

Jerzy TOMCZYK

Politechnika Łódzka  
Wydział Mechaniczny

## **KONCEPCJA TRANSPORTU WIOTKO PODWIESZONYCH ŁADUNKÓW DLA SUWNIC STEROWANYCH NUMERYCZNIE**

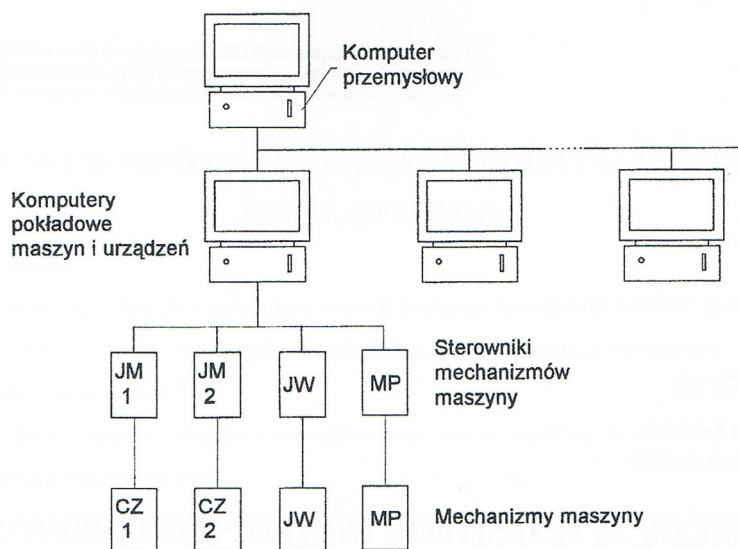
Słowa kluczowe: dźwignice, automatyzacja, sterowanie numeryczne, systemy transportu.

Streszczenie. W referacie przedstawiono koncepcję transportu ładunków za pomocą automatycznie lub półautomatycznie sterowanych suwnic pomostowych z ciągłym sterowaniem prędkościami skojarzonych ruchów mechanizmów jazdy mostu i wózka oraz ruchów podnoszenia i opuszczania za pomocą mechanizmu z quasi regulacją stałej mocy. Koncepcja ma zastosowanie dla automatycznego lub półautomatycznego prowadzenia i pozycjonowania ładunków w założonej przestrzeni transportowej z występującymi w tej przestrzeni przeszkodami stałymi.

### **1. UKŁAD STEROWANIA NUMERYCZNEGO DŹWIGNICĄ.**

Prawie powszechnie już dostępne sterowanie maszynami za pomocą mikroprocesorów dało podstawy do opracowania dla dźwignic nowej technologii transportu wiotko podwieszonych ładunków. Technologia ta umożliwia elastyczne programowanie cykli transportowych dźwignic, przystosowujące ich pracę do programowanych cykli produkcyjnych oraz przyjętych układów dróg transportowych.

Współczesne układy sterowania dźwignicami za pomocą mikroprocesorów budowane są w oparciu o niezależne sterowniki dla każdego z mechanizmów, które mogą być zarządzane z jednego sterownika nadrzędnego. System ten umożliwia niezależną i skojarzoną pracę poszczególnych mechanizmów. Możliwa staje się dzięki temu praca dźwignicy zarówno w systemie automatycznym, jak i półautomatycznym oraz przejście na sterowane ręczne. Przykład rozwiązywania takiego układu przedstawiony jest na rys. 1.



Rys. 1. Schemat układu sterowania dźwignicą z wykorzystaniem mikroprocesorów.

Przy sterowaniu automatycznym - programowym - odpowiednie informacje podawane są z komputera centralnie zarządzającego procesami produkcyjnymi transportowymi, do komputera pokładowego maszyny, który uruchamia odpowiednie programy sterujące, przesyłane do sterowników. W układzie tym poszczególne elementy spełniają przeznaczone dla nich funkcje systemowe w zakresie obsługi transportowej procesu produkcyjnego.

Komputer centralny może spełniać w zakresie zarządzania transportem następujące funkcje:

- zbieranie i przetwarzanie danych statystycznych o pracy maszyn transportowych,
- analiza aktualnego stanu maszyn transportowych i stanu bezpieczeństwa transportu,
- zarządzanie systemem transportu poprzez wypracowywanie odpowiednich procedur dostosowujących transport do aktualnego stanu procesu produkcji i przesyłanie poleceń i informacji do komputerów pokładowych maszyn transportowych,
- opracowywanie okresowych raportów o transporcie materiałów, półproduktów, wyrobów gotowych,
- prowadzenie gospodarki magazynowej,
- opracowywanie okresowych raportów o stanie maszyn transportowych.

Jak widać prowadzenie automatycznego transportu dla zmieniającej się produkcji może być złożone, a większość funkcji komputera centralnego ma charakter logistyczny. Z punktu widzenia sterowania pracą maszyny transportowej komputer centralny wypracowuje dla komputera pokładowego informację odnośnie realizacji cyklu transportowego, określając parametry przemieszczenia ładunku i czas rozpoczęcia cyklu.

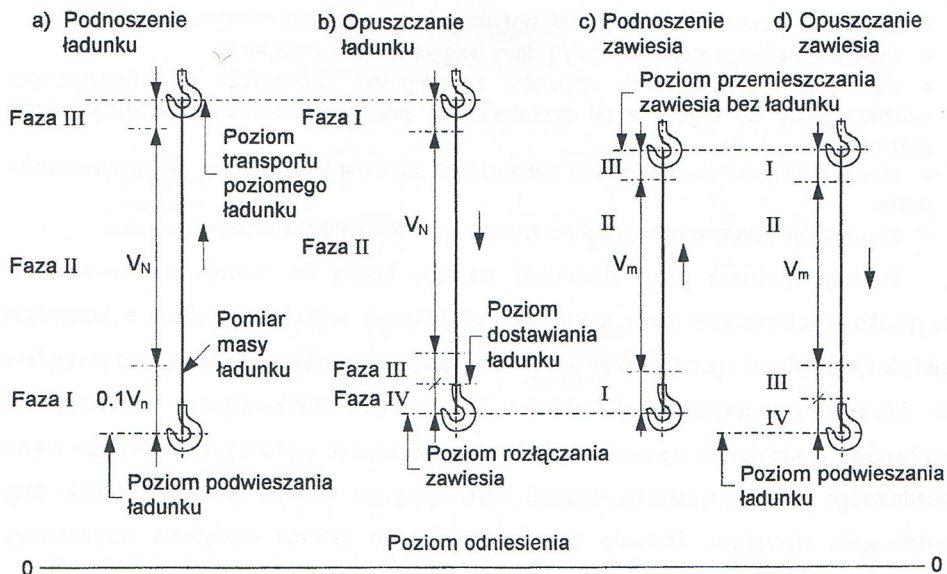
Komputer pokładowy może spełniać w zakresie zarządzania transportem następujące funkcje:

- zbieranie i przetwarzanie danych statystycznych o pracy danej maszyny transportowej,
- analiza aktualnego stanu maszyny i stanu bezpieczeństwa transportu,
- odbieranie i przetwarzanie sygnałów z komputera centralnego w automatycznym systemie pracy lub sygnałów od operatora przy pracy w systemie półautomatycznym i ręcznym,
- obliczanie i generowanie funkcji optymalnych sterowania prędkością dla mechanizmów jazdy,
- zarządzanie pracą sterowników poszczególnych mechanizmów maszyny.

Funkcje spełniane przez sterowniki maszyny zależą od rodzaju mechanizmu. W przypadku mechanizmów jazdy sterowniki przetwarzają sygnały przesyłane z komputera pokładowego lub od operatora przy sterowaniu ręcznym na sygnały wykonawcze przesyłane do falowników poszczególnych silników elektrycznych mechanizmów. W przypadku mechanizmu podnoszenia sterownik dodatkowo wypracowuje wartość prędkości podnoszenia zasadniczego zgodnie z zasadą regulacji stałej mocy po analizie obciążenia układu przy podnoszeniu wstępnym. Oznacza to, dla określonego zakresu obciążenia mechanizmu, podnoszenie i opuszczanie ładunków o większej masie z mniejszą prędkością, a ładunków o masie mniejszej z prędkością większą zgodnie z zasadą stałej mocy.

## **2. TRANSPORT PIONOWY ŁADUNKU.**

Koncepcja realizacji ruchu podnoszenia i opuszczania ładunku i zawiesia przedstawiona jest na rys. 2. Realizacja ruchu podnoszenia ładunku - rys. 2a przebiega w trzech fazach. Czas trwania fazy I-szej może być zaprogramowany w zależności od konstrukcji zawiesia i rodzaju ładunku na 3 - 5 sekund. W tej fazie, początkowo samo zawiesie, a następnie ładunek, podnoszone są ze zmniejszoną prędkością o wartości ok. 0,1 prędkości nominalnej. Następuje skasowanie luzu w więzi linowej i łagodne uniesienie ładunku. W czasie ruchu podnoszenia ładunku z małą prędkością, przy końcu fazy I-szej, następuje pomiar masy ładunku i wypracowanie przez sterownik wartości prędkości dla podnoszenia zasadniczego, realizowanego według zasady stałej mocy. Następnie bez zahamowania ładunku zwiększona zostaje jego prędkość dla realizacji podnoszenia zasadniczego, które stanowi fazę II-gą. Przed osiągnięciem przez ładunek podanego przez komputer pokładowy poziomu transportu poziomego, na którym ładunek będzie transportowany poziomo za pomocą ruchów jezdnych, prędkość podnoszenia jest w sposób łagodny zmniejszana układ wchodzi bowiem w strefę regulacji przemieszczenia ładunku w fazie III-ciej. Faza ta kończy się hamowaniem elektrycznym ruchu podnoszenia do określonego poziomu po czym zapada hamulec mechaniczny silnika mechanizmu podnoszenia.



Rys. 2. Realizacja ruchu ponoszenia i opuszczania ładunku. a) podnoszenie ładunku, b) opuszczanie ładunku, c) podnoszenie zawiesia, d) opuszczanie zawiesia.

Hamulec ten pełni jedynie rolę hamulca bezpieczeństwa i odciążania silnika elektrycznego i falownika przy statycznym obciążeniu mechanizmu, wynikającym z siły ciężkości ładunku. Komputer pokładowy przy sterowaniu automatycznym lub operator w systemie sterowania półautomatycznego lub ręcznego określa poziom podniesienia ładunku do transportu poziomego w zależności od drogi tego transportu. Oznacza to możliwość zaprogramowania kilku poziomów dla transportu poziomego i wyboru przez komputer pokładowy - przy sterowaniu automatycznym lub przez operatora w systemie transportu półautomatycznego, odpowiedniego poziomu transportu ładunku realizowanego za pomocą ruchów jezdnych. Niezależnie od tego przy sterowaniu ręcznym operator ma możliwość wyboru dowolnego poziomu transportu, a także jego zmiany w czasie ruchów jazdy z prędkością ustaloną.

Realizacja opuszczanie ładunku - rys. 2b może następować w trzech lub czterech fazach. I-sza faza obejmuje opuszczanie, odbywające się z małą prędkością (ok.  $0.1 v_n$ ), dokonywany jest pomiar masy ładunku dla określenia prędkości opuszczania zgodnie z zasadą stałej mocy. Zastosowanie tej fazy opuszczania jest konieczne w przypadku, w którym po zatrzymaniu ruchów jezdnych następuje zmiana masy ładunku np. dla suwnicy odlewniczej. W innych przypadkach, dla transportu w którym nie ma możliwości zmiany masy ładunku po podniesieniu i zatrzymaniu ruchów jezdnych faza ta może być pominięta i układ rozpocznie opuszczanie od razu od fazy II-giej z prędkością taką samą jak prędkość podnoszenia

zasadniczego. W fazie III-iej następuje zmniejszenie prędkości i układ wchodzi w strefę regulacji przemieszczenia. W fazie tej prędkość ładunku jest zmniejszana, co ma na celu poprawienie dokładności pozycjonowania ładunku przy jego zahamowaniu i dostawianiu na określony poziom. W fazie IV-iej następuje dostawienie spoczynkowe i złuzowanie więzi z małą prędkością, odłączające w systemie automatycznym specjalnie skonstruowane zawiesie lub pozwalające na jego odłączenie od ładunku w systemie pracy półautomatycznej z obsługą naziemną.

Po wykonaniu operacji dostawiania ładunku i odłączenia zawiesia następuje ruch podnoszenia zawiesia - rys. 2c, podlegający procedurze takiej samej jak podnoszenie ładunku w trzech fazach z tym, że faza podnoszenia zasadniczego odbywa się z przewidzianą maksymalną prędkością graniczną, ponieważ w przypadku braku obciążenia ładunkiem może zaistnieć sytuacja nadmiaru mocy mechanizmu podnoszenia. Po przejściu fazy III-ciej, określonej strefą regulacji przemieszczenia układ zatrzyma się na wybranym poziomie, przy którym następuje przejazd suwnicy do miejsca poboru następnego ładunku i opuszczanie zawiesia zgodnie z procedurą pokazaną na rys. 2d. Procedura ta jest podobna do procedury opuszczania ładunku i może składać się z czterech lub trzech faz, bowiem faza I-sza może być w określonym przypadku również pominięta i układ może rozpocząć opuszczanie z maksymalną prędkością graniczną. Po przejściu strefy regulacji przemieszczenia w fazie III-ciej zawiesie zatrzyma się na poziomie dostawiania. Następnie wykonane zostanie w fazie IV-tej opuszczenie zawiesia z małą prędkością do poziomu umożliwiającego podłączenie ładunku w systemie automatycznym lub półautomatycznym z obsługą naziemną. Po osiągnięciu tego poziomu następuje zatrzymanie i podwieszenie ładunku. Układ jest gotowy do realizacji ruchu podnoszenia.

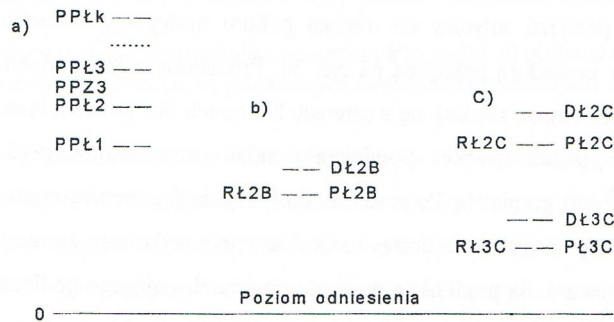
Ze względu na skrócenie czasu operacji transportu proces podnoszenia zasadniczego może zostać podzielony na dwie części. Podniesienie ładunku lub zawiesia na pierwszy możliwy, ze względu na konfigurację przestrzeni transportowej (przeszkody stałe) poziom, umożliwiający przeprowadzenie rozruchu mechanizmów jazdy i wózka suwnicy oraz podniesienie ładunku lub zawiesia w trakcie ustalonych prędkości jazdy na poziom docelowy. Decyzja wypracowana jest przez komputer pokładowy na podstawie programu optymalizującego cykl transportowy.

Należy zauważyć, że w transporcie zautomatyzowanym, przy braku obsługi naziemnej musi być rozwiązany problem automatycznego podwieszania ładunku, co ma już zastosowanie w transporcie kontenerowym. W systemie pracy półautomatycznej praca obsługi naziemnej jest ułatwiona ze względu na możliwość zaprogramowania poziomów pozycjonowania zawiesia

dla podwieszania do niego ładunków. Programowanie poziomów podwieszania ma charakter adaptacyjny co umożliwi zaprogramowanie odpowiednich dla każdego punktu poboru ładunków poziomów ich podwieszania. Możliwe jest również sterowanie ręczne z bezpośrednim wyborem poziomu podwieszania przez operatora.

### 3. TRANSPORT POZIOMY ŁADUNKU.

W systemie transportu automatycznego i półautomatycznego przewiduje się możliwość określenia i wprowadzenia do programu zarządzania transportem punktów odbioru i dostawiania ładunków, których parametry są wprowadzone do programu sterowania transportem. System ten może zostać wykorzystany częściowo także dla sterowania ręcznego. Opracowana technologia systemu transportu poziomego ładunku umożliwia zaprogramowanie poziomów przemieszczania ładunku i zawiesia oraz poziomów dostawiania oraz podwieszania i rozłączania zawiesia z ładunkiem. Poziomy te przedstawione są przykładowo na rys.3.



Rys. 3. Poziomy przemieszczania ładunku i zawiesia oraz poziomy dostawiania oraz podwieszania i rozłączania zawiesia z ładunkiem.

Na rys. 3a widoczne są zaprogramowane poziomy przemieszczania ładunków  $PP\dot{L}_i$  ( $i=1, \dots, k$ ), które dla tego przykładu pokrywają się z poziomami przemieszczania zawiesia  $PPZ_i$ . Na rys. 3b przedstawiono przykład określenia poziomów dostawiania -  $D\dot{L}2B$ , rozłączania -  $R\dot{L}2B$  i przyłączenia -  $P\dot{L}2B$  ładunku nr 2 na stanowisko dostawiania i pobierania ładunków B. Ten sam ładunek otrzymuje inne poziomy dostawiania oraz podwieszania i rozłączania ładunku na stanowisku C, co widoczne jest na rys. 3c. Poziomy te mogą być inne w przypadku operowania na stanowisku ładunkiem o innym numerze - 3 na rys. 3c.

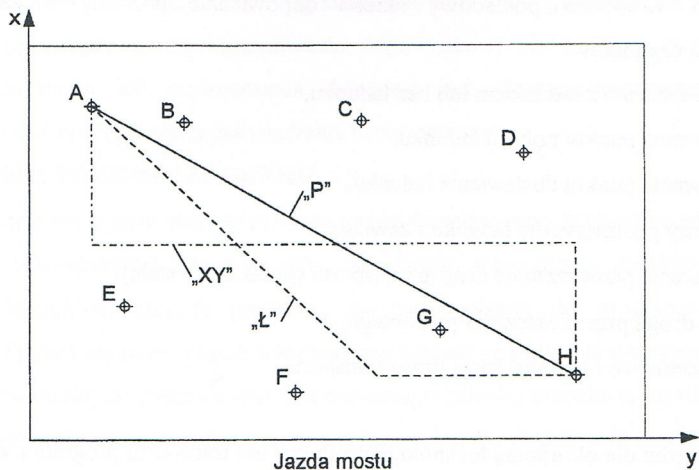
Wybór odpowiedniego poziomu dokonywany jest automatycznie na podstawie danych pochodzących z komputera centralnego lub w przypadku półautomatycznego, a także odpowiedniej opcji ręcznego sterowania, na podstawie danych wprowadzanych do komputera

pokładowego. Komputer pokładowy określa odpowiednie poziomy w zależności od następujących czynników:

- przemieszczenie z ładunkiem lub bez ładunku,
- usytuowanie punktu poboru ładunku,
- usytuowanie punktu dostawienia ładunku,
- parametry geometryczne ładunku i zawiesia,
- konfiguracja przestrzeni na drodze transportu (przeszkody stałe),
- opcja i droga przemieszczenia poziomego,
- bezpieczeństwo i minimalizacja czasu transportu.

Odpowiedni dla określonej technologii produkcji lub transportu program i wprowadzone dane umożliwiają wybór optymalnej operacji automatycznego transportu konkretnego ładunku na rozkaz zawierający jedynie numer ładunku i punkty jego odbioru i dostawienia. Przy przełączeniu na pracę półautomatyczną operator po podwieszeniu ładunku wprowadza dane określające numer ładunku i punkt jego dostawienia oraz rozkaz startu realizacji cyklu transportowego. Po wykonaniu operacji transportu i rozłączeniu zawiesia operator wprowadza dane określające numer ładunku i punkt jego poboru oraz rozkaz startu realizacji cyklu przemieszczenia maszyny dla pobrania kolejnego ładunku. Reszta operacji jest wykonywana automatycznie. W każdej chwili możliwe jest płynne przejście na sterowanie ręczne całkowite lub sterowanie ręczne ze wspomaganiem automatycznym procesów rozruchu i hamowania ruchów jezdnych dla eliminacji wahań ładunku. W tym ostatnim przypadku sterowane ręcznie podnoszeniem i opuszczaniem ładunku możliwe jest tylko w czasie braku ruchów jezdnych oraz w czasie w którym ruchy jezdne odbywają się ze stałą prędkością.

Na rys. 4 przedstawiona jest mapa obsługiwanego przez suwnicę pola transportu z zaznaczonymi punktami poboru i dostawiania ładunków. Transport poziomy określonego ładunku (np. nr 3) z punktu poboru A do punktu dostawienia H może odbyć się trzema metodami („P”, „L” i „XY”) w zależności od wybranego poziomu przemieszczania ładunku. Na wybór sposobu i poziomu przemieszczenia wpływ mają stałe przeszkody na drodze transportu na określonym poziomie przemieszczenia ładunku o danych wymiarach przy zastosowaniu kryterium minimalizacji czasu transportu.



Rys. 4. Mapa pola transportu poziomego

Przykładowo przemieszczenie poziome ładunku z punktu A do H metodą „P” (po prostej) może być możliwe, ze względu na istniejące przeszkody, tylko na przykładowo 8-mym, najwyższym poziomie. Podniesienie ładunku na ten poziom przed uruchomieniem ruchów jezdnych wymaga odpowiedniego czasu, a jeżeli jakaś przeszkoda stała usytuowana jest w pobliżu punktu A, to uniemożliwione jest zastosowanie podziału ruchu podnoszenia na wstępne, do najniższego możliwego poziomu transportu oraz zasadnicze realizowane w trakcie ruchów jezdnych w fazie ich prędkości ustalonych. Realizacja przemieszczenia metodą „P” wymaga w tym przypadku podniesienia ładunku przed uruchomieniem ruchów jezdnych na 8-my poziom i zastosowania maksymalnej prędkości jazdy mostu oraz dostosowania prędkości jazdy wózka dla otrzymania drogi prostoliniowej łączącej punkt A z punktem H. W przypadku zastosowania tego sposobu dla przemieszczenia ładunku z punktu B do punktu F zastosowana zostanie maksymalna prędkość jazdy wózka oraz dostosowana będzie prędkość jazdy mostu.

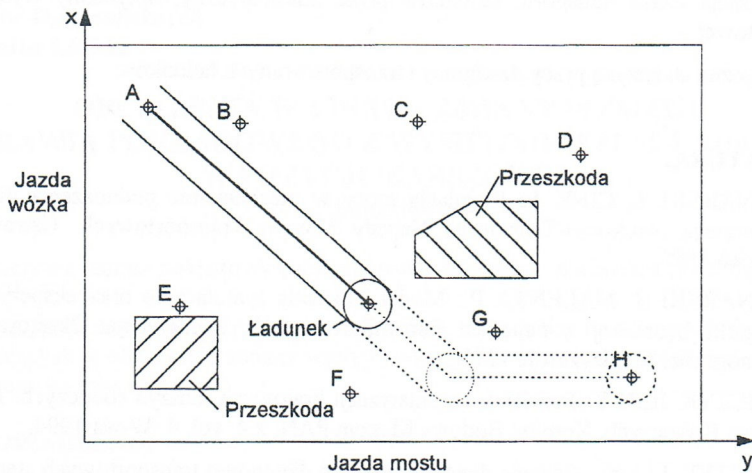
Realizacja przemieszczenia poziomego metodą „L” może okazać się dostępna (omijająca przeszkodę) na niższym przykładowo 3-cim poziomie. W pierwszej fazie drogi zastosowane są maksymalne prędkości jazdy mostu i wózka. Po zahamowaniu wózka druga faza drogi odbywa się tylko przy niezmięnionej prędkości maksymalnej jazdy mostu aż do osiągnięcia punktu H dostawienia ładunku.

Na najniższym poziomie przemieszczenia dostępna może być jedynie droga III złożona z kolejnych ruchów jezdnych wózka, mostu i ponownie wózka. Droga taka może przebiegać np.



wzdłuż założonych dróg transportowych na tym poziomie przemieszczenia określonego ładunku.

Po dokonaniu analizy komputer pokładowy wybiera bezpieczną metodę transportu, dającą najkrótszy jego czas. Wówczas na monitorze komputera pokładowego pojawia się mapa pola transportu z zaznaczonymi dla wybranego poziomu przemieszczenia przeszkodami stałymi i założoną drogą transportu. Jest ona widoczna w czasie trwania przemieszczenia ładunku z uwidocznieniem również aktualnej jego pozycji. Daje to również operatorowi pogląd na możliwości transportu poziomego na określonym poziomie przemieszczenia w przypadku przejścia na sterowanie ręczne, ponieważ w trakcie podnoszenia zmieniają się mapy uwidaczniające istniejące przeszkody dla ładunku o danych wymiarach.



Rys. 5. Mapa pola transportu poziomego w trakcie realizacji przemieszczenia poziomego ładunku.

Na rys. 5 widoczne jest pole transportu z wybraną drogą przemieszczenia metodą „L” - linia przerywana, na przykładowym 3-cim poziomie przemieszczania ładunku z zaznaczonymi przeszkodami, występującymi na tym poziomie dla transportowanego ładunku o określonych parametrach i uwidocznioną drogą przebytą przez ładunek - linia ciągła, w trakcie trwania ruchu przemieszczenia poziomego. Przy przejściu na sterowanie ręczne na monitorze pokazywana jest od aktualnej pozycji ładunku - liniami przerywanymi, pasmo drogi wynikające z aktualnych prędkości jazdy mostu i wózka. Przecięcie tym pasmem drogi pola przeszkody jest sygnalizowane sygnałem dźwiękowym. Przy braku reakcji operatora układ zostaje automatycznie zahamowany przed polem określającym przeszkodę.

#### 4. PODSUMOWANIE.

Zastosowanie nowej generacji, sterowanych numerycznie układów napędowych dźwignic wymaga zastosowania odpowiedniej koncepcji realizacji procesu transportu ładunków. Opracowana nowa technologia transportu przynosi następujące korzyści użytkownikom maszyn dźwigowych:

- ograniczenie do minimum tarcia obrzeży kół przez eliminację ukosowania mostów suwnic,
- dostarczanie ładunków z wymaganą dokładnością do zaprogramowanego miejsca - pozycjonowanie ładunków,
- automatyczne wy tłumienie wahań ładunku po okresach rozruchu i hamowania mechanizmów jazdy,
- zwiększenie prędkości podnoszenia i opuszczania ładunków o masach mniejszych od nominalnych przez zastosowanie zasady stałej mocy,
- minimalizacja czasu transportu ładunków przez automatyczny, optymalny wybór drogi transportowej,
- automatyczną statystykę pracy dźwignicy i transportowanych ładunków.

#### 5. LITERATURA.

- [1] BEDNARSKI S, CINK J.: Regulacja mocy w mechanizmie podnoszenia dźwignicy. Konferencja Naukowo-Techniczna Napędy Maszyn Transportowych. Ustroń Śląski, wrzesień 1996.
- [2] BEDNARSKI S, MALENTA P.: Model i badania symulacyjne oraz eksperymentalne wciągarki bębnowej z napędem falownikowym. III Konferencja Okrętownictwo i Oceanografia. Międzyzdroje 1997.
- [3] TOMCZYK JERZY: Problemy automatyzacji krajowych maszyn roboczych. Problemy Maszyn Roboczych, Komitet Budowy Maszyn PAN, z.4, vol. 4. W-wa 1994.
- [4] TOMCZYK J i inni.: Badania dynamiki maszyn dźwigowo transportowych sterowanych za pomocą mikroprocesorów. Praca badawcza KBN nr 7 T07C 028 09, Łódź-Bytom 1998.
- [5] TOMCZYK J., CINK J., KOSUCKI A.: Badania podstawowych problemów automatyzacji maszyn roboczych. VII Konferencja Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, Zakopane, Styczeń 1994.

### **THE CONCEPT OF FLEXIBLE SUSPENDED LOAD TRANSPORT BY MICROPROCESSOR CONTROLLED OVERHEAD CRANES**

#### Summary

The concept of load transport for automatic and semiautomatic controlled cranes is presented in the paper. The continue control of the speed of simultaneous operating of the travelling and traversing mechanisms and constant power regulation for hoisting and lowering of the load are used. The system can be apply to driving and positioning of the load in the transport area where the constant obstacles are situated.