

Arkadiusz MEŻYK
Krzysztof SKOWRON

ROZWÓJ UKŁADÓW PRZENIESIENIA NAPĘDÓW W POJAZDACH GĄSIENICOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono oraz porównano parametry techniczne układów napędowych bojowych wozów gąsienicowych, a w szczególności parametry ich hydromechanicznych zespołów przeniesienia mocy. Na wstępie omówiono wybrane typy układów przeniesienia mocy, począwszy od wczesnych rozwiązań przedwojennych, do obecnie stosowanych przekładni hydromechanicznych. Porównano także parametry przekładni stosowanych w obecnych wozach gąsienicowych. W tabeli zestawiono ważniejsze parametry techniczno-użytkowe przekładni z przyporządkowaniem ich do określonego typu pojazdu gąsienicowego.

Słowa kluczowe: pojazdy gąsienicowe, układy napędowe, hydromechaniczny układ przeniesienia mocy

1. Wstęp

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 taki 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. Najczęściej stosowanym obecnie 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 [1, 4]:

- zadany przez kierującego dowolny promień skrętu, który nie może zależeć od zmian warunków zewnętrznych, prędkości silnika, jego obciążenia, czy oporów jazdy;
- dobrą sterowalność pojazdem;
- wysoka 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 [5]:

- 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 gaśnicowych – hydromechaniczne skrzynie biegów z hydrostatycznymi mechanizmami skrętu. 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 [4, 5, 6].



a)



b)

Rys. 1. Pojazdy o napędzie spalinowo-elektrycznym:

a) francuski czołg St. Chamond - 1916 rok, b) szwedzki pojazd SEP w wersji kołowej i gaśnicowej -2008 rok

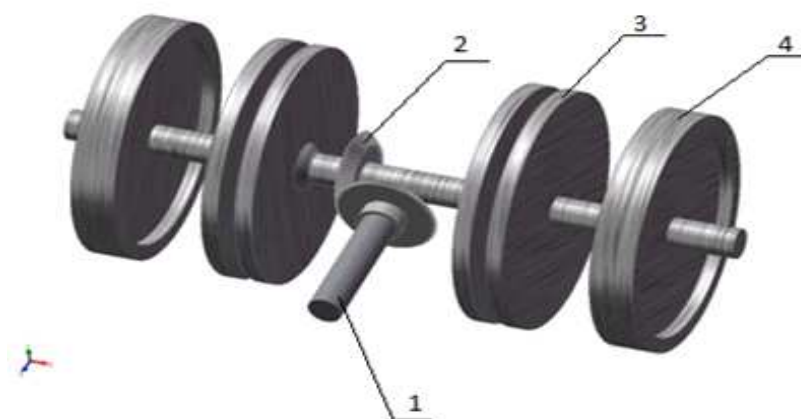
Idea elektromechanicznego przeniesienia mocy nie jest nowa, gdyż pierwszy czołg St. Chamond z takim napędem, produkowany seryjnie w liczbie 400 sztuk, zbudowano już we Francji podczas pierwszej wojny światowej (rys. 1). Ponowne próby zastosowania napędów elektromechanicznych w pojazdach gaśnicowych podjęli Niemcy w czasie drugiej wojny światowej. Jednak problemy techniczne, niski poziom technologiczny ówczesnych napędów elektrycznych oraz problemy surowcowe spowodowały zarzucenie tego rozwiązania [4]. Amerykanie wyprodukowali 250 sztuk czołgu T-23 z napędem elektryczno-spalinowym. Miał on bardzo dobre parametry trakcyjne, ale wymagał oddzielnego zaplecza obsługowo-naprawczego, co spowodowało zaniechanie stosowania tego rodzaju napędu. Ponowne zainteresowanie tego typu napędami nastąpiło w latach 90. i było związane z rozwojem elektroniki oraz technologii wytwarzania silników z magnesami trwałymi, co znacznie zmniejszyło masę silników elektrycznych. Na szczególną uwagę w zakresie zastosowania napędów elektromechanicznych zasługuje, zakończony w 2008 roku, szwedzki program SEP, obejmujący opracowanie typoszeregu modułowych pojazdów kołowych i gaśnicowych z napędem hybrydowym o wysokim stopniu integracji podzespołów. Napędy elektromechaniczne bądź elektryczne stosowane mogą być zarówno w pojazdach kołowych, jak i gaśnicowych. W tym drugim przypadku znaczne osiągnięcia w zakresie napędów elektryczno-spalinowych pojazdów gaśnicowych posiadają Niemcy, którzy w największym stopniu wdrożyli tę technologię do produkcji wozów bojowych PUMA. Zastosowane rozwiązania bazują na integracji hydromechanicznych przekładni typu HSWL z silnikami elektrycznymi. Pojazd jest napędzany silnikiem spalinowym, zintegrowanym z maszyną elektryczną (starter/generator). Może pracować w trybie normalnym lub w trybie cichym, podczas napędzania tylko silnikiem elektrycznym.

Pomimo prowadzenia wielu prac badawczych nad rozwojem napędów elektrycznych i hybrydowych, w dalszym ciągu w pojazdach państw NATO dominują dotychczas napędy

hydromechaniczne, natomiast w powszechnie stosowanych na świecie pojazdach poradzieckich stosowane są głównie mechaniczne układy przeniesienia mocy. Napędy hybrydowe będą wprowadzone w niedalekiej przyszłości.

1.1. Mechanizm sprzęgło-hamulec

W pierwszych wozach bojowych układy napędowe były bardzo prymitywne, chociaż w latach 30-tych ubiegłego wieku zaczęto stosować mechanizmy skrzyni z podwójnym doprowadzeniem mocy. Biorąc pod uwagę liczbę wyprodukowanych w tym okresie pojazdów, dominowały rozwiązania radzieckie). Stosowano w nich układ realizujący napęd i skręt za pomocą mechanizmu pokazanego na rys. 2, składającego się z klasycznej skrzyni biegów oraz dwóch bocznych hamulców i sprzęgieł.



Rys. 2. Schemat mechanizmu skrzyni typu „sprzęgło – hamulec”

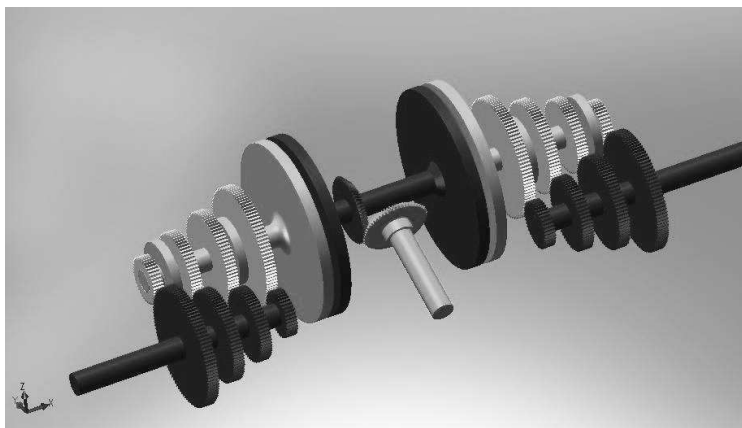
1-wał napędowy, 2-przekładnia stożkowa, 3-sprzęgło, 4-hamulec

Sterowanie pojazdem następowało poprzez zahamowanie jednej strony, co z kolei powodowało uzyskanie różnej prędkości na gaśnicach. Rozwiązanie to było szeroko stosowane m.in. w radzieckich czołgach T-34.

1.2. Sterowanie przekładniowe

Sterowanie przekładniowe polega na zastosowaniu dwóch skrzyni biegów, osobno dla każdej z gaśnic (rys. 3). Zróżnicowanie prędkości gaśnic uzyskuje się poprzez zróżnicowanie przełożeń, obniżając bieg w skrzyni gaśnicy zabieganej. Może się to odbywać za pomocą wolantu, który połączony jest z obiema skrzyniami biegów. Odpowiednia kombinacja biegów umożliwia osiągnięcie wielu promieni skrętów. Niedogodność w tym rozwiązaniu stanowi wzrost rozpiętości prędkości przy wyższych biegach, co powoduje zmniejszanie promienia skrętu w miarę wzrostu prędkości pojazdu. Ponadto gwałtowne zróżnicowanie prędkości gaśnic przy wymuszonej zmianie biegów powoduje generowanie znacznych obciążeń dynamicznych w układzie napędowym. Jeżeli każda przekładnia ma bieg wsteczny, może być wówczas wykonywany manewr „neutralnego skrętu” [1,3]. Tego typu rozwiązania stosowane są m.in. w czołgach T-72 i pochodnych.

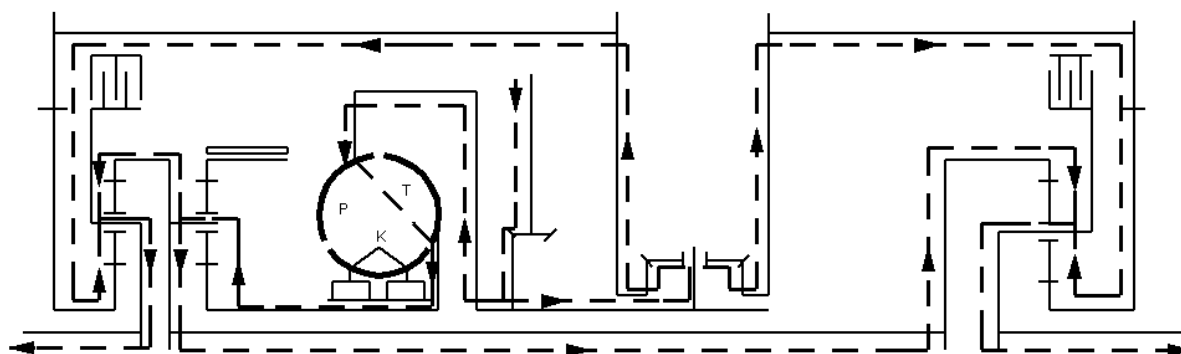
Mechanizm sterowania przekładniowego jest mechanizmem regeneracyjnym, ponieważ w czasie skrętu, poprzez ustawienie innych przełożeń na obu stronach gaśnicy, mechanizm nie rozprasza energii, co skutkuje też większą sprawnością niż układ sprzęgło - hamulec. System ten wymaga wprawdzie dużych umiejętności od kierowcy, ale jest wydajny i nieskomplikowany [3].



Rys. 3. Schemat budowy mechanizmu sterowania przekładniowego

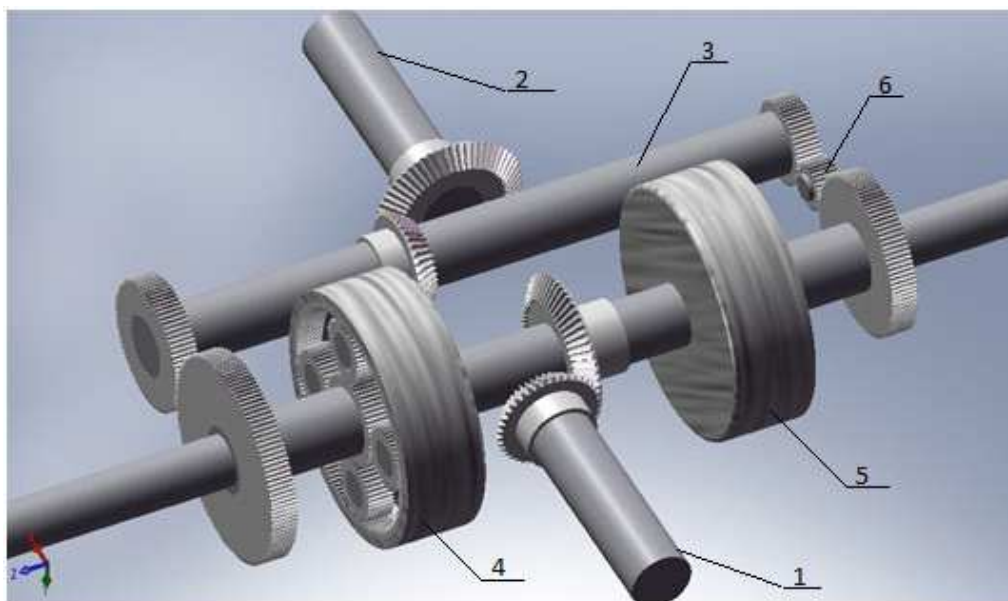
1.3. Przekładnia hydromechaniczna Cross Drive

Przekładnie tego typu zaczęto stosować w pojazdach gaśnicowych produkowanych przez USA podczas ostatniego okresu drugiej wojny światowej. Zespół napędowy, który był stosowany niemal we wszystkich pojazdach gaśnicowych, lecz w różnych odmianach, znany jest jako zespół konstrukcyjny o nazwie Cross – Drive (rys. 4), składa się z układu przeniesienia mocy z przekładnią hydrokinetyczną i mechanizmu skrzętu. Zastosowano w nim mechanizmy z podwójnym doprowadzeniem mocy, które charakteryzowały się tym, że przy niezmiąjącej się prędkości obrotowej wału silnika, prędkość środka masy pojazdu w czasie skrzętu była równa prędkości ruchu prostoliniowego przed skrzętem. Podstawowym mechanizmem w napędzie z podwójnym doprowadzeniem mocy są najczęściej dwie przekładnie planetarne z doprowadzeniem mocy zarówno przez koło słoneczne, jak i koło duże. Odbiór mocy realizowany jest przez jarzmo. Koła słoneczne tej przekładni obracają się podczas ruchu prostoliniowego pojazdu w tym samym kierunku, co koła z uzębieniem zewnętrznym. W momencie skrzętu natomiast następuje zróżnicowanie prędkości kół słonecznych, a tym samym wału jarzma poprzez doprowadzenie dodatkowej mocy do układu sterowania [2].



Rys. 4. Schemat hydromechanicznej przekładni Cross Driver [3]

Obecne rozwiązania układów napędowych zawierają głównie mechanizm z podwójnym doprowadzeniem mocy, wykorzystujący dwie przekładnie planetarne pokazany na rys. 5.



Rys. 5. Mechanizm z podwójnym doprowadzeniem mocy

1-wał napędzany przez silnik, 2-wał napędzany przez skrzynię biegów, 3-wał pośredni, 4-przekładnia planetarna prawa, 5-przekładnia planetarna lewa, 6-przełożenie pośrednie

Podczas jazdy prostoliniowej wałek napędowy (1) jest włączony, zaś dodatkowy wałek (2) napędzany ze skrzyni biegów jest wyłączony. W chwili skrętu włączany jest drugi wałek, w wyniku czego koła słoneczne przekładni (4), (5), które są napędzane z wału drugiego, poprzez wał pośredni (3) będą obracać się w przeciwne strony i nastąpi zwiększenie prędkości gaśienicy zabiegającej oraz zmniejszenie prędkości gaśienicy zabieganej lub też – przy zerowej prędkości środka masy pojazdu – gaśienice będą obracać się w przeciwnym kierunku, umożliwiając skręt w miejscu. Sterownie to umożliwia skręcanie z różnymi promieniami skrętu w zależności od przełożenia skrzyni biegów.

2. WSPÓLCZESNE SKRZYNIĘ BIEGÓW

Gwałtowny rozwój technologii układów napędowych miał miejsce w trakcie zimnej wojny. Układy napędowe do pojazdów gaśnicowych produkowane były w tym okresie w wielu krajach świata. Obecnie pozostało niewiele firm zajmujących się produkcją zespołów napędowych dla potrzeb militarnych, w tym jedynie kilka zajmujących się opracowywaniem nowych rozwiązań konstrukcyjnych. W Europie głównym producentem nowoczesnych przekładni do pojazdów gaśnicowych jest niemiecka firma RENK, produkująca przekładnie do różnych typów pojazdów, która w tym zakresie przejęła także program produkcyjny firm ZF oraz SESM. Ostatnim wdrożonym produktem tej firmy, który został opracowany w ramach programu pojazdu IFV PUMA, jest przekładnia typu HSWL 256. Inne firmy produkujące przekładnie na świecie to głównie Allison Transmission produkujący skrzynie dla armii USA oraz L-3, DAWID BROWN, Caterpillar Defence i ST Kinetics. Należy w tym momencie także wspomnieć o produkowanych pod koniec ubiegłego wieku w Polsce w Stalowej Woli przekładniach hydromechanicznych typu HMUN. Przekładnie takie z hydrostatycznym mechanizmem skrętu GOMP lub mechanicznym mechanizmem skrętu zastosowano m.in. w wielozadaniowym ciągniku gaśnicowym typ 306, a także pojazdach SUM Kalina, BWP-2000 czy też NUR-21.

Współczesne zintegrowane hydromechaniczne układy napędowe pojazdów gaśnicowych zawierają w jednej obudowie przekładnię hydrokinetyczną - trójelementowy

konwerter momentu obrotowego, wykorzystujący energię kinetyczną cieczy przekazywaną z elementu czynnego (pompy) na element bierny (turbinę), jak również automatyczną skrzynię biegów o 3-8 przełożeniach, hamulec hydrodynamiczny (retarder), hydrostatyczny mechanizm skreću i elektroniczny moduł sterujący. Zaletą zastosowania przekładni hydrokinetycznej jest możliwość znacznego przeciążenia układu napędowego w ekstremalnych warunkach poprzez brak sztywnego połączenia pomiędzy silnikiem i przekładnią [2].

W nowych rozwiązaniach sterowanie skrzynią biegów jest realizowane elektrycznie za pomocą sterownika z programem zmiany biegów. Program jest dostosowany do rodzaju pojazdu oraz liczby przełożeń i obciążenia, w tym także warunków pogodowych. Pozwala to na właściwe wykorzystanie parametrów układu, umożliwiając jednocześnie płynną jazdę pojazdów gąsienicowych w trudnych warunkach eksploatacyjnych.. Układy przekładniowe posiadają również wbudowane hamulce hydromechaniczne, dzięki czemu nie ma konieczności stosowania dodatkowych hamulców w przekładniach bocznych. Przystosowane są również do użycia w zespołach napędowych typu POWER-PACK. Rozwiązania takie są obecnie powszechnie stosowane, również w najnowszych zespołach napędowych, zarówno produkcji niemieckiej jak i przez pozostałych producentów. W tablicy 1 zestawiono parametry techniczno-użytkowych najczęściej wykorzystywanych przekładni.

Tablica 1. Porównanie parametrów techniczno-użytkowych [7-19]

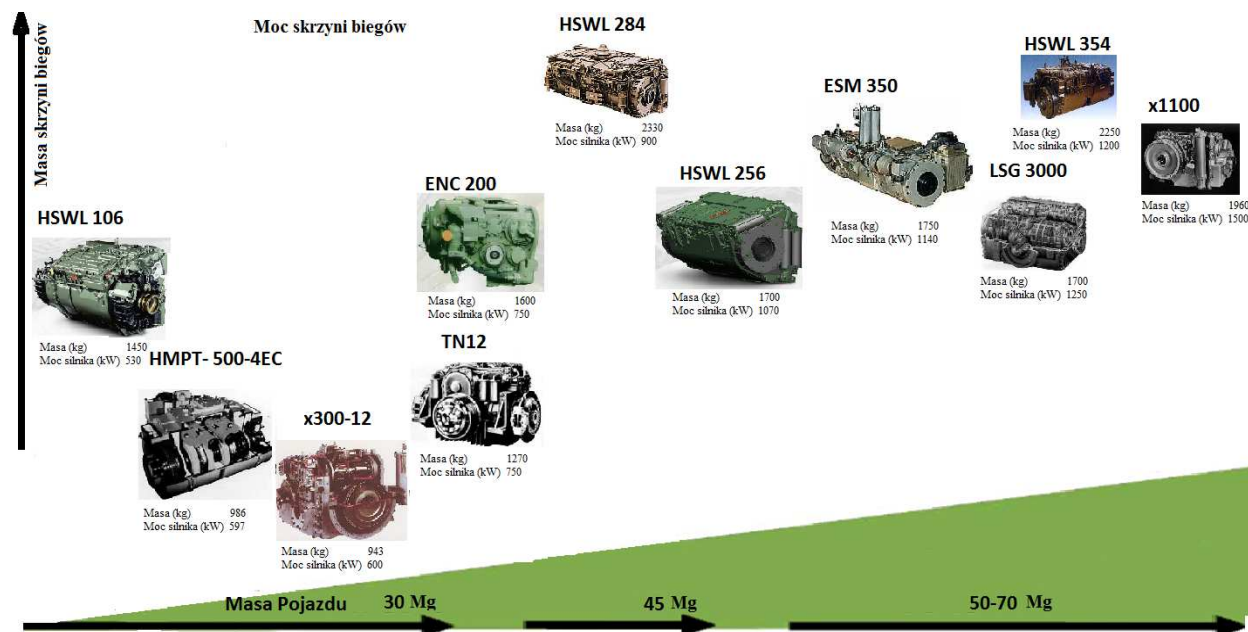
TYP PRZEKŁADNI	MOC MAKSYMALNA SILNIKA [kW]	MSA POJAZDU [Mg]	LICZBA BIEGÓW	MASA PRZEKŁADNI [kg]	DŁ [mm]	SZER. [mm]	WYS. [mm]	ZASTOSOWANIE
HSWL256	500-800	45	6+6	1700	795	1540	825	Puma
HSWL 106	300-530	30	6+6	1450	900	1080	800	Ascod,Ulan, Pizzaro
HSWL 284	900	60	4+4	2330	1890	1070	760	KEILER
HSWL 354	1200	40-60	4+4	2250	1040	1720	785	Leopard 2
ESM 350	600-850	50	8+3	1750	1520	1960	1230	PT-91
ENC 200	750	45	5+2	1600	1475	1055	740	AMX 30
LSG 3000	1250	40-60	4+2	1700	-	-	-	AMX 30, EM2, K1
HMPT 500	597	30-40	3+1	986	817	1016	724	Bradley, Bionix, K21
x300	300-600	20-36	4+2	943	921	1042	846	CV90, Warrior
x1100 - 4B	1500	40-60	4+2	1960	-	-	-	M1A1, Abrams
TN12	750	30-40	6+2	1270	925	1247	1500	Mk1, Mk2

Poszczególne rozwiązania konstrukcyjne różnią się głównie parametrami technicznymi, liczbą przełożeń mechanicznych oraz hydraulicznym napędem mechanizmu skreću.

3. PODSUMOWANIE

Rozważane układy napędowe zestawiono pod względem zakresów mocy oraz masy pojazdu. Parametry te determinują wybór odpowiedniego typu przekładni do konkretnego typu i masy pojazdu. Istotnym parametrem jest także liczba przełożeń, która decyduje

o sprawności, ale także o masie całego układu napędowego. Na rys. 6 przedstawiono poszczególne układy przeniesienia napędu, pogrupowane pod względem masy i mocy oraz przyporządkowanej klasy pojazdu. W zakresie mocy silnika 300-600 kW i masie pojazdu do 35 t, obecnie dostępne są tylko cztery przekładnie, w tym: niemiecka HSWL 256 oraz francuska ESM 350, obie produkowane w zakładach grupy RENK, a także starsze: amerykańska HMPT 500-4EC wraz z pochodnymi, jak również produkowana w Wielkiej Brytanii przekładnia X300-12.



Rys. 6. Wykres przedstawiający masę i moc skrzyni biegów [8-20]

Nowsze przekładnie charakteryzują się większą liczbą przełożeń (6-8), ale także większą masą i stopniem złożoności niż starsze rozwiązania posiadające z reguły 3-4 przełożenia. Zwiększenie masy przekładni montowanej z przodu pojazdu powoduje problemy w zachowaniu odpowiedniego rozkładu masy, co zmniejsza jego mobilność. Znaczny stopień skomplikowania współczesnych układów napędowych wymaga ponadto zaawansowanych systemów diagnostycznych i serwisowych. Rosną także koszty wytwarzania i eksploatacji tego typu układów. Istotną wadą układów hydromechanicznych jest wrażliwość na bardzo niskie i bardzo wysokie temperatury eksploatacji.

Poszukiwanie nowych rozwiązań układów przeniesienia mocy o znacznie większej sprawności niż przekładnie hydromechaniczne, a jednocześnie mniejszym stopniu skomplikowania oraz tańszych w produkcji i eksploatacji, stanowi obecnie ważne zadanie konstruktorów pojazdów gaśnicowych. W tym zakresie coraz większe możliwości stwarzają gwałtownie rozwijane w cywilnym przemyśle samochodowym napędy elektryczne i hybrydowe, a przełomowym programem m.in. w odniesieniu do technologii przeniesienia mocy w pojazdach gaśnicowych, może być amerykański program Ground Combat Vehicle, którego efektem ma być platforma bojowa z napędem hybrydowym.

4. LITERATURA

- [1] Burdziński Z.: Teoria ruchu pojazdów gaśnicowych. WKiŁ Warszawa 1972.
- [2] Dajniak H.: Ciągniki. Teoria ruchu i konstruowanie, WKiŁ, Warszawa 1979.
- [3] Modrzewski J i inni.: Encyklopedia techniki wojskowej. WMON Warszawa 1987.

- [4] Ogorkiewicz R.: Technology of Tanks, Jane's Group, 1991.
- [5] Stuart J. McGuigan, Peter J. Moss.: A Review of Transmission systems for tracked military, JOURNAL OF BATTLEFIELD TECHNOLOGY, VOL 1, NO 3, NOVEMBER 1998.
- [6] Użycki D., Begier T., Sobala S.: Współczesne gąsienicowe wozy bojowe. Wydawnictwo Lampart 1996.
- [7] Walentynowicz J.: Historia rozwoju silników cieplnych. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Lotnictwa, Warszawa 2011 r.
- [8] http://www.renk.newsfactory.de/cms_media/objekte/39-trans_hswl256.pdf, 09.2012.
- [9] http://www.renk.newsfactory.de/cms_media/objekte/37-trans_hswl106.pdf, 09.2012.
- [10] http://www.renk.de/e_fahrzeuggetriebe_hswl284m.htm, 09.2012.
- [11] http://www.renk.newsfactory.de/cms_media/objekte/42-trans_hswl354.pdf, 09.2012.
- [12] <http://www.army-guide.com/eng/product1465.html>, 09.2012.
- [13] <http://www.army-guide.com/eng/product1446.html>, 09.2012.
- [14] <http://www.army-guide.com/eng/product3922.html>, 09.2012.
- [15] http://www2.1-3com.com/cps/cps/hmpt_800hp.htm, 09.2012.
- [16] <http://www.army-guide.com/eng/product270.html>, 09.2012.
- [17] <http://www.army-guide.com/eng/product3978.html>, 09.2012.
- [18] <http://www.army-guide.com/eng/product3532.html>, 09.2012.
- [19] <http://www.davidbrown.com/tracked-vehicles.php>, 09.2012.
- [20] <http://www.renk.eu/index2.php?pageid=70&pub=2>, 09.2012.

MODERN POWER TRANSMISSION SYSTEMS FOR TRACKED VEHICLES

Abstract: The paper presents and compares technical specifications of power transmission systems of tracked combat vehicles, particularly of hydromechanical systems used therein. Selected types of power transmission systems are discussed, from pre-WWII designs to currently used hydraulic torque converters. Specifications of transmissions used in modern tracked vehicles are compared. Major technical and performance specifications of transmissions are listed in a table along with the tracked vehicle type the transmission is assigned to.

Keywords: tracked vehicles, power transmission systems, hydromechanical power transmission system.