,8 MHz w szybie o głębokości 650 m odbywała się bez zakłóceń. Należy spodziewać się, że ze znacznie większych głębokości odbiór będzie zadawalający.

Do zalet zastosowanej aparatury radiotelemetrycznej należy zaliczyć jej zwartą budowę i możliwość łatwego rozmieszczenia na badanym obiekcie. Praca układu była stabilną mimo kilkugodzinnej pracy w bardzo ciężkich warunkach. Współpraca systemu radiotelemetrycznego z czujnikami naprężno-oporowymi była bardzo dobra dzięki dużym wartościom stosunku $\Delta R/R$.

Cenną zaletą zastosowanego układu pomiarowego była możliwość pomiaru drgań wzdłużnych urządzenia wyciągowego. Wyniki pomiarów w zasadzie potwierdziły wnioski uzyskane uprzednio na drodze teoretycznej, a które dotyczyły zarówno rozkładu obciążenia na poszczególne liny nośne jak i drgań całego układu urządzenia wyciągowego szczególnie w okresie hamowania awaryjnego.

Badania opisane w artykule zostały przeprowadzone staraniem zespołu pracowników Katedry Maszyn Górniczych Politechniki Śląskiej przy współudziale Instytutu Lotnictwa.

Pierwsze pomiary wykonano w r. 1965 na Kopalni "Bolesław Śmiały", a drugie w r. 1967 na Kopalni "Wujek".



Rys. 14. Wycinek oscylogramu z pomiaru rozkładu obciążenia na poszczególnych liny nośne urządzenia wyciągowego

LITERATURA

- [1] Black H.S.: Modulation theory.
- [2] Krassner G.N., Michaels J.V.: Introduction to space communications systems. Mac. Graw Hill, 1964.
- [3] Lichodziejewski C.: Telemetria bezprzewodowa i jej zastosowanie. Referat, Instytut Lotnictwa, Warszawa 1967.
- [4] Teljakow I.M.: Radiotelemetria. Izd. Sowietskoje radio, 1966 Moskwa.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОТЕЛЕМЕТРИИ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Р е з ю м е

В работе описано в сокращении радиотелеизмерительные системы, а также представлено их разделение. Рассмотрено перспективы применения радиотелеметрии для динамических измерений механических величин транспортных установок. Подробно описано проведенное измерение продольных сил, выступающих в четырех несущих канатах во время работы подъемного устройства с применением радиотелеизмерительной системы с четырьмя каналами FM - FM.

UTILIZATION OF RADIOTELEMETRY TO THE DYNAMIC MEASUREMENTS
OF TRANSPORT DEVICES USED IN MINING

S u m m a r y

In the paper some radiotelemetric systems have been shortly described and their division has been given. The prospects of using radiotelemetry to the dynamic quantities of mechanical transport devices have been discussed. A carried out measurement of longitudinal forces appearing in four hoisting ropes during the work of a winding gear with the application of a radiotelemetric system FM-FM - has been in detail given.