

Andrzej Bąk, Alfred Szymański

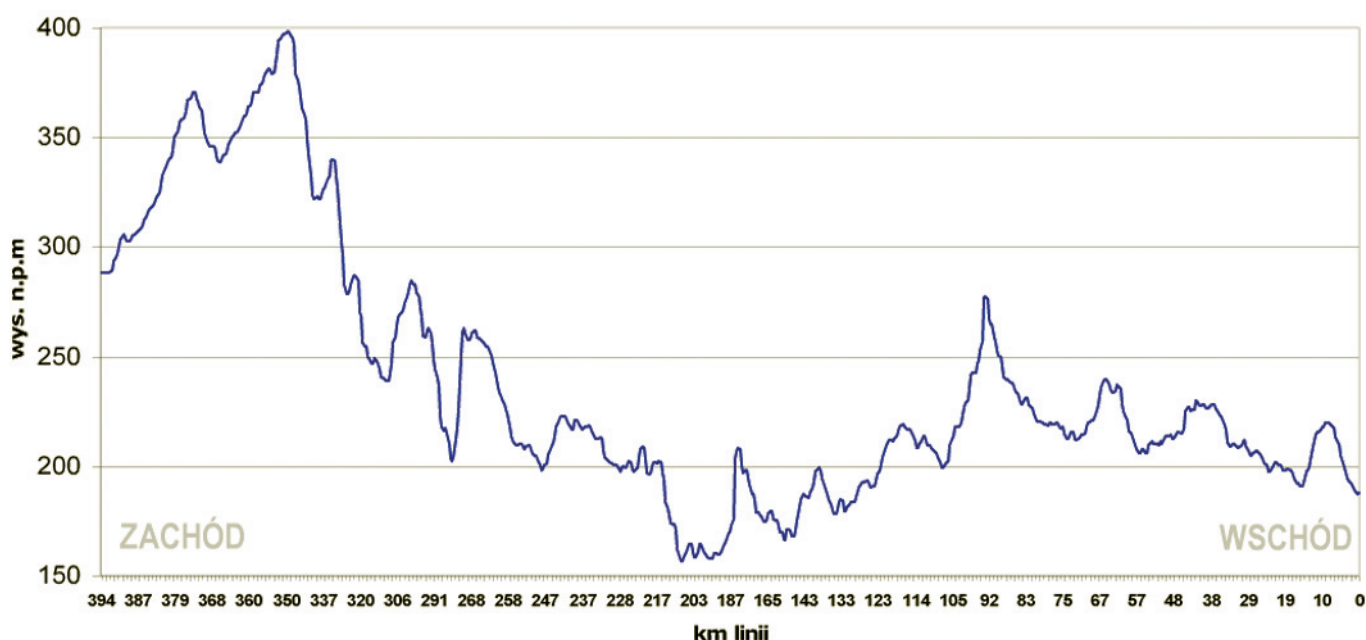
Wymagania techniczne dla zmodernizowanej lokomotywy ST44 w aspekcie uwarunkowań eksploatacyjnych linii LHS

Linie szerokotorową 1520 mm Hrubieszów – Sławków Płd. wybudowano w drugiej połowie lat 70. XX w. do transportu rudy importowanej z byłego ZSRR do huty „Katowice”. Eksploatację linii rozpoczęto 15.12.1979 r. Jest najdłuższą linią szerokotorową w Polsce, najdalej wysuniętą na zachód w Europie.

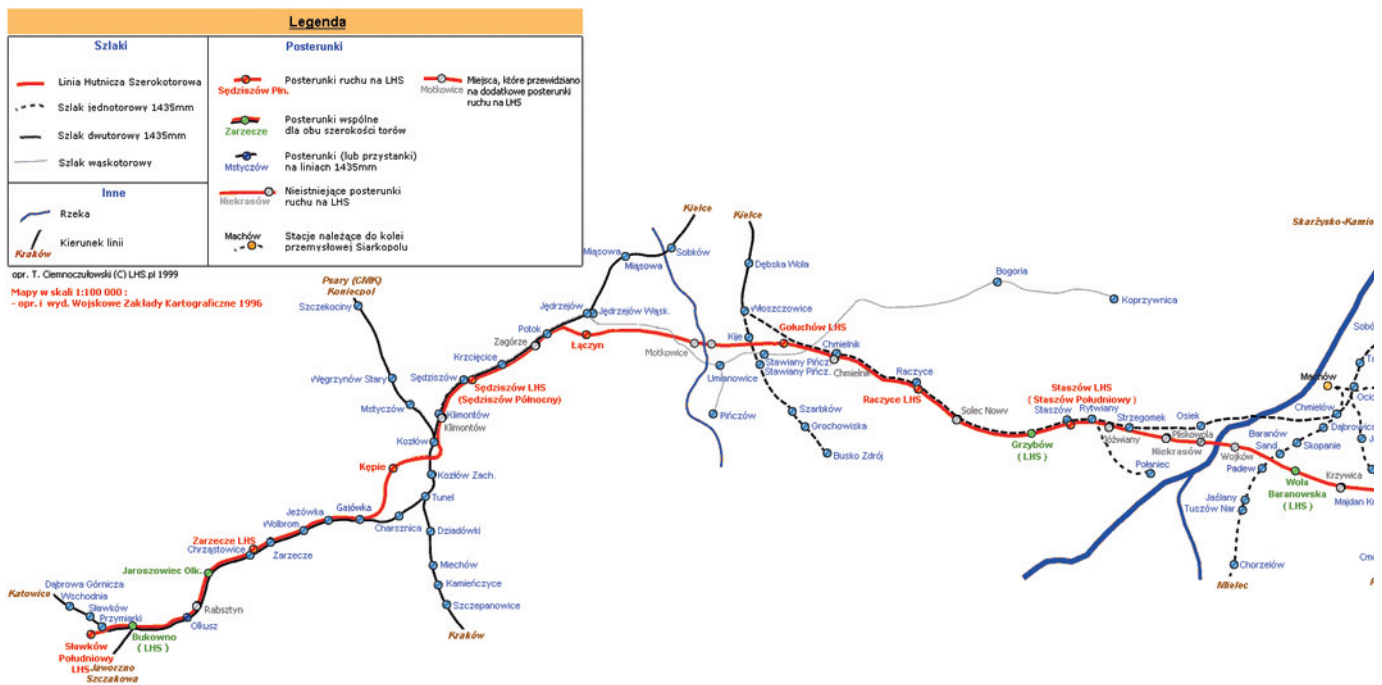
Aktualnie linia LHS na odcinku 34 km dostosowana jest do prędkości rozkładowej 80 km/h a na odcinku 351,1 km – do prędkości rozkładowej 60 km/h, z lokalnymi ograniczeniami prędkości; 18 ograniczeń punktowych oraz jedno ograniczenie prędkości na długości 1,1 km. Profil linii LHS (rys. 1) stawia wyjątkowo wysokie wymagania parametrom trakcyjnym pojazdów. Na linii tej summaryczne odcinki o jednostkowych oporach ruchu tuku i wzniesienia powyżej 5‰, 8‰ i 9‰ wynoszą odpowiednio: dla kierunku Hrubieszów – Sławków 81,5 km, 37,4 km i 17,6 km, a dla kierunku Sławków – Hrubieszów 70,8 km, 31,8 km i 22,0 km. Ponadto ciągłe wzniesienia powyżej 5‰ i długości większej niż 5 km występują na 11 odcinkach na kierunku Hrubieszów – Sławków oraz na 7 odcinkach na kierunku przeciwnym. Na najbardziej niekorzystnych odcinkach profilu linii, gdzie zes-

pół dwu lokomotyw ST44 obciążony składem 4000 t osiąga prędkość nie przekraczającą 15 km/h, stosowany jest popych lokomotywą SM48.

Wieloletnie zaniedbania wynikające z braku środków finansowych do 2001 r. spowodowały degradację infrastruktury i konieczność szybkiego nadrobienia zaległości remontowych i inwestycyjnych. Od kwietnia do listopada na linii prowadzone są prace remontowe i inwestycyjne, z czym wiąże się zamykanie ruchu na odcinkach robót. W czasie prowadzenia prac na linii ruch odbywa się w godzinach nocnych, po zakończeniu prac i w dni wolne od pracy. Lokomotywnia znajduje się w Zamościu-Bortatyczach na 60. km linii, co ma zasadniczy wpływ na organizację ruchu, szczególnie przy wprowadzaniu zamknięć na odcinkach robót torowych. Wymiana lokomotyw (zespoły 2×ST44 w trakcji wielokrotnej) następuje w Bortatyczach i Sławkowie. Jednorazowy obrót lokomotyw to minimum 670 km. Stacja paliw do zaopatrywania lokomotyw znajduje się na stacji Zamość-Bortatycze (własność Spółki LHS). Wymiana pracowników drużyn trakcyjnych następuje w Woli Baranowskiej (196 km) i Sędziszowie (315 km). Obecna przepustowość linii, biorąc pod uwagę istniejącą infrastrukturę i tabor, osiąga osiem par pociągów w dobie.



Rys. 1. Profil LHS



Park lokomotyw

Obecnie eksploatowane na LHS lokomotywy serii ST44 były wyprodukowane w latach 1977–1980. W eksploatacji liniowej jest 50 lokomotyw serii ST44; w tym 21 szt. wyprodukowanych w latach 1977–1978 oraz 29 szt. wyprodukowanych w 1980 r. LHS Spółka z o.o. ma ponadto 7 lokomotyw ST44 przeznaczonych do modernizacji, odkupionych od PKP CARGO po ich wycofaniu z ruchu. Do potrzeb manewrowych na szerokich torach i prac remontowych wykorzystywanych jest 8 lokomotyw serii SM48. W rejonie stacji Zamość-Bortatycze i punktu przestawczego w Sędziszowie do pracy manewrowej na torach 1435 mm wykorzystywane są lokomotywy SM30 i 401Da.

Począwszy od 2001 r. stan techniczny lokomotyw ulega zasadniczej poprawie. Wynika to przede wszystkim z możliwości finansowych spółki, powstałej w nowej strukturze organizacyjnej. Zakres naprawy okresowej lokomotyw ST44 został powiększony o obowiązkową wymianę – istotnych z punktu widzenia eksploatacji – części silnika spalinowego (m.in. tuleje cylindrowe, podstawy głowic). Zasadnicze części silnika wymieniane są na nowe, oryginalne, mające certyfikat jakości producenta. Zaostrzono wymagania w stosunku do zakładów naprawczych dotyczące jakości wykonywanych napraw okresowych, szczególnie lokomotyw serii ST44. Każda lokomotywa po wykonanej naprawie przechodzi szczegółowe badanie na stacji diagnostycznej w Zamościu-Bortatyczach, gdzie weryfikacji podlega m.in. jakość naprawy układu napędowego, pneumatycznego, sprawdzane jest zużycie paliwa. Lokomotywy przewidziane do pracy liniowej prowadzą pociągi w zespołach 2×ST44 przy sterowaniu wielokrotnym, dopasowanie charakterystyk obu lokomotyw przeprowadza się również na stacji diagnostycznej po wykonanym przeglądzie okresowym, doraznie po naprawie lub w wyniku informacji uzyskiwanych z zespołu eksploatacji. Stacja diagnostyczna umożliwia badanie i regulację lokomotyw spalinowych z przekładnią elektryczną o mocy 3000 KM normalno- i szerokotorowych.

Uruchomienie nowoczesnej stacji diagnostycznej w 2001 r. przyczyniło się do poprawy stanu technicznego lokomotyw,

skutkując zwiększeniem niezawodności i zmniejszeniem zużycia paliwa.

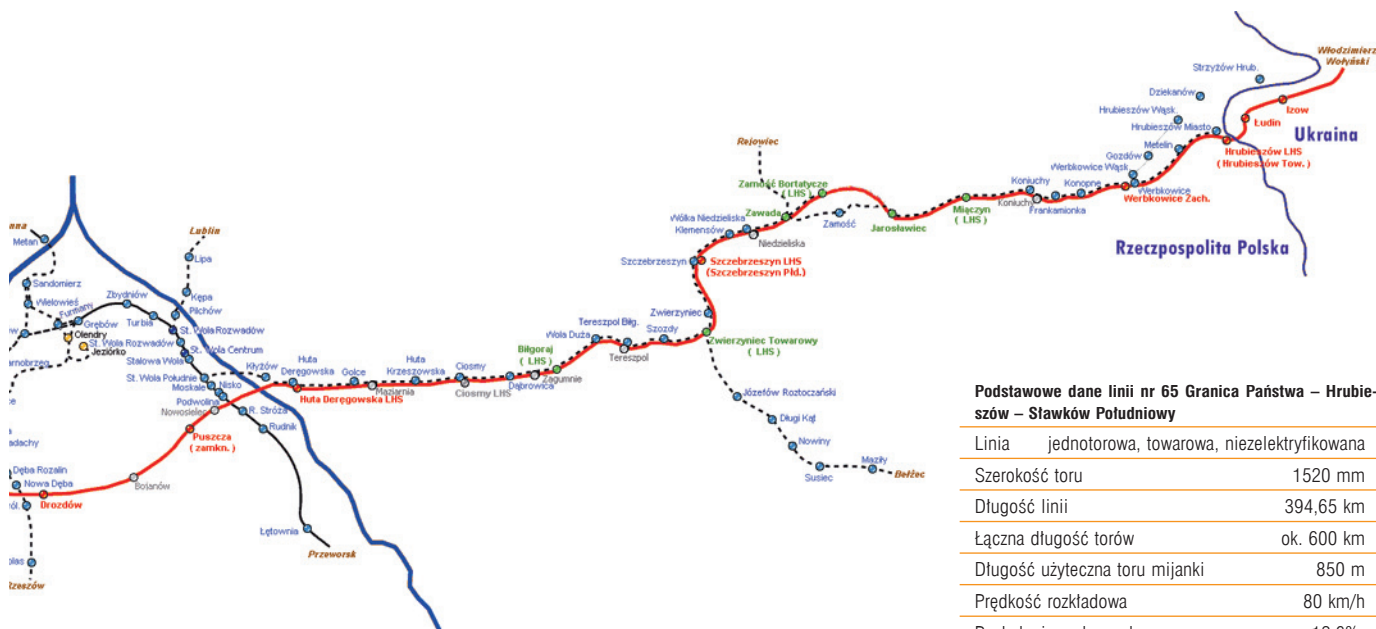
Praca przewozowa

W ostatnich trzech latach liczba prowadzonych pociągów się zwiększała, średnio w miesiącu przejechało po LHS:

- 138 par pociągów w 2002 r.,
 - 193 pary pociągów w 2004 r.,
 - 205 par pociągów w 2005 r.,
- a w dobie 4 do 8 par pociągów.

Rok 2005 jest szczególnie pod względem przewiezionej masy towarów – dotychczas przewieziono ponad 7,3 mln t, co wynika z koniunktury na stal i przewozy rudy żelaza. Przy tej wielkości przewozów, realizowanych trakcją spalinową, zasadniczą kwestią staje się zużycie paliwa trakcyjnego. Wskaźnik jednostkowego zużycia paliwa w ruchu towarowym (kg/1000 brtkm) z wielkości 3,90 w 2000 r. zmniejszył się do 3,26 w 2004 r. Na ten wynik miały wpływ działania techniczne i organizacyjne, zrealizowane przez Spółkę LHS.

Zasadniczym ładunkiem (ok. 80% masy towarów) przewożonym po LHS jest ruda żelaza. Po ukraińskiej stronie granicy pociągi kursują nieregularnie, ponieważ nie ma stałego rozkładu pociągów doprowadzanych do stacji granicznej Hrubieszów Towarowy. Pociągi przeprowadzane są przez granicę lokomotywami ukraińskimi. Pociągi wjeżdżające do Hrubieszowa awizowane są z wyprzedzeniem kilkugodzinnym, nie ma dokładnych informacji dotyczących liczby składów i czasu przybycia (w dobie 2 do 8 składów). Masa brutto wagonów składu pociągów strony ukraińskiej wynosi najczęściej 4500–4800 t. Czas odprawy celnej na stacji granicznej wynosi 6 do 12 godz. Wymienione uwarunkowania oraz konieczność dostosowania wielkości składów wagonów do warunków występujących na linii LHS nie sprzyja planowaniu stałego rozkładu jazdy. Czas obrotu wagonów handlowych ma zasadniczy wpływ na koszty przewozowe, gdyż za pobyt wagonów Spółka LHS płaci czynsz dzierżawny. Systematycznie podejmowane są działania techniczne i organizacyjne mające na celu zwiększenie prędkości handlowej. Istnieje możliwość wprowadze-



Podstawowe dane linii nr 65 Granica Państwa – Hrubieszów – Sławków Południowy

Linia	jednotorowa, towarowa, nieelektryfikowana
Szerokość toru	1520 mm
Długość linii	394,65 km
Łączna długość torów	ok. 600 km
Długość użyteczna toru mijanki	850 m
Prędkość rozkładowa	80 km/h
Pochylenie maksymalne	12,6‰
Dopuszczalny nacisk na tor	25 t

nia przejazdu pociągu bez zatrzymywania dla kierunku linii przywilejowanego ze względów handlowych.

W przewożonej po LHS masie towarów, poza rudą żelaza, zwiększa się udział innych ładunków w tym gazu płynnego, drewna i nawozów. Prognozy przewozowe zakładają dalsze zwiększanie udziału tych ładunków, jednak zasadniczym zadaniem w dalszym ciągu będzie zaopatrzenie hut w rudę żelaza.

Strategiczne plany Spółki LHS uwzględniają koncepcje budowy terminalu przeładunkowego w Sławkowie i połączenie Europy Zachodniej przez linię transsyberyjską z Azją.

Pożądane parametry trakcyjne lokomotyw

Prawidłowe dobranie pojazdu trakcyjnego do określonych zadań przewozowych na określonej linii kolejowej wymaga wyznaczenia pożądanych parametrów trakcyjnych lokomotywy (lub zespołu lokomotyw dostosowanych do sterowania wielokrotnego). Techniczne i ekonomiczne możliwości pozyskania pojazdów o wymaganych właściwościach trakcyjnych, określone w ramach przeglądu istniejących rozwiązań konstrukcyjnych, kosztów nowych pojazdów lub modernizacji, eksploatacji i innych uwarunkowań mogą być przyczyną przyjęcia innych od teoretycznie wyznaczonych właściwości trakcyjnych pojazdu. W takim przypadku, w celu poprawy zdolności przewozowej, konieczne będzie podjęcie równocześnie innych działań organizacyjno-technicznych. Parametrami decydującymi o właściwościach trakcyjnych lokomotywy są:

- moc,
- zakres prędkości dla mocy ciągłej,
- masa,
- siła pociągowa.

O wymaganej mocy pojazdu trakcyjnego do realizacji określonego zadania przewozowego decydują następujące kryteria:

- zdolność pokonania maksymalnie niekorzystnego profilu linii (wzniesienia) z prędkością nie mniejszą niż połowa prędkości rozkładowej;

- osiągnięcie założonej maksymalnej prędkości dla profilu linii $i = 3‰$ z nadwyżką siły przyspieszającej 10 N/t w ruchu towarowym;

- osiągnięcie założonego przyspieszenia rozruchu – to kryterium istotniejsze jest dla pociągów pasażerskich i w przypadku pracy przewozowej na linii LHS kryterium to można pominąć.

Pożądane (teoretyczne) parametry trakcyjne lokomotywy wynikające ze specyficznych warunków linii LHS i zadań przewozowych powinny być określone dla następujących założeń wyjściowych:

- masa składu wagonów dostosowana do masy pociągów strony ukraińskiej – 4000, 4500 i 4800 t;
- średnia prędkość techniczna powyżej $0,5V_{rozkł. maks.}$, tj. 40 km/h;
- parametry linii (szczególnie profil) i organizację ruchu omówiono wcześniej.

Pierwszym kryterium, decydującym o wymaganej mocy zespołu pociągowego lokomotyw dla składu wagonów o masie 4000–4800 t, jest warunek uzyskania niezbędnej siły pociągowej (powyżej oporów ruchu) i założonej prędkości jazdy 40 km/h. Opory ruchu składu wagonów towarowych jednorodnych o masie 4800 t dla maksymalnie niekorzystnego profilu linii $i = 12,6‰$ wynoszą 750 kN, dla składu 4500 t – 700 kN, a dla składu 4000 t – 620 kN [5].

Wymagana moc na obwodzie kół napędowych, określona jest zależnością:

$$P = F V$$

gdzie:

P – moc zespołu pociągowego [kW];

F – siła pociągowa [kN];

V – wymagana prędkość [m/s].

Dla wymienionych danych P wynosi odpowiednio 8300 kW; 7700 kW i 6900 kW. Dla tak dużych wartości wymaganej mocy niezbędne jest zastosowanie zespołu lokomotyw dostosowanych do sterowania wielokrotnego. W obecnych warunkach przewozowych wprowadzenie zespołu lokomotyw o obliczonych mocach

jest nie uzasadnione ekonomicznie – koszt uzyskania zakładanej rozkładowej prędkości nie zostanie wyrównany wpływami za usługi transportowe.

Siła pociągowa wymagana drugim kryterium (powyżej oporów ruchu) dla wcześniej przyjętej masy wagonów oraz prędkości maksymalnej 80 km/h, profilu linii $i = 3\%$ i nadwyżce siły przyspieszającej 10 N/t dla składu wagonów o masie 4800 t wynosi 340 kN, dla składu 4500 t – 320 kN, a dla składu 4000 t – 280 kN [5]. Wymagana moc P lokomotywy lub zespołu lokomotyw dla wyznaczonych wartości sił pociągowych będzie równa 7550 kW, 7110 kW i 6220 kW. Również spełnienie tego kryterium wymaga dużych wartości mocy zespołu pociągowego. Przyjmując obecnie stosowaną na większej części linii dopuszczalną wartość rozkładowej prędkości jazdy – 60 km/h, wymaga ona moc P zespołu pociągowego wyniesie odpowiednio 5230 kW, 5000 kW i 4880 kW.

Pozostałe właściwości trakcyjne, to jest maksymalna siła pociągowa, masa przypadająca na osie napędowe, zakres prędkości jazdy dla mocy ciągłej, uzależnione są w pewnym stopniu od rodzaju zastosowanych silników trakcyjnych. I tak na przykład przy nowoczesnym asynchronicznym układzie napędowym występuje przesunięcie w górę granicznej krzywej przyczepności charakterystyki trakcyjnej dzięki układom optymalizacji poślizgu kół. W efekcie statyczny współczynnik przyczepności f_o dla nowoczesnego asynchronicznego układu napędowego wynosi 0,35–0,48, natomiast przy zastosowaniu silników prądu stałego możemy uzyskać $f_o = 0,2–0,33$. Ze względu na koszty utrzymania toru oraz właściwości konstrukcyjne posiadanych lokomotyw, na etapie rozważań dotyczących modernizacji lokomotyw ST44 przyjęto, że masa przewidzianych do ruchu po linii LHS lokomotywy zapewni nacisk zestawu kół na szynę na poziomie nie przekraczającym 200 kN. Dla tej wartości przyjętego dopuszczalnego nacisku dla dwunastu napędowych zestawów kołowych maksymalna możliwa do osiągnięcia siła pociągowa, przy zastosowaniu silników prądu stałego, wyniesie 792 kN, w przypadku napędu asynchronicznego – 1150 kN. Wagony ukraińskie wyposażone są w sprzęgi automatycznego SA 3, dla których dopuszczalna statyczna siła wynosi 1000 kN, dopuszczalne siły dynamiczne są 3-krotnie większe. O zakresie prędkości dla mocy ciągłej w przypadku lokomotyw spalinowych decydują parametry cieplne maszyn elektrycznych (prądnicy głównej i silników trakcyjnych), a dokładnie czas pracy powyżej wartości ciągłej prądu co praktycznie występuje podczas rozruchu i ściśle związane jest z rozwijaną siłą pociągową. Byłoby pożądane aby w przypadku prowadzenia ciężkich pociągów towa-

rowych zakres prędkości przy pracy z mocą ciągłą rozpoczynał się od jak najmniejszej wartości. W tabelicy 1 przedstawiono zestawienie pożądanych parametrów trakcyjnych dla analizowanych kryteriów – osiągnięcia przez ciężki pociąg towarowy założonej prędkości rozkładowej na profilu linii $+3\%$ przy uwzględnieniu zapasu siły przyspieszającej 10 N/t.

Praktycznie bardzo często podczas prowadzenia składu wagonów z rudą żelaza, ze względu na wymagany procent masy hamującej, występuje konieczność ograniczenia prędkości rozkładowej do około 65 km/h na odcinkach o rozkładowej prędkości jazdy 80 km/h.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że do zapewnienia istotnych z punktu widzenia potrzeb przewozowych parametrów trakcyjnych konieczne jest zastosowanie zespołu nowoczesnych lokomotyw, dostosowanych do sterowania wielokrotnego w liczbie 3 szt. BoBo lub 2 szt. CoCo. Pożądana w warunkach LHS moc zespołu pociągowego, przy obecnie eksploatowanych lokomotywach, nie jest osiągalna (obecnie praktycznie wykorzystuje się $2 \times$ ST44 + popych SM48, w sumie moc silników spalinowych wynosi 2823 kW). Zastosowanie zespołu pociągowego lokomotyw o bezwzględnie wymaganej sile rozruchowej ale mniejszej mocy spowoduje, że osiągnięcie prędkości rozkładowej możliwe będzie tylko na profilu zbliżonym do zerowego lub na spadku.

Minimalny program unowocześnienia eksploatowanych lokomotyw musi zakładać pozyskanie pojazdów o takiej wartości mocy, aby dla rozpatrywanej masy składów wagonów i najbardziej niekorzystnego profilu linii możliwe było osiągnięcie przynajmniej dolnego zakresu prędkości jazdy z mocą ciągłą, a tym samym wyeliminowanie obecnie stosowanego popychu.

Główne cele unowocześnienia parku lokomotyw

Głównym celem unowocześnienia parku lokomotyw jest uzyskanie pojazdu o parametrach trakcyjnych dostosowanych do omówionych obecnych i przewidywanych zadań przewozowych, przy jednoczesnym dążeniu do osiągnięcia następujących celów dodatkowych:

- zmniejszenie kosztów utrzymania;
- zmniejszenie kosztów użytkowania (eksploatacji);
- zmniejszenie niekorzystnego oddziaływania na środowisko;
- zwiększenie komfortu i bezpieczeństwa obsługi;
- ograniczenie skutków oddziaływania lokomotywy na tor;

Z wymienionych celów unowocześnienia parku lokomotyw wynika konieczność zastosowania nowoczesnego zespołu napędowego (nowoczesny silnik spalinowy i prądnica główna), komputerowego systemu sterowania i diagnostyki, gdyż tylko takie rozwiązanie zapewnić może zmniejszenie kosztów utrzymania i eksploatacji, przy jednoczesnej poprawie parametrów trakcyjnych, oraz poprawienie niezawodności lokomotywy (współczynnika gotowości technicznej).

Podjęciem decyzję dotyczącą sposobu unowocześnienia parku lokomotyw należy jednocześnie mieć na uwadze posiadany tabor, wyposażenie do jego utrzymania oraz umiejętności i kwalifikacje personelu. Różnorodność eksploatowanych lokomotyw stanowi pewne utrudnienie w utrzymaniu z uwagi na zróżnicowanie konstrukcyjne, konieczność stosowania większej liczby specjalistycznego wyposażenia w lokomotywni oraz różnorodność materiałów i części eksploatacyjnych.

Jak już wspomniano park lokomotyw Spółki LHS składa się z lokomotyw wyprodukowanych w latach 1977–1980 na terenie

Tablica 1

Zestawienie pożądanych parametrów trakcyjnych dla lokomotywy spalinowej

Parametr trakcyjny*	Masa składu wagonów					
	4800 t		4500 t		4000 t	
Prędkość rozkładowa [km/h]	80	60	80	60	80	60
Moc na obwodzie kół [kW]	7550	5230	7110	5000	6220	4880
Wymagana siła pociągowa na $i = 12,6\%$ [kN]	>750		>700		>620	
Wymagana masa napędowa lokomotywy dla przekładni:						
AC-DC [t]	326–375		212–350		188–310	
AC-AC [t]	156–215		146–200		129–177	

* W tabelicy nie podano wcześniej wymienionego parametru zakres prędkości dla mocy ciągłej, gdyż jest on zależny od zastosowanych maszyn elektrycznych na danej lokomotywie.

byłego ZSRR – lokomotywy ST44 wyprodukowano w Woroszyłowgradzie a SM48 w Briąnsku. Wszystkie lokomotywy spaliny, szczególnie wymienionych serii, ze względu na zakładane podczas ich projektowania trudne warunki eksploatacji mają bardzo wytrzymałą konstrukcję części mechanicznych – głównie ostoi, wózków i zespołów napędowych, bezpośrednio związanych z zestawami kołowymi. Wymienione części mechaniczne są stosunkowo mało zużyte, co umożliwia dalszą ich eksploatację przez kolejne 20–25 lat. Na lokomotywach obu serii stosowany jest taki sam elektryczny silnik trakcyjny, o dużej trwałości, nie stwarzający problemów utrzymaniowych. Mimo że komutatorowy silnik szeregowy prądu stałego zawieszony systemem tramwajowym za nos jest rozwiązaniem przestarzałym, jego wymiana na silnik asynchroniczny związana byłaby z poważnymi zmianami konstrukcji wózka i zestawów kołowych oraz z koniecznością wyposażenia lokomotywy w przekształtniki półprzewodnikowe (falowniki o regulowanej częstotliwości i regulowanym napięciu). Wymiana taka może być realizowana tylko w uzasadnionych przypadkach, gdyż jest kosztowna i uciążliwa, oraz nie przynosi poprawy sprawności przetwarzania energii przez układ napędowy.

Przy zmieniającym się zapotrzebowaniu na usługi transportowe należy więc dążyć do zwiększenia zdolności przewozowej przy ograniczeniu wielkości nakładów inwestycyjnych.

Przesłanki techniczno-ekonomiczne decyzji modernizacji lokomotyw serii ST44

PKP LHS Spółka z o.o. ciągle dąży do poszerzenia swoich usług transportowych i ukierunkowania ich na potrzeby rynku. Podejmuje się działania w celu sprostania konkurencji innych środków transportu, jak również innych przewoźników kolejowych. Konkurencja wymusza na każdym przewoźniku poprawę odpowiednich parametrów przewozowych i utrzymania kosztów przewozowych w odpowiednich granicach. Jednak na przykład zwiększania prędkości handlowej może wpływać na wzrost nakładów na infrastrukturę kolejową i tabor kolejowy.

Lokomotywa spalinowa należy do złożonych obiektów technicznych, charakteryzujących się stosunkowo długim okresem użytkowania. Poprawa jej parametrów trakcyjnych związana jest ze zwiększeniem nakładów na inwestycje i zmianą kosztów eksploatacyjnych, rozumianych jako suma kosztów użytkowania i utrzymania. Wprowadzenie nowoczesnej lokomotywy do eksploatacji może spowodować w stosunku do lokomotyw obecnie eksploatowanych zmniejszenie kosztów eksploatacji do około 40%. Obecne duże koszty bieżącego utrzymania związane są z dużą częstością przeglądów technicznych i napraw oraz niedostateczną podatnością obsługową i dużą pracochłonnością wynikającą z braku systemów diagnostycznych. Konieczność realizacji omówionych celów unowocześnienia parku lokomotyw jest bezdyskusyjna, chociażby ze względu na niekorzystne oddziaływanie lokomotyw ST44 na środowisko i niebezpieczeństwo płacenia kar za jego zanieczyszczenie. W istniejących uwarunkowaniach eksploatacyjnych na LHS, cele te mogą być zrealizowane poprzez zakup nowoczesnych lokomotyw lub modernizację posiadanego parku lokomotyw.

Ze stosowanych metod oceny przedsięwzięć rozwojowych, do oceny efektywności unowocześnienia parku lokomotyw uzasadnione wydaje się zastosowanie wskaźnika zwanego kosztem cyklu życia lokomotywy (LCC). W tym celu dokonano porównania kosztów cyklu życia parku lokomotyw zmodernizowanych z kosztami

cyklu życia parku lokomotyw nowych o takich samych głównych parametrach użytkowych (tj. taki sam nowoczesny zespół napędowy na lokomotywie zmodernizowanej i nowej).

Całościowe koszt cyklu życia (LCC) lokomotywy nowej i zmodernizowanej analizowano na podstawie trzech podstawowych zbiorów danych, dotyczących kosztów inwestycji, utrzymania i użytkowania (eksploatacji):

$$LCC = K_i + K_u + K_e$$

gdzie:

K_i – koszty inwestycyjne (koszty zakupu lub modernizacji lokomotyw, zakupu pierwszej partii części zamiennych, oprzyrządowania warsztatowego w tym diagnostycznego, dokumentacji technicznej, instrukcji użytkowania i utrzymania, kosztów inwestycji w zaplecze warsztatowe oraz kosztów recyklingu);

K_u – koszty utrzymania (przygotowania lokomotywy do pracy; koszty zapobiegawcze – koszty przeglądów i napraw planowych oraz koszty bieżące – koszty awarii i napraw bieżących);

K_e – koszty użytkowania (koszty paliwa i obsługi bezpośredniej drużyn trakcyjnych, oraz kosztów związanych z dostępem do infrastruktury kolejowej).

Dla osiągnięcia założonych celów modernizacji przyjęto, że zmodernizowana lokomotywa będzie posiadała nowoczesny zespół napędowy tj. silnik spalinowy z prądnicą synchroniczną i prostownikiem (silniki trakcyjne i wózki pozostaną bez zmian), komputerowy system sterowania i diagnostyki oraz obwody pomocnicze z napędem asynchronicznym. Zespoły nie podlegające modernizacji zostaną poddane naprawie głównej, podczas której zostanie przeprowadzona modernizacja kabiny maszynisty w celu poprawy komfortu i bezpieczeństwa obsługi. Pozostawienie silników trakcyjnych prądu stałego nie zmniejszy sprawności przetwarzania energii paliwa w pracę mechaniczną, określoną na obwodzie kół, w stosunku do nowoczesnych lokomotyw spalinowych z asynchronicznymi silnikami trakcyjnymi. Elektryczne silniki trakcyjne prądu stałego lokomotyw ST44 mają dużą trwałość i nie są pracochłonne w utrzymaniu.

Z przeprowadzonego rozeznania wynika, że koszty inwestycyjne K_i modernizacji lokomotywy (z naprawą główną zespołów nie podlegających modernizacji) w zakładanym zakresie, w wyniku której powstałaby lokomotywa o porównywalnych parametrach trakcyjnych do lokomotywy nowej, stanowiłby 40–50% kosztów zakupu lokomotywy nowej. Obecnie naprawa główna lokomotywy ST44 bez modernizacji to koszt około 6–10% kosztów zakupu nowej lokomotywy.

Koszty utrzymania K_u zmodernizowanej lokomotywy z nowoczesnym zespołem napędowym, układem sterowania i diagnostyki oceniono jako porównywalne do kosztów utrzymania nowej lokomotywy. Przyczyną różnicy kosztów mogą być nakłady pracy na utrzymanie elektrycznych silników trakcyjnych. Z dotychczasowego doświadczenia wynika, że nie występują problemy utrzymaniowe z elektrycznymi silnikami trakcyjnymi prądu stałego na tej serii lokomotyw. Ewentualnie większe nakłady finansowe wynikające z większej pracochłonności utrzymania silników trakcyjnych prądu stałego w stosunku do silników asynchronicznych kompensowane byłyby nie ponoszeniem kosztów zakupu wyposażenia do utrzymania napędu asynchronicznego.

O kosztach użytkowania K_e w okresie eksploatacji (zakładano 25 lat) w podstawowym zakresie decyduje ilość zużytego paliwa, która będzie na tym samym poziomie ze względu na podobną sprawność układu napędowego lokomotywy nowej i zmodernizowanej.

Ponieważ koszty utrzymania i użytkowania dla obu sposobów unowocześnienia parku lokomotyw są takie same, to po 25-letnim okresie eksploatacji różnica kosztów cyklu życia lokomotywy – zmodernizowanej i nowej – będzie odpowiadać różnicy nakładów inwestycyjnych, otrzymamy więc:

$$LCC_{lok. zmodernizowanej} = (0,4 \div 0,5) LCC_{lok. nowej}$$

W takim przypadku należy rozpatrzyć sytuację po okresie 25-letniej eksploatacji. Czas eksploatacji zmodernizowanych lokomotyw jest wyznaczony żywotnością części nie zmodernizowanych, modernizacja wybranych zespołów nie przedłuży okresu życia lokomotywy. Lokomotywy zmodernizowane będą musiały ulec kasacji, pozostaje problem odzyskanych z kasacji zespołów, mających 25-letni okres użytkowania. W tym wariancie pozostaje nam również 50–60% nie wykorzystanych nakładów inwestycyjnych K_i na zakup nowych lokomotyw.

Nowe lokomotywy po okresie 25-letniej eksploatacji teoretycznie mogą być jeszcze przez maksimum 15 lat eksploatowane. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że czas użytkowania poszczególnych zespołów w obecnie produkowanych lokomotywach optymalizuje się do jednego założonego okresu i nie występuje w nich zwiększona trwałość głównych podzespołów, co powszechnie występowało w lokomotywach budowanych w drugiej połowie XX w. Przy obecnym postępie rozwoju techniki wydaje się bardzo problematyczne, czy na dzień dzisiejszy dla nowoczesnych silników spalinowych po 25 latach eksploatacji będzie istniało uzasadnienie wykonania ich naprawy głównej. W silnikach obecnie produkowanych najczęściej konieczność wykonania remontu kapitalnego określona jest ilością zużytego paliwa. Przy uwarunkowaniach eksploatacyjnych na LHS, prowadzenia ciężkich pociągów towarowych na bardzo niekorzystnym profilu, w analizowanym okresie 25 lat należy przewidywać znaczne nakłady na odnowę silników spalinowych. Zdaniem autorów po tym okresie użytkowania ponoszenie kolejnych nakładów na odbudowę silnika spalinowego może nie być uzasadnione.

Przeprowadzone analizy techniczno-ekonomiczne wskazują na zastosowanie strategii unowocześnienia parku lokomotyw poprzez etapową modernizację eksploatowanych lokomotyw serii ST44. Kolejne decyzje o modernizacji podejmowane byłyby po analizie uzyskanych efektów z modernizacji dwóch egzemplarzy lokomotyw. W takim przypadku zdobywanie doświadczenia w eksploatacji nowoczesnych lokomotyw spalinowych odbywać będzie się płynnie, bez niebezpieczeństwa zakłócenia pracy przewozowej. Ponadto na wymianę parku lokomotyw poprzez zakup grupy nowoczesnych lokomotyw konieczne jest pozyskanie znacznych nakładów finansowych, co przy zmiennym zapotrzebowaniu na usługi transportowe jest ryzykowne. Nie uzasadniona jest również decyzja odtwarzania pierwotnego stanu technicznego poprzez wykonanie tylko naprawy głównej, w porównaniu z decyzją polegającą na połączeniu naprawy głównej z modernizacją, eliminującą prawie wszystkie niedogodności związane z kosztami eksploatacji oraz kosztami zewnętrznymi (szczególnie związanymi z oddziaływaniem na środowisko).

Wymagania techniczne dla zmodernizowanej lokomotywy ST44 w aspekcie uwarunkowań eksploatacyjnych na LHS

PKP LHS Spółka z o.o., przy współpracy z CNTK, przed podjęciem decyzji o modernizacji lokomotyw, przeprowadziła wiele rozmów z potencjalnymi producentami lokomotyw o możliwości dostawy lokomotywy o wymaganych parametrach trakcyjnych. Zapoznano się ze zmodernizowanymi lokomotywami serii ST44 na Węgrzech i w Niemczech. Prowadzono również rozmowy z potencjalnymi dostawcami kolejowych silników spalinowych. Na podstawie dość szczegółowego rozeznania opracowano Specyfikację Istotnych Warunków Zamówienia (SIWZ) dla przetargu dwustopniowego, zakładając, że ostateczne określenie cech technicznych zamówienia nastąpi przy uwzględnieniu ofert wstępnych. W specyfikacji zawarto wstępne wymagania techniczne z wyszczególnieniem spodziewanych (pożądanych) efektów modernizacji. Na podstawie ofert wstępnych, występujących na linii LHS uwarunkowań technicznych oraz przy założeniu, że w układzie napędowym pozostaną silniki trakcyjne prądu stałego, opracowano wymagania techniczne, jako wynik analizy zagadnień uprzednio przedstawionych. Wymagania starano się formułować w sposób dający wykonawcy swobodę w wyborze rozwiązania konstrukcyjnego. Opracowane wymagania techniczne stanowiły załącznik do kontraktu (umowy) na modernizację lokomotyw serii ST44.

W zaprezentowanych w artykule wymaganiach technicznych pominięto wymagania formalne, wynikające z obowiązujących norm i przepisów, koncentrując się na zagadnieniach unowocześnienia lokomotyw serii ST44. Wymagania techniczne zestawiono w grupy związane ze spodziewanymi efektami dla założonych celów modernizacji.

1. Parametry trakcyjne lokomotywy zmodernizowanej

- Całkowita maksymalna masa lokomotywy w pełni wyposażonej w paliwo, olej, wodę, piasek – $\leq 120 \text{ t} + 0\%$.
- Maksymalny nacisk osi na szynę – $\leq 200 \text{ kN} + 0\%$.
- Największa prędkość eksploatacyjna – bez zmian.
- Największa prędkość konstrukcyjna – 100 km/h.
- Eksploatacyjny zakres temperatur otoczenia – od -30°C do $+40^\circ\text{C}$.
- Największa siła pociągowa przy rozruchu – $> 395 \text{ kN}$.
- Siła pociągowa przy pracy ciągłej – $> 255 \text{ kN}$.
- Moc na obwodzie kół – min. 1800 kW, również przy niekorzystnych współczynnikach jednoczesności pracy i poboru mocy przez układy i napędy pomocnicze.
- Charakterystyka obciążeń – prędkość nie mniej niż 24 km/h (z pociągiem 1900 t na wzniesieniu 12‰), lokomotywa powinna ruszyć z pociągiem 2000 t brutto na wzniesieniu 9,5‰).
- Opory ruchu zmodernizowanej lokomotywy – jednostkowe opory ruchu nie powinny być większe od jednostkowych oporów ruchu lokomotywy przed modernizacją.
- Droga hamowania i masa hamująca – bez zmian.
- Konstrukcja lokomotywy – umożliwiająca pracę w trakcji wielokrotnej w zespole dwóch lub trzech lokomotyw, z wykorzystaniem cyfrowego przekazywania danych między komputerami pokładowymi lokomotyw (z zachowaniem wszystkich funkcji dozowania i diagnozowania sprzęgniętych lokomotyw); przesyłanie sygnałów sterowania wielokrotnego za pomocą łącz fizycznych.
- Urządzenie przeciwpoślizgowe – z sygnalizacją i likwidacją poślizgu.

- Piaskowanie – cztery dysze na wózek.
- Silnik spalinowy – wysokoprężny czterosuwowy, o wtrysku bezpośrednim, chłodzony cieczą, poddany z pomyślnym wynikiem próbom wg Kart UIC 623-1,2,3; silnik powinien mieć udokumentowane zastosowanie na taborze kolejowym.
- Prędkość obrotowa (zalecany przedział obrotów) – 600–1800 1/min.
- Moc silnika spalinowego na cele trakcyjne – min. 2050 kW.

Wyposażenie elektryczne i elektroniczne

- Zakres temperatury bezpośredniego otoczenia wyposażenia elektronicznego –30°C do +70°C, zastosowanie wyposażenia elektronicznego o zakresie temperatury otoczenia (–25°C) dopuszczalne pod warunkiem zastosowania rozwiązań technicznych pozwalających na jej zachowanie przy temperaturach otoczenia (–30°C).
- Prądnicą główną – synchroniczna prądu przemiennego, bezszczotkowa, moc odpowiednio do mocy silnika spalinowego przeznaczonej na cele trakcyjne (praca S1); klasa izolacji min. H; sprawność > 0,95; o możliwie największej wartości prądu maksymalnego w stosunku do prądu ciągłego; o możliwie największej wartości napięcia roboczego w stosunku do napięcia nominalnego.
- Silniki trakcyjne – szeregowo prądu stałego, klasa izolacji H.
- Regulator agregatu prądotwórczego – elektroniczny, mikroprocesorowy, zapewniający ograniczenie prądu zwarcia w obwodzie głównym w czasie nie dłuższym niż 2 s.

2. Wymagania techniczne mające na celu zmniejszenie kosztów utrzymania

Można je uzyskać poprzez zastosowanie silnika spalinowego o dużej niezawodności i mniejszej częstotliwości przeglądów i napraw okresowych; zastosowanie rozwiązań konstrukcyjnych ukierunkowanych na łatwość konserwacji, małą pracochłonność napraw i przeglądów planowych, napraw bieżących, o ograniczonej ilości i kosztach części zamiennych; zastosowanie systemu monitorowania oraz systemu diagnostyki pokładowej i serwisowej zapewniający kontrolę stanu technicznego oraz ograniczenie pracochłonności utrzymania.

Cechy ogólne zespołu napędowego

- Układ podstawowy – silnik spalinowy napędzający prądnicę prądu przemiennego, zasilającą silniki trakcyjne przez prostownik; urządzenia zespołu napędowego powinny być zamontowane w sposób umożliwiający łatwy demontaż i wymianę; układ napędowy powinien być wyposażony w system diagnostyczny z sygnalizacją na pulpicie maszynisty.
- Czas pracy silnika spalinowego do kontroli stanu technicznego układu tłokowo-korbowego – nie mniej niż 20 tys. godz.
- Czas pracy silnika spalinowego do naprawy głównej – nie mniej niż 40 tys. godz.
- Układ chłodzenia silnika – płynem, zamknięty z ciągłą regulacją temperatury, z podgrzewaczem; napęd wentylatora chłodnicy głównej – niezależny, z płynną regulacją wydatku powietrza chłodzącego; należy przewidzieć łatwe oraz niezawodne napełnianie i opróżnianie układu chłodzenia oraz zastosować izolację cieplną i właściwe ułożenie rur, pozwalające na jak najdłuższe wyłączenie silnika w okresie zimowym; konstrukcja złącz napełniających

i spustowych powinna uniemożliwiać zanieczyszczenie środowiska także podczas opróżniania i napełniania układów.

- Zbiornik paliwa – wymagane powiększenia pojemności zbiornika paliwowego minimum o 1000 l; zbiornik paliwa wyposażony dodatkowo w przezroczysty wziernik z podziałką umożliwiającą określenie ilości znajdującego się w zbiorniku paliwa oraz system pomiaru masy paliwa w zbiorniku o określonym uchybie pomiaru, nie gorszym niż 1%.
- Układ zasilania w paliwo – zgodny z wymaganiami norm; układ podgrzewania/chłodzenia paliwa odpowiedni do konstrukcji silnika z właściwym ułożeniem i izolacją cieplną przewodów paliwowych; wyposażony w objętościowy miernik zużycia paliwa mierzący zużycie paliwa przez wszystkie zasilane paliwem zespoły lokomotywy o uchybie pomiaru nie gorszym niż 1%.

Wyposażenie elektryczne i elektroniczne

- Wymagania ogólne – układ przedziałów maszynowych i szaf elektrycznych oraz rozmieszczenie i sposób zabudowy zespołów napędowych i urządzeń elektrycznych powinien zapewnić dogodny dostęp do ich elementów podlegających obsłudze i utrzymaniu oraz możliwość szybkiego demontażu kompletnych zespołów; w obwodach sterujących i niskoprądowych do podłączeń demonstrowanych podzespołów należy stosować złącza wielostykowe.
- Prostownik główny – o parametrach dostosowanych do prądnicy głównej i silników trakcyjnych, odporny na krótkotrwałe zwarcia i przepięcia w obwodzie głównym; sprawność > 0,99.
- Silniki trakcyjne – prądu stałego, szeregowo (konieczne jest wzajemne dopasowanie parametrów silników trakcyjnych do parametrów zasilania nowym agregatem prądotwórczym w sposób zapewniający uzyskanie co najmniej dotychczasowej niezawodności silników oraz konieczne jest wprowadzenie zabezpieczeń ograniczających skutki elektrycznych uszkodzeń w obwodzie głównym silników lub innych elementów obwodu wysokoprądowego); klasa izolacji H; sprawność > 0,91.
- Regulator agregatu prądotwórczego – realizujący następujące funkcje: zabezpieczenie agregatu prądotwórczego przed skutkami błędów obsługi, nieprawidłową pracą zespołów agregatu prądotwórczego oraz jego urządzeń i układów pomocniczych; dozоровanie i diagnozowanie pracy układu napędowego.

Inne parametry i wymagania

- Lokomotywa powinna być wyposażona w nowoczesny system diagnostyki pokładowej realizujący w czasie rzeczywistym monitorowanie, dozоровanie i prezentację parametrów pracy lokomotywy i jej zespołów, powinien zapewniać informację o usterkach i uszkodzeniach maszyn i układów lokomotywy oraz diagnostykę serwisową; funkcje komputera pokładowego powinny objąć również systemy kontrolne przygotowania lokomotywy do pracy, zapewnić testowanie poszczególnych odwodów po załączeniu sterowania z sygnalizacją dźwiękową działania i stwierdzonych nieprawidłowości oraz wyświetlanymi instrukcjami postępowania awaryjnego.
- Lokomotywa powinna być wyposażona w system monitorujący parametry pracy lokomotywy dla analizy jej obciążenia (prędkość jazdy, przebytą drogę, moc na cele trakcyjne, zużycie paliwa i inne); system powinien zapewnić możliwość odtworzenia przebiegu pracy urządzeń za pomocą komputera PC połączony przez bezpieczne złącze; programy diagnostyczne powinny umożliwić

testowanie i sprawdzanie urządzeń oraz określenie przyczyn wystąpienia awarii.

■ Systemy pomiarowe i diagnostyczne lokomotywy i ich wykorzystanie w procesie utrzymania powinny być dostosowane do możliwości stacji diagnostycznej lokomotyw w Zamościu Bortatyczach; oferent może zrealizować ten warunek przez instalację na stacji dodatkowego wyposażenia lub oprogramowania;

Cechy ogólne części mechanicznej

■ Nadwozie – lokomotywa dwukabinowa, wymagana trwałość powłok malarskich minimum 10 lat, kolorystyka pudła lokomotywy zgodnie z przyjętą na LHS; dach odejmowany nad przedziałem maszynowym dla zapewnienia montażu i demontażu wyposażenia; nadwozie (w tym wykładziny wewnątrz i wyposażenie) powinno być wykonane z materiałów odpornych na korozję i procesy starzenia, zastosowane materiały nie mogą oddziaływać w sposób szkodliwy na naturalne środowisko człowieka oraz wykazywać podwyższoną odporność na uszkodzenia mechaniczne; nadwozie powinno być wyposażone w izolację termiczną i akustyczną, ze szczególnym uwzględnieniem kabin maszynisty; nadwozie w części mieszczącej zespoły z płynami roboczymi wyposażone w wannę wychwytyjącą wycieki płynów w tym wskutek awarii, spust lub wypompowywanie płynów z wanny nie może stwarzać możliwości zanieczyszczenia środowiska.

■ Wymagania ogólne – układ przedziałów maszynowych i sposób zabudowy zespołów napędowych powinien zapewniać łatwy dostęp do urządzeń oraz możliwość demontażu kompletnych zespołów;

■ Wózki jezdne, zestawy kołowe – zmiany konstrukcyjne do uzyskania ograniczenia obsługi, ograniczenia zużycia zestawów kołowych oraz szkodliwego oddziaływania na środowisko naturalne w tym poprzez spływające smary i oleje – według propozycji oferenta; uszczelnienie łożysk zawieszenia elektrycznych silników trakcyjnych; uszczelnienie obudów skrzyń przekładni głównych – w szczególności w miejscach styku z osią zestawu kołowego i wału silnika trakcyjnego – ewentualnie inne zmiany według propozycji oferenta.

■ System hamulca – bez zmian, ale dostosowany do systemu diagnostycznego i o dużej podatności obsługowej.

■ Sprężarka powietrza - śrubowa napędzana silnikiem elektrycznym o wydatku powietrza $>3\ 000\ \text{dm}^3/\text{min}$.

Utrzymanie

■ Wymagania wynikające z przewidywanego zakresu obsługi i napraw – możliwość łatwej lokalizacji uszkodzeń zespołów i podzespołów; wykrywalność uszkodzeń i stanu osiągania wartości granicznych określonych parametrów technicznych dzięki stosowaniu diagnostyki.

■ Wymagania wynikające z konieczności zapewnienia technologiczności naprawczej pojazdu szynowego – dostępność do elementów i podzespołów lokomotywy, mała pracochłonność wymiany podzespołów, nie przekraczająca 2–3 rob.godz.; budowa modułowa ułatwiająca demontaż i montaż poszczególnych bloków; unifikacja części dla ograniczenia niezbędnych narzędzi i oprzyrządowania.

■ Przebieg między przeglądami – co najmniej 15 tys. km.

■ Przebieg między przetaczaniem obręczy kół – min. 180 tys. km.

■ Przebieg do naprawy rewizyjnej wózków – $\geq 400\ 000$ km.

■ Przebieg do naprawy rewizyjnej lokomotywy – $\geq 800\ 000$ km.

■ Przebieg do naprawy głównej lokomotywy – $\geq 1\ 600\ 000$ km.

■ Współczynnik gotowości technicznej – $>0,9$.

■ Minimalny okres eksploatacji lokomotywy po jej modernizacji – 25 lat.

■ System diagnostyki w procesie utrzymania – realizacja czynności obsługowych na podstawie danych z systemu diagnostycznego;

3. Wymagania techniczne mające na celu zmniejszenia kosztów użytkowania (eksploatacji)

Można je uzyskać poprzez zastosowanie konstrukcji oraz zespołów i podzespołów o dużej sprawności technicznej; zastosowanie układu sterowania zapewniającego optymalny przebieg zużycia paliwa; zastosowanie ekonomicznego systemu regulacji chłodzenia silnika spalinowego i ogrzewania kabiny maszynisty; zastosowanie rozwiązań zapewniających ograniczenie czasu pracy silnika spalinowego na biegu jałowym; zastosowanie energooszczędnych rozwiązań napędu maszyn pomocniczych; zastosowane rozwiązania powinny skutkować zmniejszeniem zużycia paliwa i materiałów eksploatacyjnych.

Cechy ogólne zespołu napędowego

■ Wymagania ogólne – należy dążyć do uzyskania wysokiej sprawności przetwarzania energii paliwa uwzględniając również sprawność i pobór mocy urządzeń pomocniczych.

■ Sterowanie zespołem napędowym – poprzez komputer pokładowy w czasie rzeczywistym; układ sterowania powinien zapewnić optymalny przebieg zużycia paliwa i pełne wykorzystanie mocy silnika spalinowego w jego całym użytkowym zakresie prędkości obrotowych; układy sterowania pracą zespołu napędowego powinny automatycznie ograniczyć wpływ umiejętności maszynisty na zużycie paliwa; układy te powinny zapewnić również utrzymanie zadanych prędkości jazdy oraz automatyczne sterowanie pracą pozostałych urządzeń lokomotywy z funkcjami dozowania i diagnozowania.

Silnik spalinowy i jego układy pomocnicze

■ Jednostkowe zużycie paliwa maks. $210\ \text{g/kWh}$ przy $2/3$ mocy znamionowej silnika.

■ Zużycie paliwa na biegu jałowym $\leq 10\ \text{kg/h}$.

■ Zużycie oleju smarowego $\leq 0,5\%$ zużycia oleju napędowego.

■ Regulator obrotów i mocy – elektroniczny zapewniający optymalny przebieg charakterystyki eksploatacyjnej z rozbudowanym układem zabezpieczeń.

■ Układ chłodzenia silnika – według p. 2.

■ Układy pomocnicze silnika – odpowiednie do zastosowanego silnika spalinowego; układ utrzymywania minimalnej temperatury silnika i czynników chłodzących w jego układach pomocniczych po zakończeniu pracy lokomotywy z funkcją podgrzewania silnika spalinowego przed uruchomieniem, rozwiązanie konstrukcyjne dostosować do zasilania energią elektryczną 230/400 V na terenie lokomotywowni oraz paliwem przy braku dostępu do energii elektrycznej; konstrukcja urządzenia podgrzewającego i podgrzewanych układów powinna zapewnić minimalizację zużycia energii (elektrycznej i paliwa); wskazane jest aby urządzenia systemu podgrzewania silnika spełniały dodatkowe opcjonalne funkcje jak np. zapewnienie właściwej temperatury w kabinie maszynisty, awaryjne ładowanie baterii akumulatorów.

- Zbiornik paliwa – według p. 2.
- Układ zasilania w paliwo – według p. 2.

Wyposażenie elektryczne i elektroniczne

- Prądnica główna – według p. 1.
- Regulator agregatu prądowłórczego – realizujący następujące funkcje: samoczynne utrzymywanie statycznych i dynamicznych charakterystyk agregatu prądowłórczego; zabezpieczenie agregatu prądowłórczego przed skutkami błędów obsługi, nieprawidłową pracą zespołów agregatu prądowłórczego oraz jego urządzeń i układów pomocniczych; dozоровanie i diagnozowanie pracy układu napędowego; zapewniający optymalne zużycie paliwa.
- Układy i obwody pomocnicze – rozwiązanie konstrukcyjne minimalizujące moc pobieraną przez napędy pomocnicze; silniki napędów pomocniczych asynchroniczne zasilane z pomocniczej prądnicy synchronicznej poprzez prostownik i falownik; system zdalnego sterowania i dozоровania pracy układów podgrzewania silnika spalinowego przed uruchomieniem oraz utrzymywania minimalnej temperatury.

Inne parametry i wymagania

- Lokomotywa powinna być wyposażona w nowoczesny system diagnostyki – według p. 2.
- System hamulca – według p. 2.
- Sprężarka – według p. 2.

4. Wymagania techniczne mające na celu zmniejszenie niekorzystnego oddziaływania na środowisko

Można uzyskać je poprzez ograniczenie hałasu; ograniczenie toksyczności spalin, toksyczności materiałów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych; wyeliminowanie bezpośredniego zagrożenia wynikającego z wycieku płynnych mediów.

Cechy ogólne zespołu napędowego

- Poziom hałasu zewnętrznego poniżej wartości szkodliwego oddziaływania na otoczenie – zgodnie z normami.
- Emisja dopuszczalnych zakłóceń elektromagnetycznych i odporność wyposażenia pojazdu na zewnętrzne pola elektromagnetyczne – urządzenia i układy lokomotywy muszą być odporne na oddziaływanie pól (zakłóceń) elektromagnetycznych występujących w obrębie szlaków kolejowych i nie mogą być ich źródłem w stopniu przekraczającym odpowiednie wymagania norm.
- Regulator agregatu prądowłórczego – zapewniający optymalne zużycie paliwa i minimalną emisję zanieczyszczeń w spalinach.
- Emisja czynników szkodliwych w spalinach – nie może przekraczać dopuszczalnych poziomów wg karty UIC 624.

Cechy ogólne części mechanicznej

- Nadwozie – powinno być wykonane z materiałów odpornych na korozję i procesy starzenia, zastosowane materiały (w tym wykładziny wewnątrz i wyposażenie) nie mogą oddziaływać w sposób szkodliwy na naturalne środowisko człowieka oraz wykazywać podwyższoną odporność na uszkodzenia mechaniczne; nadwozie w części mieszczącej zespoły z płynami roboczymi wyposażone w wannę wychwytyjącą wycieki płynów w tym wskutek awarii, spust lub wypompowywanie płynów z wanny nie może stwarzać możliwości zanieczyszczenia środowiska.
- Wózki jezdne, zestawy kołowe – według p. 2.

5. Wymagania techniczne mające na celu zwiększenie komfortu i bezpieczeństwa obsługi

Można je uzyskać poprzez zastosowanie ergonomicznego stanowiska maszynisty, zastosowanie materiałów i podzespołów spełniających wymagania norm bezpieczeństwa przeciwpożarowego i palności, zastosowanie nowoczesnego komputerowego układu sterowania zapewniającego; utrzymanie prędkości zadanej i wybór (ograniczenie) dopuszczalnej wartości siły pociągowej, funkcje dozоровania i diagnozowania.

Cechy ogólne zespołu napędowego

- Sterowanie wielokrotne – możliwość pracy w systemie pracy wielokrotnej w zespole dwóch lub trzech lokomotyw, z wykorzystaniem cyfrowego przekazywania danych między komputerami pokładowymi lokomotyw (z zachowaniem wszystkich funkcji dozоровania i diagnozowania sprzęgniętych lokomotyw); przesyłanie sygnałów sterowania wielokrotnego za pomocą łącz fizycznych.
- Wyposażenie związane z srk – lokomotywa powinna być wyposażona w urządzenia czuwaka aktywnego (CA) zgodnie z wymaganiami karty UIC641 i w radiotelefon z opcją zdalnego zatrzymania (radio-stop).
- Bezpieczeństwo użytkownika – rozwiązania techniczne zabezpieczające pracowników obsługi przed wypadkiem według norm.

Inne parametry i wymagania

- Lokomotywa powinna być wyposażona w nowoczesny system diagnostyki według p. 2.
- Lokomotywa powinna być wyposażona w system monitorujący parametry pracy lokomotywy według p. 2.

Cechy ogólne części mechanicznej

- Stopnie, poręcze, klamki, okna – ergonomiczne zgodnie z Kartą UIC 651; należy poprawić funkcjonalność okien bocznych.
- Reflektory czołowe, sygnalizacja końca pociągu – lokomotywa powinna być wyposażona w reflektory halogenowe.

Kabina maszynisty

- Wymagania ogólne – powinna spełniać wymogi ergonomii i bezpieczeństwa pracy zgodnie z Kartą UIC651, PN-90/K-11001; kabina oddzielona od pozostałych pomieszczeń i zamykana na klucz o objętości powietrza co najmniej 10 m³; stanowisko maszynisty po prawej stronie pojazdu, oraz dodatkowe miejsce do siedzenia po lewej stronie pojazdu; elementy wyposażenia powinny być pozbawione ostrych krawędzi i w miarę możliwości zaopatrzone w miękkie powierzchnie amortyzujące uderzenie; wyposażenie kabiny powinno spełniać wymogi bezpieczeństwa pożarowego według norm.
- Pulpit maszynisty – pulpit o rozdzielonych płaszczyznach informacyjnej i wykonawczej, wyposażony w manipulatory i tączniki niezbędne do sterowania procesem uruchomienia pociągu i jazdy; na pulpicie należy przewidzieć usytuowanie szybkościomierza, wskaźników ciśnienia powietrza w układzie hamulcowym oraz wskaźniki systemu diagnostyki; urządzenia sterujące na pulpicie maszynisty pod względem spełnianych funkcji, usytuowania, postaci, części manipulacyjnych i kierunków manewrowania nimi powinny być zgodne z Kartą UIC 651; nastawnik jazdy umieszczony z lewej strony pulpitu, nastawnik (dźwignia zaworu)

hamulca samoczynnego i hamulca dodatkowego z prawej; pozostałe wyposażenie jak w innych lokomotywach.

- Fotel maszynisty – powinien spełniać wymagania kart UIC651 oraz inne wymagania ergonomii według PN-90/K 11001; umożliwiający sterowanie lokomotywą w pozycji stojącej; drgania zgodnie z kartą UIC651 i normą PN-90/K 11001; musi zapewniać łatwość szybkiej ewakuacji oraz ochrony przeciwpożarowej.
- Poziom drgań mechanicznych – na podłodze i siedzisku fotela maszynisty nie zagrażający zdrowiu personelu według norm.
- Dopuszczalna gęstość pola magnetycznego – poziom indukcji pola magnetycznego w kabinie na poziomie 2 mT.
- Klimatyzacja – warunki środowiskowe w kabinie maszynisty zgodne z normami.
- Poziom hałasu – nie zagrażający zdrowiu personelu według norm.
- Ergonomia – warunki pracy maszynisty zgodnie z wymaganiami norm oraz dodatkowo umożliwić maszyniście sterowanie ruchem pociągu i hamowaniem w pozycji stojącej.
- Wycieraczki – z napędem elektrycznym i osią ramienia umieszczoną pod dolną krawędzią okna.
- Szyby czołowe, boczne – szyba czołowa wytrzymałość na uderzenie zgodnie z Kartą UIC651 oraz wyposażona w elementy grzejne i spryskiwacz; szyby boczne ze szkła bezpiecznego według karty UIC564-1 oraz rolety (osłony) przeciwśoneczne na szybach czołowych.
- Drzwi, okna, stopnie, poręcze, klamki – zgodnie z Kartą UIC651, UIC560; drzwi wewnętrzne do kabiny maszynisty w tylnej ścianie kabiny maszynisty jednoskrzydłowe, otwierające się w kierunku maszynowni i zapewniające drogę ewakuacji dla maszynisty w przypadku zagrożenia; zastosowanie szczelnej i sprawnie działającej konstrukcji ram otwieranych okien bocznych.
- Natężenie oświetlenia wewnętrznego – regulowane w zakresie 0–150 lx, pozostałe parametry oświetlenia, jak równomierność, rozkład luminancji, barwa światła itp. według norm.
- Inne wyposażenie – wymagana kuchenka dla podgrzewania posiłków i lodówka do ich przechowywania, pojemnik na odpady, popielniczka, szafka odzieżowa, apteczka, gaśnice ręczne.
- Hamulec postojowy – sprężynowy sterowany pneumatycznie; maksymalne wzniesienie przy którym lokomotywa musi być utrzymywany w postoju 45‰.
- Inne wymagania – układ hamulcowy lokomotywy powinien być przystosowany do działania w systemie radio-stop; zaleca się wyposażenie w system przeciwpoślizgowy.

Zabezpieczenie przeciwpożarowe

- Wymagania ogólne – konstrukcja nadwozia, sposób zabudowy oraz zastosowane materiały i podzespoły muszą spełniać wymagania norm bezpieczeństwa przeciwpożarowego i palności oraz mieć świadectwa dopuszczenia do stosowania, według normy.
- Materiały – według normy PN-K-02511:2000; wymagania zabezpieczenia przeciwpożarowego dotyczy również powłok malarskich i instalacji elektrycznej.
- Wyposażenie w specjalny sprzęt przeciwpożarowy – instalacja ppoż. stała w przedziale maszynowym według PN-K-02507:1997; układ ppoż. z możliwością uruchomienia z drugiej lokomotywy w systemie trakcji wielokrotnej.

6. Wymagania techniczne mające na celu ograniczenie skutków oddziaływania na tor

- Maksymalny nacisk zestawu kotowego na szynę – $\leq 200^{+0\%}$ kN.
- Smarowania obrzeży – zastosować układ smarowania obrzeży kół na środki smarne przyjazne dla środowiska naturalnego. □

Literatura

- [1] Tutecki A.: *Ekonomiczno-techniczne aspekty odnowy parku spalinych pojazdów trakcyjnych*. IV Międzynarodowa Konferencja Jakość, Bezpieczeństwo i Ekologia w Pojazdach "QSEV '05", Kraków 20–21 czerwca 2005 r.
- [2] Raczyński J.: *Problemy modernizacji i restrukturyzacji parku taborowego trakcyjnego w Europie i Polsce*. Technika Transportu Szynowego 12/2004.
- [3] Wolfram T.: *Współczesne lokomotywy spaliny*. Technika Transportu Szynowego 7-8/2004.
- [4] Szymański A. i zespół: *Wymagania techniczne dla zmodernizowanej lokomotywy serii ST44 do drugiego stopnia przetargu na podstawie: wymagań Zamawiającego, ofert z pierwszego stopnia i obowiązujących norm*. Sprawozdanie CNTK nr 15.01/03, Warszawa 2003.
- [5] Szymański A. i zespół: *Zestawienie możliwości trakcyjnych lokomotywy EU11 w powiązaniu z masą i profilem linii w ujęciu tabelarycznym*. Opracowanie CNTK nr 4165/21, Warszawa 2001.
- [6] Alfter R.: *Niskie koszty zakupu i minimalizacja kosztów cyklu życia pojazdu*. Technika Transportu Szynowego 12/2000.
- [7] Strauß P.: *Metoda analizy kosztów całkowitych pojazdu w okresie jego użytkowania*. Technika Transportu Szynowego 5/2000.
- [8] Tutecki A.: *Life cycle cost (LCC) – miarą efektywności pojazdów szynowych*. Przegląd Kolejowy 6/99.
- [9] Wolfram T.: *Koszty cyklu życia pojazdu szynowego*. Technika Transportu Szynowego 4/1999.
- [10] Stradomski M., Szymański A.: *Koncepcja uniwersalnej lokomotywy spaliny o optymalnym jednostkowym zużyciu paliwa*. Technika Transportu Szynowego 10/1996.
- [11] Szymański A. i zespół: *Opracowanie i próbné wdrożenie w skali lokomotywni systemu bieżącej rejestracji i indywidualnego rozliczania zużycia paliwa w oparciu o techniczne środki kontroli zainstalowane w pojazdach trakcyjnych*. Opracowanie CNTK nr 4005/21, Warszawa 1995.
- [12] Szymański A. i zespół: *Wytyczne techniczne modernizacji lokomotyw manewrowych serii SM42*. Opracowanie CNTK nr tematu: 4070/21, Warszawa 1994.
- [13] Szymański A. i zespół: *Opracowanie koncepcji modernizacji spalinych lokomotyw manewrowych PKP*. Opracowanie CNTK nr temat nr 2036/21, Warszawa 1993.
- [14] Wolfram T.: *Badanie oporu ruchu pociągów towarowych PKP*. CO-BiRTK – temat nr 3550/17, Warszawa 1982.
- [15] Podoski J., Kacprzak J., Mysłek J.: *Zasady trakcji elektrycznej*. WKŁ Warszawa 1980.
- [16] Strona internetowa: <http://lhs.pl>

Autorzy

mgr inż. Andrzej Bąk – PKP LHS Sp. z o.o.

mgr inż. Alfred Szymański – CNTK Warszawa