

Wykorzystanie urządzeń hydrostatycznych w układach napędowych spalinowych pojazdów trakcyjnych typu autobus szynowy

Artykuł jest poświęcony układom napędowym stosowanym od wielu lat w pojazdach szynowych pomocniczych i specjalnych. Zaprezentowano w nim ogólne opisy układów napędowych i wykorzystanych w nich urządzeniach hydrostatycznych w wózkach motorowych, pociągach sieciowych i do utrzymania sieci trakcyjnej oraz w pojazdach szynowo-drogowych. Wykorzystując doświadczenia zdobyte w projektowaniu układów napędowych pojazdów pomocniczych i specjalnych przedstawiono propozycje wykorzystania urządzeń hydrostatycznych w budowie układów napędowych możliwych do zastosowania w autobusach szynowych przeznaczonych do obsługi ruchu pasażerskiego na liniach drugorzędnych. W zakończeniu przedstawiono przewidywane korzyści wynikające z zastosowania układów napędowych.

1. Wstęp

Ostatnie lata charakteryzują się ożywieniem na rynku przewozów pasażerskich na liniach lokalnych, podmiejskich i regionalnych. Prowadzone są obecnie próby reaktywowania przewozów na liniach nieużywanych od wielu lat, które wymagać będą szczegółowych przeglądów i napraw w szczególności torów i podtorza, peronów, wiat i ewentualnie budynków stacyjnych oraz układów związanych ze sterowaniem ruchem kolejowym i bezpieczeństwem ruchu.

Do prób przejścia tych linii i wprowadzenia do ruchu pociągów pasażerskich obsługiwanych najczęściej lekkimi pojazdami trakcyjnymi (autobusami szynowymi) dążą zarówno prywatni operatorzy kolejowi jak i działające na rynku przewozowym i powstające koleje regionalne finansowane z funduszy marszałkowskich.

Przewoźnicy ci będą zapewne zainteresowani zakupem tanich, prostych w obsłudze i niezawodnych lekkich pojazdów o uproszczonej konstrukcji gwarantujących jednocześnie bezpieczeństwo eksploatacji dla przewożonych pasażerów i obsługi.

Obecnie w kraju eksploatowane są lekkie pojazdy trakcyjne (autobusy szynowe) w których stosowane są następujące konfiguracje układów napędowych [1]:

- spalinowe z przekładnią hydrauliczną (hydro-mechaniczną)
- spalinowo-elektryczne z przekładnią elektryczną
- elektryczne.

Zdaniem autora należałoby rozważyć wdrożenia do eksploatacji również innych prostych i tanich lekkich pojazdów szynowych mających swój pierwowzór w autobusach drogowych wyposażonych w układy napędowe oparte na urządzeniach hydrostatycznych stosowanych ponadto w pociągach sieciowych, ma-

szynach torowych, wózkach motorowych oraz w niektórych konstrukcjach pojazdów szynowo-drogowych.

Pozwoliłoby to również na zmniejszenie ceny pojazdu oraz obniżenie kosztów eksploatacyjnych. Do rozważenia jest również wprowadzenie tego typu układów dla autobusów szynowych wycofywanych z eksploatacji.

W dalszej części artykułu postaramy się przedstawić koncepcje układów napędowych w oparciu o lekkie silniki spalinowe, pompy i silniki hydrostatyczne jako alternatywa do stosowanych obecnie układów napędowych autobusów szynowych.

2. Układy napędowe hydrostatyczne pojazdów pomocniczych, specjalnych oraz pojazdów szynowo-drogowych

Układy napędów hydrostatycznych są stosowane przede wszystkim do napędu pojazdów pomocniczych i specjalnych takich jak wózki motorowe, pociągi sieciowe, pojazdy do utrzymania torów, pojazdy do utrzymania sieci i oświetlenia oraz pojazdy szynowo-drogowe. Należy również zaznaczyć, że napędy hydrostatyczne stosowane są z powodzeniem w zagranicznych lekkich lokomotywach spalinowych przeznaczonych do prac manewrowych oraz prowadzenia pociągów osobowych (najczęściej w ruchu turystycznym) w trudnych terenach górskich i podgórskich.

Obecnie w kraju napędy hydrostatyczne zastosowane zostały w pojazdach pomocniczych i specjalnych produkowanych przez Zakład Pojazdów Szynowych w Stargardzie Szczecińskim [8, 9, 10, 11] oraz w pojeździe szynowo-drogowym przeznaczonym do

oczyszczania infrastruktury tramwajowej opracowanym i wykonanym na bazie samochodu Iveco Eurocargo Model 140E18W przez Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu [4].

Identyczne napędy w pojazdach szynowo-drogowych zostały zastosowane w samochodach Iveco produkowanych przez firmy „Astride” Costamasnaga S.A. i „Sivć” S.A. (Włochy) oraz w samochodach firmy Mercedes wykonanych przez Spezialfahrzeugaufbau und Kabeltechnik GmbH z Halle (Niemcy) oraz Stalder – Fahrzeuge A G Bussnang (Szwajcaria) [3].

2.1. Układ napędowy wózka motorowego WM-15H.00

Układ napędowy wózka motorowego typu WM-15.00 składa się z silnika spalinowego, przystawki napędowej, przekładni osiowej oraz hydraulicznego układu napędu jazdy [10].

Wysokoprężny silnik spalinowy firmy Deutz o mocy 240 kW napędza poprzez koło zamachowe i sprzęgło podatne zespół pomp hydraulicznych wytwarzających ciśnienie w obwodach hydrauliki jazdy oraz hydrauliki roboczej pojazdu.

Przekładnie osiowe zamontowane na obu zestawach kołowych są przekładniami dwustopniowymi kątowymi – pierwszy stopień tworzy para kół zębatach stożkowych, drugi natomiast para kół zębatach walcowych. Przekładnia jest zawieszona na ramie wózka za pośrednictwem elastycznego cięgła.

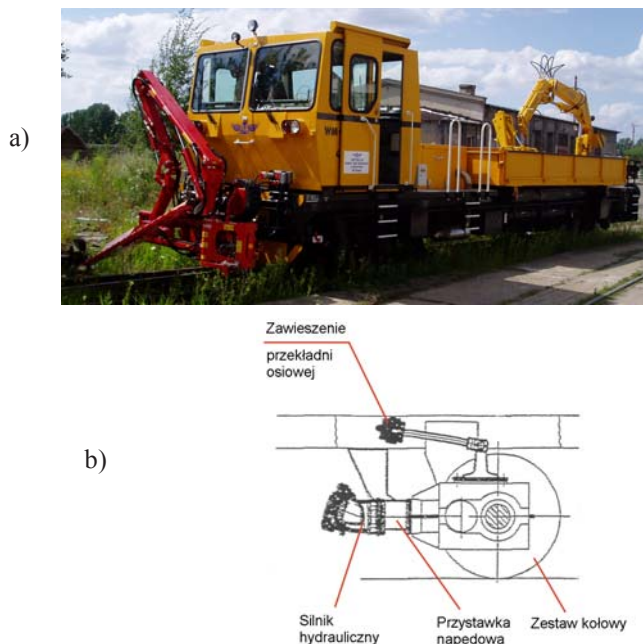
Układ hydrauliczny napędu jazdy składa się z:

- wysokociśnieniowej pompy tłokowo-osiowej o zmiennym wydatku i zmiennym kierunku tłoczenia
- wysokociśnieniowych tłokowych silników hydraulicznych o zmiennej chłonności oleju, mocowanych za pośrednictwem przystawki napędowej do przekładni osiowej
- chłodnicy powietrznej z wentylatorem napędzanym oraz zbiornika oleju
- sterownika elektronicznego umożliwiającego w sposób automatyczny sterowanie wydatkiem pompy hydraulicznej z zależności od obciążenia oraz prędkości jazdy wózka
- bloku zaworowego zabezpieczającego silnik spalinowy przed nadmiernym i niekontrolowanym wzrostem obrotów podczas hamowania hydraulicznego.

Sterowanie jazdą wózka może być automatyczne lub ręczne.

Zastosowany w wózku układ biegowy jest układem typowym dla wagonów towarowych dwuosiowych i umożliwia eksploatację pojazdu z prędkościami do 80 km/h.

Widok ogólny wózka motorowego oraz układu napędowego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1 – Wózek motorowy typu WM-15H.00 (a) wraz z układem napędowym (b)

2.2. Układ napędowy pociągu sieciowego PS-00.M/B i pojazdu do utrzymania sieci i oświetlenia PUSiO.05

Hydrostatyczny układ napędowy pociągów sieciowych typu PS-00.M/B oraz pojazdu do utrzymania sieci i oświetlenia typu PUSiO.05 składa się z silnika spalinowego, przekładni osiowej oraz hydraulicznego układu napędu jazdy.

W pojeździe typu PS-00.M/B zastosowano silnik spalinowy wysokoprężny firmy Deutz typu TCD 2015 V 064V o mocy 240 kW natomiast w pojeździe PUSiO.05 silnik spalinowy firmy Deutz typu TCD 2013 o mocy 181 kW [8, 11].

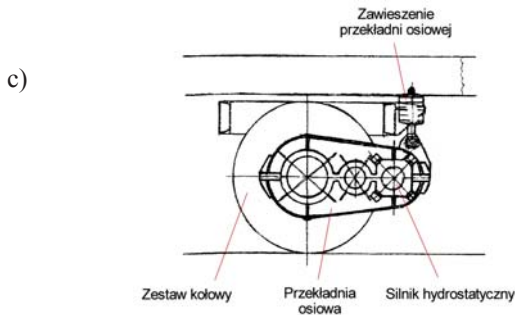
W obu pojazdach zabudowano ten sam typ przekładni osiowej typu P-35. Jest to dwustopniowa przekładnia zębata o kołach walcowych, zębatach prostych oraz osiach równoległych i służy do przeniesienia napędu z silnika hydrostatycznego na koła jezdne oraz do rozłączenia napędu na czas transportu pojazdów w składzie pociągu lub holowania.

Hydrauliczny układ napędu jazdy składa się z pompy hydraulicznej, dwóch silników hydrostatycznych, chłodnicy i zbiornika oleju oraz elektronicznego sterownika i jest identyczny jak dla wózka motorowego typu WM-15H.00.

Sterowanie jazdą może odbywać się w sposób automatyczny, ręczny oraz za pośrednictwem fal radiowych. Układ jezdny obu pojazdów jest zbudowany z dwóch zestawów kołowych napędnych, które prowadzone są przez układ prowadników wzdłużnych.

Układ zawieszenia jest jednostopniowy wykorzystujący sprężyny śrubowe oraz tłumiki hydrauliczne.

Widok ogólny pojazdów PS-00.M/B i PUSiO.05 oraz zastosowanego w nich układu napędowego przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2 – Pociąg sieciowy PS-00.M/B (a) i pojazd do utrzymania sieci i oświetlenia PUSiO. (b) oraz zastosowany w nich układ napędowy (c)

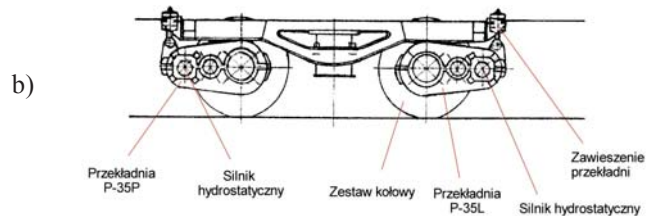
2.3. Układ napędowy uniwersalnego ciągnika szynowego UCS-40.00

Układ napędowy uniwersalnego ciągnika szynowego typu UCS-40.00 tworzą [9]:

- wysokoprężny silnik spalinowy firmy Caterpillar typu C18 ACERT o mocy 522 kW
- przekładnie osiowe dwustopniowe, zębate o kołach walcowych, zębach prostych i osiach równoległych (identyczne jak dla pojazdów PS-00.M/B i PUSiO.05)
- hydrauliczny układ napędu jazdy składający się z dwóch pomp hydraulicznych, czterech silników hydrostatycznych, dwóch chłodziaczy oleju, zbiornika oleju oraz elektronicznego sterownika jazdy.

Układ biegowy ciągnika tworzą dwa dwuosiowe wózki typu 27TN i 27TNa zaprojektowane specjalnie dla maszyn torowych.

Widok ogólny uniwersalnego ciągnika szynowego typu UCS-40.00 oraz zastosowanego w nim układu napędowego przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3 – Uniwersalny ciągnik szynowy typu UCS-40.00 (a) i zastosowany w nim układ napędowy (b)

2.4. Układ napędowy pojazdu szynowo-drogowego TC do oczyszczania infrastruktury tramwajowej

Układ napędowy pojazdu szynowo-drogowego typu TC do oczyszczania infrastruktury tramwajowej składa się z pompy hydrostatycznej o zmiennej wydajności i zmiennym kierunku tłoczenia napędzanej z silnika spalinowego o mocy 134 kW bazowego samochodu Iveco Eurocargo [4]. Pompa hydrostatyczna napędza osiowe silniki hydrostatyczne pracujące w układzie szeregowym [5]. Silniki hydrostatyczne (bez hamulca, z hamulcem) przykręcane są bezpośrednio do wahaczy. Napęd z silników hydrostatycznych jest przekazywany na rolę jezdnią za pośrednictwem specjalnej tarczy łożyskowej w wahaczu.

Widok ogólny pojazdu szynowo-drogowego wraz z widokiem na przedni układ napędowy przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4 – Pojazd szynowo-drogowy typu TC do oczyszczania infrastruktury tramwajowej (a) oraz jego przedni układ napędowy (b)



Prędkości eksploatacyjne przedstawionych pojazdów są niewielkie i nie przekraczają 80 km/h. Nie oznacza to, że w innej konfiguracji nie będzie można jej zwiększyć do około $100 \div 110$ km/h, a więc wystarczającej dla lekkich pojazdów szynowych przeznaczonych do eksploatacji w ruchu pasażerskim na liniach drugorzędnych [6, 7].

3. Koncepcje układów napędowych z wykorzystaniem urządzeń hydrostatycznych

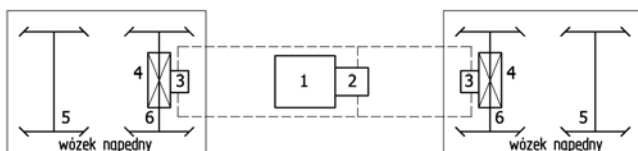
Eksploatacja układów napędowych hydrostatycznych w pojazdach pomocniczych pozwala na „optymizm” w ich zastosowaniu również w napędach lekkich pojazdów, zwanych autobusami szynowymi, przeznaczonych przede wszystkim do wykorzystania w ruchu pasażerskim na liniach drugorzędnych i wydzielonych.

Wprowadzenie nowego typu napędu może dać następujące korzyści [2]:

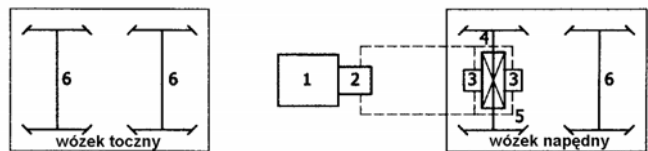
- obniżenia masy pojazdów w wyniku rezygnacji z ostrych wymagań wytrzymałościowych
- uproszczenia układów pociągowo-zderznych (np. jak dla tramwajów)
- wycofania z pojazdów części urządzeń związanych z bezpieczeństwem ruchu
- rezygnacja ze skomplikowanych urządzeń rejestrujących
- uproszczenia układu hamulca (możliwe zastosowanie hamulca pneumatycznego lub hydraulicznego)
- uproszczenia układów sterowania i diagnostyki (w tym rezygnacja ze sterowania wielokrotnego).

Nowe układy napędowe byłyby oparte o urządzenia (pompy i silniki) hydrostatyczne, które znalazły zastosowanie również w pomocniczych maszynach torowych i sieciowych [3 ÷ 11].

Pierwszy i drugi z układów zaprezentowanych na rys. 5 i 6 jest układem tradycyjnym z jedną pompą i dwoma silnikami hydrostatycznymi możliwym do zastosowania w lekkim pojeździe szynowym (jednoczłonowym autobusie szynowym) z wózkami dwuosiowymi.

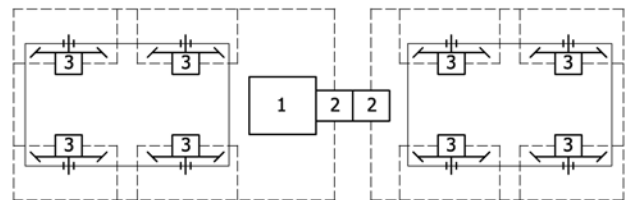


Rys. 5 – Układ napędowy z jedną pompą i dwoma silnikami hydrostatycznymi szybkoobrotowymi o zmiennej chłonności: 1 – silnik spalinowy; 2 – pompa hydrostatyczna; 3 – silnik hydrostatyczny; 4 – przekładnia osiowa; 5 – zestaw kołowy toczny; 6 – zestaw kołowy napędny



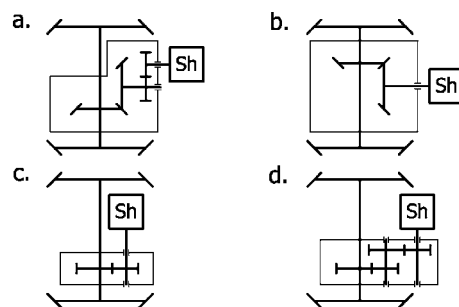
Rys. 6 – Układ napędowy z jedną pompą i dwoma silnikami hydrostatycznymi szybkoobrotowymi o zmiennej chłonności (napęd na jeden zestaw kołowy) 1 – silnik spalinowy; 2 – pompa hydrostatyczna; 3 – silnik hydrostatyczny; 4 – przekładnia osiowa; 5 – zestaw kołowy napędny; 6 – zestaw kołowy toczny.

Natomiast trzeci (o konfiguracji podobnej dla pojazdów szynowo-drogowych) wymagać będzie przebudowy wózków trakcyjnych i zastosowania kół (rezygnacja z całkowitych osi) z indywidualnym napędem.



Rys. 7 – Układ napędowy z silnikami hydrostatycznymi zamontowanymi na osiach kół 1 – silnik spalinowy; 2 – pompa hydrostatyczna; 3 – silnik hydrostatyczny.

Biorąc pod uwagę możliwości pomp i silników hydrostatycznych można by było podjąć próbę wprowadzenia napędów hydrostatycznych (dla autobusów jedno- i dwuczłonowych) z wykorzystaniem takich urządzeń. W układach tych możliwe byłoby do zastosowania przekładnie osiowe przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8 – Układ przekładni osiowych
a – dwustopniowa (stożkowa i walcowa); b – jednostopniowa (stożkowa); c – jednostopniowa (walcowa); d – dwustopniowa (walcowa)

4. Wstępny dobór urządzeń hydrostatycznych oraz określenie charakterystyki trakcyjnej

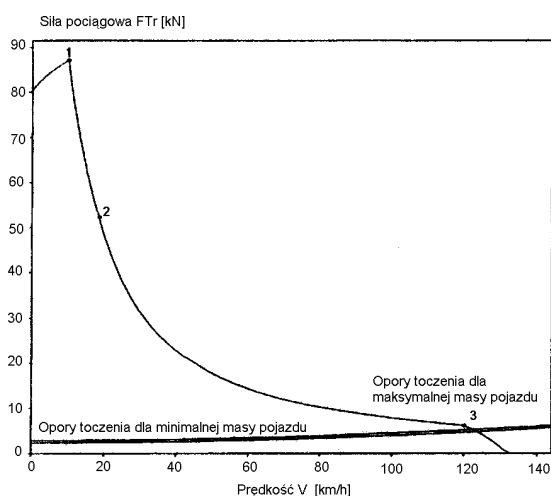
Dla udowodnienia możliwości wykorzystania urządzeń hydrostatycznych w układzie napędowym typowego (eksploatowanego) autobusu szynowego przeprowadzono wstępną analizę i obliczenia symulacyjne dla następujących danych wyjściowych autobusu jednoczłonowego:

- masa własna / z pasażerami 47/57 Mg
- max. siła pociągowa 85 kN

- max. prędkość eksploatacyjna 120 km/h
- przełożenie przekładni ≤ 7
- promień koła 920 mm
- liczba osi $2 \div 4$
- moc silnika spalinowego $380 \div 400$ kW
- prędkość obrotowa silnika spalinowego $600 \div 2100$ obr/min.

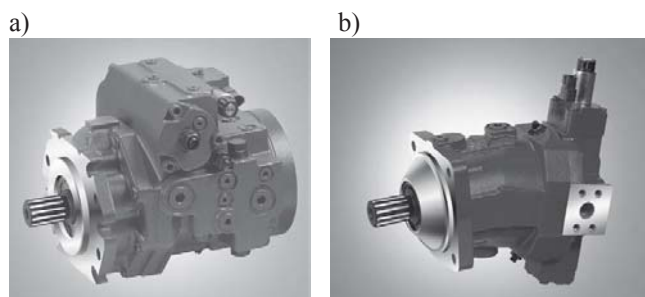
Wyniki analizy wykazały, że istnieje możliwość realizacji napędu hydrostatycznego z wykorzystaniem dwóch pomp hydrostatycznych typu A4V6 175/40 o mocy 346,3 kW oraz czterech silników hydrostatycznych typu A6VM280/71 firmy Rexroth Bosch [12, 13].

Uzyskane parametry dla autobusu jednoczłonowego z wózkami dwuosiowymi przedstawiono w tabeli 1, a charakterystykę trakcyjną na rys. 9.

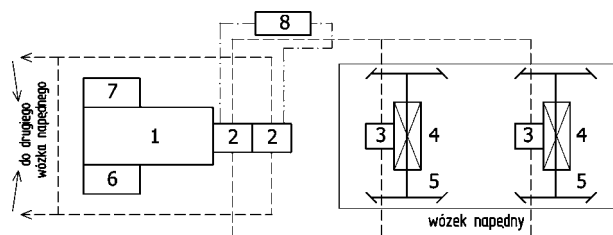


Rys. 9 – Charakterystyka trakcyjna autobusu szynowego jednoczłonowego z wózkami dwuosiowymi

Dobrane główne urządzenia hydrostatyczne układu napędowego przedstawiono na rys. 10, a propozycje układu napędowego dla autobusu jednoczłonowego na rys. 11.

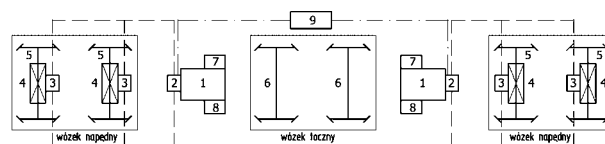


Rys. 10 – Główne urządzenia hydrostatyczne w proponowanym układzie napędowym hydrostatycznym a) – pompa hydrostatyczna typu A4VG 175/40 o mocy 364,3 kW; b) – silnik hydrostatyczny A6VM280/71



Rys. 11 – Propozycja układu napędowego autobusu szynowego jednoczłonowego z dwoma napędnymi wózkami dwuosiowymi: 1 – silnik spalinowy; 2 – pompa hydrostatyczna; 3 – silnik hydrostatyczny; 4 – przekładnia osiowa; 5 – zestaw kołowy napędny; 6 – prądnica (alternator); 7 – sprężarka; 8 – sterownik mikroprocesorowy

Dla autobusu szynowego dwuczłonowego proponujemy układ zdwojony przy czym moce pomp i silników hydrostatycznych będą dwukrotnie wyższe. Propozycję takiego układu napędowego w zastosowaniu do autobusu dwuczłonowego z dwoma dwuosiowymi wózkami napędnymi przedstawiono na rys. 12.



Rys. 12 – Propozycja układu napędowego autobusu szynowego jednoczłonowego z dwoma napędnymi wózkami dwuosiowymi: 1 – silnik spalinowy; 2 – pompa hydrostatyczna; 3 – silnik hydrostatyczny; 4 – przekładnia osiowa; 5 – zestaw kołowy napędny; 6 – zestaw kołowy toczny; 6 – prądnica (alternator); 8 – sprężarka; 9 – sterownik mikroprocesorowy

Nie należy również wykluczyć innych konfiguracji układów napędowych np. w zastosowaniu do autobusów szynowych wyposażonych w wózki jednoosiowe.

5. Podsumowanie

W pojazdach do przewozu pasażerów na liniach drugorzędnych wykorzystywane lekkie pojazdy szynowe (autobusy) wyposażone są najczęściej w przekładnie hydrauliczne, a następnie w przekładnie elektryczne, przy czym jednostką napędową pozostaje zawsze silnik spalinowy. Należy jednak zastanowić się nad innym rodzajem napędu wykorzystującego pompy i silniki hydrostatyczne. Byłoby to alternatywne rozwiązanie dla nowych rodzajów napędów, a jednocześnie uproszczenie układu w którym zastosowano by mniej skomplikowane i łatwiejsze w utrzymaniu urządzenia hydrostatyczne.

Ponadto uproszczeń należy się spodziewać w innych systemach i układach pojazdów takich jak np.: układy sterowania, hamulcowe oraz obniżenia wymagań w zakresie wytrzymałości konstrukcji, urządzeń pociągowo-zderznych oraz układów związanych z bezpieczeństwem ruchu i rejestracją parametrów pracy pojazdu.

O wdrożeniu takich układów zarówno dla autobusów nowych jak i modernizowanych zdecyduje przede wszystkim rachunek ekonomiczny oraz zainteresowanie użytkowników takim rodzajem pojazdów do przewozu pasażerów.

Literatura

- [1] Marciniak Z.: *Propozycja układu napędowego dla krajowych autobusów szynowych do ruchu regionalnego* *Pojazdy Szynowe* 2004, nr 2.
- [2] Marciniak Z.: *Układy napędowe lekkich pojazdów szynowych z wykorzystaniem urządzeń hydrostatycznych. Materiały XIX Konferencji Naukowej „Pojazdy Szynowe” Targanice/k. Andrychowa, 2010.*
- [3] Marciniak Z., Medwid M.: *Pojazdy szynowo-drogowe. Wydawnictwo Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Pojazdów Szynowych, Poznań, 1999.*
- [4] Medwid M., Przepióra K.: *Pojazd szynowo-drogowy do oczyszczania infrastruktury tramwajowej. Pojazdy Szynowe, 2003, nr 4.*
- [5] Pomierski W.: *Hydrostatyczny napęd jazdy oraz roboczy pojazd szynowo-drogowego do oczyszczania infrastruktury tramwajowej. Pojazdy Szynowe* 2004, nr 3 i 4.
- [6] Pomierski W.: *Analiza wybranych hydrostatycznych napędów jazdy pod kątem ich własności trakcyjnych. Materiały Seminarium Technicom 05, Gdańsk 2005.*
- [7] Pomierski W.: *Hydrostatyczny napęd jazdy i robocze w wybranych budowanych w kraju maszynach torowych. Materiały Seminarium PPM-T Gdańsk, 2006.*
- [8] *Dokumentacja techniczno-ruchowa pociągu sieciowego typu PS-00.M/B, PS-00.M/B-80-0. Materiały ZPS Stargard Szczeciński.*
- [9] *Dokumentacja techniczno-ruchowa i instrukcja obsługi uniwersalnego ciągnika szynowego typu UCS-40.00. Materiały ZPS Stargard Szczeciński.*
- [10] *Dokumentacja techniczno-ruchowa – Instrukcja obsługi wózka motorowego typu WM-15H.00, WM-15H.00-80-0. Materiały ZPS Stargard Szczeciński.*
- [11] *Dokumentacja techniczno-ruchowa – Instrukcja obsługi pojazdu utrzymania sieci i oświetlenia typu PUSiO.05, PUSiO.05-80-0. Materiały ZPS Stargard Szczeciński.*
- [12] *Axial Piston Variable Pump A4VG. Katalog pomp hydrostatycznych firmy Rexroth Bosch.*
- [13] *Axial Piston Variable Pump A4VM. Katalog silników hydrostatycznych formy Rexroth Bosch.*