

**Michał BARTYŚ**

INSTYTUT AUTOMATYKI I ROBOTYKI POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ,  
ul. św. A. Boboli 8, 02-525 Warszawa

**System monitorowania i ograniczania udźwigu****Dr inż. Michał BARTYŚ**

Asystent w Instytucie Automatyki i Robotyki Politechniki Warszawskiej. W swojej pracy zawodowej zajmuje się zagadnieniami związanymi z Automatyką Procesów, Diagnostyką, Systemami Sieciowymi Automatyki, Inteligentnymi Urządzeniami Pomiarowymi i Wykonawczymi Automatyki oraz Zastosowaniami Logiki Rozmytej. Współautor 3 książek i 3 podręczników, autor 101 publikacji, autor i współautor 4 patentów. Konstruktor 61 unikatowych konstrukcji urządzeń mechatronicznych. Autor licznych wdrożeń przemysłowych.

e-mail: bartys@mchtr.pw.edu.pl

**Streszczenie**

W artykule zaprezentowano koncepcję, wybrane wyniki badań oraz aspekty realizacyjne unikalnego systemu przeznaczonego do monitorowania i aktywnego ograniczania udźwigu. System ten jest stosowany w pojazdach specjalnych typu MONTRAKS produkowanych przez Przemysłowy Instytut Maszyn Budowlanych w Kobyłce. W artykule przedstawiono problemy techniczne, metodyczne, metrologiczne oraz wybrane aspekty bezpieczeństwa funkcjonalnego pojazdu.

**Słowa kluczowe:** ogranicznik udźwigu, przetworniki tensometryczne siły, bezpieczeństwo funkcjonalne, przemysłowe sieci komunikacyjne.

**Load limiting and monitoring system****Abstract**

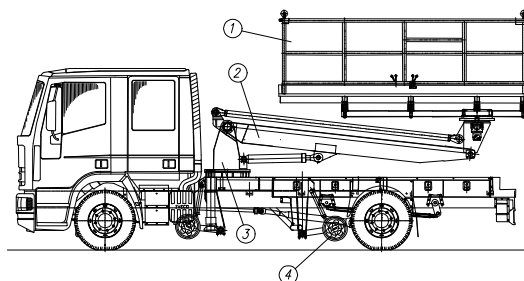
The idea, chosen research results as well as implementation aspects of the unique system for the monitoring and active load limiting issues is presented in this paper. System has been implemented in the series of specialised vehicles called MONTRAKS manufactured by the Construction Equipment Research Institute in Kobyłka, Poland. These vehicles are primary intended for servicing the municipal tramway traction networks. MONTRAKS vehicle is provided with the aerial work platform. Hence, the one of the most important issues here is the insurance of the safety of the operators that typically are working on this platform. Overloading of the platform during operation may cause the loose of vehicle's stability. The paper describes briefly the development of the load limiter that prevents of appearing of such dangerous events. The paper is structured as follows. In Sect. 1, the MONTRAKS vehicle is described briefly (Figs. 1, 2). Sect. 2 refers to the functional safety aspects related with the vehicle, as well as lists the measures that should be undertaken to improve the vehicle's safety. Sect. 3 describes shortly the load limiter architecture (Fig. 3) while in Sect. 4 the functionalities of the load limiter are explained. Sect. 5 characterises the smart strain gauge load cells used for load measurements. Sect. 6 refers to the simplified analysis of the load of the measurements while Sect. 7 shows the chosen laboratory results of the load limiter investigations (Figs. 8, 9). In Sect. 8 the summary of the paper is given.

**Keywords:** load limiter, strain gauge load cells, functional safety, industrial networks.

**1. Wprowadzenie**

Przemysłowy Instytut Maszyn Budowlanych jest producentem unikalnych pojazdów specjalnych typu MONTRAKS [1]. Pojazd tego typu (rys. 1, 2) zbudowany jest na podwoziu samochodu ciężarowego i jest wyposażony w osprzęt umożliwiający przeprowadzenie inspekcji, napraw i konserwacji trakcji tramwajowej. Cechą charakterystyczną i unikalną tego typu pojazdu jest to, że w wersji standardowej jest wyposażony w dwa źródła napędu: spalinowy i hydrauliczny. W wersji eksperymentalnej pojazd ten dodatkowo wyposażony jest w ekologiczny hybrydowy napęd elektryczny [2, 3]. Pojazd typu MONTRAKS może poruszać się zarówno po nawierzchniach szosowych jak również po torach tramwajowych. Do napędu pojazdu w trybie jazdy szosowej wy-

korzystywany jest silnik spalinowy i klasyczny mechaniczny układ przeniesienia napędu. W trybie jazdy szynowej wykorzystywany jest napęd hydrauliczny zasilany energią wytwarzaną przez silnik spalinowy. Podstawowym elementem osprzętu roboczego pojazdu (rys. 1) jest pomost (1) podnoszony na wysokość około 6 m przy pomocy wysięgnika (2) napędzanego przez dwa siłowniki hydrauliczne. Poziome położenie pomostu zapewnia specjalny układ prostowodowy z dodatkowym napędem hydraulicznym. Pomost jest zamocowany ekscentrycznie na wysięgniku i jest obracany względem niego silnikiem hydraulicznym w zakresie kątowym  $\pm 120^\circ$ . Pomost przeznaczony jest do transportu operatorów oraz materiałów i narzędzi koniecznych do realizacji czynności naprawczych, inspekcyjnych lub konserwacyjnych tramwajowej sieci elektrycznej. Ze względu na niebezpieczeństwo wystąpienia porażenia elektrycznego, drewniany pomost jest posadowiony na izolatorach ceramicznych zapewniających elektryczną izolację galwaniczną pomostu i podwozia pojazdu.



Rys. 1. Szkic pojazdu specjalnego MONTRAKS. Oznaczenia: 1- pomost obrotowy, 2- ramię wysięgnika, 3- kolumna wysięgnika, 4- hydrauliczny napęd szynowy. Źródło: [3]

Fig. 1. Sketch of the special vehicle MONTRAKS. Notation: 1- rotational aerial work platform, 2 - boom arm, 3- boom column, 4- hydraulic railway drive unit. Reference:[3]



Rys.2. Fotografia pojazdu specjalnego MONTRAKS

Fig. 2. Snap shot of the special vehicle MONTRAKS

**2. Aspekt bezpieczeństwa**

Eksploatacja pojazdu specjalnego MONTRAKS wiąże się z wielu typami zagrożeń. Jednym z najbardziej poważnych zagrożeń jest możliwość utraty przez pojazd stateczności bocznej wskutek nadmiernego obciążenia pomostu. Wartość obciążenia granicznego pomostu wynika z przestrzennych zależności geometrycznych opisujących kinematykę maszyny i sposobu rozłożenia obciążenia. Jest ona zależna zarówno od azymutu jak i elewacji

pomostu oraz od tego, czy pojazd w czasie wykonywania swoich zadań wykorzystuje specjalne hydrauliczne podpory stabilizujące (rys. 1, 2), czy też nie. Funkcja opisująca obciążenie graniczne jest zależna od tak wielu zmiennych i parametrów, że ze względów praktycznych, w analizie bezpieczeństwa pojazdu przyjęto iż obciążenie graniczne będzie wyznaczone metodą najgorszego przypadku. W wyniku przeprowadzonej analizy przyjęto, że statyczne obciążenie masowe nie powinno przekraczać w najgorszym przypadku wartości 450 lub 600 kg. Wartości te zostały wyznaczone z uwzględnieniem odpowiednio wysokiego współczynnika bezpieczeństwa i są zależne wyłącznie od wersji konstrukcyjnej pojazdu. Zgodnie z odpowiednimi regulacjami, rzeczywiste obciążenie graniczne nie może w żadnym przypadku przekraczać wartości 120% w ten sposób wyznaczonego obciążenia.

Zadanie bezpieczeństwa funkcjonalnego zgodnie z [4] jest sformułowane jako działanie, w którym „... system ochronny bądź odpowiedzialny za sterowanie związany z bezpieczeństwem musi funkcjonować prawidłowo oraz kiedy dojdzie do awarii musi zachowywać się w określony sposób tak, aby urządzenie bądź instalacja pozostała w stanie bezpiecznym lub została sprowadzona do stanu bezpiecznego.”

W związku z tym, w stosunku do systemu ochronnego pojazdu MONTRAKS, którego celem jest zapewnienie bezpieczeństwa pojazdu w przypadku wystąpienia przeciążenia pomostu, sformułowano następujące wymagania:

- system ochronny – zwany dalej w uproszczeniu ogranicznikiem udźwigu jest systemem, którego podstawowym zadaniem po wykryciu przeciążenia jest zablokowanie możliwości sterowania osprzętem pojazdu MONTRAKS w taki sposób, aby niemożliwe było wykonanie innych czynności poza tymi, których celem jest sprowadzenie pomostu do bezpiecznej pozycji wyjściowej,
- system ochronny korzysta wyłącznie z sygnałów wejściowych pochodzących z własnych sensorów i przetworników pomiarowych. Sygnały pomiarowe systemu ochronnego nie są wykorzystywane do innych celów,
- system ochronny powinien być wyposażony w autonomiczny, wbudowany układ diagnostyki toru pomiaru udźwigu,
- elementami wykonawczymi systemu ochronnego powinny być elementy przekaźnikowe z redundowanymi stykami rozwiernymi.

### 3. Architektura ogranicznika udźwigu

Architektura ogranicznika udźwigu, z uwzględnieniem skali, nie odbiega w zasadniczy sposób od architektury typowych rozproszonych systemów sterowania, nadzoru i monitorowania procesów. Uproszczony, blokowy schemat ideowy architektury ogranicznika udźwigu przedstawiono na rys. 3. W tym przypadku, w warstwie fizycznej przyjęto rozwiązanie sieciowe w postaci szeregowej magistrali komunikacyjnej. Topologia magistrali szeregowej jest obecnie powszechnie uważana za dominującą i znajdującą zastosowania w bardzo licznych aplikacjach przemysłowych. W warstwie aplikacyjnej wybrano profil komunikacji zgodny z profilem master-slave. Wybór tego profilu był podyktowany następującymi przesłankami:

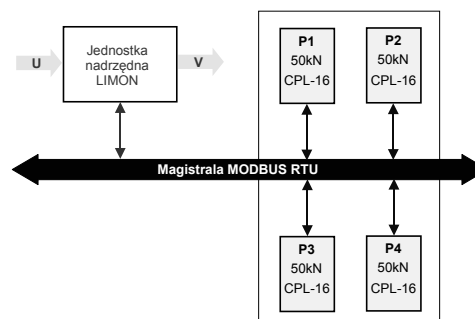
- stosunkowo prosta implementacja,
- brak konfliktów i potrzeby stosowania mechanizmów arbitrażu,
- gwarantowany determinizm.

W warstwie łącza danych zaimplementowano sieciowy protokół komunikacyjny zgodny ze specyfikacją MODBUS RTU [5].

Ogranicznik udźwigu (rys. 3) w warstwie sieciowej tworzą: jednostka nadrzędna oraz cztery jednostki podporządkowane. Jednostka nadrzędna pełni rolę specjalizowanego sterownika programowalnego wyposażonego w sieciowy interfejs komunikacyjny, zintegrowane moduły wejść (U) i wyjść (V) cyfrowych, oraz interfejs użytkownika. Jednostkami podporządkowanymi są cztery inteligentne, tensometryczne przetworniki siły o nominalnym zakresie pomiarowym 50 kN (P1, P2, P3, P4).

### 4. Funkcje ogranicznika udźwigu

Nadrzędnymi funkcjami ogranicznika udźwigu są funkcje nadzoru bezpieczeństwa. Poza tymi funkcjami, ogranicznik spełnia dodatkowo wiele innych funkcji wynikających z jego konstrukcji i stawianych mu wymagań.



Rys. 3. Uproszczony schemat blokowy architektury ogranicznika udźwigu pojazdu specjalnego MONTRAKS

Fig. 3. Simplified block diagram of the architecture of the load limiter of the special vehicle MONTRAKS

W zakresie realizacji funkcji bezpieczeństwa ogranicznik:

- ostrzega operatora o osiągnięciu stanu granicy dolnego krytycznego obciążenia statycznego lub dynamicznego pomostu,
- blokuje możliwość sterowania osprzętem pojazdu MONTRAKS po przekroczeniu stanu górnej granicy krytycznego obciążenia statycznego w taki sposób, że niemożliwe jest wykonanie innych czynności poza tymi, których celem jest sprowadzenie pomostu do pozycji bezpiecznej.

Dodatkowo ogranicznik:

- prowadzi diagnostykę komunikacji i wiarygodności pomiarów każdego z czterech inteligentnych przetworników pomiarowych obciążenia w czasie rzeczywistym,
- monitoruje stan 18 statycznych binarnych sygnałów wejściowych mających wpływ na bezpieczeństwo pojazdu, w tym np. takich sygnałów jak: sygnały potwierdzające pełne wysunięcie wszystkich podpór, czy sygnały potwierdzające zakończenie procesu automatycznego blokowania zawieszenia pojazdu,
- monitoruje prędkość jazdy pojazdu w trybie jazdy szynowej,
- doradza operatorowi sugerując mu wykonanie kolejnych czynności w określonym porządku i potwierdza istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa stany pojazdu takie jak np.: osiągnięcie gotowości do przełączenia trybów pracy pojazdu z trybu jazdy szosowej na tryb jazdy szynowej lub odwrotnie, czy osiągnięcie przez pomost pozycji zadanej,
- informuje operatora w sposób ciągły o aktualnym obciążeniu pomostu,
- sygnalizuje operatorom znajdującym się na pomoście osiągnięcie lub przekroczenie obciążenia krytycznego.

### 5. Przetworniki pomiarowe udźwigu

W ograniczniku udźwigu przetwarzanie i analizę wyników pomiarów obciążeń prowadzi jednostka nadrzędna (rys. 3). W tym celu realizuje cyklicznie operację sekwencyjnego skanowania wskazań każdego z czterech inteligentnych przetworników pomiarowych obciążenia. Przetworniki są rozmieszczone symetrycznie w głowicy (rys. 4) stanowiącej element konstrukcyjny przenoszący bezpośrednio obciążenie pomostu pojazdu na układ elektrohydraulicznego napędu elewacji.

Każdy tzw. inteligentny przetwornik pomiarowy (smart sensor) zbudowany jest z:

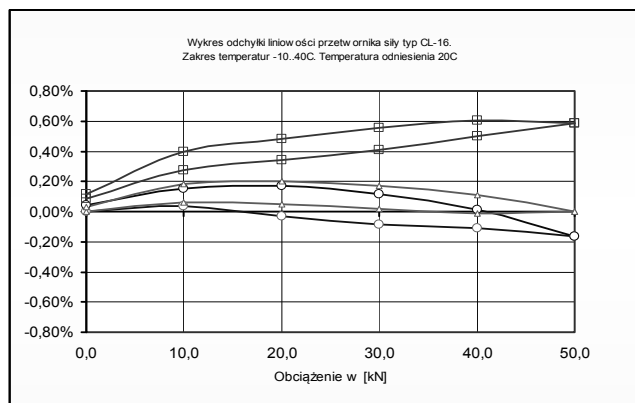
- czujnika tensometrycznego siły o nominalnym zakresie pomiarowym 50 kN,
- układu wzmacniacza pomiarowego prądu przemiennego,

- układu kompensacji nieliniowości charakterystyki przetwarzania czujnika,
- układu normalizacji sygnału wyjściowego,
- układu pomiaru temperatury czujnika,
- interfejsu komunikacyjnego zgodnego w warstwie fizycznej ze specyfikacją RS485 i z protokołem MODBUS RTU w warstwie łącza danych.



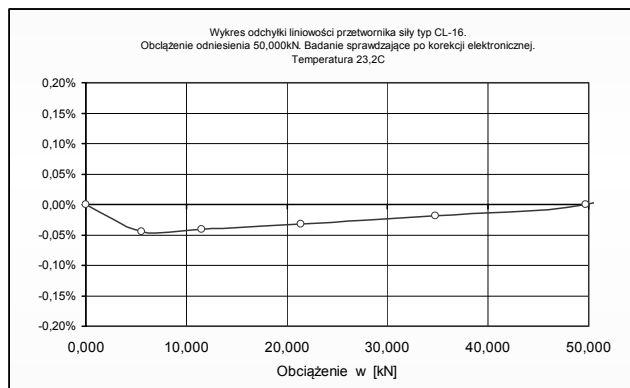
Rys. 4. Widok zespołu czterech inteligentnych przetworników pomiarowych siły  
Fig. 4. View of the assembly of four smart load cells

W czujnikach tensometrycznych stosuje się obecnie niemal wyłącznie skompensowane termicznie pełne mostki Wheatstone'a. Dla czujników tensometrycznych czułość definiuje się jako miarę względną wyrażającą iloraz zmiany napięciowego sygnału wyjściowego czujnika w miliwoltach do napięcia zasilania mostka tensometrycznego wyrażonego w woltach, w warunkach zmiany jego obciążenia, w zakresie od obciążenia zerowego do obciążenia nominalnego. Typową wartością tak zdefiniowanej czułości, dla czujników z tensometrami metalowymi jest wartość 2,000 mV/V. W zależności od typu i konkretnego wykonania czujnika wartość czułości zwykle nieco różni się od typowej. Ponadto charakterystyka przetwarzania czujnika definiowana jako zależność pomiędzy sygnałem wyjściowym czujnika, a przyłożonym obciążeniem wywołującym jego odkształcenie jest nieliniowa, charakteryzując się niejednoznacznością i mimo kompensacji wewnętrznej wykazuje zależność od temperatury. Przykładowe wyniki badań laboratoryjnych czujników siły przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Przykładowa charakterystyka ilustrująca odchyłkę liniowości charakterystyki przetwarzania czujnika siły typu CL-16 o nominalnym zakresie pomiarowym. Badania przeprowadzono dla narastającego i opadającego obciążenia. Badania wykonano w zakresie temperatur (-10..40)°C  
Fig. 5. Exemplary linearity characteristics of the strain gauge load cell CL-16 versus nominal measurement range. Measurements have been done for the incipiently rise and drop of the compressing force in the temperature range changing from -10 up to +40 °C

Ze względu na wysokie wymagania metrologiczne (niepewność pomiaru  $\pm 0,25\%$ ) stawiane przetwornikom tensometrycznym przeznaczonym do zastosowania w ograniczniku udźwigu, konieczne było wykonanie korekcy odchyłki nieliniowości ich charakterystyki przetwarzania. Przykładowy wykres błędu liniowości charakterystyki przetwarzania po dokonaniu korekcy przedstawiono na rys. 6.

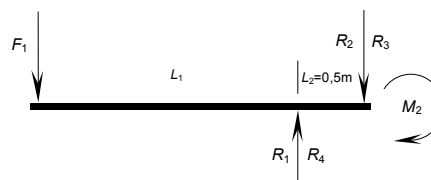


Rys. 6. Wykres błędu liniowości charakterystyki przetwarzania przetwornika siły typu CL-16 po dokonaniu korekcy. Badanie sprawdzające przeprowadzono w temperaturze otoczenia  $t = 23,2^\circ\text{C}$

Fig. 6. Linearity of the strain gauge load cell CL-16 versus nominal measurement range after correction. Measurements have been done in ambient temperature  $t = 23,2^\circ\text{C}$

## 6. Schemat obciążeń czujników siły

Pomiar obciążenia pomostu jest realizowany przez cztery czujniki siły zamocowane w głowicy (rys. 4). W takim układzie czujniki stanowią zespół sprężystych elementów nośnych przenoszących obciążenie pomostu poprzez wysięgnik na podwozie pojazdu. Uproszczony, dwuwymiarowy, schemat obciążeń głowicy przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Uproszczony, dwuwymiarowy schemat obciążeń głowicy pomiarowej ogranicznika udźwigu

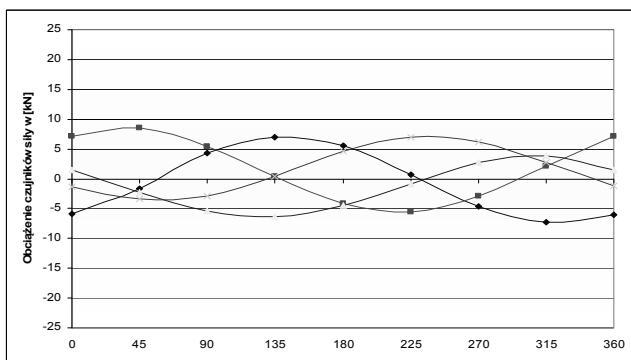
Fig. 7. Simplified, two-dimensional scheme of the load of the measuring assembly of the load limiter

Na schemacie tym przyjęto, że obciążenie głowicy jest wywołane siłą skupioną  $F_1$  reprezentującą sumę sił ciężkości pomostu, operatorów, narzędzi i materiałów obciążających pomost. W rzeczywistości obciążenie głowicy ma charakter rozłożony. Przyjęcie takiego uproszczenia jest jednak w tym przypadku dopuszczalne ze względu na fakt, że za ostateczną miarę obciążenia pomostu przyjęto sumę sił reakcji w podporach (czujnikach), a nie momentów tych sił. Ramię działania  $L_1$  siły  $F_1$  nie jest zdefiniowane. Siła  $F_1$  wywołuje moment skręcający  $M_1$  równoważony przez moment  $M_2$  wywołany przez siły reakcji w czujnikach głowicy ( $R_1, R_2, R_3, R_4$ ). Przyjęto, zgodnie z geometrią głowicy, że cztery siły reakcji są rozłożone w rogach kwadratu o boku równym 0,5 m. Ponieważ spodziewane ramie działania  $L_1$  siły skupionej  $F_1$  przewyższa wielokrotnie rozstaw osi czujników siły, to należy spodziewać się, że reakcje w podporach będą przekraczały wartość siły  $F_1$  oraz będą zależały od kąta obrotu pomostu w płaszczyźnie horyzontalnej. Jak łatwo zauważyć, czujniki będą poddawane działaniu zarówno sił ściskających jak i rozciągających.

## 7. Metodyka i warunki badań

Badania eksperymentalne przeprowadzono na specjalnie skonstruowanym stanowisku badawczym złożonym z głowicy pomiarowej (rys. 4) i związanego z nią układu mechanicznego odtwarzającego fragment obciążanego wysięgnika pomostu pojazdu specjalnego MONTRAKS. Czujniki tensometryczne połączone z czterema inteligentnymi wzmacniaczami pomiarowymi wielkości mechanicznych typu MO-500. Wcześniej, w warunkach laboratoryjnych stosując wzorce odniesienia siły, dokonano pomiarów rzeczywistych charakterystyk przetwarzania tych czujników, oraz dokonano korekcji tych charakterystyk dla każdego toru pomiarowego składającego z czujnika tensometrycznego i wzmacniacza pomiarowego. Przetworniki inteligentne połączone z cyfrowym wskaźnikiem siły MO-50. Wskaźnik ten umożliwia odczyt siły działającej na każdy przetwornik CL-16. Siłę obciążającą głowicę pomiarową przykładano w kierunku pionowym poprzez dźwigniowy zespół mechaniczny o długości 2840 mm. Eksperyment był wykonywany w warunkach statycznych. Dla wygody, wartości wielkości mierzonych siły były przetwarzane przez wskaźnik MO-50 na bieżąco w ekwiwalentnych liczbowo jednostkach masy.

Początkowo dźwignię obciążono masą 120 kg w odległości 2780 mm od osi obrotu głowicy. Masa ta odtwarza skupioną masę pustego pomostu. Następnie wykonano pomiary sił obciążeń wskazywanej przez tory pomiarowe siły. Po dokonaniu pomiaru obracano dźwignię w kierunku wskazówek zegara i dokonywano następnych pomiarów. Czynności opisane powyżej powtarzano, aż do uzyskania pełnego kąta obrotu dźwigni. Uzyskane wyniki obciążeń przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Wykres zmian obciążeń każdego z czterech czujników tensometrycznych głowicy w funkcji kąta obrotu pomostu w [°]. Głowicę obciążono masą 120 kg w odległości 2780 mm od osi obrotu głowicy

Fig. 8. Load of the each of the four strain gauges versus angle of rotation of aerial platform in [°]. Platform was loaded by the mass 120 kg distanced in 2780 mm from the axis of the measuring head

Następnie dźwignię obciążono dodatkową masą 610 kg w punkcie odległym o 2090 mm od osi obrotu dźwigni i wykonano serię pomiarów obciążeń czujników siły głowicy analogicznie jak z obciążeniem 120 kg. Wyniki badań przedstawiono na rys. 9.

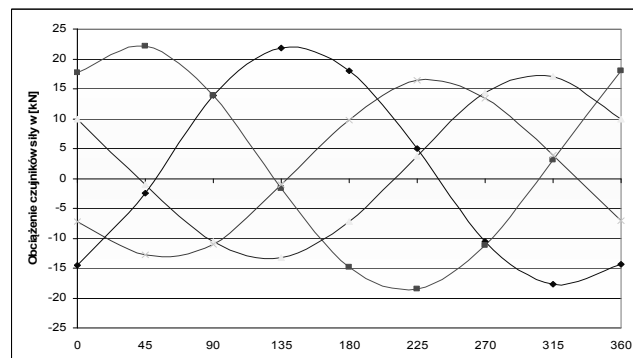
Analiza uzyskanych wyników prowadzi do następujących wniosków:

1° Ekwiwalentne maksymalne obciążenie masowe czujników wielokrotnie przewyższa rzeczywiste obciążenie masowe pomostu. Oznacza to, że zakres pomiarowy tych czujników musi być również wielokrotnie wyższy w porównaniu do schematu obciążenia nie uwzględniającego efektu „dźwigni” z czterema punktami podparcia w układzie pomost-głowica. Należy się spodziewać również multiplikacji niepewności pomiaru obciążenia pomostu wynikającej z konieczności zastosowania czterech czujników pomiarowych. Jest to niewątpliwa wada tego układu pomiarowego.

2° Analizując uzyskane wyniki badań zaobserwowano, że agregat w postaci prostej sumy arytmetycznej wskazań wartości obciążeń wykazuje słabą korelację względem kąta obrotu głowicy. Tę cechę należy uznać za zaletę tego układu pomiarowego.

3° Do wyznaczania wartości obciążenia pomostu może być również zastosowany inny agregat. Agregat ten jest wyznaczany jako połowa wartości pierwiastka wartości średniej sumy kwadratów wskazań przetworników pomiarowych. Podobnie jak agregat w postaci sumy prostej, tak również ten agregat wykazuje słabą korelację z kątem obrotu głowicy.

W rozwiązaniu ostatecznym przyjęto, że miarą obciążenia pomostu będzie suma sił reakcji w czujnikach głowicy pomostu.



Rys. 9. Wykres zmian obciążeń każdego z czterech czujników tensometrycznych głowicy w funkcji kąta obrotu pomostu w [°]. Głowicę obciążono masą 120 kg w odległości 2780 mm od osi obrotu głowicy i dodatkowo masą 610 kg w punkcie odległym o 2090 mm od osi obrotu głowicy

Fig. 9. Load of each of the four strain gauges expressed in kg versus angle of rotation of aerial platform in [°]. Platform was loaded by the mass 120 kg distanced from the axis of the measuring head by 2780 mm and additionally by the mass 610 kg distanced from the measuring head's axis by 2090 mm

## 8. Podsumowanie

W artykule w sposób skrótowy przedstawiono wybrane elementy wieloletniej pracy związanej z realizacją i wdrożeniem ważnego elementu systemu bezpieczeństwa funkcjonalnego pojazdu specjalnego. Zaprezentowano wybrane aspekty badawcze i realizacyjne systemu przeznaczonego do monitorowania i aktywnego ograniczania udźwigu. System ten odgrywa kluczową rolę w systemie bezpieczeństwa pojazdów specjalnych typu MONTRAKS produkowanych przez Przemysłowy Instytut Maszyn Budowlanych w Kobyłce. Pozwala on na redukcję zagrożenia operatorów pojazdu przed skutkami utraty stateczności przez przeciążony pojazd specjalny.

Przedstawiony system został dopuszczony do eksploatacji przez Urząd Dozoru Technicznego.

Na podkreślenie zasługuje fakt, iż do budowy systemu zastosowano unikalne urządzenia i systemy będące wyłącznie tworem polskiej myśli technicznej.

## 9. Literatura

- [1] Rostkowski A., Krasucki J., Bartyś M.: Analiza obciążeń hydraulicznego układu napędowego pojazdu specjalnego MONTRAKS w warunkach eksploatacyjnych. XX Krajowa Konferencja Naukowa - Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, 22-25 stycznia 2007, Zakopane, Polska, 269-271.
- [2] Bartyś M., Krasucki J., Rostkowski A.: Monitorowanie parametrów eksploatacyjnych maszyn roboczych z wykorzystaniem technologii GSM. Przegląd Mechaniczny, PL ISSN 0033 2259, 2/2008, 43 45.
- [3] Krasucki J., Rostkowski A., Gozdek Ł., Bartyś M.: Control Strategy of the hybrid drive for vehicle mounted aerial work platform. Automation in Construction, 2009, Vol. 18 (2), p. 130 138.
- [4] Norma IEC 61508-2:2004. Bezpieczeństwo funkcjonalne/elektrycznych/elektronicznych/programowalnych elektronicznych systemów związanych z bezpieczeństwem. Część 1 : Wymagania ogólne.
- [5] Modbus Protocol Specification, Modbus Organisation, <http://www.modbus.org>