

## **Spalinowo-elektryczne układy napędowe dla krajowego lekkiego pojazdu szynowego Koncepcje i założenia**

*W artykule zaprezentowano wymagania i wytyczne techniczno-eksploatacyjne dla lekkich pojazdów szynowych oraz spalinowo-elektrycznych układów napędowych. Przedstawiono koncepcje rozwiązań układów do zabudowy podpodłogowej oraz zabudowy wewnątrzpojazdowej z wykorzystaniem wózków jedno- i dwuosiowych. Ponadto przedstawiono założenia dla proponowanych do wykonania w kraju układów napędowych z wykorzystaniem zespołów prądotwórczych – silnik spalinowy + prądnica synchroniczna.*

*Artykuł powstał w wyniku realizacji projektu badawczego nr 4T12DO1227 pt.: „Spalinowo-elektryczny napęd dla lekkich wielocłonowych pojazdów szynowych”.*

### **1. WSTĘP**

Układ napędowy spalinowo-elektryczny stanowi zespół urządzeń służących do przeniesienia momentu obrotowego, wytwarzanego przez silnik spalinowy, na osie napędowe pojazdu.

W skład zespołu wchodzi: silniki spalinowe, prądnice, prostowniki, przekształtniki, silniki trakcyjne (prądu stałego lub zmiennego), wały przegubowe lub drażone, sprzęgła i przekładnie osiowe. Urządzenia te pośredniczą w przeniesieniu momentu (mocy) i łączą silnik spalinowy z napędowymi zestawami kołowymi.

Oprócz przeniesienia momentu układ napędowy 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 spalinowego od osi w czasie rozruchu, postoju lub holowania, jak również cechować się zwartą budową pozwalającą na uzyskanie jak największej przestrzeni w członach pasażerskich [2].

Ze względu na zastosowany układ napędowy lekkie pojazdy szynowe, zwane autobusami szynowymi, dzieli się na [1]:

- z napędem spalinowym i przekładnią hydrauliczną (hydromechaniczną)
- z napędem spalinowo-elektrycznym i przekładnią elektryczną
- z napędem elektrycznym.

W artykule przedstawiono tylko układy napędowe z przekładnią elektryczną, w których zastosowane są lub będą zespoły prądotwórcze, a więc silniki spalinowe i prądnice, najczęściej synchroniczne. Takie

układy napędowe znane i stosowane są od kilkadziesiąt lat w spalinowych zespołach trakcyjnych, a ostatnio od kilku lat wracają z powodzeniem w zastosowaniu również do napędów autobusów szynowych. Ich podstawową cechą jest przede wszystkim wysoka trwałość i niezawodność oraz możliwość realizowania wyższych mocy w ograniczonej przestrzeni.

W starszych rozwiązaniach, stosowanych w zasadzie w spalinowych zespołach trakcyjnych, całe układy napędowe zabudowane są pod ostojami członów napędowych. Przykładami mogą tu być zespoły serii VT610, BM/BS92 oraz VT/VS2E przeznaczone zasadniczo do obsługi ruchu regionalnego. Ich szczegółowe opisy wraz z charakterystykami przedstawiono w pracy [4].

W nowszych konstrukcjach lekkich pojazdów szynowych, a w zasadzie w autobusach szynowych, spotkać można dwie konfiguracje układów napędowych:

- **układ podpodłogowy** tzw. power-pack, na którym zabudowany jest tylko silnik spalinowy, prądnica oraz urządzenia i aparaty gwarantujące prawidłową pracę zespołu prądotwórczego w tym chłodzenie i sterowanie. Układ power-pack podwieszony jest do ostoi członu napędowego z przodu pojazdu lub bezpośrednio za wózkiem napędowym, na którym zabudowane są silniki trakcyjne i przekładnie osiowe. Pozostałe aparaty i urządzenia wchodzące w skład układu napędowego lokalizowane są zarówno pod ostoją, wewnątrz pojazdu lub też na dachach np.: przekształtnik, hamulec elektrodynamiczny w tym oporniki oraz układy chłodzące. Przykładami autobusów z takimi rozwiązaniami są VT644 (Talent) oraz najnowsze autobusy firmy Bombardier serii DMU i EDMU [4],

- **układ wewnątrzpojazdowy**, znajdujący się najczęściej między dwoma członami pasażerskimi lub też bezpośrednio za kabiną sterowniczą, co zwiększa bezpieczeństwo obsługi i pasażerów w przypadku ewentualnych kolizji. Taka zabudowa zespołów, maszyn i aparatów w wydzielonym członie daje następujące korzyści:

- lekką i prostą konstrukcję członów pasażerskich
- oszczędność w kosztach obsługi
- optymalną przyczepność osi napędowych
- oddzielenie źródła hałasu od przedziału pasażerskiego
- doskonały dostęp do aparatury trakcyjnej od wewnątrz i z zewnątrz pojazdu
- możliwość wymiany członu napędowego w ciągu kilku godzin.

Ponadto zaletą autobusu o takiej konfiguracji jest również swoboda zestawiania większej liczby członów z miejscami dla pasażerów w zależności od potrzeb przewozowych i, co bardzo ważne, autobus po 35-letniej eksploatacji może być poddany recyklingowi, a część surowców użytych do jego budowy ponownie wykorzystanych. Przykładami takich rozwiązań są autobusy firmy Stadler serii GTW 2/6 i GTW 4/8 dla Polskich Kolei Państwowych [4].

## 2. WYMAGANIA STAWIANE NOWOCZESNYM LEKKIM POJAZDOM SZYNOWYM (AUTOBUSOM SZYNOWYM)

Lekkie kolejowe pojazdy szynowe, dla wykonywania kolejowych regionalnych przewozów pasażerskich, winny charakteryzować się nowoczesnością konstrukcji, a jednocześnie posiadać sprawdzone i stosowane w przemyśle motoryzacyjnym i kolejnictwie podzespoły (dotyczy to w szczególności silnika spalinowego i przekładni). Ponadto autobus powinien charakteryzować się prostotą obsługi technicznej oraz niskimi kosztami eksploatacji.

Przewidywać należy również, że tego typu pojazdy mogą być wykonywane (zamawiane) w następujących konfiguracjach członów: s, s-s, s-d, s-d-s i d-s-d;

gdzie :

- s - człon silnikowy tj. człon, w którym zabudowane są główne maszyny i zespoły układu napędowego, w tym wózki
- d - człon doczepny, beznapędowy, oparty na wózkach tocznych.

Istotne z punktu widzenia napędu spalinowo-elektrycznego są następujące wymagania i wytyczne dla lekkiego pojazdu szynowego:

- prędkość eksploatacyjna najczęściej 100 ÷ 120 km/h
- skrajnia kinematyczna wg UIC 505-1 [5]

- wytrzymałość pudła – kategoria P3 wg normy PN-EN 12663 [9], z dodatkowym wyposażeniem w elementy pochłaniające energię zderzenia czołowego
- moc znamionowa silnika ok. 6,5 ÷ 8 kW/t (nawet do 10 kW/t)
- przyspieszenie rozruchu (przy pełnym obciążeniu)  $\geq 0,5 \text{ m/s}^2$  (zazwyczaj 0,6 ÷ 0,8)
- opóźnienie hamowania ok.  $1 \text{ m/s}^2$
- największe wzniesienie, na którym pojazd powinien ruszać z pełnym obciążeniem > 20 ÷ 30 ‰
- koła jezdne o profilu 28 UIC o szerokości obrzeża 135 mm
- eksploatacyjny zakres temperatur otoczenia od -30°C do +40°C
- poziom hałasu (zewnątrznego i wewnętrznego) przy pracującym silniku spalinowym i pozostałych maszynach zgodnie z normą PN-92/K-11000 [10]
- bezpieczeństwo ruchu podczas eksploatacji z maksymalnymi prędkościami wg UIC 518 [6] przy zachowaniu wskaźnika komfortu < 2,5 wg UIC 515-0 [7]
- minimalny promień łuku warsztatowego 80 ÷ 100 m
- minimalny promień łuku w eksploatacji 150 m
- maksymalny nacisk zestawu kołowego na tor w stanie służbowym z pełnym obciążeniem 140 ÷ 160 kN.

W zakresie wymagań dotyczących utrzymania pojazd powinien zapewniać (z punktu widzenia spalinowo-elektrycznego układu napędowego):

- żywotność przez okres ponad 30 lat
- prostą lokalizację uszkodzeń zespołów i podzespołów
- łatwą wykrywalność uszkodzeń i stanu osiągnięcia granicznych parametrów technicznych poprzez zastosowanie elementów elektronicznego systemu diagnostyki (system elektronicznej diagnostyki podstawowych parametrów eksploatacyjnych i lokalizacji uszkodzeń)
- budowę modułową umożliwiającą demontaż i montaż poszczególnych zespołów
- unifikację części dla ograniczenia niezbędnych narzędzi i oprzyrządowania
- współczynnik gotowości technicznej przekraczający 92%
- minimalną liczbę przeglądów i napraw, a więc zwiększenie przebiegów między przeglądami i naprawami.

Ponadto należy zapewnić, aby konstrukcja, parametry techniczne i eksploatacyjne pojazdu spełniały wymagania przynależnych norm krajowych (w szczególności PN, PN-EN, BN i ZN), międzynarodowych

IEC, EN oraz przepisów i zaleceń ERRI (ORE), kart UIC i Dyrektyw Parlamentu Europejskiego (Komisji Europejskich).

Oczywistym jest również, że każdy wyprodukowany lekki pojazd przed wejściem do eksploatacji powinien:

- zostać odebrany wg opracowanych Warunków Technicznych Odbioru
- przejść próby i badania stacjonarne i ruchowe wg opracowanego programu prób i badań zawierającego także eksploatację nadzorowaną (obserwowaną)
- spełniać warunki techniczne i wymagania zapewniające bezpieczeństwo ruchu i ochronę środowiska
- posiadać świadectwo dopuszczenia do eksploatacji typu pojazdu kolejowego
- posiadać świadectwo sprawności technicznej
- posiadać dokumentację techniczno-ruchową, zawierającą opis pojazdu, instrukcję obsługi, instrukcję przeglądów i napraw oraz katalog części zamiennych
- posiadać dokumentację technologiczną systemu utrzymania.

### 3. WYMAGANIA DLA UKŁADÓW SPALINO-WO-ELEKTRYCZNYCH ORAZ ICH GŁÓWNYCH MASZYN I URZĄDZEŃ

Konfiguracja układu napędowego powinna uwzględnić kryteria wyjściowe podane w [1].

Głównymi zespołami i maszynami w obu ww. konfiguracjach (niezależnie od zabudowanego wózka napędowego) są: silniki spalinowe, prądnice główne, prostowniki, przekształtniki trakcyjne, przetwornice statyczne, opornice hamulca elektrodynamicznego, silniki trakcyjne, przekładnie osiowe i zestawy kołowe napędowe.

Ponadto w układach tych zabudowane są urządzenia, układy i aparaty związane z silnikiem spalinowym, napędami pomocniczymi i hamulcem mechanicznym na wózkach [4].

#### 3.1. Wymagania dla maszyn i zespołów układów podpodłogowych

Szczegółowe wymagania i wytyczne, za wyjątkiem ram mocujących, ram wózków z ich usprężynowaniem, tłumieniem, łożyskowaniem i przeniesieniem sił wzdłużnych dla poszczególnych głównych maszyn i zespołów, są następujące [4]:

**Silnik spalinowy** wysokoprężny o wtrysku bezpośrednim, w wersji leżącej, chłodzony cieczą i charakteryzujący się:

- mocą gwarantującą osiągnięcie prędkości 80 km/h na wzniesieniach do 12%

- emisją spalin zgodnie z Dyrektywą 26/2004 Parlamentu Europejskiego (Komisji Europejskiej) z 21.04.2004r., Rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy z 19.08.2005r. w sprawie szczegółowych wymagań dla silników spalinowych w zakresie emisji substancji toksycznych oraz z kartą UIC 624 [8]
- jednostkowym zużyciem paliwa do 200 g/kWh
- jednostkowym zużyciem oleju smarowego do 0,5% jednostkowego zużycia paliwa
- czasem pracy do przeglądu tłoków powyżej 10 000 godz.
- czasem pracy do naprawy głównej powyżej 20 000 godz.

Ponadto w układach związanych z silnikiem winien znajdować się zbiornik paliwa o pojemności wystarczającej do przebiegu około 1000 km.

**Prądnica główna** trójfazowa synchroniczna, służąca do zasilania napędów i układów pomocniczych, o następujących wymaganiach:

- wykonanie trakcyjne, chłodzenie powietrzem
- praca ze stałą optymalną prędkością obrotową
- wykonanie jednołożyskowe
- praca ciągła.

Dla układów podpodłogowych moc prądnicy powinna wynosić 220 ÷ 260 kW a prędkość obrotowa 1800 ÷ 2100 obr/min.

**Prostownik** diodowy służący do wyprostowania napięcia trójfazowego prądnicy głównej, a następnie do zasilania trójfazowego przekształtnika napędowego. Przewidywane napięcie wyjściowe winno wynosić 430 ÷ 500 V AC, wyjściowe 600 ÷ 750 V DC, moc około 300 kW.

Prostownik powinien być chłodzony powietrzem wymuszonym (dopuszcza się chłodzenie naturalne) i być wyposażony w układ pomiaru temperatury elementów wewnętrznych.

**Przekształtnik trakcyjny** składający się z falownika napędowego i przekształtnika hamowania oporowego. Falownik zbudowany na tranzystorach IGBT będzie zasilal silnik trakcyjny, a przekształtnik hamowania w procesie zmniejszania prędkości wykorzysta energię do zasilania przetwornicy pomocniczej statycznej, a w przypadku nadmiaru mocy będzie wytracał energię w rezystorach hamowania.

Dla układów podpodłogowych należy przewidzieć falownik o mocy około 300 kW, a przekształtnik hamowania oporowego o mocy około 230 kW. Przekształtnik powinien posiadać chłodzenie naturalne lub wymuszone i być wyposażony w układ diagnostyki.

**Przetwornica statyczna** przeznaczona do zasilania napędów i urządzeń pomocniczych napięciem pośrednim przekształtnika. Może to być oddzielne urządzenie lub wchodzić w skład przekształtnika trakcyjnego. Proponowana zabudowa pod ostoją lub na dachu.

Proponuje się przetwornice o mocy  $10 \div 15$  kW z napięciem wyjściowym  $3 \times 400$  V 50 Hz i 28 V DC.

Przetwornica winna być chłodzona naturalnie lub powietrzem wymuszonym oraz posiadać układ diagnostyki wewnętrznej.

**Opornice hamulca (rezystory hamowania)** służą do odbioru nadmiaru energii wytwarzanej podczas hamowania elektrodynamicznego. Przewidywana moc opornicy około 230 kW, napięcie maksymalne 800 V a rezystancja ok.  $2 \Omega$ .

Opornica powinna być w wykonaniu trakcyjnym i zabudowana na dachu pojazdu.

**Silnik trakcyjny** asynchroniczny przeznaczony do napędu zestawu kołowego.

Podstawowe wymagania dla silnika są następujące:

- 3-fazowy z wirnikiem klatkowym w wykonaniu trakcyjnym, zasilany z falownika
- przystosowany do pracy poziomej ciągłej w obudowie zamkniętej o stopniu ochrony IP54 i izolacji klasy H
- chłodzony wentylatorem własnym (dopuszcza się chłodzenie cieczą)
- zapewniający dowolny kierunek obrotów i przystosowany do pracy prądnicowej podczas hamowania elektrodynamicznego.

Podstawowe dane techniczne silnika przewidywanego do zabudowy podpodłogowej to: moc ok.  $110 \div 120$  kW i prędkość obrotowa 1900 obr/min, a maksymalnie ok. 4800 obr/min.

**Przekładnia osiowa** winna cechować się płynną pracą wraz ze zmianą prędkości, odpornością na wszelkiego rodzaju przeciążenia, prostotą obsługi i napraw, wysoką trwałością i niskimi kosztami utrzymania oraz posiadać zwartą budowę i gabaryty umożliwiające zabudowę wzdłużną i poprzeczną.

W lekkich pojazdach szynowych można zastosować przekładnie jedno- lub dwustopniowe z kołami walcowymi lub stożkowymi, a ostateczny wybór rodzaju winien zależeć od głównych parametrów pojazdu oraz dysponowanego miejsca pod zabudowę.

Przyjmując średnicę toczną kół 840 mm (zużytych 780 mm) przełożenie przekładni winno wynosić odpowiednio dla  $v = 100$  km/h  $6,24 \div 6,25$  a dla  $v = 120$  km/h nie więcej niż 5,2.

**Zestaw kołowy napędowy** o następujących ogólnych wymaganiach:

- średnica koła możliwie mała by zapewnić maksimum obniżonej podłogi w pojeździe, a jednocześnie spełnić wymagania w zakresie skrajni i dopuszczalnych nacisków zestawu na szynę (dla  $\varnothing 840 \div 920$  mm – 20 t, a dla  $\varnothing 760 \div 840$  mm – 18 t)
- minimalna masa nieodsprężynowana
- duża trwałość, a więc duży przebieg do przetoczenia

- oś standardowa z czopami łożyskowymi o średnicy  $\varnothing 130$  mm.

Dla układów napędowych preferowane winny być zestawy kołowe (toczne i napędowe) z kołami bezobrzęczowymi o średnicy  $\varnothing 840$  mm, wykonane z materiału R8T lub R9T.

**Hamulec** dla lekkiego pojazdu szynowego winien spełniać następujące wymagania:

- umożliwić zatrzymanie w każdych warunkach eksploatacyjnych, a więc z  $v = 100$  km/h na drodze 600 (700) m, a z  $v = 120$  km/h na drodze 800 m
- zapewnić utrzymanie pojazdu na wzniesieniu 45 ‰
- posiadać elektroniczny układ przeciwpoślizgowy działający przy ruszaniu i hamowaniu
- posiadać okładziny cierne nie zawierające azbestu
- posiadać system wewnętrzny umożliwiający przeprowadzenie samotestu przed wyjazdem na trasę.

W lekkich pojazdach szynowych, niezależnie od zastosowanych wózków, hamulcem mechanicznym może być zarówno hamulec klockowy jak i tarczowy, przy czym tarcze hamulcowe mogą być zabudowane zarówno na kole jezdnym osi zestawu kołowego lub na wale drążonym, jeżeli taki układ przeniesienia napędu z silnika trakcyjnego na zestaw kołowy będzie zastosowany.

Dokonując wyboru zabudowy tarcz hamulcowych należy brać pod uwagę:

- możliwość zabudowy na wózkach jedno- i dwuosiowych
- unifikację zabudowy na wózkach tocznych i napędowych
- możliwość zastosowania obniżonej podłogi nad wózkiem tocznym
- zwartość konstrukcji tj. jak najmniejszą odległość między osią zestawu kołowego a osią silnika trakcyjnego.

W układach napędowych lekkich pojazdów preferowany byłby układ hamulca tarczowego (z tarczami zabudowanymi na kołach zestawów kołowych), przy czym ilość tarcz zależeć winna od szczegółowych obliczeń układu.

Jeżeli wymagają tego warunki eksploatacyjne należy również dopuścić zastosowanie tzw. klocka czyszczącego, zwłaszcza w obszarach eksploatacji z automatycznymi urządzeniami sterowania ruchem kolejowym, dla pojazdów o bazie przekraczającej 6 m (odległości między wózkami jednoosiowymi).

### 3.2. Wymagania dla maszyn i zespołów w zabudowie wewnętrzpojazdowej

Szczegółowe wymagania i wytyczne dla poszczególnych maszyn i zespołów w zabudowie wewnętrzpojazdowej są następujące:

**Silnik spalinowy** o wymaganiach jak w pkt. 3.1. przy czym winna być zastosowana wersja stojąca (układ cylindrów rzędowy lub widlasty), zabudowany na wspólnej ramie z prądnicą główną tworząc zespół prądotwórczy. Rozważyć należy zwiększoną (około dwukrotnie) moc silnika, zapewniając w ten sposób pełne jego wykorzystanie w przypadku napędów zabudowanych na wszystkich zestawach kołowych.

**Prądnica główna** o wymaganiach jak w pkt. 3.1. o mocy  $550 \div 600$  kW i obrotach silnika spalinowego, połączona elastycznie (sprzęgło elastyczne) lub sztywno za pośrednictwem kołnierza.

**Prostownik** o wymaganiach jak w pkt. 3.1. o zwiększonej mocy tj.  $550 \div 600$  kW.

**Przekształtnik trakcyjny** identyczny jak w pkt. 3.1. dla zachowania tej samej konfiguracji układu napędowego. W przypadku zastosowania tylko jednego wózka napędowego dwuosowego i silników trakcyjnych o zwiększonej mocy ( $230 \div 280$  kW) wymagane byłoby zastosowanie przekształtnika trakcyjnego o mocy falownika do 600 kW i przekształtnika hamowania oporowego do około 500 kW, przy zachowaniu tych samych parametrów napięciowo-prądowych.

**Przetwornica statyczna** o mocy  $20 \div 25$  kW przy zachowaniu pozostałych wymagań jak w pkt. 3.1. a biorąc pod uwagę zastosowanie tylko jednego przekształtnika trakcyjnego, moc przetwornicy winna być zwiększona do 50 kW.

Wymagania dla pozostałych maszyn układu napędowego, a więc opornic hamowania oraz silników trakcyjnych winny być identyczne jak przedstawiono w pkt. 3.1., przy czym ich moce wyjściowe w przypadku zastosowania tylko jednego przekształtnika trakcyjnego (napędowego) oraz jednego wózka napędowego powinny być zwiększone dwukrotnie.

Pozostałe zespoły i urządzenia zastosowane w konfiguracji wewnątrzpojazdowej napędu, a więc przekładnie osiowe, zestawy kołowe i układy hamulcowe winny spełniać wymagania i wytyczne podane w pkt. 3.1.

#### **4. KONCEPCJE I ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE DLA KRAJOWYCH SPALINOWO - ELEKTRYCZNYCH NAPĘDÓW LEKKICH POJAZDÓW SZYNOWYCH**

Analiza krajowego rynku wykazała, że poza spalinowymi zespołami trakcyjnymi (prawie 40-letnimi) sprowadzanymi z Niemiec, eksploatowane są autobusy szynowe z układami napędowymi opartymi o silniki spalinowe i przekładnie hydrauliczne (hydromechaniczne), „Pesy” Bydgoszcz, ZNTK-Poznań i byłego Kolzamu – Racibórz. Do grona wymienionych pretenduje również Bumar-Fablok Chrzanów. Obecnie coraz częściej potencjalni Użytkownicy zgłaszają zainteresowanie autobusami szynowymi z układami napędowymi spalinowo-elektrycznymi. Tak

więc już teraz, wychodząc naprzeciw oczekiwaniom należałoby opracować projekty techniczne i przebadać takie układy w miarę możliwości oparte o maszyny, zespoły i urządzenia produkowane lub możliwe do produkcji w kraju.

Jako podstawę należy przyjąć założenie ukierunkowujące prace nad rozwiązaniem następujących układów:

- do zabudowy podpodłogowej tzw. Power-Pack
- do zabudowy wewnątrz pojazdu.

Pierwszy z tych układów może być zamienny z dotychczasowymi z przekładnią hydrauliczną, natomiast dla drugiego należałoby zaprojektować przedział (moduł) napędowy, najlepiej wydzielony z dostępem do niego od zewnątrz i wewnątrz.

#### **4.1. Koncepcje i założenia projektowe dla lekkich pojazdów szynowych ze spalinowo-elektrycznymi układami napędowymi**

Koncepcje i założenia spalinowo-elektrycznych układów napędowych nie mogą abstrahować od budowy samych lekkich pojazdów, dla których układy będą projektowane i wdrażane. Dla warunków krajowych przyjęto układ napędowy, który składać się będzie z: silnika spalinowego, prądnicy synchronicznej, przekształtnika tranzystorowego (falownik, przekształtnik hamowania), silników trakcyjnych asynchronicznych, przekładni osiowych i zestawów kołowych napędowych.

W związku z tym, że istnieją już zaprojektowane i eksploatowane autobusy proponuje się wykorzystać jednoczłon typu 211M, dwuczłon 212M i trójczłon 210M oraz ich nowe (wydłużone) warianty do zabudowy układów podpodłogowych zarówno w oparciu o dotychczasowe wózki jednoosiowe jak i nowe wózki dwuosowe, specjalnie zaprojektowane.

Dla zabudowy wewnętrznej układów należy przewidywać autobusy szynowe (jedno-, dwu- i trójczłonowe) o wydłużonym nadwoziu i zwiększonej liczbie miejsc siedzących. Ogólne widoki wybranych i proponowanych autobusów szynowych dla zabudowy proponowanych układów napędowych przedstawiono na rys.1 ÷ 3.

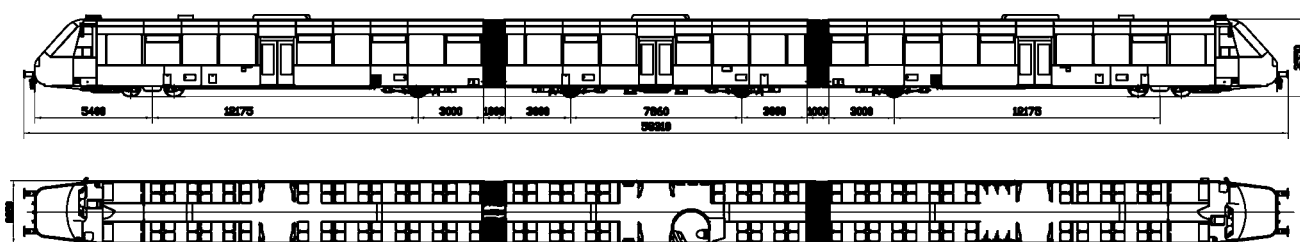
Reasumując, dla rozwijanych układów napędowych można zaproponować następujące konfiguracje wielocłonowych autobusów szynowych:

- autobusy dotychczasowe z wózkiem jednoosiowym:
  - jednoczłon z jednym wózkiem napędowym i jednym tocznym- układ osi (A+1)
  - dwuczłon z dwoma wózkami napędowymi i dwoma tocznymi – układ osi (A+1)-(1+A)
  - trójczłon z dwoma wózkami napędowymi i czterema wózkami tocznymi w układzie osi – (A+1)-(1+1)-(1+A)

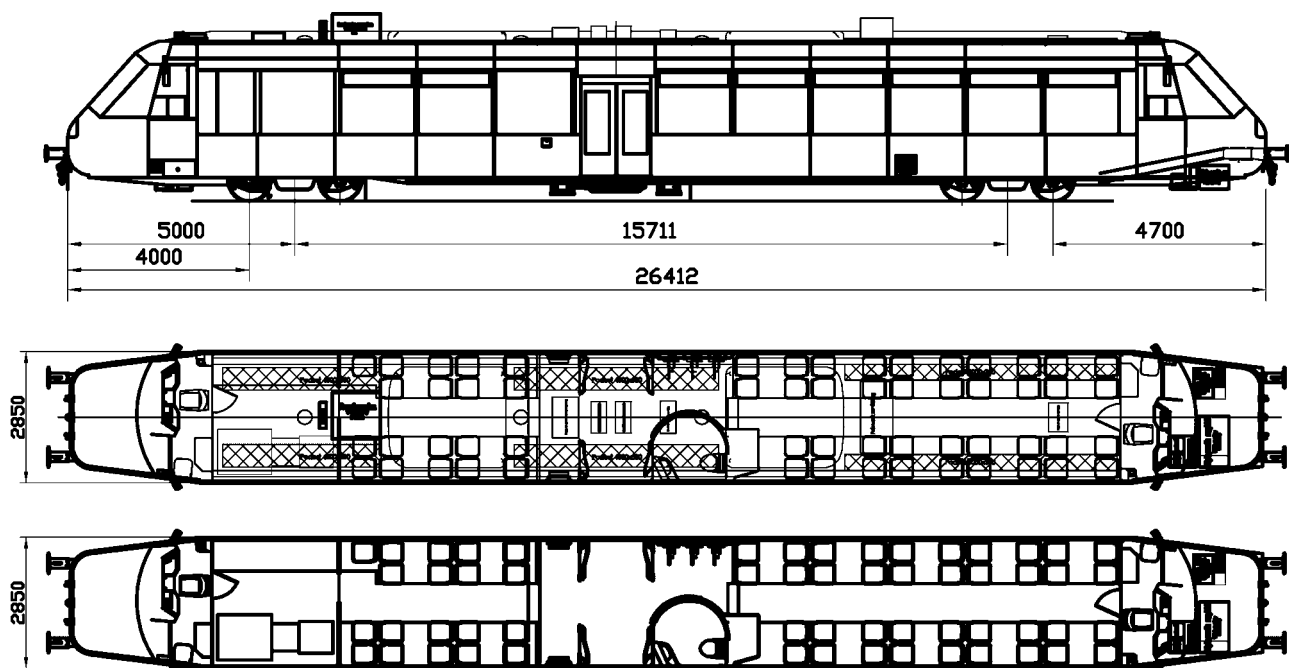
- autobusy do zaprojektowania z wózkami jedno- i dwuosowymi:
    - jednoczłon z jednym wózkiem napędowym i jednym tocznym – układ osi ( $B_0-2$ )
    - dwuczłon zarówno z wózkami jednoosowymi i dwuosowymi o układach osi ( $B_0+1$ )( $1+B_0$ ); ( $B_0+2$ )-(2+ $B_0$ );  $B_0-2-B_0$
  - trójczłon z wózkami jedonosiowymi i dwuosowymi o układach osi ( $B_0+1$ )+(1-1)-(1+ $B_0$ ); ( $B_0+2$ )-(1-2+1-2)-(2+ $B_0$ );  $B_0-2-2-B_0$ .
- Ostateczny wybór konfiguracji oraz szczegółowych parametrów autobusów zależy będzie od precyzyjnych wymagań przyszłego Użytkownika i zadań do spełnienia w określonych warunkach eksploatacyjnych.



Rys.1. Ogólny widok autobusu dwuczłonowego typu 212M o układzie osi ( $A+1$ )-(1+ $A$ )



Rys.2. Ogólny widok autobusu trójczłonowego o układzie osi ( $B_0+1$ )-(1+1)-(1+ $B_0$ )



Rys.3. Ogólny widok autobusu jednoczłonowego w wersji wydłużonej o układzie osi ( $B_0-2$ )

## 4.2. Konceptje i założenia projektowe dla spalinowo-elektrycznego układu napędowego do zabudowy podpodłogowej

Podjęcie decyzji o opracowaniu koncepcji i założeń układu wiąże się z rozważeniem następującego zagadnienia: czy zespoły i maszyny wchodzące w układ napędowy mają być na tyle uniwersalne, że spełnić mogą wymagania wszystkich wariantów pojazdów proponowanych pod zabudowę, czy też zespoły te będą dobierane indywidualnie dla każdego typu pojazdu.

W pojazdach jednoczłonowych, przy połowie osi napędowych i spełnieniu określonych parametrów rozruchowych, może to prowadzić w dwu- i trójczłonach do niewykorzystania mocy takiego zespołu przy zabezpieczeniu podobnej ilości osi napędowych lub zwiększonej mocy silników trakcyjnych.

Można więc również rozważyć zastosowanie jednego typu zespołu napędowego (falownik-silnik trakcyjny) przy obniżonych parametrach rozruchu.

Decyzja powinna zależeć przede wszystkim od przewidywanej wielkości produkcji, ponieważ wysokie koszty wyposażenia technologicznego dla produkcji maszyn będą wpływać na ocenę całego wyposażenia elektrycznego, a trzeba brać również pod uwagę pozostałe elementy zespołu elektrycznego i całą część mechaniczną.

Do rozważań projektowych spalinowo-elektrycznych układów napędowych należałoby przewidzieć następujące główne parametry pojazdów [3]:

- masa własna:
  - dla pojazdu jednoczłonowego 23 ÷ 25 Mg
  - dla pojazdu dwuczłonowego 44 ÷ 46 Mg
  - dla pojazdu trójczłonowego 63 ÷ 65 Mg
- prędkość eksploatacyjna 100 ÷ 120 km/h
- przyspieszenie rozruchu 0,6 ÷ 0,8 m/s<sup>2</sup>.

Uzyskanie tych parametrów można osiągnąć dla następujących głównych danych układów napędowych:

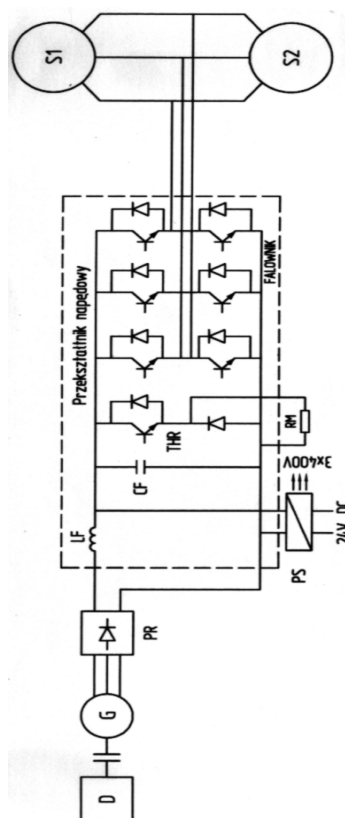
- dla pojazdu jednoczłonowego:
  - moc max. silnika spalinowego (z uwzględnieniem 40 % przeciążalności) 250 ÷ 300 kW
  - moc obwodów pomocniczych 15 kW
  - moc znamionowa silników trakcyjnych 200 kW, a więc dla pojazdów z wózkami jednoosiowymi obie osie napędowe z silnikami o mocy 100 kW, a dla pojazdów z wózkami dwuosiowymi jeden wózek napędowy, a jeden toczny
- dla pojazdu dwuczłonowego:
  - moc max. silników (silnika) spalinowych ok. 500 kW
  - moc obwodów pomocniczych 20 kW
  - moc znamionowa silników trakcyjnych 350 ÷ 400 kW, a więc dla pojazdu z wózkami

jednoosiowymi wszystkie osie napędowe przy mocy silnika trakcyjnego ok. 100 kW lub dwie osie napędowe jednego członu z silnikami trakcyjnymi o mocy ok. 170 kW każdy (drugi człón miałby tylko wózki toczne), a dla pojazdu z wózkami dwuosiowymi należy przewidzieć dwa wózki napędowe z silnikami o mocy 100 kW, jeden (lub dwa) wózek toczny

- dla pojazdu trójczłonowego:
  - moc max. silnika (silników) spalinowego ok. 700 kW
  - moc obwodów pomocniczych 25 ÷ 30 kW
  - moc znamionowa silników trakcyjnych ok. 500 kW, przy czym przy zastosowaniu wózków jednoosiowych należy przewidzieć cztery osie napędowe i dwie toczne, a przy zastosowaniu wózków dwuosiowych dwa wózki napędowe i dwa wózki toczne z silnikami o mocy podwyższonej do ok. 150 kW.

Silniki trakcyjne o mocy 100 kW mogą być dostarczone przez producenta krajowego, natomiast silniki o wyższej mocy rzędu 120 ÷ 150 kW wymagają opracowania konstrukcyjnego.

Dla proponowanych konfiguracji schemat ideowy przedstawiono na rys.4.



Rys.4. Schemat ideowy układu elektrycznego lekkiego pojazdu szynowego: D – silnik spalinowy; G – trójfazowa prądnica synchroniczna; PR – prostownik; LF – dławik filtra; CF – kondensator filtra; THR – tranzystor hamowania oporowego; RM – rezystor hamowania oporowego; S1-S2 – silnik asynchroniczny; PS – przetwornica statyczna.

Układ taki składałby się z następujących maszyn i zespołów o parametrach [3]:

- silnika spalinowego o mocy ok. 300 kW
- prądnicy trójfazowej (synchronicznej) o mocy ok. 250 kW
- prostownika diodowego
- falownika napędowego o mocy maksymalnej 300 kW
- przekształtnika hamowania oporowego o mocy 200 kW
- opornicy hamowania 200 kW
- silników trakcyjnych asynchronicznych o mocy 100 kW każdy
- przetwornicy statycznej 660V/3x400V/24V DC o mocy 15 kW (dla wieloczołnów 20 ÷ 25 kW).

Należy pamiętać o tym, że w przypadku podwyższonych mocy silników trakcyjnych ulegają zmianie pozostałe parametry mocy.

W zaprezentowanym układzie silnik spalinowy pracować będzie ze stałą optymalną prędkością obrotową napędzając sprzężoną z nim jednołożyskową prądnicę synchroniczną. Napięcie prądnicy regulowane będzie na poziomie 430 ÷ 500 V, a po wyprostowaniu napięcie dla członu pośredniego wyniesie 600 ÷ 750 V. Dobór wartości napięcia dla członu pośredniego będzie zależny od ostatecznego doboru asynchronicznych silników trakcyjnych. Falownik trójfazowy IGBT zasilać będzie dwa silniki asynchroniczne.

Falownik zbudowany winien być z trzech modułów IGBT pracujących z częstotliwością 1,2 ÷ 2 kHz kształtujących sinusoidę prądów fazowych 0 ÷ 140 Hz, odpowiadającą prędkości 0 ÷ 120 km/h.

Podczas hamowania elektrodynamicznego napięcie członu pośredniego będzie wyższe o około 50 ÷ 100 V tak, aby część zwracanej energii pobierała przetwornica statyczna. Pozostała energia hamowania tracona będzie w opornicy.

Przetwornica statyczna zasilana będzie z napięcia pośredniego, przetwarzając je na 3x400 V – 50 Hz do zasilania między innymi silników wentylatorów i sprzężarek oraz 24 V do zasilania układów rozruchu, sterowania, oświetlenia wewnętrznego i zewnętrznego, zasilania urządzeń radiołączności i bezpieczeństwa ruchu, wycieraczek i spryskiwaczy oraz ładowania baterii akumulatorów.

Układ napędowy, a w zasadzie zespół prądnica – silniki trakcyjne powinien być tak dobrany, by zapewnić 40 ÷ 50 % przeciążenie podczas rozruchu.

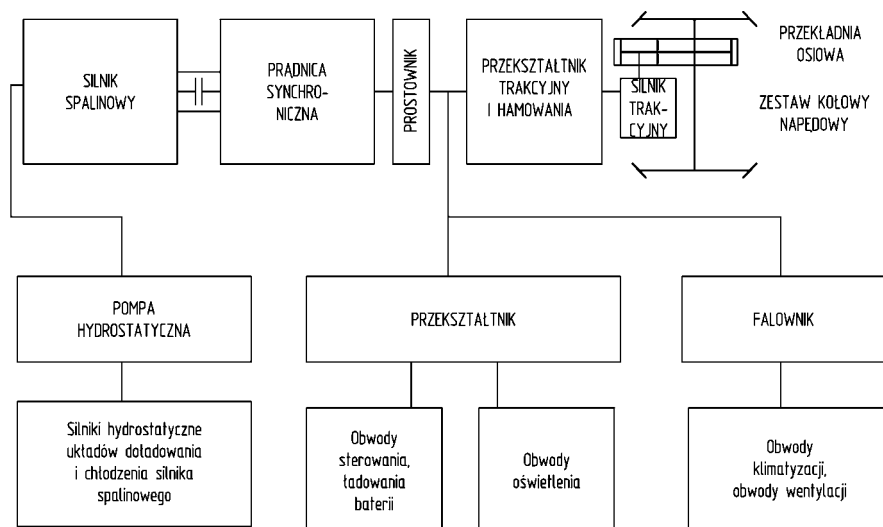
Ponadto prądnica synchroniczna trójfazowa powinna być wykonana jako jednołożyskowa sprzężona z silnikiem spalinowym, natomiast prostownik diodowy – falownik mogą być we wspólnej obudowie z chłodzeniem powietrznym lub zanurzone w kadzi z olejem.

Dla proponowanych wariantów napędu moc silnika trakcyjnego powinna wynosić 100 ÷ 170 kW, a więc najlepszym rozwiązaniem byłoby opracowanie jednego typu silnika o mocy ok. 150 kW. Długość i średnica silnika będzie wynikać z konstrukcji wózków napędowych. Silniki powinny być wykonane jako bezkadłubowe z chłodzeniem poprzez otwory w blachach stojana.

W układach podpodłogowych można zastosować zarówno wózki jednoosiowe jak i dwuosiowe. Pierwsze z nich można rozwijać na bazie dotychczasowych wózków jednoosiowych zastosowanych w autobusach szynowych 211M i 212M; drugie natomiast w oparciu o zaprojektowane już wózki dla elektrycznych zespołów trakcyjnych oraz tramwajów [4].

Propozycje rozwiązań układów przeniesienia napędów z silnika trakcyjnego na zestaw kołowy dla wózków jednoosiowych przedstawiono na rys.5 i 6. Rys.5 przedstawia pełny schemat układu napędowego, a na rys.6 ograniczono się do schematycznego zaprezentowania tylko zespołów wózkowych.

W propozycji pierwszej (rys.5) silnik trakcyjny zawieszony będzie systemem tramwajowym („za nos”), a przeniesienie momentu obrotowego z wału wirnika silnika trakcyjnego na zestaw kołowy realizować będzie jednostopniowa przekładnia osiowa, z



Rys.5. Schemat przeniesienia napędu z wykorzystaniem jednostopniowej przekładni osiowej z kołami walcowymi



kołami walcowymi o zębach prostych. Obudowa przekładni mocowana będzie do silnika trakcyjnego i w połączeniu z zestawem posiadać będzie uszczelnienia labiryntowe.

Propozycja druga (rys.6a) to całkowicie odsprężynowany na ramie wózka silnik trakcyjny. Moment obrotowy z wału silnika na zestaw kołowy przenoszony będzie poprzez sprzęgło i przekładnię.

Sprzęgło zębate dwuprzegubowe osadzone będzie na końcówce stożkowej wału silnika oraz na końcówce stożkowej wału małego koła zębatego.

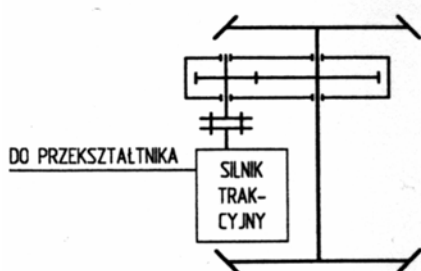
Przekładnia będzie częściowo odsprężynowana, opierając się z jednej strony na osi zestawu kołowego, z drugiej natomiast będzie umieszczona na ramie wózka. Przekładnie będą tworzyć koła walcowe o zębach prostych lub skośnych (z dużym kołem osadzonym bezpośrednio na osi zestawu) zabudowane w obudowie opierającej się za pośrednictwem łożysk tocznych na osi zestawu kołowego.

Rys.6b prezentuje trzecią propozycję przeniesienia napędu, w której zakłada się kołnierzowe połączenia przekładni i silnika trakcyjnego całkowicie odsprężynowanych na ramie wózka. Napęd z wału silnika na przekładnię przenoszony będzie poprzez sprzęgło membranowe. Wał silnika ułożyskowany będzie jednostronnie. Drugą stronę stanowić będzie jako podporę sprzęgło membranowe. Przekładnia będzie dwustopniowa walcowa, czołowa, z kołami o zębach prostych lub skośnych.

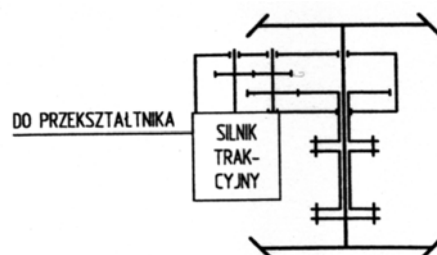
Moment obrotowy z przekładni przekazywany będzie na zestaw kołowy poprzez dwuprzegubowe elastyczne, bezluzowe sprzęgło, które ponadto skompensuje duże przemieszczenia wałów. Sprzęgło z jednej strony połączone będzie z wałem drażonym, a z drugiej strony z piastą osadzoną na osi zestawu kołowego.

W propozycji czwartej (rys.6c) silnik trakcyjny zawieszony będzie na ramie wózka, a więc będzie całkowicie odsprężynowany. Przekładnia osiowa będzie jednostopniowa, stożkowa, czołowa z kołami o zębach łukowych, całkowicie oparta za pośrednictwem łożysk tocznych na osi zestawu kołowego. Przekładnia połączona będzie z ramą wózka za pomocą drażka reakcyjnego. Moment obrotowy z silnika trakcyjnego na przekładnię przekazywany będzie za pośrednictwem wału przegubowego (Cardana).

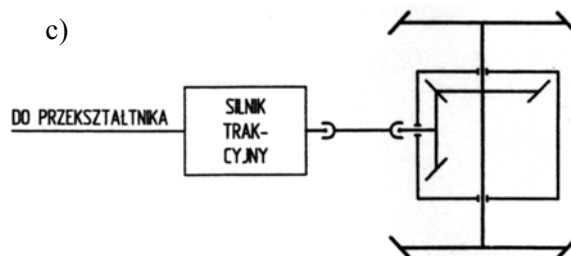
a)



b)



c)



Rys.6. Schematy przeniesienia napędu z silnika trakcyjnego na zestaw kołowy dla wózków jednoosiowych

- a – z jednostopniową przekładnią z kołami walcowymi połączoną z silnikiem trakcyjnym sprzęgłem zębatym
- b – z dwustopniową przekładnią z kołami walcowymi, wałem drażonym i kołnierzowym połączeniem przekładni z silnikiem trakcyjnym
- c – z jednostopniową przekładnią osiową z kołami stożkowymi

Propozycje rozwiązań przeniesienia napędu dla wózków dwuosiowych przedstawiono schematycznie na rys.7 i 8, przy czym rys.7 przedstawia schematycznie pełen układ napędowy, natomiast na rys.8 przedstawiono schematy przeniesienia napędu ograniczając się do zespołów zabudowanych w obrębie wózków napędowych.

Na rys.7 do przekładni stożkowej wprowadzono dodatkowy drugi stopień przełożenia, realizowany poprzez przekładnię z kołami walcowymi. Obie przekładnie zabudowane są w jednej obudowie, a zastosowanie dodatkowej przekładni może umożliwić zwiększenie przełożenia.

Schemat na rys.8a jest podwójnym układem prezentowanym już na rys.6c.

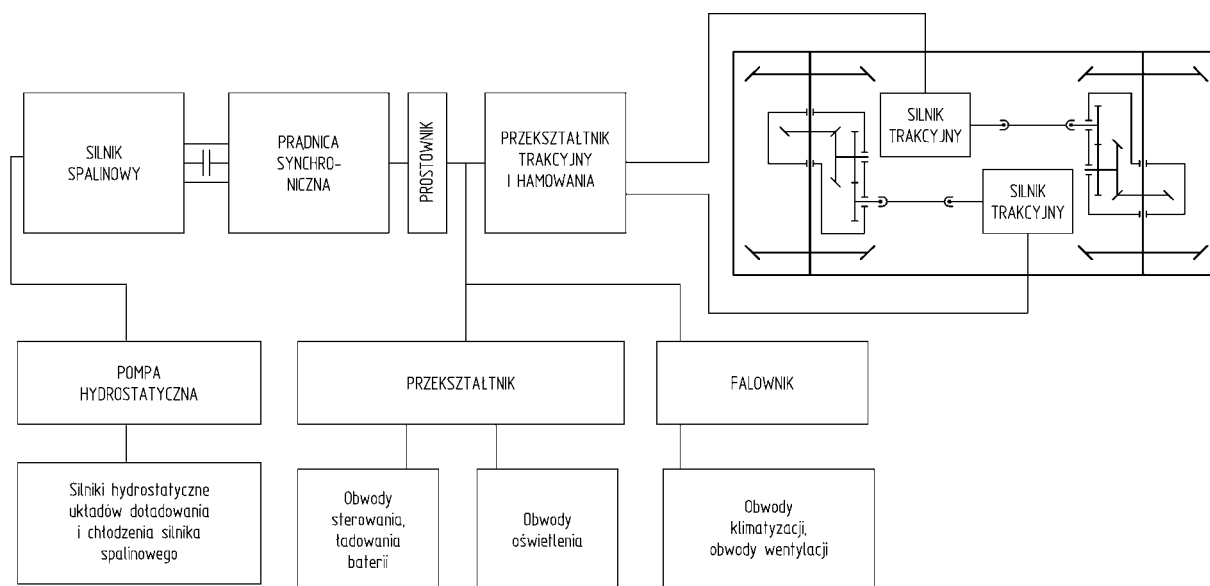
Na rys.8b przedstawiono propozycję układu napędowego identyczną (podwójną) jak już prezentowano na rys.6a dla wózka jednoosiowego.

Rys.8c prezentuje schemat napędu różniący się od rys.8b tylko zastosowaniem przekładni walcowej dwustopniowej dla uzyskania większej swobody w kształtowaniu przełożenia.

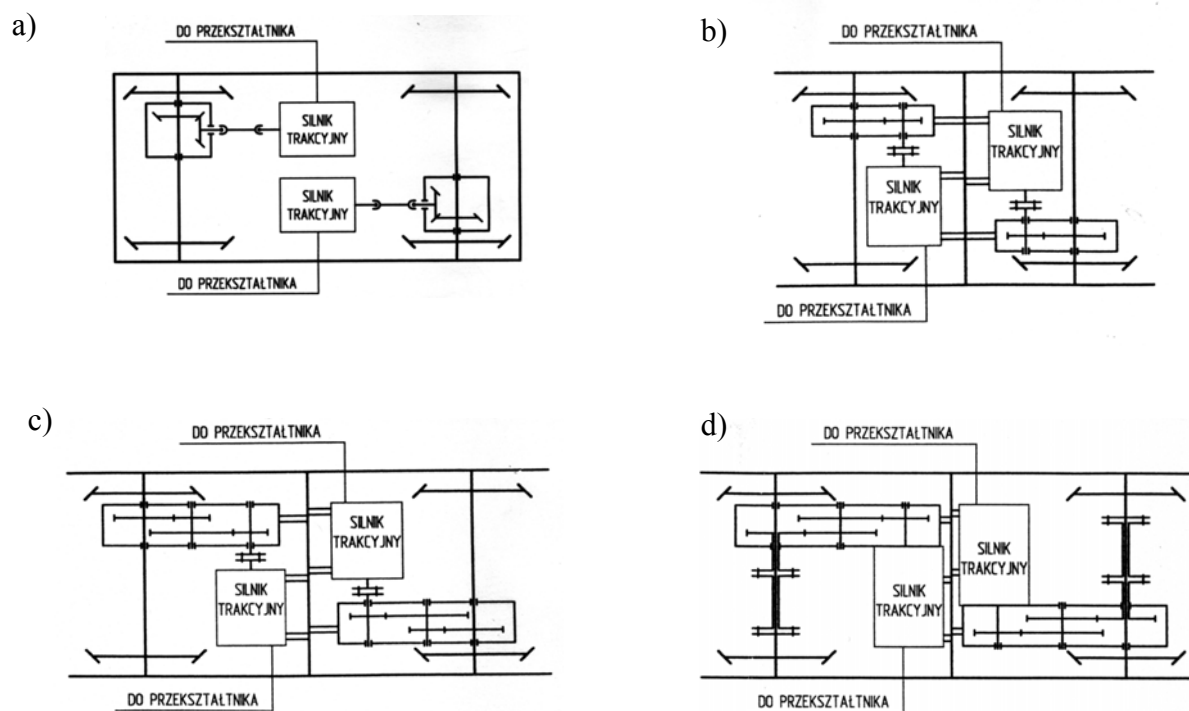
Na rys.8d przedstawiono natomiast schemat układu o budowie identycznej jak dla wózka jednoosiowego pokazanego na rys.6b.

Niezależnie od przedstawionych propozycji można proponować inne rozwiązania np. z silnikiem trakcyjnym zawieszonym pod ostoją pudła jak i z silnikiem przenoszącym napęd bezpośrednio na oś, z wirnikiem osadzonym na wale drażonym.

O wyborze jednej z propozycji, jak również wyborze wózka zdecyduje przede wszystkim konfiguracja lekkiego pojazdu szynowego, jego trwałość, niezawodność i żywotność, a głównie cena.



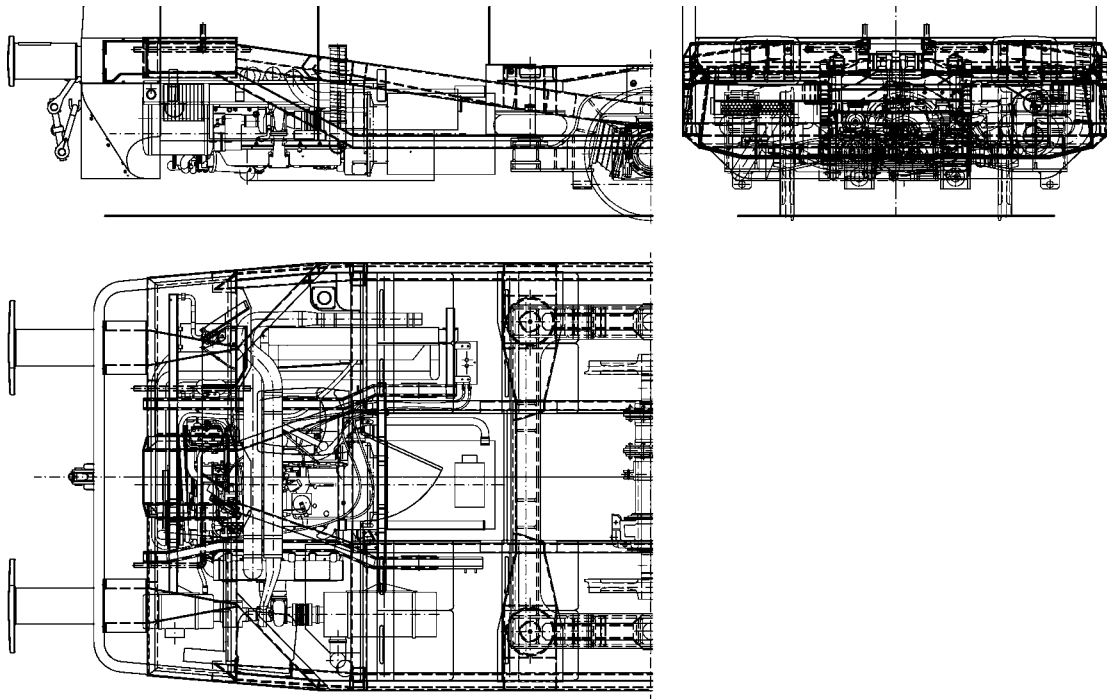
Rys.7. Schemat przeniesienia napędu z wykorzystaniem osiowej przekładni dwustopniowej (walcowej i stożkowej)



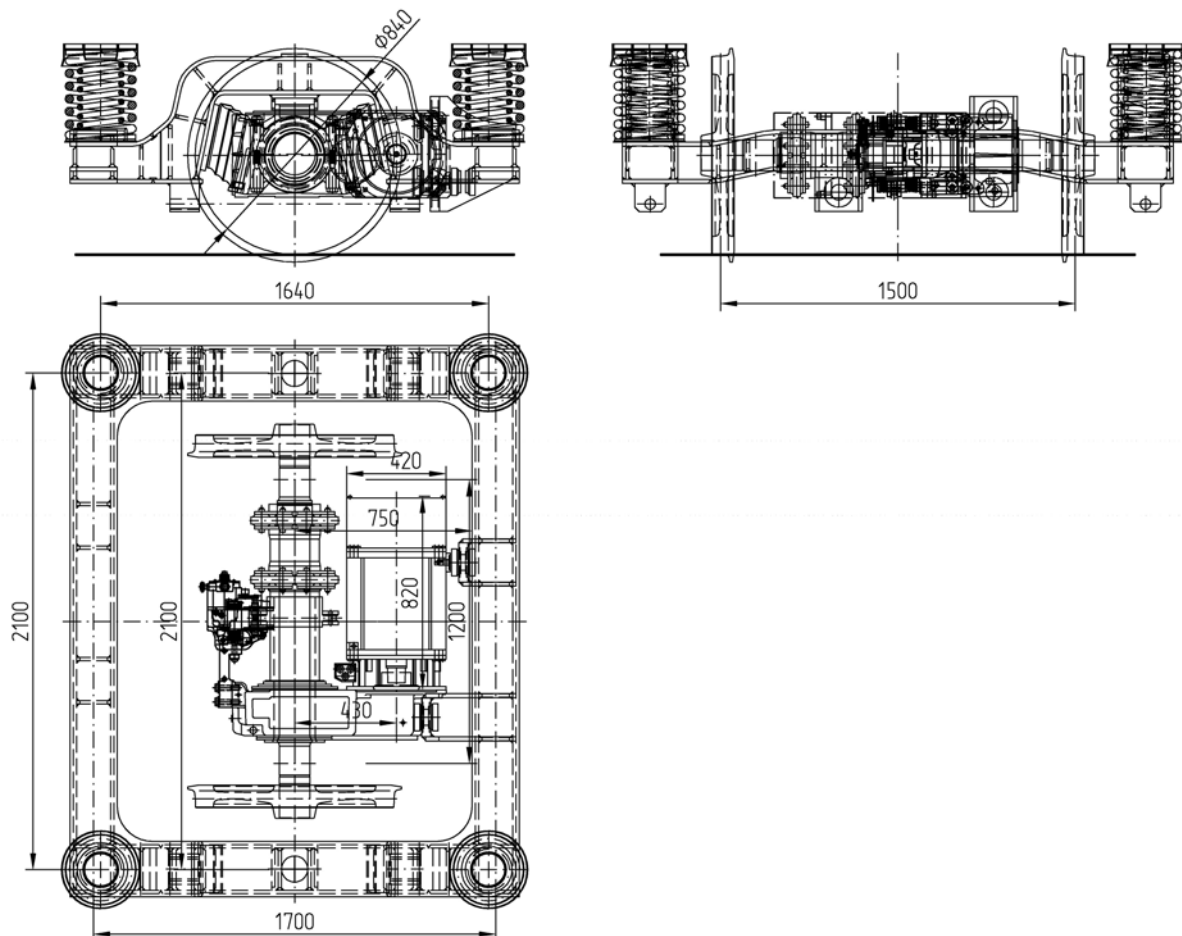
Rys.8. Schematy przeniesienia napędu z silników trakcyjnych na zestawy kołowe dla wózka dwuosowego

- a – z przekładnią jednostopniową z kołami stożkowymi
- b – z przekładnią jednostopniową z kołami walcowymi i połączeniem silnika trakcyjnego z pośrednictwem sprzęgła zębatego
- c – z przekładnią dwustopniową z kołami walcowymi i połączeniem przekładni z silnikiem trakcyjnym za pośrednictwem sprzęgła zębatego
- d – z przekładnią dwustopniową z kołami walcowymi i wałem drążonym oraz kołnierзовym połączeniem przekładni z silnikiem trakcyjnym

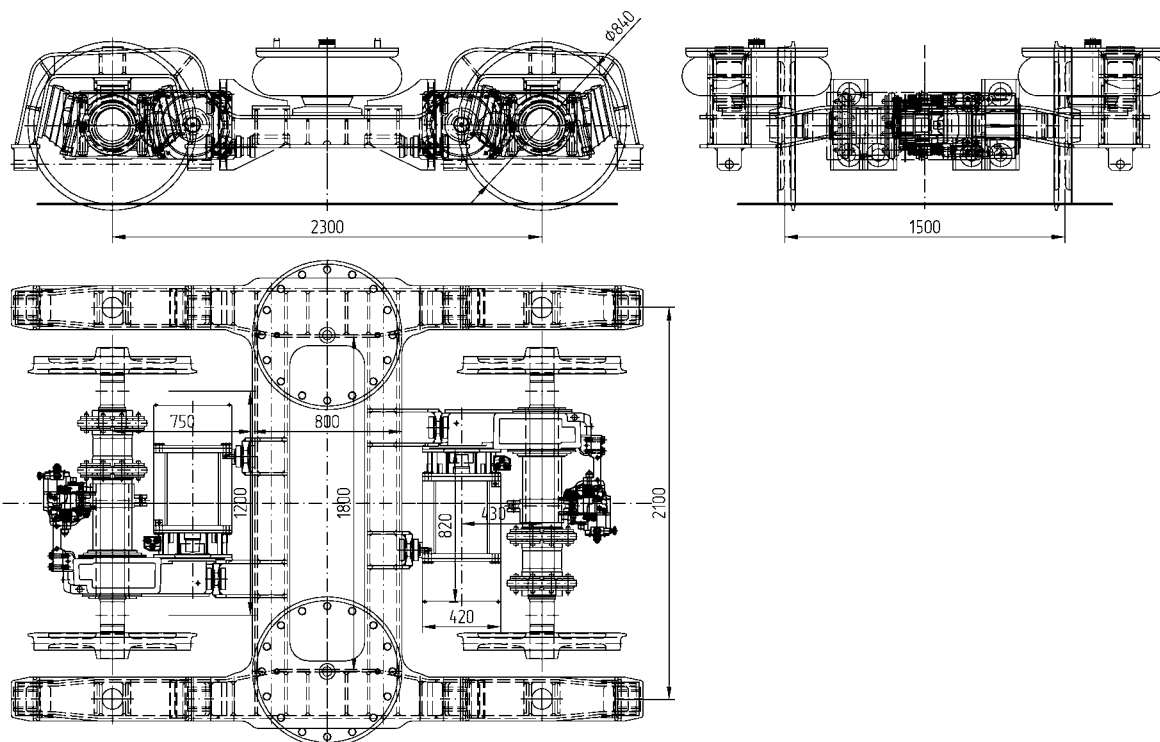
Na rys.9 przedstawiono koncepcję power-pack, a na rys.10 i 11 wybrane koncepcje wózka jednoosiowego i dwuosiowego.



Rys.9. Koncepcja zabudowy power-pack z przodu lekkiego pojazdu szynowego (widoczny również wózek jednoosiowy z usprężynowaniem i krótkim wałem drążonym)

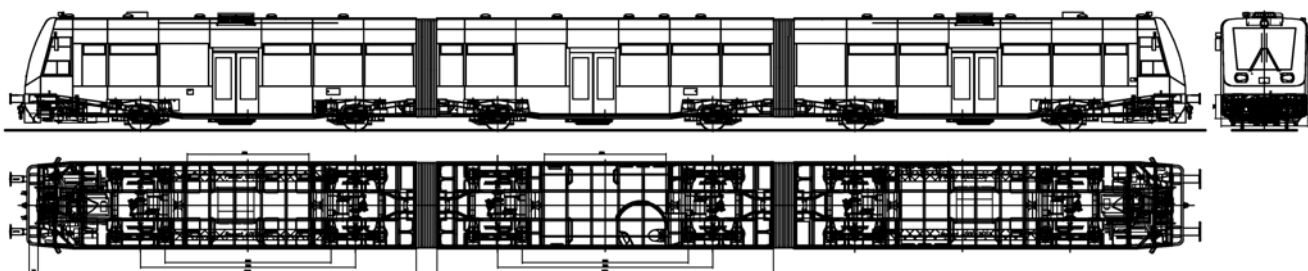


Rys.10. Koncepcja wózka jednoosiowego z silnikiem trakcyjnym i przekładnią osiową mocowaną na ramie wózka oraz wałem drążonym (oparcie pudła na wózku za pośrednictwem sprężyn śrubowych)

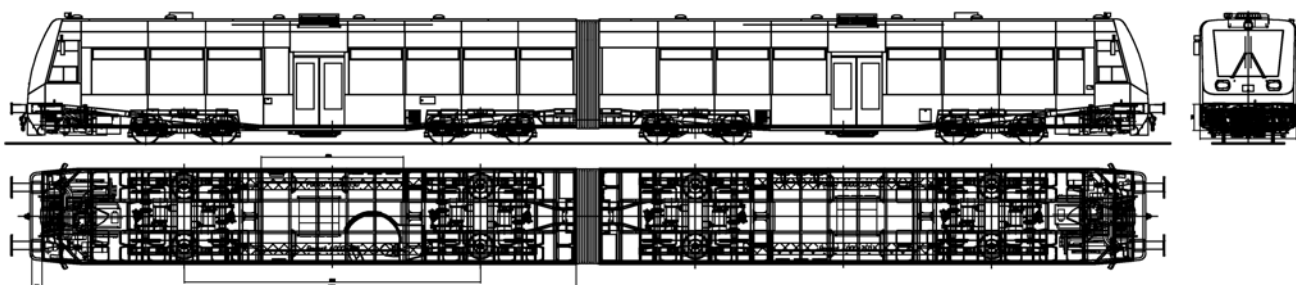


Rys.11. Koncepcja wózka dwuosiowego z silnikiem trakcyjnym, przekładnią osiową mocowaną na ramie i wałem drążonym (oparcie pudła na wózku za pośrednictwem sprężyn pneumatycznych)

Koncepcję rozmieszczenia urządzeń układu napędowego dla wybranych wariantów autobusów szynowych przedstawiono na rys.12 i 13.



Rys.12. Koncepcja zabudowy układów napędowych w autobusie szynowym typu 210M z wykorzystaniem wózków jednoosiowych



Rys.13. Koncepcja zabudowy układów napędowych w autobusie dwuczłonowym z wykorzystaniem wózków dwuosiowych

### 4.3. Koncepcja i założenia projektowe dla spalinowo-elektrycznego układu napędowego do zabudowy wewnątrz pojazdu

Propozycje rozmieszczenia zespołu mocy dla koncepcji układu napędowego wewnątrzpojazdowego mogą być rozwiązane dwuwariantowo [4]:

- wariant pierwszy identyczny jak dla koncepcji układu podpodłogowego przedstawionego na rys.4.
- wariant drugi, w którym proponuje się dwie gałęzie, a z każdej zasilanie dwóch silników trakcyjnych z oddzielnego przekształtnika napędowego.

W wariantcie pierwszym proponuje się następujący układ:

- silnik spalinowy (wersja stojąca) o mocy około  $560 \div 620$  kW
- prądnica trójfazowa synchroniczna o mocy około  $550 \div 600$  kW
- prostownik diodowy
- falownik napędowy o mocy 600 kW
- przekształtnik hamowania o mocy 400 kW
- opornice hamowania o mocy ok. 400 kW
- przetwornica statyczna 660V/3x400V/24V DC o mocy  $20 \div 25$  kW
- silniki trakcyjne dla napędu:
  - obydwu wózków dwuosiowych o mocy 100 kW każdy
  - tylko jednego wózka o mocy  $200 \div 220$  kW.

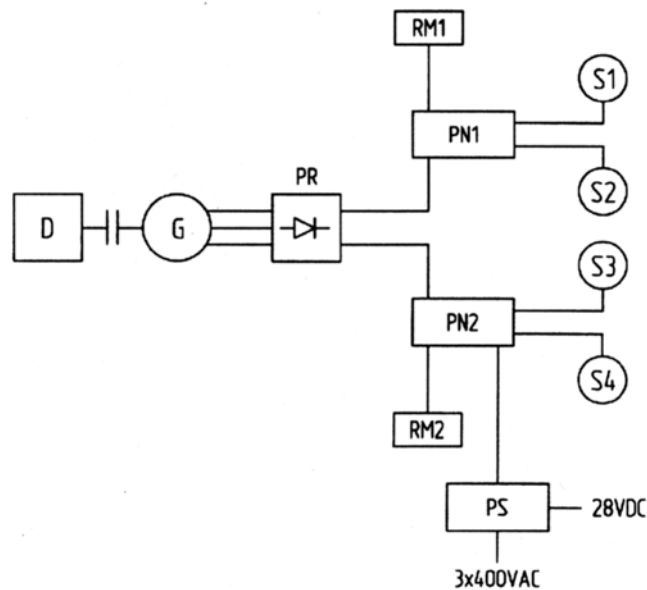
Lekki pojazd szynowy oparty byłby tylko na wózkach dwuosiowych, a konfiguracje układów przeniesienia momentu obrotowego na zestawy kołowe mogłyby być identyczne jak przedstawiono na rys.7 i 8.

Wariant drugi przedstawiony na rys.14 składałby się z:

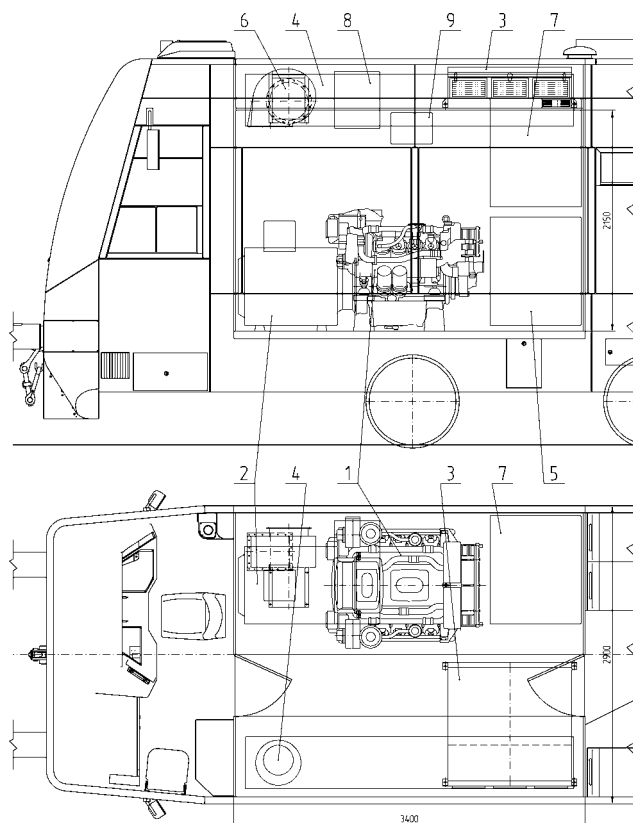
- silnika spalinowego, prądnicy głównej synchronicznej, prostownika diodowego i przetwornicy statycznej o parametrach jak dla wariantu pierwszego
- przekształtnika napędowego, opornic hamowania i silników trakcyjnych jak dla wersji napędu podpodłogowego, przy czym moc przekształtnika powinna wynosić ok. 300 kW, a moc silników trakcyjnych  $100 \div 120$  kW każdy.

W wariantcie tym silnik spalinowy, prądnica, prostownik oraz pozostałe zespoły winny być zabudowane w module napędowym za kabiną sterowniczą, przy czym dostęp do nich powinien być z dwóch stron: z zewnątrz pojazdu oraz z jego wnętrza od strony pasażera.

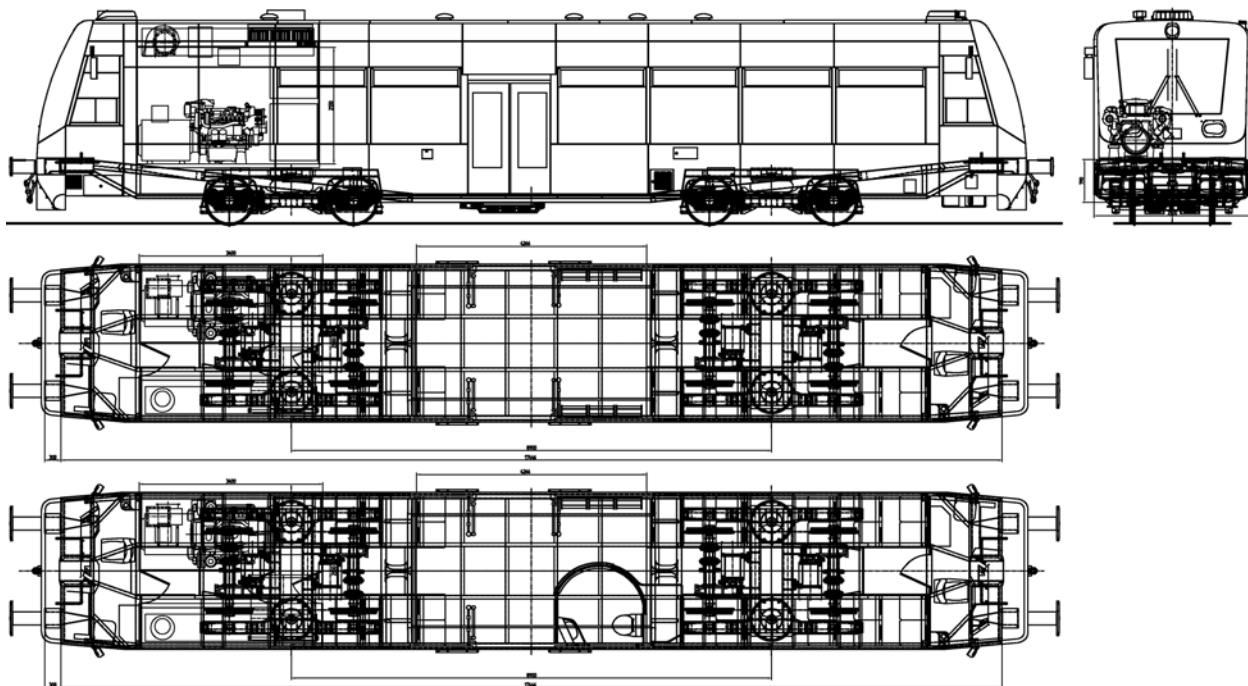
Koncepcję przedziału, a w zasadzie modułu napędowego, przedstawiono na rys.15, a zabudowy jego we wnętrzu autobusu jedno- i dwuczłonowego na rys. 16 i 17.



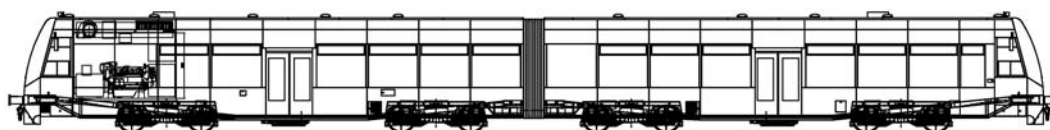
Rys.14. Schemat ideowy układu elektrycznego lekkiego pojazdu szynowego: D – silnik spalinowy; G – trójfazowa prądnica synchroniczna; PR – prostownik; PN1, PN2 – przekształtniki napędowe; RM1, RM2 – rezystory hamowania oporowego; S1 ÷ S4 – silniki asynchroniczne; PS – przetwornica statyczna



Rys.15. Koncepcja modułu napędowego wewnętrznego: 1 – silnik spalinowy; 2 – prądnica główna; 3 – przekształtnik napędowy (falownik, przekształtnik hamulca, prostownik); 4 – tłumik wylotu spalin; 5 – szafa sterująca; 6 – wentylator; 7 – zespół chłodniczy; 8 – zbiornik wyrównawczy



Rys.16. Koncepcje zabudowy modułu napędowego w autobusie jednoczłonowym



Rys.17. Koncepcja zabudowy modułu napędowego w autobusie dwuczłonowym

Ostateczny wybór układu napędowego zostanie dokonany po szczegółowej analizie rynku i zapotrzebowaniu na takie rozwiązania. Obecnie można wstępnie stwierdzić, że najlepszym rozwiązaniem krajowych spalinowo-elektrycznych układów napędowych będą propozycje typu power-pack, a więc do zabudowy pod pojazdami i częściowo na dachach.

Takie układy będą cenowo korzystniejsze, ponieważ konstrukcje podwozi wraz z wyposażeniem wewnętrznym są już do dyspozycji.

## 5. ZAKOŃCZENIE

Spalinowo-elektryczne układy napędowe lekkich pojazdów szynowych (w tym autobusów szynowych) decydują przede wszystkim o ich możliwościach trakcyjnych. Ważnym jest dla nich przede wszystkim ich trwałość, niezawodność oraz wysoka podatność obsługowo-naprawcza.

Mimo tego, że dotychczas najczęściej stosowanym układem napędowym w autobusach szynowych jest układ złożony z silnika spalinowego, przekładni

głównej hydraulicznej (hydromechanicznej), wałów przegubowych i przekładni osiowych (z nawrotnikiem lub bez w zależności od typu zastosowanej przekładni głównej) to ostatnio coraz częściej stosowany jest napęd spalinowo-elektryczny.

Napęd ten, ze względu na swoje walory użytkowe będzie podstawowym układem w lekkich pojazdach szynowych o większej mocy oraz przeznaczonych do jazdy z większymi prędkościami.

Zaprezentowane propozycje, koncepcje i założenia dla krajowych układów napędowych spalinowo-elektrycznych wychodzą naprzeciw przyszłym projektom konstrukcyjnym, zwłaszcza autobusów szynowych dla przewozów regionalnych i podmiejskich dla władz samorządowych zainteresowanych takimi rozwiązaniami.

Podstawową zaletą prezentowanych układów jest to, że poza silnikami spalinowymi (zarówno leżącymi jak i stojącymi) o wysokich wymaganiach, pozostałe maszyny, zespoły i urządzenia są już produkowane w kraju lub też mogą być potencjalnie uruchamiane przez producentów krajowych. O wszystkim jednak zadecyduje ekonomia, a więc zapotrzebowanie na takie konfiguracje napędów.

## LITERATURA

- [1] Marciniak Z.: *Przegląd lekkich wieloczołowych pojazdów szynowych z napędem spalinowo-elektrycznym. Pojazdy Szynowe nr 2/2006.*
- [2] Marciniak Z.: *Koncepcja spalinowo-elektrycznych układów napędowych dla lekkich pojazdów szynowych. Materiały XVII Konferencji Naukowej „Pojazdy Szynowe”, Kazimierz Dolny 2006 r.*
- [3] Marciniak Z. , Sienicki A.: *Wybór parametrów spalinowo-elektrycznego układu napędowego dla lekkiego pojazdu szynowego na podstawie obliczeń i badań symulacyjnych. Pojazdy Szynowe nr 4/2006 r.*
- [4] *Praca zbiorowa pod kierunkiem Z. Marciniaka: Wymagania i wytyczne dla nowoczesnego spalinowo-elektrycznego zespołu napędowego oraz koncepcje i założenia możliwych rozwiązań dla krajowego zespołu napędowego. Projekt badawczy KBN nr 4T12D01227. Praca niepublikowana. IPS „Tabor”, Poznań 2005 r.*
- [5] *Karta UIC 505-1. Pojazdy kolejowe. Skrajnia pojazdów. Wyd. 10, 05.2006 r.*
- [6] *Karta UIC 518. Badania i homologacja pojazdów kolejowych z punktu widzenia właściwości dynamicznych, bezpieczeństwa jazdy, obciążenia toru i parametrów biegowych. Wyd. 3, 08.2005 r.*
- [7] *Karta UIC 515-0. Tabor dla transportu pasażerskiego. Wózki - Układy biegowe. Wyd. 2, 04.2001 r.*
- [8] *Karta UIC 624. Badanie emisji gazów wdechowych silników spalinowych trakcyjnych. Wyd. 3, 02.2006 r.*
- [9] *Norma PN-EN 12663:2002. Kolejnictwo. Wymagania konstrukcyjno-wytrzymałościowe dotyczące pudeł kolejowych pojazdów szynowych.*
- [10] *Norma PN-92/K-11000. Tabor kolejowy. Hałas. Ogólne wymagania i badania.*