



## TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO

Krzysztof BRZOWSKI, Andrzej MACZYŃSKI, Stanisław WOJCIECH

# ANALIZA POZYCJONOWANIA ŁADUNKU ŻURAWIA W ASPEKTCIE CZASU OBROTU NADWOZIA

### *Streszczenie*

*W pracach przeładunkowych i montażowych prowadzonych z wykorzystaniem żurawi obrotowych ważnym zagadnieniem jest nie tylko zapewnienie właściwego pozycjonowania ładunku na zakończenie ruchu. Z punktu widzenia efektywności, a zatem również kosztów eksploatacji urządzenia istotne jest równoczesne ograniczenie czasu potrzebnego na realizację ruchu roboczego. W niniejszej pracy przedstawiono analizę możliwości pozycjonowania ładunku żurawia w aspekcie czasu obrotu nadwozia. Na tym etapie formułowania zadania pozycjonowania ładunku z uwzględnieniem czasu obrotu, pominięto w rozważaniach ograniczenia wynikające z cech układu napędowego mechanizmu obrotu nadwozia. Zaprezentowano wyniki symulacji numerycznych dla wybranych kątów obrotu żurawia.*

### WSTĘP

Z uwagi na efektywność i bezpieczeństwo prac wykonywanych przy użyciu żurawi obrotowych istotne jest aby ruch obrotowy nadwozia wykonywany był w możliwie najkrótszym czasie, przy czym ładunek nie powinien wykonywać nadmiernych wahań po zakończeniu ruchu roboczego. Zadanie minimalizacji końcowych wahań było przedmiotem dociekań szeregu badaczy, prezentowanych między innymi w [1,3,4,6,13,14]. Zagadnienie właściwego pozycjonowania ładunku stanowiło również przedmiot prac badawczych autorów [5,7,8,12]. W tych pracach, problem pozycjonowania analizowany był na bazie własnych modeli samojezdnego żurawia teleskopowego. Opracowano zarówno model pełny, uwzględniający podatność i tłumienie w wybranych podukładach jak i model uproszczony, obejmujący podstawowy opis ruchu ładunku. Głównym powodem sformułowania modelu uproszczonego była konieczność zapewnienia odpowiedniej efektywności numerycznej obliczeń. Model ten zastosowano w zadaniu optymalizacji funkcji napędowej. Rozważane dotychczas w pracach autorów zadanie optymalizacji dotyczyło wyznaczenia przebiegu czasowego funkcji napędowej obrotu nadwozia zapewniającego końcowe pozycjonowanie ładunku przy zadanym czasie obrotu. Jak wykazano, tak sformułowane zadanie optymalizacji dynamicznej pozwala na uzyskanie pożądanej dokładności pozycjonowania ładunku.

Osobnym, dotychczas niepodejmowanym zagadnieniem jest pozycjonowanie ładunku w ruchu obrotowym z jednoczesnym ograniczeniem czasu obrotu nadwozia żurawia. Skrócenie czasu obrotu, przy zapewnieniu zadowalającej dokładności pozycjonowania ładunku, może prowadzić do zwiększenia efektywności prac przeładunkowych. W związku

z tym w niniejszej pracy przeprowadzono wstępne analizy możliwości pozycjonowania ładunku żurawia w odniesieniu do problemu minimalizacji czasu obrotu. Na tym etapie prac pominięto ograniczenia wynikające z cech układu napędowego mechanizmu obrotu nadwozia, w szczególności związane z maksymalnymi prędkościami i przyspieszeniami możliwymi do zrealizowania przez rzeczywisty mechanizm. Ograniczenia te stanowią jednak tylko dodatkowe warunki brzegowe przy wyznaczaniu czasu obrotu i tym samym nie podważają wniosków z przeprowadzonej w pracy analizy problemu.

## 1. UPROSZCZONY MODEL ŻURAWIA. ZADANIE OPTYMALIZACJI

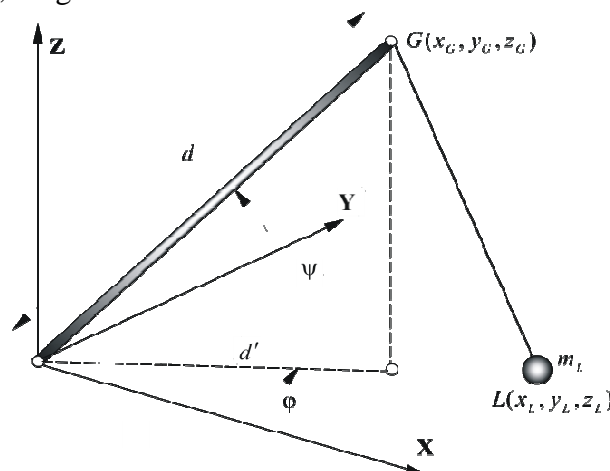
Jak wykazano już we wcześniejszych pracach autorów wyznaczanie przebiegu funkcji napędowej zapewniającej wymaganą dokładność pozycjonowania ładunku po wykonaniu obrotu można sformułować w postaci odpowiedniego zadania optymalizacji. Uzyskanie rozwiązania polega w tym przypadku na przeszukiwaniu zbioru dopuszczalnych rozwiązań, co wymaga efektywnego numerycznego modelu obiektu. Efektywność ta jest odwrotnie proporcjonalna do stopnia szczegółowości modelu wyrażanego liczbą stopni swobody. Z tego względu, w miejsce modelu pełnego, wprowadzono model uproszczony, w którym założono całkowitą sztywność układu nośnego żurawia. Podstawowy schemat modelu przedstawiono na rys.1. Ruch ładunku wyznaczany jest poprzez rozwiązanie równań postaci:

$$m_L \ddot{x}_L = S \frac{x_G - x_L}{l}, \quad (1a)$$

$$m_L \ddot{y}_L = S \frac{y_G - y_L}{l}, \quad (1b)$$

$$m_L \ddot{z}_L = S \frac{z_G - z_L}{l} - m_L g, \quad (1c)$$

gdzie:  $m_L$  – masa ładunku,  
 $S$  – siła w linie,  
 $l$  – długość liny, długość odcinka GL.



Rys. 1. Schemat modelu żurawia stosowanego w zadaniu wyznaczania funkcji napędowej

Szczegółowy opis założeń modelu można znaleźć w [2].

Rozpatrywane zagadnienie doboru funkcji napędowej obrotu żurawia jest zadaniem optymalizacji dynamicznej wymagającym całkowania równań modelu w każdym kroku optymalizacyjnym. Zadanie to można zdefiniować następująco:

– znaleźć minimum funkcjonału postaci:

$$F = F(w, \dot{w}, x), \quad (2)$$

gdzie:  $w, \dot{w}$  – wektory współrzędnych i prędkości uogólnionych,

$x$  – wektor zmiennych decyzyjnych określających optymalizowaną funkcję napędową,

– zapewniające spełnienie ograniczeń:

$$q_j(w, \dot{w}, x) \leq 0 \quad j=1, \dots, n_g, \quad (2.1)$$

$$h_j(w, \dot{w}, x) = 0 \quad j=1, \dots, n_h, \quad (2.2)$$

podczas gdy wektory  $w, \dot{w}, x$  powiązane są równaniami ruchu postaci:

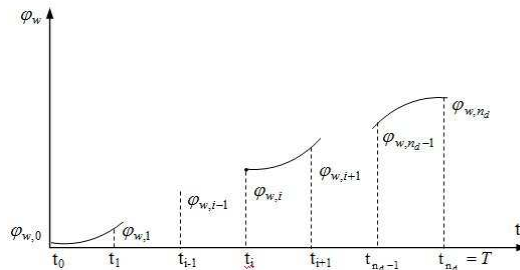
$$M\ddot{w} = P(w, \dot{w}, \dot{x}) \quad \text{dla } t \in \langle t_0, t_k \rangle. \quad (3)$$

W dalszych rozważaniach przyjęto, że dla  $t \in \langle 0, T \rangle$  ( $T$  oznacza czas obrotu) funkcja  $\varphi_w(t)$ , określająca wymuszenie kinematyczne obrotu żurawia, przybliżona jest funkcjami sklejanymi trzeciego stopnia (rys.2):

$$\varphi_w(t)|_{t \in \langle t_{i-1}, t_i \rangle} = a_i(t - t_{i-1})^3 + b_i(t - t_{i-1})^2 + c_i(t - t_{i-1}) + d_i, \quad (4)$$

gdzie:  $t_i = \frac{T}{n}i$ ,  $i=0, 1, \dots, n_d$ ,

$a_i, b_i, c_i, d_i$  – współczynniki  $i$ -tej funkcji.



**Rys. 2.** Przybliżenie funkcji  $\varphi_w(t)$  za pomocą funkcji sklejanych

Dla znanych wartości  $\varphi_{w,i} = \varphi_w(t_i)$  dla  $i=0, 1, \dots, n_d$  wyznaczenie współczynników poszczególnych funkcji sklejanych sprowadza się do rozwiązania układu  $4n_d$  równań algebraicznych o  $4n_d$  niewiadomych. Problem optymalizacji funkcji napędowej związany jest zatem z wyznaczeniem dyskretnych wartości funkcji napędowej w poszczególnych chwilach czasowych. Zakładając, że znane są  $\varphi_{w,0}$  i  $\dot{\varphi}_{w,0}$  (lub  $\ddot{\varphi}_{w,0}$ ) oraz  $\varphi_{w,n_d}$  i  $\dot{\varphi}_{w,n_d}$  (lub  $\ddot{\varphi}_{w,n_d}$ ), jako zmienne decyzyjne w zadaniu optymalizacji przyjęto  $n_d - 1$  składowych wektora:

$$\mathbf{X} = [\varphi_{w,1}, \varphi_{w,2}, \dots, \varphi_{w,n_d-1}]^T. \quad (5)$$

Funkcjonał  $F$  występujący w (2) zdefiniowano tak, aby minimalizować prędkość ładunku w chwili zakończenia obrotu nadwozia i odchyłkę od jego oczekiwanej pozycji, przyjmując:

$$F = C_1 \frac{1}{2} m_L v_{LT}^2 + C_2 \|r_{LT} - r_{LF}\|^2, \quad (6)$$

gdzie:  $r_{LT} = r_L|_{t=T}$ ;  $v_{LT} = v_L|_{t=T}$ ,

$r_{LF}$  – wektor oczekiwanych współrzędnych ładunku w chwili  $t=T$ ,

$v_L$  – prędkość ładunku w chwili  $t=T$ ,

$C_1, C_2$  – współczynniki (wagi).

Założono też, że wartości  $\varphi_{w,i}$  występujące w (5) spełniają warunki:

$$0 \leq \varphi_{w,i} \leq \varphi_{w,\max} = \varphi_{w,n_d}. \quad (7)$$

Do rozwiązania tak sformułowanego zadania optymalizacji zastosowano klasyczną metodę pełzającego simpleksu. Tak jak większość metod optymalizacyjnych, również ta metoda wrażliwa jest na wybór przybliżenia początkowego. W tym celu wyznaczono funkcję analityczną opisującą przebieg funkcji napędowej postaci:

$$\varphi_{w,i,0} = \varphi_w(t_i) = \begin{cases} \frac{8\varphi_{w,\max}}{T^4} t^3 (-t+T) & \text{gd } t \leq \frac{T}{2} \\ \frac{8\varphi_{w,\max}}{T^4} (t-T)^3 t + \varphi_{w,\max} & \text{gd } t > \frac{T}{2} \end{cases}, \quad (8)$$

którą wykorzystano do wyznaczenia przybliżenia początkowego wektora zmiennych decyzyjnych  $\mathbf{X}$ :

$$\mathbf{X}_0 = [\varphi_{w,1,0}, \dots, \varphi_{w,n-1,0}]^T. \quad (9)$$

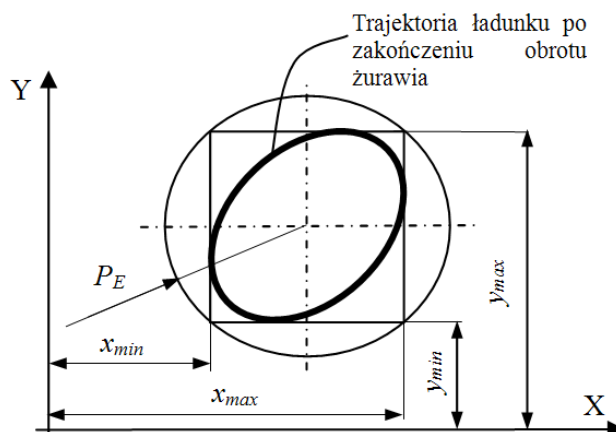
## 2. WSKAŹNIK DOKŁADNOŚCI POZYCJONOWANIA. DOŚWIADCZALNA WERYFIKACJA METODY

Ocena dokładności końcowego pozycjonowania ładunku może odbywać się na drodze analizy rzutu trajektorii ładunku na płaszczyznę poziomą. Analiza taka ma jednak głównie charakter jakościowy i nie zawsze jest wystarczająca. Stąd też już w pracach [9,11] podjęto próby zdefiniowania uniwersalnego wskaźnika dokładności pozycjonowania, który umożliwiłby ilościową ocenę końcowych wahań ładunku. Ostatecznie został on określony jako:

$$P_E = \sqrt{\left(\frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}\right)^2 + \left(\frac{y_{\max} - y_{\min}}{2}\right)^2}, \quad (10)$$

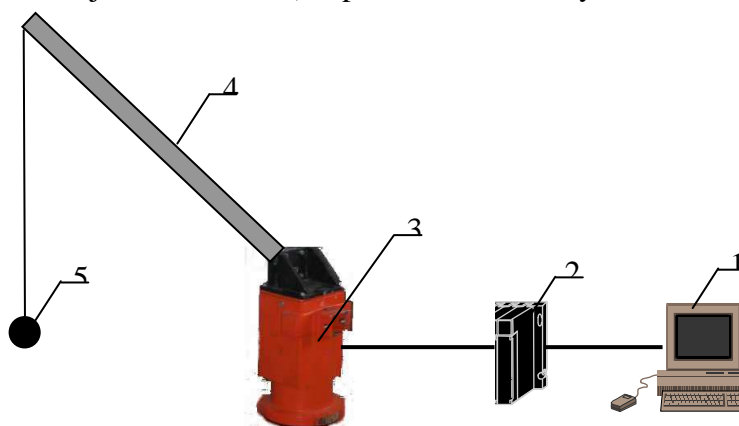
gdzie  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$ ,  $y_{\max}$ ,  $y_{\min}$  stanowią odpowiednio maksymalne i minimalne wartości współrzędnych ładunku zaobserwowane po zakończeniu obrotu nadwozia żurawia (rys. 4.9).

Interpretację geometryczną wskaźnika  $P_E$  przedstawiono na rys.3. Jest to promień okręgu opisanego na prostokącie o bokach równoległych do osi bazowego układu współrzędnych, w który wpisana jest trajektoria ładunku po zakończeniu obrotu żurawia.

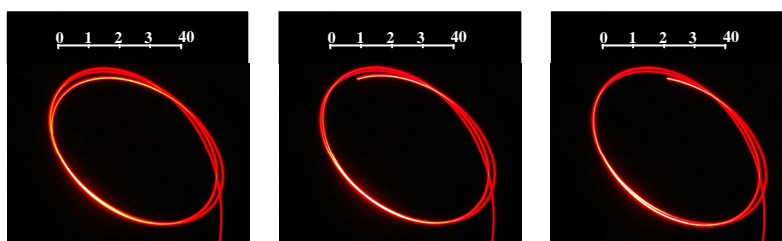


**Rys. 3.** Interpretacja geometryczna wskaźnika dokładności pozycjonowania  $P_E$

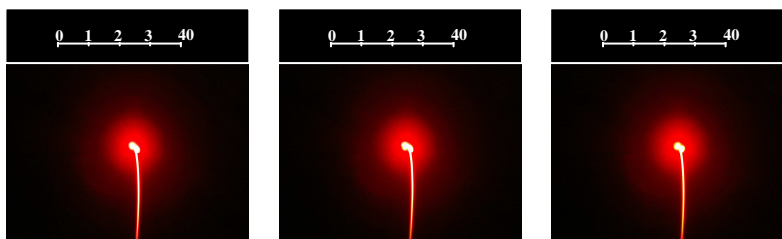
W celu doświadczalnej weryfikacji analizowanej metody pozycjonowania ładunku przeprowadzono badania eksperymentalne na stanowisku badawczym. Schemat ideowy stanowiska przedstawiono na rys.4. Wyniki przykładowego eksperymentu (przebieg końcowego fragmentu trajektorii ładunku) zaprezentowano na rys.5 i 6.



**Rys. 4.** Schemat ideowy stanowiska badawczego: 1– komputer PC z oprogramowaniem „Test Point” oraz kartą DA, 2 – regulator, 3 – kolumna manipulatora z silnikiem, przekładnią i prądnicą tachometryczną, 4 – wysięgnik



**Rys. 5.** Zarejestrowane eksperymentalne przebiegi końcowych fragmentów trajektorii ładunku dla kąta obrotu  $90^\circ$  i funkcji napędowej określonej zgodnie z początkowym przybliżeniem (7)



**Rys. 6.** Zarejestrowane eksperymentalne przebiegi końcowych fragmentów trajektorii ładunku dla kąta obrotu  $90^\circ$  i funkcji napędowej określonej na drodze optymalizacji

Szczegółowy opis stanowiska badawczego oraz przebiegu eksperymentów znajduje się w [9, 10]. Wyniki przeprowadzonych badań stanowiskowych wskazują na skuteczność metody pozycjonowania ładunku bazującej obliczeniach optymalizacyjnych przeprowadzonych z wykorzystaniem uproszczonego modelu żurawia.

### 3. ANALIZA ZADANIA UWZGLĘDNIAJĄCEGO PROBLEM MINIMALIZACJI CZASU OBROTU

Do rozwiązania zadania pozycjonowania ładunku z jednoczesnym warunkiem dotyczącym czasu obrotu wykorzystać można przedstawioną powyżej i zweryfikowaną doświadczalnie metodologię postępowania. W przeprowadzonych symulacjach założono, że sprawdzenie, czy ładunek nie wykonuje nadmiernych wahań po zakończeniu ruchu roboczego wykonane będzie poprzez wyznaczenie wskaźnika dokładności pozycjonowania  $P_E$  (10). Formułując i rozwiązując zadanie przyjęto uproszczenie związane z pomijaniem w pierwszym etapie prac ograniczeń wynikających z cech układu napędowego mechanizmu obrotu nadwozia. Ograniczenia te w szczególności związane są z maksymalnymi prędkościami i przyspieszeniami rzeczywistego mechanizmu. Dodatkowo, mając na uwadze fakt, że w ciężkich maszynach roboczych do których należą żurawie samojezdne, nie jest korzystna zmiana kierunku ruchu, zmodyfikowano postać funkcjonału (6) wprowadzając dodatkowy człon:

$$F = C_1 \cdot \frac{1}{2} m_L \cdot v_{LT}^2 + C_2 \cdot \|r_{LT} - r_{LF}\|^2 + C_3 \cdot v_{-\max}, \quad (11)$$

gdzie:  $v_{-\max}$  – maksymalna ujemna prędkość obrotu, gdy prędkość ta podczas trwania obrotu cały czas jest dodatnia to  $v_{-\max} = 0$ ,

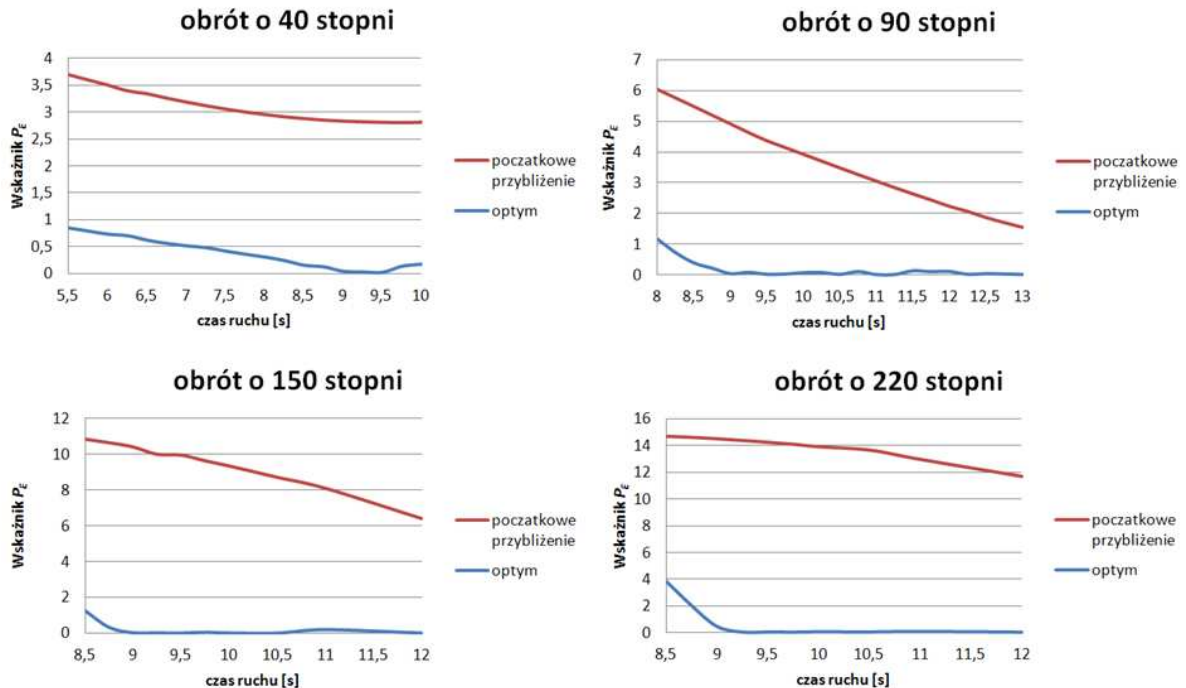
$C_3$  – dodatkowy współczynnik (waga).

W celu wykonania analiz związanych z wpływem całkowitego czasu obrotu na dokładność pozycjonowania przeprowadzono szereg obliczeń rozwiązując każdorazowo zadanie optymalizacji funkcji napędowej dla wybranego kąta obrotu i zmiennej wartości czasu obrotu. Po wyznaczeniu poszukiwanej funkcji napędowej zapewniającej dla danego czasu obrotu minimalną wartość funkcjonału (11) obliczano wskaźnik dokładności pozycjonowania  $P_E$  (10). W kolejnym kroku zmniejszano czas obrotu, powtarzano procedurę wyznaczania funkcji napędowych poprzez rozwiązanie zadania optymalizacji i ponownie obliczano wskaźnik  $P_E$ . Otrzymane w ten sposób wyniki pozwalają określić zależność dokładności końcowego pozycjonowania ładunku od czasu obrotu nadwozia żurawia.

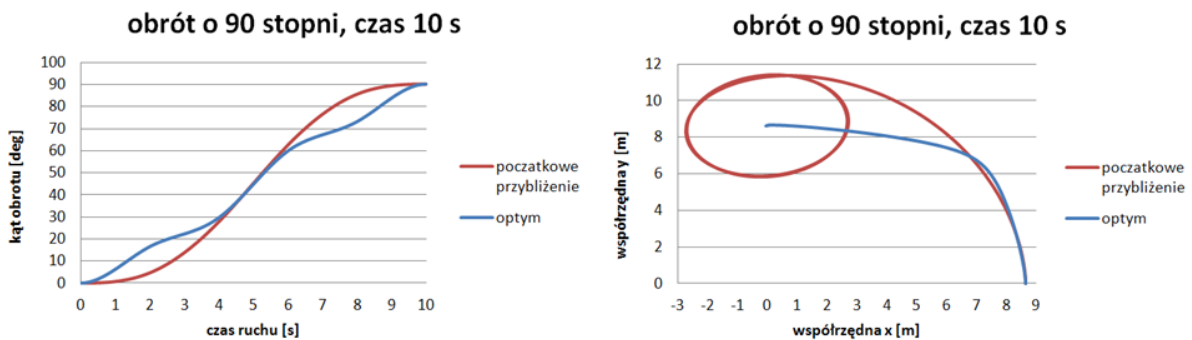
W przeprowadzonych symulacjach dane geometryczno-masowe modelu odpowiadały teleskopowemu, samojezdnemu żurawiovi klasy 30 MG. Wysięg wynosił 8,65 m, początkowa wysokość ładunku nad podłożem 2 m, masa ładunku 3000 kg. Poniżej przedstawiono wyniki dla obrotu o kąt  $40^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $150^\circ$  oraz  $220^\circ$ . W tabeli 1 zestawiono czas ruchu oraz wskaźnik  $P_E$  dla początkowego przybliżenia i zoptymalizowanej funkcji napędowej dla kąta obrotu  $90^\circ$ . Na rys.7 przedstawiono wykresy ukazujące uzyskane wartości wskaźnika  $P_E$  w zależności od czasu ruchu dla rozważanych kątów obrotu nadwozia. Na rys.8 zamieszczono przykład przebiegu czasowego funkcji napędowej wg początkowego przybliżenia i po optymalizacji oraz odpowiadające im rzuty trajektorii ruchu ładunku na płaszczyznę poziomą – wykresy uzyskano dla obrotu nadwozia żurawia o kąt  $90^\circ$  realizowany w ciągu 10 s.

**Tab.1.** Czas ruchu oraz wskaźnik  $P_E$  dla początkowego przybliżenia i zoptymalizowanej funkcji napędowej dla kąta obrotu  $90^\circ$

czas [s]	13	12,75	12,5	12,25	12	11,75	11,5	11,25	11	10,75
$P_{Epp}$ [m]	1,548	1,702	1,869	2,066	2,232	2,438	2,636	2,840	3,049	3,264
$P_{Eopt}$ [m]	0,002	0,018	0,028	0,010	0,104	0,096	0,123	0,001	0,001	0,099
czas [s]	10,5	10,25	10	9,75	9,5	9,25	9	8,75	8,5	8,25
$P_{Epp}$ [m]	3,482	3,702	3,922	4,143	4,365	4,631	4,914	5,196	5,480	5,757
$P_{Eopt}$ [m]	0,007	0,071	0,063	0,017	0,009	0,076	0,030	0,209	0,384	0,720



**Rys. 7.** Zależność wskaźnika  $P_E$  od czasu ruchu dla różnych kątów obrotu nadwozia



**Rys. 8.** Przebiegi czasowe funkcji napędowej wg początkowego przybliżenia i po optymalizacji oraz odpowiadające im rzuty trajektorii ruchu ładunku na płaszczyznę poziomą – analizowano obrót o  $90^\circ$  w ciągu 10s

## PODSUMOWANIE

Analizując otrzymane wyniki można zauważyć, że dla rozważanych kątów obrotu, bardzo dobre pozycjonowanie otrzymuje się dla czasów ruchu nie mniejszych niż 9 s. Dla czasów krótszych następuje stosunkowo szybkie pogorszenie dokładności pozycjonowania, przy czym im kąt obrotu jest większy tym wyraźniejsze jest pogorszenie dokładności pozycjonowania. W przypadku obrotu o mniejszy kąt ( $40^\circ$ ) zjawisko to ma znacznie łagodniejszy przebieg. Wydaje się więc uprawniony wniosek, że dla dużych kątów obrotu

granicznym czasem, dla którego warto przeprowadzać optymalizację funkcji napędowej pod kątem pozycjonowania ładunku dla analizowanego żurawia jest czas rzędu 9÷10 s. W przypadkach małych kątów obrotu, czas ruchu może być mniejszy, kosztem jednak nieco gorszej dokładności pozycjonowania. Ewentualny kompromis w tej kwestii, czyli wybór czasu realizacji ruchu roboczego, zależy od konkretnej sytuacji.

Oczywiście trzeba pamiętać, że powyższe analizy przeprowadzono bez uwzględnienia ograniczeń wynikających z cech układu napędowego mechanizmu obrotu nadwozia. Wyniki przeprowadzanych analiz wskazują jednak na to, że zaimplementowanie sprawdzonej metodologii postępowania z koniecznymi uzupełnieniami w postaci ograniczeń, o których była mowa powyżej, pozwoli na rozwiązanie zadania pozycjonowania ładunku z jednoczesną minimalizacją czasu ruchu. Kierunek dalszych prac będzie zatem związany z opracowaniem odpowiedniego algorytmu, który wykorzystując proponowane postępowanie pozwoli na automatyczne wyznaczenie zoptymalizowanej funkcji napędowej przy minimalnym czasie obrotu. Procedura będzie wymagać jednoczesnego zdefiniowania żadanego kąta obrotu, maksymalnej dopuszczalnej wartości wskaźnika dokładności pozycjonowania  $P_E$ , a także zdefiniowania parametrów napędu rzeczywistego żurawia, w szczególności maksymalnej dopuszczalnej prędkości i przyspieszenia w ruchu obrotowym nadwozia. Algorytm ten będzie umożliwiał wyznaczanie zarówno minimalnego czasu ruchu jaki i przebiegu funkcji napędowej zapewniającej pozycjonowanie ładunku nie gorsze niż określone zadany wskaźnikiem  $P_E$ .

## ANALYSIS OF CRANE'S LOAD POSITIONING ACCORDING TO TIME OF SLEWING MOTION

### *Abstract*

*In operations of reloading and construction using rotary cranes it is an important problem not only to ensure proper load positioning at the end of motion, but also to limit the duration of slewing, which is vital from efficiency and exploitation costs perspective. The present paper contains analysis of possibilities of load positioning in a crane with respect to the duration of its upper structure slewing. Constraints due to features of the upper structure slewing mechanism's drive system are omitted from discussion at this stage of formulating the problem of load positioning taking the duration of slewing into consideration. Results of numerical simulations are presented for selected crane slew angles.*

### BIBLIOGRAFIA

1. Abdel-Rahman E. M., Nayfeh A. H.: *Pendulation Reduction in Boom Cranes Using Cable Length Manipulation*, *Nonlinear Dynamics*, 27 (3), 255-269, 2002
2. Adamiec-Wójcik I., Maczyński A., Wojciech S.: *Zastosowanie metody przekształceń jednorodnych w modelowaniu dynamiki urządzeń offshore*, WKŁ, Warszawa 2008
3. Balachandran B., Li YY., Fang CC.: *A mechanical filter concept for control of non-linear crane-load oscillations*: *Journal of Sound & Vibrations*, 228, 651-682, 1999
4. Bednarski S., Cink J., Tomczyk J.: *Pozycjonowanie ładunku w ruchu roboczym żurawia portowego*, X Konferencja Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, Zakopane, Zeszyt I, 25-32, 1997
5. Brzozowski K. Maczyński A.: *The application of an artificial neural network to load positioning in slewing motion of a crane*, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, vol. 13, No.3, 413-421, 2010



6. Kłosiński J.: *Sterowanie ruchami roboczymi żurawi samojezdnych zapewniające pozycjonowanie przenoszonego ładunku*: Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku-Białej, Rozprawy naukowe, Z. 35, nr 55, Bielsko-Biała 2000
7. Maczyński A.: *Load positioning and minimization of load oscillations for rotary cranes*, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 41, No. 4, 873-885, 2003
8. Maczyński A.: *Determination of drive functions of slewing of a mobile crane which minimize load oscillations*, The Archive of Mechanical Engineering, Vol. L, No 2, 167-199, 2003
9. Maczyński A.: *Pozycjonowanie i stabilizacja położenia ładunku żurawi wysięgnikowych*, Rozprawa habilitacyjna, Wydawnictwo ATH, Bielsko-Biała 2005
10. Maczyński A., Płosa J.: *Experimental verification of a method of final positioning of a load for rotary cranes*, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, vol.48, no.2, 443-455, 2008
11. Maczyński A., Suwaj S.: *Wskaźniki dokładności pozycjonowania ładunku żurawia obrotowego*, *Problemy Maszyn Roboczych*, Z. 22, 2003, str. 59-72
12. Maczyński A., Wojciech S.: *Dynamics of a Mobile Crane and Optimisation of the Slewing Motion of its Upper Structure: Nonlinear Dynamics*, 32, 259-290, 2003
13. Parker G. G., Groom K., Hurtado J. E., Feddema J., Robinett R. D., Leban F.: *Experimental verification of a command shaping boom crane control system*: American Control Conference, San Diego, California, June, 86-90, 1999
14. Sakawa Y., Shindo Y., Hashimoto Y.: *Optimal control of a rotary crane*, Journal of Optimization Theory and Applications, Vol. 35, No. 4, 535-557, 1981

***Autorzy:***

**dr hab. inż. Krzysztof BRZOZOWSKI, prof. ATH** – ATH w Bielsku-Białej  
**dr hab. inż. Andrzej MACZYŃSKI, prof. ATH** – ATH w Bielsku-Białej  
**prof. dr hab. Stanisław WOJCIECH** – ATH w Bielsku-Białej