

Marek Babeł, Bartosz Szachniewicz

Modernizacja spalinowej lokomotywy manewrowej serii SM31

Produkcja lokomotyw serii SM31 była odpowiedzią na stale rosnące zapotrzebowanie krajowego przewoźnika PKP oraz zakładów przemysłowych na lokomotywy do wykonywania ciężkich prac manewrowo-wywozowych. Lokomotywa ta jest konstrukcją opracowaną w Polsce, produkowaną seryjnie w latach 1976–1985 przez pierwszą Fabrykę Lokomotyw w Polsce „Fablok” w Chrzanowie.

Lokomotywa SM31 jest pojazdem sześciosiowym, który umożliwia wykonywanie ciężkich prac manewrowych na stacjach i górkach rozrządowych oraz prowadzenie ciężkich pociągów towarowych. Pojazd ten wyposażony został w silnik spalinowy serii a8C22W o mocy 880 kW oraz przekładnię elektryczną w wariantcie DC/DC. Ze względu na przeznaczenie lokomotywy zabudowano w niej jedną kabinę maszynisty umieszczoną w środkowej części ostoi. Nadwozie oparte zostało na dwóch wózkach o układzie osi CoCo. Lokomotywy te produkowane były w technologii i rozwiązaniach konstrukcyjnych z początku lat 70. XX w. Analiza wyników i wskaźników dotychczasowej eksploatacji tych lokomotyw [1, 2] przemawia za koniecznością ich modernizacji.

Artykuł stanowi propozycję docelowej modernizacji lokomotyw serii SM31, w trakcie której wykonane prace obejmą przede wszystkim wymianę zespołu napędowego wraz z układami silnika spalinowego oraz urządzeń pomocniczych. Zmianom konstrukcyjnym poddano także kabinę maszynisty oraz przedziały maszynowe.

Zakres modernizacji lokomotyw SM31 zaproponowano w aspekcie spełnienia wymogów następujących czynników:

- zwiększenie niezawodności pojazdu w eksploatacji,
- zwiększenie współczynnika gotowości technicznej lokomotywy,
- wyeliminowanie napraw nieplanowych,
- wydłużenie okresów przeglądowo-naprawczych,
- wykorzystanie pełnej mocy elektrycznych silników trakcyjnych,
- poprawienie oddziaływania lokomotywy na środowisko naturalne,
- polepszenie komfortu pracy obsługi pojazdu w kabinie maszynisty,
- polepszenie widoczności z kabiny maszynisty,
- przeprowadzenie naprawy głównej wózków jezdnych, ostoi oraz silników trakcyjnych zgodnie z *Warunkami Technicznymi Wykonania i Odbioru*,
- zastosowanie, w miarę możliwości, zespołów i urządzeń produkcji krajowej.

Przekładnia elektryczna zmodernizowanych lokomotyw serii SM31 powinna być wykonana w wariantcie prąd przemienny/prąd stały, a napęd wszystkich urządzeń pomocniczych realizowany za pomocą elektrycznych silników asynchronicznych.

Przeprowadzona przez autorów analiza wskaźników eksploatacyjnych lokomotyw SM31 pozwoliła wytypować grupę urządzeń/zespołów, które w znaczący sposób wpływają na niski współczynnik gotowości technicznej lokomotywy SM31 w eksploatacji. Zespoły te w trakcie modernizacji powinny zostać poddane wymianie, gdyż ich eksploatacja przyczynia się do zwiększenia nakładów finansowych na nieplanowe przeglądy i naprawy. Jeżeli dodatkowo uwzględnić fakt braku obecnie na rynku producentów wielu z tych zespołów i komponentów, to modernizacja jest jedyną drogą do pozyskania nowoczesnego pojazdu trakcyjnego.

Ostatecznie do wymiany wytypowano następujące urządzenia/zespoły:

- agregat prądowórczy z silnikiem spalinowym a8C22W,
- agregat sprężarkowy,
- agregat chłodniczy silnika spalinowego wraz z napędem wentylatora,
- silniki elektryczne prądu stałego do napędu urządzeń pomocniczych.

Modernizacja lokomotywy SM31 powinna uwzględniać maksymalne wykorzystanie mocy istniejących silników trakcyjnych LSm-430. Dzięki temu lokomotywa będzie mogła być wykorzystywana zarówno do ciężkich prac manewrowych na stacjach towarowych i górkach rozrządowych, jak i do prowadzenia pociągów zbiorczych o masie 2000 t.

Z analizy bilansu mocy wynika, że na cele trakcyjne lokomotywy SM31 można przeznaczyć około 1000 kW, co odpowiada mocy prądnicy głównej około 1250 kW. Jest to wielkość mocy, która może być realizowana przez aktualne silniki trakcyjne LSm-430. Analiza bilansu mocy na napęd urządzeń pomocniczych lokomotywy po modernizacji wykazała zapotrzebowanie na poziomie 110 kW. Z powyższego wynika, że moc znamionowa silnika spalinowego powinna wynosić około 1400 kW.

Zespół prądnic synchronicznych – prądnica główna i prądnica pomocnicza – powinien być produkowany przez przemysł krajowy na podstawie doświadczeń uzyskanych podczas eksploatacji maszyn elektrycznych na zmodernizowanych lokomotywach spalinowych serii SM42 oraz SM48.

Przy wyborze silnika spalinowego uwzględniono następujące czynniki:

- moc znamionowa 1400 kW,
- obroty znamionowe 1800 obr./min,
- wymiary gabarytowe umożliwiające zabudowę silnika na ostoi z możliwością obniżenia wysokości przedziału maszynowego,
- zastosowanie nowoczesnych rozwiązań w konstrukcji zespołów i podzespołów silnika,
- spełnienie norm emisji spalin według dyrektywy EU,
- cenę i warunki zakupu wraz z kosztami utrzymania w eksploatacji,
- resurs naprawczy,
- doświadczenie producenta w zakresie stosowania tego typu silnika na lokomotywach spalinowych,

- obecność na polskim rynku sieci obsługi serwisowej oraz dostępu do części zamiennych
- przeszkolenie personelu obsługowego użytkownika w zakresie wykonywania przeglądów oraz późniejszych napraw silnika w kraju.

Na podstawie tych kryteriów autorzy dokonali analizy możliwości zastosowania następujących silników spalinowych firmy:

- MTU – seria 4000,
- Caterpillar – seria 3512C.

Brano pod uwagę seryjne produkowane wersje wymienionych silników. W tabelicy 1 przedstawiono podstawowe dane techniczne tych silników.

Tablica 1

Podstawowe dane techniczne silników spalinowych Caterpillar 3512C oraz MTU 12V 4000 R43

Parametr		3512C 12V 4000	R43
Moc nominalna	[kW]	1500	1500
Obroty nominalne	[obr./min]	1800	1800
Liczba cylindrów		12	12
Średnica tłoka/skok tłoka	[mm]	170/215	170/210
Pojemność skokowa silnika	[dm ³]	59	57,2
Jednostkowe zużycie paliwa przy mocy znamionowej	[g/kWh]	210	207
Długość całkowita silnika	[mm]	3031	2655
Szerokość całkowita silnika	[mm]	1726	1565
Wysokość całkowita silnika	[mm]	1960	1970
Masa silnika suchego	[kg]	6863	6600

Należy zaznaczyć, że według danych autorów producenci wymienionych silników spalinowych prowadzą aktualnie prace konstrukcyjne i badawcze w celu dostosowania silników do spełnienia norm emisji spalin według etapu IIIB. Według zapewnień producentów, podstawowe wymiary gabarytowe tych silników nie ulegną zmianom.

W wyniku przeprowadzonej analizy koncepcję modernizacji lokomotyw serii SM31 opracowano z wykorzystaniem silnika spalinowego Caterpillar 3512C.

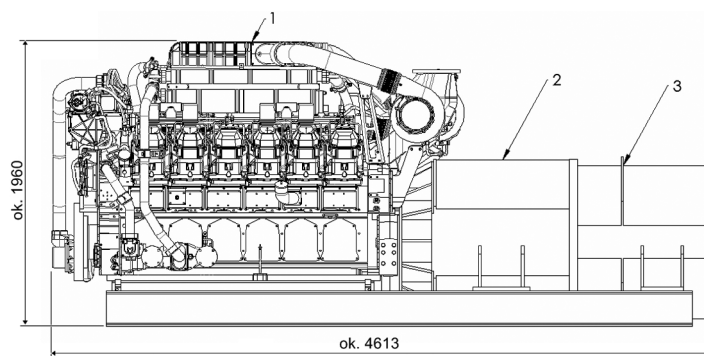
Ze względu na duże podobieństwo konstrukcyjne lokomotyw serii SM31, SM48 i S200 dalszą analizę zakresu modernizacji lokomotyw serii SM31 prowadzono z uwzględnieniem możliwości zbudowania uniwersalnego zespołu napędowego wraz z agregatem chłodniczym do wszystkich wymienionych serii lokomotyw.

Do budowy zespołu napędowego może być wykorzystany zespół prądnic trakcyjnych typu GLp500L4 (prądnica główna) oraz Ghp315M4K (prądnica pomocnicza) produkowany przez przemysł krajowy. Są to maszyny synchroniczne o mocy odpowiednio 1400 kW oraz 100 kW. Zespół prądnic synchronicznych wykonany jest w postaci dwóch odrębnych maszyn elektrycznych – prądnica pomocnicza Ghp315M4K zabudowana jest nad prądnicą główną GLp500L4, napęd prądnicy pomocniczej realizowany jest z wału prądnicy głównej poprzez przekładnię pasową. Konstrukcja wymienionego zespołu prądnic odznacza się stosunkowo dużą wysokością, co ogranicza możliwość obniżenia przedziału maszynowego lokomotywy oraz ilość miejsca pod zabudowę tłumika wylotu spalin o wymaganej pojemności. Jeżeli uwzględnić fakt konieczności spełnienia aktualnych norm emisji spalin przez silnik spalinowy, należy przewidzieć możliwość zabudowy w układzie wylotowym dodatkowych elementów oczyszczania spalin, w tym filtra cząsteczek stałych.

Zespół napędowy do modernizacji lokomotyw serii SM31 może być wykonany także z wykorzystaniem trakcyjnych prądnic synchronicznych GST-F 990x400/8 i GSTA 650x146/8 produkcji rumuńskiej. Prądnica główna ma moc około 1300 kW, a pomocnicza – 90 kW. Omawiany zespół prądnic zabudowano na zmodernizowanej lokomotywie spalinowej serii SM48 [3]. Zespół prądnic synchronicznych – prądnica główna, pomocnicza i wzbudnica wykonane są konstrukcyjnie na jednym wale we wspólnym kadłubie (stojanie), czego efektem jest stosunkowo niewielka wysokość zespołu. Uwzględniając przedstawione powyżej założenia do modernizacji lokomotyw serii SM31, wyniki analizy bilansu mocy oraz możliwość budowy uniwersalnego zespołu napędowego do kilku serii lokomotyw, niniejszy wariant zespołu prądnic należy rozpatrywać jako opcję w przypadku modernizacji pojedynczych lokomotyw.

W wyniku przeprowadzonej analizy autorzy proponują zastosować do modernizacji lokomotyw serii SM31 zespół prądnic synchronicznych wykonanych w postaci dwóch oddzielnych maszyn elektrycznych połączonych kołnierzowo we wspólnej linii ich wałów. Producentem proponowanego zespołu prądnic może być przemysł krajowy, wykorzystując dotychczasowe doświadczenia w produkcji prądnic trakcyjnych do modernizacji lokomotyw serii SM42, SM48 i ST43. Moc znamionowa prądnicy głównej powinna wynosić około 1250 kW, a prądnicy pomocniczej 110 kW (po stronie prądu stałego).

Na rysunku 1 przedstawiono widok proponowanego do zastosowania agregatu prądotwórczego. Wymiary gabarytowe agregatu pozwalają na obniżenie w trakcie modernizacji wysokości przedziałów maszynowych oraz zabudowę układu wylotu spalin o wymaganej wielkości przeciwcisnienia spalin na wylocie z silnika spalinowego. Proponowany do wdrożenia na modernizowanej lokomotywie SM31 agregat prądotwórczy spełni według oceny autorów także wymagania dla zespołu napędowego do modernizacji lokomotyw serii SM48 i S200.



Rys. 1. Widok agregatu prądotwórczego

1 - silnik spalinowy CAT 3512C, 2 - prądnica główna; 3 - prądnica pomocnicza

Przyjęcie założenia o wykorzystaniu pełnej mocy silników trakcyjnych wpłynie na niemal dwukrotne zwiększenie mocy silnika spalinowego. Spowoduje to zwiększenie ilości ciepła odprowadzanego przez silnik spalinowy do układu chłodzenia. W trakcie modernizacji należy zastosować nowy agregat chłodniczy. Na podstawie wstępnych obliczeń bilansu cieplnego silnika spalinowego zaproponowano rozwiązanie agregatu chłodniczego z radiatorami umieszczonymi w ścianach bocznych i dwoma niezależnie działającymi wentylatorami. Każdy wentylator napędzany będzie przez elektryczny silnik asynchroniczny zasilany napię-

ciem 3×400 V AC. Regulacją obrotów wentylatora (wentylatorów) w zależności od temperatury czynnika chłodzącego sterował będzie centralny sterownik lokomotywy.

W układzie pneumatycznym na modernizowanej lokomotywie SM31 zaproponowano do zastosowania agregat sprężarkowy ze sprężarką śrubową. Napęd sprężarki realizowany jest za pomocą silnika asynchronicznego. Aparaty i urządzenia pneumatyczne układu hamulcowego zgrupowane na tablicy pneumatycznej.

Wymianie poddane zostaną również silniki elektryczne napędu wentylatorów silników trakcyjnych. W miejsce dotychczasowych maszyn prądu stałego zastosowano silniki asynchroniczne o parametrach dostosowanych do zapotrzebowania mocy wentylatorów silników trakcyjnych.

Układ sterowania na zmodernizowanej lokomotywie SM31 realizowany będzie za pośrednictwem sterownika mikroprocesorowego, który realizuje następujące funkcje:

- współpracuje z elektronicznym regulatorem silnika spalinowego;
- reguluje wzbudzenie prądnicy głównej – steruje układem rozrządu lokomotywy w zależności od zadanych i aktualnych warunków eksploatacji;
- steruje pracą sprężarki powietrza;
- steruje układem silników trakcyjnych;
- automatycznie kontroluje i steruje likwidacją poślizgu kół;
- realizuje układy zabezpieczające lokomotywy, w tym silnika spalinowego.

Lokomotywa wyposażona zostanie w diagnostykę pokładową i stacjonarną, którą objęte są sterownik, silnik spalinowy z regulatorem oraz obwód główny lokomotywy.

Połączenie silników trakcyjnych na zmodernizowanej lokomotywie SM31 zaleca się wykonać w układzie szeregowo-równoległym według schematu 3×2 . Zaproponowane rozwiązanie poprawi właściwości trakcyjne lokomotywy przy rozruchu bez zmiany maksymalnej prędkości lokomotywy.

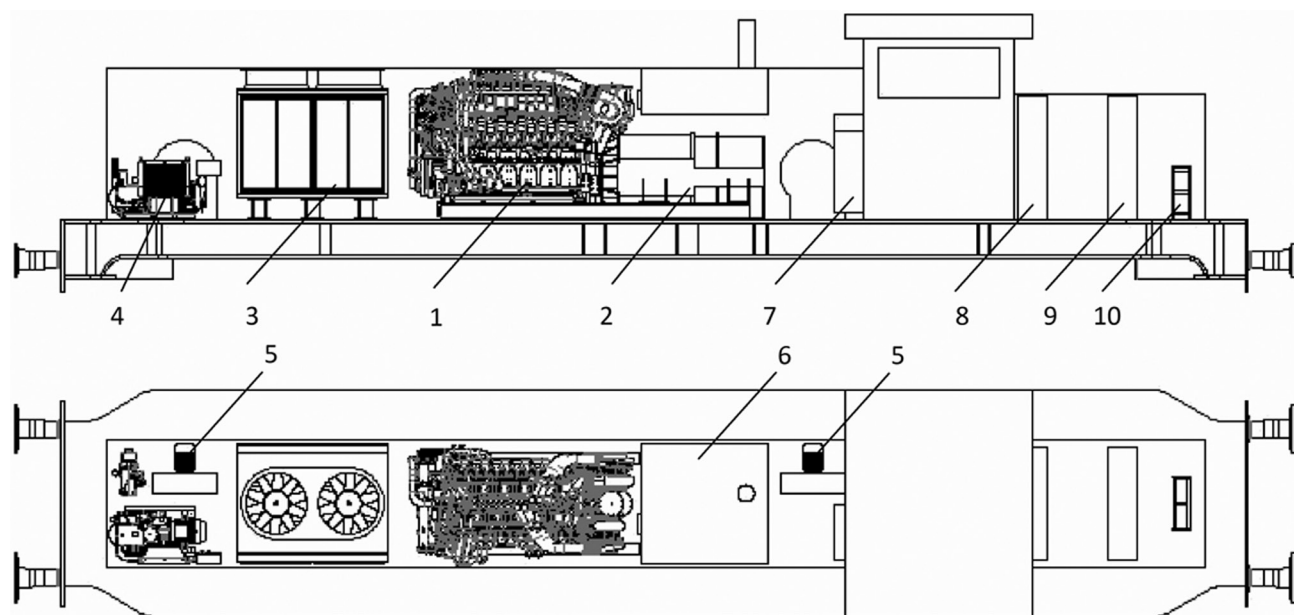
Na rysunku 2 przedstawiono rozmieszczenie urządzeń i zespołów na zmodernizowanej lokomotywie SM31. W przedziale

maszynowym nad wózkiem tylnym zabudowane zostaną szafy elektryczne wysokiego i niskiego napięcia oraz bateria akumulatorów. Przedział maszynowy nad wózkiem przednim podzielono na cztery kabiny, w których zabudowano poszczególne grupy urządzeń i zespołów. Patrząc od czoła lokomotywy, w pierwszej kabynie zlokalizowano sprężarkę powietrza, podgrzewacz płynu chłodzącego oraz wentylator silników trakcyjnych wózka przedniego wraz z silnikiem napędowym. W kolejnej kabynie zabudowano agregat chłodniczy silnika spalinowego oraz zbiornik główny powietrza. W następnej kabynie zabudowano zespół napędowy – agregat prądowórczy wraz z układem wylotu spalin, tablicę pneumatyczną oraz wentylator silników trakcyjnych wózka tylnego. Zastosowanie nowego zespołu prądnic pozwala na zabudowę nad nim układu wylotu spalin o wymaganych parametrach przeciwcisnienia na wylocie spalin. Przeanalizowano także możliwość zabudowy w układzie wylotowym urządzeń oczyszczania spalin w celu spełnienia wymagań normy emisji spalin według Stage IIIB. W nowej kabynie maszynisty zabudowano dwa pulpity maszynisty. Ogrzewanie kabiny – nawiewne, w części dachowej zlokalizowano klimatyzator.

Ogólny widok nadwozia zmodernizowanej lokomotywy serii SM31 przedstawiono na rysunkach 3 i 4, a podstawowe parametry pojazdu w tabelicy 2.

W wyniku przeprowadzonej modernizacji zmianie ulegnie ogólny widok bryły lokomotywy. Wysokość przedniego przedziału maszynowego zostanie obniżona do około 2000 mm nad płaszczyzną ostoi, a tylnego do 1700 mm. Konstrukcja ostoi (kratownica) uniemożliwia zabudowę zespołu napędowego poniżej jej poziomu. Pozwoli to zastosować w kabynie maszynisty szyby czołowe o zwiększonej powierzchni, co niewątpliwie poprawi widoczności ze stanowiska maszynisty oraz doświetlenie kabiny. Podczas jazdy lokomotywą do tyłu, możliwa będzie obserwacja szlaku ponad dachem przedziału maszynowego.

Jednym z efektów przeprowadzonej modernizacji lokomotywy spalinowej SM31 jest zdecydowana poprawa właściwości trakcyjnych pojazdu. Na skutek wykorzystania pełnej mocy silników



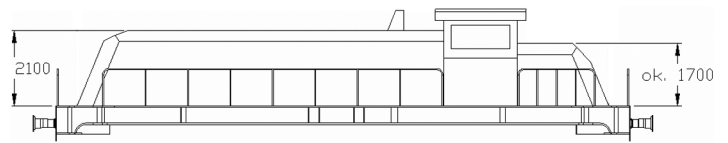
Rys. 2. Rozplanowanie głównych urządzeń na lokomotywie SM31

1 – silnik spalinowy, 2 – zespół prądnic, 3 – agregat chłodniczy, 4 – sprężarka, 5 – wentylator silników trakcyjnych wraz z silnikiem, 6 – tłumik wylotu spalin, 7 – tablica pneumatyczna, 8 – szafa NN, 9 – szafa WN, 10 – bateria akumulatorów

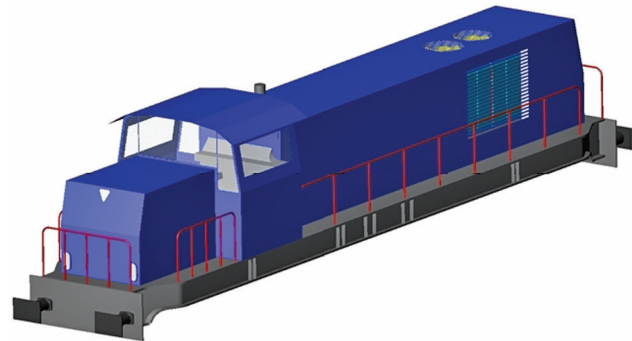
Tablica 2

Podstawowe parametry lokomotywy SM31 po modernizacji

Szerokość toru	[mm]	1435
Układ osi		C' ₀ C' ₀
Skrajnia lokomotywy		wg karty UIC 505
Moc silnika spalinowego	[kW]	1500
Rodzaj przekładni		AC - DC
Napięcie zasilania układów:	urządzeń pomocniczych urządzeń sterujących	3×400 V AC 24 V DC
Nominalny nacisk zestawu na tor	[kN]	195
Masa lokomotywy	[t]	116,4
Prędkość maksymalna	[km/h]	80
Najmniejszy promień łuku	[m]	80
System hamulca		Oerlikon



Rys. 3. Widok bryty lokomotywy SM31 po modernizacji



Rys. 4. Widok izometryczny bryty lokomotywy SM31 po modernizacji

trakcyjnych znacznie zwiększy się siła pociągowa lokomotywy. Następstwem tego jest zwiększenie masy doczepnej zmodernizowanej lokomotywy SM31 dla porównywalnych prędkości ustalonych przed i po modernizacji. Wpłyne to na zwiększenie wydajności pracy lokomotywy przy obsłudze pociągu.

Na rysunku 5 przedstawiono porównanie charakterystyk trakcyjnych lokomotywy SM31 przed i po modernizacji.

Zmodernizowana lokomotywa SM31 będzie mieć cechy pojazdu nowego. Zakładany współczynnik gotowości technicznej lokomotywy powinien być na poziomie 0,96. Proponowane do zabudowy na lokomotywie nowe zespoły i urządzenia sprawdzone są w dotychczasowej eksploatacji na zmodernizowanych lokomotywach SM42 w kraju oraz podobnych lokomotywach za granicą.

W wyniku zastosowania nowego zespołu napędowego i pełnego wykorzystania mocy silników trakcyjnych polepszą się właściwości trakcyjne lokomotywy. Zauważalne będzie zwiększenie siły pociągowej na obwodzie kół napędnych w całym zakresie prędkości jazdy. Przyczyni się to w eksploatacji do zwiększenia mas doczepnych dla porównywalnych, ustalonych prędkości jazdy.

Zmiana konstrukcji kabiny maszynisty i przedziałów maszynowych przyczyni się do zwiększenia widoczności ze stanowiska maszynisty oraz doświetlenia kabiny.

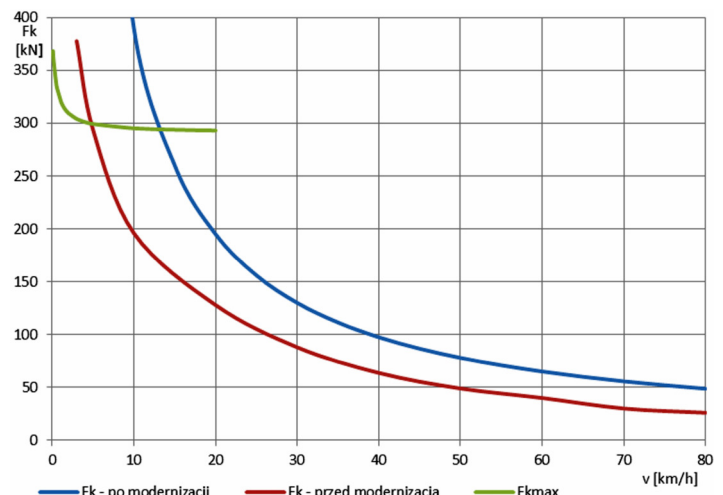
Znacznej poprawie ulegną warunki pracy drużyny trakcyjnej dzięki zastosowaniu nowoczesnych i ergonomicznych pulpitów maszynisty, foteli, klimatyzacji i okien bocznych. Praktycznie całkowicie wyeliminowany zostanie problem drgań w kabinie maszynisty.

Proponowana konstrukcja zmodernizowanej lokomotywy SM31 wraz z jej nowymi zespołami i układami to pojazd trakcyjny, który będzie mógł być z powodzeniem eksploatowany przez następne 20 lat.



Literatura

- [1] Babel M.: *Warunki pracy, charakterystyka eksploatacyjna a niezawodność doładowanych trakcyjnych silników spalinowych*. Trakcja i wagony 9/1990. WKŁ, Warszawa 1990.



Rys. 5. Porównanie charakterystyk trakcyjnych lokomotywy SM31 przed i po modernizacji

- [2] Dudziński W., Marciniak J., Wolfram T.: *Wyniki badań niezawodności silnika spalinowego a8C22W. Metoda badań i wytyczne poprawy trwałości silników spalinowych a8C22W lokomotyw SM31*. COBiRTK, Warszawa 1987.

- [3] Marciniak Z.: *Dotychczasowe projekty modernizacji lokomotyw spalinowych w Polsce*. Technika Transportu Szynowego 9/2005, SITK, Łódź 2005.

dr inż. Marek Babel
Instytut Pojazdów Szynowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska
mgr inż. Bartosz Szachniewicz
Instytut Pojazdów Szynowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska