

Marek Krzyżanowski, Jacek Pawlak, Janis Vitins

TRAXX – platforma lokomotyw dla Europy

Lokomotywy znajdują wiele zastosowań, a ich konstrukcja jest uzależniona od określonych wymagań związanych z obsługą pociągów osobowych i towarowych, jak również od warunków eksploatacji. Zasadnicze parametry lokomotywy to: prędkość maksymalna, moc znamionowa, zasilanie (spalinowe lub elektryczne), układ osi (np. Bo'Bo' lub Co'Co'), skrajnia, szerokość toru, nacisk na oś itp. Ponadto lokomotywy elektryczne charakteryzują się napięciem zasilania z sieci trakcyjnej. W Europie napięcie to może wynosić 11 kV AC, 15 kV AC, 25 kV AC, 750 V DC, 1,5 kV DC lub 3 kV DC. Wyróżnia się lokomotywy jednosystemowe eksploatowane na torach zasilanych siecią trakcyjną o jednym napięciu oraz lokomotywy wielosystemowe eksploatowane na torach zasilanych zarówno prądem zmiennym, jak i prądem stałym. Poza wymienionymi wymaganiami technicznymi, lokomotywy muszą także spełniać określone warunki handlowe i eksploatacyjne. Wysoki poziom niezawodności i dostępności lokomotywy jest równie ważny, jak niskie łączne koszty eksploatacji, w tym mały pobór energii.

Aby zaspokoić podstawowe potrzeby klienta za pomocą odpowiednich produktów, niezbędne jest dokonanie precyzyjnej segmentacji rynku. W zakresie lokomotyw dużej mocy wyróżnia się trzy segmenty rynku w zależności od wymaganej prędkości maksymalnej lokomotywy (rys. 1).

1. Segment lokomotyw dla ciężkich pociągów towarowych o maksymalnej prędkości do 120 km/h. Parametry lokomotyw stosowanych do obsługi takich pociągów to: duża siła pociągowa oraz duży nacisk na oś wynoszący od 25 do 35 t, przy czym w większości przypadków są to lokomotywy 6-osiove. Główne zastosowanie takich lokomotyw to obsługa ciężkich pociągów służących do przewozu towarów luzem (np. węgla, czy rudy żelaza) o masie ładunku do 20 tys. t lub większym. Takie lokomotywy są powszechnie stosowane w Ameryce Północnej, Afryce Południowej i Australii.

2. Segment lokomotyw do ruchu na liniach magistralnych o maksymalnej prędkości od 120 do 200 km/h. Są to zazwyczaj lokomotywy 4-osiove. Do tej grupy zalicza się całą gamę lokomotyw eksploatowanych w Europie głównie na liniach obsługujących zarówno ruch towarowy, jak i osobowy. Cel, jaki stawiają sobie producenci lokomotyw, to skonsolidowanie tego rozproszonego rynku standardowymi lokomotywami dopuszczonymi do eksploatacji we wszystkich krajach oraz obsługującymi przewozy transgraniczne. Realizacja tego zadania jest trudna ze względu na bardzo zróżnicowaną infrastrukturę kolejową w poszczególnych krajach oraz różne wymagania w zakresie homologacji. Do rozwiązania problemów interoperacyjności lokomotyw w Europie potrzebne są nowe technologie oraz innowacyjne konstrukcje. Aby pokonać

te bariery, Bombardier zbudował platformę lokomotyw TRAXX, przeznaczonych do eksploatacji na terenie całej Europy [1].

3. Segment lokomotyw dla pociągów dużych prędkości od 250 do 350 km/h. W celu uzyskania lepszych parametrów aerodynamicznych do obsługi pociągów wielkiej prędkości stosuje się człony napędowe zawierające jedną kabinę dla maszynisty. Są to pojazdy 4-osiove, w których wykorzystuje się wiele elementów konstrukcyjnych lokomotyw jeżdżących z prędkością do 200 km/h. Obecnie, w związku z rozbudową hiszpańskiej sieci szybkiej kolei, popyt na lokomotywy do obsługi pociągów dużych prędkości jest dość duży. Ze względu na specyfikę hiszpańskiej sieci kolejowej produkowane są dwa typy członów napędowych: pierwszy to lokomotywa przeznaczona do zastosowania na liniach o skrajni UIC i w sieci trakcyjnej o napięciu 25 kVAC, rozwijająca prędkość eksploatacyjną 330 km/h. Drugi rodzaj to lokomotywa przeznaczona do eksploatacji zarówno na liniach dużych prędkości UIC, jak i w konwencjonalnej sieci szerokotorowej. Ta druga lokomotywa to wielosystemowy pojazd przeznaczony do pracy w sieci trakcyjnej o napięciu 25 kV AC i 3 kV DC. Jest ona wyposażona w specjalny wózek, który może jeździć po torach zarówno o szerokości 1435 mm, jak i 1668 mm.

W pociągach osobowych napęd i urządzenia specyficzne dla danego kraju (np. systemy zabezpieczenia pociągu) znajdują się w lokomotywie. Jest to rozwiązanie bardzo korzystne dla operatora kolejowego, ponieważ cała dostępna przestrzeń ograniczona skrajnią dla wagonów może zostać wykorzystana do przewozu pasażerów, co jest szczególnie istotne w pociągach z wagonami piętrowymi. Pasażer ma zapewniony duży komfort podróży, którego nie zmniejszają zamontowane na pokładzie urządzenia napędowe. Lokomotywy mogą być swobodnie używane do obsługi zarówno wagonów zwykłych, jak i piętrowych. Dzięki temu pojemność pociągów można dostosować do potrzeb występujących na określonych trasach w ruchu regionalnym lub na liniach między dużymi miastami (intercity). Lokomotywy pracują zazwyczaj



Rys. 1. Podział lokomotyw dużej mocy na trzy grupy: lokomotywy przeznaczone do przewozów towarowych, osobowych i obsługi pociągów dużych prędkości

w systemie push-pull jako pociągi zespolone, tzn. z wagonem sterującym. Pociągi tego typu są eksploatowane w taki sam sposób jak zespoły trakcyjne. Lokomotywy Class 146 DB Regio i Class E 464 Trenitalia SpA Regional Division stanowią typowe przykłady nowoczesnych lokomotyw eksploatowanych jako człony napędowe, używanych w Europie do obsługi pociągów kwalifikowanych, poruszających się z prędkością do 200 km/h (rys. 2).



Rys. 2. Włoska lokomotywa E 464 jest przeznaczona do eksploatacji w sieci 3 kV DC Trenitalia Regional Division. Takie lokomotywy są eksploatowane w systemie push-pull w pociągach składających się z wagonów zwykłych i piętrowych. Dotychczas sprzedano ponad 388 szt. przeznaczonych do obsługi regionalnych pociągów osobowych

Platforma lokomotywy TRAXX przeznaczona do ruchu na liniach magistralnych z prędkością do 200 km/h

Unia Europejska stara się zestandaryzować europejskie systemy kolejowe i docelowo stworzyć jednolitą europejską sieć kolejową. Takie rozwiązanie powinno podnieść konkurencyjność kolei w porównaniu do alternatywnych systemów transportu, tzn. kołowego, lotniczego, czy wodnego. Producenci lokomotyw stawiają sobie za zadanie zaspokojenie zróżnicowanych potrzeb poszczególnych krajów za pomocą standardowych produktów, przeznaczonych do zastosowania na terenie całej Europy. W tym celu zbudowano platformę lokomotyw TRAXX (rys. 3), obejmującą standardowe produkty umożliwiające skonfigurowanie czterech wersji lokomo-



Rys. 3. Platforma TRAXX obejmuje wersje AC (15 i 25 kV AC), MS (15 i 25 kV AC + 1,5 i 3 kV DC), DC (3 kV DC) oraz DE (spalinowo-elektryczna)

tywy w zależności od potrzeb danego operatora kolejowego (tab. 1):

- TRAXX AC – lokomotywa przeznaczona do eksploatacji w sieciach 15 i 25 kV AC;
- TRAXX MS (lokomotywa wielosystemowa) – lokomotywa przeznaczona do eksploatacji zarówno w sieciach AC (15 i 25 kV), jak i DC (1,5 i 3 kV);
- TRAXX DC – lokomotywa przeznaczona do eksploatacji w sieciach 3 kV DC;
- TRAXX DE – lokomotywa spalinowo-elektryczna przeznaczona do eksploatacji na liniach niezelektryfikowanych.

Platforma lokomotyw TRAXX ma następujące zalety.

- Operator kolejowy ma możliwość wyboru różnych wersji lokomotywy. Do obsługi przewozów transgranicznych operator może wybrać lokomotywy, które wymagają zmiany na granicy między różnymi sieciami trakcyjnymi lub lokomotywy, które mogą jeździć w różnych krajach.
- Wszystkie lokomotywy AC, MS, DC i DE są oparte na jednokowych podstawowych rozwiązaniach technicznych, co zapewnia jednolitość w zakresie obsługi lokomotyw przez maszynistów, personel serwisowy i utrzymaniowy, zaopatrzenia w części zamienne, warsztatów i lokomotywni, jak również eksploatacji i planowania wykorzystania pociągów.
- Jeżeli potrzeby rynku ulegną w przyszłości zmianie, to dostarczone lokomotywy można zrekonfigurować w celu obsługi innych

Tabela 1

Zasadnicze parametry lokomotywy TRAXX

| | TRAXX AC | TRAXX MS | TRAXX DC | TRAXX DE |
|--|---------------|-------------------------------|--------------|----------------------------------|
| Napięcie liniowe | 15 + 25 kV AC | 15 + 25 kV AC + 1,5 + 3 kV DC | 3 kV DC | Lokomotywa spalinowo-elektryczna |
| Masa (w przybliżeniu) | 83 t | 85–87 t | 83 t | 82–84 t |
| Długość | | | 18 900 mm | |
| Szerokość | | | 2977 mm | |
| Rozstaw osi | | | 2600 mm | |
| Średnica kół | | | 1250/1170 mm | |
| Moc lokomotywy zasilanej napięciem 15 i 25 kV AC | | 5'600 kW | — | 2'200 kW lokomotywa spalinowa |
| Moc lokomotywy zasilanej napięciem 3 kV DC | — | | 5'600 kW | 2'200 kW lokomotywa spalinowa |
| Moc lokomotywy zasilanej napięciem 1,5 kV DC | — | 4'000 kW | — | 2'200 kW lokomotywa spalinowa |
| Maksymalna prędkość | | 140/160/200 km/h | | 140/160 km/h |
| Siła pociągowa | | 300 kN | | 270 kN |
| Siła hamowania | | 240 kN | | 150 kN |

korytarzy. Ponadto, poprzez zmianę wyposażenia lokomotywy DC można przekształcić w lokomotywę MS.

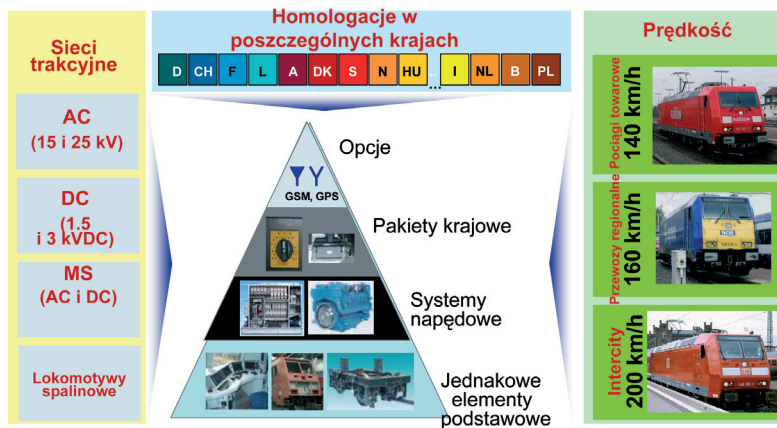
■ Lokomotywy charakteryzują się wysokim poziomem niezawodności i dostępności dzięki zastosowaniu w całej platformie elementów i systemów sprawdzonych w eksploatacji.

■ Terminy dostawy są znacznie krótsze niż w przypadku lokomotyw projektowanych na indywidualne zamówienie. Dzięki temu operator kolejowy może szybciej reagować na zmieniające się potrzeby rynku.

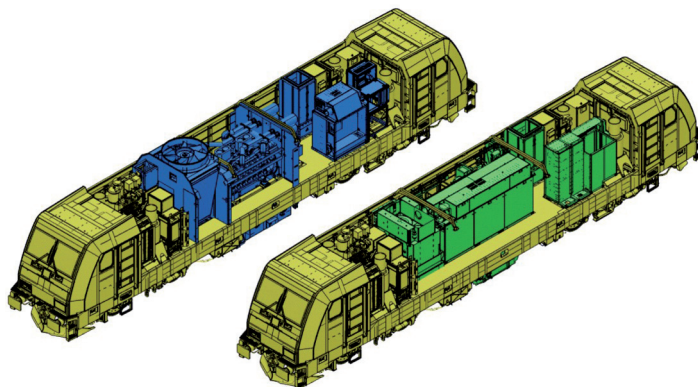
Zalety takiego rozwiązania z punktu widzenia producenta to zestandaryzowane technologie produkcji i logistyka części, co pozwala na skrócenie prac montażowych i podniesienie poziomu jakości produktu. Lokomotywy TRAXX są zgodne ze standardową skrajnią UIC 505-1. Lokomotywa ma konstrukcję modułową, co pozwala spełnić obowiązujące w poszczególnych krajach wymagania w zakresie napięcia sieci trakcyjnej, homologacji oraz maksymalnej prędkości eksploatacyjnej (rys. 4). Pakiety krajowe, w tym systemy zabezpieczenia pociągu oraz specyficzne urządzenia kolejowe stosowane w poszczególnych krajach, są dostępne w formie modułów. W zależności od potrzeb lokomotywa może zostać wyposażona w dodatkowe urządzenia, np. wyświetlacz informacji na temat stacji docelowej pociągu, systemy informacji dla pasażerów, GPS, czy dodatkowe systemy łączności radiowej służące do zdalnej diagnostyki.

Nowe rozwiązania pozwalające na podniesienie poziomu konkurencyjności Moduły mocy systemów napędowych (PowerPackages) przeznaczone do zastosowania zarówno w lokomotywach elektrycznych, jak i spalinowych

Lokomotywy TRAXX MS, DC i DE charakteryzują się takim samym rozmieszczeniem poszczególnych elementów wyposażenia oraz są zbudowane na jednakowym pudle, co jest rozwiązaniem absolutnie nowym na rynku (rys. 5). W porównaniu do poprzednio stosowanych konstrukcji lokomotyw, urządzenia służące do konwersji energii zasilania w lokomotywach elektrycznych są wysoce zintegrowane z centralnym modułem E-PowerPackage [2]. Po jednej stronie modułu znajdują się urządzenia wysokonapięciowe, takie jak: wyłączniki szybkie i odtącniki uziomowe, filtry wejściowe oraz wyłączniki zasilania systemu ogrzewania pociągu. Po drugiej stronie modułu E-PowerPackage znajdują się dwa niezależne przekształtniki trakcyjne dla każdego wózka. Transformator służący do współpracy z sieciami trakcyjnymi AC jest zainstalowany pod podłogą, poniżej wymienionych urządzeń. W lokomotywach TRAXX DC transformator zastąpiono kadzią z dławikami 3 kV DC. Obudowy transformatora i dławików DC są wyposażone w takie same elementy służące do przymocowania do pudła lokomotywy. E-PowerPackage znajduje się w środkowej części lokomotywy. Wysoki poziom zintegrowania urządzeń pozwala na zmniejszenie ilości okablowania w lokomotywie oraz umożliwia przeprowadzenie większej liczby testów przed końcowym montażem tych elementów na lokomotywie. Zarówno urządzenia wysokonapięciowe, jak i przekształtnik trakcyjny są łatwo dostępne z korytarzy bocznych.



Rys. 4. Platforma lokomotywy TRAXX obejmuje następujące elementy składowe 1 - moduły podstawowe, takie jak pudło, wózek, kabina maszynisty; 2- moduły napędowe przeznaczone do zastosowania w lokomotywach AC, MS, DC i DE; 3 - pakiety krajowe zawierające systemy zabezpieczenia pociągu oraz materiały stosowane przez koleje danego kraju; 4 - urządzenia dodatkowe, np. GPS lub systemy informacji dla pasażerów; za pomocą tych elementów składowych konfiguruje się poszczególne wersje lokomotyw wyposażonych w odpowiednie pakiety krajowe oraz osiągających požądane prędkości maksymalne



Rys. 5. Lokomotywy elektryczne TRAXX MS i DC (po prawej) i lokomotywy spalinowe TRAXX DE (po lewej) mają w zasadniczym zakresie taką samą konstrukcję. Urządzenia zaznaczone kolorem niebieskim i zielonym to urządzenia stosowane w, odpowiednio, lokomotywach elektrycznych i spalinowych. Pozostałe urządzenia zaznaczone kolorem żółtym są identyczne w obu rodzajach lokomotyw

W lokomotywie TRAXX DE moduł E-PowerPackage zastąpiono modułem D-PowerPackage, który składa się z silnika spalinowego i generatora. Zbiornik paliwa zajmuje miejsce transformatora i jest wyposażony w te same elementy mocujące, jak transformator w lokomotywie elektrycznej.

Chłodzenie modułów E-PowerPackage i D-PowerPackage jest realizowane za pomocą centralnej wieży chłodzącej. W lokomotywach elektrycznych system ten składa się z dwóch redundantnych wentylatorów; w lokomotywach spalinowych stosuje się jeden duży wentylator centralny.

Lokomotywy DC i MS są wyposażone w zintegrowaną szafkę urządzeń pomocniczych – moduł E-AuxPackage – zawierający dwa przekształtniki pomocnicze o stałej oraz zmiennej częstotliwości na wyjściu, ładowarkę akumulatorów do ładowania baterii prądem stałym o napięciu 110 V oraz przełączniki służące do rozprzewodzenia zasilania po całej lokomotywie. W tym samym miejscu w lokomotywie TRAXX DE znajduje się moduł D-AuxPackage



Rys. 6. Pudło nowych lokomotyw elektrycznych i spalinowych TRAXX jest identyczne, zgodnie z nową europejską normą prEN 15227 w zakresie pochłaniania energii zderzenia; konstrukcja ta została zweryfikowana i potwierdzona podczas testów zderzeniowych przeprowadzonych w centrum CNTK w Żmigrodzie; wszystkie pudła lokomotyw TRAXX budowane są w fabryce Bombardiera we Wrocławiu

zawierający ponadto prostownik diodowy, przekształtnik trakcyjny z czoperem sterującym pracą hamulców oraz falownik służący do zasilania ogrzewania pociągu. Ten ostatni element stanowi wyposażenie opcjonalne stosowane w pociągach osobowych.

Pudła lokomotyw DC, MS i DE są identyczne (rys. 6). Wlot powietrza chłodzącego znajduje się z boku lokomotywy spalinowej, natomiast w lokomotywie elektrycznej otwór ten nie jest potrzebny i w związku z tym został zaślepiiony. Moduły E-PowerPackage i D-PowerPackage mieszczą się w tym samym pudle. Dachy lokomotyw elektrycznych i spalinowych różnią się ze względu na różne elementy przyłączeniowe urządzeń, np. do chłodzenia i wlotu powietrza.

Wszystkie inne urządzenia i systemy lokomotyw TRAXX są takie same. To pozwala uzyskać wysoki stopień powtarzalności części w stosunku do lokomotyw TRAXX AC (100%):

- TRAXX MS: 90% tych samych części
- TRAXX DC: 85% tych samych części
- TRAXX DE: 75% tych samych części



Rys. 7. Lokomotywa SBB Re 484 na dworcu Milano Centrale we Włoszech. Sześć lokomotyw SBB Cargo jest używanych przez Cisalpino do obsługi międzynarodowych pociągów osobowych na linii Genewa – Mediolan

Podobnie jak w przypadku linii lotniczych flota składająca się z różnych lokomotyw, np. TRAXX DC i MS, opartych na zestandaryzowanej platformie pozwala na uzyskanie znacznych oszczędności w zakresie:

- zaopatrzenia w części zamienne;
- nakładów inwestycyjnych na wyposażenie lokomotywni i warsztatów;
- szkolenia maszynistów, jak również personelu w lokomotywniach i warsztatach;
- projektowania, montażu i testowania przyszłych modernizacji, np. w zakresie instalacji urządzeń ETCS;
- niezawodności i dostępności lokomotyw.

Te zalety mogą mieć kluczowe znaczenie dla podniesienia poziomu konkurencyjności danego operatora na zliberalizowanym rynku przewozów kolejowych.

Standardowe urządzenia napędowe

Dostępność układów IGBT (insulated gate bipolar transistor) dużej mocy o napięciu zaporowym wynoszącym 6500 V przyczynia się do szybkiego rozwoju przekształtników trakcyjnych przeznaczonych do zastosowania w stałoprądowych sieciach trakcyjnych. Lokomotywa SBB Cargo Re 484 była pierwszą lokomotywą TRAXX MS opartą na tej technologii i pierwszą lokomotywą eksploatowaną komercyjnie między Szwajcarią (15 kV 16,7 Hz) a Włochami (3 kV DC), poczynając od 2005 r. (rys. 7). Opisane lokomotywy TRAXX MS i DC są wyposażone w przekształtnik tej samej konstrukcji i z tego względu mają następujące zalety z punktu widzenia kolei:

- niewielka masa całkowita lokomotyw – lokomotywy TRAXX MS mają masę w granicach 85–87 t, w zależności od liczby krajów, w których są eksploatowane; lokomotywa TRAXX DC ma masę około 82 t;
- urządzenia wysokonapięciowe przeznaczone do pracy w systemie AC i DC są zainstalowane w maszynowni, dzięki temu urządzenia są zabezpieczone przed zanieczyszczeniem z zewnątrz (śnieg, kurz) oraz można je łatwo sprawdzać i serwisować;
- przekształtnik trakcyjny współpracuje ze wszystkimi systemami trakcyjnymi poprzez napięcie pośrednie 2800 V stabilizowane za pomocą czopera (łącze pośrednie dc), dzięki czemu system napędowy jest nieczuły na bardzo duże wahania napięcia sieci trakcyjnych 1,5 i 3 kV DC; takie rozwiązanie zapewnia także wysoki poziom sprawności lokomotywy;
- silniki trakcyjne i systemy napędowe lokomotywy TRAXX MS są takie same jak we wszystkich pozostałych lokomotywach TRAXX, a więc są to rozwiązania sprawdzone w eksploatacji;
- zmiana systemu zasilania jest dokonywana za pomocą niewielkiej liczby standardowych, sprawdzonych przełączników przekształtnika trakcyjnego; przy zmianie systemu zasilania nie ma potrzeby przełączania kabli zasilających silnik trakcyjny;
- lokomotywa jest wyposażona w automatyczny system sterowania, który stabilizuje moc lokomotywy w funkcji napięcia liniowego zgodnie z EN 50 163, dzięki temu możliwa jest stabilna praca lokomotywy na liniach zasilanych prądem stałym przy spadkach napięcia zasilania w zakresie od 3000 V nawet do 2200 V.

Przekształtnik trakcyjny lokomotywy TRAXX MS należy do nowej rodziny systemów napędowych Mitrac TC 3300 [3]. Moduły przekształtnika użytego w lokomotywach TRAXX zawierają 12

układów IGBT, które można skonfigurować do realizacji różnych funkcji w zakresie przelączania, np. przekształtnik liniowy, czoper lub falownik silnika trakcyjnego. Ta rodzina przekształtników Mitrac jest stosowana także w wielosystemowych członach napędowych pociągów wielkiej prędkości AVE S130 w Hiszpanii.

Lokomotywy spalinowo-elektryczne TRAXX są wyposażone w przekształtniki Mitrac TC 3300 wykorzystujące układy IGBT o napięciu zaporowym 3300 V. Wymiary, interfejsy modułów przekształtnika oraz urządzenia służące do sterowania pracą przekształtnika są identyczne dla wszystkich lokomotyw TRAXX. Tylko wybór układu IGBT, konfiguracja urządzeń elektrycznych i wersja oprogramowania są specyficzne dla zastosowanego typu przekształtnika.

Automatyczny system zabezpieczenia pociągu oparty na ETCS do realizacji przewozów transgranicznych

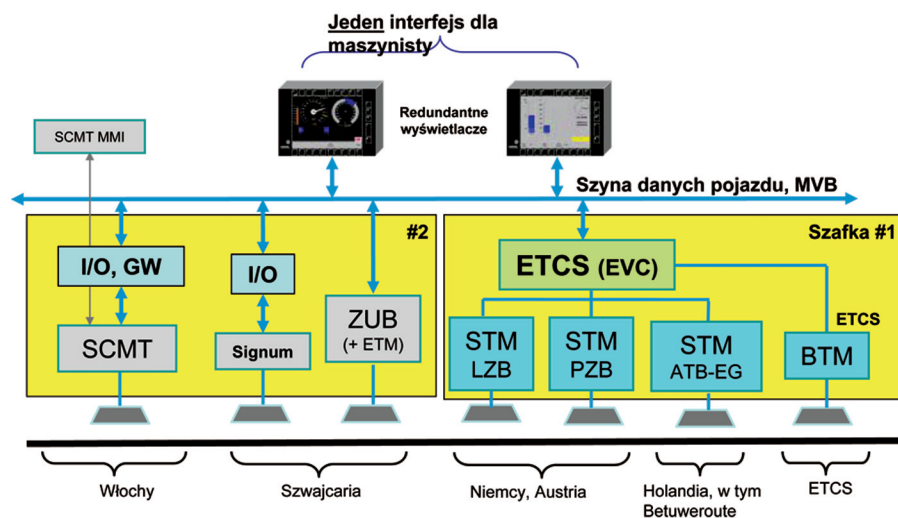
Już na początku lat 90. XX w. stało się jasne, że wielosystemowe przekształtniki trakcyjne nie są warunkiem wystarczającym do wykorzystania lokomotywy do przewozów transgranicznych. Dodatkowo należy jeszcze zapewnić kompatybilność automatycznych systemów zabezpieczenia pociągu (ATP), spełnienie norm krajowych i wielu wymagań w zakresie bezpieczeństwa [4, 5]. Wybrane rozwiązania techniczne przewidywane do zastosowania do obsługi ruchu transgranicznego są istotne ze względu na proces homologacji lokomotywy. Ponieważ w Europie nie ma centralnej agencji homologacyjnej, w związku z tym niezbędne jest uzyskanie świadectwa homologacji w każdym kraju oddzielnie. Obecnie główne przeszkody dla zapewnienia lokomotyw do obsługi przewozów transgranicznych stanowią systemy ATP starszej generacji i homologacja. Ponieważ większość systemów ATP została zaprojektowana wiele lat temu do obsługi krajowych sieci kolejowych, więc ich kompatybilność z urządzeniami kolejowymi stosowanymi w innych krajach często nie jest znana i musi zostać zweryfikowana. Ponadto, procedury związane ze zmianą systemu zasilania lokomotywy na przejściu granicznym są często nowe i muszą zostać uzgodnione między organami zajmującymi się homologacją, właścicielami infrastruktury, operatorami kolejowymi oraz producentem. Ze względu na fakt, że system ETCS (*European Train Control System*) to przyszły standard w Europie, taki system ATP musi także zostać zainstalowany w lokomotywie lub należy przynajmniej zapewnić możliwość jego późniejszego wprowadzenia.

W związku z powyższym opracowano nową koncepcję systemu ATP opartego na architekturze ETCS, co pozwala spełnić wymagania związane z realizacją przewozów transgranicznych. Ten nowy system został wprowadzony w styczniu 2004 r. w lokomotywach Railion BR 185 [6]. Składa się z centralnego systemu EVC (*European Vital Computer*) współpracującego z antenami systemów ATP starszej generacji za pośrednictwem modułów STM (*Specific*

Transmission Modules). Obecna wersja systemu używana w Niemczech składa się z STM-LZB i STM-PZB, przy czym oba systemy mają taką samą funkcjonalność, co systemy konwencjonalne, odpowiednio, LZB80 (*Linienförmige Zugbeeinflussung*) i PZB90 (*Punktförmige Beeinflussung*).

Zintegrowanie krajowych systemów ATP w ramach architektury opartej na systemie ETCS pozwala na zmniejszenie gabarytów urządzeń i obniżenie łącznych kosztów w porównaniu do obecnie stosowanych systemów samodzielnych. Ponadto, co jest równie ważne, zapewnia scentralizowaną obsługę przejścia z jednego systemu ATP na inny na granicy między systemami. To miało po części decydujące znaczenie dla nowego systemu ATP, służącego do obsługi ruchu transgranicznego między Niemcami a Holandią zarówno na liniach konwencjonalnych, jak i na nowej trasie Betuweroute. Ten ostatni korytarz, służący do przewozu towarów, jest bardzo wymagający, ponieważ lokomotywa musi umożliwiać dokonywanie dynamicznych zmian systemów, tzn. przechodzenie między systemami ATP, bez przerywania jazdy. Na trasie Betuweroute lokomotywa musi pracować w sieci 15 kV AC w Niemczech oraz w sieci 25 kV AC, jak również w sieci 1,5 kV DC w Holandii.

W nowej koncepcji systemu ATP przewidziano standardowe interfejsy do współpracy z lokomotywą. Komunikacja jest realizowana za pomocą szyny MVB (*Multi-Function Vehicle Bus*) połączonej bezpośrednio z wyświetlaczem maszynisty. Każdy system ATP starszej generacji jest połączony z EVC (*European Vital Computer*) za pośrednictwem modułu STM lub jest bezpośrednio podłączony do szyny MVB. Dzięki temu maszynista obsługuje systemy ATP za pomocą jednego wyświetlacza. To pozwala wyeliminować konieczność instalowania na pulpicie maszynisty dodatkowych urządzeń, które mogłyby utrudniać widoczność. Taka koncepcja jest stosowana w lokomotywach obsługujących ruch transgraniczny między Polską a Niemcami. Ponadto, w ten sam sposób zaprojektowano bardziej złożone konfiguracje systemów ATP przeznaczone do eksploatacji w korytarzu północ-południe służącym do obsługi ruchu towarowego między Holandią a Włochami (rys. 8).



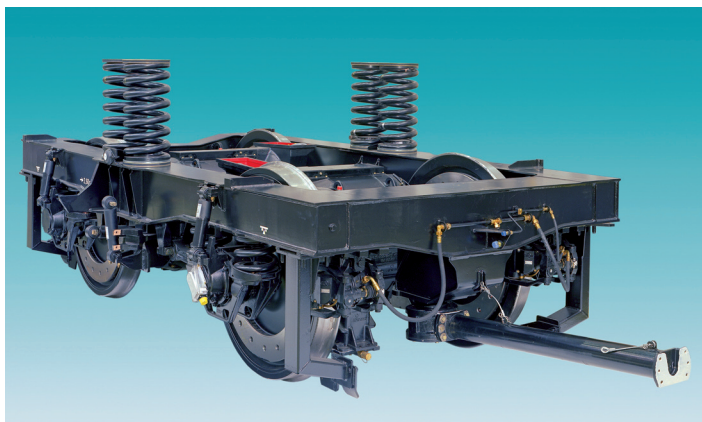
Rys. 8. Systemy zabezpieczenia pociągu w lokomotywach TRAXX mają konstrukcję modułową; w lokomotywach TRAXX MS, obsługujących połączenie Holandii z Włochami, zainstalowano siedem systemów zabezpieczenia pociągu; w Niemczech do współpracy z systemami LZB i PZB wykorzystywany jest system oparty na ETCS

Sprawdzony w eksploatacji wózek Flexifloat

Parametry ruchowe lokomotywy muszą spełniać wymagania infrastruktury kolejowych. Weryfikacja wymaganych parametrów, np. UIC 518, oraz doprowadzenie do spełnienia dodatkowych wymagań krajowych może stanowić długotrwały i kosztowny proces. Zasady konstrukcji wózka Flexifloat zastosowano we wszystkich produkowanych przez Bombardier lokomotywach i członach napędowych obsługujących pociągi ciężkie, pociągi kwalifikowane oraz pociągi dużych prędkości. Doświadczenie eksploatacyjne z wielu krajów, także spoza Europy, jest bardzo bogate. Wózek Flexifloat (rys. 9) charakteryzuje się następującymi ważnymi cechami konstrukcyjnymi:

- nie wymagający obsługi serwisowej mechanizm odsprężynowania I stopnia i prowadników zestawów kołowych;
- nie wymagające obsługi serwisowej cięgiło przeniesienia siły pociągowej łącznie wózek z pudłem w nisko położonym punkcie, w ten sposób przeniesienie obciążenia między zestawami kołowymi wózka jest realizowane nisko, co pozwala na maksymalne wykorzystanie siły pociągowej i siły hamowania lokomotywy;
- mały rozstaw osi wynoszący 2,6 m, co przyczynia się do niewielkiego zużycia kół i toru na ostrych zakrętach;
- wysokie odsprężynowanie II stopnia typu „flexicoil” zapewniające znakomite parametry jazdy po krętych torach;
- dwa podstawowe zespoły napędowe: zawieszony za nos dla prędkości do 140 km/h i z pełnym odsprężynowaniem dla prędkości do 160 i 200 km/h;
- hamulce tarczowe kół pozwalające na ich łatwą kontrolę, tarcze hamulcowe tłumią hałas występujący przy mikropoślizgach w warunkach słabej przyczepności;
- proste podłuznice ramy wózka umożliwiają łatwe dokonanie naprawy w warsztacie w przypadku uszkodzenia.

Wszystkie wózki TRAXX Flexifloat przeznaczone do jazdy z prędkością 140, 160 i 200 km/h są wyposażone w takie same elementy służące do umocowania pudła. Dzięki temu możliwa jest zamiana wózków, np. między lokomotywą służącą do obsługi przewozów towarowych TRAXX F140 AC a lokomotywą służącą do obsługi przewozów osobowych TRAXX P160 AC lub między elektryczną a spalinową lokomotywą TRAXX. Wszystkie lokomotywy TRAXX są wyposażone w te same silniki trakcyjne różniąc się jedynie sposobem zawieszenia silnika na ramie wózka. W zależ-



Rys. 9. We wszystkich lokomotywach TRAXX zastosowano standardowe wózki, wyposażone w identyczne elementy służące do umocowania pudła i można je wymieniać między poszczególnymi wersjami lokomotywy TRAXX AC, MS, DC i DE

ności od wersji może to być zawieszenie za nos lub pełne odsprężynowanie.

Innowacyjne pudło spełniające najnowsze normy EN

W lokomotywach elektrycznych TRAXX DC i MS, jak również w lokomotywach TRAXX DE, zastosowano identyczne pudło zapewniające nowy sposób rozmieszczenia elementów. Parametry pudła w zakresie bezpieczeństwa zostały zoptymalizowane w wyniku szczegółowych symulacji i następnie zweryfikowane w badaniach zderzeniowych przeprowadzonych w centrum badawczym CNTK w Żmigrodzie [7]. Następnym krokiem było zapewnienie zmniejszenia kosztów naprawy pudła po zderzeniach. Pudło lokomotywy TRAXX spełnia europejskie normy w zakresie pochłaniania energii zderzenia, tzn. prEN 15227.

Nowe pudło przeznaczone do zastosowania zarówno w lokomotywach elektrycznych, jak i spalinowych, jest wyposażone w podłuznice, które tworzą samodzielną konstrukcję nośną, na której mocowany jest moduł E-PowerPackage lub D-PowerPackage. W każdej ścianie bocznej na wysokości centralnej wieży chłodzącej znajduje się otwór stanowiący wlot powietrza do silnika spalinowego. W lokomotywach elektrycznych otwory te są zasłepione dwoma panelami ścian bocznych. Krokwie zakładane w trakcie montażu końcowego, służące do mocowania do pudła i łączenia ze sobą poszczególnych segmentów dachu lokomotywy elektrycznej i spalinowej, służą również do uszczelniania wnęk dachowych oraz poszczególnych przedziałów w maszynowni. W celu uproszczenia zarówno montażu, jak i procesu utrzymania lokomotyw wszystkie podstawowe grupy elementów są mocowane do pudła z zachowaniem tolerancji za pomocą śrub i prowadnic ceowych oraz śrub młoteczkowych.

Kabina maszynisty

Pulpit maszynisty spełnia przyszłe wymagania europejskie. W jego konstrukcji uwzględniono najnowsze zalecenia europejskiego projektu MODTRAIN dotyczącego *European Driver's Desk* (EUDD). Konsola maszynisty stanowi integralny element koncepcji pochłaniania energii zderzenia, dzięki której znacząco zmniejszono ryzyko odniesienia przez maszynistę obrażeń ciała w wyniku zderzenia.

Pulpit maszynisty lokomotywy TRAXX nie tylko jest zgodny z najnowszymi specyfikacjami międzynarodowymi, ale ponadto został zaprojektowany z myślą o spełnieniu obowiązujących w poszczególnych krajach wymagań homologacyjnych. Konstrukcja pulpitu maszynisty jest logiczna, a wszystkie powiązane ze sobą elementy sterujące są pogrupowane w zależności od ich funkcji i rozróżniane na podstawie ich kształtu. Na przykład po lewej stronie znajduje się rząd wyłączników i przycisków służących do obsługi systemu zabezpieczenia pociągu, syreny lokomotywy, systemu piaskowania kół i oświetlenia. Z myślą o aspektach ergonomicznych wszystkie elementy sterowania pracą systemu klimatyzacji i systemu łączności radiowej w pociągu umieszczono na pulpicie, a nie na panelach pionowych pod pulpitem.

System hamowania

Modułowy system hamowania przeznaczony do użytku w Europie (*Modular Brake System for European operations* – MBS Europe) ze zintegrowanymi funkcjami diag-

nostycznymi został wprowadzony w lokomotywach TRAXX w styczniu 2005 r. Pozwala na szybkie lokalizowanie uszkodzeń i łatwą wymianę modułów. Ten sam system hamowania zastosowano także w nowych lokomotywach TRAXX DC, MS i DE, jednakże w bardziej zwartej wersji. Jedną zmianą, w porównaniu do poprzednich wersji lokomotyw TRAXX, polega na odejściu od koncepcji hamowania, gdzie siła hamowania wynika z pozycji dźwigni – do rozwiązania, gdzie siła hamowania jest uzależniona od czasu oddziaływania na dźwignię, która jest zdecydowanie najpowszechniej stosowaną metodą hamowania w Europie. Pneumatyczny zawór hamulca maszynisty zastąpiono dźwignią hamulca elektromechanicznego zapewniającego wyższy poziom niezawodności i łatwiejsze utrzymanie.

Ważną innowacją w nowych lokomotywach TRAXX stanowi zastosowanie sprężarki bezolejowej. Sprężarkę wraz z osuszaczem powietrza zamontowano pod ramą lokomotywy. Ponieważ kondensat wody nie jest zanieczyszczony, w związku z tym nie ma potrzeby stosowania filtra dokładnego oczyszczania z oleju i zbierania kondensatu, co pozwala znacząco obniżyć koszty utrzymania w porównaniu do konwencjonalnych sprężarek tłokowo-śrubowych. Znajdująca się na zewnątrz wlotu powietrza płyta dźwiękochłonna skutecznie zmniejsza poziom emitowanego hałasu.

Systemy sterowania i łączności

Łączność wewnątrz lokomotyw jest realizowana w sposób zgodny z normą TCN (*Train Communication Network*, IEC61375; UIC 566). Do łączności między lokomotywą a innymi pojazdami najczęściej stosuje się tradycyjny niemiecki system *Zeitmultiplexe Mehrfachtraktionsteuerung* (ZMS). Opcjonalnie można stosować także magistralę WTB (*Wire Train Bus*). Służąca do obsługi przewozów osobowych lokomotywa TRAXX DE, przeznaczona dla niemieckich kolei *Landesnahverkehrsgesellschaft Niedersachsen* (LNVG), jest wyposażona w oba systemy, ZMS i WTB, w celu zapewnienia maksymalnej elastyczności w zakresie współpracy z dotychczas używanymi i nowymi wagonami osobowymi (rys. 10).

Wszystkie lokomotywy są wyposażone w zaawansowane systemy diagnostyczne dostarczające maszyniście najważniejsze informacje (w odpowiednim języku) dotyczące obsługi pojazdu. Zespoły zajmujące się obsługą serwisową i utrzymaniem mają dostęp do szczegółowych danych na temat uszkodzeń. Dane te obejmują informacje na temat stanu lokomotywy w momencie wystąpienia uszkodzenia i mogą zawierać także informacje historyczne dotyczące okresu sprzed zdarzenia. Lokomotywy TRAXX umożliwiają przesyłanie tych informacji za pomocą systemu łączności radiowej GSM w celu dokonania ich szczegółowej analizy poza lokomotywą, dostarczenia części zamiennych oraz wykorzystania jako dane wejściowe w procesie planowania utrzymania i eksploatacji lokomotywy.

W ciągu ostatnich 15 lat miał miejsce stały rozwój systemów kontroli przyczepności. Obecnie stosowany jest wysoce zaawansowany system zawierający moduły programów pozwalających na dokonywanie indywidualnych adaptacji systemu kontroli przyczepności w celu spełnienia określonych potrzeb danego opera-



Rys. 10. Lokomotywa TRAXX DE przeznaczona dla LNVG będzie pracowała w systemie push-pull w pociągach osobowych składających się z wagonów piętrowych i poruszających się z prędkością do 160 km/h



Rys. 11. Lokomotywa TRAXX DC przeznaczona do eksploatacji na liniach 3 kV DC we Włoszech

tora kolejowego, np. eksploatacja ciężkich pociągów towarowych lub pociągów rozwijających duże prędkości.

Zastosowanie lokomotyw w przewozach transgranicznych

Zastosowanie lokomotyw do przewozów transgranicznych wymaga szczególnej uwagi, gdy na granicy niezbędna jest zmiana napięcia sieci trakcyjnej, systemu ATP lub obu tych elementów. Nie trzeba dodawać, że poziom skomplikowania lokomotywy i złożoność procesu homologacji wzrasta wraz z liczbą przejeżdżanych przejść granicznych. Pierwsze lokomotywy interoperacyjne używane w korytarzu północ-południe do przewozu towarów to SBB Re 482 i Re 484 na trasie, odpowiednio, Niemcy – Szwajcaria oraz Szwajcaria – Włochy. Wkrótce po wprowadzeniu tych lokomotyw do eksploatacji komercyjnej firma Angel Trains Cargo zamówiła łącznie 45 lokomotyw wielosystemowych i DC do obsługi następujących korytarzy:

- północ-południe między Włochami a Holandią; ta lokomotywa będzie prowadziła pociągi towarowe między portami i terminalami w Holandii i we Włoszech, może jeździć przez Szwajcarię przez przełęcz Gotharda i trasą Lötschberg-Simplon lub przez Austrię; w Holandii będzie jeździć zarówno na nowej linii Betuweroute, jak i na liniach konwencjonalnych;

- korytarze włoskie – lokomotywa TRAXX DC wywodzi się z lokomotywy TRAXX MS, z której usunięto urządzenia wysokonapięciowe służące do współpracy z sieciami trakcyjnymi AC (rys. 11), jest przeznaczona do eksploatacji na całym terytorium Włoch w sieci 3 kV DC; może także zostać wyposażona w system SHP umożliwiającą eksploatację w Polsce;
- przez kraje Beneluksu: Niemcy – Holandia – Belgia, ta lokomotywa zapewnia transport między portami i terminalami w Holandii i Belgii, a Niemcami i Austrią, poza trasą Betuwe-route jest także przeznaczona do eksploatacji na trasie HSL Zuid z pociągami osobowymi poruszającymi się z prędkością do 160 km/h;
- wschód–zachód między Polską a Niemcami – ta lokomotywa jest przeznaczona do obsługi połączeń wschód–zachód, np. między Warszawą i Katowicami a przemysłowym Zagłębiem Ruhry.

Po tych zamówieniach pojawiły się następne kontrakty na dostawę 10 lokomotyw spalinowo-elektrycznych i 25 lokomotyw

wielosystemowych dla CBRail, przeznaczonych do obsługi wymienionych linii w krajach Beneluksu i Polsce, a także korytarza północ–południe między Niemcami a Włochami – ta lokomotywa może jeździć po alpejskich trasach w Austrii i Szwajcarii.

Wszystkie te trasy będą obsługiwane przez oparte na platformie TRAXX lokomotywy wyposażone w odpowiednie pakiety krajowe. Spośród wymienionych tras najbardziej wymagający z technicznego punktu widzenia jest korytarz D/A-CH-I-NL. W związku z tym w Holandii na odcinkach tras Betuwe-route i HSL Zuid zasilanych napięciem 25 kV AC rozpoczęto już testy z udziałem lokomotywy SBB Cargo Re 484 i Re 482 (rys. 12). Lokomotywa obsługująca korytarz D/A-CH-I-NL będzie zasilana czterema napięciami sieci trakcyjnej i zostanie wyposażona w siedem różnych systemów ATP. Urządzenia te zajmą tylko dwie szafki. Szafka 1 zawiera urządzenia systemu ETCS i moduły STM do współpracy z niemieckimi systemami PZB i LZB, jak również z holenderskim systemem ATB-EG. W drugiej szafce znajdują się urządzenia szwajcarskich systemów ZUB 262ct i Signum, jak również nowego włoskiego systemu ATP, SCMT. W szafce znajduje się rejestrator zdarzeń służący do kontroli i komunikacji.

Urządzenia dachowe lokomotywy obsługującej korytarz D/A-CH-I-NL muszą umożliwiać odbiór prądu ze wszystkich czterech sieci trakcyjnych: 15 i 25 kV AC, jak również 1,5 i 3 kV DC. Lokomotywa jest wyposażona w następujące cztery pantografy (rys. 13):

- szerokość 1450 mm: Szwajcaria, 15 kV AC;
- szerokość 1450 mm: Włochy, 3 kV DC;
- szerokość 1950 mm: Holandia, 1,5 kV DC;
- szerokość 1950 mm: Niemcy i Austria, 15 kV AC oraz Holandia, 25 kV AC.

Poza przetwornikami pantografów, służącym do wyboru systemu zasilania, znajdującym się na dachu, wszystkie pozostałe urządzenia wysokonapięciowe są zainstalowane w lokomotywie.

Lokomotywy przeznaczone do obsługi wszystkich wymienionych korytarzy są identyczne, poza wyposażeniem w systemy stosowane w poszczególnych krajach (pakiety krajowe). W zasadzie możliwa jest zamiana lokomotyw między korytarzami. Lokomotywy TRAXX można skonfigurować także do obsługi innych korytarzy, np. w Europie Południowo-Wschodniej przez Węgry do Rumunii lub korytarzy prowadzących do Francji.

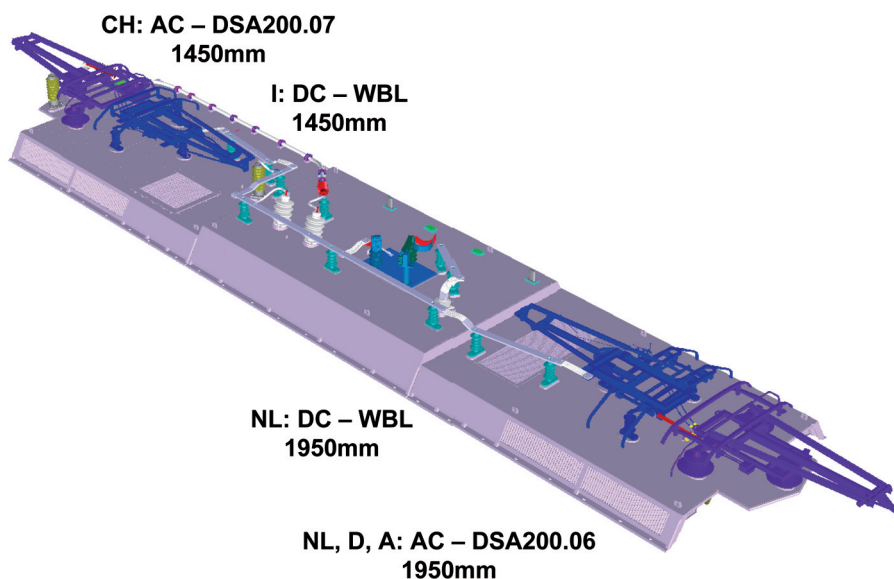
W porównaniu do podstawowej konfiguracji lokomotywy TRAXX modyfikacje (o ile są potrzebne) ograniczają się głównie do wyposażenia dachowego, systemów ATP i materiałów stosowanych wyłącznie przez danego operatora kolejowego.

Prognozy na przyszłość

Przeznaczone do obsługi przewozów transgranicznych lokomotywy TRAXX stanowią krok na drodze do usprawnienia funkcjonowania transportu kolejowego w Europie. Łączą innowacyjne rozwiązania z zapewnieniem zgodności z najnowszymi



Rys. 12. Lokomotywa SBB Cargo Re 482 eksploatowana w sieci 25 kV AC na linii wielkiej prędkości HSL Zuid w Holandii Fot. Pieter van Halem



Rys. 13. Konfiguracja urządzeń na dachu lokomotywy TRAXX MS należącej do Angel Trains Cargo, przeznaczonej do eksploatacji na trasach między Holandią a Włochami zarówno prowadzących przez Szwajcarię, jak i Austrię; zainstalowano cztery różne pantografy

normami EN, umożliwiając pokonanie złożonych trudności na drodze do budowy europejskiej sieci kolejowej. Obsługa przewozów transgranicznych rozpocznie się od nowej generacji lokomotyw TRAXX MS wyprodukowanych dla Angel Trains Cargo (rys. 14) i CBRail w połowie 2007 r. Zastosowanie tych lokomotyw pozwoli na wyeliminowanie konieczności dokonywania zmiany lokomotyw na granicach państwowych leżących na trasie ważnych korytarzy północ-południe i wschód-zachód, umożliwiając eksploatację pociągów na liniach dalekosiężnych liczących ponad 1000 km. W lokomotywach zastosowano specjalne rozwiązanie w zakresie systemów ATP umożliwiające migrację do przyszłego standardu ETCS. Operatorzy pociągów osiągną korzyści wynikające z niskich kosztów eksploatacji lokomotyw w całym okresie ich użytkowania oraz zastosowania sprawdzonych w eksploatacji systemów opartych na jednej platformie. Operatorzy kolejowi w Polsce mają do wyboru charakteryzujące się powtarzalnością wielu elementów lokomotywy wielosystemowe przeznaczone do obsługi ruchu transgranicznego, lokomotywy zasilane napięciem 3 kV DC oraz lokomotywy spalinowo-elektryczne. Wszystkie lokomotywy można wykorzystać do obsługi przewozów osobowych i towarowych, co zapewnia maksymalny zakres elastyczności. Omówione zastosowania lokomotywy TRAXX stanowią przykłady na to, w jaki sposób nowe rozwiązania pozwalają przekraczać tradycyjne granice, umożliwiając budowę europejskiego systemu kolejowego. Ponadto, takie lokomotywy umożliwiają operatorom kolejowym uzyskanie wyższego poziomu wydajności przewozów oraz obniżenie łącznych kosztów, co pozwala podnieść poziom ich konkurencyjności.



Literatura

- [1] Vitins J., Landolt M.: *Elektrische Lokomotiven für den internationalen Güterverkehr*. Schweizer Eisenbahn-Revue 4/2006, s. 170–176.
- [2] Buscher M., Koeck F., Trotsch P., Bickle U.: *TRAXX: Integrale Plattform zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des Schienenverkehrs*. ETR 9/2006, s. 554–564
- [3] Umbricht S., Lüttin T.: *IGBT-Hochleistungsstromrichterfamilie, konfigurierbar für jeden Anwendungsbereich*. Elektrische Bahnen 103/2005, s. 63–68



Rys. 14. Pierwsza lokomotywa Angel Trains Cargo, E 188 101, przeznaczona do eksploatacji na trasie między Holandią a Włochami, prowadzącej przez Niemcy, Austrię i Szwajcarię

- [4] Vitins J., Köck F.: *Signalsysteme – Die Herausforderung an Lokomotiven für den grenzüberschreitenden Verkehr*. ZEVrail Glasers Annalen 129 Tagungsband SFT Graz 2005. s. 256–265.
- [5] Schreiber R., Gruel M., Spillmann M., Schätzer Ch., Lassak R., Oggier Ph., Rüegg R.: *TRAXX: Lokomotiven, Länder-Pakete und Länder-Zulassungen*. Schweizer EisenbahnRevue 10/2006, s. 482–488.
- [6] Nordmann J.: *Auf einem ETCS-Kern basierende LZB80 mit PZB90-Funktion*. Signal + Draht (96) 9/2004, s. 41–46.
- [7] Löber M., Schneider S., Sifri N. and Trotsch P.: *Innovative crashfähige Kastenstruktur der TRAXX-Lokomotiven*. eb-Elektrische Bahnen 102 (2004), H. 8-9, s. 334–344.

Autorzy

Marek Krzyżanowski, Jacek Pawlak, Janis Vitins
Bombardier Transportation

BOMBARDIER

Bombardier Transportation Polska Sp. z o.o.
ul. Fabryczna 12
53-609 Wrocław
tel. 071 356 23 17
fax 071 355 57 31