

**Krzysztof Baszuk, Mirosław Karczewski
Leszek Szczęch**

Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu
00-908 Warszawa, ul. ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2
e-mail: e-mail: mkarczewski@wat.edu.pl; lszczech@wat.edu.pl

ROZWIĄZANIE KONSTRUKCYJNE HAMOWNI PODWOZIOWEJ MAŁEJ PLATFORMY BEZZAŁOGOWEJ

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne hamowni podwoziowej opracowanej do badań hybrydowego układu napędowego małej platformy bezzałogowej. Hamownia posłuży do badań hybrydowego układu napędowego, gdzie dokonany zostanie pomiar wielkości elektrycznych proporcjonalnych do obciążenia układu napędowego oraz innych wielkości, takich jak temperatura baterii i silników elektrycznych czy zużycia paliwa podczas realizacji cykli obciążenia pojazdu bezzałogowego.

Słowa kluczowe:

hamownia podwoziowa, badania pojazdu bezzałogowego.

WSTĘP

Zadaniem skonstruowanej hamowni podwoziowej, jako stanowiska badawczego, jest wytworzenie w sposób sztuczny warunków odzwierciedlających obciążenie występujące w rzeczywistym ruchu pojazdu po drodze. Hamownia powinna symulować zewnętrzne siły oporów ruchu odpowiadające różnorodnym warunkom drogowym. Pozwala to na wyeliminowanie badań drogowych, stwarzając dogodne warunki do przeprowadzenia wszechstronnych badań silnika spalinowego, układu

sterowania platformy, zespołów przeniesienia napędu pod obciążeniem, odpowiadającym rzeczywistym warunkom ruchowym pojazdu [6].

Po przeprowadzeniu analizy rozwiązań podobnych stanowisk zdecydowano, że do badań napędu hybrydowego małej platformy bezzałogowej posłuży rolkowa hamownia podwoziowa o konstrukcji modułowej

Hamownie podwoziowe nie mierzą bezpośrednio parametrów pracy silnika, lecz jego osiągi są ustalane na podstawie wielkości mierzonych w sposób pośredni. W przeciwieństwie do hamowni silnikowych, hamownie podwoziowe są proste i szybkie w obsłudze (nie trzeba demontować silnika z pojazdu czy budować specjalistycznych układów dodatkowych), a jednocześnie precyzja pomiaru parametrów charakteryzujących warunki pracy pojazdu jest wysoka, podobnie jak powtarzalność przeprowadzanych testów, chociaż należy się liczyć z powstawaniem poślizgów w styku kół napędowych z rolkami, co może wprowadzić niewielkie błędy pomiarowe.

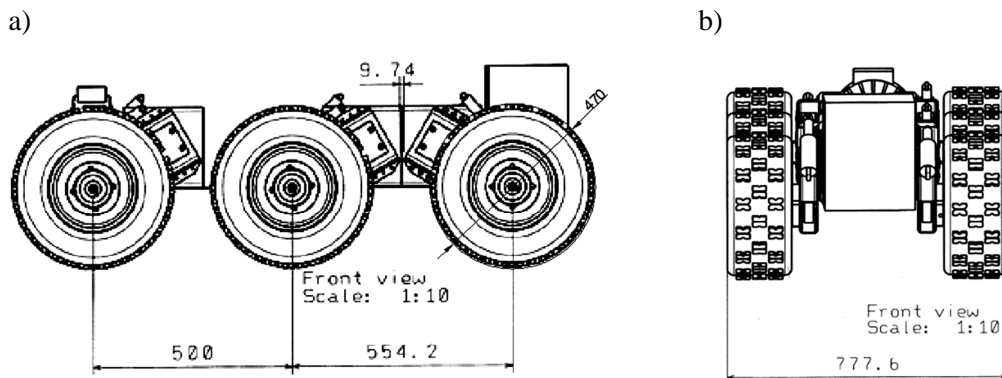
Biorąc pod uwagę zasadę działania, hamownie podwoziowe można podzielić na dwa główne rodzaje:

- hamownię podwoziową bezwładnościową (inercyjną), która nie ma hamulca wywołującego obciążenie;
- hamownię podwoziową obciążeniową, czyli taką, która jest wyposażona w hamulec obciążający [6].

ROZWIĄZANIE KONSTRUKCYJNE HAMOWNI PODWOZIOWEJ

W wyniku analizy możliwości i wyposażenia znajdującego się w laboratorium silników spalinowych WAT wybrano rozwiązanie rolkowej hamowni podwoziowej obciążeniowej z indywidualnymi elektrycznymi silnikami indukcyjnymi mogącymi pracować w trybie hamowania każdego z kół badanego pojazdu. Stanowisko zaprojektowano w taki sposób, aby umożliwiała przeprowadzenie badania pojazdu w zakresie określenia parametrów osiąganych przez silniki napędowe oraz cały pojazd (moc i moment obrotowy w zależności od prędkości obrotowej, przyspieszenie, siła napędowa, opory i straty w układzie przeniesienia napędu). Stanowisko umożliwia także ocenę prawidłowości działania poszczególnych podzespołów oraz ich regulację podczas pomiaru.

Pojazd (rys. 1.), dla którego zaprojektowano hamownię, ma trzy osie, każde koło napędzane jest oddzielnym silnikiem elektrycznym o mocy $P = 2,8$ kW. Szacowana masa platformy bez ładunku to około 350 kg.



Rys. 1. Gabaryty badanej platformy bezzałogowej:
a) widok z boku; b) widok z przodu

Źródło: opracowanie własne.

Realizacja pracy wymagała doboru poszczególnych elementów wchodzących w skład stanowiska. Do najważniejszych należy zaliczyć:

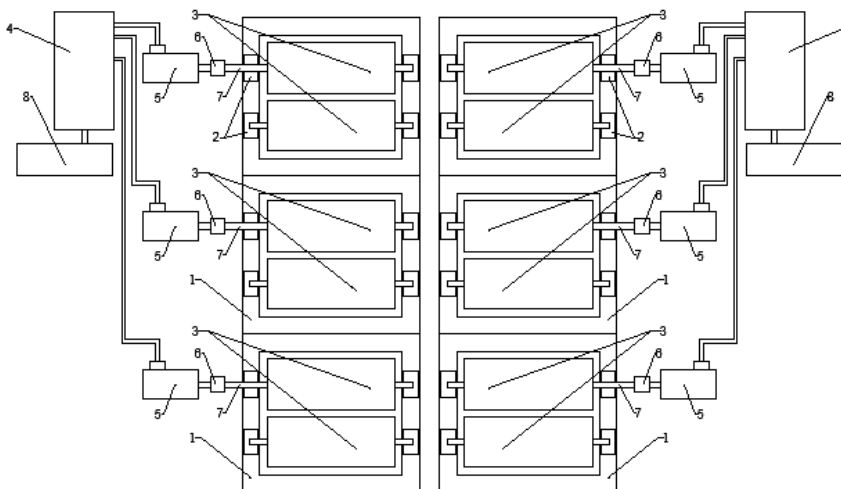
- falowniki sterujące silnikami elektrycznymi hamowni z możliwością odzysku i rozpraszania energii;
- silniki elektryczne, które mogą pracować również w trybie hamowania;
- zespoły rolek umożliwiające toczenie się kół;
- sprzęgło łączące wałek rolki z wałem silnika elektrycznego.

W celu poprawnej konfiguracji oraz doboru elementów sformułowano założenia, jakie powinien spełniać układ:

- hamownia będzie się składać z sześciu niezależnych modułów (trzy lewe oraz trzy prawe — lustrzane odbicie);
- najmniejszy pojazd, dla którego możliwe będzie przeprowadzenie badania powinien mieć rozstaw osi nie mniejszy niż 500 mm, natomiast rozstaw kół nie mniejszy od $b = 770$ mm;
- badanie pojazdu ograniczone jest jego masą, która nie powinna przekraczać $m = 375$ kg na jedno koło;

- maksymalny rozstaw osi oraz kół pojazdu, dla którego może zostać przeprowadzone badanie, ograniczony jest długością łączników mocujących poszczególne moduły oraz dostępnością stabilnego podłoża pomieszczenia przeznaczonego na hamownię;
- maksymalny moment, jaki przekazuje pojazd po uwzględnieniu przełożenia koło-rolka nie powinien być większy niż $M = 50 \text{ Nm}$;
- maksymalna prędkość liniowa pojazdu nie powinna przekraczać $V_p = 40 \text{ km/h}$ (co równa się prędkości obrotowej rolki $\omega_r = 1000 \text{ obr/min}$);
- badany pojazd będzie przytwierdzony do stanowiska rolkowego za pomocą pasów, które uniemożliwią jego przemieszczanie;
- poszczególne moduły hamujące zostaną połączone między sobą za pomocą łączników, które zapobiegają ich przemieszczaniu;
- każdy z modułów będzie miał jedną rolkę napędową (hamującą) oraz jedną swobodną;
- jako element napędowy i hamujący zostanie zastosowany asynchroniczny klatkowy silnik elektryczny;
- w układzie wykorzystany będzie jeden silnik elektrycznych dla jednego modułu hamującego;
- jeden moduł hamujący przeznaczony będzie do hamowania jednego koła;
- silniki elektryczne będą sterowane przez falowniki odpowiedzialne za regulację prędkości obrotowej oraz momentu;
- jeden falownik przeznaczony będzie do nadzorowania jednego silnika elektrycznego;
- falowniki po jednej stronie mogą być sprzężone w celu uzyskiwania jednakowej prędkości obrotowej na wszystkich silnikach;
- w układzie elektrycznym związanym z falownikiem i silnikami elektrycznymi znajdzie się rezystor hamujący rozpraszający energię uzyskiwaną w trakcie hamowania pojazdu;
- za pośrednictwem falowników będzie można nadzorować parametry pracy silnika;
- temperatura silników hamujących będzie kontrolowana, aby nie dopuścić do przekroczenia przez nie warunków krytycznych;
- musi być zapewniona możliwość awaryjnego wyłączenia poszczególnych lub wszystkich silników elektrycznych.

Na podstawie założeń oraz warunków, jakie powinno spełniać stanowisko, opracowano schemat blokowy stanowiska hamownianego. Schemat ten (rys. 2.) przedstawia zasadnicze elementy zapewniające prawidłowe działanie projektowanej hamowni.



Rys. 2. Schemat blokowy projektowanej hamowni podwoziowej:

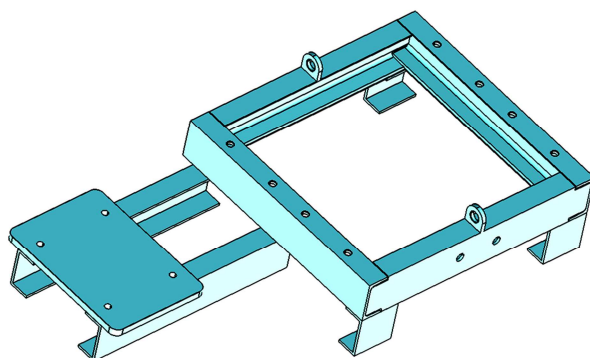
- 1 — rama nośna, 2 — łożyska, 3 — rolki, 4 — urządzenie sterujące (falownik),
5 — silnik elektryczny, 6 — sprzęgło, 7 — wałek napędowy, 8 — odbiornik energii

Źródło: opracowanie własne.

Elementy składowe projektowanej hamowni podwoziowej można podzielić na dwie grupy:

- 1) elementy mechaniczne, do których należą:
 - rama pojedynczego modułu hamowni,
 - rolki, po których toczą się koła wraz z wałkami napędowymi,
 - łożyska toczne podpierające rolki hamowni,
 - sprzęgła łączące wałki napędowe z silnikami hamującymi;
- 2) elementy elektryczne (sterowania):
 - silnik elektryczny do napędu i hamowania rolek,
 - urządzenia sterujące pracą silnika (falowniki),
 - układ rozpraszania energii (rezystor hamujący).

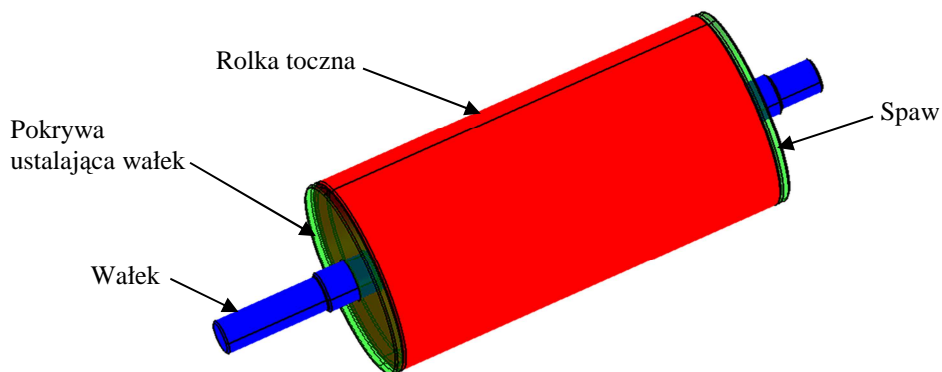
Rama nośna modułu stanowi element sprzęgający wszystkie elementy. Projekt ramy nośnej pojedynczego modułu (rys. 3.) opracowywanej hamowni jest ściśle uzależniony od wymiarów zewnętrznych pozostałych elementów projektu, takich jak rozstaw łożysk podpierających wałki, wymiary zewnętrzne rolek czy wymiary silnika elektrycznego. Do wykonania ramy wybrano ceownik o wysokości 100 mm i grubości ścianki 6 mm.



Rys. 3. Rama nośna jednego modułu hamowni z widoczną podstawą do zamocowania silnika elektrycznego

Źródło: opracowanie własne.

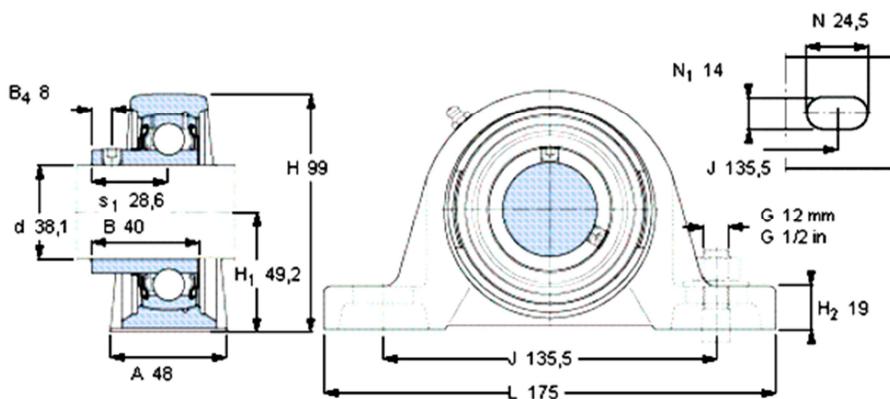
Kolejny element hamowni stanowią rolki toczne z wałkami (rys. 4.), po których będzie się toczyć koło pojazdu w trakcie badania. Są to rolki stalowe pokryte cienką warstwą przeciwpoślizgową (korund zatopiony w masie żywicznej). Cały element zapewnia osiągnięcie maksymalnej prędkości liniowej pojazdu $V_p = 40$ km/h.



Rys. 4. Rysunek złożeniowy rolki, po której toczy się koło hamowanego pojazdu

Źródło: opracowanie własne.

W celu zapewnienia odpowiedniego łożyskowania wałków z rolkami w projekcie użyto gotowego dostępnego na rynku zespołu łożyskowego z oprawą stojącą (rys. 5.).

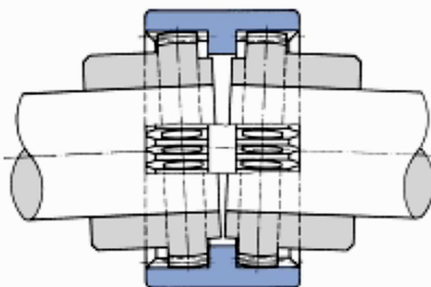


Rys. 5. Zespół łożyskowy z oprawą

Źródło: Zespoły łożyskowe, For New Technology Network, CAT, No 2000/07-IV-E.

Łożysko zostało dobrane z uwzględnieniem nacisków oraz prędkości obrotowej wałka napędowego rolki hamowanej. Ze względu na średnicę wałka wyżej wymienione parametry znacznie przewyższają założone w projekcie.

W celu połączenia wału silnika z wałkiem rolki w projekcie przewidziano sprzęgło z zębami łukowymi (rys. 6.) firmy BoWex [3]. Sprzęgło dzięki zastosowanym materiałom jest bezobstługowe. Zapewnia kompensację odchyłek osiowych, promieniowych i kątowych.



Rys. 6. Sprzęgło z zębami łukowymi

Źródło: Sprzęgło z zębami łukowymi, BoWex, KTR 2007.

Doboru silnika elektrycznego dokonano na podstawie parametrów technicznych hamowanego pojazdu oraz przyjętych założeń do projektu. Z obliczeń oszacowano wartość mocy silnika elektrycznego, która wynosi $P = 5,29$ kW. Z silników dostępnych na rynku wybrano silnik asynchroniczny klatkowy z obcym chłodzeniem firmy „Indukta” o mocy $P = 5,5$ kW, prędkości obrotowej $n_s = 1000$ obr/min i momencie znamionowym $55,3$ Nm z wbudowanym enkoderem [4]. Sterowanie silnikami odbywa się za pomocą falowników. Każdy falownik steruje jednym silnikiem elektrycznym. Stosując się do reguły, że suma prądów przy maksymalnym obciążeniu każdego z silników musi być mniejsza bądź równa od znamionowego prądu użytego falownika, w projekcie został zaproponowany falownik firmy Sinus o oznaczeniach „SINUS K 0025 4TBA2X2” (rys. 7.).



Rys. 7. Falownik SINUS K 0025 4TBA2X2

Źródło: Instrukcja obsługi falownika serii sinus K, wersja oprogramowania IFD v2.00x/vtc v2.00x.

Dobry falownik ma funkcję hamowania w standardzie, co pozwala na późniejsze pełne wykorzystanie użytych w projekcie silników elektrycznych. W trakcie hamowania silników zaczynają one pracować jako generatory.

WNIOSKI

Projekt hamowni podwoziowej został wykonany dla pojazdu hybrydowego konstruowanego w laboratorium silników spalinowych.

Zaprojektowane stanowisko uwzględnia wymiary zewnętrzne pojazdu oraz maksymalny moment przekazywany przez silniki elektryczne na koła. Przyjęta maksymalna prędkość liniowa pojazdu w trakcie badania to $V_p = 40$ km/h. Stanowisko jest w pełni wartościowym urządzeniem do kontroli pojazdów, w znacznym stopniu zautomatyzowanym. Pozwala zmierzyć podstawowe parametry pojazdu, takie jak moment obrotowy w funkcji prędkości pojazdu, oraz symulować obciążenie zewnętrzne (wzniesienia).

Zaprojektowane stanowisko jest dość uniwersalne i w pełni przystosowane do dalszych modyfikacji w zależności od potrzeb. Można je wykorzystać w celach dydaktycznych i badawczych. Modułowość hamowni pozwala na wykorzystanie jej przy badaniu pojazdu z dowolną liczbą osi, dlatego też realizacja projektu jest w pełni zasadna.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kurzych D., *Projekt wstępny hamowni podwoziowej do badania hybrydowych układów napędowych*, praca dyplomowa, Warszawa 2011.
- [2] Instrukcja obsługi falownika serii sinus K wersja oprogramowania IFD v2.00x/vtc v2.00x.
- [3] *Sprzęgło z zębami łukowymi*, BoWex, KTR 2007.
- [4] *Trójfazowe silniki indukcyjne klatkowe z obcą wentylacją jednofazową*, Fabryka Maszyn Elektrycznych S.A. Indukta, KK-04/02, ed. 5.
- [5] *Zespoły łożyskowe*, For New Technology Network, CAT, No 2000/07-IV-E.
- [6] http://www.godula.pl/hamownia_pl/?page=samochodowe1.

CONSTRUCTION OF CHASSIS DYNAMOMETER STAND OF A SMALL UNMANNED VEHICLE

ABSTRACT

Solution of chassis dynamometer stand is described in the paper. It was taken to investigate of hybrid propulsion system of a small unmanned vehicle. Constructed stand will be used to measure electric parameters proportional to load of hybrid propulsion system. It will be measured during load cycles of the investigated vehicle.

Keywords:

chassis dynamometer stand, investigation of a unmanned vehicle.