ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2004
Seria: TRANSPORT z. 53 Nr kol. 1643

Manfred CHMURAWA[1], Damian GĄSKA[1]

BADANIE DYNAMIKI PODNOSZENIA ŁADUNKU W SUWNICY

Streszczenie. Artykuł zawiera zasadę działania, konstrukcję i wymiarowanie specjalnego siłomierza dźwignicowego, wykorzystanego do badań dynamiki podnoszenia ładunku w suwnicy. Załączone schematy układów pomiarowych siłomierza można wykorzystywać zarówno do badań dynamiki mechanizmu podnoszenia, jak i do zabezpieczenia suwnicy przed przeciążeniem.

MEASUREMENT OF HOISTING LOAD DYNAMICS IN CRANE

Summary. The article includes principle of operation of special crane force gauge used for the measurement of hoisting load dynamics in crane. The enclosed meter circuit schemes can be used for the measurement of hoisting gear dynamics as well as for protection the crane before overload.

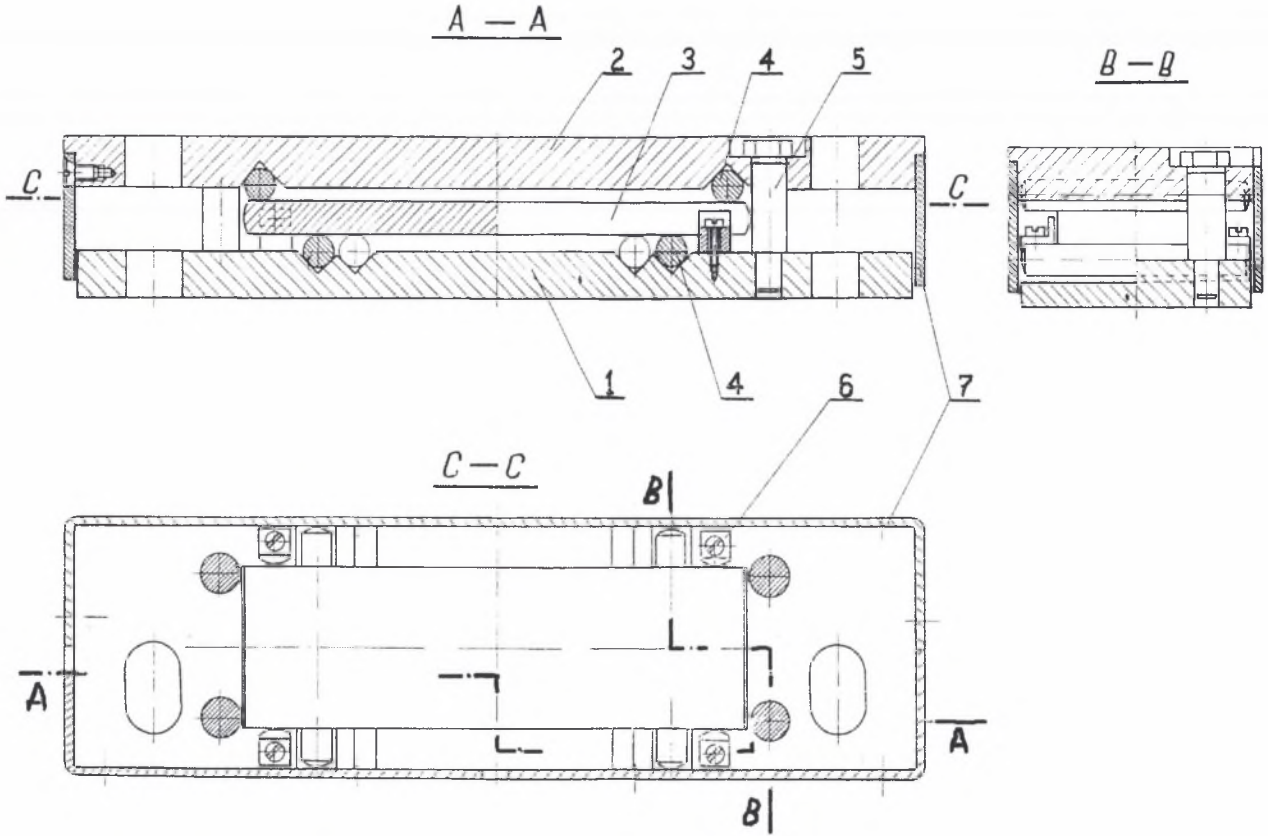
1. WPROWADZENIE

Podstawowym problemem bezpieczeństwa dźwignic jest określenie bieżącej wartości podnoszonego ładunku. Ilościowa znajomość ładunku jest konieczna przy prawidłowym prowadzeniu procesów produkcyjnych, a także przy zabezpieczaniu dźwignic przed ich przeciążeniem.

Do pomiaru masy podnoszonych ładunków lub siły ich ciężkości w suwnicach wykorzystuje się siłomierze z przetwornikami tensometryczno–oporowymi [1÷4, 7]. Podstawowym elementem składowym siłomierza jest elektroniczny przetwornik wyposażony w czujnik tensometryczny. W artykule przedstawiono oryginalny tensometryczny siłomierz skonstruowany i wykonany w Politechnice Śląskiej (rys. 1). Zaletami tego siłomierza są:

- prosta konstrukcja przetwornika oraz łatwość jego zabudowy na każdej suwnicy bez dokonywania zmian w jej budowie;
- możliwość zainstalowania przetwornika siły blisko haka nośnego celem uzyskania relatywnie wysokiej dokładności wskazań;
- możliwość badania dynamiki podnoszenia ładunku w celu identyfikacji obciążeń regularnych i wyjątkowych, zgodnie z europejskimi normami dotyczącymi wymiarowania ustrojów nośnych dźwignic [5, 6].

[1] Katedra Transportu Przemysłowego, Wydział Transportu, Politechnika Śląska, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, tel/fax (+48 32) 6034157, gaska@polsl.katowice.pl, chmurawa@polsl.katowice.pl

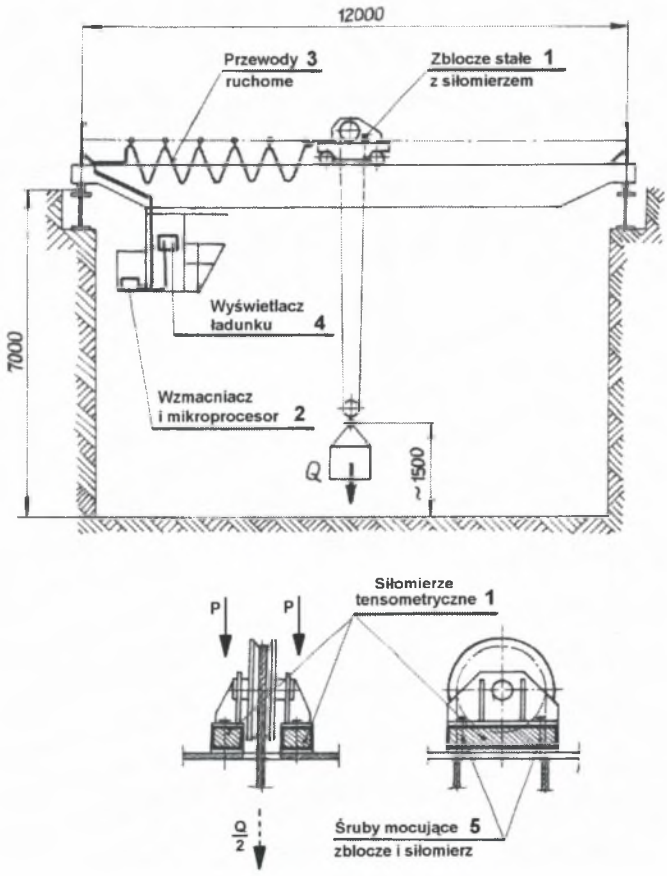


Rys. 1. Siłomierz do pomiaru wartości ładunku w suwnicach
Fig. 1. Special crane force gauge to measure load in cranes

2. BUDOWA SIŁOMIERZA I SPOSÓB JEGO INSTALOWANIA NA SUWNICY

Siłomierz do pomiaru siły ciężkości w suwnicach ma postać prostopadłościennej puszki i składa się z płyty dolnej (1), płyty górnej (2), płytki pomiarowej (czujnika) z tensometrami oporowymi (3), wałeczków (4), prowadników (5) i (6) oraz osłony (7) – rys. 1. W płytach – górnej i dolnej – znajdują się otwory dla śrub mocujących siłomierz i elementy z nim współpracujące.

Płyta górna (2) jest ustalona względem płyty dolnej (1) prowadnikami (5) tak, że może się przemieszczać tylko w płaszczyźnie pionowej. Płytka pomiarowa (3) z naklejonymi tensometrami, wsparta na wałeczkach (4), jest czujnikiem siły w układzie zginanym. Tensometry należy zabezpieczyć przed wpływami otoczenia jednym ze znanych sposobów. Przewody przylutowane do tensometrów oporowych wyprowadzane są na zewnątrz przez otwór w osłonie. W przypadku suwnic siłomierz umieszczony może być na ramie wózka pod zbloczem stałym lub pod łożyskiem podporowym wału bębna. W przypadku zainstalowania pod zbloczem stałym (lub krążkiem wyrównawczym), należy zastosować dwa siłomierze – podkładając je pod wsporniki zblocza (rys. 2).



Rys. 2. Przykład zainstalowania siłomierza w układzie linowym suwnicy pomostowej o udźwigu Q=5000 daN; P-obliczeniowe obciążenie siłomierza, tu w przybliżeniu P≥Q/4

Fig. 2. Method of installing the crane force gauge in rope system of crane with hoisting capacity Q=5000 daN; P-computational load, here in approximation P≥Q/4

Jeżeli wymagana jest duża dokładność wskazań, należy wykorzystywać sygnały z obu siłomierzy, np.: podczas badań dynamiki mechanizmu podnoszenia. W przeciwnym wypadku wystarczy jeden egzemplarz siłomierza.

Dokręcanie śrub mocujących siłomierz i zblocze do ramy wózka wywołuje wstępne, niekontrolowane jego obciążenie. Należy więc przeprowadzić wzorcowanie jednego z siłomierzy celem uwzględnienia wstępnego obciążenia, wpływu sztywności wózka i suwnicy, nierównomiernego rozkładu sił w linach itp.

Przetwornik siłomierza może być podłączony do mikroprocesora wagowego z ciekłokrystalicznym lub innym wyświetlaczem, informującym operatora i hakowego o aktualnej wartości podnoszonego ładunku.

3. WYMIAROWANIE CZUJNIKA SIŁOMIERZA

Sposób wymiarowania czujnika zostanie zaprezentowany na przykładzie siłomierza zastosowanego w badaniach obciążeń ruchowych pomostowej suwnicy hakowej o udźwigu Q=5000 [daN] (rys. 2). Podstawowe wymiary płytki pomiarowej (czujnika) i sposób jej obciążenia pokazano na rys. 3.

Dopuszczalną wielkość obciążenia P, działającego na jeden siłomierz, wyznaczono przy następujących założeniach:

- naprężenie w stalowej płytce nie powinno przekraczać wartości granicznej R_H wynikającej z prawa Hooke'a;
- odkształcenie względne tensometrów nie powinno przekraczać wartości dopuszczalnej ε_{max}=2,8‰, podanej w charakterystyce tensometru oporowego.

Związek pomiędzy naprężeniem w płytce przy jej zginaniu (rys. 3) a granicą proporcjonalności R_H jej tworzywa określa równanie:

$$R_H \cong 0{,}8 \cdot R_e = \frac{0{,}5 \cdot P \cdot l}{\frac{b \cdot h}{6}} \tag{1}$$

z którego:

$$P = \frac{0{,}8 \cdot R_e \cdot b \cdot h}{3 \cdot l} = \frac{0{,}8 \cdot 11000 \cdot 5 \cdot 0{,}8^2}{3 \cdot 3{,}05} = 3000 \ daN \tag{2}$$

gdzie:

$R_e = 11000 \frac{daN}{cm^2}$ – granica plastyczności stali sprężynowej ulepszonej cieplnie, z której wykonano płytkę;

l=3,05 cm – ramię działania siły;

b=5 cm, h=0,8 cm – wymiary przekroju poprzecznego płytki.

Związek między odkształceniem tensometrów a obciążeniem P:

$$\varepsilon_{max} = \frac{\sigma}{E} = \frac{0{,}5 \cdot P \cdot l}{\frac{b \cdot h^2}{6} \cdot E} \tag{3}$$

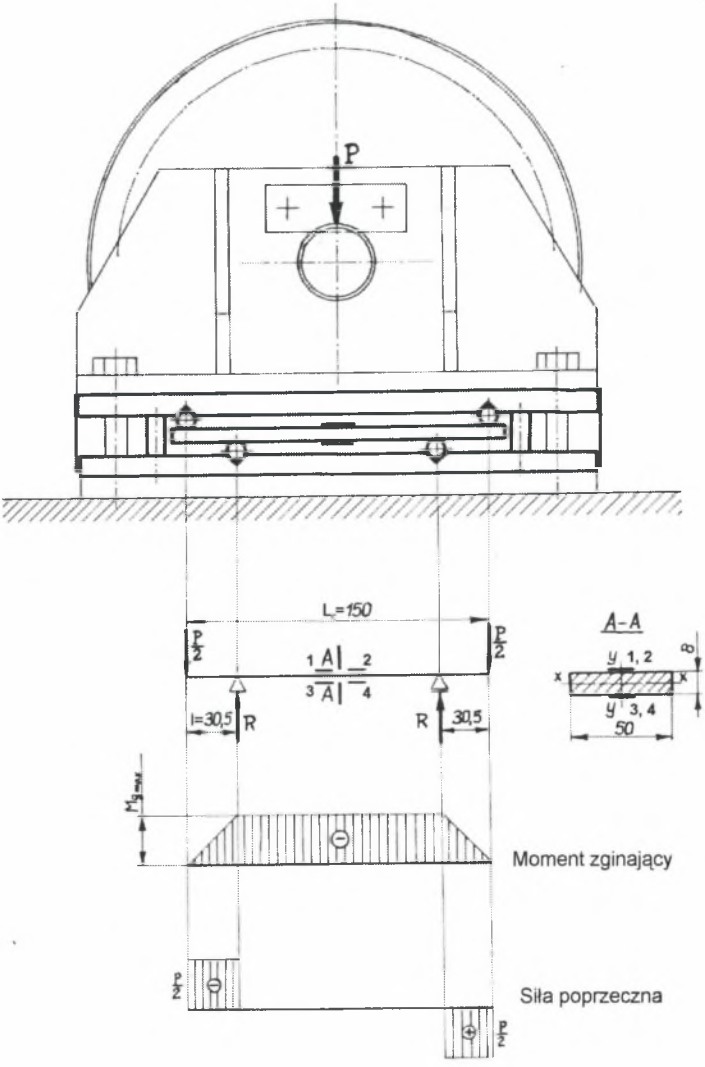
z którego:

$$P = \frac{\varepsilon_{max} \cdot E \cdot b \cdot h^2}{3 \cdot l} = \frac{2{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 2{,}1 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 0{,}8^2}{3 \cdot 3{,}05} = 2000 \ daN \tag{4}$$

gdzie:

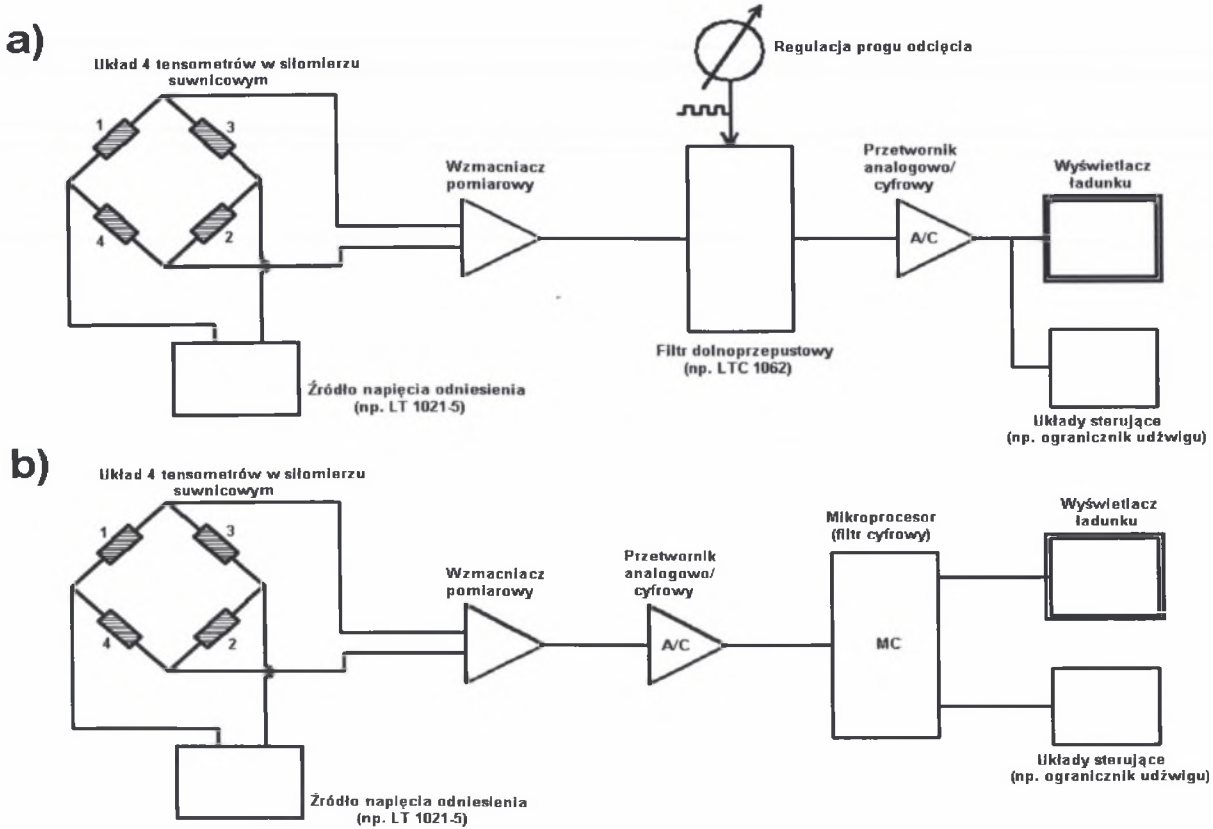
ε_{max}=2,8‰ – maksymalne odkształcenie tensometrów;

$E = 2{,}1 \cdot 10^6 \frac{daN}{cm^2}$ – moduł Young'a tworzywa płytki (stali).



Rys. 3. Założenia konstrukcyjne do wymiarowania siłomierza zainstalowanego pod zbloczem stałym suwnicy

Fig. 3. Brief foredesign for dimensioning of crane force gauge installed under the pulley block of crane



Rys. 4. Schematy blokowe elektronicznych układów do wyświetlania wartości ładunku w suwnicach; a) z przetwornikiem A/C, b) z przetwornikiem A/C i mikroprocesorem

Fig. 4. Block diagrams of elctronical systems for display of load's value; a) with a/d converter, b) with a/d converter and microprocessor

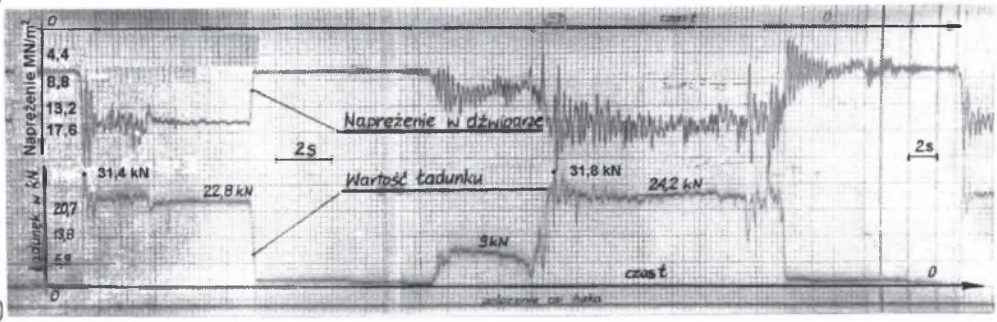
Tak więc zakres roboczy siłomierza, ze względu na dopuszczalną wartość odkształcenia tensometrów, wynosi: 0÷2000 daN i może być zainstalowany na suwnicy pomostowej o udźwigu Q=5000 daN.

Wymiarowanie czujnika polega na określeniu wymiarów płytki, tj. jej przekroju bxh, długości całkowitej L_c, ramienia działania siły l oraz wyborze gatunku stali sprężynowej wraz z parametrami jej obróbki cieplnej w celu uzyskania wymaganej granicy plastyczności R_e.

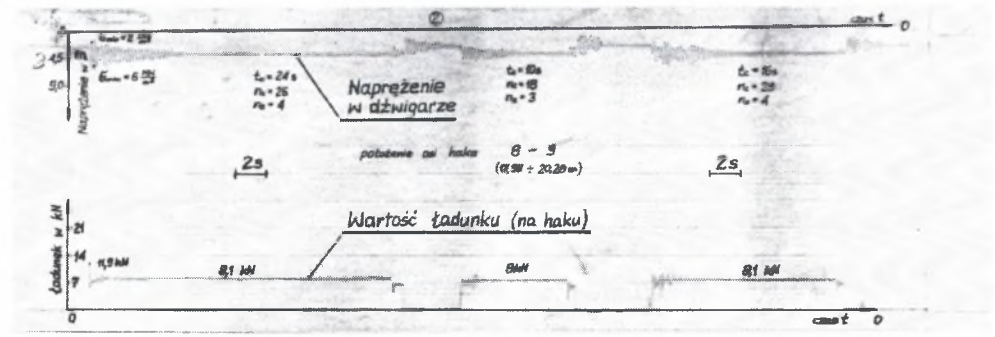
4. ELEKTRONICZNE UKŁADY WSPÓŁPRACUJĄCE Z SIŁOMIERZEM SUWNICOWYM

Cztery czynne tensometry naklejone na płytce pomiarowej i połączone w układzie pełnego mostka są zasilane ze stabilizowanego źródła napięcia (rys. 4).

a)



b)



Rys. 5. Przykłady oscylogramów z czasowym przebiegiem wartości ładunku i odpowiadających mu przebiegów naprężeń w dźwigarze głównym suwnicy pomostowej Q=5000 daN; a) sterowanie ręczne, widoczne dynamiczne podrywanie ładunku z podłoża i ponowne jego posadowienie na podłożu, b) sterowanie ręczne, widoczne quasi-statyczne podejmowanie i posadowienie ładunku na podłożu

Fig. 5. Oscillograms with intensity of stress during time in girder of overhead travelling crane with hoisting capacity Q=5000 daN; a) manual control, dynamic load's hoisting and its lowering is shown, b) manual control, quasistatic load's hoisting and its lowering is shown

Po odkształceniu tensometrów powstaje napięcie na przekątnej pomiarowej, które po wzmocnieniu umożliwia pomiar siły ciężkości ładunku. Do takiego pomiaru możliwe jest zastosowanie dwóch układów. Pierwszy z nich wykorzystuje filtr dolnoprzepustowy i przetwornik analogowo–cyfrowy (rys. 4a), drugi mikroprocesor i przetwornik analogowo–cyfrowy (rys. 4b). Włączenie filtra umożliwia quasi-statyczny pomiar ładunku eliminując

nadwyżkę dynamiczną, jaka nieodłącznie towarzyszy podnoszeniu lub opuszczaniu ładunku. Wyłączenie filtra pozwala zarejestrować zarówno siłę dynamiczną podnoszenia, jak i ustabilizowaną wartość ładunku. Dla przykładu na rys. 5 przedstawiono 2 oscylogramy z zarejestrowaną, za pomocą wyżej opisanego siłomierza, dynamiczną siłą podnoszenia (przy wyłączonym filtrze dolnoprzepustowym).

Widoczna jest zarówno dynamiczna siła podrywania ładunku o wartości P_d=31,4 kN lub 11,9 kN, jak i ustabilizowana siła ciężkości ładunku o wartości Q=22,8 kN lub 8,1 kN, jaka występuje w ruchu ustalonym.

Sygnał z przetwornika analogowo–cyfrowego lub mikroprocesora po odfiltrowaniu składowej dynamicznej jest wykorzystywany do określania siły ciężkości ładunku i wskazywania jej wartości na wyświetlaczu (w kabinie operatora lub na moście suwnicy dla hakowego) lub być przesłany do układu sterującego ogranicznikiem udźwigu.

5. WNIOSKI

5.1. Przedstawiony siłomierz jest przeznaczony do badań cech dynamicznych mechanizmów podnoszenia suwnicy, a dokładnie do określania obciążeń regularnych i wyjątkowych wymaganych przy wymiarowaniu dźwignic wg norm europejskich [4, 5].

5.2. Siłomierz charakteryzuje się oryginalną, prostą budową, a jego zastosowanie w suwnicach nie wymaga żadnych zmian konstrukcyjnych.

5.3. Może także spełniać funkcję czujnika elektronicznej wagi suwnicowej lub może być nadajnikiem dla automatycznego ogranicznika udźwigu.

5.4. Rodzaje tworzyw i dokładność obróbki elementów siłomierza pozwalają wykonać go w niemal każdym zakładzie eksploatującym suwnice. Po wykonaniu należy jednak przeprowadzić wzorcowanie i wybrać właściwy układ elektroniczny.

5.5. Zasada działania opracowanego siłomierza może być wykorzystywana do konstruowania dowolnego siłomierza w układzie dociskowym.

Literatura

1. Chmurawa M.: Tensometryczny przetwornik siły, zwłaszcza do określania wartości ładunku w dźwignicy. Patent nr 94016, G 01L 1/22. Świadectwo autorskie nr 107502 z dn. 05.04.1978.
2. Morecki A.: Miernictwo mechanicznych parametrów maszyn metodami elektrycznymi. PWN, Warszawa 1972.
3. Dopierała A., Zawistowski J.: Trójskładowy siłomierz piezoelektryczny DZW. V Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Metrologia w procesach wytwarzania", s. 257 - 262. Kraków 1994.
4. Styburski W.: Przetworniki tensometryczne. WNT. Warszawa 1971.
5. European Standard prEN 13001-2:2000: Cranes – General Design – Part 2: Load actions. CEN. B-1050 Brussels.
6. European Standard prENV 13001-3.1:2001: Cranes – General Design – Part 3.1: Limit states and proof of competence of steel structures. CEN TC 147, BSI.
7. Dopierała A., Jankowiak M., Nowakowski Z., Twardowski P., Zawistowski J.: Trójskładowe siłomierze piezoelektryczne. Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej nr 29, Wrocław 1997.

Recenzent: Dr hab. inż. Janusz Szpytko prof. Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie