

*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_x 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 przemieszczania 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 B₀-B₀ (z czterema silnikami trakcyjnymi) z dwoma modułami zasobników i jednym lub dwoma modułami prądowców
- o układzie osi C₀-C₀ (z sześcioma silnikami trakcyjnymi) z trzema modułami zasobników i jednym lub trzema modułami prądowców.

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.

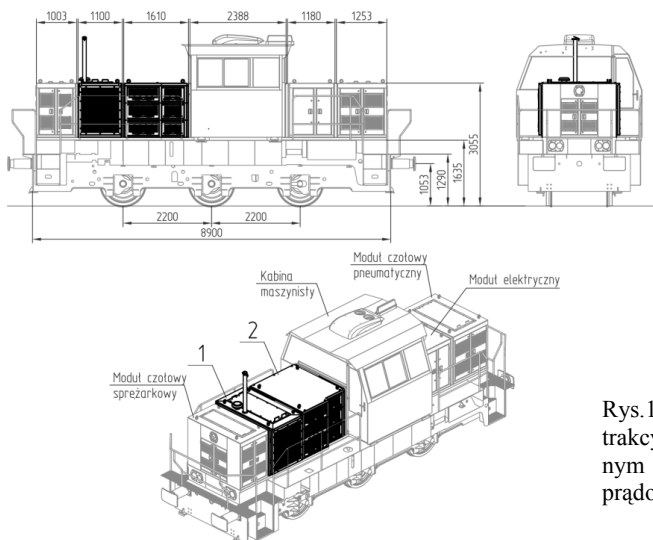
Proces zasilania silników trakcyjnych odbywać się będzie automatycznie po odpowiednim ustawieniu nastawnika jazdy i uzależniony będzie od zapotrzebowania na odpowiednią wartość siły pociągowej i realizowanej prędkości [5].

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.

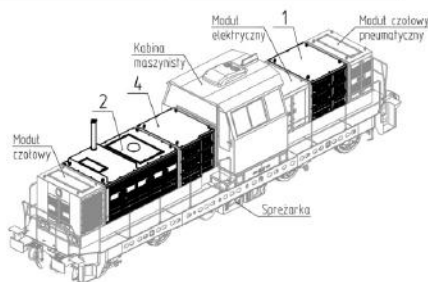
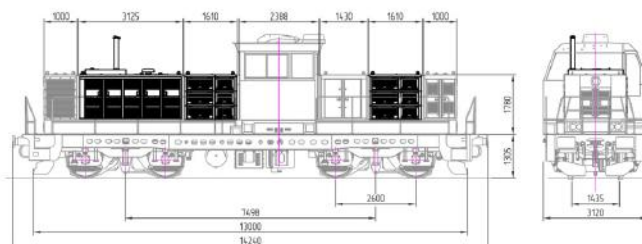
Na obecnym etapie kontynuując przygotowane koncepcje [6, 7, 8] opracowano pięć wariantów układów w zastosowaniu do lokomotyw spalinowych, tj.:

- dla lokomotywy o układzie osi C przeznaczanej zasadniczo do prowadzenia lekkich prac manewrowych i przetokowych - jeden moduł zespołu prądowłórczego i jeden moduł wysokowydajnych zasobników energii
- dla lokomotywy o układzie osi B₀-B₀ przeznaczanej zasadniczo do prac manewrowych o średnim natężeniu oraz do prac przetokowych na liniach głównych - wariant I z jednym modułem zespołu prądowłórczego i dwoma modułami wysokowydajnych zasobników energii oraz wariant II z dwoma modułami zespołu prądowłórczego i z dwoma modułami wysokowydajnych zasobników energii
- dla lokomotywy o układzie osi C₀-C₀ przeznaczanej do ciężkich prac manewrowych oraz prowadzenia pociągów towarowych na liniach głównych - wariant I z jednym modułem zespołu prądowłórczego i z trzema modułami wysokowydajnych zasobników energii oraz wariant II z trzema modułami zespołów prądowłórczych i z trzema modułami wysokowydajnych zasobników energii.

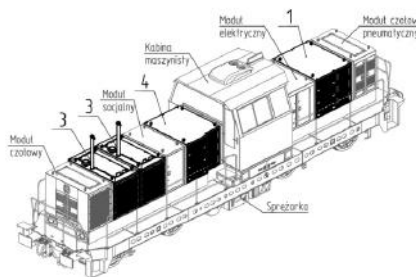
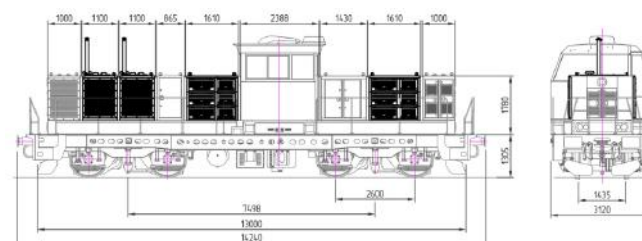


Rys.1 Układ ogólny lokomotywy hybrydowej (z dwoma silnikami trakcyjnymi) z jednym modułem zespołu prądowłórczego i jednym modułem wysokowydajnych zasobników energii 1 – moduł prądowłórczy 2 – moduł zasobników energii

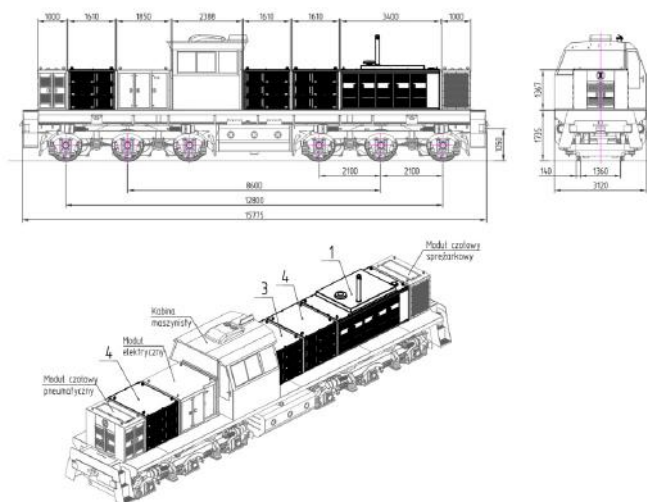
Układy ogólne wszystkich opracowanych wariantów lokomotyw z napędami hybrydowymi przedstawiono na rys. 1÷5.



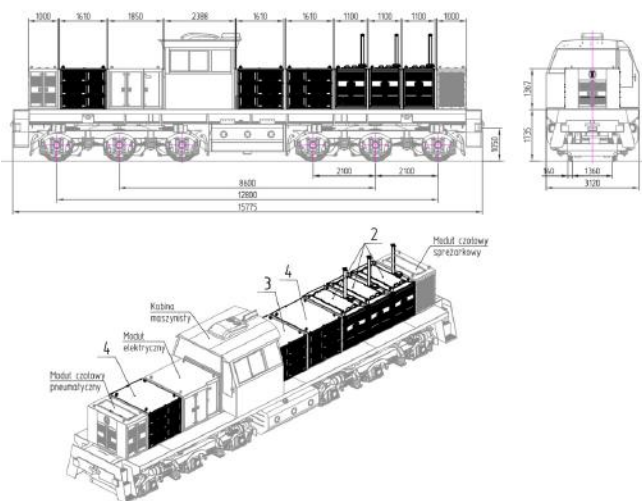
Rys.2 Układ ogólny lokomotywy hybrydowej (z czterema silnikami trakcyjnymi) z jednym modułem zespołu prądowłórczego i dwoma modułami wysokowydajnych zasobników energii 1,4 – moduły zasobników energii 2 – moduł prądowłórczy



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



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



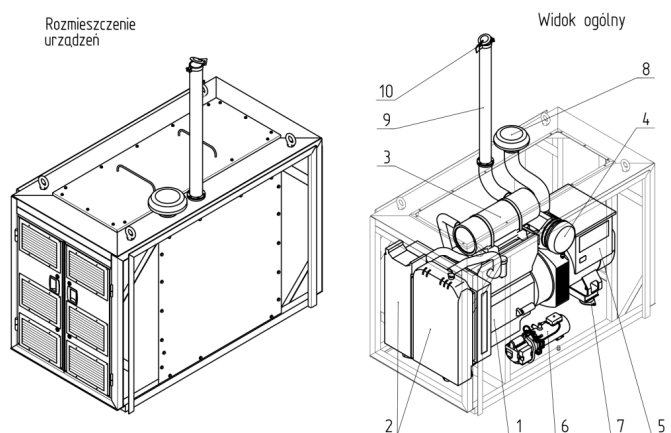
Rys.5 Układ ogólny lokomotywy hybrydowej (z sześcioma silnikami trakcyjnymi) z trzema modułami zespołu prądowców oraz trzema modułami wysokowydajnych zasobników energii 2 – moduł prądowców 3,4 – moduły zasobników energii

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

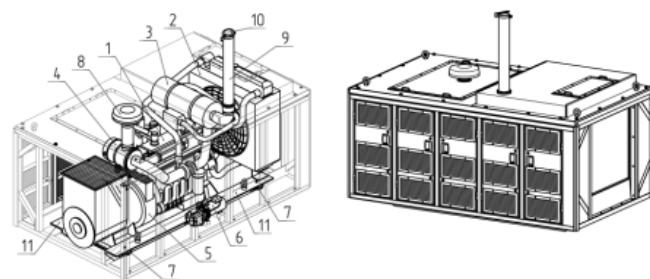
- układ ogólny lokomotywy hybrydowej
- zabudowa modułu prądowców wraz z układem ogólnym, obudową, szkieletem, układem drzwi i klap oraz rozmieszczeniem urządzeń i maszyn w module
- zabudowa modułu zasobników energii wraz z układem ogólnym, obudową, szkieletami segmentów obudowy i dachowego, układu drzwi i klap 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).

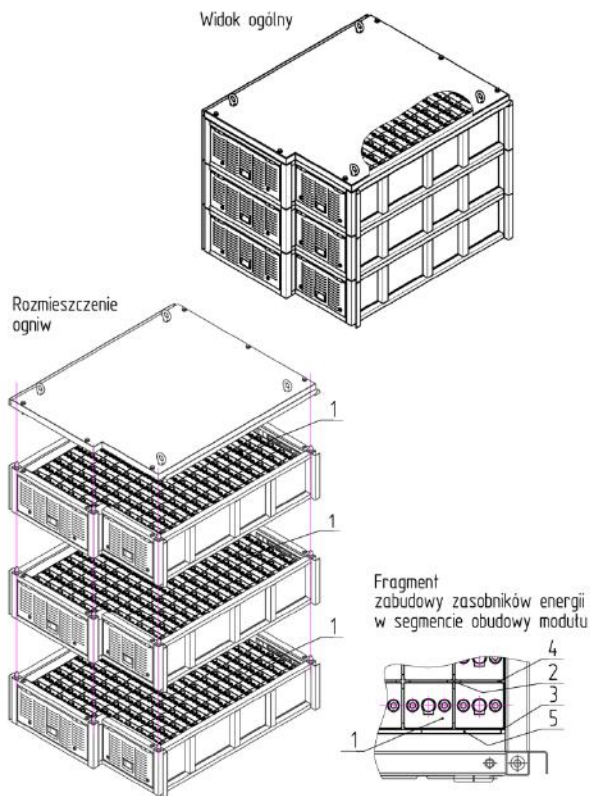
Przykładowe rysunki zabudowy modułu zespołów prądowców oraz modułu wysokowydajnych zasobników energii przedstawiono na rys. 6÷10.



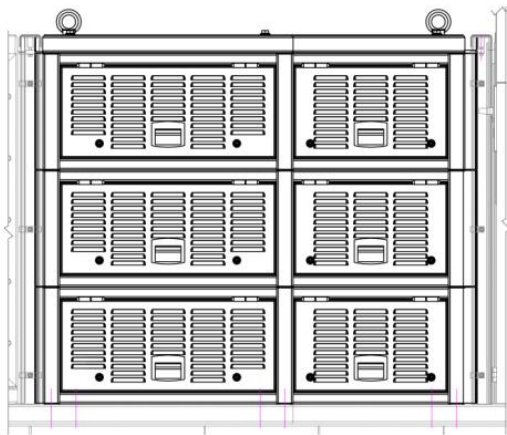
Rys.6 Układ ogólny i rozmieszczenie urządzeń w module zespołu prądowców dla lokomotywy o układzie osi C 1 – silnik spalinowy Caterpillar C 4.4 Acert 2 – zespół chłodnic 3 – system oczyszczania spalin 4 – filtr powietrza 5 – prądnica trakcyjna 6 – podgrzewacz wstępny WEBASTO 7 – podpora elastyczna 8 –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



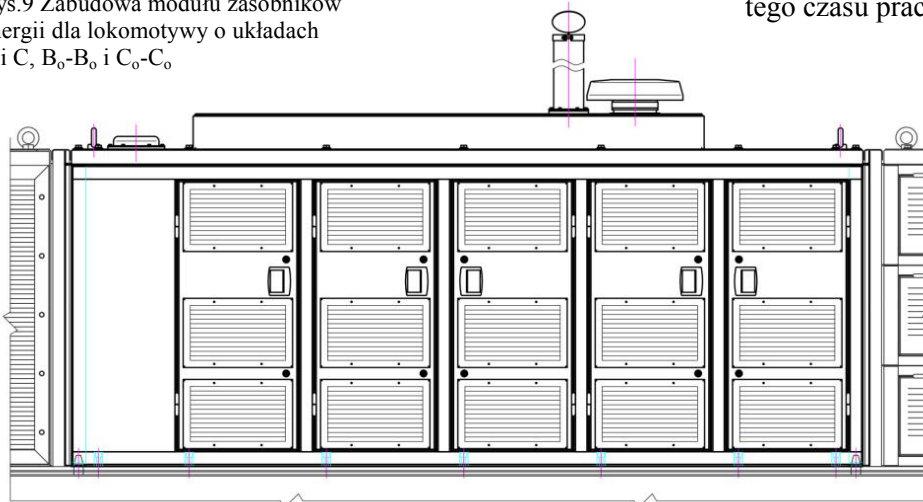
Rys.7 Układ ogólny i rozmieszczenie urządzeń w module zespołu prądowców dla lokomotywy o układzie osi Bo-Bo 1 – silnik spalinowy CATERPILLAR C9.3 ACERT 2 – zespół chłodnic 3 – system oczyszczania spalin 4 – filtr powietrza 5 – prądnica trakcyjna 6 – podgrzewacz wstępny WEBASTO 7 – podpora elastyczna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



Rys.8 Układ ogólny i rozmieszczenie ogniw w module zasobników energii dla lokomotyw o układach osi C, B₀-B₀ i C₀-C₀
 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, B₀-B₀ i C₀-C₀



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
 kabiny 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:

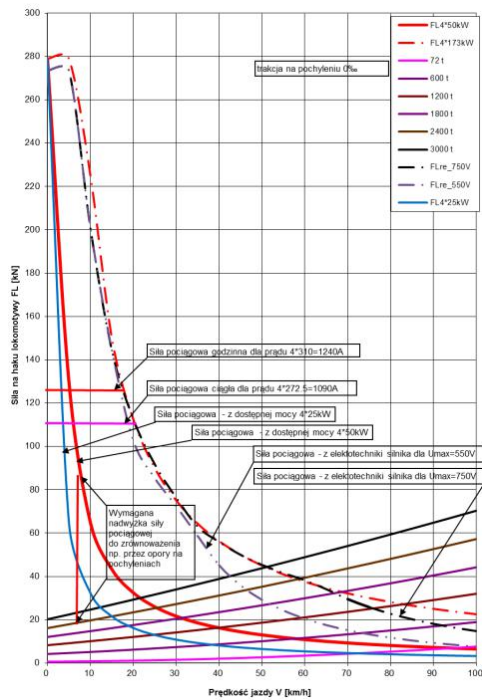
- 1) dla lokomotywy o układzie osi C (z jednym modu-
 łem zespołu prądowłórczego i jednym zespołem
 wysokowydajnych zasobników energii) wytypo-
 wano:
 - a) silnik spalinowy typu Caterpillar C4.4 Acert o
 mocy 92,5kW, obrotach 2200 1/min, momencie
 obrotowym 530Nm, masie 700kg pracujący
 cyklicznie z 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 B₀-B₀ (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 B₀-B₀ (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 C₀-C₀ (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)

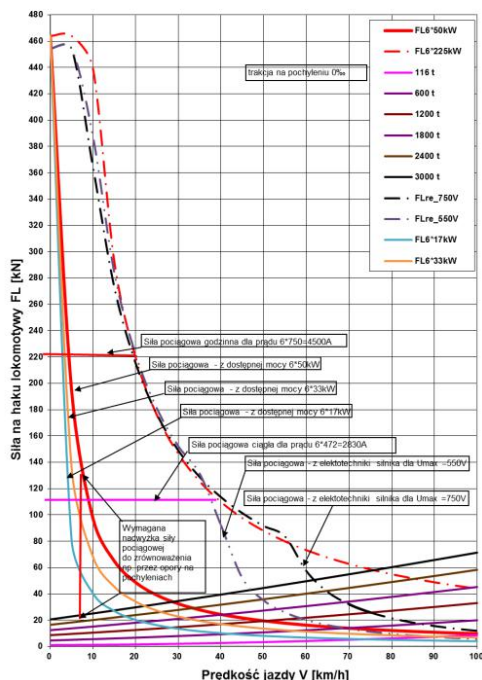
- g) dotychczasowy silnik trakcyjny o parametrach jak w [pkt 4h] (na lokomotywie zabudowano sześć silników trakcyjnych).

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 B₀-B₀ i C₀-C₀ przedstawiono na rys. 11 i 12.



Rys.11 Charakterystyka trakcyjna dla hybrydowej lokomotywy spalinowej o układzie osi B₀-B₀ (cztery silniki trakcyjne)



Rys.12 Charakterystyka trakcyjna dla hybrydowej lokomotywy spalinowej o układzie osi C₀-C₀ (sześć silników trakcyjnych)

Przeprowadzone analizy dla przyjętych parametrów głównych zespołów wykazały, że lokomotywa o układzie osi B₀-B₀ 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 C₀-C₀ 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 prądowce 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 B₀-B₀ i C₀-C₀ 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_o-B_o i C_o-C_o, 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., Jakuszek 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_o-B_o 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_o-C_o 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_o-B_o (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_o-C_o (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.*

Zmodernizowane kabiny sterownicze lokomotyw elektrycznych i spalinowych

W artykule dokonano przeglądu kabin sterowniczych wybranych lokomotyw i stanowisk sterowniczych przed modernizacją, pokazano przebieg prac przy modernizacji kabin lokomotyw z wykorzystaniem modeli 3D kabin lokomotyw przed modernizacją, a po modernizacji pokazano modele 3D zmodernizowanych kabin i nowych stanowisk sterowniczych (konsola, dolna część pulpitu) razem z fotelami oraz zaprezentowano widoki lokomotyw po modernizacji wraz z kabinami i stanowiskami sterowniczymi po modernizacji. Praca dotycząca modernizacji kabin została wykonana w ramach projektu rozwojowego NR 10-0062-10/2011 pt. „Lokomotywy manewrowe z hybrydowym układem napędowym z wykorzystaniem wysokowydajnych zasobników energii” i sfinansowana przez NCBR.

1. WSTĘP

Obecnie eksploatowane na liniach kolejowych pojazdy szynowe takie, jak lokomotywy liniowe, lokomotywy manewrowe, zespoły trakcyjne, autobusy szynowe znajdują się w różnym stanie technicznym. Po wielu latach niedoinwestowania polskich kolei tabor, a szczególnie lokomotyw spalinowe, wymaga modernizacji.

Średni wiek lokomotyw największych przewoźników na rynku pasażerskim, PKP Intercity oraz Przewozów Regionalnych, aktualnie przekracza 26 lat. Na rynku przewozów towarowych na ogólną liczbę eksploatowanych ~ 3500 lokomotyw, ~ 1600 miało więcej niż 30 lat, a ~ 1700 miało 26÷30 lat, natomiast tylko ~150 było w wieku 16÷25 lat, zaś kilkanaście lokomotyw (będących w posiadaniu PKP CARGO) nie przekroczyło 15 lat. Lokomotywy będące w posiadaniu prywatnych przewoźników (ponad 400 sztuk) to lokomotywy, których wiek przekracza 40 lat.

Ze względów ekonomicznych nie jest możliwa w krótkim czasie wymiana całego taboru, na nowy spełniający aktualne wymagania i przepisy (UIC-651, UIC-612), oraz odpowiednich norm PN-EN. Wiele tych pojazdów ma ograniczone możliwości eksploatacyjne, ze względu na stan techniczny i warunki pracy obsługi oraz wymagania środowiskowe. Z kolei nowe pojazdy są zbyt drogie, pozostaje zatem modernizacja.

Drugą przesłanką opłacalności modernizacji lokomotyw liniowych jest to, że na ogół ostoja i szkielety pudła są w dobrym stanie, nie są skorodowane i mają wystarczającą wytrzymałość. Wynika to między innymi przyjętymi w czasach ich budowy wysokimi współczynnikami bezpieczeństwa.

Jednym z ważniejszych elementów lokomotyw jest kabina sterownicza. W starych kabinach lokomotyw warunki pracy maszynisty nie spełniają już współczesnych wymagań, odnośnie ergonomii, komfortu klimatycznego i akustycznego oraz wyposażenia, dlatego przy okazji modernizacji lokomotyw zachodzi konieczność gruntownej modernizacji kabin sterowniczych, stanowiska sterowniczego, podłogi, wyłożenia kabiny, oświetlenia, izolacji termicznej i akustycznej. Ponadto kabina powinna być wyposażona w urządzenia socjalne jak szafki, kuchenki, umywalkę oraz lodówkę.

Całe wnętrze kabiny powinno spełniać warunki wg UIC-651 [5] oraz wymagania odpowiednich norm PN-EN, zaś stanowisko sterownicze wymagania UIC-612 [4] oraz wyposażone być wyposażone w ergonomiczne fotele z możliwością regulacji.

2. KABINY STEROWNICZE LOKOMOTYW PRZED MODERNIZACJĄ

2.1. Lokomotywa spalinowa 301Db (SP45 i SU45)

Lokomotywy te powstały w latach 1970-1976 w Zakładach Metalowych im. H. Cegielskiego w Poznaniu. Były one przeznaczone do ruchu towarowego oraz pasażerskiego (SP45) na nieelektryfikowanych liniach kolejowych. Ogółem wyprodukowano 270 lokomotyw tego typu. SP45 jest lokomotywą sześćosiową o układzie osi Co-Co (dwa wózki trzyosiowe). Po modernizacji polegającej na ujednoczeniu systemu (ogrzewanie elektryczne zamiast parowego), zmodernizowane pojazdy oznaczono serią SU45.

Pudło lokomotywy stanowi spawana ostoja i ściany boczne, które wraz z dachem stanowią konstrukcję samonośną. Na obu końcach ostoi umieszczono szkielety kabiny maszynisty, które są przyspawane do ścian bocznych i ostoi.



Rys. 1. Widoki ogólne lokomotywy i kabiny oraz stanowiska sterowniczego 301Db (SU45) przed modernizacją

2.2. Lokomotywa spalinowa 303D (SU46)

Projekt tej lokomotywy powstał w 1972 roku jako rozwinięcie konstrukcji lokomotywy 301Db (serii SP45). Lokomotywy powstały w latach 1974 ÷ 1977. Wyprodukowano 52 sztuk lokomotyw a w roku 1985 wykonano jeszcze dwa zmodyfikowane egzemplarze. Były one przeznaczone do ruchu pasażerskiego i towarowego na niezelektryfikowanych liniach kolejowych.



Rys. 2. Widok lokomotywy i kabiny 303D (SU46) przed modernizacją

2.3. Lokomotywa elektryczna 201E (ET22)

Założenia konstrukcyjne opracowano w latach 1965–1966, a prototypy wyprodukowane zostały w Pafawagu Wrocław w 1969. W roku 1972 ruszyła produkcja seryjna. Są to lokomotywy przeznaczone do ciężkich przewozów towarowych. Dla PKP wyprodukowano ogółem 1183 sztuk.



Rys. 3. Widok lokomotywy i kabiny 201E (ET22) przed modernizacją

2.4. Lokomotywa elektryczna (4E) EU-07

Produkcję tych lokomotyw rozpoczęto od 1965 w Pafawagu we Wrocławiu i do roku 1974 zbudowano 240 sztuk EU-07 (typ 4E). W 1983 produkcję wznowiono w zakładach „H. Cegielskiego” w Poznaniu jako seria EU-07 (typ 303E).

W nowej EU07 pojawiło się wiele modyfikacji i nadano jej oznaczenie fabryczne 303E. Lokomotyw tego typu wykonano łącznie 243 (numery 301-543). Produkcję seryjną kontynuowano aż do roku 1992.

Te uniwersalne lokomotywy przeznaczone są do prowadzenia pociągów pośpiesznych o masie do 700 t z prędkością maksymalną do 125 km/h albo lekkich pociągów towarowych o masie do 2000 t z prędkością maksymalną 70 km/h.

W modelu 303E zastąpiono dotychczasowe pudła samonośne pudłami z ostojnicą i bocznymi ścianami ryflowanymi, zamontowano również większe zgarniacze pod czołownicą.



Rys. 4. Widok lokomotywy i kabiny 4E (EU-07) przed modernizacją

2.5. Lokomotywa spalinowa SP32

Lokomotywy SP32 powstały w 1985 roku na zamówienie PKP i były produkowane w Rumunii. Zostały one przeznaczone do obsługi lekkiego ruchu pasażerskiego. Wyprodukowano łącznie dla PKP 150 sztuk tych lokomotyw. Lokomotywę tą pokazano wraz ze stanowiskiem sterowniczym na rys. 5.



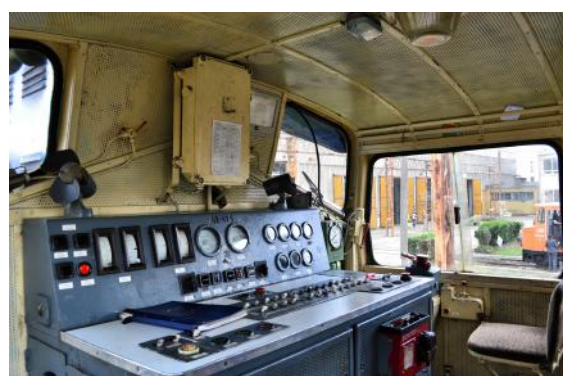
Rys. 5 Widok lokomotywy i kabiny SP32 przed modernizacją

2.6. Lokomotywa spalinowa manewrowa 6D (SM42)

Jest to podstawowa manewrowa lokomotywa spalinowa przeznaczona do ciężkich prac manewrowych oraz prowadzenia pociągów. Została zaprojektowana na przełomie lat 50 i 60-tych. Produkcja tej lokomotywy była prowadzona do roku 1981 i została wznowiona w niewielkim zakresie w 1985 roku. Łącznie wyprodukowano ponad 660 sztuk tych lokomotyw.

Lokomotywy te są eksploatowane zarówno na torach PKP, torach leżących na terenach zakładów produkcyjnych jak oraz stacjach rozrządowych.

Widoki tej lokomotywy i wnętrza kabiny ze stanowiskiem sterowniczym przed modernizacją przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Widok lokomotywy i kabiny SM42 (6D) przed modernizacją

3. MODELE 3D LOKOMOTYW PRZED MODERNIZACJĄ

Z uwagi na charakter pracy przy pracach projektowo-koncepcyjnych i obliczeniach (praca narzędziami w systemach 3D), dostępne dane wyjściowe pudła lokomotyw przed modernizacją w postaci dokumentacji płaskiej (papierowej), są niewystarczające.

Dlatego przed przystąpieniem do dalszych prac, konieczna jest konwersja danych rysunkowych pudła lokomotywy do modelu 3D (ostoi i ścian bocznych oraz kabin), jako najbardziej przydatnego do dalszych prac projektowych [8].

Na podstawie dostępnej dokumentacji technicznej (w postaci papierowej) dokonano konwersji wybranych fragmentów konstrukcji lokomotywy, szkieletu pudła z poszyciem, ostoi i obu szkieletów kabiny z poszyciem na końcu pudła w skali 1:1.

W modelach tych pominięto stare wyłożenia, pulpity, różne instalacje (pneumatyczne, wodne i elektryczne), części przyspawane, gdyż w modernizowanych lokomotywach będą one robione na nowo. Modele 3D poszczególnych lokomotyw przed modernizacją przedstawiono na rys 7 ÷ 11 [9].



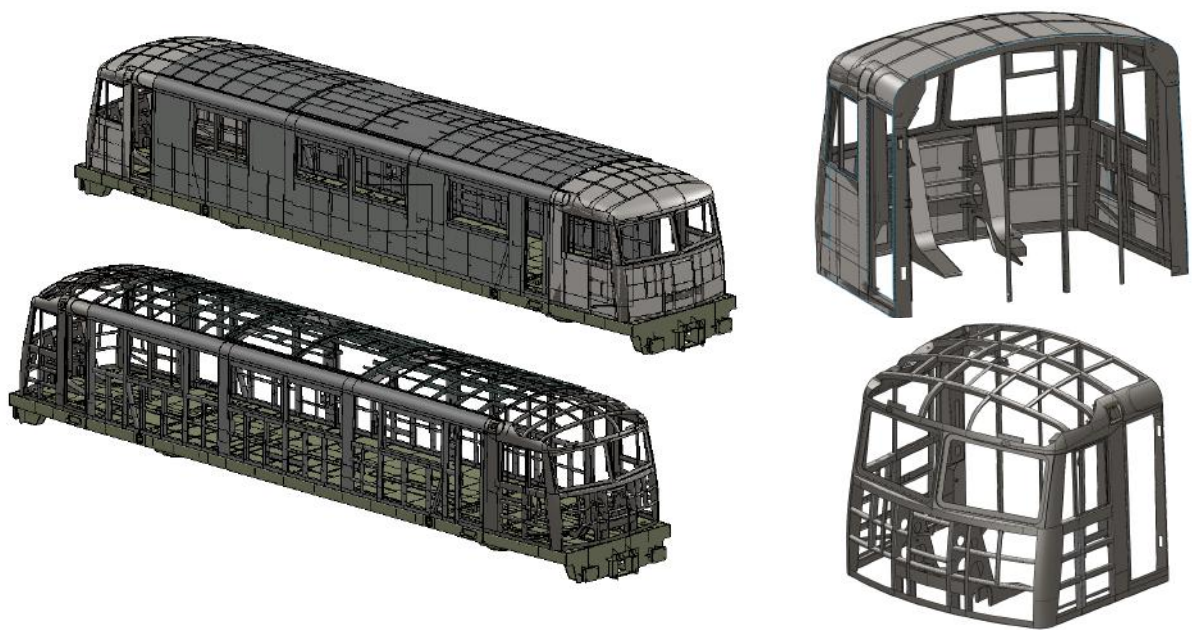
Rys. 7. Widok na model szkieletu pudła i kabiny (z poszyciem oraz bez) lokomotywy 301Dd (SU45) przed modernizacją



Rys. 8. Widok na model szkieletu pudła i kabiny (z poszyciem oraz bez) lokomotywy 303D (ST46) przed modernizacją

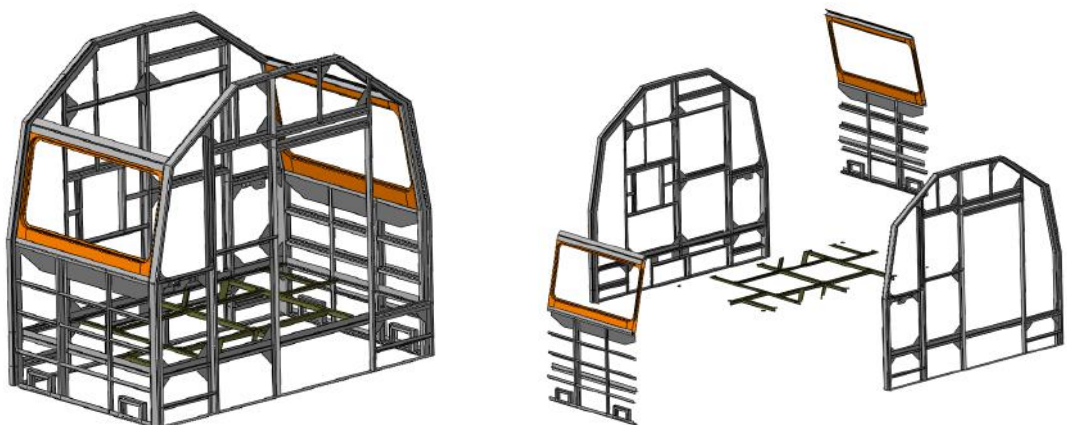


Rys. 9. Widok na model szkieletu pudła i kabiny (z poszyciem oraz bez) lokomotywy 201E (ET22) przed modernizacją



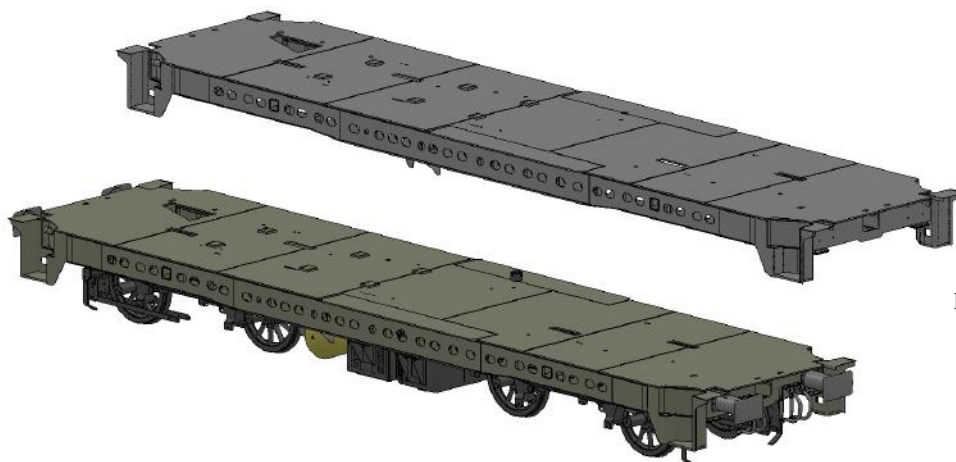
Rys. 10. Widok na model szkieletu pudła i kabiny (z poszyciem oraz bez) lokomotywy EU-07 (303E) przed modernizacją

Na podstawie dostępnej dokumentacji papierowej lokomotywy SP-32 wykonano model 3D szkieletu kabiny przedstawiony w widoku aksonometrycznym i eksplodowanym na rys. 11.



Rys. 11. Widok na model szkieletu i widok rozłożony szkieletu kabiny lokomotywy SP32 przed modernizacją

Modernizacja lokomotywy manewrowej SM42 (rys. 6) ma polegać na modernizacji w ograniczonym zakresie wózków i ostoi. Całe stare nadwozie tj. kabina maszynisty i przedziały maszynowe będą całkowicie usunięte, a w ich miejsce zostanie zabudowane całkowicie nowe nadwozie wraz nową kabiną, dlatego wykonano konwersję do modelu 3D tylko ostoi lokomotywy. Model przedstawiono na rys. 12.

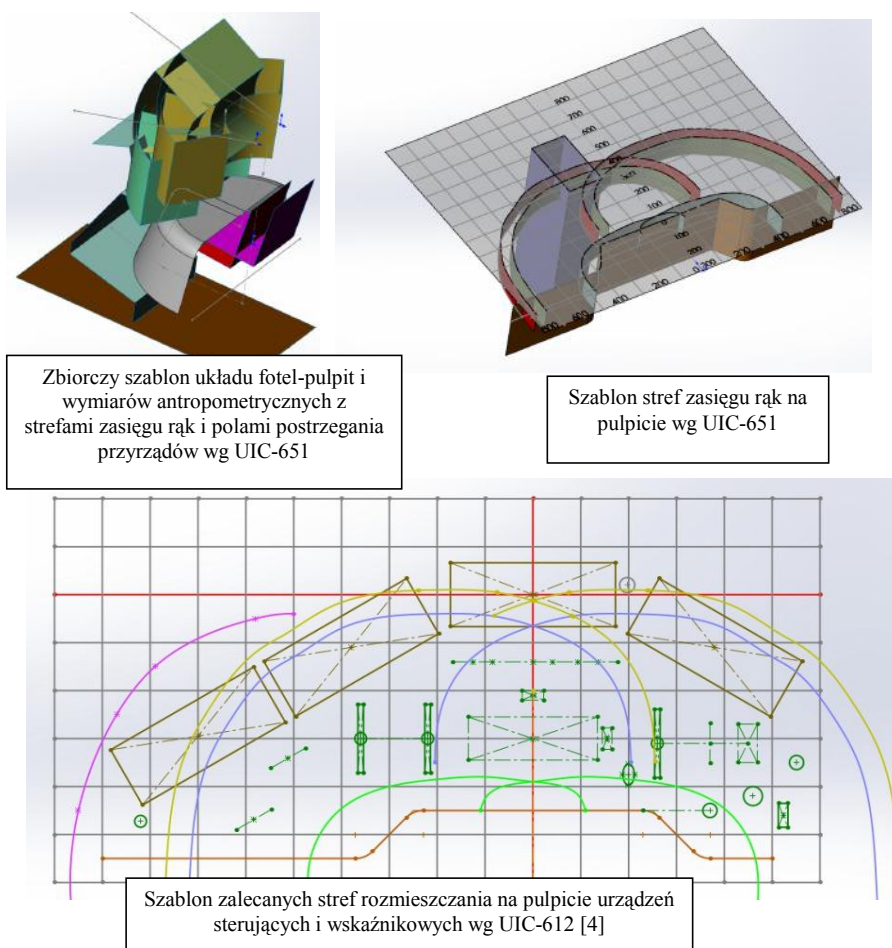


Rys. 12. Widok na model ostoi lokomotywy SM42 przed modernizacją

4. WYMAGANIA PROJEKTOWE STANOWISKA STEROWNICZEGO W MODERNIZOWANEJ KABINIE

Na tak przygotowanych modelach 3D kabiny maszynisty wykonano analizy przestrzenne związane z kształtowaniem geometrii wyjściowej pulpitu górnego (konsoli) i dolnego wraz z rozmieszczeniem na konsoli urządzeń wskaźnikowych i sterujących zgodnie z aktualnymi wymaganiami i zasadami ergonomii oraz z zabudową aparatów pulpitowych w dolnej części pulpitu[2].

Ze względu na dużą złożoność geometrii stanowiska sterowniczego, a przez to złożone analizy przestrzenne, wykorzystano utworzone na bazie dokumentów UIC [5] i norm niektóre pomocnicze szablony z wymaganymi wymiarami, które następnie wykorzystano w tych analizach. Szablony przedstawiono poniżej.



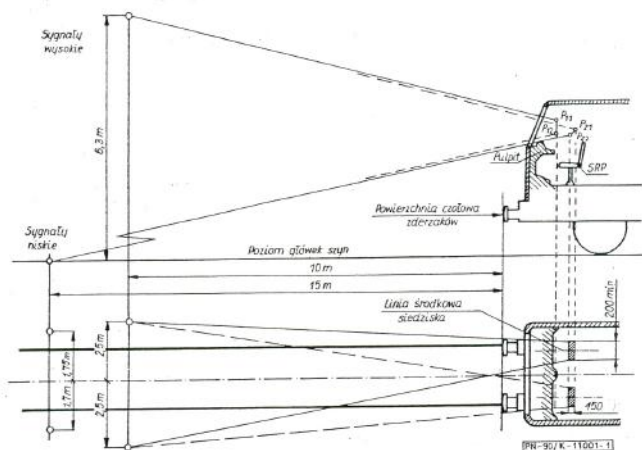
Rys.13. Szablony wykorzystane do analiz i tworzenia geometrii stanowiska sterowniczego

Takie podejście do projektowania umożliwiło analizę jednocześnie bardzo wielu złożonych informacji w różnych aspektach, w rozsądnym czasie i usprawniło proces kształtowania konstrukcji pulpitu oraz zabudowy urządzeń pulpitowych. Możliwe stało się również wykrywanie i eliminowanie kolizji między elementami składowymi pulpitu na etapie koncepcji, bez konieczności budowy prototypu pulpitu celem weryfikacji.

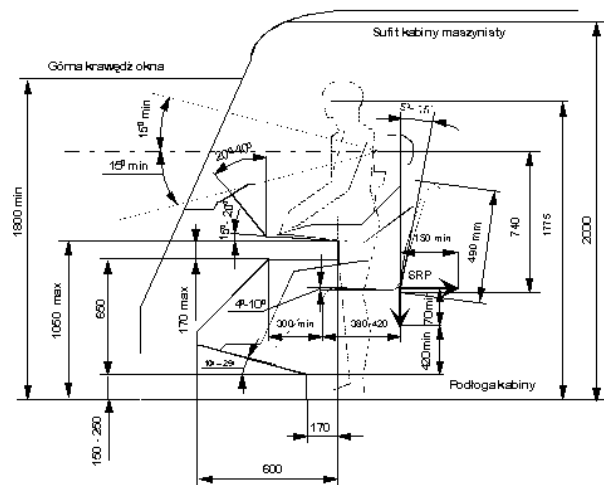
Struktura stanowiska sterowniczego była kształtowana wraz z zabudową różnorodnych urządzeń sterujących, aparatów elektrycznych, urządzeń wskaźnikowych i pomocniczych, zarówno na pulpicie jak i pod pulpitem[1].

Tak ukształtowaną geometrię wyjściową stanowiska sterowniczego w kabynie sprawdzono pod względem widoczności sygnałów wysokich i niskich wg wymagań UIC-651 pokazanych na rys. 14.

Na tak przygotowanych modelach 3D wykonano prace koncepcyjno-konstrukcyjne związane z tworzeniem stanowisk sterowniczych, pulpitu dolnego i górnego, oraz modyfikowano kabinę wraz z zabudową urządzeń i kształtowaniem struktury kabiny (okna czołowe i boczne, podłoga, drzwi wejściowe, wyłożenia wraz z izolacją i wygłuszeniem).



Rys. 14. Widoczność szlaku wg karty UIC 651 [5]



Rys. 15. Zalecane wg UIC-651 główne wymiary układu pulpitu-fotel.

Tak ukształtowane geometrie wyjściowe stanowiska sterowniczego w postaci modelu 3D zostały poddane trójwymiarowej analizie i weryfikacji.

W układzie pulpit-fotel maszynisty sprawdzono czy:

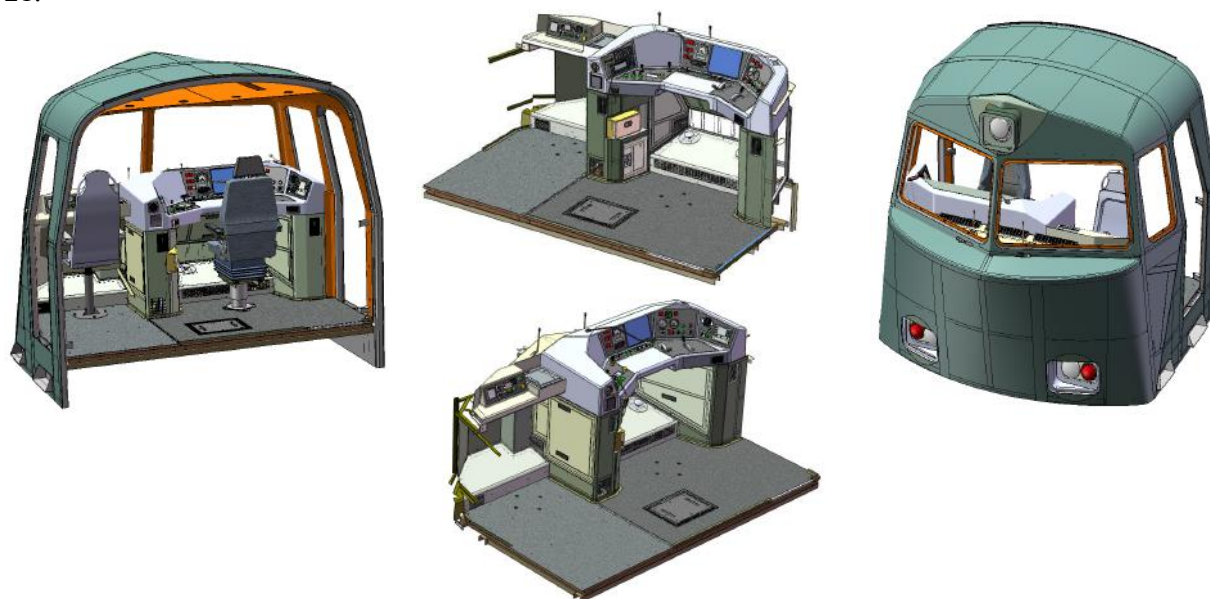
- zapewnione jest łatwe siadanie i wstawanie
- zagwarantowana jest dostateczna swoboda ruchu kolan i ud w przypadku obrotu fotela
- zapewniona jest dobra praca maszynisty w pozycji siedzącej i stojącej
- łatwa jest okresowa zmiana pozycji siedzącej na stojącą.

Sprawdzono czy główne wymiary układu pulpit-fotel maszynisty są zgodne z wymaganiami UIC-651 (rys. 15), oraz sprawdzono czy rozmieszczone na pulpicie urządzenia sterujące, załączające i wyłączające, leżą w strefach optymalnego zasięgu rąk oraz czy urządzenia wskaźnikowe (panel wyświetlacza i lampki kontrolne) są dobrze widoczne w każdych warunkach oświetlenia.

5. MODELE 3D ZMODERNIZOWANYCH KABIN LOKOMOTYW I NOWYCH STANOWISK STEROWNICZYCH

Wszystkie te prace były wykonane na wyjściowym modelu 3D kabiny. W efekcie tych prac powstały wersje wirtualne w postaci modelu 3D, zawierające praktycznie wszystkie informacje jakie mają rzeczywiste prototypy fizyczne zmodernizowanych kabin lokomotyw wraz ze stanowiskami sterowniczymi i wyposażeniem kabiny.

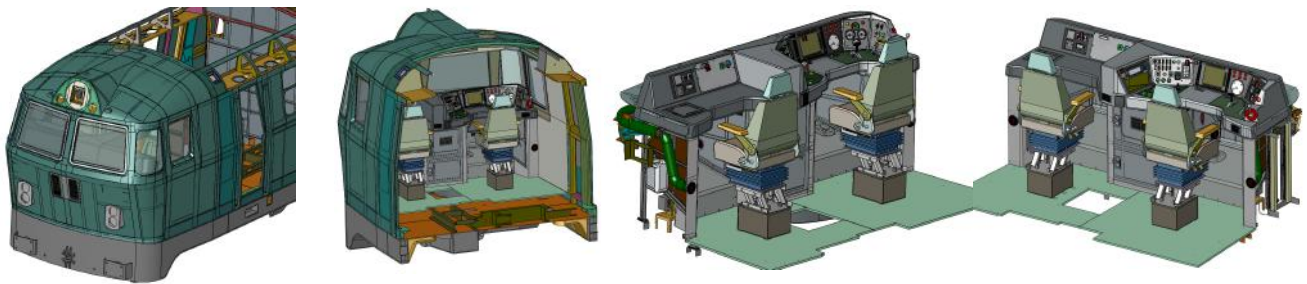
Struktura tego modelu w pełni odpowiada strukturze dokumentacji rysunkowej, która powstała na podstawie tych modeli. Widoki modeli kabin i stanowisk sterowniczych zaprezentowano na rys. 16 ÷ 21.



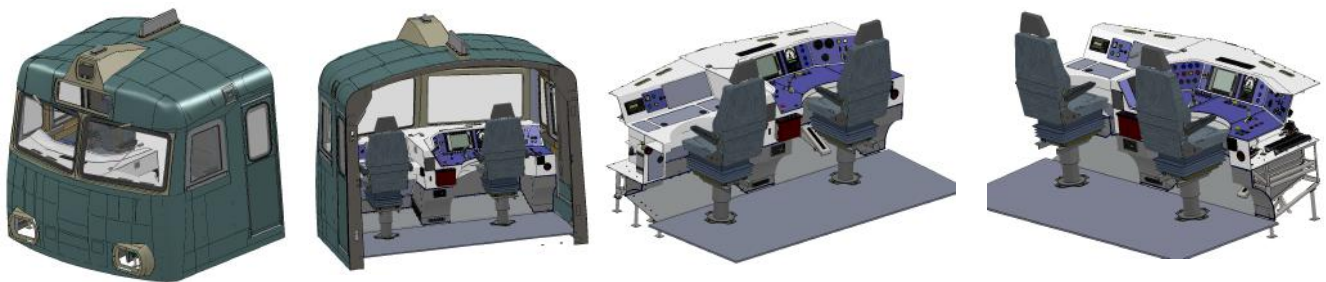
Rys. 16. Model modernizowanej kabiny z stanowiskiem sterowniczym lokomotywy 301Dd (ST45)



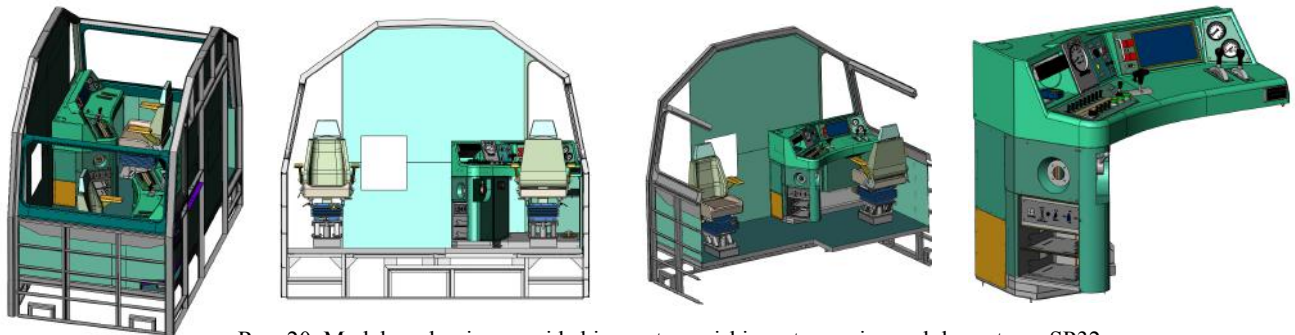
Rys. 17. Model modernizowanej kabiny z stanowiskiem sterowniczym lokomotywy 303D (ST46) [6], [7]



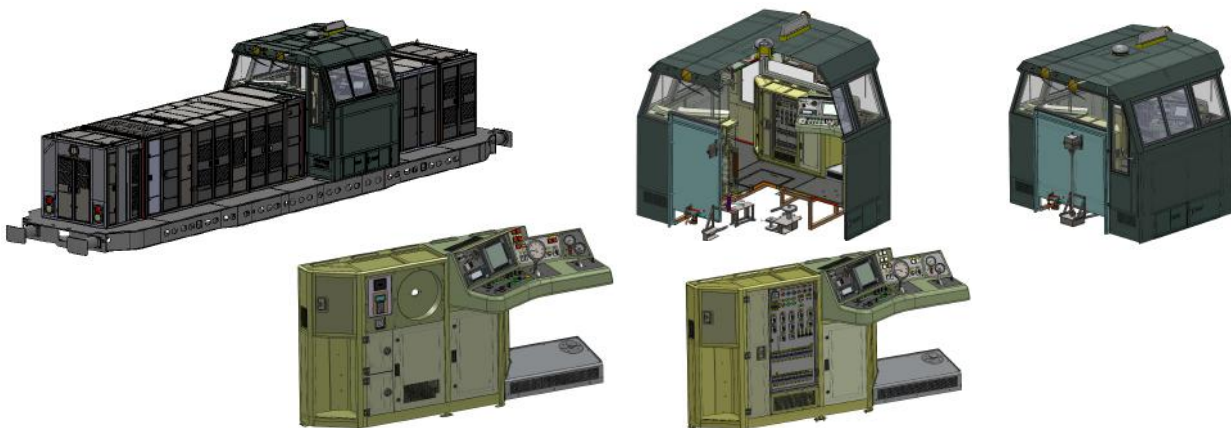
Rys. 18. Model modernizowanej kabiny z stanowiskiem sterowniczym lokomotywy 201Em (ET 22)



Rys. 19. Model modernizowanej kabiny z stanowiskiem sterowniczym lokomotywy 303E (EU-07)



Rys. 20. Model modernizowanej kabiny z stanowiskiem sterowniczym lokomotywy SP32



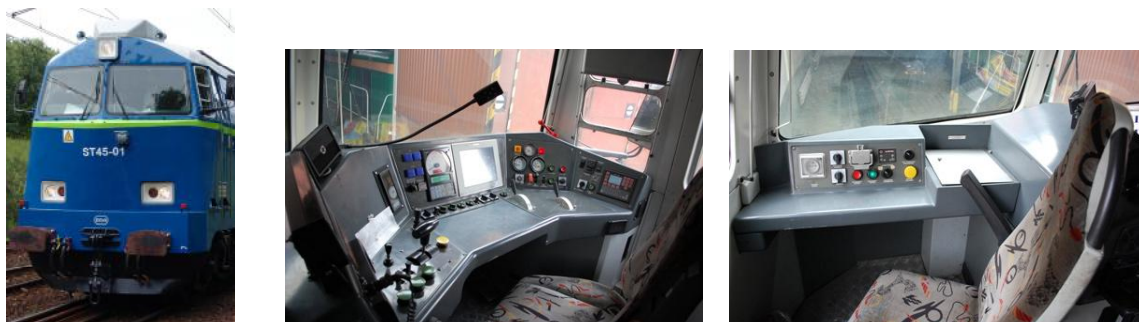
Rys. 21. Model lokomotywy i kabiny 6Di oraz stanowiska sterownicze po modernizacji

Lokomotywa SM42 po modernizacji jako typ 6Di przedstawiona jest w postaci tylko modelu gdyż aktualnie trwają prace przy budowie prototypu.

Na podstawie ww. przedstawionych modeli została wykonana kompletna dokumentacja techniczna dla modernizacji lokomotyw.

6. PREZENTACJA ZMODERNIZOWANYCH LOKOMOTYW

Poniżej na rys. 22 ÷ 27 zaprezentowano zdjęcia lokomotyw, kabin sterowniczych wybranych lokomotyw wraz z nowymi stanowiskami sterowniczymi.



Rys. 22. Widok lokomotywy 301Dd (ST45) oraz kabiny po modernizacji z nowymi stanowiskami sterowniczymi



Rys. 23. Widok lokomotywy 303D (ST46) oraz kabiny po modernizacji z nowymi stanowiskami sterowniczymi



Rys. 24. Widok lokomotywy 201Em (ET22) oraz kabiny po modernizacji z nowymi stanowiskami sterowniczymi



Rys. 25. Widok lokomotywy 303E (EU-07) oraz kabiny po modernizacji z nowymi stanowiskami sterowniczymi

7. PODSUMOWANIE

Modernizacja wybranych lokomotyw szczególnie, kabin maszynisty oraz nowe stanowiska sterownicze, zdecydowanie poprawiają warunki pracy maszynistów i pomocników w lokomotywach.

Po przeprowadzonej modernizacji kabiny i wyposażeniu jej w nowoczesne pulpity, warunki pracy personelu obsługującego lokomotywy ulegają znacznej poprawie.



Rys. 26. Widok lokomotywy SP32 oraz kabiny po modernizacji z nowymi stanowiskami sterowniczymi

Podwyższony został komfort pracy dzięki klimatyzacji i wentylacji kabiny, poprawie warunków oświetlenia. Dzięki izolacjom z zastosowanych, nowoczesnych materiałów w wyłożeniach ścian bocznych, suficie oraz nowej konstrukcji i izolacji podłogi, uzyskano znaczne obniżenie poziomu hałasu w kabinie oraz dobrą izolację termiczną.

Dzięki nowej konstrukcji pulpitu możliwe stało się takie ukształtowanie stanowiska (z uwzględnienie warunków przestrzennych w kabinie), że spełnione są wymagania ergonomii układu człowiek-fotel-pulpit, widoczności sygnałów na szlaku kolejowym, zgodnie z aktualnymi wymaganiami i normami.

Rozdzielenie na pulpicie poziomu informacyjnego i wykonawczego oraz ich rozmieszczenie w strefach optymalnego zasięgu i widoczności, znacznie poprawiło warunki interakcji człowiek-maszyna, co przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa na kolei.

Dodatkowo wyposażenie kabiny w urządzenia socjalne, (łódówkę, umywalkę, urządzenie do podgrzewania posiłków (kuchenkę lub mikrofalówkę), schowki szafki ubraniowe) poprawiło komfort pracy maszynisty i pomocnika.

8. LITERATURA

1. Krawczyk J., Guzikowski D., Mockiewicz K.: *Opracowanie wytycznych dla kabin maszynisty lokomotywy o prędkości 200km/h w zakresie ergonomii kabiny i fotela maszynisty w powiązaniu z wymaganiami funkcjonalnymi. Opracowanie OR-7561. OBRPS-Poznań 1991.*
2. Krawczyk J., Guzikowski D.: *Wytyczne do konstrukcji kabiny maszynisty spełniającej najnowsze wymagania ergonomiczne. Opracowanie OR-7803. OBRPS-Poznań 1994.*
3. Marciniak Z., Krawczyk J. *Kabiny sterownicze nowoczesnych lokomotyw, ergonomia, bezpieczeństwo i warunki pracy obsługi. Materiały z Konferencji Ergonomia W Środkach Transportu. Warszawa, kwiecień 2000.*
4. *Interfejsy Maszynista-Pojazd dla EMU/DMU, Lokomotyw i Napędnych wagonów osobowych -Funkcjonalne i systemowe wymagania związane ze współpracującymi Interfejsami Maszynista-Pojazd. Karta UIC-612 wyd.1 Paryż 2009.*
5. *Ukształtowanie kabin maszynisty lokomotyw, wagonów silnikowych, zespołów trakcyjnych i wagonów sterowniczych. Karta UIC-651 wyd. 2 Paryż 2000.*
6. *Dokumentacja Techniczna – Ruchowa lokomotywy spalinowej typu 303Da serii ST46 – Opis techniczny. Opracowanie 303Da 0159-1, IPS "TABOR" Poznań, 06.2011.*
7. Marciniak Z., Michalak P.: *Nowe oraz zmodernizowane układy i zespoły w modernizowanej lokomotywie spalinowej typu 303D serii SU46, Pojazdy Szynowe 2012, nr 1.*
8. Jacek Krawczyk: *Modernizacja kabin sterowniczych pojazdów szynowych pod kątem współczesnych wymaga ergonomii, Politechnika Warszawska. Prace Naukowe. Transport - zeszyt 98, Środki i Infrastruktura Transportu.*
9. Krawczyk J. *Baza Danych modeli 3D do wykorzystania w dokumentacji konstrukcyjnej modułowych projektów przyszłych lokomotyw elektrycznych i spalinowych. Opracowanie OR-10205. IPS Poznań 2012.*