

*dr inż. Zygmunt Marciniak, prof. nadzw.  
prof. dr hab. inż. Janusz Mielniczuk,  
mgr inż. Wojciech Jakuszko,  
mgr inż. Piotr Michalak,  
Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”*

## **Konstrukcja układów napędu hybrydowego dla wybranych zmodernizowanych lokomotyw spalinowych do ruchu manewrowego i przetokowego**

*Artykuł jest poświęcony realizacjom prac związanych z zastosowaniem układów napędu hybrydowego w przewidzianych do modernizacji lokomotyw spalinowych przeznaczonych do prac przetokowych i manewrowych. Zaprezentowano w nim wymagania i wytyczne dla głównych zespołów i układów tworzących napęd hybrydowy. Przedstawiono również spalinowe lokomotywy manewrowe, które zostały wytypowane do zastosowania w nich układów napędu hybrydowego oraz zaprezentowano wariantowe rozwiązania konstrukcyjne możliwe do zabudowy w każdej z wytypowanych lokomotyw. Ponadto przedstawione zostaną parametry głównych zespołów i charakterystyki trakcyjne oraz możliwości lokomotyw w pracy manewrowej z wykorzystaniem zasobników energii. W zakończeniu przedstawiony zostanie zakres dalszych prac konstrukcyjno-wdrożeniowych dla wybranego wariantu oraz możliwości jego realizacji. Artykuł został przygotowany w ramach projektu rozwojowego własnego NR 10 00 6210 pt. „Lokomotywa manewrowa z hybrydowym układem napędowym z wykorzystaniem wysokowydajnych zasobników energii” finansowanego z budżetu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*

### **1 WSTĘP**

Ograniczenie szkodliwego oddziaływania pojazdów trakcji spalinowej na środowisko naturalne to przede wszystkim zmniejszenie zużycia oleju napędowego oraz środków smarnych poprzez zastosowanie nowoczesnych silników spalinowych napędu głównego. W ostatnich latach dąży się również do zastosowania innych rodzajów napędów, w tym napędu hybrydowego, w którym zasilanie silników trakcyjnych odbywa się z wysokowydajnych zasobników energii (ogniwa akumulatorowe, kondensatory) lub z zasobników wspomaganych energią wytworzoną przez zabudowany na lokomotywie zespół prądowórczy (silnik spalinowy, prądnica prądu przemiennego, prostownik).

Pierwsze pojazdy hybrydowe powstały na bazie samochodów, autobusów, trolejbusów i tramwajów [1, 2]. Dopiero od kilkunastu lat rozpoczęto prace nad stworzeniem układu hybrydowego napędu z zastosowaniem do lokomotyw przeznaczonych najczęściej do ruchu manewrowego i przetokowego [2, 3, 4]. W Polsce prace wstępne nad stworzeniem układu napędu hybrydowego, w zastosowaniu do modernizowanych spalinowych lokomotyw manewrowych rozpoczęto w 2010 roku, a szybki ich rozwój nastąpił w połowie 2011 roku, kiedy Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu uzyskał dofinansowanie na wykonanie badań przemysłowych i prac rozwojowych w ra-

mach projektu rozwojowego pt. „Lokomotywa manewrowa z hybrydowym układem napędowym z wykorzystaniem wysokowydajnych zasobników energii”.

W ostatnich latach w ramach realizowanego projektu wykonano szeroki i dogłębny przegląd literaturowy układów hybrydowych, przeprowadzono analizę pracy takich układów (w tym badania symulacyjne), przygotowano wstępne wytyczne dla głównych układów i zespołów napędu hybrydowego oraz wykonano koncepcje i założenia lokomotyw, które najbardziej nadawały się do zastosowania tych układów w rzeczywistych konstrukcjach spalinowych lokomotyw manewrowych [5, 6, 7, 8].

W dalszej części artykułu (artykułu) przedstawiony został dalszy ciąg prac związanych z wdrożeniem hybrydowych układów napędowych w jednej (lub kilku) spalinowych lokomotyw manewrowych zmodernizowanych lub przewidzianych do modernizacji.

Zaprezentowano w nim główne wymagania i wytyczne dla wyszczególnionych zespołów i układów wraz z podaniem ich wstępnych danych technicznych i charakterystyk oraz opracowanymi dokumentacjami konstrukcyjnymi układów napędu hybrydowego.

Ponadto przygotowano dalszy zakres prac pozwalających na wdrożenie do produkcji i eksploatacji zmodernizowanych lokomotyw spalinowych wyposażonych w układ napędu hybrydowego.

## 2. WYMAGANIA I WYTYCZNE DLA GŁÓWNYCH ZESPOŁÓW I UKŁADÓW NAPĘDU HYBRYDOWEGO ORAZ KONCEPCJE LOKOMOTYW

Głównymi układami i zespołami wchodzącymi w skład napędu hybrydowego niezależnie od wytypowanej spalinowej lokomotywy manewrowej są [5]:

- silniki spalinowe napędu głównego
- prądnice główne i prostowniki trakcyjne
- przetwornice pomocnicze
- przekształtniki trakcyjne (prąd stały/prąd stały)
- wysokowydajne zasobniki energii
- urządzenia do kontroli i ładowania wysokowydajnych zasobników energii
- silniki trakcyjne oraz przekładnie osiowe
- układy sterowania i diagnostyki napędu.

Wymienione powyżej zespoły i układy powinny spełniać zarówno wymagania normatywne oraz wymagania konstrukcyjne ogólne i szczegółowe. Do najważniejszych należy zaliczyć:

- dla silnika spalinowego to niskie zużycie oleju napędowego i środków smarnych oraz minimalne oddziaływanie na środowisko naturalne (spełnienie wymagań poziomu IIIB dla emisji substancji szkodliwych, takich, jak: CO, HC, NO<sub>x</sub> oraz cząstek stałych PM)
- dla prądnic głównych to konstrukcja maszyn prądu przemiennego, najczęściej synchronicznych
- dla przekształtników trakcyjnych, przetwornic statycznych to urządzenia (zespoły) mikroprocesorowe zdalne do zasilania obwodów głównych (silniki trakcyjne) i napędów pomocniczych z jednego lub dwóch źródeł zasilania (oddzielnie lub równocześnie)
- dla wysokowydajnych zasobników energii to budowa ogniwo o dużej trwałości, małej masie i gabarytach oraz parametrach napięciowo-prądowych zbliżonych do parametrów silników trakcyjnych
- dla układów ładowania zasobników to możliwość ładowania z prostowników prądnic głównych oraz z niezależnego źródła zewnętrznego, najkorzystniejszy czas ładowania, rejestracja i kontrola głównych parametrów takich jak prąd i napięcie ładowania, temperatura, energia użytkowa do zasilania silników trakcyjnych
- dla silników trakcyjnych i przekładni osiowych to pełna modernizacja z wymianą klasy izolacji oraz zdecydowaną poprawą szczelności układu przemienienia napędu (przekładni, połączeń i osadzeń)

- dla układów sterowania i diagnostyki to budowa mikroprocesorowa z możliwością nadzorowania i kontroli parametrów pracy najważniejszych zespołów.

Ponadto dla zespołów i układów lokomotyw nie wymagających wymiany i zastosowania nowych maszyn, zespołów i urządzeń, wymagana będzie ich naprawa oraz niezbędna modernizacja.

Szczegółowe wymagania dla wszystkich zespołów i układów wchodzących w skład lokomotyw przewidzianych do wprowadzenia napędów hybrydowych przedstawionych w pracy [12] zależą od typu lokomotywy, ilości zastosowanych zespołów prądowców (silnik spalinowy napędu głównego, prądnice główne, przekształtniki, przetwornice, prostowniki) oraz ilości ogniwo tworzących jeden lub kilka modułów wysokowydajnych zasobników energii.

W wyniku przeprowadzonych szczegółowych analiz symulacyjnych modeli hybrydowych układów napędowych [4] zostały przygotowane koncepcje i założenia dla następujących wariantów lokomotyw:

- o układzie osi C (z dwoma silnikami trakcyjnymi) z jednym modułem zasobników i jednym modułem prądowców
- o układzie osi B<sub>0</sub>-B<sub>0</sub> (z czterema silnikami trakcyjnymi) z dwoma modułami zasobników i jednym lub dwoma modułami prądowcami
- o układzie osi C<sub>0</sub>-C<sub>0</sub> (z sześcioma silnikami trakcyjnymi) z trzema modułami zasobników i jednym lub trzema modułami prądowcami.

Bazowymi lokomotywami, w których przewidziana będzie zabudowa napędów hybrydowych będą lokomotywy spalinowe do prac przetokowych i manewrowych typu 401Da, 6D (SM42) i TEM2 (SM48) [6, 7, 8].

Ponadto zdecydowano, że w zależności od realizowanych prac manewrowych i przetokowych lokomotywy hybrydowe umożliwią realizację zadań w trzech różnych wariantach:

- zasilanie silników trakcyjnych bezpośrednio z wysokowydajnych zasobników energii
- zasilanie silników trakcyjnych z energii zgromadzonej w zasobnikach wspomaganą energią wytworzoną przez prądnicę główną
- zasilanie silników trakcyjnych energią wytworzoną przez prądnicę główną tylko dla zjazdów awaryjnych.

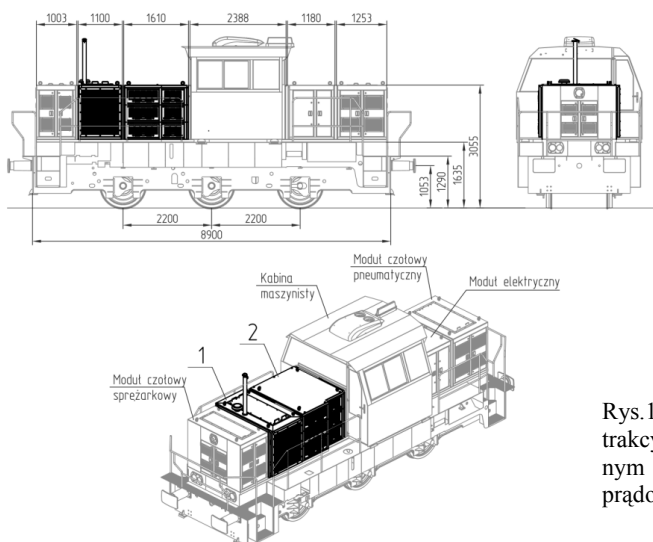
Proces zasilania silników trakcyjnych odbywać się będzie automatycznie po odpowiednim ustawieniu nastawnika jazdy i uzależniony będzie od zapotrzebowania na odpowiednią wartość siły pociągowej i realizowanej prędkości [5].

### 3. KONSTRUKCJA NAPĘDÓW HYBRYDOWYCH DLA WYBRANYCH SPALINOWYCH LOKOMOTYW MANEROWYCH I PRZETOKOWYCH

Przygotowane koncepcje i założenia hybrydowych układów napędowych oraz wybrane warianty lokomotyw, w których zamierza się je zastosować wyznaczyły kierunki dalszych prac, tj. opracowanie dokumentacji hybrydowego układu napędowego, a następnie jej wykorzystanie w budowie wybranego wariantu lokomotywy.

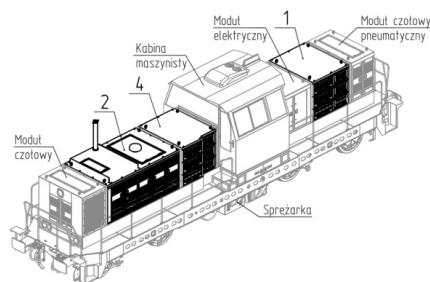
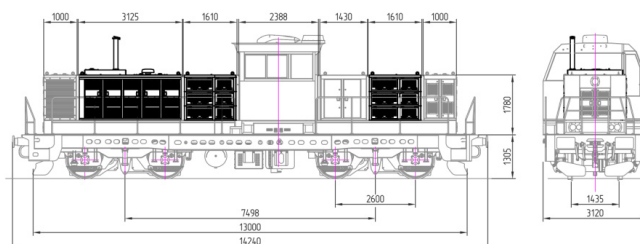
Na obecnym etapie kontynuując przygotowane koncepcje [6, 7, 8] opracowano pięć wariantów układów w zastosowaniu do lokomotyw spalinowych, tj.:

- dla lokomotywy o układzie osi C przeznaczanej zasadniczo do prowadzenia lekkich prac manewrowych i przetokowych - jeden moduł zespołu prądotwórczego i jeden moduł wysokowydajnych zasobników energii
- dla lokomotywy o układzie osi B<sub>0</sub>-B<sub>0</sub> przeznaczanej zasadniczo do prac manewrowych o średnim natężeniu oraz do prac przetokowych na liniach głównych - wariant I z jednym modułem zespołu prądotwórczego i dwoma modułami wysokowydajnych zasobników energii oraz wariant II z dwoma modułami zespołu prądotwórczego i z dwoma modułami wysokowydajnych zasobników energii
- dla lokomotywy o układzie osi C<sub>0</sub>-C<sub>0</sub> przeznaczanej do ciężkich prac manewrowych oraz prowadzenia pociągów towarowych na liniach głównych - wariant I z jednym modułem zespołu prądotwórczego i z trzema modułami wysokowydajnych zasobników energii oraz wariant II z trzema modułami zespołów prądotwórczych i z trzema modułami wysokowydajnych zasobników energii.

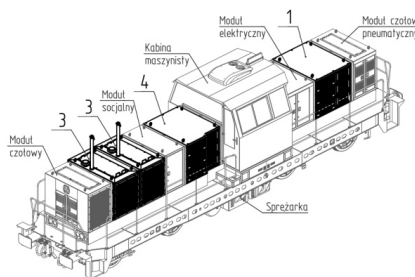
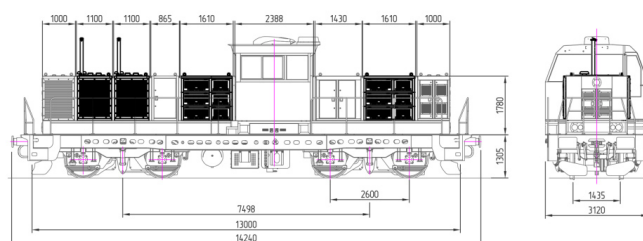


Rys.1 Układ ogólny lokomotywy hybrydowej (z dwoma silnikami trakcyjnymi) z jednym modułem zespołu prądotwórczego i jednym modułem wysokowydajnych zasobników energii 1 – moduł prądotwórczy 2 – moduł zasobników energii

Układy ogólne wszystkich opracowanych wariantów lokomotyw z napędami hybrydowymi przedstawiono na rys. 1÷5.

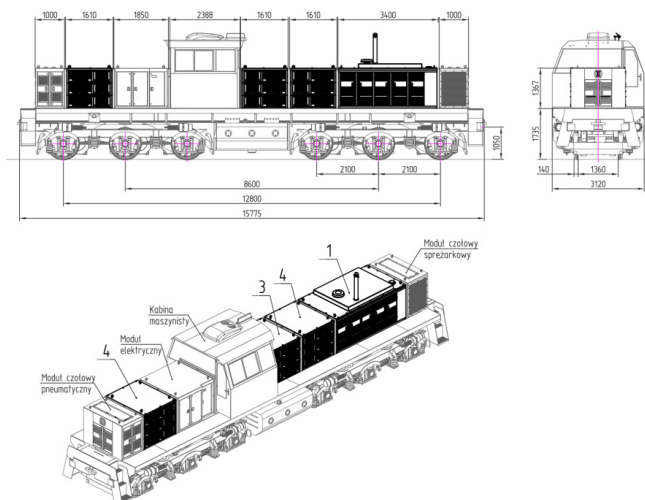


Rys.2 Układ ogólny lokomotywy hybrydowej (z czterema silnikami trakcyjnymi) z jednym modułem zespołu prądotwórczego i dwoma modułami wysokowydajnych zasobników energii 1,4 – moduły zasobników energii 2 – moduł prądotwórczy

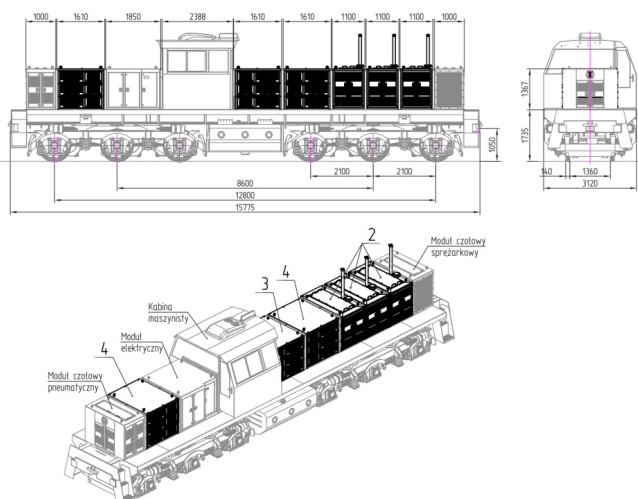


Rys.3 Układ ogólny lokomotywy hybrydowej (z czterema silnikami trakcyjnymi) z dwoma modułami zespołu prądotwórczego i dwoma modułami wysokowydajnych zasobników energii 1,4 – moduły zasobników energii 3 – moduł prądotwórczy





Rys.4 Układ ogólny lokomotywy hybrydowej (z sześcioma silnikami trakcyjnymi) z jednym modulem zespołu prądowórczego oraz trzema modułami wysokowydajnych zasobników energii 1 – moduł prądowórczy 3,4 – moduły zasobników energii



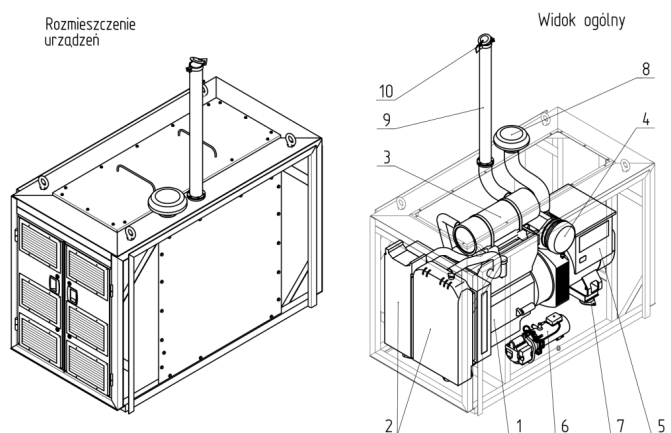
Rys.5 Układ ogólny lokomotywy hybrydowej (z sześcioma silnikami trakcyjnymi) z trzema modułami zespołu prądowórczego oraz trzema modułami wysokowydajnych zasobników energii 2 – moduł prądowórczy 3,4 – moduły zasobników energii

Dla wszystkich wariantów lokomotyw pełna dokumentacja hybrydowych układów napędowych obejmowała następujące rysunki i schematy:

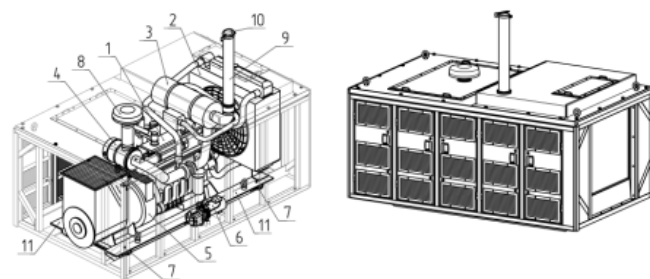
- układ ogólny lokomotywy hybrydowej
- zabudowa modułu prądowórczego wraz z układem ogólnym, obudową, szkieletem, układem drzwi i kłap oraz rozmieszczeniem urządzeń i maszyn w module
- zabudowa modułu zasobników energii wraz z układem ogólnym, obudową, szkieletami segmentów obudowy i dachowego, układu drzwi i kłap oraz rozmieszczeniem urządzeń w module
- schematy obwodu prądnicy głównej oraz obwodów zasilania i rozruchu (wraz z wykazami wyposażenia)

- schematy obwodu silników trakcyjnych (wraz z wykazami wyposażenia)
- schematy obwodu rozrządu (w tym schemat połączeń magistrali CAN oraz wykazy wyposażenia)
- schematy sterowania stycznikami silników trakcyjnych (wraz ze schematami wyposażenia)
- schematy zasilania i sterowania napędów pomocniczych (wraz ze schematami wyposażenia).

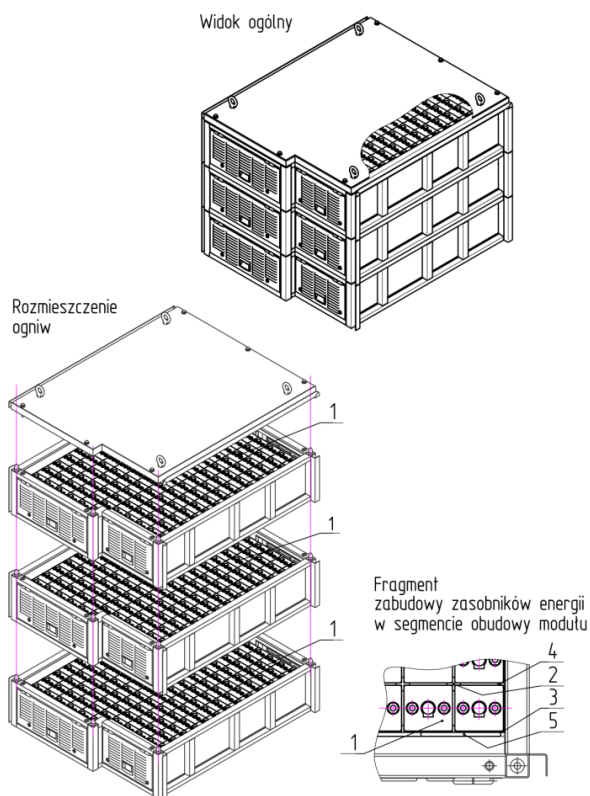
Przykładowe rysunki zabudowy modułu zespołów prądowórczych oraz modułu wysokowydajnych zasobników energii przedstawiono na rys. 6÷10.



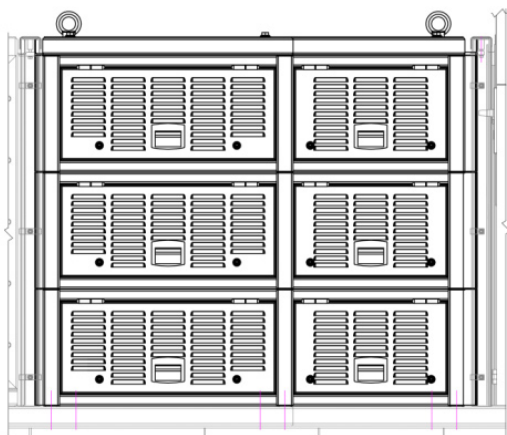
Rys.6 Układ ogólny i rozmieszczenie urządzeń w module zespołu prądowórczego dla lokomotywy o układzie osi C 1 – silnik spalinowy Caterpillar C 4.4 Acert 2 – zespół chłodnic 3 – system oczyszczania spalin 4 – filtr powietrza 5 – prądnica trakcyjna 6 – podgrzewacz wstępny WEBASTO 7 – podpora elastyczna 8 – osłona wlotu powietrza 9 – komin wylotu spalin 10 – pokrywa kominu



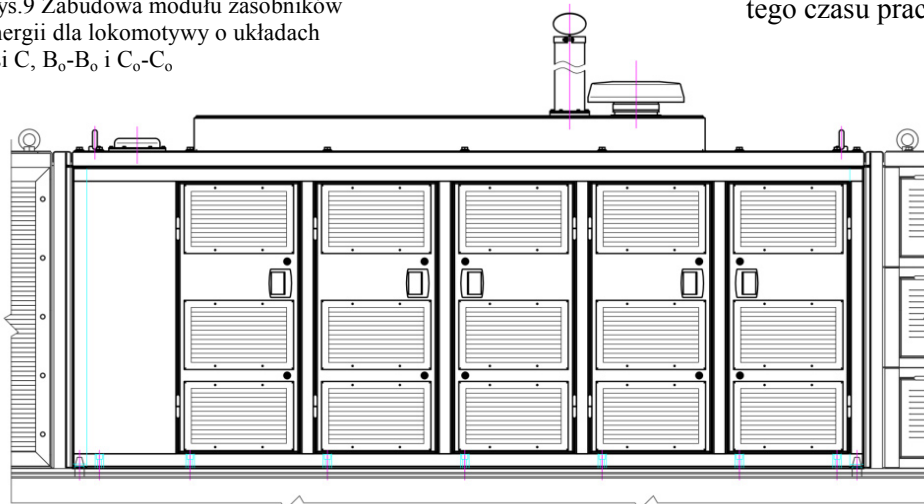
Rys.7 Układ ogólny i rozmieszczenie urządzeń w module zespołu prądowórczego dla lokomotywy o układzie osi Bo-Bo 1 – silnik spalinowy CATERPILLAR C9.3 ACERT 2 – zespół chłodnic 3 – system oczyszczania spalin 4 – filtr powietrza 5 – prądnica trakcyjna 6 – podgrzewacz wstępny WEBASTO 7 – podpora elastyczna 8 – osłona wlotu powietrza 9 – komin wylotu spalin 10 – pokrywa kominu 11 – rama silnika i prądnicy



Rys.8 Układ ogólny i rozmieszczenie ogniw w module zasobników energii dla lokomotyw o układach osi C, B<sub>0</sub>-B<sub>0</sub> i C<sub>0</sub>-C<sub>0</sub>.  
1 – zespół ogniw typu FNC-A 190 HR 2 2 – przekładka krzyżowa  
3 – przekładka kątowna 4 – przekładka teowa 5 – płyta kompensacyjna



Rys.9 Zabudowa modułu zasobników energii dla lokomotyw o układach osi C, B<sub>0</sub>-B<sub>0</sub> i C<sub>0</sub>-C<sub>0</sub>



Rys.10 Zabudowa modułu zespołu prądowłórczego dla lokomotyw o układzie osi Co-Co

Ponadto na ostojach każdej z lokomotyw przy-  
porządkowane i mocowane są moduły nowoczesnej  
kabinie sterowniczej z dwoma stanowiskami, moduł  
czołowy sprężarkowy (wraz z układami oświetlenia i  
sygnalizacji), moduł czołowy pneumatyczny z tablicą  
pneumatyczną i zbiornikami powietrza oraz moduł  
aparatury i urządzeń elektrycznych.

Moduły te wymagać będą oddzielnego rozpra-  
cowania dla wybranego wariantu lokomotywy i wa-  
riantu układu napędu hybrydowego przewidzianego do  
realizacji.

Wszystkie inne zespoły i układy, takie jak  
układy biegowe i wózki, ostoje, urządzenia pociągo-  
wo-zderzne, odgarniacze, układy stopni i poręczy itp.  
będą w miarę potrzeby modernizowane lub poddane  
naprawom głównym.

Szczegółowa dokumentacja konstrukcyjna dla  
poszczególnych wariantów lokomotyw wyposażonych  
w hybrydowe układy napędowe przedstawiono w pra-  
cach [9, 10, 11].

#### 4. PARAMETRY GŁÓWNYCH ZESPOŁÓW ORAZ CHARAKTERYSTYKI I MOŻLIWO- ŚCI TRAKCYJNE SPALINOWYCH LOKO- MOTYW HYBRYDOWYCH

Dla każdego z opracowanych wariantów lo-  
komotyw zostały określone parametry głównych ze-  
społów, które są już produkowane i charakteryzują się  
wysokim poziomem technicznym oraz wyznaczane  
parametry zespołów, których produkcję należałoby  
uruchomić w czasie budowy i modernizacji lokomo-  
tyw bazowych [13].

I tak:

- 1) dla lokomotywy o układzie osi C (z jednym modu-  
łem zespołu prądowłórczego i jednym zespołem  
wysokowydajnych zasobników energii) wytypo-  
wano:
  - a) silnik spalinowy typu Caterpillar C4.4 Acert o  
mocy 92,5kW, obrotach 2200 1/min, momencie  
obrotowym 530Nm, masie 700kg pracujący  
cyklicznie z pełną mocą max do 80% całkowi-  
tego czasu pracy

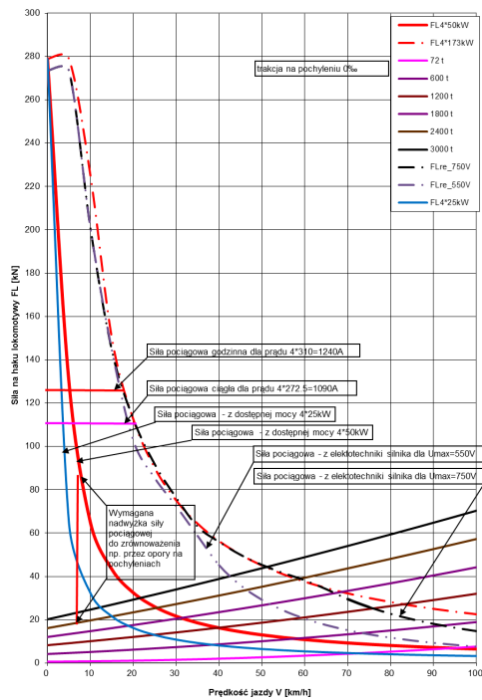
- b) prądnicę główną o mocy 100kW, napięciu 700V, prądzie 145A i obrotach 2200 1/min
  - c) prostownik trakcyjny o mocy 120kW z przewietrzaniem własnym
  - d) przetwornicę statyczną (pomocniczą) o napięciu wejściowym 400÷900VDC, mocy wyjściowej DC – 10kW (dla 26VDC) i mocy wyjściowej AC – 20kVA (dla 3x400VAC, 50Hz)
  - e) przekształtnik trakcyjny DC/DC z płynną regulacją prądu o mocy 400kW z przewietrzaniem własnym
  - f) urządzenia do kontroli i ładowania wysokowydajnych zasobników energii o napięciu wejściowym zewnętrznym 3x400VAC i wewnętrznym 700VDC, napięciu wyjściowym 700VDC, maksymalnym prądem ładowania 63A i maksymalnym ciągłym prądem rozładowania 190A z przewietrzaniem własnym
  - g) wysokowydajny zasobnik energii zbudowany z ogniw firmy Hoppecke FNC® - A190 HRC o pojemności ogniwa 190Ah, ilości ogniw 447, napięciu znamionowym modułu 537V, prądzie znamionowym modułu 190A, ilości energii zmagazynowanej od 102kWh i energii użytkowej ok. 81kWh. W lokomotywie zabudowany będzie jeden moduł zasobnika
  - h) dotychczasowy silnik trakcyjny – typ LST – 430 o mocy 173kW zmodernizowany w zakresie izolacji i szczelności, współpracujący z przekładnią jednostopniową o przełożeniu 4,41. W lokomotywie będą zabudowane dwa silniki trakcyjne
- 2) dla lokomotywy o układzie osi B<sub>0</sub>-B<sub>0</sub> (z jednym modułem zespołu prądotwórczego i dwoma modułami wysokowydajnych zasobników energii) wytypowano:
- a) silnik spalinowy typu Caterpillar C9.3 Acert o mocy 242kW, max obrotach 2200 1/min, momencie obrotowym 1483Nm, masie 1839kg pracujący cyklicznie z pełną mocą max do 80% całkowitego czasu pracy
  - b) prądnicę główną o mocy 200kW, napięciu 700V, prądzie 290A i obrotach 2200 1/min
  - c) prostownik trakcyjny o mocy 240kW z przewietrzaniem własnym
  - d) przetwornicę statyczną (pomocniczą) o mocy 60kW z tego 10kW (dla napięcia wyjściowego 26VDC) i 50kVA (dla napięcia wyjściowego 3x400VAC, 50Hz)
  - e) przekształtnik trakcyjny DC/DC o parametrach jak w [pkt 1e] (dwa przekształtniki na lokomotywę)
  - f) urządzenia do kontroli i ładowania wysokowydajnych zasobników energii o parametrach jak w [pkt 1f] (dwa urządzenia na lokomotywę)
- 3) dla lokomotywy o układzie osi B<sub>0</sub>-B<sub>0</sub> (z dwoma modułami zespołu prądotwórczego i dwoma modułami wysokowydajnych zasobników energii) wytypowano:
- a) silnik spalinowy o parametrach jak w [pkt 1a] (na lokomotywie zabudowane będą dwa silniki)
  - b) prądnica główna
  - c) prostownik trakcyjny } o parametrach jak w [pkt 1b i 1c] (dwa układy na lokomotywę)
  - d) przetwornicę statyczną o parametrach jak w [pkt 2d]
  - e) przekształtnik trakcyjny DC/DC o parametrach jak w [pkt 1e] (dwa przekształtniki na lokomotywę – jeden na parę silników trakcyjnych)
  - f) urządzenia do kontroli i ładowania wysokowydajnych zasobników energii o parametrach jak w [pkt 1f] (dwa urządzenia na lokomotywę – po jednym na każdy moduł zasobnika energii)
  - g) wysokowydajny zasobnik energii o parametrach jak w [pkt 1g] (dwa moduły zasobników na lokomotywę)
  - h) dotychczasowy silnik trakcyjny. W lokomotywie będą zabudowane cztery silniki trakcyjne
- 5) dla lokomotywy o układzie osi C<sub>0</sub>-C<sub>0</sub> (z trzema modułami zespołów prądotwórczych oraz z trzema modułami wysokowydajnych zasobników energii) wytypowano:
- a) silnik spalinowy o parametrach jak w [pkt 1a] (na lokomotywie zabudowano trzy silniki spalinowe)
  - a) prądnica główna
  - b) prostownik trakcyjny } o parametrach jak w [pkt 1b i 1c] (trzy zespoły na lokomotywę)
  - c) przetwornicę statyczną (pomocniczą) o parametrach jak w [pkt 2d]
  - d) przekształtnik trakcyjny DC/DC o parametrach jak w [pkt 1e] (trzy przekształtniki na lokomotywę – po jednym na parę silników trakcyjnych)
  - e) urządzenia do kontroli i ładowania wysokowydajnych zasobników energii o parametrach jak w [pkt 1f] (na lokomotywie zabudowano trzy urządzenia – po jednym na każdy moduł zasobnika energii)
  - f) wysokowydajny zasobnik energii o parametrach jak w [pkt 1g] (na lokomotywie zabudowano trzy moduły zasobników)



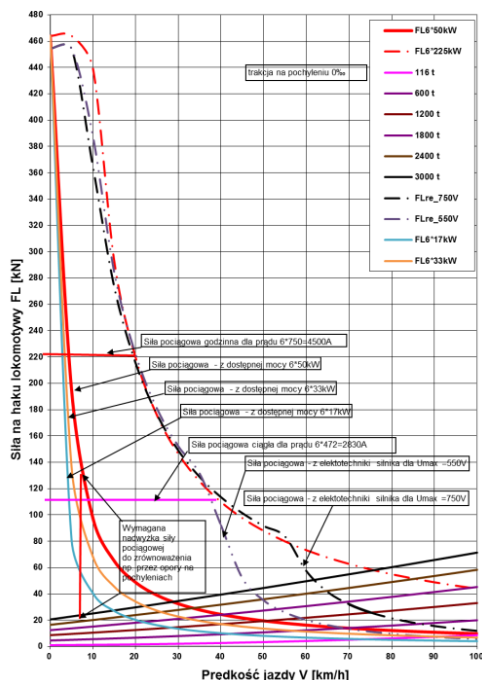
- g) dotychczasowy silnik trakcyjny o parametrach jak w [pkt 4h] (na lokomotywie zabudowano sześć silników trakcyjnych).

Wytypowane zespoły i urządzenia charakteryzują się identycznymi lub porównywalnymi parametrami (i mogą być w przyszłości produkowane przez tych samych wytwórców) co zdecydowanie obniży koszty produkcji lokomotyw wyposażonych w hybrydowe układy napędowe.

Przykładowe charakterystyki pociągowe dla lokomotyw o układzie osi B<sub>0</sub>-B<sub>0</sub> i C<sub>0</sub>-C<sub>0</sub> przedstawiono na rys. 11 i 12.



Rys.11 Charakterystyka trakcyjna dla hybrydowej lokomotywy spalinowej o układzie osi B<sub>0</sub>-B<sub>0</sub> (cztery silniki trakcyjne)



Rys.12 Charakterystyka trakcyjna dla hybrydowej lokomotywy spalinowej o układzie osi C<sub>0</sub>-C<sub>0</sub> (sześć silników trakcyjnych)

Przeprowadzone analizy dla przyjętych parametrów głównych zespołów wykazały, że lokomotywa o układzie osi B<sub>0</sub>-B<sub>0</sub> może w pracy manewrowej pracować do 4 godzin na energii zgromadzonej tylko w wysokowydajnych zasobnikach energii nawet ze średnio ciężkimi składami pociągów.

W przypadku wykorzystania lokomotywy w pracy przetokowo-liniowej czas pracy nie przekracza 2 godzin i dla spełnienia wymagań trakcyjnych koniecznym będzie zasilanie silników trakcyjnych zarówno z wysokowydajnych zasobników energii jak i z energii dostarczanej z zabudowanego (jednego lub dwóch) zespołów prądowców [7].

Dla lokomotywy o układzie osi C<sub>0</sub>-C<sub>0</sub> zainstalowana pojemność wysokowydajnych zasobników energii wystarczy do pracy manewrowej do 5 godzin nawet z ciężkimi składami pociągów. W pracy liniowej energia zgromadzona w zasobnikach i dostarczona przez jeden lub trzy zespoły prądowców wystarczy tylko na 1,5 godziny pracy. Najlepsze możliwości trakcyjne osiągnie się w pracy manewrowej dla lokomotywy o układzie osi C, mimo że pojemność wysokowydajnych zasobników energii wystarcza na około 2 godzin pracy [6].

Dla wszystkich zabudowanych zespołów prądowców na poziomie 100; 200; 300kW jest wystarczające, przy czym dla lokomotyw o układach osi B<sub>0</sub>-B<sub>0</sub> i C<sub>0</sub>-C<sub>0</sub> wykorzystanie pełnych charakterystyk pociągowych wymagać będzie rozbudowanych układów połączeń silników trakcyjnych ze sobą w porównaniu z rozwiązaniami stosowanymi w lokomotywach bazowych [6, 7, 8].

Szczegółowe wyniki wykonywanych analiz prowadzących do określenia właściwości trakcyjnych wszystkich lokomotyw, w których zabudowano hybrydowe układy napędowe zostały przedstawione w pracach [6, 7, 8, 13].

## 5. PODSUMOWANIE

Rozwój lokomotyw spalinowych wyposażonych w hybrydowe układy napędowe przeznaczonych zasadniczo do prowadzenia prac manewrowych i przetokowych jest widoczny w wielu krajach europejskich takich, jak Francja, Niemcy, Szwajcaria, Rosja, Szwecja, a także w USA, Kanadzie i Japonii.

W Polsce wstępne prace rozpoczęte na przełomie 2010/2011 r. bazowały na doświadczeniach innych krajów i skoncentrowały się na wykorzystaniu znanych i eksploatowanych spalinowych lokomotyw manewrowych jako bazowych do zabudowy układów napędu hybrydowego.

W ciągu około trzech lat prowadzenia prac rozwojowych przez specjalistów i naukowców Instytutu Pojazdów Szynowych „Tabor” i Instytutu Silników

Spalinowych i Transportu Politechniki Poznańskiej wykonano szereg zadań zakończonych przygotowaniem dokumentacji konstrukcyjnej układów napędu hybrydowego dla wybranych zmodernizowanych lokomotyw spalinowych o układach osi C, B<sub>o</sub>-B<sub>o</sub> i C<sub>o</sub>-C<sub>o</sub>, dla których przygotowano również koncepcje oraz wytyczne i wymagania dla prowadzenia dalszych prac projektowych.

Naszym zdaniem efektów uzyskanych podczas realizacji projektu rozwojowego nie można zaprzepaścić i należy dążyć do uruchomienia dalszych prac, w których należałoby:

- przygotować model (modele) użytkowy układu napędu hybrydowego oraz układów jego sterowania i diagnostyki wraz z jego wszechstronnym przebadaniem i przetestowaniem
- opracować pełną dokumentację konstrukcyjną lokomotywy dla jednego lub kilku wariantów napędów
- wykonać prototyp (prototypy) lokomotyw spalinowych z najlepszym rozwiązaniem hybrydowego układu napędowego
- przeprowadzić wszechstronne próby i badania stacjonarne i ruchowe wykonanej lokomotywy
- przeprowadzić próby eksploatacyjne podczas wykorzystania lokomotywy na bocznicach oraz na szlakach liniowych
- dopuścić lokomotywę do ruchu manewrowo-przetokowego.

Prace te byłoby można realizować w ramach uruchomionego projektu celowego lub w ramach konsorcjum złożonego z zainteresowanego użytkownika, wykonawcy i jednostki naukowo-badawczej.

## Bibliografia

- [1] Marciniak Z.: *Hybrydowe układy napędowe lokomotyw spalinowych*, *Logistyka*, 2010 nr 4.
- [2] Marciniak Z.: *Napędy hybrydowe pojazdów trakcji elektrycznej i spalinowej*, *Pojazdy Szynowe*, 2011 nr 4.
- [3] Marciniak Z., Jakuszko W.: *Koncepcja polskiej lokomotywy spalinowej z hybrydowym układem napędowym*, *Pojazdy Szynowe*, 2012 nr 4.
- [4] Marciniak Z., Mielniczuk J.: *Polska koncepcja lokomotywy spalinowej z hybrydowym układem napędowym*, *Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, Seria Transport. Z. 98 – Środki i infrastruktura transportu*, Warszawa 2013.
- [5] Marciniak Z., Mielniczuk J.: *Lokomotywy spalinowe jednokabinowe do prac manewrowych i przetokowych z hybrydowym układem napędowym (koncepcja i założenia)*, *Problemy Kolejnictwa*, 2014 (zgłoszony do druku).
- [6] *Praca zbiorowa. Koncepcja spalinowej lokomotywy manewrowej i przetokowej o układzie osi C z zabudowanym hybrydowym układem napędowym. Opracowanie OR-10373, IPS "Tabor", Poznań, 12.2013.*
- [7] *Praca zbiorowa. Koncepcja spalinowej lokomotywy manewrowej i przetokowej o układzie osi B<sub>o</sub>-B<sub>o</sub> z zabudowanym hybrydowym układem napędowym. Opracowanie OR-10374, IPS "Tabor", Poznań, 12.2013.*
- [8] *Praca zbiorowa. Koncepcja spalinowej lokomotywy manewrowej i przetokowej o układzie osi C<sub>o</sub>-C<sub>o</sub> z zabudowanym hybrydowym układem napędowym. Opracowanie OR-10375, IPS "Tabor", Poznań, 12.2013.*
- [9] *Praca zbiorowa. Dokumentacja hybrydowego układu napędowego lokomotywy spalinowej o układzie osi C (w zastosowaniu do zmodernizowanej lokomotywy spalinowej typu 401Da). Opracowanie PR 10 006210-401, IPS "Tabor", Poznań, 11.2013.*
- [10] *Praca zbiorowa. Dokumentacja hybrydowego układu napędowego lokomotywy spalinowej o układzie osi B<sub>o</sub>-B<sub>o</sub> (w zastosowaniu do zmodernizowanej lokomotywy spalinowej typu 6D). Opracowanie PR 10 006210-42, IPS "Tabor", Poznań, 11.2013.*
- [11] *Praca zbiorowa. Dokumentacja hybrydowego układu napędowego lokomotywy spalinowej o układzie osi C<sub>o</sub>-C<sub>o</sub> (w zastosowaniu do zmodernizowanej lokomotywy spalinowej typu TEM2). Opracowanie PR 10 006210-48, IPS "Tabor", Poznań, 11.2013.*
- [12] *Praca zbiorowa. Wytyczne i wymagania w zakresie wykonania dokumentacji konstrukcyjnej lokomotyw spalinowych z hybrydowym układem napędowym. Opracowanie OR 10482, IPS "Tabor", Poznań, 03.2014.*
- [13] *Praca zbiorowa. Podstawowe parametry głównych zespołów wchodzących w skład hybrydowego układu napędowego wybranych spalinowych lokomotyw manewrowych. Opracowanie OR 10497, IPS "Tabor", Poznań, 03.2014.*