

mgr inż. Arkadiusz Rubiec<sup>1)</sup>

# ExMot – uniwersalne podwozie ekstremalnej mobilności dla Bezzałogowych Platform Lądowych

*ExMot – universal extreme mobility land locomotion system for Unmanned Ground Vehicles*

DOI: 10.15199/33.2015.11.72

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia efekty pracy wykonywanej w projekcie pt. „Platforma bazowa ekstremalnej mobilności z napędem hydrostatycznym”, realizowanym w ramach IV edycji programu LIDER, prowadzonego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Artykuł opisuje problemy, jakie należy rozwiązać, aby zapewnić Bezzałogowym Platformom Lądowym (BPL) wysoką zdolność pokonywania przeszkód terenowych. O zdolności tej decyduje efektywność i skuteczność działania układu zawieszenia oraz układu napędowego. Dotyczą one w głównej mierze tych terenów, na które człowiek nie może się dostać za pomocą klasycznych pojazdów terenowych. W artykule zaprezentowano główne założenia do projektu, sposób ich realizacji oraz wizualizację wraz z opisem oraz charakterystyką techniczną platformy.

**Słowa kluczowe:** mobilność, Bezzałogowe Platformy Lądowe, układy napędowe, układy zawieszenia.

**Abstract.** This paper focus on results of work performed in project “Extreme mobility base platform with hydrostatic drive system” which were done under patronage of National Research and Development Center in IVth edition of LIDER program. Paper describe problems to solve which are connected to Unmanned Ground Vehicles (UGV) high mobility and ability to obstacle overcoming. They concern this areas were people are active and can't achieve them with classical terrain vehicles. The main factors which decides about high mobility are efficiency and effectiveness of suspension and drive systems working. Paper shows main project assumptions, way of their implementation and visualisation with short describe and technical parameters of the platform.

**Keywords:** mobility, Unmanned Ground Vehicles, drive systems, suspension systems.

Coraż częściej ludzie wykonują różne działania na terenach niedostępnych dla konwencjonalnych pojazdów i niejednokrotnie muszą dotrzeć tam pieszo. Zabierają ze sobą wyposażenie konieczne do przetrwania w trudnych warunkach, narzędzia niezbędne do wykonania pracy lub przyrządy pomiarowe do przeprowadzenia badań (geologicznych, geologicznych itp.). Zazwyczaj masa ich wyposażenia jest bardzo duża, a gabaryty często przeszkadzają w sprawnym i bezpiecznym przemieszczaniu się. Doskonały przykład stanowią działania ratownicze. Szczególne zagrożenie stanowią akcje prowadzone na terenach potencjalnie skażonych (fotografia).

Zwiększenie skuteczności i efektywności operacji wykonywanych przez człowieka na terenach trudno dostępnych (ratowniczych, eksploracyjnych, badawczych itp.) jest możli-



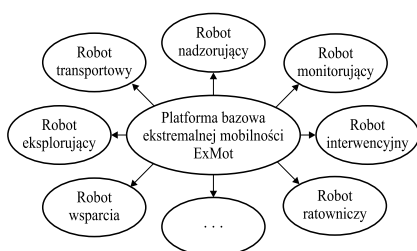
Przykład niebezpiecznej akcji ratowniczej – pożar elektrowni Turów w Bogatyni [5]  
Example of dangerous rescue operation – fire of Turów power station in Bogatynia [5]

we m.in. przez wyposażenie go w robota. Zbudowanie w pełni funkcjonalnego robota mobilnego, niezależnie od przeznaczenia, zawsze wymaga dysponowania platformą o dużej zdolności pokonywania przeszkód terenowych (ekstremalnej mobilności). Jest nią np. platforma ExMot, która może stanowić bazę do rozbudowy w inne systemy i układy, dzięki czemu jest możliwe wykonanie robotów przema-

czonych do określonych zadań (rysunek 1).

Podwozie o tej samej budowie oraz podzespołach w kilku (kilkunastu) rozwiązaniach znacznie zmniejsza ich koszt wytworzenia, zakupu i eksploatacji. Modułowa budowa powoduje znacznie większą dostępność części zamiennych, zmniejsza koszty związane z ich magazynowaniem oraz szkoleniem personelu obsługowego.

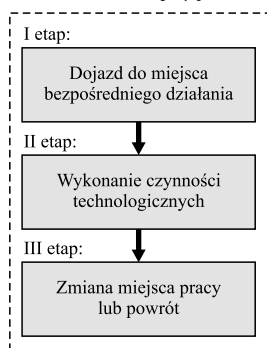
<sup>1)</sup> Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Instytut Budowy Maszyn; e-mail: arkadiusz.rubiec@wat.edu.pl



Rys. 1. Przykładowe cywilne aplikacje zastosowania platformy ExMot  
Fig. 1. Examples of ExMot civil use applications

**Wymagania dotyczące platformy bazowej**

Specyfika wykonywania przez roboty zadań bezpośredniego wsparcia człowieka w trudnym terenie wymaga, aby podwozie umożliwilo mu szybkie dotarcie do miejsca bezpośredniego działania oraz powrót lub zmianę miejsca prowadzenia akcji (rysunek 2).



Rys. 2. Podstawowe etapy działania robota mobilnego  
Fig. 2. Basic stages of mobile robot activities

Analiza etapów wykorzystania platformy umożliwiła zdefiniowanie trzech zasadniczych grup wymagań, jakie powinien spełnić jej układ zawieszenia i układ napędowy:

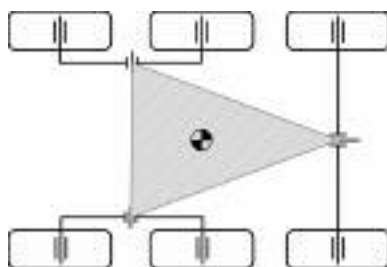
- przy dojeździe (powrocie) i zmianie miejsca wykonania zadania (teren płaski, występowanie niewielkich nierówności): rozwijanie dużej prędkości jazdy (ze względu na obecne ograniczenia dotyczące opóźnień systemów teleoperacji – 15 km/h); – minimalizacja drgań przenoszonych na nadwozie;
- przy dojeździe (powrocie) i zmianie miejsca wykonania zadania (zróżnicowany teren, występowanie znacznych nierówności): zdolność stabilnego rozwijania prędkości „pełzających” – do 2 km/h; duże siły przyczepności i uciążu; zdolność pokonywania przeszkód terenowych; zdolność układu zawieszenia do odwzorowania terenu; minimalizacja przechyłów nadwozia; duży skok kół platformy;

- przy wykonywaniu czynności technologicznych: duża stabilność podczas prowadzenia czynności (wrażliwość sensorów podczas pomiarów na drgania); niewrażliwość układu na znaczne zmiany obciążeń poszczególnych kół; zdolność do poruszania się przy dużych wzniesieniach; duża stateczność wzdłużna i poprzeczna (zdolność platformy do samodzielnego poziomowania się).

W celu jednoczesnego spełnienia takich wymagań konieczne jest zastosowanie sterowanego układu zawieszenia – zdolnego do adaptowania się do zmiennych warunków.

**Założenia do projektu platformy bazowej**

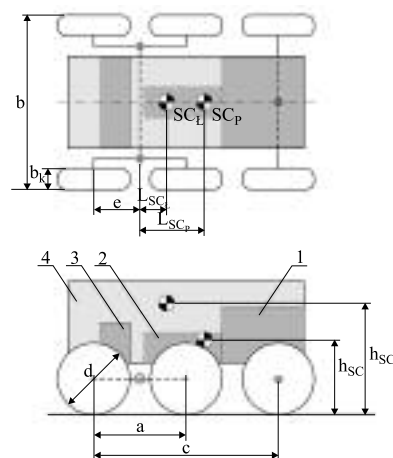
Przeprowadzone badania wstępne oraz analizy możliwości wykorzystania, jak również wymagania umożliwiły opracowanie koncepcji platformy bazowej ExMot (ang. Extreme MObility base platform) oraz głównych wytycznych do jej projektu. Koncepcja zakładała zaprojektowanie trzyosiowej, sześciokołowej platformy o skręcie burtowym, której masa własna wynosić będzie ok. 400 kg, zdolnej przewieźć ładunek o masie całkowitej do 200 kg. Ze względu na obszar wykorzystania platformy jej szerokość całkowita nie powinna przekroczyć 1 m. Uwzględniając dostępną do zabudowy przestrzeń, podatność obsługową oraz wyniki wstępnym badań symulacyjnych, zdecydowano o zastosowaniu w robocie zawieszenia z wahaczami wzdłużnymi (rysunek 3). Czas nieprzerwanej pracy, bez uzupełniania źródła energii, powinien wynosić ok. 8 h (przeciętny czas pracy człowieka podczas jednej zmiany). W związku z tym, że układ napędowy opracowywanego rozwiązania powinien być zdolny do przenoszenia dużych obciążeń dynamicznych, zdecydowano, że zostanie zastosowany hydrostatyczny układ napędowy [1, 2, 3, 4].



Rys. 3. Schemat struktury podwozia platformy bazowej  
Fig. 3. Scheme of land locomotion system for base platform

**Platforma ExMot**

Jako źródło napędu zastosowano silnik spalinowy o zapłonie samoczynnym. W efekcie obliczeń i analiz wyselekcjonowano główne podzespoły układu napędowego, takie jak silnik spalinowy, pompy hydrauliczne, silniki hydrauliczne, zbiorniki paliwa i oleju hydraulicznego, ogumienie itp. Pozwoliło to na wykonanie szczegółowej analizy masowo-przestrzennej. W jej wyniku dokonano wstępnego rozmieszczenia głównych komponentów oraz określono położenie środków masy własnej platformy, ładunku i platformy z ładunkiem (rysunek 4).



Parametr/wymiar	Wartość
Masa własna platformy $m_p$ [kg]	400
Masa ładunku $m_L$ [kg]	200
Szerokość platformy $b$ [m]	1,00
Rozstaw między przednią i środkową osią $a$ [m]	0,52
Rozstaw między przednią i tylną osią $c$ [m]	1,04
Odległość między przednią osią a osią wahań przedniego wahacza $e$ [m]	0,26
Średnica koła $d$ [m]	0,41
Szerokość koła $b_k$ [m]	0,17
Położenie środka masy platformy $SC_p$ [m]	$h_{scp}$ 0,43 $L_{scp}$ 0,36
Położenie środka masy ładunku $SC_L$ [m]	$h_{scl}$ 0,64 $L_{scl}$ 0,15

Rys. 4. Schemat platformy ExMot oraz jej główne wymiary: 1 – silnik spalinowy wraz ze zbiornikami paliwa i oleju hydraulicznego; 2 – zespół pomp hydrostatycznego układu napędowego; 3 – akumulator energii elektrycznej wraz z dzielnikami przepływu; 4 – ładunek

Fig. 4. Scheme view of ExMot platform and their main dimensions: 1 – engine with fuel and hydraulic oils tanks; 2 – hydraulic pumps; 3 – battery and flow dividers; 4 – load

Zidentyfikowane obciążenia zewnętrzne umożliwiły przystąpienie do prac projektowych, ukształtowania wytrzymałościowej konstrukcji oraz szczegółowych rozwiązań układu napędu i sterowania. Efektem końcowym jest projekt platformy ExMot, której wizualizację przedstawia rysunek 5. Główne parametry techniczne platformy ExMot zestawiono w tabeli.

Każde koło platformy posiada niezależny napęd. Pionowy skok kół, wpływający m.in. na zdolność do pokonywania przeszkód terenowych, wynosi 24 cm. Nominalnie ruch zawieszenia jest wymuszany nierównościami podłoża. W przypadku znacznych nierówności oraz przeszkód jest możliwe aktywne wymuszenie ruchu kół przedniej oraz środkowej osi. Przykładowe sekwencje pokonywania przeszkód w postaci murku oraz ścianki pionowej przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

### Podsumowanie

Zaprojektowana w ramach projektu Lider platforma ExMot może być wykorzystana do budowy różnych robotów i systemów robotyzowanych. Rozwiązanie to stanowi technologię podwójnego wykorzystania: cywilnego i wojskowego. W przemyśle cywilnym znaleźć może zastosowanie m.in. przy odbudowie terenów zniszczonych przez kataklizmy, przede wszystkim tych, do których dotarcie z wykorzystaniem

#### Parametry techniczne platformy ExMot Technical parameters of ExMot platform

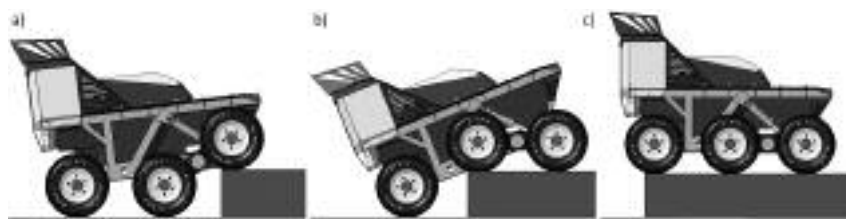
Masa własna	400 kg
Dopuszczalny ładunek	200 kg
Układ napędowy	Hydrostatyczny 6 x 6
Układ skrętu	Burtowy
Rodzaj paliwa	Olej napędowy
Silnik spalinowy	KUBOTA D722 E3B
Moc maksymalna silnika spalinowego	14,9 kW/3600 obr/min
Moment maksymalny silnika spalinowego	46 Nm/2600 obr/min
Maksymalna prędkość obrotowa silnika spalinowego	3600 obr/min
Pojemność zbiornika paliwa	18 L
Pojemność zbiornika oleju hydraulicznego	24 L
Układ zawieszenia	Zależny, sterowana przednia i środkowa oś
Prędkość maksymalna	15 km/h
Układ sterowania	Zdalny w systemie teleoperacji
Ogumienie	16 x 6,50 – 8



Rys. 5. Wizualizacja projektu ExMot  
Fig. 5. ExMot project visualization



Rys. 6. Kolejne sekwencje pokonywania przeszkody terenowej typu „murek” przez platformę ExMot  
Fig. 6. Sequences of „block” obstacle overcoming by ExMot platform



Rys. 7. Kolejne sekwencje pokonywania przeszkody terenowej typu „ścianka pionowa” przez platformę ExMot  
Fig. 7. Sequences of „vertical wall” obstacle overcoming by ExMot platform

klasycznego sprzętu budowlanego jest niemożliwe. Rozbudowa o dodatkowe systemy umożliwi jej wykorzystanie w technice wojskowej, np. do neutralizowania, czy poszukiwania ładunków wybuchowych.

Projekt, w ramach którego platforma jest wykonywana, trwa do końca 2016 r. Obecnie demonstrator technologii ExMot jest w fazie produkcji. Jednym z założeń było wykonanie platformy przez krajową firmę oraz transfer wiedzy między środowiskiem naukowym oraz przemysłowym już w trakcie realizacji pracy badawczej. Tak też się stało. Mimo częstej niechęci przedsiębiorców do wytwarzania innowacyjnych rozwiązań (wysokie ryzyko niepowodzenia) pilotażowy egzemplarz platformy jest wykonywany przez polską firmę HYDROMEGA z Gdyni. Pokazuje to, że dobra współpraca nauki z przemysłem jest możliwa i w dalszej perspektywie może się przyczynić do rozwoju gospodarczego kraju.

Prace zaprezentowane w artykule zostały w całości sfinansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu LIDER IV na podstawie umowy o wykonanie projektu Nr LIDER/007/424/L-4/12/NCBR/2013 pod tytułem „Platforma bazowa ekstremalnej mobilności z napędem hydrostatycznym”. Projekt wykonywany jest w okresie od 1.01.2014 do 31.12.2016 roku.

#### Literatura

- [1] Bartnicki A., Sprawka P.: Zastosowanie hydrostatycznych układów napędowych we współczesnych maszynach i pojazdach lądowych, LOGITRANS, Szczyrk 2008.
- [2] Budny E.: Napęd i sterowanie układów hydraulicznych w maszynach roboczych. ITE, Radom 2001.
- [3] Garbacik A. i inni: Studium projektowania układów hydraulicznych. Ossolineum, Kraków 1997.
- [4] Konopka S., Łopatka M. J., Przybysz M.: Kinematic discrepancy of hydrostatic drive of Unmanned Ground Vehicle. ITELMS' 2013 8th International Conference Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems. Panevezys. Litwa. Maj 23-24 2013
- [5] Strona internetowa [www.tvn24.pl](http://www.tvn24.pl)

Przyjęto do druku: 01.10.2015 r.