

Układy napędowe krajowych autobusów szynowych dla ruchu lokalnego

W artykule przedstawiono wymagania stawiane nowoczesnym układom napędowym stosowanym w autobusach szynowych z napędem spalinowym do ruchu z prędkościami do 120 km/h. Zaprezentowano również w miarę szczegółowe opisy eksploatowanych układów napędowych zastosowanych w krajowych autobusach szynowych. W zakończeniu podano parametry jakie winny cechować układ napędowy autobusu z napędem spalinowym. Artykuł powstał w wyniku realizacji projektu badawczego KBN 9T12C04919 pt. „Opracowanie i wybór na podstawie badań symulacyjnych układu napędowego i biegowego autobusu szynowego dla ruchu lokalnego”.

1. Wstęp

Układem napędowym nazywamy ogólnie zespół urządzeń służących do przeniesienia momentu obrotowego, wytwarzanego przez silnik (najczęściej spalinowy), na osie napędne trakcyjnego pojazdu szynowego. W skład zespołu wchodzi urządzenia takie jak silniki napędne, przekładnie główne, wały napędne i przekładnie osiowe, które pośredniczą w przenoszeniu momentu (mocy) i łączą silnik spalinowy z zestawami kołowymi napędnymi. Oprócz przeniesienia mocy układ napędny winien spełniać dodatkowe zadanie, jakim jest pełne wykorzystanie mocy silnika w możliwie szerokim zakresie prędkości pojazdu, a więc jak najlepsze spełnienie wymagań trakcyjnych.

Ponadto układ napędowy winien zapewniać możliwość zmiany kierunku obrotów zestawu kołowego oraz umożliwiać odłączenie silnika od osi napędnej (w czasie rozruchu, postoju przy pracującym silniku i konieczności holowania). Ogólnie ze względu na zastosowany układ napędowy, autobusy szynowe, zwane lekkimi pojazdami do obsługi ruchu pasażerskiego na liniach lokalnych i znaczenia miejscowego, dzielimy na:

- z napędem spalinowym i najczęściej przekładnią hydrauliczną (hydrodynamiczną),
- z napędem spalinowo – elektrycznym i przekładnią elektryczną,
- z napędem elektrycznym.

W krajowych autobusach i tych, których konstrukcje powstały w końcu lat 90-tych i tych, które weszły do eksploatacji na początku XXI wieku, zastosowano układ napędowy składający się z silnika spalinowego i przekładni głównej typu hydraulicznego.

W artykule opisano wymagania stawiane układom napędowym z napędem spalinowym oraz dokonano przeglądu konstrukcji układów napędowych krajowych autobusów szynowych, które są już eksploatowane i tych, które w najbliższym czasie wejdą do eksploatacji na liniach lokalnych.

2. Wymagania dla układów napędowych autobusów szynowych z napędem spalinowym

Dla układów napędowych, w których zastosowane zostały hydrauliczne lub hydromechaniczne przekładnie główne

napędzane silnikiem spalinowym, a takie stosowane są tylko w układach napędowych krajowych autobusów szynowych, nie ma sprecyzowanych szczegółowych wymagań, a jedynie zasadnicze zadania. Zadania te, znając ogólne właściwości silników spalinowych, a w szczególności dostosowanie ich do potrzeb trakcyjnych, można sprecyzować następująco [1]:

- umożliwienie zmiany stałego momentu obrotowego silnika spalinowego na zmienny moment obrotowy na zestawach kołowych napędnych, dostosowanej do aktualnej prędkości autobusu,
- umożliwienie w szerokim zakresie zmiany przełożenia między silnikiem spalinowym a osią napędną tzn. zmianę stosunku prędkości obrotowej wału korbowego silnika i prędkości obrotowej osi napędnej autobusu w taki sposób, aby dla ograniczonego zakresu prędkości obrotowej silnika zestawu kołowe napędne obracały się z prędkościami obrotowymi, zapewniającymi ruch autobusu od prędkości zerowej do prędkości maksymalnej,
- umożliwienie zmiany kierunku obrotu zestawu kołowego napędnego (do przodu, do tyłu) mimo jednokierunkowości obrotu wału korbowego silnika spalinowego,
- możliwość odłączenia silnika spalinowego od zestawu kołowego napędnego podczas rozruchu autobusu oraz podczas jego postoju na przystankach i stacjach (przy pracującym silniku)
- zwartość budowy, pozwalająca na uzyskanie jak największej przestrzeni dla pasażerów.

Dla zapewnienia w/w głównych zadań układy napędowe wyposażone są w przekładnie główne, sprzęgła, przekładnie osiowe, przekładnie nawrotne i wały przegubowe.

Jedynymi elementami w układach napędowych, dla których sprecyzowane są szczegółowe wymagania, są silniki spalinowe.

Ogólnie w autobusach szynowych winny być stosowane silniki wysokoprężne o wtrysku bezpośrednim, chłodzone cieczą, spełniające wymagania przepisów międzynarodowych, charakteryzujące się następującymi właściwościami:

- jednostkowe zużycie paliwa < 210 g/kWh,
- jednostkowe zużycie oleju smarowego < 0,5% jednostkowego zużycia paliwa,
- czas pracy do naprawy głównej > 20000 h,
- czas pracy do przeglądu tłoków > 10000 h,
- skład spalin minimum wg Euro II [8]

Ponadto moc jednostkowa silnika nie powinna być niższa niż 10 kW na 1 tonę masy własnej autobusu. Moc ta winna zapewnić przyspieszenia rozruchowe w granicach $0,6 \pm 0,8 \text{ m/s}^2$. Zaprezentowane szczegółowe zadania i wymagania stanowią ogólne podstawy dla doboru układu napędowego autobusu szynowego, a ich spełnienie jest wymagane przez potencjalnego zamawiającego i użytkownika autobusu.

3. Przegląd konstrukcji układów napędowych autobusów szynowych

W Polsce na szlakach kolejowych eksploatowanych jest niewiele pojazdów szynowych, zwanych autobusami szynowymi, budowanych w pojedynczych egzemplarzach lub w małych seriach przez następujące zakłady:

- Kolejowe Zakłady Maszyn Kolzam w Raciborzu (KZM Kolzam),
- Poznańskie Zakłady Naprawcze Taboru Kolejowego w Poznaniu (PZNTK),
- Pojazdy Szynowe PESA w Bydgoszczy (PESA).

Wszystkie autobusy szynowe, które są eksploatowane lub w najbliższej przyszłości wejdą do eksploatacji, posiadają jeden rodzaj układu napędowego, składającego się następujących głównych zespołów: silnika spalinowego, przekładni głównej hydraulicznej, wałów przegubowych przenoszących napęd z przekładni głównej na osie napędowe oraz przekładni osiowych jedno lub dwustopniowych z nawrotnicą lub bez, w zależności od zastosowanej przekładni głównej.

W pierwszych mikrobusach i autobusach produkowanych zarówno przez KZM Kolzam jak i PZNTK wykorzy-

stywano w budowie układów napędowych materiały, zespoły (silniki spalinowe, przekładnie) oraz urządzenia produkcji krajowej, najczęściej z przemysłu motoryzacyjnego, a więc w wielu przypadkach nie spełniające podstawowych wymagań trakcji szynowej i zawodne w eksploatacji.

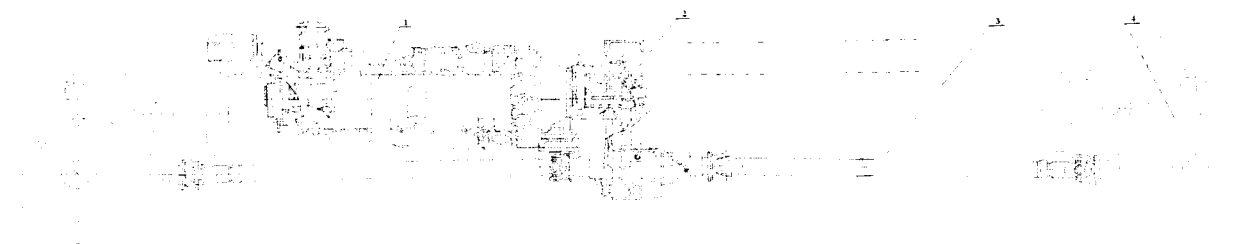
Dopiero w połowie lat dziewięćdziesiątych zaczęto stosować sprawdzone w eksploatacji lekkich pojazdów szynowych (autobusów) zespoły i urządzenia zagraniczne. Dotyczyło to szczególnie silników spalinowych z firm: MAN, MTU, Deutz i Raba, przekładni głównych z firm: Voith, ZF Passau lub Friedrichshafen oraz przekładni osiowych z firm: Gmeinder, Voith lub ZF.

Dalsza część artykułu jest poświęcona prezentacji układów napędowych, które znalazły zastosowanie w krajowych autobusach szynowych, zarówno w tych starszych konstrukcjach jak i w tych, które od niedawna eksploatowane są na sieciach Polskich Linii Kolejowych.

3.1. Układ napędowy autobusu 208M (SA 104/ SA 122)

Układ napędowy autobusu składa się z wysokoprężnego silnika spalinowego, zblokowanego bezpośrednio z hydrokinetyczną skrzynią biegów, przekazującą napęd poprzez wały napędowe typu Cardana na przekładnie osiowe przedniego i tylnego wózka jezdneho członu napędowego. Układ napędów został tak dobrany, że możliwa jest jazda awaryjna przy przekazywaniu napędu na jedną przekładnię osiową poprzez jeden wał napędowy. Widok ogólny układu napędowego przedstawiono na rys. 1

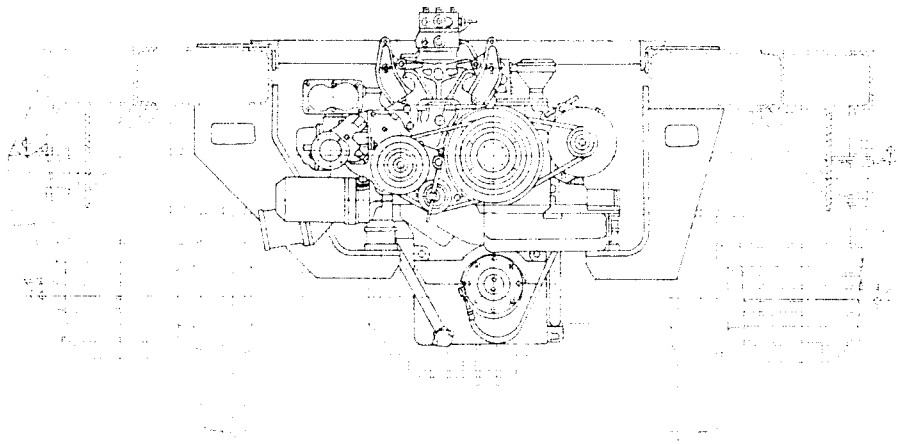
a)



b)



c)



Rys. 1 Układ napędowy autobusu szynowego 208M (SA 104/SA 122)

a) widok z boku, b) widok z góry, c) widok od czoła silnika, 1-silnik spalinowy 6R183AA12H firmy MTU, 2-przekładnia główna (skrzynia biegów) 3WG200 firmy ZF Passau, 3 - wał napędowy, 4 - przekładnia osiowa

Układ napędowy autobusu 208M powstał na bazie doświadczeń uzyskanych przy budowie mikrobusu szynowego WOA-22 (później WOA 29 i MS29) i autobusu szynowego serii SN 81. W mikrobusie źródłem napędu był sześciocylin-drowy, rzędowy silnik typu SW400/A9 o mocy 92 kW z Wytwórni Silników Wysokoprężnych „Andoria” w Anrychowie, współpracujący z przekładnią hydrokinetyczną i mechaniczną skrzynią biegów [10].

W autobusie SN81 układ napędowy składał się początkowo z takiego samego silnika jak w mikrobusie szynowym MS29.

Napęd przenoszony był poprzez suche sprzęgło jednotarczowe do mechanicznej skrzyni biegów, mającej pięć przełożeń do jazdy do przodu i jedno do jazdy do tyłu.

Regulowanie prędkości autobusu odbywało się tak jak w samochodzie poprzez ręczną zmianę biegów i operowanie pedałami sprzęgła i przyspieszenia. Taka konstrukcja układu wymagała zabudowania w każdym członie oddzielnego zespołu przekazującego napęd na jeden zestaw kołowy.

Przy jeździe w określonym kierunku pracował tylko silnik w członie prowadzącym a drugi był wyłączony. Uproszczenie sterowania osiągnięto więc za cenę wyposażenia pojazdu w drogi, zbędny w pracy trakcyjnej zespół napędowy.

W następnych autobusach serii SN81 zabudowano silnik z doładowaniem serii 6CT107 o mocy 110 kW [10].

Nabyte doświadczenia w latach późniejszych zaowocowały opracowaniem konstrukcji autobusu dwuczłonowego, która początkowo miała oznaczenie AS-66-04 a później 208M [1, 2, 12].

Do napędu autobusu 208M zastosowano sześciocylin-drowy czterosuwowy silnik chłodzony wodą typu 6R183AA12H firmy MTU, spełniający wymagania toksyczności spalin wg Euro I.

Silnik ten jest wykonywany na bazie silnika firmy Mercedes Benz typu OM447h i przystosowany przez firmę MTU do napędu pojazdów szynowych. Jest silnikiem rzędowym o poziomym (leżącym) układzie cylindrów. Taka konstrukcja silnika pozwala na tzw. zabudowę podpodłogową, a po połączeniu ze specjalnie dobraną skrzynią biegów umożliwia bezpośrednie przeniesienie napędu na dwie osie. Sterowanie

silnikiem i jego wyłączenie realizowane jest za pomocą pneumatycznego proporcjonalnego układu siłownik – zawór firmy Rexroth, co umożliwia płynną zmianę obrotów oraz równoczesne sterowanie dwoma silnikami w przypadku jazdy wielokrotnej.

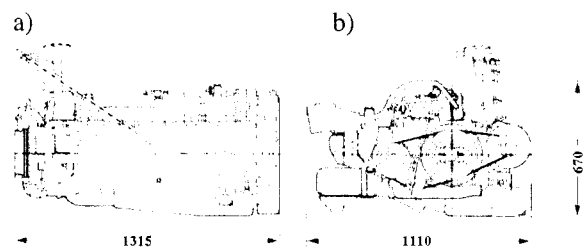
Podstawowe dane silnika są następujące:

- maksymalna moc – 157 kW przy 2200 obr/min,
- maksymalny moment – 750 Nm (w zakresie 1000÷1400 obr/min),
- ilość cylindrów – 6,
- pojemność cylindrów – 11,96 dm³,
- stopień sprężania – 18:1
- średnica cylindra / skok tłoka – ø 128 / 155 mm,
- średnia prędkości tłoka – 11,4 m/s,
- obroty rozruchu – ~ 120 obr/min,
- rozrusznik (Bosch):

 - moc – 5,4 kW,
 - masa – 16 kg,
 - napięcie zasilania – 24 V,

- obroty biegu jałowego – 600 obr/min,
- pojemność przestrzeni wodnej – 15,0 dm³,
- pojemność miski olejowej – max 21 dm³,
- masa silnika – 785 kg,
- wskaźnik masowy – 5,0 kg/kW,
- trwałość (okres pracy do naprawy gł.) – 20000 h pracy (przebieg ~ 1 mln km)

Widok ogólny silnika spalinowego przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2 Silnik spalinowy 6R183AA12H firmy MTU do autobusu szynowego 208M a) widok z przodu, b) widok z boku

Silnik spalinowy zblokowany jest z nawrotną, przełączalną pod obciążeniem, automatyczną skrzynią biegów typu 3WG200 firmy ZF z Passau.

Praca skrzyni biegów jest kontrolowana przez mikroprocesowy układ elektroniczny. Skrzynia biegów jest wyposażona w przekładnię hydrokinetyczną (zmiennik momentu) o współczynniku dynamicznym $i = 1,77$ umożliwiającą bezstopniową zmianę momentu. Prawidłową temperaturę pracy zmiennika utrzymuje włączony w obieg chłodzenia silnika rurowy wymiennik ciepła.

Poszczególne biegi są załączane za pomocą wielopłytkowych sprzęgieł.

W celu zwiększenia sprawności ogólnej układu napędowego przekładnia hydrokinetyczna jest wyposażona w blokadę uruchamianą automatycznie. Zastosowana przekładnia stwarza możliwość ręcznej i automatycznej zmiany biegów, za pomocą sterownika zabudowanego na pulpicie sterowniczym.

Sterownik realizuje jednocześnie zmianę biegów i zmianę kierunku jazdy. Skrzynia biegów jest zamocowana kolnierzo do silnika spalinowego. Na wyjściu skrzyni są zamontowane sprzęgła kłowe sterowane elektrycznie, które umożliwiają rozłączenie napędu w przypadku holowania awaryjnego lub też podczas jazdy wielokrotnej przy pracującym jednym silniku.

Podstawowe dane techniczne skrzyni biegów są następujące:

- maksymalna moc wejściowa – 190 kW,
- maksymalny moment wyjściowy – 1450 Nm,
- maksymalna prędkość obrotowa – 2600 obr/min,
- liczba biegów – 3,
- przełożenie biegów do jazdy w przód i tył:
 - 1 bieg – 5,986,
 - 2 bieg – 2,594,
 - 3 bieg – 1,178.

Zastosowana skrzynia biegów jest rozwiązaniem nowoczesnym a jej układ elektroniczny zabezpiecza ją przed nieprawidłową eksploatacją. Możliwość wyboru ręcznej lub automatycznej zmiany biegów jest pomocna przy eksploatacji na torach o specyficznych ukształtowaniach, przy konieczności manewrowania, a ponadto czyni eksploatację tej skrzyni przejrzystą i przyjemną.

Ze skrzyni biegów napęd przenoszony jest poprzez wały napędowe na przekładnię osiową, jednostopniową, zębatą, o przełożeniu 2,58 i maksymalnej przenoszonej mocy równej 200 kW [12].

3.2. Układ napędowy autobusów szynowych 207M (SA 101/SA 121) i SA 102A/SA 111/SA 102B

Autobus szynowy SA 101/ SA 121 jest pojazdem dwuczłonowym, natomiast autobus typu SA 102A/ SA 111/ SA 102B jest pojazdem trójczłonowym. Pojazdy w zależności od konfiguracji mogą posiadać dwa układy napędowe – po jednym w każdym skrajnym członie lub jeden układ napędowy tylko w jednym członie skrajnym. Usytuowane są one pod podłogą i napędzają oś wózków napędnych typu 6MN.

W pierwszym autobusie prototypowym, składającym się z dwóch wagonów: silnikowego o oznaczeniu przemysłowym 207M i doczepnego o oznaczeniu 207Mr (w późniejszym okresie wagon silnikowy otrzymał oznaczenie kolejowe SA 101, a doczepny SA 121) [9], zespół napędowy składał się z silnika spalinowego wysokoprężnego z doładowaniem w

rzędowym pionowym układzie cylindrów o następujących parametrach:

- typ – SW 680/59/15,
 - producent – PZL Mielec,
 - moc maksymalna – 180 kW,
 - maksymalny moment obrotowy – 900 Nm,
 - prędkość obrotowa – 2200 obr/min,
 - jednostkowe zużycie paliwa – 215 g/kWh,
 - doładowanie – turbosprężarka z chłodzeniem,
 - system chłodzenia – ciecz
- zblokowanym z przetwornikiem hydraulicznym typu ZM 370.40.

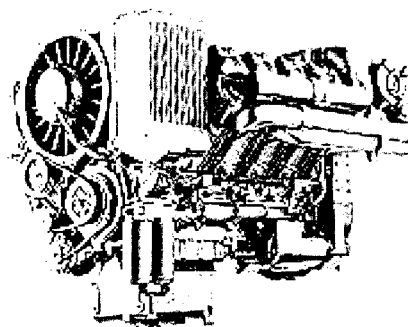
Moment obrotowy był przekazywany wałem przegubowym Cardana do sterowanej hydraulicznie czterobiegowej mechanicznej skrzyni biegów SN – 185.44A/K5.

Zestaw kołowy napędzany był bezpośrednio za pośrednictwem dwustopniowej przekładni osiowej o przełożeniu 1:5,14 zabudowanej na osi.

Negatywne doświadczenie z prawie dwuletniej eksploatacji pierwszego autobusu w latach 1991+1992 z zastosowanymi zespołami krajowymi spowodowało, że w następnym autobusie trójczłonowym o oznaczeniu kolejowym SA 102A/ SA 111/ SA 102B (dwa wagony napędne i jeden wagon doczepny) w skład zespołu napędowego wybrano wysokoprężny silnik spalinowy firmy KHD-Deutz typu BF6L 513RC o następujących parametrach:

- moc znamionowa – 200 kW,
- prędkość obrotowa – 2300 obr/min,
- prędkość obrotowa minimalna (biegu luzem) – 600 obr/min,
- maksymalny moment obrotowy – 1000 Nm,
- średnica cylindrów / skok tłoka – 125/130 mm,
- pojemność skokowa – 9,5 dm³,
- stopień sprężania – 15,8,
- zużycie jednostkowe paliwa – 209 g/kWh,
- zużycie jednostkowe oleju – 15 g/kWh,
- toksyczność spalin (wg ORE B13) – CO – 2,64,
- NO_x – 18,62,
- CH – 0,51
- masa – 895 kg,
- gabaryty (dł. x szer. x wys.) – 1390 x 830 x 1036

Silnik BF6L 513RC jest silnikiem sześciocylindrowym w układzie rzędowym – pionowym z doładowaniem turbosprężarką i chłodzeniem powietrznym. Widok ogólny silnika przedstawiony na rys. 3.



Rys. 3 Widok ogólny silnika firmy KHD-Deutz dla autobusu typu 207M

Chłodzenie powietrzem ułatwiło zdecydowanie rozruch silnika w niskich temperaturach. Silnik współpracował z przekładnią hydromechaniczną firmy Clark, składającą się ze zmiennika momentu zintegrowanego z 4-biegową skrzynią przekładniową.

Pracą przekładni sterował układ mikroprocesorowy samoczynnie reagując na zmiany obciążenia, dobierając optymalne parametry pracy układu napędowego i zabezpieczając go przed przeciążeniami.

Rozwiązanie przekładni Clarka typowe dla samochodów ciężarowych w zastosowaniu do autobusu wykazało wiele mankamentów, z których najważniejsze było jej smarowanie tylko przy pracującym silniku (w przypadku awarii jednego silnika kontynuacja jazdy była niemożliwa na drugim silniku) oraz duża rozpiętość przełożeń, co powodowało w praktyce rozruch z drugiego biegu.

W związku z tym w dalszych autobusach szynowych dokonano zabudowy przekładni typu T211 rz firmy Voith.

Układ napędowy autobusów serii SA 101 oraz SA 102 tworzyć zaczęły następujące zespoły: silnik spalinowy KHD-Deutz typu BF6L 513RC, przekładnia T211 rz firmy Voith, wał napędowy oraz jednostopniowa przekładnia osiowa [3, 15, 16].

Przekładnia główna przedstawiona na rys. 4, ma zdolność przenoszenia mocy do 235 kW i jest przekładnią dwubiegową z jednym zmiennikiem momentu i jednym sprzęgłem hydraulicznym. Przeniesienie napędu odbywa się przez napełnienie odpowiedniego obwodu hydraulicznego – zmiennika momentu lub sprzęgła hydraulicznego. Zmiana biegów odbywa się automatycznie, płynnie i bez zużycia części – tylko przez napełnienie i opróżnienie stosowanych obwodów hydraulicznych.

Zmiana kierunku jazdy odbywa się tylko na postoju za pomocą zintegrowanej, mechanicznej przekładni nawrotnej. Przekładnie te charakteryzują się automatycznym, płynnym i

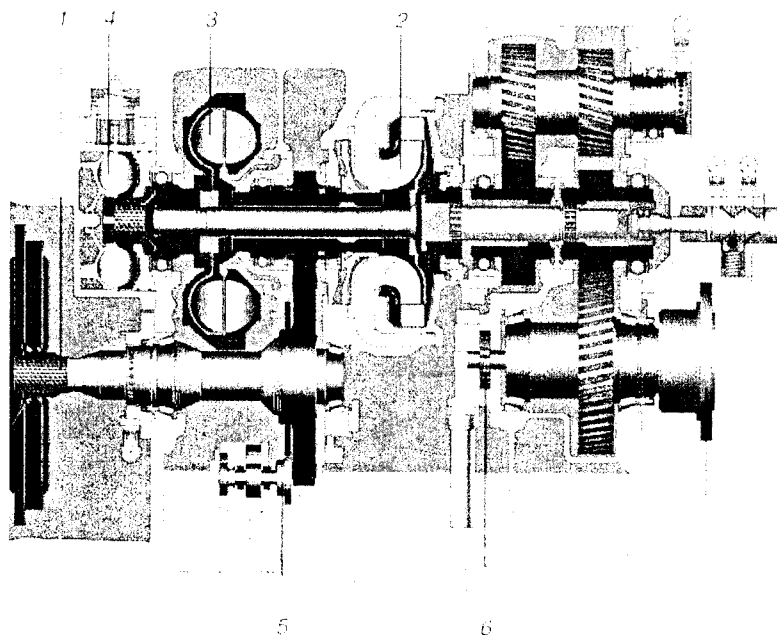
bezstopniowym dopasowaniem siły pociągowej do oporów ruchu, wysokim momentem rozruchowym, minimalną ilością urządzeń sterowniczych i kontrolnych, niskimi kosztami obsługi i utrzymania oraz dużą żywotnością (1 mln km przebiegu do naprawy).

Przekładnia osiowa zabudowana jest na osi napędnej i jest przekładnią jednostopniową o przełożeniu 3,73, smarowaną rozbryzgowo.

Moment reakcyjny jest przenoszony na ramę wózka poprzez ramię reakcyjne i drążek z amortyzatorem gumowym [5].

3.3. Układ napędowy autobusu 214M (SA 106)

Układ napędowy jednoczłonowego autobusu szynowego 214M [7] tworzy zintegrowany zespół napędowy Voith Power Pack wraz z umieszczanym na dachu układem chłodzenia, wał napędowy i przekładnie osiowe. W skład zespołu wchodzi silnik spalinowy typu D2842 o mocy 480 kW firmy MAN, wysokoprężny, czterosuwowy, dwunastocylindrowy w układzie widlastym, o wtrysku bezpośrednim, chłodzony wodą, spełniający wymagania Euro II w zakresie czystości spalin (podstawowe parametry tego silnika przedstawiono w tabeli 1) [4] oraz hydrodynamiczna przekładnia typu T212bre firmy Voith. Przekładnia ta wyposażona jest w hamulec hydrodynamiczny (retarder), posiada moc wejściową 400 kW, maksymalny moment 2700 Nm, masę około 1150 kg i jest przeznaczona do zastosowania w lekkich pojazdach szynowych do zabudowy podpodłogowej. Przekładnia jest połączona za pośrednictwem kołnierza bezpośrednio do silnika spalinowego. Przenoszenie mocy następuje poprzez sprzęgło elastyczne Voith (tłumik drgań skrętnych).



Rys. 4 Przekładnia główna typu T211 rz firmy Voith
1 – wał wejściowy, 2 – przekładnia hydrodynamiczna,
3 – sprzęgło hydrodynamiczne, 4 – retarder, 5 – pompa
napełniająca i sterująca, 6 – zmiennik kierunku obrotów,
7 – wał wyjściowy

Tabela 1

Parametry silników spalinowych firmy MAN

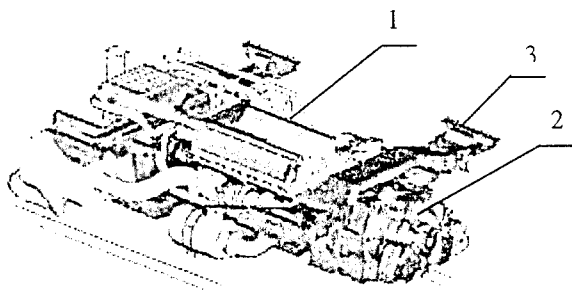
Lp	Typ silnika Parametr	Jedn.	Wielkość														
			D2866 LUE601	D2866 LUE603	D2866 LUE602	D2866 LUH21	D2866 LU	D2866 LU	D2866 LU	D2866 LU	D2876 LUH60 I	D2876 LUH02	D2842 LE603	D2842 LE602	D2842 LE606	D2866 DUH02	D2866 LUH01
1.	Moc	kW	210	230	300	257	228	265	301	294	316	480	500	588	662	170	228
2.	Obroty maksymalne	obr/min	2100	2100	2100	2000	1900	1900	1900	2000	2000	1550	2100	2100	2100	2200	2000
3.	Maksymalny moment obrotowy	Nm	1152	1294	1730	1500	1400	1700	1850	1730	1850	3100	2900	3200	3300	860	1250
4.	Obroty przy maksymalnym momencie	obr/min	1300+ 1400	1300	1200+ 1500	800+ 1600	1000+ 1300	1000+ 1300	1000+ 1300	1000+ 1500	1000+ 1500	1300	1200+ 1500	1200+ 1600	1300+ 1600	1000	1200+ 1600
5.	Pojemność skokowa	dm ³	11,97	11,97	11,97	11,97	11,97	11,97	11,97	12,81	12,81	21,93	21,93	21,93	21,97	11,97	11,97
6.	Średnica i skok tłoka	mm	128/155	128/155	128/155	128/155	128/155	128/155	128/155	128/166	128/166	128/142	128/142	128/142	128/155	128/155	128/155
7.	Zużycie paliwa przy pełnym obciążeniu	g/kWh	207	206	193	193	190	194	193	196	197	198	198	202	229	215	215
8.	Liczba i układ cylindrów	-	6R,H	6R,H	6R,H	6R,H	6R,H	6R,H	6R,H	6R,H	6R,H	12V	12V	12V	6R,H	6R,H	6R,H

Legenda:

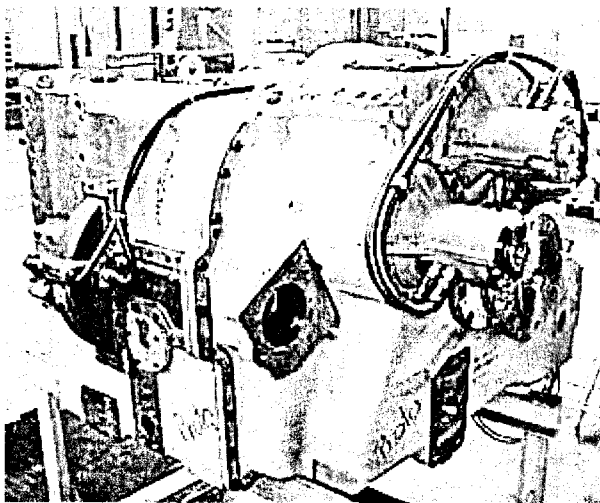
- D – silnik spalinowy
- E – silnik gazowy
- Po numerze typu
- D – silnik z katalizatorem
- L – silnik z turbodoładowaniem i chłodzeniem powietrza doładowanego
- U – zabudowa podłogowa
- E – zabudowa klasyczna
- R – silnik rzędowy
- H – silnik leżący
- V – silnik widlasty

Przenoszenie sił w obrębie przekładni realizowane jest za pomocą trzech obiegów hydrodynamicznych, a zmiana biegów następuje bez tarcia i zrywania siły pociągowej. Dzięki obiegom hydrodynamicznym strona pierwotna i wtórna są od siebie odseparowane. Przekładnia posiada zintegrowany układ nawrotny i wyposażona jest w sterowanie mikroprocesorowe, przejmujące wszystkie funkcje sterujące i nadzorujące pracę przekładni poprzez elektrohydrauliczne zawory magnetyczne i czujniki.

Widok ogólny zespołu napędowego Voith Power Pack przedstawia rys. 5, a przekładni typu T212 bre rys. 6



Rys. 5 Zespół napędowy autobusu 214M
1 – silnik spalinowy, 2 – przekładnia główna, 3 – rama



Rys. 6 Przekładnia główna typu T212 bre firmy Voith autobusu 213M

Cały zespół napędowy zabudowany jest na ramie nośnej (Flexframe), wykonanej jako konstrukcja spawana. Zespół silnik – przekładnia zawieszony jest na ramie za pośrednictwem trzech elementów elastycznych, a cała rama mocowana jest do ostoi autobusu za pośrednictwem czterech elastycznych elementów ślizgowych.

Moment obrotowy z kołnierza wyjściowego przekładni głównej do przekładni osiowej przekazują dwa wały przegubowe długości 1300 mm Transmit typ 225.7, poprzez wałek

pośredni o długości 960 mm w obrębie wózka pomiędzy przekładniami osiowymi.

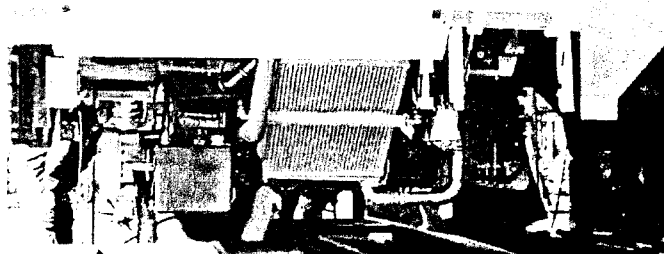
Do napędu zestawów kołowych wózka dwuosowego służą dwie przekładnie osiowe KE456 i SK456 firmy Voith.

Z wału przegubowego przekładni osiowej moment przekazywany jest na tarcze wejściowe przekładni osiowej a stąd poprzez pierwszy stopień przełożenia i stożkowe koła zębate na jedną oś napędną za pomocą przekładni odboczkowej SK456 o przełożeniu 3,519 a dalej poprzez przekładnię kątową z kołami zębatymi stożkowymi na drugą oś za pomocą przekładni KE456 o przełożeniu 2,053.

Reakcje przekładni na przenoszony moment obrotowy przenoszą drążki reakcyjne, ułożyskowane elastycznie w ramie wózka [13].

3.4. Układ napędowy autobusu 213M (SA 105)

Układ napędowy autobusu jednoczłonowego typu 213M zabudowany jest przed wózkiem jednoosiowym napędym na końcu pojazdu i składa się z silnika spalinowego, przekładni głównej, wału napędowego i przekładni osiowej. Widok ogólny układu przy podniesionym autobusie przedstawia rys. 7.



Rys. 7 Widok ogólny układu napędowego autobusu 213M

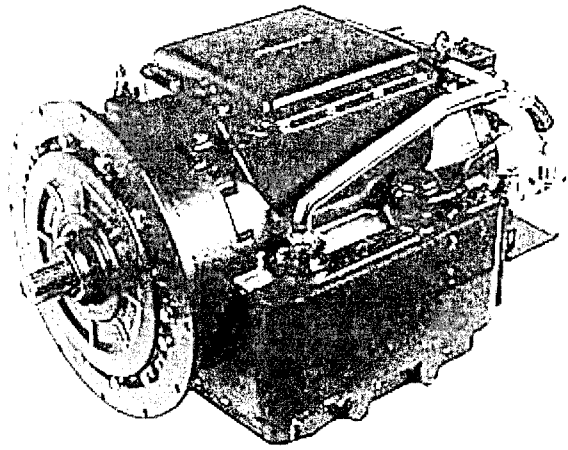
Jako jednostkę napędową zastosowano silnik wysoko-średni, sześciocylindrowy, czterosurowy, rzędowy, poziomy (leżący), o wtrysku bezpośrednim, chłodzony wodą, spełniający wymagania normy Euro II w zakresie czystości spalin [7].

Podstawowe parametry silnika są następujące:

- wytwórca – MAN Niemcy,
- typ – D2866,
- moc – 250 kW,
- obroty maksymalne – 2000 obr/min,
- maksymalny moment obrotowy – 1500 Nm w zakresie 1000÷1500 obr/min,
- jednostkowe zużycie paliwa – 193 g/kWh,
- jednostkowe zużycie oleju – 0,5% zużycia paliwa,

Pozostałe parametry silnika, oraz innych z rodziny D2866, które mogą być zastosowane w autobusie, przedstawiono w tabeli 1 [4].

Do silnika podłączona jest kołnierzowo automatyczna przekładnia z hamulcem hydrodynamicznym typu DIWA863.3 firmy Voith, przedstawiona na rys. 8 [14].



Rys. 8 Widok ogólny przekładni DIWA 863.3 firmy Voith

Budowa przekładni jest prosta, logiczna i przejrzysta.

Jądrem przekładni jest przekładnia hydromechaniczna, zaprojektowana jako tzw. przekładnia przeciwbieżna. Przed nią znajduje się hamulec pompy, sprzęgło przełączeniowe, przekładnia różnicowa służąca do rozdziału mocy silnika i sprzęgło wejściowe. Znajdująca się za przekładnią hydrodynamiczną przekładnia planetarna sumuje strumień mocy hydraulicznej i mechanicznej. Ostatni w kolejności mecha-

nizm planetarny załącza bieg wsteczny i uruchamia podczas hamowania pojazdu funkcję retardera.

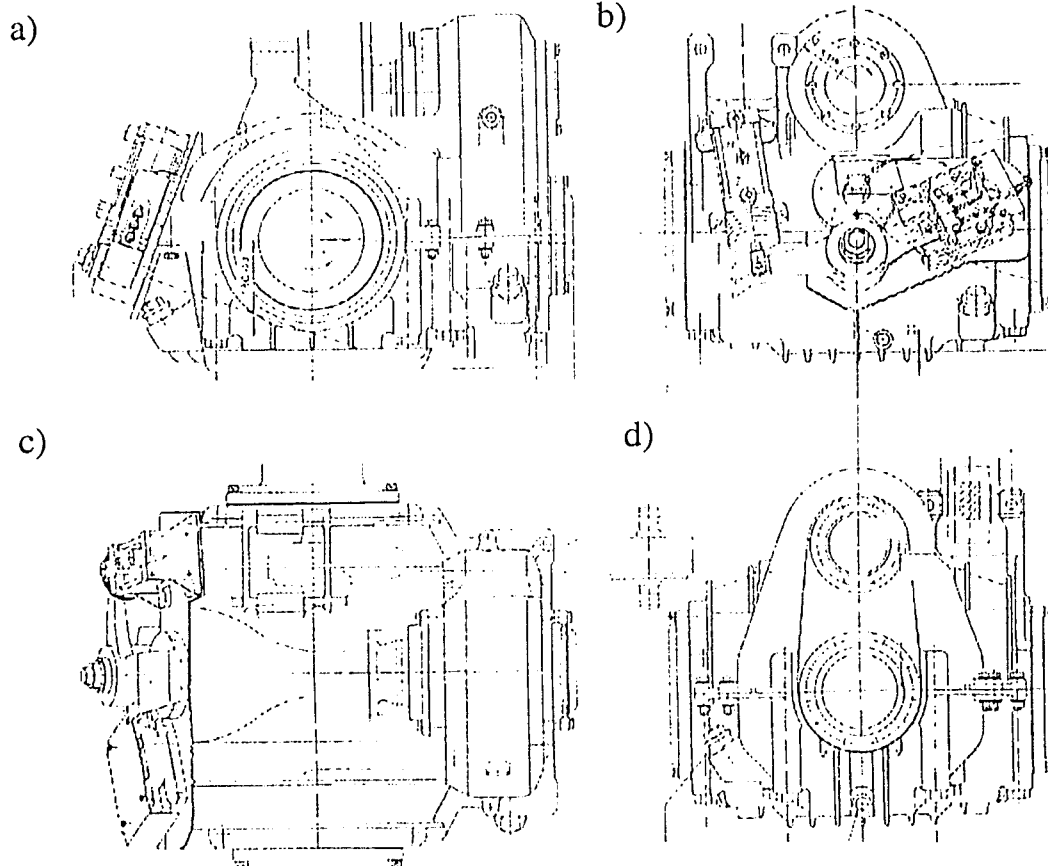
Hydrauliczny tłumik drgań skrętnych umieszczony na wejściu do przekładni redukuje drgania silnika. Załączanie kolejnych biegów następuje na drodze elektrohydraulicznej za pomocą zaworów elektromagnetycznych.

Wymiennik ciepła przekładni jest włączony do układu chłodzenia autobusu.

Ponadto w skład układu napędowego wchodzi: chłodnica wody i powietrza doładowania z wentylatorem i jego hydrostatycznym napędem (ze zmienną prędkością obrotową w zależności od ilości ciepła), tłumik wydechu, filtr powietrza ssącego, prądnica, sprężarka i skraplacz klimatyzacji.

Wszystkie elementy zamontowane są na wspólnej ramie i połączone za pomocą podparć elastycznych z ramą podwozia autobusu. Zaletą takiej zabudowy jest łatwość demontażu zespołu z autobusu, co znacznie skraca czas postoju przy naprawach bieżących i awaryjnych.

Na oś napędną wózka napęd przekazywany jest przez wał przegubowy, za pośrednictwem nawrotnej przekładni osiowej typu GM198 firmy Gmeinder, której widok ogólny przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9 Widok ogólny przekładni osiowej nawrotnej firmy Gmeinder dla autobusu szynowego 213M a) widok od strony osi zestawu kołowego, b) widok od tyłu, c) widok z góry, d) widok od strony przekazania napędu.

3.5. Układ napędowy autobusu szynowego typu 211M (SA 107)

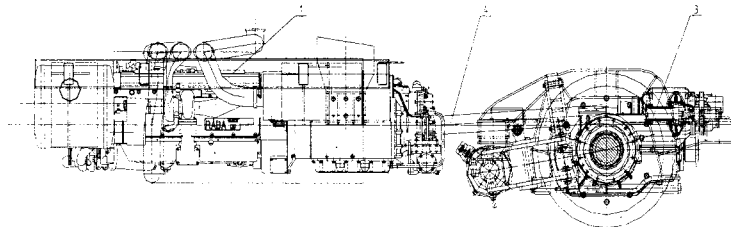
Układ napędowy autobusu 212M stanowi zespół napędowy, składający się z silnika spalinowego, przekładni hydromechanicznej, wału przegubowego (Cardana) oraz przekładni osiowej nawrotnej, zabudowanej na wózku napędym. Ele-

menty całego układu zabudowane są pod podłogą w części czołowej przed wózkiem [6].

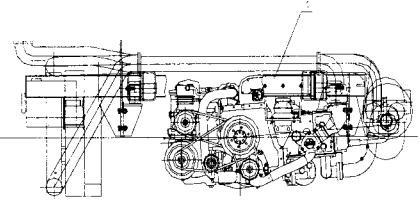
Dzięki zastosowaniu takiego rozwiązania uzyskano nowoczesne podpodłogowe przeniesienie napędu oraz pełną przestrzeń dla pasażerów.

Widok ogólny całego układu napędowego prezentuje rys. 10.

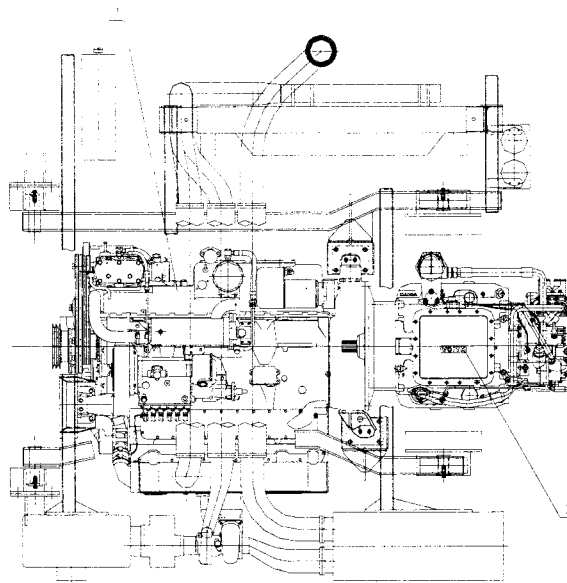
a)



b)



c)



Rys. 10 Widok ogólny układu napędowego autobusu 211M

a) widok z boku autobusu, b) widok od czoła autobusu,

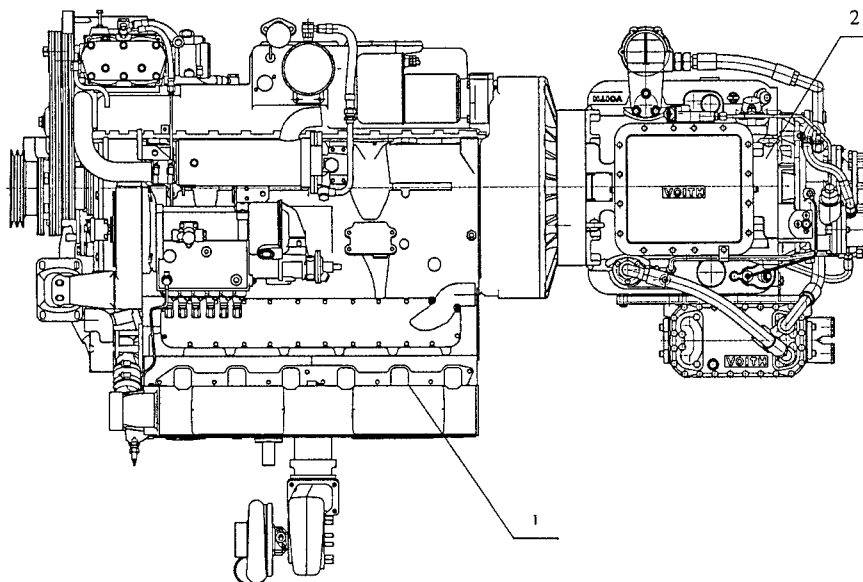
b) c) widok z góry

1 – silnik spalinowy, 2 – przekładnia główna (skrzynia biegów),
3 – przekładnia osiowa, 4 – wał przegubowy

Zespół napędowy składa się z wysokoprężnego silnika spalinowego oraz zablokowanej z nim hydromechanicznej przekładni (skrzyni biegów). Napęd z silnika (koła zamachowego) przekazywany jest poprzez tłumik drgań skrętnych na zmiennik momentu przekładni hydromechanicznej.

Zespół napędowy jest zabudowany na odrębnej ramie pośredniej, podwieszanej do nadwozia poprzez elementy elastyczne.

Rama pośrednia zespołu jest zarazem elementem mocującym kompletny osprzęt danego zespołu jak: elementy układu chłodzenia silnika i skrzyni biegów, filtr powietrza, elementy wydechu, układ podgrzewania zimnego silnika itp. Widok ogólny zespołu napędowego przedstawiono na rys. 11.



Rys. 11 Zespół napędowy autobusu 211M
1 – silnik spalinowy, 2 – przekładnia główna (skrzynia biegów)

Do napędu autobusu zastosowano silnik typu D10 UTSLL – 190 E2 firmy RABA [17].

Silnik typu D10 UTSLL jest silnikiem wysokoprężnym, czterosuwowym, rzędowym o poziomym układzie cylindrów, chłodzonym wodą (cieczą). Silnik wyposażony jest w doładowanie z jednoczesnym chłodzeniem powietrza doładowanego. Posiada mechaniczny system regulacji wtrysku, sterowania i kontroli pracy oraz elektroniczne zewnętrzne zadawanie prędkości obrotowej silnika poprzez odpowiedni nastawnik, współpracujący z komputerem pokładowym autobusu.

Silnik spełnia wymagania normy EURO II dotyczące czystości spalin.

Charakterystykę ogólną zastosowanego silnika przedstawiono w tabeli 2.

W przypadku większego zapotrzebowania mocy istnieje możliwość zastosowania silnika o mocach 206 lub 235 kW (tabela 2).

Do zespołu napędowego przewidziano hydromechaniczną jednokierunkową przełączalną pod obciążeniem automatyczną przekładnię serii DIWA 864.3 firmy Voith, o następujących parametrach: [14]

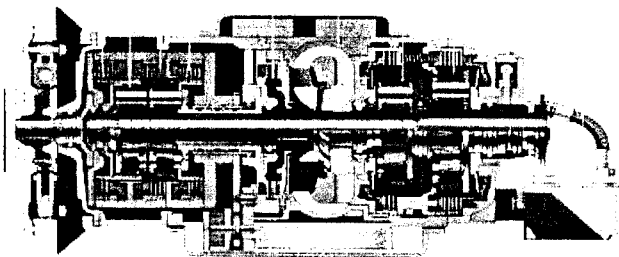
- max moc wejściowa - 300 kW,
- max moment na wejściu - 1500 Nm,
- max obroty na wejściu - 2300 obr/min
- liczba biegów - 4,
- przełożenie biegów
 - 1 bieg – 5,2,
 - 2 bieg – 1,36,
 - 3 bieg – 1,0,
 - 4 bieg – 0,73
- masa - 315 kg

Tabela 2

Parametry silników spalinowych firmy RABA MOTOR

Lp.	Typ silnika Parametr	Jednostka	Wielkość		
			D10UTSLL – 190E2	D10UTSLL – 206E2	D10UTSLL – 235E2
1.	Moc silnika	kW	190	206	235
2.	Obroty znamionowe	obr/min	1900	2100	2100
3.	Moment obrotowy	Nm	1130	1115	1334
4.	Liczba i układ cylindrów	-	6 cylindrów, rzędowy, poziomy		
5.	Średnica i skok tłoka	mm	121/150		
6.	Rodzaj wtrysku	-	Bezpośredni		
7.	Pojemność całkowita	dm ³	10, 35		
8.	Stopień sprężania	-	17:1		
9.	Zużycie paliwa (charakterystyka optymalna)	g/kWh	194,9	199,4	199,8
10.	Rodzaj rozruchu, moc rozrusznika	-	Elektrycy (24V DC), 5,4 kW		
11.	Zużycie oleju smarującego	%	0,5% zużytego paliwa		
12.	Minimalna temperatura rozruchu	°C	- 18		
13.	Temperatura płynu chłodzącego	°C	78 ÷ 85		
14.	Temperatura oleju smarującego	°C	85 ÷ 95		
15.	Sposób doładowania	-	Doładowanie przez sprężarkę napędzaną spalinami		
16.	Chłodzenie powietrza doładowanego	-	Chłodnicą powietrze/powietrze		

Przekrój przez przekładnię prezentuje rys. 12.



Rys. 12 Przekładnia główna DIWA 864.3 firmy Voith – przekrój 1 - przekładnia hydrodynamiczna przeciwbieżna, 2 - hamulec pompy, 3 - sprzęgło przełączeniowe, 4 - przekładnia różnicowa 5 - sprzęgło wejściowe, 6 - przekładnia planetarna 7 - przekładnia planetarna biegu wstecznego i retardera, 8 - tłumik drgań skrętnych, 9 - wymiennik ciepła 10 - sprzęgło do załączania 3-ciego biegu mechanicznego

Przekładnia składa się z:

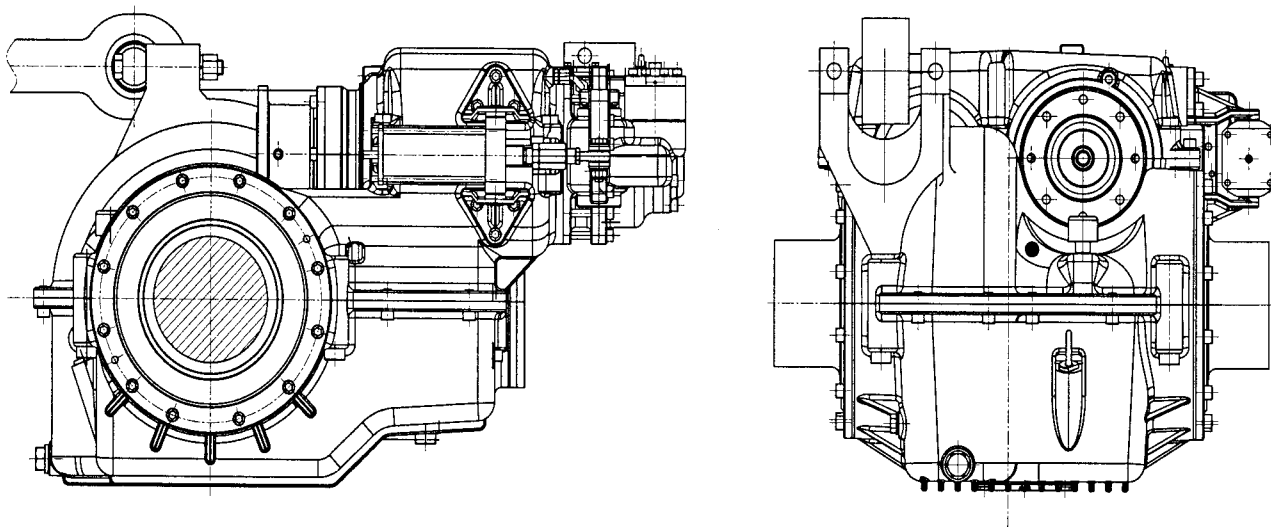
- przekładni hydrokinetycznej (zmiennika momentu), umożliwiającej bezstopniową zmianę momentu obrotowego poprzez układ dyferencjału z mechaniczną częścią (przekładnia planetarna) przekazania napędu. Takie przekazanie napędu, zwane węzłem sumacyjnym, występuje na pierwszym biegu. Przy biegach wyższych przekazanie napędu odbywa się wyłącznie poprzez mechaniczną część przekładni,

- zwalnicza hydrodynamicznego (retardera), umożliwiającego stopniowe lub bezstopniowe wyhamowywanie autobusu do prędkości pieszego. Zadanie zwalnicza i zmiennika realizowane jest poprzez zmianę obiegu hydraulicznego tej samej turbiny,
- hydromechanicznej przekładni planetarnej, gdzie poszczególne biegi załączane są za pomocą wielopłytkowych sprzęgieł hydraulicznych na drodze elektromagnetycznej,
- układu hydraulicznego, spełniającego następujące funkcje: napełnianie zespołu zmiennik/retarder, zasilanie układu załączania biegów i blokady zmiennika, smarowania oraz odprowadzania ciepła z przekładni hydrodynamicznej (zmiennika momentu) i zwalnicza hydrodynamicznego (retardera),
- układu chłodzenia oleju układu hydraulicznego. Układ ten stanowi zintegrowany wymiennik woda-olej, zabudowany z boku lub na końcu korpusu przekładni,
- układu sterowania elektrohydraulicznego poprzez sterownik mikroprocesorowy typu E-200. Sterownik ten poprzez szynę CAN komunikuje się z układem sterowania autobusu.

Ponadto w skład zespołu napędowego wchodzi następujące obwody i układy:

- obwód chłodzenia powietrza doładowania silnika,
- obwód chłodzenia zasadniczego silnika i chłodzenia oleju przekładni głównej,
- układ zasilania paliwem silnika spalinowego,
- układ wydechu spalin silnika spalinowego.

Przeniesienie napędu z przekładni głównej na zestaw kołowy realizuje wał przegubowy i przekładnia osiowa typu TKKR 16 – 200 firmy GDB (Ganz David Brown).



Rys. 13 Przekładnia osiowa typu TKKR 16-200 firmy GDB dla autobusu 211M

Przekładnia ta, przedstawiona na rys. 13 jest przekładnią zębatą dwustopniową, z jednym stopniem o kołach zębatych lukowych, a drugim o kołach walcowych.

Korpus przekładni stanowi odlew stalowy. Przekładnia posiada mechanizm zmiany kierunków obrotów (nawrotnicę), realizujący jazdę w przód, luz, jazdę w tył. Przełączanie odbywa się na drodze elektropneumatycznej, natomiast sterowanie nadzorowane jest przez komputer pokładowy. Koła zębate są wykonane ze stopowej stali konstrukcyjnej wyższej jakości w celu zwiększenia jej trwałości i wytrzymałości.

Korpus przekładni zawieszony jest za pomocą łącznika reakcyjnego na ramie wózka. Elastyczność zawieszenia oraz tłumienie drgań przekładni zapewniają przeguby metalowo – gumowe łącznika reakcyjnego. Przekładnia smarowana jest rozbryzgowo olejem przekładniowym.

Główne parametry techniczne przekładni prezentują się następująco:

- max przenoszona moc - 250 kW,
- max przenoszony moment - 4700 Nm,
- przełożenie przekładni - 3,336,
- masa przekładni - 536 kg,
- pojemność oleju smarującego - ok. 11 dm³

Identyczny układ napędowy zostanie zastosowany w autobusach dwuczłonowych typu 212M.

Alternatywnie w miejsce silników typu D10 UTSLL firmy RABA istnieje możliwość zastosowania silników z rodziny 2866 firmy MAN [4].

4. Podsumowanie

Wśród wielu możliwych rozwiązań konstrukcyjnych układów napędowych autobusów szynowych najczęściej spotyka się układ oparty o silnik spalinowy i przekładnię główną typu hydraulicznego (hydromechanicznego), a więc typowy układ stosowany w przemyśle motoryzacyjnym, autobusach miejskich i liniowych oraz samochodach ciężarowych.

Biorąc pod uwagę, że w Polsce przeważać będzie w już eksploatowanych i powstających konstrukcjach wyżej wymieniony napęd dla prędkości do 100 km/h na liniach drugorzędnych wskazane byłoby, aby posiadał on następujące cechy:

- prostota konstrukcji i mała masa,
- minimalne oddziaływanie na środowisko naturalne,
- minimalne koszty eksploatacji, utrzymania i napraw
- wysoka niezawodność i trwałość.

Szczegółowe wymagania jak i niektóre wartości parametrów dla układu napędowego, oraz propozycje ich rozwiązań konstrukcyjnych w zastosowaniu do krajowych autobusów szynowych, w zależności od przyjętej konfiguracji napędu, zostaną przedstawione w oddzielnym artykule. Ze względu na fakt, że obecnie na torach Polskich Linii Kolejowych eksploatowane są trzy rodzaje autobusów, w których zastosowano ten sam rodzaj napędu (silnik spalinowy – przekładnia hydrauliczna), ale różne zespoły i urządzenia, potrzeba trochę czasu aby ocenić, które z tych rozwiązań cechują się najlepszymi wskaźnikami techniczno – eksploatacyjnymi.

Może to pozwolić w przyszłości na opracowanie jednego układu, w którym byłyby zastosowane zespoły i urządzenia z jednej firmy, co umożliwi uruchomienie ich produkcji lub montażu w kraju, a tym samym obniżą się koszty wytworzenia autobusów.

Literatura

- [1] Bula Z., Marciniak Z.: *Rodzina autobusów szynowych do ruchu lokalnego. Materiały XIV Konferencji Naukowej „Pojazdy Szynowe 2000”* Kraków – Arłamów, 2000 r.
- [2] Gardas J., Marciniak Z., Wierzejewski T., Bula Z., Madecki J., Wróblewski J.: *Konstrukcja autobusu szynowego SA 104 – SA 122 do ruchu regionalnego. Materiały XII Konferencji Naukowej „Pojazdy Szynowe”* Poznań – Rydzyna 1996 r.
- [3] Goca M.: *Produkt firmy Voith w taborze kolejowym. Technika Transportu Szynowego* 1998 r., nr 9.
- [4] Kattner A.: *MAN – Motoren für Bahneinsatz ZEV+DET Glassers Annalen*. 2000 nr 2/3.
- [5] Matusik St., Suwalski R.: *Autobus szynowy SA 102A/ SA 111/ SA 102B – 002. Technika Transportu Szynowego* 1996 r., nr 6.
- [6] Marciniak Z.: *Modułowa konstrukcja wieloczłonowych autobusów szynowych dla ruchu lokalnego. Pojazdy Szynowe*, nr 2/2003 r.
- [7] Marciniak Z., Sobaś J., Pawlak Zdz., Wierzejewski T., Kaczmarek E.: *Przegląd konstrukcji autobusów szynowych, ich układów napędowych, biegowych oraz analiza i ocena ich eksploatacji i stopnia wykorzystania dla realizacji regionalnych i lokalnych zadań przewozowych. Projekt badawczy KBN nr 9T12C04919. Praca niepublikowana. IPS „TABOR”* Poznań 2000 r.
- [8] Marciniak Z., Sobaś J., Stenicki A., Wierzejewski T., Kaczmarek E.: *Wymagania stawiane układom napędowym i biegowym autobusów szynowych w świetle przepisów krajowych i międzynarodowych. Projekt badawczy KBN nr 9T12C04919. Praca niepublikowana. IPS „Tabor”* Poznań 2001 r.
- [9] Szymkowiak G.: *Opis autobusów szynowych typu SA 101/ SA 121, SA 102A/ SA 111/ SA 102B oraz propozycje autobusów szynowych Regio Tramp I i Regio Tramp II. Projekt badawczy KBN nr 9T12C04919. Praca niepublikowana. IPS „Tabor”* Poznań 2000 r.
- [10] Terczyński P.: *Autobusy szynowe PKP. Świat Kolei* 1998 r., nr 6.
- [11] Trąbicki M.: *Układy napędowe nowoczesnych spalinowych autobusów szynowych. Materiały XIV Konferencji Naukowej „Pojazdy Szynowe”* Kraków – Arłamów 2000 r.
- [12] Wróblewski J.: *Autobusy szynowe „Kolzam” w Raciborzu – perspektywy zastosowania w obrębie aglomeracji miejskich. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław* 1995 r.
- [13] *Autobus szynowy do obsługi przewozów regionalnych i aglomeracyjnych. Technika Transportu Szynowego* 2001 r., nr 10.
- [14] *Die idealen Citybusgetriebe DIWA 3. Generation. Materiały firmy Voith Turbo GmbH*
- [15] *Hydrodynamic Drives in Rail Vehicles. Materiały firmy Voith Turbo GmbH*
- [16] *Napędy pojazdów szynowych. Materiały firmy Voith Turbo GmbH*
- [17] *6 cylinder horizontal and vertical layout diesel engines with 133 kW ÷ 235 kW ground, Euro 1 and Euro 2 versions. Materiały firmy Raba Diesel Motor.*