

Bartosz STACHURA

## MODUŁOWE UKŁADY NAPĘDOWE

**Streszczenie.** W artykule opisano wybrane współczesne układy napędowe przeznaczone głównie do zastosowań w technice wojskowej. Omówiono najważniejsze cechy układów typu power-pack oraz ich budowę. Na bazie wybranych przykładów polskich aplikacji zostały zestawione najważniejsze parametry techniczne. Ponadto w tabelach podano znane przykłady wdrożonych zastosowań modułowych układów napędowych w pojazdach lądowych: bojowych wozach piechoty oraz czołgach.

**Słowa kluczowe:** modułowe układy napędowe, power-pack, silnik, przekładnia, skrzynia biegów, czołg, pojazd wojskowy.

### 1. WPROWADZENIE

Producenci najbardziej znanych i wiodących na rynku wojskowych pojazdów lądowych zostali zmuszeni do przekształcenia tradycyjnych układów napędowych w modułowe układy napędowe typu power-pack. Wymuszenie to zostało podyktowane między innymi koniecznością szybkiego demontażu uszkodzonego podzespołu oraz montażu nowego w możliwie najkrótszym czasie, tak aby nie zakłócić tempa prowadzonych walk, a przede wszystkim zapewnić bezpieczeństwo nie tylko załodze wozu, ale także obsłudze serwisowej.

Nowo projektowane wojskowe pojazdy lądowe coraz częściej posiadają modułowe układy napędowe typu power-pack, charakteryzujące się szeregiem zalet, co zostało opisane w dalszej części artykułu.

### 2. CECHY ORAZ PRZYKŁADY UKŁADÓW NAPĘDOWYCH

Układ przeniesienia mocy współczesnego specjalnego pojazdu gąsienicowego powinien zapewniać najlepsze wykorzystanie właściwości silnika, jak również momentu napędowego przekazywanego na gąsienice w zależności od oporów ruchu pojazdu. Efekt można uzyskać poprzez odpowiedni, najlepiej automatyczny dobór przełożenia, dostosowany do prędkości jazdy i warunków terenowych. Innym ważnym zadaniem zespołu napędowego jest zapewnienie możliwości skrętu pojazdu z zadaniem przez kierującego promieniem skrętu, jak to ma miejsce np. w pojazdach kołowych. Obecnie stosowanym najczęściej rozwiązaniem konstrukcyjnym jest układ napędowy z automatyczną skrzynią biegów i hydrostatycznym mechanizmem skrętu, który zapewnia sterowalność zarówno w jeździe po linii prostej, jak i w trakcie zmiany kierunku jazdy. Podstawowym zadaniem projektanta nowoczesnego pojazdu gąsienicowego staje się zatem opracowanie układu przeniesienia mocy, który powinien zapewniać:

- zadany przez kierującego dowolny promień skrętu, który nie może zależeć od zmian warunków zewnętrznych, prędkości silnika, jego obciążenia, czy oporów jazdy;
- dobrą sterowalność pojazdem;

- wysoką sprawność przeniesienia napędu;
- utrzymanie zadanego ruchu prostoliniowego pojazdu, niezależnie od zmiany sił oporu w gąsienicach;
- optymalne wykorzystanie charakterystyk silnika przy zmiennym obciążeniu.

We współczesnych pojazdach wojskowych, zarówno kołowych, jak i gąsienicowych, stosuje się różne rodzaje układów przeniesienia napędu, które ogólnie można podzielić na:

- mechaniczne;
- hydromechaniczne;
- elektromechaniczne;
- elektryczne.

Napęd mechaniczny jest rozwiązaniem najprostszym, historycznie najczęściej stosowanym, łatwym w eksploatacji, ale bardzo absorbującym uwagę kierowcy podczas ruchu w trudnym terenie i warunkach bojowych. W celu zwiększenia komfortu obsługi pojazdu w nowoczesnych pojazdach specjalnych, stosuje się hydromechaniczne automatyczne skrzynie biegów, a w przypadku pojazdów gąsienicowych – hydromechaniczne skrzynie biegów z hydrostatycznymi mechanizmami skreću. W ostatnich latach następuje także ponowne zainteresowanie napędem elektryczno-spalinowym lub hybrydowym w zastosowaniu do sprzętu wojskowego. Napędy elektryczne mają wysoką sprawność w porównaniu z napędami hydromechanicznymi [1].

Pojazdy lądowe wyposażane w tradycyjny układ napędowy powoli przechodzą jednak do historii. Układy te, mimo niezaprzeczalnej niezawodności oraz często prostoty wykonania, zostają wypierane przez modułowe układy napędowe power-pack.

## 2.1. Tradycyjny układ napędowy

Tradycyjny układ napędowy to układ podzespołów, służący do napędzania pojazdu, poprzez przenoszenie energii mechanicznej z silnika do kół jezdnych pojazdu [2].

Układ składa się ze spalinowego silnika napędowego połączonego z przekładnią główną (skrzynią biegów) za pomocą wału napędowego. Przełączanie biegów odbywa się manualnie przy pomocy dźwigni (wyłączając skrzynie automatyczne). Układ zasilania silnika powietrzem oraz układy chłodzenia silnika i przekładni umieszczone są w kadłubie pojazdu, zazwyczaj w podwoziu. Doskonałym przykładem takiego rozwiązania jest Wóz Wsparcia Ogniwego Anders.

WWO Anders jest efektem pracy rozwojowej w latach 2008 – 2010 prowadzonej przez OBRUM Sp. z o.o. w konsorcjum z Wojskową Akademią Techniczną i Wojskowymi Zakładami Mechanicznymi S.A.[17,18,19].

Na rys. 1 przedstawiono układ napędowy zastosowany do napędu Wozu Wsparcia Ogniwego Anders. Pojazd WWO posiada tradycyjny układ napędowy, w skład którego wchodzi: przekładnia główną HMUN (wyprodukowaną przez Hutę Stalowa Wola S.A.) - hydromechaniczny układ napędowy, oraz silnik zastosowany w koncepcji bojowego wozu piechoty, czyli MTU 8V 199 TE20 [6-15].

W tym przypadku przekładnia nie jest bezpośrednio połączona do obudowy koła zamachowego silnika, lecz połączona z silnikiem przy pomocy dodatkowego wału. Pokazano to na uproszczonym rysunku 1.



**Rys. 1. Tradycyjny układ napędowy Wozu Wsparcia Ogniwego WWO Anders [17,18]**

Powyższe rozwiązanie ma kilka wad:

- montaż i demontaż układu napędowego jest bardzo uciążliwy i czasochłonny;
- gabaryty i masa kompletnego układu napędowego są znacznie większe niż w przypadku użycia modułowego power-packa [2,5];

Poniżej w tablicy 1 zostały zestawione podstawowe parametry masowo – gabarytowe układu napędowego w pojeździe WWO.

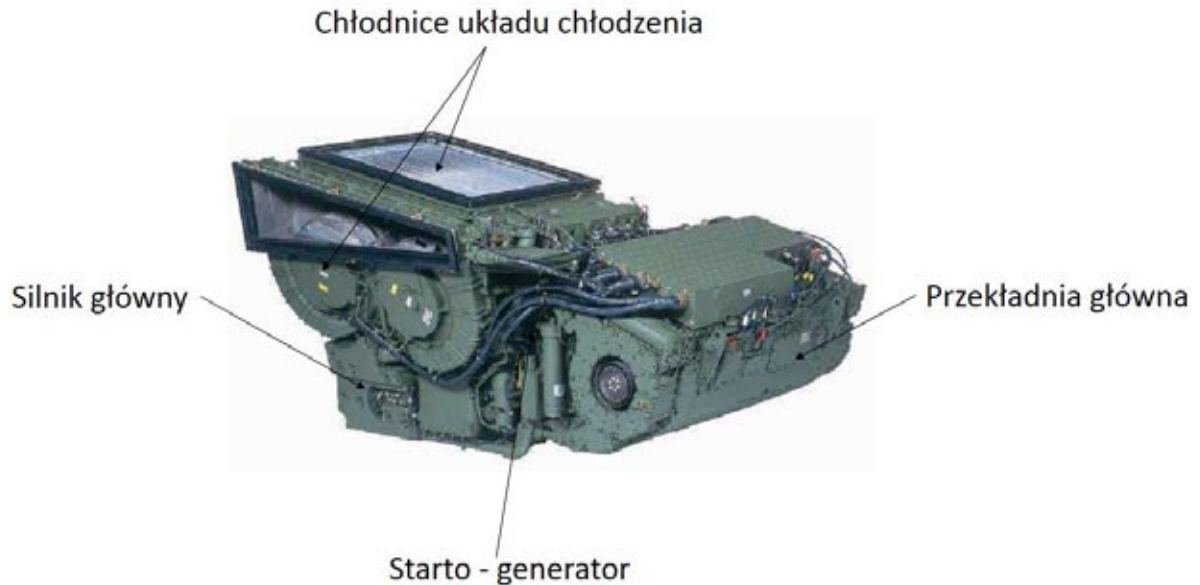
**Tablica 1. Parametry masowo – gabarytowe układu napędowego pojazdu WWO Anders [18-19]**

Masa [kg]	1725
Długość [mm]	2014
Szerokość [mm]	1887
Wysokość [mm]	983
Ilość biegów	4 biegi do przodu, 1 bieg do tyłu

## 2.2. Modułowy układ napędowy

Modułowe układy napędowe zwane układami typu power-pack są to gotowe do montażu, wcześniej przygotowane na stanowiskach montażowych zespoły, składające się głównie z silnika spalinowego i przekładni głównej, których charakterystyki zostały odpowiednio dobrane, tak aby ich momenty obrotowe pokrywały się, a co za tym idzie pojazd, do którego układ napędowy został dedykowany osiągał możliwie najlepsze parametry jezdne. Power-pack łączy w sobie wszystkie napędzane podzespoły na jednej ramie, tworząc

kompletną funkcjonalnie jednostkę. Układ napędowy jest zamontowany na ramie wraz z wszelkimi przystawkami, włącznie z filtrem paliwa, oleju i powietrza, tłumikiem spalin, oraz systemem chłodnic wraz z pompami hydrostatycznymi, hydromotorami i wentylatorami chłodnic. Doskonałym przykładem modułowego układu napędowego jest Bojowy Wóz Pancerny Puma pokazany poniżej na rys. nr 2. Pojazd stanowi nowatorski system uzbrojenia, który znacząco wzmocnił siły zbrojne Niemiec. W pojeździe mieści się trzech członków załogi w jednym klimatyzowanym przedziale (dowódca, kierowca, strzelec) oraz do sześciu żołnierzy desantu z tyłu pojazdu, gdzie umieszczono właz desantowy. Hermetyczne oddzielenie przedziału napędowego od tego dla załogi umożliwiło redukcję hałasu o 90% w porównaniu z Marderem 2 [3] (do poziomu 95 dB) [4].



**Rys. 2. Kompletny układ napędowy BWP Puma [4]**

BWP Puma jest napędzany 10-cylindrowym silnikiem MTU (HPD) 890. Silnik wyróżnia się niewielkimi rozmiarami i zarazem małą masą, a pomimo to osiąga moc 1100 KM. Nowy silnik typu HPD jest kluczowym podzespołem w ogólnej koncepcji pojazdu Puma. Obniżone zapotrzebowanie przestrzeni na układ napędowy prowadzi także do zmniejszenia masy pojazdu, co umożliwia zastosowanie lepszego opancerzenia przy zachowaniu odpowiedniej masy [5].

Modułowy układ napędowy cechują:

- możliwość szybkiej wymiany w razie awarii całego układu napędowego, który po naprawie stanowi ponownie pełnowartościowy podzespół - czas wymiany takiego układu napędowego to kilkadziesiąt minut, co w warunkach bojowych ma istotne znaczenie;
- automatyczne przełączanie biegów zapewnia najbardziej optymalne wykorzystanie mocy i momentu obrotowego silnika;
- układ sterowania wydłużający okresy bezawaryjnej pracy układu napędowego;
- kierowanie pojazdem przy pomocy wolantu.

### 3. BUDOWA MODUŁOWEGO UKŁADU NAPĘDOWEGO

Zgodnie z oczekiwaniami oraz wymaganiami klientów/zamawiających konstruktorzy światowych producentów silników, np. MTU Friedrichshafen GmbH [6], czy Scania Engines [7] prześcigają się w unowocześnieniach w tej prężnie rozwijającej się dziedzinie. Obecnie w pojazdach lądowych światowych liderów stosowane są dwie podstawowe odmiany modułowych układów napędowych typu power-pack, (np. BWP Puma, CV90, BWP Dardo, PT-91M, itp.), a mianowicie konfiguracja ukształtowana w literę „L” (rys. 3), oraz w literę „U” (rys. 5).

#### 3.1 Układ napędowy typu power-pack ułożony w literę „L”

Układ polega na usytuowaniu silnika prostopadle do przekładni głównej, co daje możliwość lokalizacji kierowcy w przedniej części kadłuba. Jest to miejsce obok silnika oddzielonego stalową przegrodą. Pozycja kierowcy w tym miejscu umożliwia lepszą widoczność toru jazdy, natomiast przedział załogowy pozbawiony jest dodatkowej osoby dzięki czemu uzyskuje się więcej miejsca na wyposażenie lub dodatkową amunicję. Umieszczenie układu napędowego z przodu pojazdu pozwala także na zaprojektowanie wjazdów desantowych w tylnej części pojazdu stosowanych np. w BWP [8, 9].

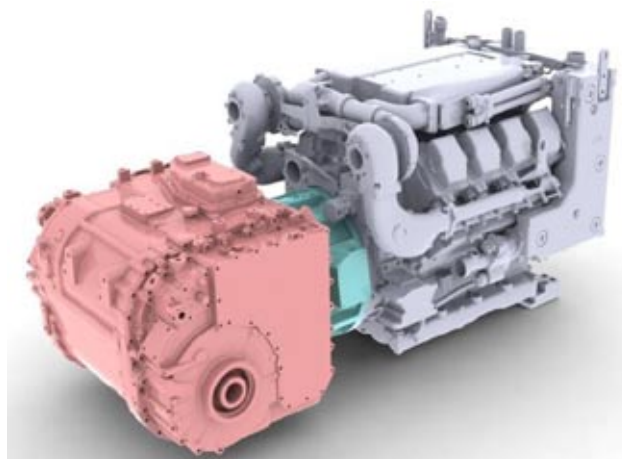


**Rys. 3. Uproszczony widok modułowego układu napędowego power-pack w konfiguracji litery L**

Polskim przykładem takiego układu jest power-pack stworzony jako koncepcja Bojowego Wozu Piechoty. Układ jednak jest na wstępnej fazie rozwoju, dlatego nie posiada na wspólnej ramie niektórych elementów np.: układu chłodzenia, itp.

Projekt koncepcyjny Bojowego Wozu Piechoty [14] powstał w 2012 roku w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Urządzeń Mechanicznych „OBRUM” Sp. z o.o. w Gliwicach.

Na rys. 4 pokazano układ napędowy przeznaczony do bojowego wozu piechoty. Do napędu tego wozu zastosowano silnik firmy MTU 8V 199 TE20 [6,15]



**Rys. 4. Power-pack – silnik MTU 8V 199 TE20 połączony z przekładnią X300 [16]**

**Tablica 2. Podstawowe parametry silnika MTU 8V 199 TE20 [6-15]**

Moc [kW]	530
Maksymalny moment [Nm]	2700 (przy prędkości obrotowej 1500 obr./min)
Maksymalne obroty	2530 obr./min.
Masa [kg]	1135

Zastosowana w koncepcji układu napędowego przekładnia X300 produkowana jest przez angielską firmę Allison Transmission [12,16]. Na przekładni tej również może być zamontowana przystawka dodatkowego odbioru mocy. Cechą charakterystyczną tej przekładni, a zarazem największą jej zaletą jest niska masa.

**Tablica 3. Podstawowe parametry przekładni X-300 [12,16]**

Masa [kg]	950
Długość [mm]	2014
Szerokość [mm]	1887
Wysokość [mm]	983
Ilość biegów	4 biegi do przodu 2 biegi do tyłu

### 3.2 Układ napędowy typu power-pack ułożony w literę „U”

Układ polega na usytuowaniu silnika równolegle do przekładni głównej. Połączenie podzespołów odbywa się poprzez zastosowanie kątovej przekładni pośredniej, która najczęściej przekazuje napęd 1:1. Układ napędowy power-pack ukształtowany jest w literę „U”, zatem często występuje w pojazdach w tylnej części podwozia. Przód pojazdu jest odciążony, dzięki czemu pojazd uzyskuje lepsze parametry jezdne na grząskim terenie.



**Rys. 5. Uproszczony widok modułowego układu napędowego power-pack w konfiguracji litery U**

Na rys.6 przedstawiono modułowy układ napędowy zamontowany w czołgu PT-91M w wersji dla klienta malezyjskiego, która została opracowana na bazie czołgu PT-91 z konwencjonalnym układem napędowym.

Czołg PT-91M napędzany jest jednostką napędową power-pack składającą się z francuskiej przekładni ESM-350 [2] o masie 1750 kg – rys. 7, oraz napędzającym ją silnikiem S-1000 [2,13] produkowanym przez Zakłady Mechaniczne „PZL WOLA” S.A. – rys. 8. Wyżej wspomniana przekładnia ESM-350 została zaadaptowana przez konstruktorów specjalnie dla tej wersji czołgu. Przekładnia ESM-350 posiada dodatkowe wyjście napędu tzw. przystawkę odbioru mocy PTO Power take-off [10-11] - umożliwiające przekazanie siły napędowej z silnika do urządzeń zewnętrznych, najczęściej mocowane do obudowy skrzyni biegów lub silnika. Umożliwia to napędzanie wału lub pompy hydraulicznej.



**Rys. 6. Power-pack wykonany dla klienta malezyjskiego [12,13]**



**Rys. 7. Przekładnia Renk ESM350 [2]**



**Rys. 8. Silnik spalinowy WOLA S1000 [13]**

**Tablica 4. Podstawowe parametry silnika S1000 [13]**

Moc [kW]	736
Maksymalny moment [Nm]	4300 (przy prędkości obrotowej 1500 obr./min.)
Maksymalne obroty	2200 obr./min.
Masa [kg]	1100









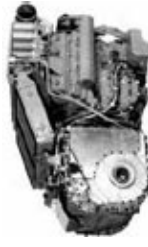
**Tablica 5. Podstawowe parametry układu napędowego power-pack czołgu PT-91M [9]**

Masa [kg]	3610
Długość [mm]	2014
Szerokość [mm]	1887
Wysokość [mm]	983
Ilość biegów	8 biegów do przodu; 3 biegi do tyłu
PTO [kW]	200












#### 4. PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ UKŁADU POWER-PACK W BOJOWYCH WOZACH PIECHOTY U PRODUCENTÓW ZACHODNICH

Tablica 6. Przykłady zastosowań układu power-pack w bojowych wozach piechoty u producentów zachodnich

	CV90	PUMA	DARDO	MARDER 1-A5	WARRIOR 2000
Pojazd					
Power-pack			Brak danych		
Załoga	3 +7	3 +6	3 +6	3 +7	3 +7
Masa [kg]	do 40 000	31 500 t (poziom A) 43 000 (poziom C)	23 000 (bojowa)	28 200 kg (bojowa)	25 400
Silnik	Scania V8 14 litrów (lub 16 litrów)	MTU V10 892	6-cylindrowy Iveco- Fiat 8260	MTU MB Ea-500	Perkins V-8 Condor Diesel
Moc [kW]	808	1073	512	600 KM	550
Moc/Masa [KM/t]	20,2	34,1 (poziom A) 25 (poziom C)	22,6	21,3	23,5
Prędkość maks. [km/h]	70	70	70	75	75
Zasięg	900	600	500	520	660
Producent	Szwecja	Niemcy	Włochy	Niemcy	Wielka Brytania
Rozwój	modernizacje	modernizacje	modernizacje	modernizacje	modernizacje

## 5. PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ UKŁADU POWER-PACK W CZOLGACH U PRODUCENTÓW ZACHODNICH

Tablica 7. Przykłady zastosowań układu power-pack w czołgach u zagranicznych producentów

	Merkava 3/4	Mitsubishi Typ-90	Leopard 2-A6	AMX-56 Leclerc	Challenger II
Pojazd					
Power-pack		Brak danych			
Załoga	4	3	4	3	4
Masa [kg]	64 000/65 000	50 200	62 300	54 500	62 500
Silnik	AVDS-1790-9AR / GD833	Mitsubishi 10ZG (2-suwowy)	MTU MB873 KA501	UDV8X-1500	CV12 Perkins Condor
Moc [kW]	1500	1500	1521	1496	1200
Moc/Masa [KM/t]	19,67/23,07	30	24,1	27,52	19,2
Prędkość maks. [km/h]	55	70	72	72	59
Zasięg	500	400	550	550/650	450
Producent	Izrael	Japonia	Niemcy	Francja	Wielka Brytania
Rozwój	modernizacje	nowy projekt	modernizacje	modernizacje	modernizacje

## 6. WNIOSKI

- Nowoczesne modułowe układy napędowe typu power-pack wypierają tradycyjne układy napędowe.
- Wiele armii (użytkowników pojazdów lądowych) modernizuje sprzęt, dokonując wymiany tradycyjnych układów napędowych na modułowe układy napędowe power-pack.
- Wymiany tradycyjnych układów napędowych są często dużo większe niż modułowych układów napędowych typu power-pack.
- Wybór typu ukształtowania układu napędowego „L” lub „U” power-pack następuje na początku prac projektowych, kiedy podczas opracowywania Założeń Taktyczno Technicznych zapadają decyzje, który układ będzie optymalny dla danego typu pojazdu.
- Przełączanie biegów w power-pack odbywa się automatycznie, co zapewnia najbardziej optymalne wykorzystanie mocy i momentu obrotowego silnika.
- W przypadku awarii modułowego układu napędowego istnieje możliwość szybkiej wymiany całego układu. Jest on następnie serwisowany i po naprawie stanowi pełnowartościowy układ napędowy.
- Czas wymiany modułowego układu napędowego wynosi kilkadziesiąt minut, co w warunkach bojowych ma bardzo istotne. Krótki czas wymiany poprawia bezpieczeństwo załogi pojazdu oraz obsługi serwisowej.
- Automatyczny układ sterowania stosowany w napędach power-pack wydłuża okresy bezawaryjnej pracy układu napędowego.
- Kierowanie pojazdem napędzanym jednostką typu power-pack odbywa się przy pomocy wolantu co poprawia ergonomię prowadzenia pojazdów.

## 8. LITERATURA

- [1] Mężyk A., Skowron K.: Rozwój układów przeniesienia napędów w pojazdach gąsienicowych, Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe nr 3 (31), Gliwice 2012
- [2] [http://pl.wikipedia.org/ Układ przeniesienia napędu/](http://pl.wikipedia.org/Układ_przeniesienia_napędu/) 08.10.2014.
- [3] [http://pl.wikipedia.org/ Marder 2/](http://pl.wikipedia.org/Marder_2/) 15.10.2014.
- [4] [http://pl.wikipedia.org/ Puma \(bojowy wóz piechoty/](http://pl.wikipedia.org/Puma_(bojowy_wóz_piechoty)) 02.12.2014.
- [5] Mura G., Mężyk P.: Silniki współczesnych gąsienicowych bojowych wozów piechoty, Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe nr 1 (29), Gliwice 2012.
- [6] [http://www.mtu-online.com/ MTU Friedrichshafen GmbH/](http://www.mtu-online.com/MTU_Friedrichshafen_GmbH/) 20.08.2014.
- [7] [http://www.scania.com/ SCANIA Group/](http://www.scania.com/SCANIA_Group/) 15.12.2014.
- [8] [http://pl.wikipedia.org/ Bojowy Wóz Piechoty/](http://pl.wikipedia.org/Bojowy_Wóz_Piechoty/) 10.11.2014.
- [9] Holota M., Kurpas M., Olek J., Synowiec M.: Współczesne bojowe wozy piechoty, Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe nr 3 (31), Gliwice 2012.
- [10] [http://en.wikipedia.org/ PTO - Power\\_take-off /](http://en.wikipedia.org/PTO_-_Power_take-off/) 12.12.2014.
- [11] [http://pl.wikipedia.org/ Przystawka odbioru mocy /](http://pl.wikipedia.org/Przystawka_odbioru_mocy/) 02.01.2015.
- [12] [http://www.armedforces-int.com/ X300-12.pdf./](http://www.armedforces-int.com/X300-12.pdf/) 10.11.2014.
- [13] <http://www.pzl-wola.pl/> 15.09.2014.
- [14] Lekki czołg na bazie wielozadaniowej platformy bojowej – analiza możliwości zastosowania podwozia czołgu lekkiego do celów wielozadaniowych. Opracowanie WAT. Styczeń – czerwiec 2010. Niepublikowane.
- [15] Szulborski A.: Silniki MTU jako przyszły napęd pojazdów grupy BUMAR. Aspekty techniczne i produkcyjne, Warszawa, 21.11.2011r.
- [16] <http://www.allisontransmission.com/> 10.12.2014.

- 
- [17] Holota M., Stachura B.: Polska platforma bojowa XXI wieku bazą nowej rodziny pojazdów specjalistycznych, Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe (28) nr 1, Gliwice 2012.
- [18] <http://gdziwojsko.wordpress.com/> Wozy Bojowe – Anders /, 10.12.2014.
- [19] <http://www.altair.com.pl/> WWO Anders / 18.09.2013.

## MODULAR DRIVE SYSTEMS

**Abstract.** This article describes some of the modern drive systems primarily designed for use in military technology. The main features of the power-pack type systems are discussed along with their structure. The most important technical parameters are listed on the basis of selected examples of Polish applications. In addition, tables are provided with known examples of implemented applications of modular drive systems in land vehicles: armoured personnel carriers and tanks.

**Keywords:** modular drive systems, power-pack, engine, transmission, gearbox, tank, military vehicle.