

Andrzej KOSIARA

OCENA PRZYDATNOŚCI RÓŻNYCH WSKAŹNIKÓW JAKO MIAR STATECZNOŚCI WYWROTNEJ JEDNONACZYNIOWEJ KOPARKI GAŚNIENICOWEJ

Artykuł poświęcony jest wskaźnikom, które mogą zostać użyte do bieżącej oceny stateczności wywrotnej gaśnicowej koparki jednonaczyjniowej. Miary takie są wykorzystywane w algorytmach nowoczesnych systemów wspomaganie operatora w sterowaniu mobilną maszyną roboczą. Sposób ich zdefiniowania pośrednio może wpływać na bezpieczeństwo eksploatacji koparek oraz na ich wydajność. Zaprezentowano cztery wskaźniki, które są obecnie najczęściej stosowane w rozwiązaniach technicznych. Omówiono zalety i wady każdego z nich.

WSTĘP

W ostatnich latach zauważalna jest ciągła presja rynku na producentów maszyn roboczych do prac ziemnych. Żąda się, aby nowe maszyny pozwalały na szybsze i precyzyjniejsze wykonywanie prac oraz by spełniały przy tym wyśrubowane normy z zakresu bezpieczeństwa oraz dopuszczalnej uciążliwości dla środowiska naturalnego. W przypadku koparek jednonaczyjniowych na realizację przedstawionych powyżej postulatów w dużej mierze ma wpływ wykorzystywana przez nie wartość tzw. zapasu stateczności (stabilności) wywrotnej. Zapas stateczności w literaturze anglojęzycznej jest też nazywany poziomem stateczności. Praca z mniejszym zapasem stateczności pozwala na zwiększenie mobilności i wydajności maszyny. Niestety wzrasta wtedy zagrożenie wywróceniem się pojazdu przemysłowego.

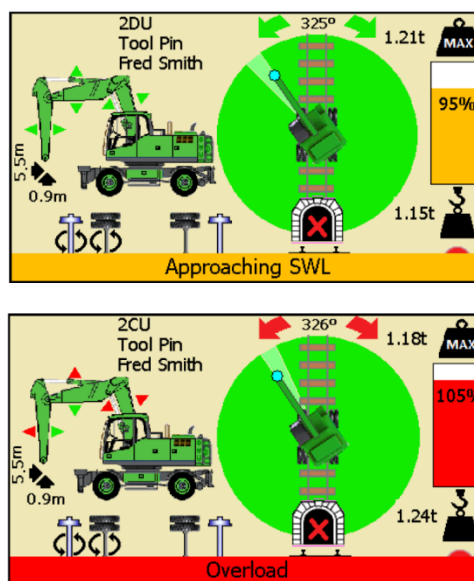
Zgodnie z obowiązującą obecnie praktyką producent koparki określa tzw. udźwigi nominalne dla różnych położeń osprzętu roboczego. Użytkownik z kolei dobiera dla koparki narzędzie robocze np. łyżkę z uwzględnieniem tych udźwiegów. Wymaga się, aby objętość łyżki była taka, by jej ciężar wraz z ładunkiem nie przekraczał 75% udźwigu nominalnego skojarzonego z wykorzystywaną pozycją osprzętu roboczego. Przedstawione postępowanie wynika wprost z obowiązujących norm [1]. Zapas 25% przyjmuje się z uwagi na możliwość pojawienia się w czasie eksploatacji koparki dodatkowych momentów wywracających, będących wynikiem działania sił dynamicznych. Z literatury [2] wiadomo, że bardzo duże wartości sił dynamicznych mogą pojawić się np. w chwili gdy próbuje się wyhamować ruch opuszczania wysięgnika z wyprostowanym ramieniem.

Doświadczenia pokazują, że współczynnik bezpieczeństwa na poziomie 25% skutecznie chroni koparkę przed wywróceniem w czasie pracy, pod warunkiem, że pracuje ona na stabilnym, płaskim podłożu. W przypadku ustawienia koparki na pochyleniu, spełnienie założeń normowych nie daje gwarancji bezpieczeństwa. Operator w takich warunkach musi bazować na swoim doświadczeniu i umiejętnościach.

Głębsza analiza zagadnienia poparta obserwacjami pracy rzeczywistych koparek pozwala na postawienie tezy, że obowiązujące normy nie dopuszczają do pełnego wykorzystywania zapasu stateczności koparki przez większość czasu jej pracy. Istnieje zatem poten-

cjalna możliwość zwiększenia wydajności koparek poprzez podniesienie limitów ich udźwiegów. Aby nie rzutowało to na bezpieczeństwo, wystarczy koparki wyposażyć w systemy, które w czasie rzeczywistym dokonywałyby oceny zapasu stateczności wywrotnej. W razie spadku zapasu stateczności do poziomu uznanego za niebezpieczny, system tego typu podejmowałby szereg czynności. Ich celem byłoby niedopuszczenie do dalszego obniżania się poziomu stabilności, a tym samym zabezpieczenie maszyny przed wywróceniem się.

Pierwsze rozwiązania takich systemów pojawiły się już w sprzedaży. Na szczególną uwagę zasługują tu produkty brytyjskiej firmy Prolec Ltd. Przykładowo oferuje ona system o nazwie handlowej PMERail przeznaczony do zastosowania w koparkach poruszających się po torowiskach. Koparki takie są szczególnie podatne na utratę stateczności wywrotnej, ponieważ posiadają mniejszy niż w koparkach gaśnicowych rozstaw bocznych krawędzi wyrotu.



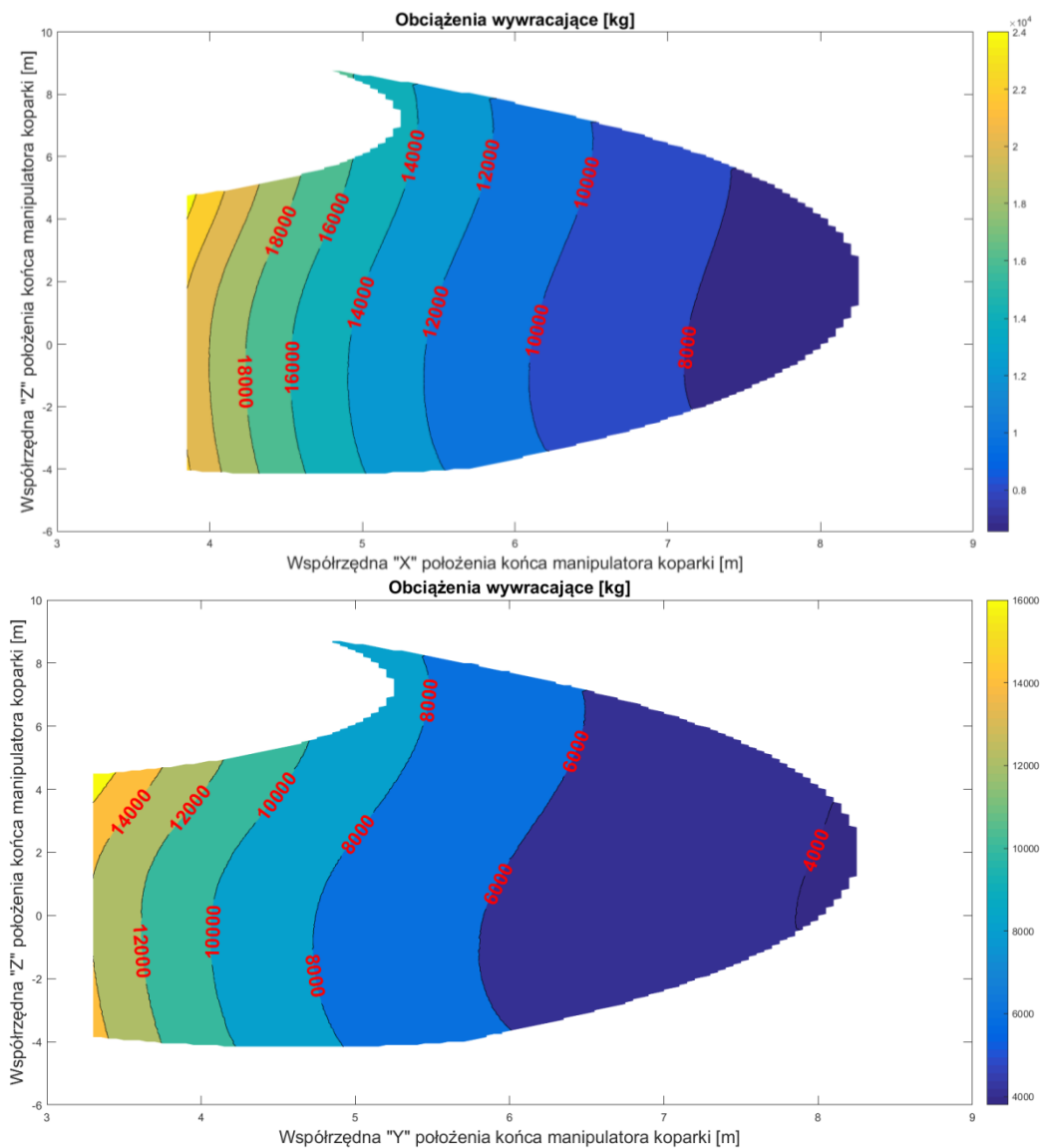
Rys. 1. Przykładowe widoki ekranu panelu operatorskiego systemu PMERail, przeznaczonego do zastosowania w koparkach przystosowanych do poruszania się po szynach kolejowych; opis w tekście [3]

Produkt firmy Prolec Ltd przekazuje operatorowi informacje o aktualnym zapasie stateczności pośrednio poprzez podawanie stopnia wykorzystania udźwigu dopuszczalnego. Przy czym za 100% udźwigu dopuszczalnego uznaje on 75% udźwigu nominalnego, określonego przez producenta dla danej pozycji osprzętu. Zachowanie tak dużego współczynnika bezpieczeństwa wynika z obowiązujących przepisów prawnych oraz z faktu, że system przy estymacji stopnia wykorzystania udźwigu nie bierze pod uwagę zjawisk dynamicznych. Przykładowe zdjęcia ekranu panelu operatorskiego systemu PMERail zamieszczono na rys. 1. Górny widok ekranu panelu operatorskiego z rys. 1. odpowiada sytuacji, gdy nie jest przekroczona wartość udźwigu dopuszczalnego. Operator jest informowany o tym, że w danym momencie koparka wykorzystuje 95% udźwigu dopuszczalnego i że ruchy wszystkimi napędami są bezpieczne. System oznacza kierunki bezpieczne ruchów przy pomocy zielonych strzałek umieszczonych w pobliżu piktogramów poszczególnych napędzanych członów koparki. Dolny widok ekranu panelu operatorskiego z rys. 1 dotyczy z kolei sytuacji, kiedy udźwig dopuszczalny został przekroczony. System przekazuje informację operatorowi, że

koparka jest przeciążona. Komunikuje, że udźwig dopuszczalny aktualnie jest wykorzystywany w 105% oraz że ruchy pierwszym członem wysięgnika w górę i w dół, jak również drugim członem wysięgnika oraz ramieniem w górę są niebezpieczne. Kierunki ruchów niebezpiecznych są oznaczone czerwonymi strzałkami. Opcjonalnie niektóre systemy firmy Prolec Ltd mogą automatycznie blokować ruchy niebezpieczne, eliminując w ten sposób możliwość popełnienia przy-
padkowego błędu przez operatora.

Wadą, będących obecnie w sprzedaży systemów oceniających aktualną stateczność koparki, jest nieuwzględnianie przez nie, w inny sposób niż za pomocą współczynnika bezpieczeństwa, obciążeń dynamicznych. Zatem nie pozwalają one jeszcze na odpowiedzialną redukcję współczynnika bezpieczeństwa z poziomu 25% do niższego. Pewne zastrzeżenia budzi także to, że nie przekazują one informacji o tym, względem której krawędzi wyrotu istnieje największe niebezpieczeństwo utraty stateczności wyrotowej oraz o ile można bezpiecznie zwiększyć pochylenie podłoża, na którym stoi maszyna.

W ocenie autora dalszy rozwój omawianych systemów będzie uzależniony od udoskonalania i uszczegółowienia opisu matematycznego stateczności pojazdu. Dlatego autor uznał za celowe zająć



Rys. 2. Mapy udźwignów nominalnych (obciążeń wywracających) określone dla dopuszczalnych położeni końcówki manipulatora przykładowej, średniej wielkości koparki jednozaczyniowej. Górna mapa została sporządzona dla przypadku kiedy nadwozie jest ustawione prostopadle do przedniej krawędzi wyrotu, a dolna dla przypadku kiedy nadwozie jest ustawione pod kątem prostym do prawej, bocznej krawędzi wyrotu. Początek układu współrzędnych przyjęto w punkcie przebicia osi obrotu nadwozia względem podwozia z płaszczyzną podłoża, na którym stoi koparka.

się tym zagadnieniem. Wciąż otwartą kwestią pozostaje jak definiować zapas stateczności. Duża część wykorzystywanych obecnie wskaźników stateczności to de facto wskaźniki stateczności statycznej, które to nie nadają się do opisu stateczności dynamicznej pojazdu. W dalszej części artykułu przedstawiono cztery miary stateczności wywrotnej. Według wiedzy autora wszystkie one, z wyjątkiem pierwszej, jak na razie były wykorzystywane tylko przy budowie systemów eksperymentalnych, które prawdopodobnie nie zostały jeszcze skomercjalizowane.

1. STATECZNOŚĆ STATYCZNA POJAZDU GAŚNIENICOWEGO

1.1. Zapas stateczności jako stopień wykorzystania udźwigu nominalnego

Stopień wykorzystania udźwigu jest obecnie bardzo chętnie używaną miarą zapasu stateczności. Tak zdefiniowany zapas stateczności jest intuicyjnie zrozumiały dla wszystkich operatorów. System nie musi więc przeliczać go na inne wartości pośrednie w celu sformułowania komunikatu dla człowieka. Stopień wykorzystania udźwigu w prosty sposób może być wyliczony na podstawie łatwo mierzalnych wielkości oraz danych jakie przekazują producenci koparek, pod warunkiem, że koparka będzie wykorzystywana tylko do prac na płaskiej nawierzchni.

Dla koparek jednoznaczniowych określa się doświadczalnie tzw. mapy udźwignych nominalnych nazywanych czasami obciążeniami wywracającymi. Sposób ich wyznaczania dokładnie precyzują stosowne normy krajowe i międzynarodowe np. [1]. Zawierają one informacje o udźwignych nominalnych w zależności od położenia końcówki manipulatora względem podwozia. Przykładowe mapy obciążen wywracających zamieszczono na rys. 2. Jeżeli wprowadzimy takie mapy do systemu monitoringu stateczności oraz jeśli na koparce jest już zamontowany system do ważenia urobku transportowanego w łyżce, to zapas stateczności można w prosty sposób wyliczać przy wykorzystaniu np. zależności (1) lub (2). W zależnościach tych zastosowano następujące oznaczenia: ZS – zapas stateczności, UN – udźwign nominalny, m_l – masa ładunku transportowanego w łyżce koparki, m_n – masa łyżki, w którą jest wyposażona koparka, $SWUN$ – stopień wykorzystania udźwigu nominalnego.

$$ZS [kg] = UN - m_l - m_n \quad (1)$$

$$\begin{aligned} ZS [\%] &= (1 - SWUN) \cdot 100\% = \\ &= \left(1 - \frac{m_l + m_n}{UN}\right) \cdot 100\% \end{aligned} \quad (2)$$

System ważący powinien posiadać aktualne informacje o pozycji końcówki manipulatora względem nadwozia. Można je wykorzystać do wybrania odpowiedniej wartości udźwigu nominalnego ze stosownej mapy udźwignych. System ważący powinien także dostarczyć niezbędnych danych o masie transportowanego w łyżce ładunku. Jedyny czujnik, który w takiej sytuacji należałoby dodatkowo zamontować na koparce, to czujnik położenia kąтового nadwozia względem podwozia. Jego wskazania są niezbędne, aby wartość udźwigu nominalnego ustalić na podstawie odpowiedniej mapy udźwignych. Oczywiście, jeżeli na koparce nie ma żadnego systemu wspomaganie operatora, wszystkie niezbędne wielkości urządzenie do monitoringu stateczności wywrotnej musi wyznaczyć samodzielnie.

Podsumowując należy zauważyć, że wyrażanie zapasu stateczności poprzez stopień wykorzystania udźwigu nominalnego ma jednak sporo mankamentów. Nie ma bowiem wtedy prostego sposobu,

aby dokładnie uwzględnić wpływ sił dynamicznych oraz pochylenia podłoża na stateczność wywrotną pojazdu roboczego.

1.2. Zapas stateczności jako rzut środka ciężkości na powierzchnię figury stworzonej przez krawędzie wywrotu pojazdu

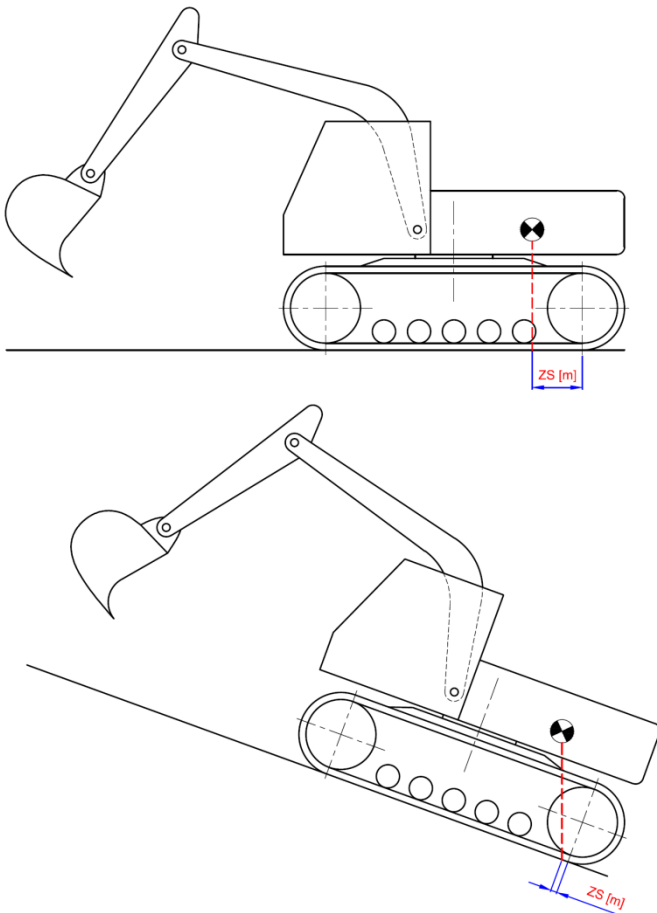
Jeden ze sposobów badania stateczności wywrotnej polega na znalezieniu środka ciężkości pojazdu a później zrutowaniu go na powierzchnię figury utworzonej przez krawędzie wywrotu. Kierunek rzutowania definiuje wektor grawitacji. Za miarę zapasu stateczności w tej metodzie uznaje się odległość punktu powstałego w wyniku rzutowania od najbliższej krawędzi wywrotu. Zakłada się, że krawędzie wywrotu tworzą figurę wypukłą. Wyznaczanie tą metodą wskaźnika zapasu stateczności zobrazowano na rys. 3.

Niewątpliwą zaletą omawianej miary jest bezpośrednie uwzględnianie przez nią wpływu pochylenia podłoża na stateczność wywrotną pojazdu gaśnicowego. Niestety, aby korzystać z niej efektywnie, potrzebne są informacje o położeniach środków ciężkości członów, z których składa się koparka. Takie dane rzadko są udostępniane przez firmy produkcyjne, co nastęrcza zazwyczaj sporo kłopotów. Zakładając jednak, że dysponuje się tymi danymi, aby wartość zapasu stateczności mogła być wyliczana w czasie rzeczywistym, system musi jeszcze mierzyć wielkości, które pozwalają na określenie: względnych pozycji wszystkich ruchomych członów koparki, kątów pochylenia podwozia względem poziomu oraz masy transportowanego w łyżce urobku lub sił zewnętrznych działających na narzędzie robocze.

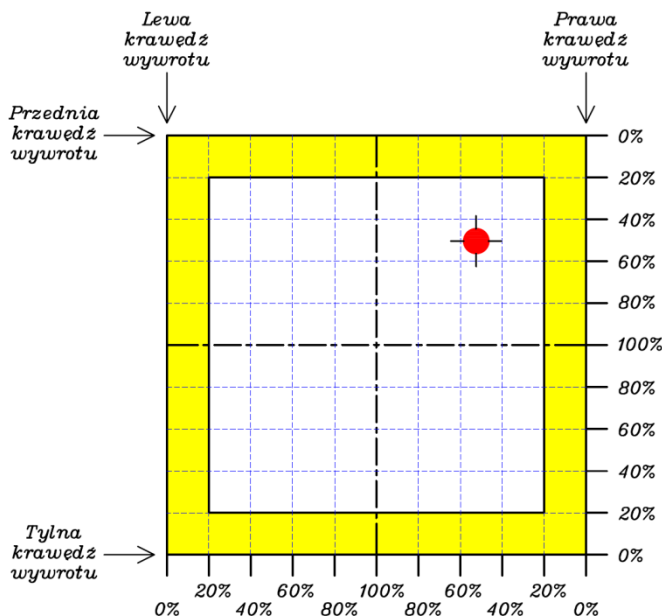
Informacji o zapasie stateczności, podanej przy pomocy odległości rzutu środka ciężkości od krawędzi wywrotu, operator może nie być w stanie od razu poprawnie zinterpretować. Dlatego proponuje się prezentować operatorowi tzw. pole stateczności oraz na tle tego pola koło symbolizujące rzut środka ciężkości. Gdy wskaźnik w postaci koła będzie znajdował się w środku pola stateczności, operator intuicyjnie będzie wyczuwał, że obsługiwanej przez niego maszynie nie zagraża utrata stateczności wywrotnej. Zbliżenie się wskaźnika do którejś z krawędzi pola stateczności spowoduje wzmożenie czujności operatora, zanim jeszcze zostaną ewentualnie uruchomione sygnały alarmowe. Dodatkową zaletą piktogramu z polem stateczności jest to, że operator widzi, względem której krawędzi wywrotu istnieje największe potencjalne niebezpieczeństwo wywrócenia się obsługiwanej pojazdu. Jest to pomocne przy planowaniu kolejnych ruchów koparką. Przykładowy piktogram, opracowany przez autora na potrzeby testowego systemu do monitorowania stateczności wywrotnej koparki gaśnicowej, przedstawia rys. 4. Zapas stateczności na tym piktogramie jest prezentowany w procentach a nie w metrach. Przeliczenia zapasu stateczności z metrów na procenty dokonano zgodnie z zależnością (3). W zależności tej przez ZS_{max} oznaczono połowę odległości pomiędzy przeciwległymi krawędziami wywrotu. ZS_{max} przyjmuje zatem inną wartość w przypadku określania poziomego położenia wskaźnika w postaci czerwonej kropki, a inną w przypadku obliczania pionowego położenia tego wskaźnika.

$$ZS [\%] = \frac{ZS [m]}{ZS_{max} [m]} \cdot 100\% \quad (3)$$

Na rys. 5 przedstawiono wyniki symulacji pracy monitora stateczności wywrotnej koparki bazującego na metodzie rzutu środka ciężkości. Widoczne niebieskie okręgi to kolejne pozycje wskaźnika stateczności. Czerwone koło odpowiada końcowej pozycji wskaźnika.



Rys. 3. Zapas stateczności (ZS) jako odległość rzutu środka ciężkości pojazdu od najbliższej krawędzi wywrotu

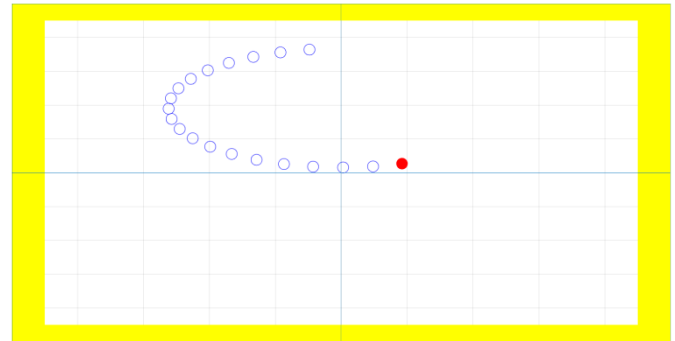


Rys. 4. Propozycja graficznej wizualizacji wartości współczynnika zapasu stateczności na panelu operatorskim. Opis w tekście

2. STATECZNOŚĆ DYNAMICZNA POJAZDU GĄSIENICOWEGO

Przy obliczeniach wskaźników, będących miarą stateczności statycznej, nie bierze się pod uwagę sił dynamicznych, które mogą wpływać na zachowanie się maszyny w trakcie pracy. Konsekwencją

tego jest teoretyczna możliwość wywrócenia się koparki w czasie ruchu pomimo posiadania przez nią zapasu stateczności statycznej. Niepewność w interpretacji zapasu stateczności statycznej zmusza do wprowadzania arbitralnych współczynników bezpieczeństwa. Mimo tego wskaźniki stateczności statycznej są powszechnie wykorzystywane zarówno w dokumentach normowych, jak i w algorytmach systemów wspomaganie operatora. Jedynymi powodami takiego stanu rzeczy są: prostota ich wyznaczania oraz duże trudności przy definiowaniu, obliczaniu i interpretacji współczynników zapasu stateczności dynamicznej.



Rys. 5. Symulacja w środowisku Matlab zmiany pozycji wskaźnika zapasu stateczności wywrotnej koparki w wyniku obrotu nadwozia. W modelu przyjęto, że koparka ma masę 23 ton i stoi na podłożu o pochyleniu 25°. Ładunek unoszony w łyżce założono równy dwóm tonom

2.1. Zapas stateczności dynamicznej jako odległość punktu ZMP od najbliższej krawędzi wywrotu

Definicję punktu ZMP (Zero-Moment Point) po raz pierwszy podali w 1972 r. Vukobratović i Stepanenko na początku swojego artykułu dotyczącego sterowania robotem homoidalnym. W sytuacji braku oddziaływania sił dynamicznych na elementy koparki, punkt ZMP jest tożsamy z punktem, jaki uzyskamy przy użyciu metody opisanej w rozdziale 1.2. Jeżeli pojawiają się siły dynamiczne, to współrzędne punktu ZMP przyjmą inne wartości, zgodne z tymi wyliczonymi z zależności definicyjnych (4, 5), gdzie: S - powierzchnia kontaktu gąsienic z podłożem, ρ - nacisk gąsienic na podłoże, x, y - współrzędne poszczególnych punktów kontaktu gąsienic z podłożem. Zakłada się tu, że punkty styku gąsienic z gruntem leżą na wspólnej płaszczyźnie - tej samej, którą wyznaczają osie X, Y przyjętego globalnego układu współrzędnych.

$$ZMP_x = \frac{\int_S x \cdot \rho(x, y) dS}{\int_S \rho(x, y) dS} \quad (4)$$

$$ZMP_y = \frac{\int_S y \cdot \rho(x, y) dS}{\int_S \rho(x, y) dS} \quad (5)$$

Za miarę zapasu stateczności w omawianej metodzie przyjmuje się odległość punktu ZMP od najbliższej krawędzi wywrotu maszyny. W praktyce położenia punktu ZMP nie określa się na podstawie wzorów definicyjnych, lecz za pomocą równoważnych zależności uwzględniających między innymi położenie środka ciężkości maszyny, jej momenty bezwładności oraz działające na nią przyspieszenia. W przypadku gdy maszyna stoi na płaskim podłożu, współrzędne punktu ZMP - ZMP_x i ZMP_y , można wyznaczyć wykorzystując zależności (6, 7), gdzie: M - masa maszyny, g - przyspieszenie ziemskie,

x_{CG} , y_{CG} – współrzędne środka ciężkości maszyny, L_x , L_y – składowe wektora momentu pędu, P_z – składowa wektora pędu. Więcej szczegółów na temat sposobów określania współrzędnych punktu ZMP można znaleźć w pozycji [4].

$$ZMP_x = \frac{M \cdot g \cdot x_{CG} - \dot{L}_y}{M \cdot g + \dot{P}_z} \quad (6)$$

$$ZMP_y = \frac{M \cdot g \cdot y_{CG} + \dot{L}_x}{M \cdot g + \dot{P}_z} \quad (7)$$

Niewątpliwą zaletą metody punktu ZMP, na tle metod omówionych wcześniej, jest uwzględnianie przez nią wpływu na stateczność sił dynamicznych obciążających elementy koparki. Należy jednak zauważyć, że metoda ta za utratę stateczności maszyny uznaje moment, w którym rozpoczyna się obrót względem jednej z krawędzi wywrotu. Oczywiście w rzeczywistych warunkach pracy nie przesądza to jeszcze o wywróceniu się pojazdu. Rozpoczęty proces wywracania się koparki nie jest nieodwracalny. Gdy w czasie jego trwania ulegną zmianie siły dynamiczne lub położenie wypadkowego środka ciężkości maszyny, może on zostać powstrzymany. Zatem metoda ta z zasady wprowadza pewien margines bezpieczeństwa. Niestety wielkość tego marginesu nie jest stała, lecz zależy od stanu maszyny, a metoda punktu ZMP nie przewiduje jego estymowania.

2.2. Zapas stateczności dynamicznej jako ilość energii mechanicznej, której brakuje maszynie, aby straciła swoją stateczność wywrotną

Metoda energetyczna oceny stateczności pojazdu zakłada wyznaczanie różnic pomiędzy maksymalną energią potencjalną E_{p_max} , jaką koparka może osiągnąć wywracając się względem danej krawędzi wywrotu, a aktualną energią mechaniczną pojazdu sprzyjającą utracie stateczności wywrotnej. Różnice te są miarą chwilowego zapasu stateczności ZS wyrażonego w dżulach. Przez energię mechaniczną sprzyjającą utracie stateczności rozumie się sumę energii potencjalnej koparki E_p , liczonej względem poziomu, na którym znajduje się rozpatrywana krawędź wywrotu oraz energii kinetycznej E_k obrotu koparki względem krawędzi wywrotu. Energia kinetyczna obrotu może wynikać z krętu sprzyjającego utracie stateczności, jak i z krętu przeciwnego utracie stateczności. Dlatego energię kinetyczną wynikającą z krętu sprzyjającego utracie stateczności uważa się za dodatnią, a energię kinetyczną wynikającą z krętu przeciwnego utracie stateczności za energię ujemną. Poniżej przedstawiono zależność (8) pozwalającą na określenie zapasu stateczności metodą energetyczną. W zależności tej przez ω oznaczono prędkość obrotu nadwozia względem krawędzi wywrotu. Znak dodatni prędkości ω oznacza, że maszyna wywraca się, a znak ujemny, że ulega stabilizacji.

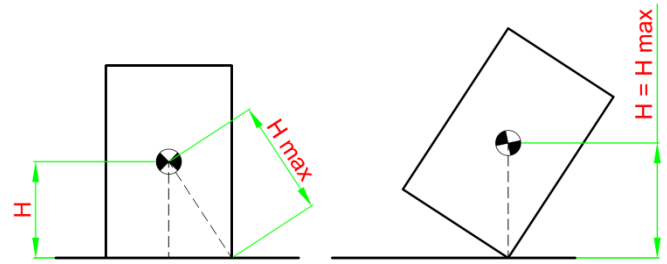
$$ZS [J] = E_{p_max} - \frac{\omega}{|\omega|} E_k - E_p \geq 0 \quad (8)$$

Zależności (9, 10, 11) definiują energie wykorzystywane przy obliczeniach zapasu stateczności zgodnie z zależnością (8), gdzie: g – przyspieszenie ziemskie, M – masa pojazdu gąsienicowego, J – moment bezwładności pojazdu względem krawędzi wywrotu.

$$E_{p_max} = M \cdot g \cdot H_{max} \quad (9)$$

$$E_p = M \cdot g \cdot H \quad (10)$$

$$E_k = \frac{J \cdot \omega^2}{2} \quad (11)$$



Rys. 6. Bieżąca „H” i maksymalna H_{max} wysokość środka ciężkości bryły symbolizującej koparkę w trakcie tracenia przez nią stateczności wywrotnej

Najwięcej trudności przy aplikacji omawianej metody sprawia konieczność obliczania położenia środka ciężkości pojazdu oraz momentu bezwładności całej maszyny względem krawędzi wywrotu. Wielkości te ulegają ciągłym zmianom w czasie pracy koparki.

Zapas stateczności, wyznaczony metodą energetyczną, o wartości mniejszej od zera informuje o tym, że maszyna straci stateczność, jeżeli szybko nie zmienimy położenia jej środka ciężkości lub działających na nią sił dynamicznych. Jest to miara stateczności, która zazwyczaj pozostawia bardzo mały margines bezpieczeństwa. Przy niektórych stanach dynamicznych koparki po spadku energetycznego współczynnika zapasu stateczności wywrotnej poniżej zera może już nie istnieć możliwość zatrzymania procesu tracenia stateczności. Można także wyobrazić sobie sytuację, kiedy rozpoczyna się działania zaradcze w chwili, gdy energetyczny wskaźnik stateczności ma jeszcze niewielką wartość dodatnią, a maszyna i tak ostatecznie straci swoją stateczność. Przyczyną takiej sytuacji może być np. zwłoka czasowa, jaka musi zaistnieć, aby mógł się zmienić kierunek ruchu jakiegoś istotnego członu koparki.

Reasumując energetyczny wskaźnik zapasu stateczności wydaje się być niewystarczającą miarą zapasu stateczności wywrotnej. Bazuje on na stabilności w sensie Lapunowa a jak wykazano np. w pracy [5] układ stabilny w sensie Lapunowa niekoniecznie musi być stabilny w sensie technicznym.

PODSUMOWANIE

Artykuł dotyczy systemów monitorowania stateczności wywrotnej koparek na podwoziach gąsienicowych. Zwrócono w nim uwagę na to, że jakość tych systemów w dużej mierze zależy od używanych przez nie miar zapasu stateczności wywrotnej. W znanych rozwiązaniach, głównie prototypowych, wykorzystywane są cztery podstawowe współczynniki określające poziom stateczności maszyny roboczej. Każdy z nich został szczegółowo omówiony. Zwrócono uwagę na ich niedostatki i zalety. Podsumowując można powiedzieć, że żadna z omówionych miar nie spełnia w pełni oczekiwań. Zaprezentowane miary wymagają albo wprowadzenia do algorytmów obliczeniowych dużych współczynników bezpieczeństwa, które obniżają potencjalną wydajność maszyny roboczej, albo nie gwarantują niedopuszczenia do utraty stateczności wywrotnej. Uzasadnia to potrzebę opracowania w przyszłości nowej metody zarządzania zapasem stateczności wywrotnej koparki gąsienicowej.

BIBLIOGRAFIA

1. *Earth-moving machinery - Hydraulic excavators - Lift capacity*, Norma ISO 10567, 2007.
2. Dudczak A., *Koparki – Teoria i projektowanie*, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2000.
3. *PMERail Ultra*, Operators Manual, Prolec Ltd., Poole 2014

4. Shuuji Kajita S., Hirukawa H., Harada K., Yokoi K., *Introduction to Humanoid Robotics*, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg 2014.
5. Bogusz W., *Stateczność techniczna*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1972.

Evaluation of usability of different parameters in estimation of the rollover stability of a single bucket tracked excavator

The following paper concerns operating parameters of a single bucket tracked excavator that might be used in on-line

estimation of the rollover stability of the machine. These parameters are often utilized in development of operator assistance systems algorithms. Manner in which they are defined might have indirect influence on safety and efficiency of excavators. Nowadays, there are four parameters most commonly used in operator assistance systems development. All of them have been presented in the article. Advantages and drawbacks of each one have been discussed.

Autor:

dr inż. **Andrzej Kosiara** – Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Maszyn Roboczych i Pojazdów Przemysłowych