

## Problematyka stateczności bezzałogowych platform lądowych w kontekście ich mobilności terenowej

Mirosław Jaskółowski<sup>1</sup>, Marian Łopatka<sup>1</sup>, Tomasz Muszyński<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Budowy Maszyn, Wojskowa Akademia Techniczna

email: miroslaw.jaskolowski@wat.edu.pl, marian.lopotka@wat.edu.pl, tomasz.muszynski@wat.edu.pl

**STRESZCZENIE:** Stateczność pojazdów lądowych jest jednym z kluczowych czynników, który determinuje ich zdolność do poruszania się w trudnych warunkach terenowych. Jeszcze większego znaczenia nabiera ona w odniesieniu do bezzałogowych platform lądowych. Brak człowieka na pokładzie zdejmując część ograniczeń i wymagań związanych z bezpieczeństwem oraz komfortem jazdy. Jednak jednocześnie tracą one część informacji o zagrożeniach dla stateczności pojazdu, jakie swoimi zmysłami odbiera operator pojazdu załogowego. Te nowe uwarunkowania powodują konieczność odmiennego spojrzenia na wytyczne, jakimi należy się kierować podczas kształtowania struktur. W świetle tego, w artykule zaprezentowano propozycję metodyki i kryterium oceny stateczności wywrotnej bezzałogowych platform lądowych. Korzystając z nich przeprowadzono analizy symulacyjne dla przykładowych struktur, cechujących się tą samą masą całkowitą oraz założeniami funkcjonalnymi. Podsumowaniem artykułu są uzyskane wyniki wraz z ich szczegółową oceną.

**SŁOWA KLUCZOWE:** bezzałogowe platformy, lądowe, stateczność, mobilność terenowa

### 1. Wprowadzenie

W ostatnich latach stale wzrasta obszar zastosowania lekkich bezzałogowych platform lądowych. Zaliczane są do nich konstrukcje o masie całkowitej nie większej niż 800 kg, maksymalnej prędkości jazdy równej 15 – 20 km/h oraz szerokości nieprzekraczającej 130 cm. Obecnie platformy tego typu znajdują zastosowanie głównie w służbach mundurowych i ratowniczych. Realizują one zadania patrolowe, inspekcyjne lub transportowe. Ich wspólnym mianownikiem jest duże zagrożenie dla życia lub zdrowia człowieka, a w niektórych przypadkach ograniczenie liczby zaangażowanych w nie osób. Z punktu widzenia mobilności terenowej platformy inspekcyjne oraz patrolowe mają jedną podstawową zaletę, tzn. niezmienną masę. Dzięki temu ich stateczność można ściśle zdefiniować. Nie jest tak w przypadku platform transportowych. Oprócz zmienności masy następuje w nich również zmiana położenia środka ciężkości. Ma to bardzo duży wpływ na stateczność wywrotną. W niektórych przypadkach może ją poprawiać a w innych pogarszać.

Lekkie bezzałogowe platformy lądowe w wersji transportowej, przeznaczone są głównie do bezpośredniego wsparcia żołnierzy. Należy przez to rozumieć, że powinny one mieć mobilność zbliżoną do pieszego człowieka. Najważniejszymi czynnikami, które determinują taką właściwość są: prędkością jazdy, zwrotnością i statecznością. Uzyskanie satysfakcjonujących wartości tych parametrów jest stosunkowo łatwe dla przypadku poruszania się po drogach utwardzonych. Dużo więcej problemów pojawia się, jeśli zamierzamy osiągnąć ten sam cel w trudnych warunkach terenowych (np. górskich czy leśnych). Dotyczy to zwłaszcza uzyskania jednocześnie wysokiej zwrotności i stateczności. Z punktu widzenia użytkownika platformy transportowej istotne jest również, aby wartości opisujących te cechy parametrów nie zmieniały się istotnie wraz ze zmianami masy przewożonego ładunku.

### 2. Dotychczasowe systemy oceny stateczności

Na podstawie przeprowadzonej analizy metod oceny stateczności pojazdów załogowych można stwierdzić, że:

- testy statyczne przeprowadzane są jedynie dla położenia równoległego do osi wywrotu, co jest niewystarczające do jednoznacznego określenia zapasu stateczności;
- testy dynamiczne są wykonywane dla dużej prędkości jazdy (występuje tu ryzyko utraty przyczepności oraz wywrócenia pojazdu, co sprawia, że tego typu testy mogą dawać nieprecyzyjne wyniki),
- dla maszyn budowlanych dominują testy statyczne określające stateczność ze względu na udźwig osprzętu roboczego, a nie właściwości terenowe
- testy dynamiczne dla maszyn budowlanych odnoszą się jedynie do nagłej utraty ładunku lub przejazdu przez określony rodzaj przeszkody, co nie informuje o wartości granicznego nachylenia terenu;
- dla pojazdów wojskowych testy statyczne są wykonywane identycznie jak dla pojazdów cywilnych,
- dla pojazdów wojskowych testy dynamiczne wykonywane są na nachyleniu o stałej wartości, co sprawia, że takie badania nie umożliwiają otrzymania informacji związanych z wartością granicznego nachylenia terenu.

### 3. Konstrukcja analizowanych platform bezzałogowych

Na potrzeby analiz symulacyjnych opracowano trzy zasadnicze struktury lekkich bezzałogowych platform lądowych: cztero-, sześć- i ośmiokołową.

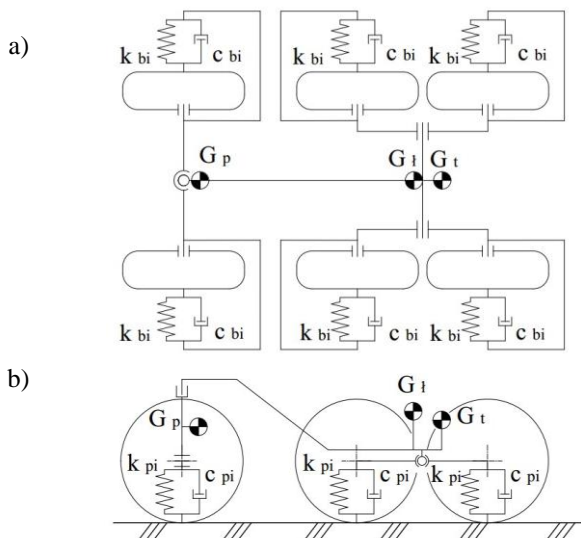
Podstawowym ich założeniem konstrukcyjnym była dopuszczalna masa całkowita. Założono, że nie ona wyznacza maksymalną szerokość platform, którą określono na 1000 ÷ 1100 mm. Wynikało to z zapewnienia im możliwości wykorzystania ich na terenach charakteryzujących się znaczną ilością przeszkód o dużej wysokości i losowym występowaniu na danym obszarze (tereny zalesione, gruzowiska, rowy, itp.).

W celu zapewnienia dużej zwrotności i manewrowości opracowane struktury platform powinny cechować się małym promieniem skrętu. Obecnie w platformach lądowych stosowane są trzy rodzaje układów skrętu: zwrotnicowe, burtowy oraz przegubowy. Z wymienionych rozwiązań najlepszą zwrotnością zapewnia potencjalnie

system burtowy. Jego istotną wadą są jednak duże opory skrętu. Problem ten nie występuje w układach zwrotnicowych, lecz cechują niską zwrotnością oraz skomplikowaną budową. Natomiast przegubowe układy skrętu charakteryzują się zarówno dobrą zwrotnością, niskimi oporami skrętu oraz prostą budową [1, 2, 3]. Takie właśnie rozwiązanie przyjęto zastosować we wszystkich opracowywanych strukturach platform.

Z kolei ze względu na pokonywanie różnego typu przeszkód (np. schody, ścianki pionowe, murki, rowy, itd.) wymagany jest odpowiedni prześwit. Założono, że nie może on być mniejszy niż 200 mm.

Przykład opracowanej struktury platformy sześciokołowej przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat wariantu A struktury platformy sześciokołowej: a) widok z góry, b) widok z boku:  
 $G_p$  – środek ciężkości przedniego członu platformy,  
 $G_t$  – środek ciężkości tylnego członu platformy,  
 $G_{ip}$  – środek ciężkości ładunku w przednim członie,  
 $G_{it}$  – środek ciężkości

#### 4. Metodyka badań modelowych

W celu uzyskania pełnej informacji o stateczności statycznej platformy bezzałogowej przyjęto, że należy ustalić wartości kąta utraty jej stateczności, przy dla każdego jej ustawienia względem krawędzi wywrotu.

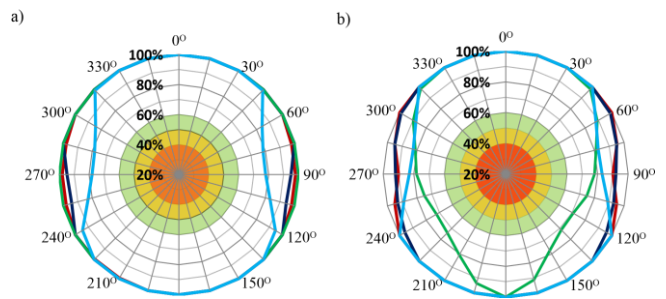
Na potrzeby badań symulacyjnych opracowano wirtualne modele pojazdów o konstrukcji odpowiadającej poszczególnym analizowanym struktur. Przygotowano też model wychylno-obrotowej platformy, która umożliwiała zmianę kąta pochylenia podłoża, w zakresie od  $0^\circ$  do  $45^\circ$ , oraz kąta ustawienia modelu pojazdu względem krawędzi wywrotu w zakresie  $360^\circ$ .

Badania symulacyjne wykonano z wykorzystaniem oprogramowania do modelowania układów wielocłonowych MSC Adams. Ustawienia pojazdu modelu względem krawędzi wywrotu  $\beta$  ulega zmianie od  $0^\circ$  do  $360^\circ$ .

Uzyskiwane wyniki przedstawiono w postaci wykresów radarowych. Uzyskane w ten sposób charakterystyki obrazują kąt pochylenia podłoża, przy którym następuje utrata stateczności w zależności od kąta różnych kątów ustawienia platformy względem krawędzi wywrotu.

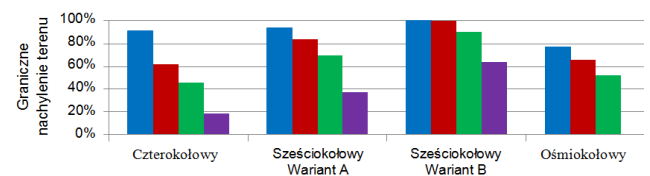
#### 5. Wyniki badań

Na rys.2 zaprezentowano charakterystykę stateczności, uzyskaną dla platformy sześciokołowej z ładunkiem i bez ładunku.



Rys. 2. Wykresy radarowe struktur platformy z ramą wyprostowaną a) platformy z ładunkiem, b) platformy bez ładunku

Z kolei na rys.3 przedstawiono wyniki zbiorcze dla analizowanych struktur.



Rys. 3. Minimalne wartości granicznego nachylenia terenu dla opracowanych struktur platform bez ładunku

#### 6. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że stateczność struktur platformy charakteryzujących się przestrzenią ładunkową wydzieloną jedynie w jednym członie jest wrażliwa na kąt skręcenia ramy.

Obniżenie wartości granicznego nachylenia terenu spowodowane skręceniem ramy wynosi nawet 70%.

Dla przedstawionych struktur wyraźnie widoczny jest wpływ zarówno szerokości opon, jak również ich podatności poprzecznej na wartość granicznego nachylenia terenu. Spowodowane jest to dużą różnicą masy pomiędzy członami platformy, w wyniku, czego ogumienie członu bardziej obciążonego ulega większej deformacji, co skutkuje przemieszczeniem wypadkowego środka ciężkości w kierunku krawędzi wywrotu.

#### Literatura

- [1] Dąbrowska A., Jaskółowski M. B., Krogul P., Spadło K.: *Ocena mobilności lekkiej przegubowej czterokołowej bezzałogowej platformy lądowej*, Logistyka Nr.3. 2015, 10 pkt,
- [2] Tyro G.: *Maszyny ciągnikowe do robót ziemnych*. WNT, Warszawa 1986,
- [3] Wong J. Y.: *Theory of ground Vehicles*. John Wiley & Sons. Inc, New York. 1993.