

Tadeusz Wolfram

# Elektryczne lokomotywy pociągowe – stan rozwoju

**Od czasu wprowadzenia do eksploatacji pierwszej lokomotywy elektrycznej trzeciej generacji – kolei DB serii 120 upłynęło już blisko 25 lat. W tym okresie miał miejsce niezwykle intensywny rozwój energoelektroniki oraz systemów informatycznych, oddziałujący w istotnym stopniu na koncepcje układu napędowego lokomotyw elektrycznych. Można uważać, że dzięki temu powstała już czwarta i piąta generacja tych lokomotyw.**

Stosunkowo niewielkie zmiany natomiast miały miejsce w zakresie wyposażenia mechanicznego, zwłaszcza w odniesieniu do części biegowej, w której dla znacznej liczby lokomotyw główne elementy pozostały w zasadzie bez zmian. Nieliczne wyjątki pod tym względem stanowią części biegowe lokomotyw SBB serii 450, 460, 465, lokomotywy szwajcarskich kolei BT i SZU, oraz ÖBB serii 1822, z układem radialnego ustawiania zestawów kół podczas jazdy w łukach.

Istotnym dążeniem w konstrukcji współczesnych lokomotyw jest umożliwienie ich kursowania po wszystkich liniach normalnotorowych kolei europejskich bez względu na system zasilania trakcji elektrycznej, stąd pojawienie się wielu nowych lokomotyw wielosystemowych – również czterosystemowych. Innym wymaganiem z tym związanym jest dostosowanie do rozmaitych rodzajów systemów zabezpieczenia ruchu (srk) oraz uwzględnienie sposobów osygnalizowania czoła pojazdu [41].

Konieczność zmniejszenia ceny lokomotywy i kosztów eksploatacji skłoniła koleje europejskie do wykorzystywania niemal wyłącznie lokomotyw czterosiowych, czemu sprzyjają cechy nowoczesnego napędu [30]. Wspomnę, że lokomotywy sześciosiowe eksploatowane są jedynie w szczególnych warunkach – tunel pod kanałem la Manche, trasa nad cieśniną Øresund, linia Lulea – Narvik. Z wymienionych powodów dąży się również do modułowego układu lokomotywy [35], tak aby główne jej moduły mogły znajdować zastosowanie w lokomotywach o różnorodnym przeznaczeniu jak też w członach napędnych pociągów zespołowych. Bardzo wysokie wymagania stawiane są niezawodności lokomotyw i parametrom utrzymania.

W przedstawionym artykule poruszone zostaną zagadnienia w nawiązaniu do lokomotyw wprowadzanych do eksploatacji po 1995 r. Okres wcześniejszy ujętem w artykule zamieszczonym w *tts* 8-9/1995 [44].

## Uniwersalność a specjalizacja lokomotyw elektrycznych

Układ napędu z silnikami trakcyjnymi bezkomutatorowymi stworzył możliwość budowy lokomotyw o szerokim zakresie uniwersalności. Powstały lokomotywy nadające się do prowadzenia zarówno ciężkich pociągów towarowych z prędkością 80 km/h, jak i pasażerskich pociągów szybkich o prędkości 200 km/h. Pewnym miernikiem uniwersalności jest stosunek prędkości ciągłej

do największej, który w takich lokomotywach zawiera się w granicach 0,35 – 0,45. Powodem dość szerokiego ich wprowadzenia do eksploatacji (tabl. 1) było zmniejszenie kosztów zakupu i eksploatacji, co przedstawiono na rysunku 1 (W. Harprecht: Visionen über zukünftige elektrische Triebfahrzeuge, GA 11/12 1990). Niemniej jednak uniwersalność ma pewne granice określone zależnością

$$\frac{K_u i_u}{K_x i_x} = \varphi$$

$\varphi > 1$  – lokomotywa specjalna,

$\varphi < 1$  – lokomotywa uniwersalna,

gdzie:

$K_u$  – koszt cyklu życia lokomotywy uniwersalnej,

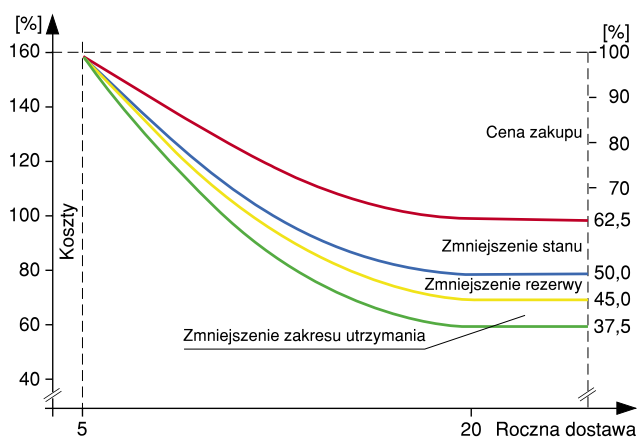
$K_x$  – koszt cyklu życia lokomotywy specjalnej,

$i_u$  – liczba lokomotyw uniwersalnych,

$i_x$  – liczba lokomotyw specjalnych,

przy czym:  $\sum i_x > i_u$ ,  $K_x < K_u$ .

Wybór koncepcji wykorzystywania lokomotyw specjalnych a nie uniwersalnych może mieć miejsce wskutek znacznej różnicy wymagań trakcyjnych wyrażonych w potrzebnej mocy lokomotywy, bądź prędkości największej lub obu tych parametrów. Należy przy tym nadmienić, że z wielkością mocy związana jest w sposób istotny cena lokomotyw. Znaczący wpływ na cenę ma również prędkość konstrukcyjna lokomotywy, głównie z tego względu, że dla prędkości w zakresie 140 km/h wykorzystywać można stosunkowo tańszy napęd silnikami trakcyjnymi zawieszonymi w sposób tramwajowy, rezygnując z silników trakcyjnych w pełni usprężynowanych, zawieszonych w ramie wózka. Przykładem przyjęcia takiej koncepcji mogą być koleje SNCF [8,33] (wprowadzenie do eksploatacji lokomotyw towarowych o mocy 4200 kW i prędkości 140 km/h, obok lokomotyw uniwersalnych o mocy 6000 kW i prędkości 220 km/h), jak też koleje DB [29]



Rys. 1. Zmniejszenie kosztów wskutek zastosowania lokomotyw uniwersalnych. Źr. GA 11-12/1990

Tablica 1

## Uniwersalne lokomotywy elektryczne dużej mocy

Kolej	Seria	Liczba sztuk
BLS	465	18
CD	—	20 (przetarg)
CFL	3000	20 (wersja SNCB 13)
CP	LE 5600	30 (wersja S252 – 25 kV)
DB	120 101	62 145
FS	E 402 I, II E 412 (EU 11)	122 20 (42)
NSB	EL18	22 (wersja SBB 460)
ÖBB	1016/1116	400
OSŽE	H560	30
RENFE	S 252	15 normalnotorowe 60 szerokotorowe
RTC	EU 43	8
SBB	460	119
SNCB	13	60
SNCF	26000 36000	233 60
VR	Sr2	46 (wersja SBB 460 – 25kV)

(eksploatujące obok lokomotyw uniwersalnych o mocy 5600 i 6400 kW o prędkości 200-220 km/h, lokomotywy towarowe o mocy 4200 oraz 6400 kW i prędkości 140 km/h).

Niektóre zarządy kolejowe, o stosunkowo mniej zróżnicowanych potrzebach trakcyjnych i mniejszych przewozach wykorzystują lokomotywy uniwersalne w znacznym zakresie np. koleje ÖBB lokomotywę o mocy 6400 kW i prędkości 230 km/h wprowadzając do eksploatacji jako podstawową lokomotywę pociągową. Liczby przedstawione w tabeli 1 wykazują, że wszystkie ważniejsze koleje europejskie eksploatują lokomotywy uniwersalne obok lokomotyw specjalnych, lub jako podstawowy środek trakcyjny stwarzający zawsze warunki dla zmniejszenia kosztów zakupu i eksploatacji.

Nadmienić należy, że napęd silnikami bezkomutatorowymi stwarza możliwość budowy lokomotywy uniwersalnej dla rozmaitej prędkości największej. Przykładem tego jest wersja lokomotywy towarowej DB serii 145 przewidziana do prowadzenia pociągów regionalnych z prędkościami 160 km/h (oznaczona



Fot. 1 Lokomotywa kolei DB serii 120

## Uniwersalne lokomotywy elektryczne

Producent	Bombardier				Ansaldo	Alstom		Siemens	
Seria	101	E412	EU43	EU11	E402 B	36000	13	1116	H560
Zasilanie [kV, Hz]	15, 16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	15, 16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> 3= 1,5=	15, 16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> 3= 3=	3=	25, 50 3=	25, 50 3= 1,5=	25, 50 3=	15, 16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> 25, 50	25, 50
Układ osi	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo
Moc ciągła [kW]	6400	5500 6000 2700	5500 6000	6000	5600	6000	5000	6400	5000
Maks. siła rozruchu [kN]	300	300	300	280	280	320	288	300	300
Siła poc. przy V <sub>max</sub> [kN]	110 100 30	110 110	110	110	98	100	95		90
Masa własna [t]	83	87	87	82	87	90	90	86	80
Prędkość maks. [km/h]	220	200	220	220	220	220	200	230	200
Moc ham. elektr. r/op [kW]	6400/-		5500/- 6000/2500	6000/- 3000	3350/-	3000/ 3000	5000/ 3000	6400/-	5000/-
Długość ze zderz. [m]	18,95	19,40	19,40	19,40	18,90	19,11	19,11	19,28	19,58
Rozstaw czopów skrzętu [m]	10,8	11,4	11,4	11,4	10,40	10,40	10,40	9,90	9,90
Rozstaw osi wózka [m]	2,65	2,65	2,65	2,65	2,85	3,00	3,00	3,00	3,00
Średnica kół [mm]	1250	1100	1100	1100	1250	1150	1160	1150	1250
Kolej eksploatująca	DB	FS	RTC	FS	FS	SNCF	SNCF CFL	ÖBB	OSŽE
Uwagi								wersja jednosyst s. 1016	

Tablica 2

symbolem 146), ze zmienionym jedynie sposobem zawieszenia silnika trakcyjnego oraz przeniesienia napędu między silnikiem a zestawem kół [3].

W tabeli 2 zestawiono główne cechy techniczne lokomotyw uniwersalnych [1, 2, 4, 15, 27, 28, 31, 34], a w tabeli 3 – specjalnych [6, 8, 9, 14, 21, 32, 40, 42, 43].

### Cechy konstrukcji Charakterystyka trakcyjna

Podstawową charakterystykę trakcyjną lokomotywy określa linia mocy ciągłej i linia siły pociągowej ograniczonej przyczepnością. Ta ostatnia przedstawiana jest jako linia prosta. W nielicznych przypadkach uwzględnia się linię siły pociągowej wynikającej z mocy chwilowej. Największą siłą rozruchu przy prędkości 0 km/h w lokomotywach niemieckich określono na 300 kN, przy układzie Bo-Bo i masie napędnej w granicach 86–88 t, co stanowi ok. 35% jej ciężaru przyczepnego. Koleje DB przeprowadziły badania porównawcze na lokomotywach 120001 ( $F_r = 290$  kN) i 120005 ( $F_r = 340$  kN), których celem była ocena skutku zwiększenia wspomnianej siły rozruchu. Wyniki wykazały, że możliwości trakcyjne lokomotywy nie uległy poprawie ponieważ częste zadziaływanie urządzenia przeciwpoślizgowego powodowało, że średnia siła pociągowa w okresie rozruchu była zbliżona do uzyskiwanej przy mniejszej sile rozruchu. W lokomotywach francuskich natomiast przyjmuje się dla podobnych lokomotyw nieco większą siłę rozruchu, bo 320 kN. Sprzyja temu okoliczność, że masa napędna lokomotyw francuskich wynosi 90 t. Największa siła rozruchu lokomotywy sześciosiowej – DSB serii EG 3100 – wynosi 400 kN, a lokomotywy dwuczłonowej, o dwunastu osiach dla linii Narwik – Lulea –  $2 \times 600$  kN ( $2 \times 700$  kN w sposób chwilowy).

Jak wspomniano prędkość ciągła lokomotyw o napędzie z silnikami bezkomutatorowymi wynosi 0,35–0,45 prędkości największej

Fot. Siemens

Tablica 3

## Specjalne lokomotywy elektryczne

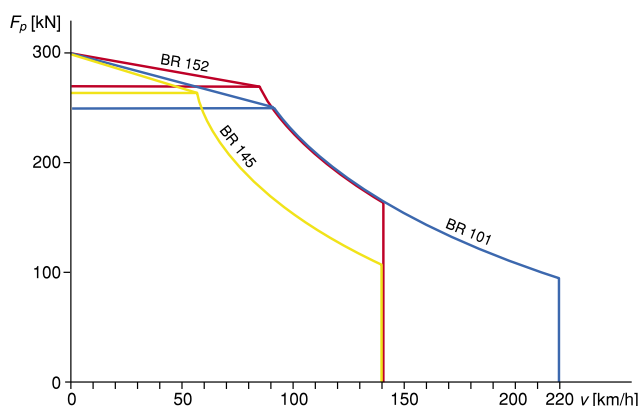
Producent	Siemens KM				Bombardier	Alstom	Ansaldo	
Seria	152	189	EG 3100	185	482	427000	E 464	
Zasilanie [kV, Hz]	15, 16 <sup>2/3</sup> <sub>3</sub> 3=	25, 50 15, 16 <sup>2/3</sup> <sub>3</sub> 1,5=	25, 50 15, 16 <sup>2/3</sup> <sub>3</sub>	25, 50 15, 16 <sup>2/3</sup> <sub>3</sub>	15, 16 <sup>2/3</sup> <sub>3</sub>	15, 16 <sup>2/3</sup> <sub>3</sub>	25, 50 1,5=	3=
Układ osi	Bo-Bo	Bo-Bo	Co-Co	Bo-Bo	Bo-Bo	2(Co-Co)	Bo-Bo	Bo-Bo
Moc ciągła [kW]	6400	6400 6000 4200	6500	4200	5600	2×5400	4200	3000
Maksymalna siła rozruchu [kN]	300	300	400	300	300	2×600 (2×700)	320	200
Siła przy $V_{max}$ [kN]	163	163 163 155 110	145	110	90	2×240	110	68
Masa własna [t]	87,6	88	132	80	84	2×180 (2×150)	90	72
Prędkość maks. [km/h]	140	140	140	140	140	80	140	160
Moc hamowania r/op [kW]	6400/-	5800 5800 5800/2600 4200/2200	6500/-	4200/-	5600/-	2×5400/-	2600/ 2600	3000/2100
Długość ze zderz. [m]	19,58	19,58	20,95	18,90	18,90	2×22,905	19,52	15,60
Rozstaw czopów skrętu [m]	9,90	9,90	10,20	10,40	10,40	12,89		10,19
Rozstaw osi wózka [m]	3,00	2,90	2,00+2,25	2,60	2,60	2'1,92	2,60	2,65
Średnica kół [mm]	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1150	1100
Koleje eksploatująca	DB	DB	DSB	DB	SBB	LKAB	SNCF	FS
Uwagi				wersja jednosyst. s. 145			różne wersje zasilania	jednokab.

szej, jedynie w przypadku lokomotyw towarowych o największej mocy stanowi 0,65 prędkości największej. Na rysunku 2 przedstawiono przykład charakterystyki trakcyjnej lokomotyw DB [29], a na rysunku 3 – lokomotyw SNCF [25, 34].

Masa omawianych lokomotyw Bo-Bo, o mocy ponad 5000 kW, zawiera się w granicach 80–90 t, najmniejsza wartość dotyczy lokomotyw OΣE, największa lokomotyw SNCF. Wyjątki stanowią: lokomotywa FS ruchu regionalnego o masie 75 t, lokomotywa towarowa: DSB serii EG 3100 o masie 132 t i lokomotywa do obsługi linii Narwik – Lulea o masie 2×180 t (bez balastu 2×150 t). Wskaźnik mocy jednostkowej dla lokomotyw Bo-Bo wynosi 74 kW/t dla największych mocy i ok. 50 kW/t dla mocy mniejszej od 5000 kW. Największe prędkości konstrukcyjne w przypadku obsługi ruchu pasażerskiego wynoszą 220 km/h, a dla lokomotywy ÖBB serii 1011/1016 prędkość ta wynosi 230 km/h. Koleje DB prowadzą badania zmierzające do zwiększenia prędkości jazdy pociągów pasażerskich do 220 km/h. Prędkość jazdy lokomotyw towarowych wynosi 140 km/h, a jedynie lokomotyw wspomnianej linii specjalnej – 80 km/h.

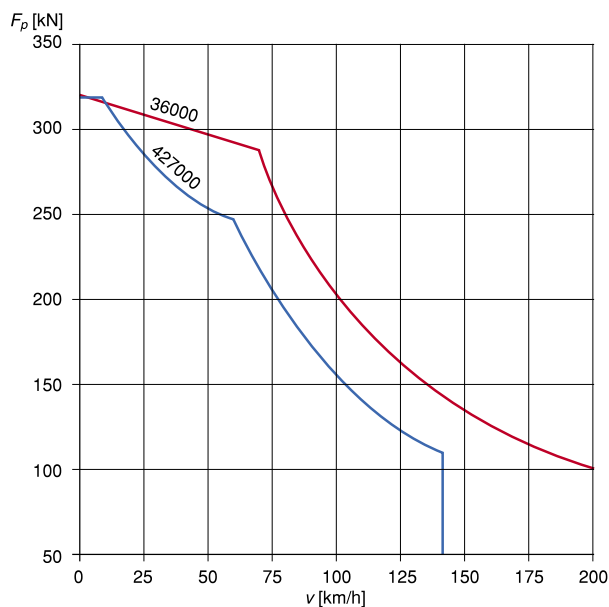
### Napęd

Wszystkie lokomotywy, których konstrukcja powstała pod koniec lat 90. zostały wyposażone w przekształtniki i falowniki, w których budowie zastosowano moduły z tyrystorami GTO. Rozwój tych tyrystorów osiągnął granice dalszych możliwości, wyrażonych parametrami – 4000 A i 6500 V. W ostatnim okresie pojawiły się lokomotywy, o układach z modułami w których wykorzystano tranzystory mocy IGBT [16, 17]. Są to lokomotywy towarowe SNCF serii 427000 (i pochodne), oraz DB serii 189. Wspomniane elementy wykazują istotne zalety w stosunku do tyrystorów GTO, bowiem powodują zmniejszenie masy modułów o 20%, ich objętości o 30% – w stosunku do dotychczas stosowanych elementów, pracują przy mniejszych o 50% stratach własnych i większej częstotliwości.



Rys. 2. Charakterystyki trakcyjne lokomotyw DB serii 101, 145, 152

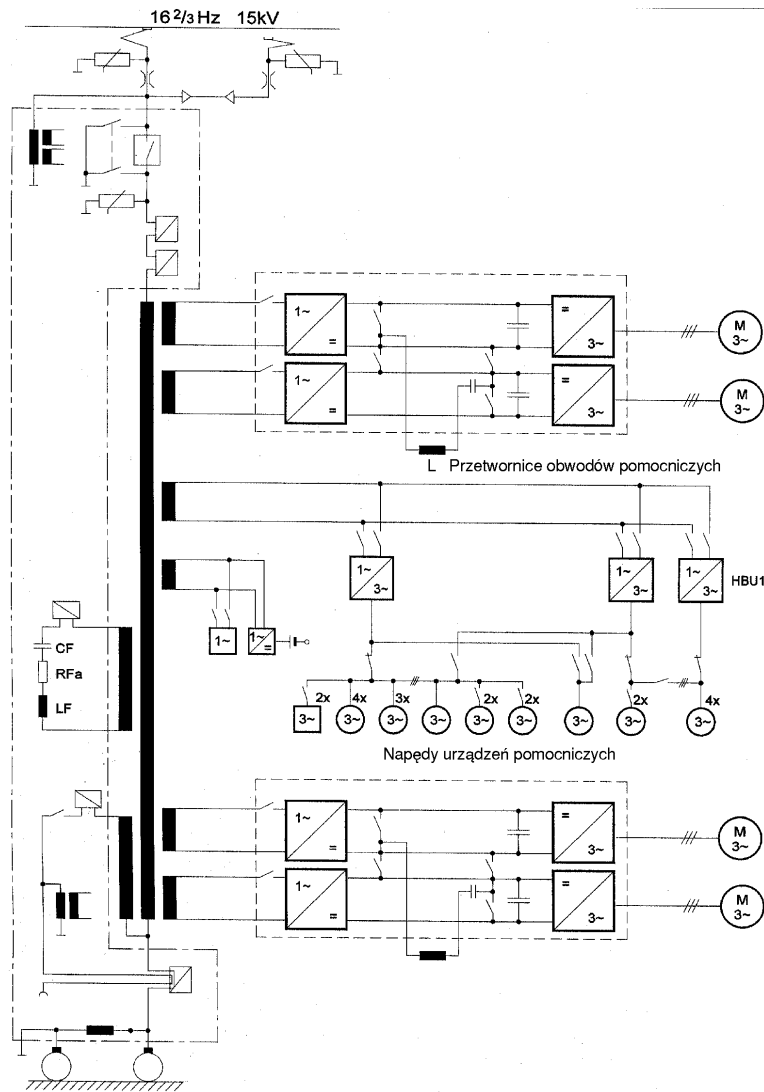
Źr. ETR 6/1996



Rys. 3. Charakterystyki trakcyjne lokomotyw SNCF serii 427000 i 36000

Źr. Rev. Gen. 4/2002, EB 8/1997.

Dostępne już są tranzystory IGBT o parametrach 2400 A i 3300 V. Opracowywana jest ich wersja o parametrach 3500 A i 6000 V. Przekształtniki zestawiane są z zintegrowanych modułów mocy (IPM). Każdy moduł składa się z elementu IGBT, diody, sieci sterowania, złączy elektrycznych, chłodzenia wodnego.



Rys. 4. Obwód główny lokomotywy DB serii 101

Źr. EB 8-9/1996



Fot. 2. Sześćoosiowa lokomotywa kolei duńskich serii 3100

Fot. Siemens

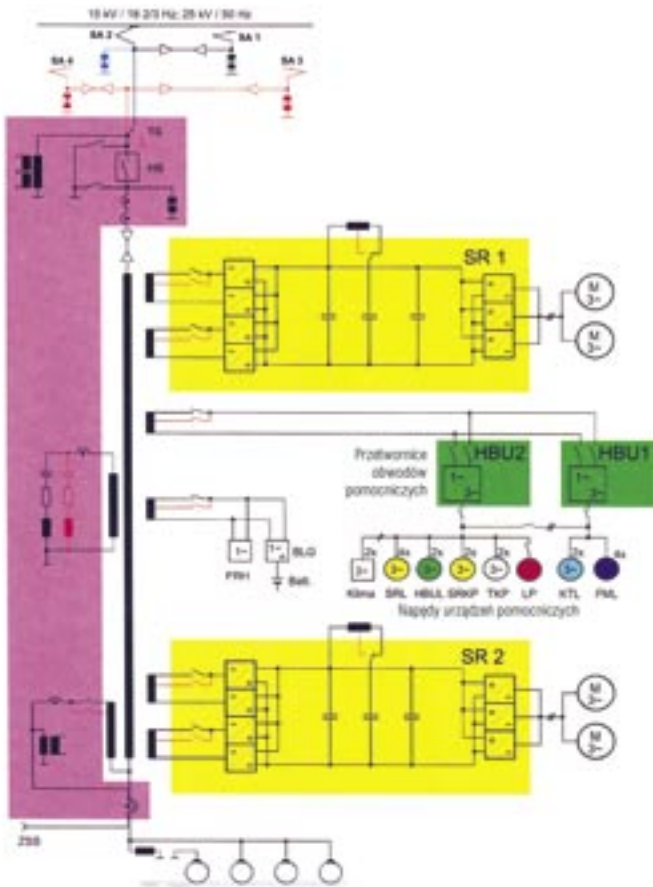
Obwody główne współczesnych lokomotyw elektrycznych tworzone są w przypadku lokomotyw prądu przemiennego według schematu: sterownik czterokwadrantowy – obwód pośredni – falownik – silnik trakcyjny. Natomiast dla lokomotyw prądu stałego wg schematu: przekształtnik prąd stały – prąd stały – obwód pośredni – silnik trakcyjny. Od pewnego czasu pojawiło się dążenie do bezpośredniego zasilania falowników lokomotyw prądu stałego,

co pozwala na uniknięcie jednego stopnia przekształcania energii. Tego rodzaju zasilania nie udało się zrealizować dla lokomotyw prądu przemiennego, mimo prób podjętych przed wieloma laty przez firmę AEG. W przypadku zasilania wielosystemowego zasilanie prądem stałym odbywa się w sposób pośredni (SNCF serii 36000) lub bezpośredni (FS serii E 412, RTC serii EU 43, DB serii 189).

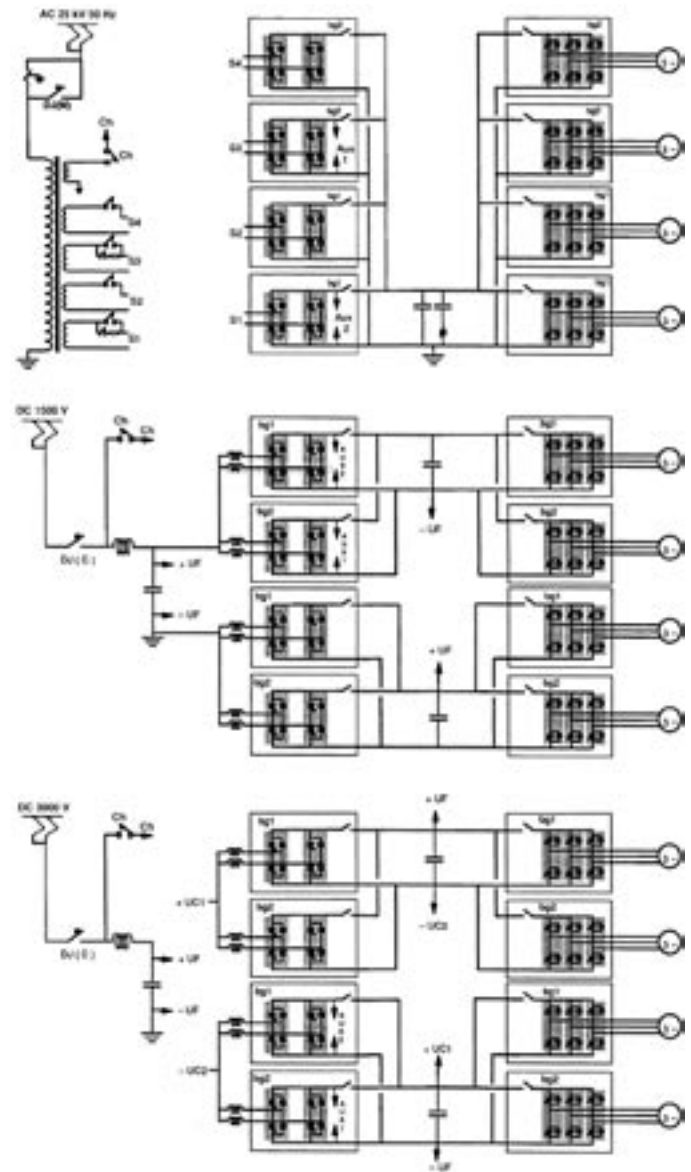
Silniki trakcyjne zasilane i sterowane są indywidualnie lub grupowo. Zasilanie i sterowanie indywidualne umożliwia utrzymanie optymalnego poślizgu kół, a co za tym idzie – największej przyczepności. Pod tym względem zasilanie grupowe stwarza mniej korzystne warunki, co jednak nie sposób potwierdzić eksperymentalnie. Wykazuje jednak zaletę polegającą na zmniejszeniu liczby przekształtników głównych.

Schemat obwodu głównego jednosystemowej lokomotywy DB serii 101 przedstawiono na rysunku 4 [39]. Moduły tej lokomotywy zbudowano na tranzystorach GTO, natomiast przekształtniki zasilania obwodów pomocniczych – na elementach IGBT. Na rysunku 5 przedstawiono schemat obwodu głównego dwusystemowej lokomotywy DB serii 185 [6]. Zasilanie silników trakcyjnych odbywa się w tym przypadku równolegle. Na rysunku 6 przedstawiono schemat obwodu głównego lokomotywy DB serii 189. Wszystkie jej przekształtniki są zbudowane na elementach IGBT. Zasilanie prądem stałym 3 kV i 1,5 kV odbywa się w sposób bezpośredni. Wspomnę, że przy tym zasilaniu wtórne uzwojenie transformatora wykorzystywane jest jako uzwojenie dławika filtra wejściowego. Moc ciągła lokomotywy zależna jest od rodzaju prądu zasilania w sposób następujący: 25 i 15 kV – 6400 kW, 3 kV – 6000 kW, 1,5 kV – 4200 kW.

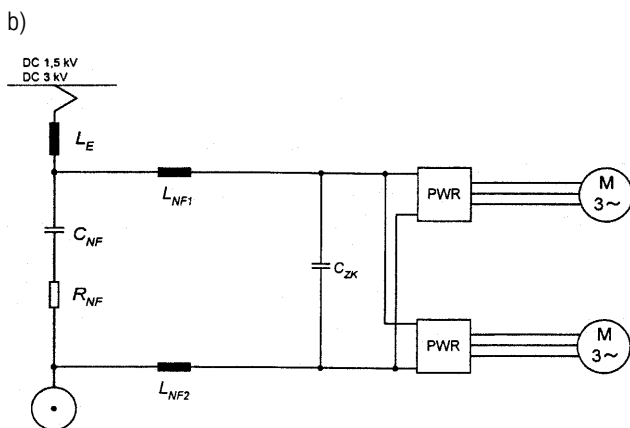
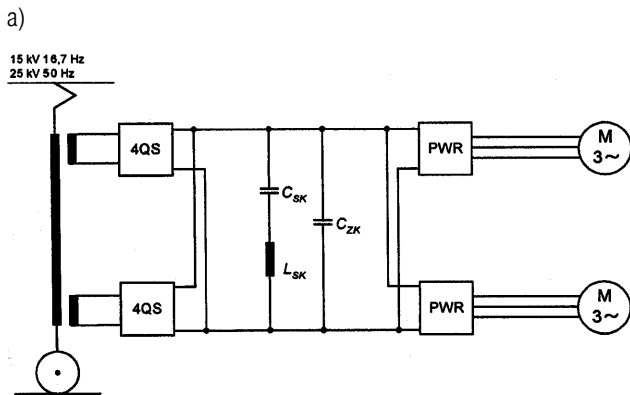
Na rysunku 7 przedstawiono schemat obwodu głównego lokomotywy SNCF serii 36000 [34]. We wszystkich przypadkach zasilania wykorzystywany jest sterownik czterokwadrantowy, bądź przekształtnik prąd stały – prąd stały, tworzony przez odpowiednią konfigurację modułów sterownika. W przypadku zasilania prądem 3 kV – przekształtnik obniża napięcie obwodu pośredniego, a przy zasilaniu prądem 1,5 kV podwyższa je. Układ taki zapewnia uzyskanie 6000 kW mocy znamionowej lokomotywy przy każdym rodzaju prądu zasilania. W lokomotywie SNCF serii 427000 (rys. 8) zastosowano układ zapewniający zasilanie silników trakcyjnych poprzez sterownik czterokwadrantowy, obwód pośredni i falownik – w przypadku zasilania lokomotywy prądem przemiennym o napięciu 25 kV, natomiast dla prądu stałego 1,5 kV ma miejsce bezpośrednie zasilanie falownika [25]. W przypadku lokomotywy 437500 zasilanej również prądem 3 kV – zasilanie falownika w tym systemie odbywa się poprzez układ modułów sterownika tworzących przekształtnik prąd stały – prąd stały. Na rysunku 9 przedstawiono schemat obwodu głównego lokomotywy FS serii E 412 [19]. W tej lokomotywie zasilanie falowników przy prądzie przemiennym dokonuje się w sposób konwencjonalny, a przy prądzie stałym 3 kV – bezpośrednio poprzez dwa falowniki połączone szeregowo – sprzężone z jednym lub kilkoma silnikami trakcyjnymi. Taki sposób zasilania zabezpiecza tyrystory od przepięć. Ze względu na potrzebę wyrównania napięcia na kondensatorach obwodu wejściowego, przyjęto jednak układ, w którym każdy z dwóch fa-



Rys. 5. Obwód główny lokomotywy DB serii 185 Źr. ETR 10/1999



Rys. 7. Obwód główny lokomotywy SNCF serii 36000 Źr. EB 8/1997  
 a) zasilanie 25 kV 50 Hz, b) zasilanie 1,5 kV, c) zasilanie 3 kV

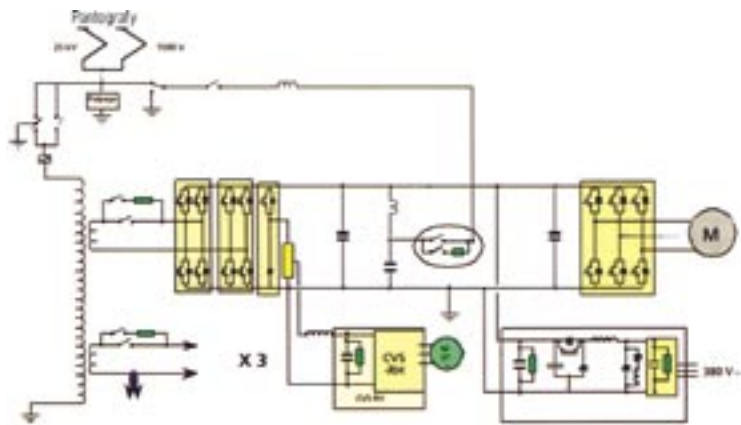


Rys. 6. Obwód główny lokomotywy DB serii 189 Źr. Siemens  
 a) zasilanie napięciem 25 kV 50 Hz, b) zasilanie napięciem 3 kV

lowników zasila jedno z dwóch uzwojeń silnika w gwiazdę. Podobną zasadę zastosowano w lokomotywie RTC serii EU43 oraz FS serii EU11, w tej ostatniej – przy równoległym połączeniu silników trakcyjnych każdego wózka. W przypadku, gdy lokomotywa jest zasilana prądem przemiennym dwa uzwojenia silnika zostają przełączone w jedną gwiazdę. Moc znamionowa lokomotywy E412 jest zależna od systemu zasilania i wynosi: dla prądu 15 kV – 5500 kW, dla prądu 3 kV – 6000 kW oraz prądu 1,5 kV – 2700 kW.

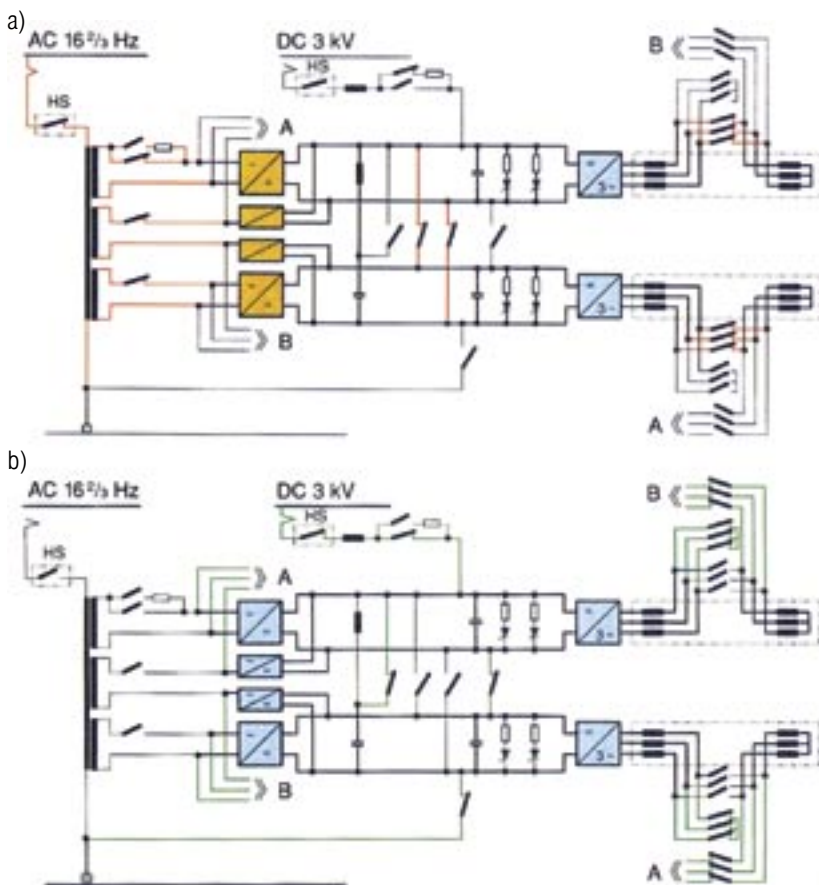
Schemat obwodu głównego jednej z nielicznych lokomotyw sześćoosiowych – DSB serii EG 3100 zamieszczono na rysunku 10 [32].

Istotnym zespołem związanym z funkcjonowaniem przekształtników jest zespół chłodzenia. Czynnikiem chłodzącym bywa olej mineralny zastępowany od pewnego czasu przez ester o korzystniejszych cechach pod względem wymiany ciepła i wymagań ekologicznych. W ostatnim okresie najczęściej stosuje się wodę zdejonizowaną z dodatkami przeciw korozji i zamarzaniu. Dejonizacja dokonywana jest w specjalnym urządzeniu. Koleje



Rys. 8. Obwód główny lokomotywy SNCF serii 427000

Źr. Rev. Gen. 4/2002



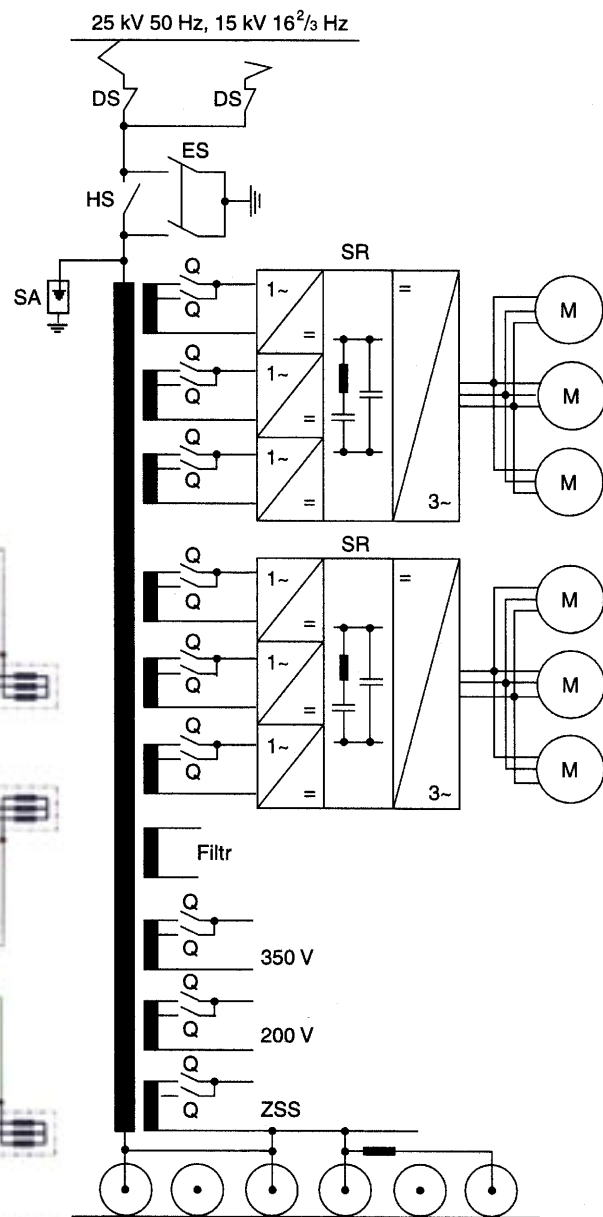
Rys. 9. Obwód główny lokomotywy FS serii E 412

Źr. GA 9-10/1995

a) zasilanie 15 kV 16<sup>2</sup>/<sub>3</sub> Hz, b) zasilanie 3 kV

SNCF używają wodę, której odpowiedni poziom własności dielektrycznych zapewnia zastosowanie aetyloglicolu. Schemat układu chłodzenia wodnego przekształtników lokomotywy SNCF serii 427000 pokazano na rysunku 11 [25].

Transformatory nowoczesnych lokomotyw chłodzone są estrami, ze względu na wspomniane ich korzystne cechy. Pewne zalety związane z ujednoczeniem mediów chłodzenia transformatora i przekształtników powodują, że te ostatnie również chłodzone bywają estrami jak w lokomotywach DB serii 101, 145 czy RTC serii EU 43.



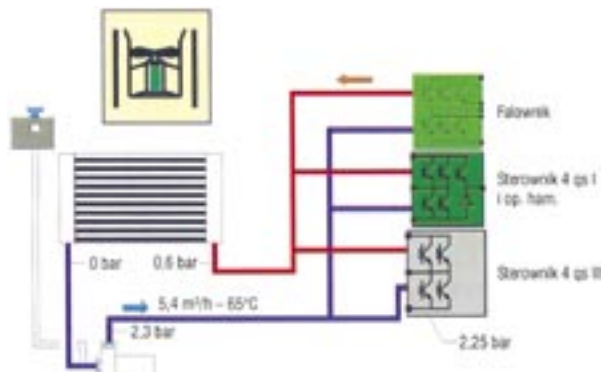
Rys. 10. Obwód główny lokomotywy DSB serii EG 3100

Źr. EB 11-12/2000

Przetwornice zasilania obwodów pomocniczych we wszystkich nowoczesnych lokomotywach zbudowane są na elementach IGBT, chłodzonych cieczą lub powietrzem

Współczesne lokomotywy zarówno uniwersalne jak i specjalne wyposażane są w asynchroniczne silniki trakcyjne.

Istotne zmiany związane z lokomotywami specjalnymi o prędkości 140 km/h objęły właśnie wspomniane silniki. Mała masa silników asynchronicznych, bo wynosząca 1,5–2 kg/kW umożliwia zastosowanie w lokomotywach o stosunkowo dużej prędkości największej silników trakcyjnych o zawieszaniu tramwajowym. Uprościło to znacznie konstrukcję napędu, jak też zmniejszyło cenę lokomotyw. Wyniki badań wykazały, że taki układ silnika nie powoduje przekroczenia parametrów wymaganych w karcie UIC 518 dotyczących własności biegowych lokomotywy, przynajmniej w zakresie prędkości do 140 km/h (rys. 12) [20]. Na rysun-

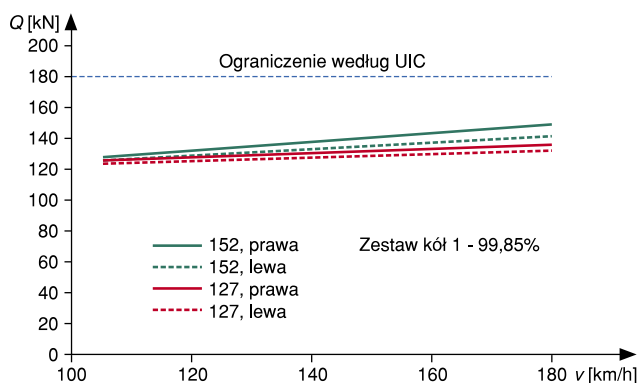


Rys. 11. Schemat chłodzenia wodnego przekształtnika lokomotywy SNCF serii 427000  
 Źr. Rev. Gen. 4/2002



Fot. 3. Lokomotywa PRIMA kolei Fret SNCF serii 427000

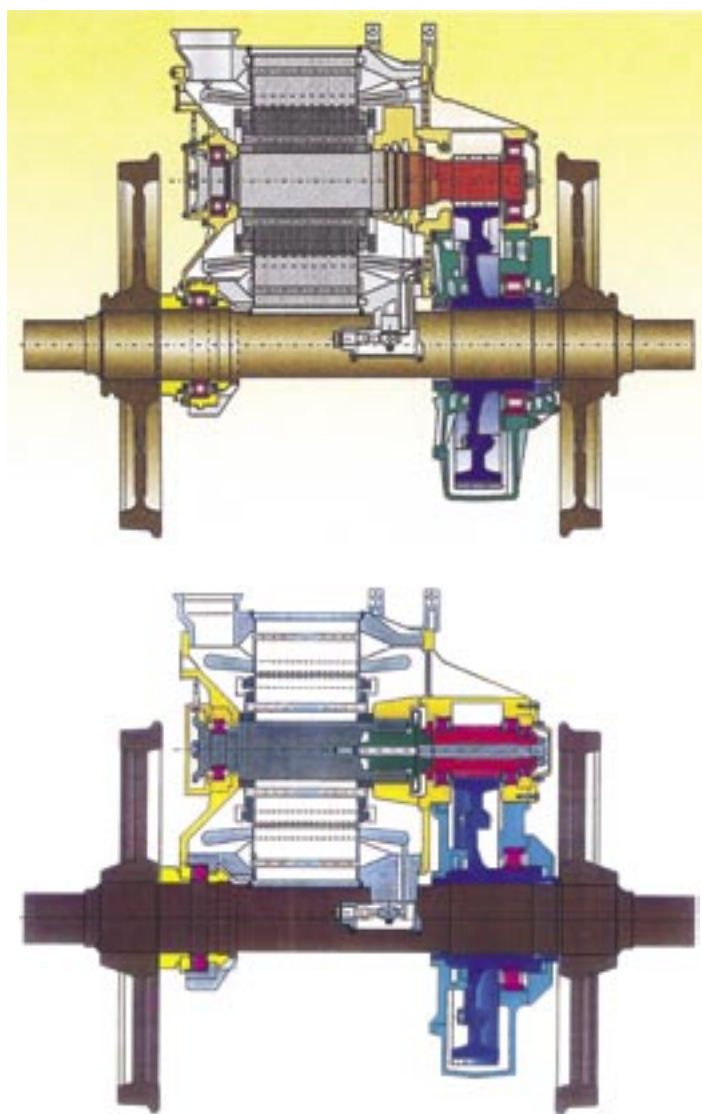
Fot. Alstom



Rys. 12. Porównanie nacisku koła lokomotywy DB serii 152 (silnik z zawieszaniem tramwajowym) i DB serii 127 (silnik usprężynowany)  
 Źr. GA 2-3/2000

ku 13 przedstawiono dwie wersje tego rodzaju silników produkowanych przez przemysł niemiecki. W obu tych wersjach skrzynia przekładniowa stanowi integralną całość z silnikiem, jest jednym z dwóch elementów jego zawieszenia na osi zestawu kół. W pierwszym wykonaniu – lokomotywa DB serii 152 – małe koło zębate osadzone jest na wydłużonym wale silnika, którego łożyskowanie stwarza lepsze warunki pracy zębów niż w przypadku osadzenia koła na zwisającej części wału [21]. W drugim wykonaniu lokomotywa DB serii 189 wał małego koła zębatego jest łożyskowany obustronnie, co stwarza bardzo dobre warunki pracy zębów. Wał silnika jest połączony z wałem koła zębatego membranowym sprzęgłem podatnym w płaszczyźnie wału i sztywnym w kierunku obwodowym, co pozwala eliminować skutki błędów współosiowości osadzenia łożysk.

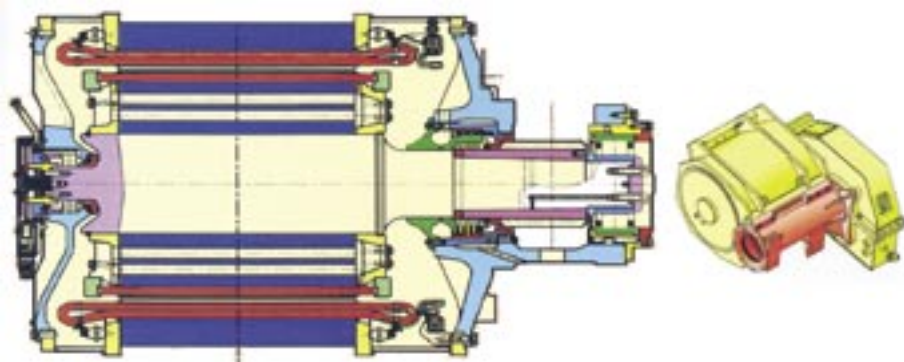
Konstrukcję podobnych silników trakcyjnych zastosowaną w lokomotywach towarowych SNCF przedstawiono na rysunku 14 [25]. W tym przypadku skrzynia przekładniowa stanowi element niezależny od samego silnika, który opiera się na osi zestawu kół poprzez oddzielne wsporniki. Wspomnieć należy, że koleje SNCF odstąpiły w nowych lokomotywach od stosowania napędu jednym silnikiem poszczególnego wózka, jak również od wykorzystywania w lokomotywach silników synchronicznych. Na pierwszą okoliczność wpłynęło uproszczenie przeniesienia napędu między silnikiem trakcyjnym a zestawem kół, oraz uzyskanie mniejszej masy lokomotywy. Np. dla lokomotywy czteroosiowej o mocy 6000 kW, z napędem grupowym wózków, silnikiem synchronicznym jej masa wyniosłaby 89,013 t (w tym część mechaniczna – 48,094 t, część elektryczna – 35,793 t), a w przypadku napędu



Rys. 13. Silniki trakcyjne lokomotyw

a) DB serii 152 (źr. EB 8-9/1996), b) DB serii 189 (źr. Siemens)

indywidualnego silnikami asynchronicznymi – 85,053 t (w tym część mechaniczna – 42,636 t, część elektryczna – 36,858 t). O drugiej okoliczności zdecydowało wprowadzenie tyrystorów GTO, co uprościło obwód główny oraz pozwoliło na znaczne



Rys. 14 Silnik trakcyjny lokomotywy SNCF serii 427000

ograniczenie liczby elementów półprzewodnikowych również w napędzie silnikami asynchronicznymi.

W przypadku silników trakcyjnych zawieszonych w ramie wózka przeniesienie napędu w lokomotywach SNCF odbywa się niemal wyłącznie poprzez wał przegubowy systemu Jacquemin, a w nowych lokomotywach DB – poprzez wał przegubowy systemu BBC.

Urządzenia przeciwpoślizgowe są systematycznie ulepszone. Ich główną zasadą jest utrzymanie poślizgu w granicach największej przyczepności. Pomiar jego wielkości uwarunkowany jest określeniem prędkości pojazdu względem toru. W lokomotywach niemieckich dokonuje się tego poprzez wykorzystanie przyspieszenia w ruchu głównym określanego na podstawie równania ruchu pociągu, a w lokomotywach francuskich poprzez pomiar prędkości obrotowej kół, różnicy tych prędkości między zestawami kół, przyspieszenia kątownego. Najbardziej miarodajne określenie prędkości lokomotywy uzyskuje się przy użyciu radaru, co zastosowano w lokomotywie DB serii 101. Inne rozwiązanie przyjęto w lokomotywach BLS serii 465 oparte o analizę funkcji przebiegu przyczepności w zależności od poślizgu [36].

Sterowanie nowoczesnych lokomotyw elektrycznych opiera się o wykorzystanie komputerów 32-bitowych [12]. Podstawowe systemy to MICAS (Bombardier), SIBAS (Siemens), AGATE (Al-

stom). Schemat układu sterowania SIBAS lokomotywy ÖBB serii 1016/1116 przedstawiono na rysunku 15 [1]. Znaczna liczba informacji przekazywana jest maszyniście poprzez monitory ekranowe. W nowych układach (lokomotywa DB serii 185) pulpity maszynisty wyposażony jest w cztery monitory ekranowe dla: ERTM/ETCS, diagnostyki, łączności radiowej, elektronicznego rozkładu jazdy i rezerwy informacyjnej (rys. 16) [11, 41]. Wprowadza się możliwość zdalnego przekazywania danych związanych z funkcjonowaniem lokomotywy drogą radiową, ostatnio poprzez sieć GSM-

Źr. Rev. Gen. 4/2002

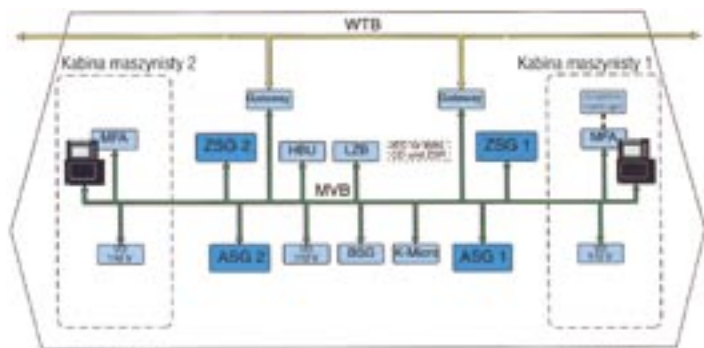
-R. Coraz częściej lokomotywy są wyposażane w system lokalizacji GPS.

Jak wspominałem dąży się do dostosowania lokomotyw do różnych systemów srk, w tym do systemu ERTM i ETCS. Np. lokomotywa DB serii 189 dostosowana jest do współpracy z piętnastoma systemami srk.

W niektórych lokomotywach wprowadzono wielosystemowy układ świateł na czole i tyle lokomotywy. Wybór systemu dokonuje się specjalnym przełącznikiem (rys. 17) [41], jak w przypadku lokomotywy DB serii 189.

W mniej korzystny sposób kształtuje się sprawność lokomotyw z silnikami asynchronicznymi w stosunku do lokomotyw napędzanych silnikami prądu stałego. Spowodowane jest to wielokrotną przemianą energii elektrycznej. Poprawę sytuacji przyniosło wprowadzenie tyrystorów GTO, a następnie elementów IGBT. W tym też celu zastosowano zasilanie bezpośrednie w pojazdach prądu stałego, eliminujące przekształtnik prąd stały – prąd stały. Usiłuje się również poprawić sprawność transformatora w przypadku pojazdów prądu przemiennego. Bilans strat dla lokomotywy SBB serii 460 przy mocy znamionowej (według danych firmy ABB) przedstawia się następująco:

■ urządzenia pomocnicze	1,7%
■ transformator	4,4%
■ sterownik 4 qs	2,0%
■ falownik	0,8%
■ obwód pośredni	0,5%
■ silnik trakcyjny	4,5%
■ przekładnia	1,7%



Rys. 15. Schemat układu sterowania lokomotywy ÖBB serii 1016/1116

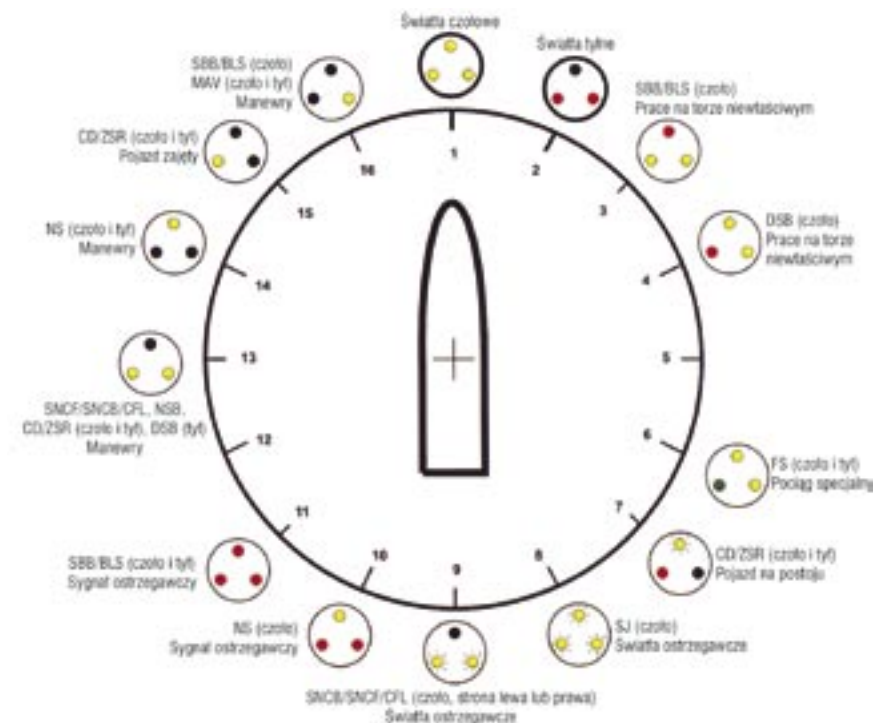
Źr. EB 4/1999

WTB – przewód magistrali pociągu, MVB – magistrala wielofunkcyjna pojazdu, ZSG – centralne urządzenie sterowania, ASG – urządzenie sterowania napędem, MFA – modułowe urządzenie wskaźnikowe stanowiska maszynisty, I/O – złącze peryferyjne SIBAS KLIP, HBU – przetwornica zasilania urządzeń pomocniczych, LZB – przekazywanie sygnałów przewodem liniowym, ATC – automatyczne sterowanie pociągami, BSG – urządzenie sterowania hamulcem, K-MICRO – urządzenie przeciwpoślizgowe sterowane mikroprocesorem



Fot. 12 Pulpit lokomotywy serii 189. Źr. RTR 1/2003





Rys. 17. Przelącznik układu świateł na czole lokomotywy DB serii 189

Źr. RTR 1/2003

W wyniku tego sprawność ogólna lokomotywy (ślizg odbieraka – obwód koła napędowego) wynosi 84,4%. Nieco lepiej ocenia sprawność podobnej lokomotywy firma Alstom, bo określa ją na 86%, jednak dotyczy to przypadku pracy transformatora z częstotliwością 50 Hz.

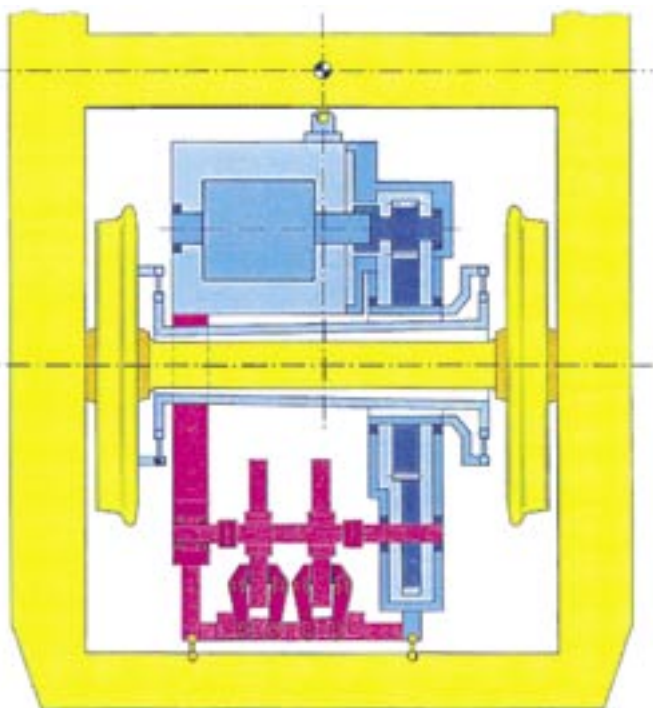
**Hamowanie**

Podstawowe systemy hamowania nie uległy zasadniczym zmianom. Jako podstawowy hamulec stosuje się elektryczny hamulec

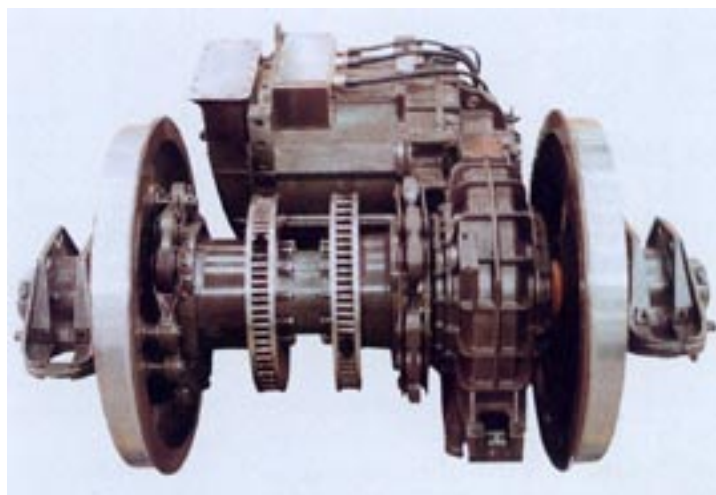
dynamiczny, odzyskowy w przypadku prądu przemiennego, odzyskowy i oporowy w przypadku prądu stałego, niekiedy tylko oporowy (np. w lokomotywach SNCF dla zasilania prądem 1,5 kV). W przypadku zasilania lokomotywy prądem stałym stosuje się samoczynne przelączanie hamulca oporowego i odzyskowego w zależności od zdolności sieci trakcyjnej do odbioru prądu hamowania. Moc hamowania w przypadku lokomotyw prądu przemiennego zazwyczaj jest równa znamionowej mocy lokomotywy, w przypadku zasilania prądem stałym moc hamowania elektrycznego jest równa mocy lokomotywy przy zdolności sieci trakcyjnej do odbioru prądu hamowania, gdy jest to niemożliwe, ograniczona jest ona wielkością oporów hamowania jakie dało się uzyskać. Moc hamowania elektrycznego powinna pozwalać na uzyskanie masy hamującej lokomotywy takiej samej jak w przypadku nagłego zadziałania hamulca powietrznego. Niektóre koleje np. SNCF przyjęły zasadę równej mocy hamowania odzyskowego i oporowego ze względu na przyzwyczajenia maszynistów.

W nowych lokomotywach znajdują zastosowanie najnowsze osiągnięcia techniki hamulcowej [13, 45].

Jako mechaniczne elementy wykonawcze stosuje się hamulce tarczowe, przeważnie dwa na zestaw kół. Zazwyczaj nie ma miejsca na umieszczenie tarcz hamulca bezpośrednio na osi. W lokomotywach firmy Bombardier tarcze hamulcowe osadzone są na drążonym wale przegubowym napędu (rys. 18) [39], co powoduje dodatkowe obciążenie przegubów wału podczas hamowania. W lokomotywie 1016/1116 tarcze umieszczono na specjalnym wale połączonym z dodatkowym kołem przekładni sprzęgłem zębatym (rys.19) [13]. W niektórych innych przypadkach – lokomotywa DB serii 145 – tarcze hamulca związane są bezpo-



Rys. 18. Hamulec tarczowy lokomotywy ÖBB serii 1016/1116 Źr. GA 11/1998



Rys. 19. Tarcze hamulca osadzone na wale przegubowym lokomotywy DB serii 101

Źr. EB 8-9/1996

średnio z kołem. Powoduje to, że jego ukształtowanie jest bardziej złożone, a ponadto część ciepła wydzielanego podczas hamowania przepływa do tarczy koła. Zazwyczaj liczba postępujących po sobie hamowań nagłych hamulcem powietrznym z dużą prędkością początkową jest ograniczona ze względu na obciążenie cieplne wykładzin szczęk i samych tarcz. W niektórych loko-

motywach – RTC serii EU 43 i FS serii EU11 wprowadzono hamowanie dwustopniowe, przy zmniejszonym nacisku szczęk w zakresie największych prędkości.

Stosowane są również obok hamulca tarczowego klocki oczyszczające powierzchnię toczną koła (10% siły hamującej), w podobnym celu stosuje się okresowe, lekkie dociskanie szczęk w hamulca tarczowego.



Fot. 14. Lokomotywa serii 1016/1116 kolei ÖBB. Ponad 400 tych lokomotyw zmontowanych zostanie w zakładach należących do kolei ÖBB

Fot. Siemens

## Pudło nadwozia

Ukształtowanie powierzchni zewnętrznej pudła nadwozia uwarunkowane jest oporem przepływu powietrza i wzrostem ciśnienia przy mijaniu sąsiedniego pociągu i obiektów stałych [26]. Uwzględnia się przy tym nie tylko przepływ powietrza wywołany ruchem lokomotywy, ale również wpływ wiatru o kierunku skośnym do toru. Zagadnienie stało się tym bardziej ważne ze względu na wzrost prędkości największej do 230 km/h. Podobieństwo zjawisk fizycznych spowodowało, że ukształtowanie zewnętrzne nowoczesnych lokomotyw jest bardzo zbliżone.

Niemal wszystkie współczesne elektryczne lokomotywy linowe są wyposażone w dwie kabiny maszynisty, jedynym wyjątkiem jest lokomotywa FS serii 464, przeznaczona do prowadzenia regionalnych pociągów zwrotnokierunkowych. Natomiast lokomotywa obsługująca pociągi na linii Lulea – Narvik stanowi inny wyjątek, ponieważ jest lokomotywa dwuczłonową [9].

Wytrzymałość pudła lokomotywy uwarunkowana jest wymaganiami karty UIC 651, również karty UIC 566. Od pewnego cza-



Fot. 6. Lokomotywa uniwersalna kolei CFL serii 3000, identyczna z lokomotywą serii 13 kolei SNCB

Fot. Alstom



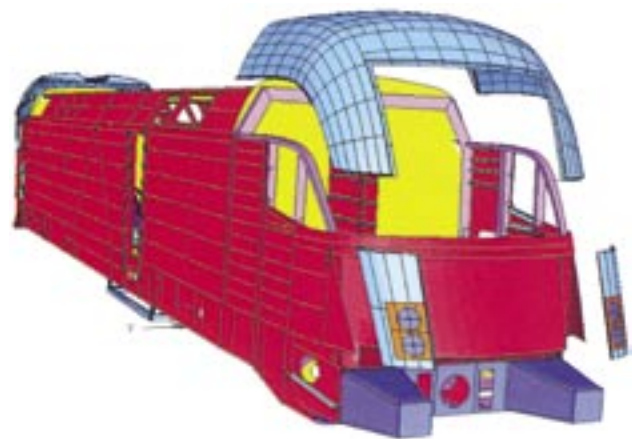
Fot. 9. Lokomotywa serii 184 kolei SBB na bazie lokomotywy serii 185

Fot. Bombardier



Fot. 8. Lokomotywa serii 185 dla kolei DB

Fot. Bombardier



Rys. 20. Wymienne wsporniki zderzaków lokomotywy ÖBB serii 1016/1116

Źr. EB 4/1999



Fot. 13. Lokomotywa serii 152 kolei DB

Fot. Siemens



Fot. 10. Lokomotywa kolei włoskich (dawna EU11)

Fot.



Fot. 15. Lokomotywa serii OSE 530 kolei greckich

Fot. Siemens



Fot. 11. Lokomotywa serii 189 kolei DB podczas prezentacji na Targach Innotrans 2002

Fot. J. Raczyński

su obowiązuje w tej mierze norma europejska EN-12663: 2000. Kolej SNCF stawiają pod tym względem ostrzejsze wymagania. Np. siła ściskająca na wspornikach sprzęgu przyjmowana jest jako 2000 kN, siła na pasie podokiennym kabiny maszynisty – 700 kN, a siła przyłożona na wysokości 350 mm ponad zderzakami – 700 kN. Określa się też siłę statyczną przyłożoną do ściany bocznej w wielkości 300 kN. W nowszych rozwiązaniach dla ochrony czoła lokomotywy od skutków zderzenia czołowego stosowane są specjalne, łatwo wymienne wsporniki zderzaków (rys. 20) [1] zdolne do przejścia energii 1 kJ (przy sile statycznej 3016 kN odkształcają się trwale) – lokomotywy DB serii 189, ÖBB serii 1016/1116. W tej drugiej do przyjmowania energii

zderzenia włączono również łatwo wymierny zgarniacz śniegu. Określenie wytrzymałości czoła lokomotywy oparto od pewnego czasu o zasadę, że przy nabieganiu z prędkością umiarkowaną nie powinno dochodzić do uszkodzenia jakiegokolwiek elementu pudła, przy prędkościach większych uszkodzeniu mogą ulegać jedynie elementy łatwo wymienne, a przy prędkościach rzędu np. 15 m/s nabiegania na pojazd wzorcowy odkształcenia trwałe może sięgać tylko do pewnej płaszczyzny np. krawędzi drzwi wejściowych.



Aluminium

Stal

Tworzywa sztuczne

Rys. 21. Materiały konstrukcyjne lokomotywy ÖBB serii 1016/1116

Źr. EB 4/1999

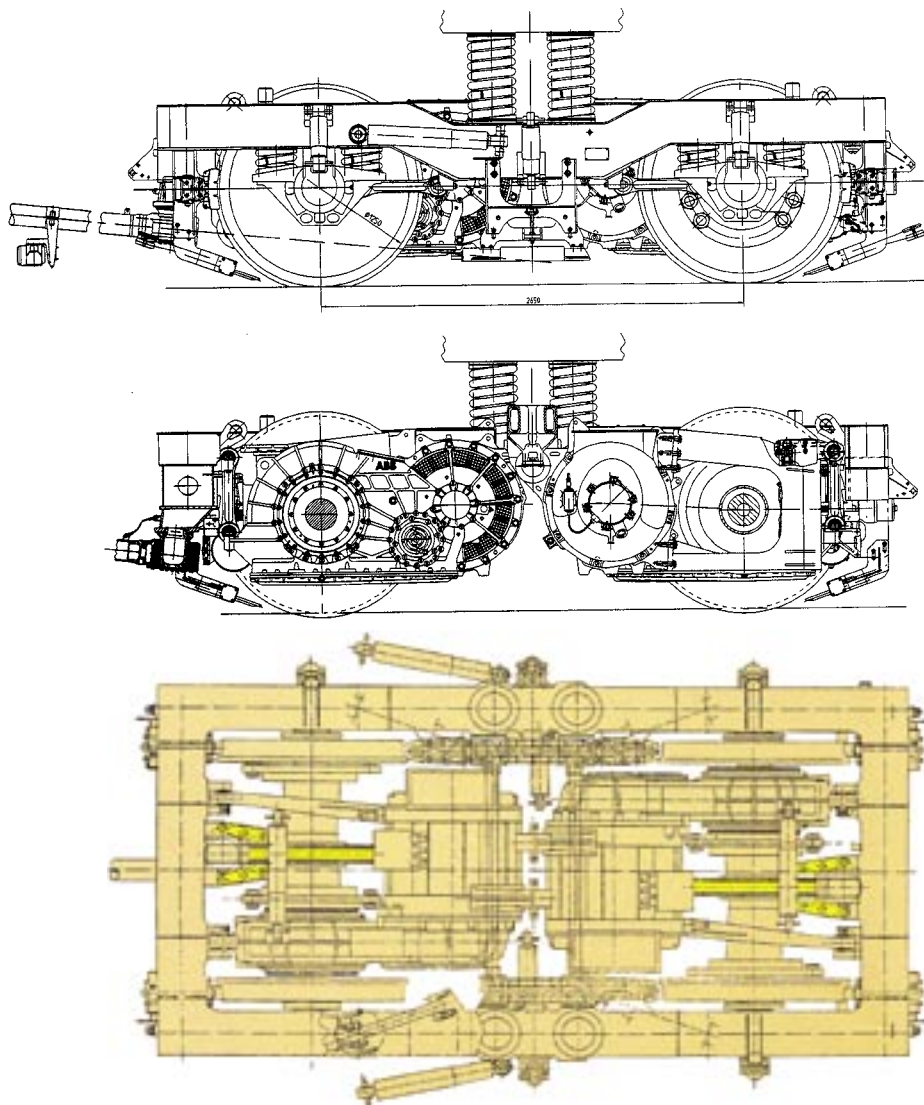
Wiele elementów pudła wykonanych bywa z tworzywa sztucznego lub stopów lekkich (rys. 21) [1], jednak przewiduje się, że w przypadku zderzenia siły przenoszone są przez elementy stalowe (rys. 20). W lokomotywie RTC serii EU43 do przenoszenia tych sił przewidziano specjalny wspornik za czołową ścianą ze sztucznego tworzywa.

Kabina maszynisty, z reguły klimatyzowana powinna spełniać wymagania karty UIC 651.

## Wózki

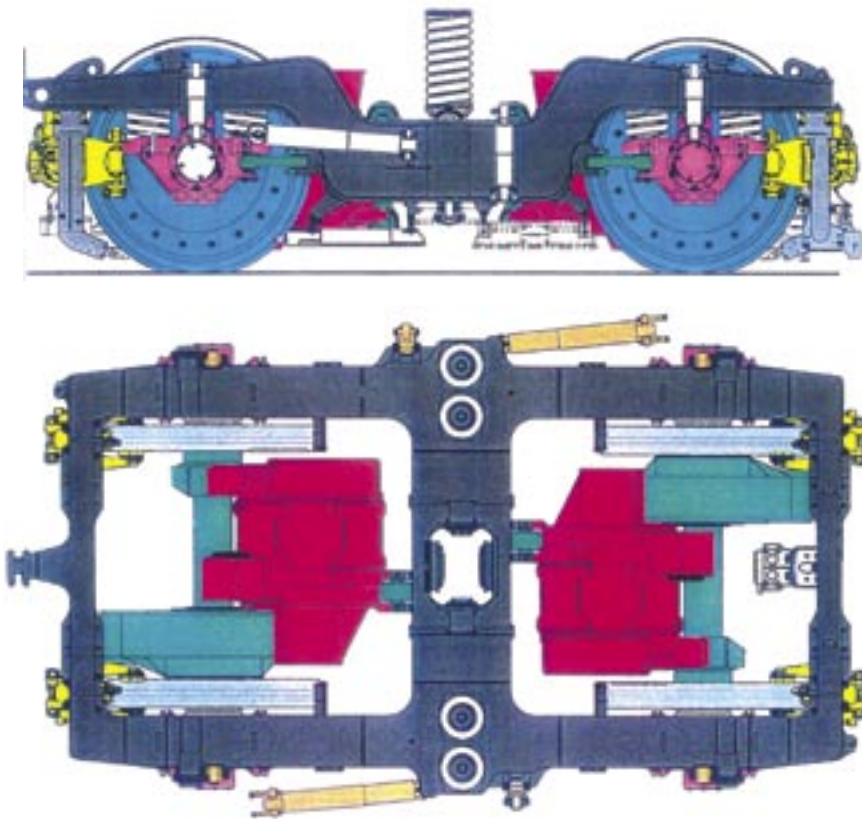
Jeden z podstawowych elementów wózka jakim jest zespół łożyska zestawu kół wraz z prowadzeniem nie uległ w ostatnich latach istotnym zmianom. Lokomotywy SNCF wyposażone są w wahaczowe prowadzenie łożysk zestawu kół. Podobnie jak lokomotywy SBB, w tych ostatnich zastosowano mechanizm promieniowego ustawiania się zestawu kół podczas jazdy w łuku. W lokomotywach niemieckich powszechnie stosuje się prowadzenie łożysk osiowych pojedynczym ciągnym systemem ABB-Henschel. Ten system zaczęła stosować również firma Siemens (lok. ÖBB serii 1016/1116, DB serii 152, 189), pozostawiając jednak prowadzenie łożysk zestawu kół systemu Alstoma na lokomotywie ÖBB serii H 530 [4]. Sztywność prowadzenia łożyska zestawu kół jest

dobierana z uwzględnieniem pewnej możliwości bardziej korzystnego ustawiania się zestawu kół podczas jazdy w łuku [5]. Usprężynowanie I stopnia stanowią sprężyny zwojowe. Oparcie nadwozia na wózku z reguły realizowane jest w układzie „flexicoil”, z zastosowaniem stalowych sprężyn zwojowych. Siły pociągowe i hamowania przenoszone są między wózkiem i nadwoziem za pomocą cięgien niesymetrycznych (lokomotywy produkcji firmy Bombardier), lub symetrycznych (Alstom). Punkt przecięcia się osi cięgien i osi pionowej wózka leży zazwyczaj na wysokości 100 mm od główki szyny, co zapewnia wyrównanie nacisków zestawów kół w czasie rozwijania siły pociągowej. Firma Siemens uznaje, że przy indywidualnym sterowaniu poszczególnych silników trakcyjnych położenie punktu przyłożenia siły pociągowej nie jest istotne. Siły między nadwoziem i wózkiem w lokomotywach wspomnianej firmy przenoszone są poprzez czop skrzętu, a punkt przyłożenia siły pociągowej położony jest na wysokości np. 420 mm od główki szyny, dzięki czemu uzyskuje się w ten sposób korzystniejsze obciążenie ramy wózka. Opracowany przez firmę ABB Henschel sposób zawieszenia silnika trakcyjnego jedną krawędzią w nadwoziu a drugim w ramie wózka znalazł zastosowanie w lokomotywie FS serii E412, EU11, RTC serii EU43, DB serii 101. Wózek tej ostatniej lokomotywy przedstawiony został



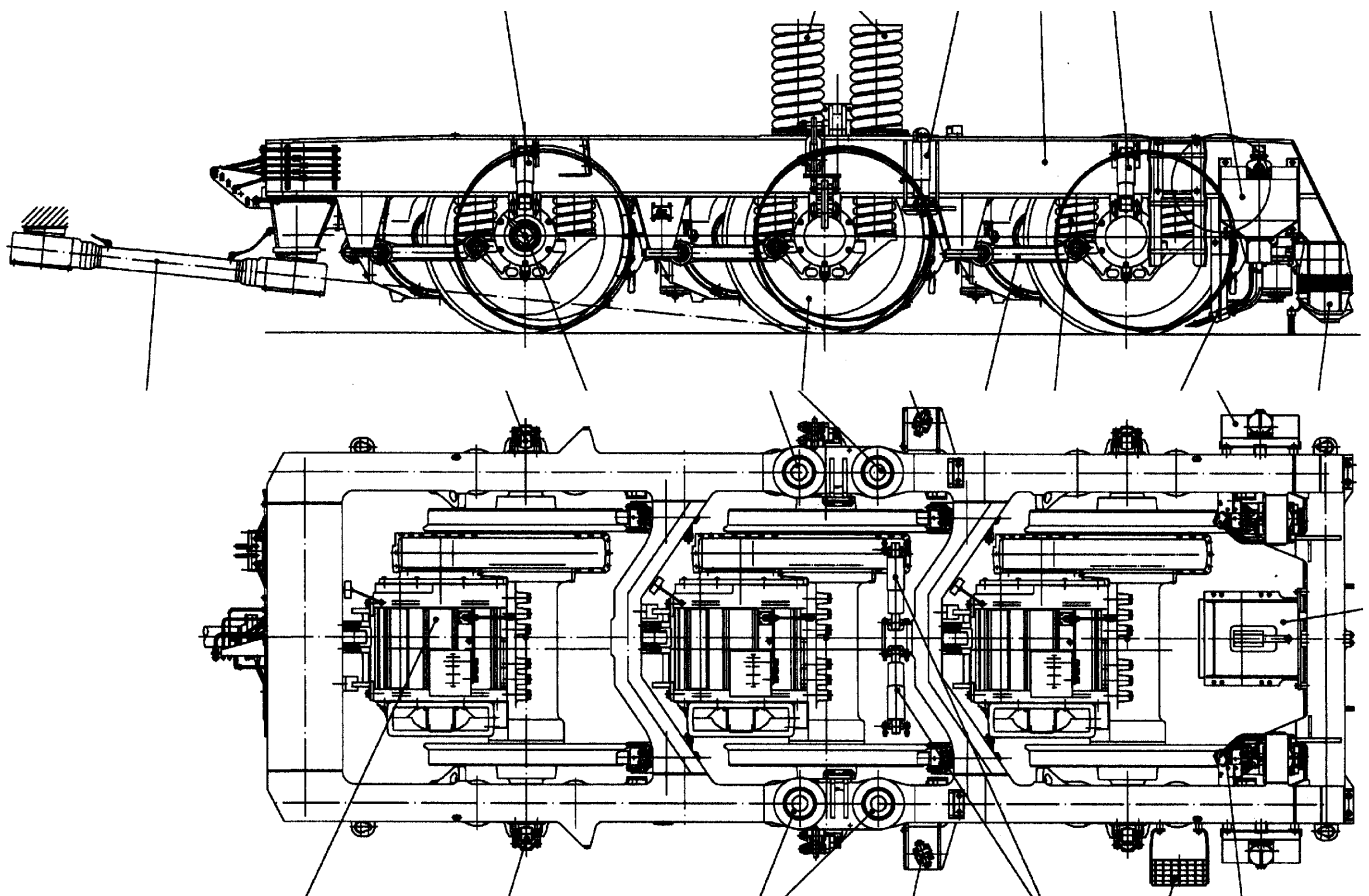
Rys. 22. Wózek lokomotywy DB serii 101

Źr. ETR 6/1996, Siemens



Rys. 23 Wózek lokomotywy DB serii 152 i 189

Źr. EB 8-9/1996



Rys. 24. Wózek lokomotywy DSB serii EG 31000

Źr. EB 8/2001

na rysunku 22 [29]. Tego rodzaju układ sprzyja uzyskaniu dobrych własności biegowych lokomotywy głównie dzięki zmniejszeniu masy wózka usprężynowanej tylko poprzez I stopień. Zawsze silniki trakcyjne zawieszane są w ramie wózka w przypadku lokomotyw o prędkości 160 km/h i więcej. Przykłady natomiast wózka z silnikiem zawieszonym systemem tramwajowym pokazane są na rysunku 23 (lokomotywa DB serii 152 i 159) [42] i oraz na rysunku 24 (lokomotywa DSB serii ED 3100) [32].

## Żywotność, niezawodność, utrzymanie

Czas życia nowoczesnych lokomotyw elektrycznych określa się na 35–40 lat, mimo bardzo szybkiego rozwoju wyposażenia elektronicznego będącego istotną częścią napędu i sterowania. Część mechaniczna lokomotyw ulegała stosunkowo niewielkim zmianom, przynajmniej w okresie ostatnich 30 lat.

Coraz większą uwagę zwraca się na niezawodność lokomotyw, ponieważ skutki – zwłaszcza wtórne z nią związane wpływają w znacznym stopniu na koszty eksploatacji. Na ogół jako niesprawność uznaje się opóźnienie pociągu pasażerskiego o 5 min, a towarowego – o 15 min. Częstotliwość występowania niesprawności określa się drogą przebiegu między nimi. W przypadku lokomotywy ÖBB serii 1016/1116 niesprawność lokomotywy, przy której dwa silniki trakcyjne są wyłączone nie może zdarzyć częściej jak po przebiegu 250 tys. km, a kiedy są trzy silniki nieczynne – po przebiegu 300 tys. km.

Podstawą utrzymania lokomotyw są nadal stałe cykle przeglądów i napraw.

Przykładowe przytoczę, że dla wspomnianej lokomotywy kolei ÖBB przyjęto następujący cykl utrzymania [37].

Rodzaj przeglądu/naprawy	Przebieg [km]	
Przeгляд bieżący	co 10 000	
Przeгляdy w lokomotywni	1	100 000
	2	200 000
	3	400 000
Naprawa pośrednia wózka	1 000 000	
Naprawa główna wózka	2 000 000	
Naprawa pośrednia pudła	1 000 000	
Naprawa główna pudła	3 000 000	
Naprawa główna całej lokomotywy	6 000 000	

Tego rodzaju cykle przeglądów i napraw, przy umiarkowanej pracochłonności i dobrej organizacji, przy zachowaniu wysokiego poziomu niezawodności pozwalają na osiągnięcie wskaźnika gotowości technicznej nie mniejszego od 0,92 [7, 37, 38].

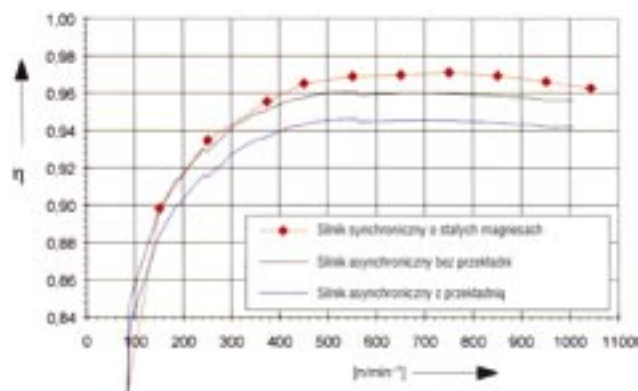
## Kierunki dalszego rozwoju konstrukcji

Intencją prowadzonych współcześnie prac rozwojowych dotyczących lokomotyw elektrycznych jest zwiększenie sprawności, ograniczenie pracochłonności utrzymania, również zmniejszenie masy elementów składowych, ponieważ czynniki te wpływają na koszty eksploatacji. W przypadku lokomotyw prądu przemiennego prowadzone są prace nad poprawą sprawności i zmniejszeniem masy transformatora, szczególnie znaczące dla lokomotyw zasilanych prądem o częstotliwości 16 2/3 Hz. Jedną z możliwości pod tym względem stwarza zastosowanie uzwojenia z materiałów nadprzewodzących [24]. Firma Siemens zrealizowała nawet prototyp doświadczalny o mocy 100 kVA. Poważne trudności stwarza okoliczność utrzymania temperatury uzwojeń poniżej 77 K (przy obecnie znanych materiałach). Nadzieje związane z tą metodą za-

leżne są od postępu w dziedzinie nadprzewodników (podwyższenie temperatury granicznej). Bardziej realne są prace nad wykorzystaniem transformatora o wysokiej częstotliwości. Zasada działania układu z takim transformatorem polega na przekształceniu prądu przemiennego w prąd stały, następnie ma miejsce przekształcenie go w prąd przemienny o zwiększonej częstotliwości np. 400 Hz, po czym następuje jego wyprostowanie i doprowadzenie do falownika. Ocenia się, że w ten sposób uzyska się zmniejszenie masy transformatora o 50% i znacząco poprawi się jego sprawność [24].

Można przypuszczać, że w dalszym ciągu trwać będą badania nad bezpośrednim zasilaniem falownika w przypadku lokomotywy prądu przemiennego. Natomiast regułą stanie się zasilanie bezpośrednie falowników lokomotywy prądu stałego, dzięki intensywnemu rozwojowi elementów półprzewodnikowych.

Zarówno w przypadku zasilania lokomotywy prądem stałym, jak i przemiennym zamierza się wykorzystywać silniki bezprzekładniowe [23]. W wyniku eliminacji przekładni uzyskuje się zmniejszenie masy napędu, nieznaczne zwiększenie sprawności lokomotywy oraz eliminuje się zespół podlegający zużyciu i wymagający nadzoru, będący źródłem hałasu. Pomysł nie jest nowy (już w 1903 r. dokonywano prób z takim pojazdem), Wytwórnia Skoda zbudowała prototyp napędu z bezprzekładniowym silnikiem asynchronicznym w lokomotywie 85 EO, którą wprowadzono do próbnej eksploatacji. Istotna trudność związana z realizacją takiego silnika zwłaszcza dla większych mocy, ma swoją przyczynę w tym, że jego masa i wymiary skrajnie są znacznie większe jak dla silników przekładniowych. Główne wymiary wzrastają proporcjonalnie do przełożenia. Stąd np. ograniczenie prędkości we wspomnianej lokomotywie do 120 km/h. Nowe możliwości w tym zakresie stwarza silnik synchroniczny ze stałymi magnesami, wykazujący znacznie lepsze wskaźniki masy i zajmowanej przestrzeni. Jego sprawność jest większa w stosunku do silnika asynchronicznego z przekładnią i bez niej (rys. 25) [23]. Prowadzone są studia nad budową takiego silnika o mocy 1600 kW, z przeznaczeniem do napędu lokomotyw. Jeszcze bardziej korzystne cechy wykazuje silnik o stałych magnesach i poprzecznym strumieniu magnetycznym [22]. Silnik bezprzekładniowy może być zawieszony na ramie wózka. Wtedy oś zestawu kół przechodzi przez drążony wał samego silnika. Wał ten związany jest z kołami poprzez układ przegubowy. Przeprowadzone studia wskazują na możliwość znacznego uproszczenia zespołu dzięki zawieszeniu silnika na osi zestawu kół i osadzeniu bezpośrednio na niej jego



Rys. 25. Sprawność silnika synchronicznego o stałych magnesach, silnika asynchronicznego bez przekładni i asynchronicznego z przekładnią  
Źr. Eisenbahn Ingenieur 8/2002

wirnika. Przemawia za tym okoliczność, że zwiększenie w tym przypadku masy nieusprężynowanej jest stosunkowo małe (5370 kg wobec 4870 kg dla lokomotywy DB serii 152). Symulacja oddziaływania na tor w zakresie prędkości do 140 km/h potwierdziła również, że wielkość sił między kołem a szyną nie przekracza wymagań karty UIC 518 [23]. Opisane rozwiązanie pozwala też na uzyskanie większej przestrzeni dla samego silnika trakcyjnego (rys. 26) [23]. Oddanie do eksploatacji przez przemysł japoński elektrycznego zespołu trakcyjnego z silnikami bezprzekładniowymi wskazuje na realność przedsięwzięcia również w przypadku lokomotyw.

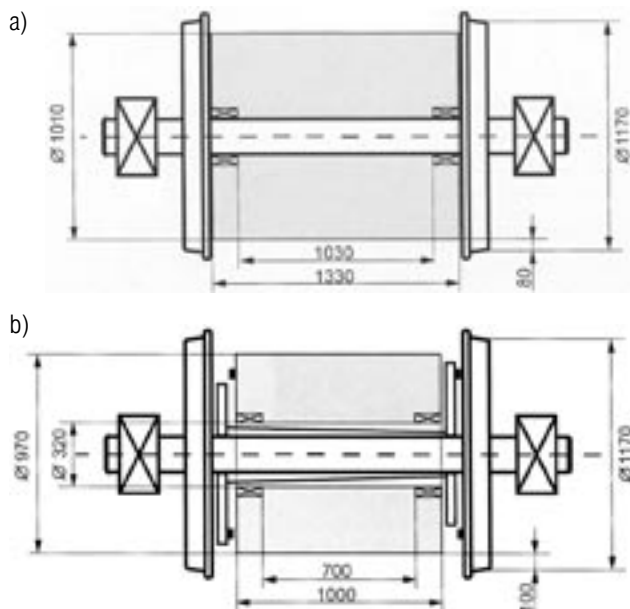
Rozwój konstrukcji odbieraków prądu związany z jednej strony z prędkością jazdy pociągów, a z drugiej z natężeniem pobieranego prądu. Prace rozwojowe w tym zakresie zmierzają między innymi do realizacji odbieraka kolumnowego, aktywnego z samoczynnie regulowanym naciskiem ślizgu odbieraka. Taki odbierak zapewniłby obok dobrych warunków odbioru prądu, również mały opór aerodynamiczny i wydatnie ograniczałby hałas wywoływany opływem powietrza.

W zakończeniu należy wspomnieć o podjętych w USA (Vehicle Projects LLC of Denver) pracach badawczych nad lokomotywą, w której napęd zasilany będzie przez ogniwo paliwowe. Ich celem jest budowa lokomotywy o mocy 1000 kW i masie 109 t. Projekt jest kompleksowy, obejmuje sprawę korzyści ekonomicznych, doboru najlepszej paliwa i ogniwa, obsługi i zasilania w paliwo, jak też możliwości konkurencji rynkowej z lokomotywami spalinowymi i elektrycznym. Motywem podjęcia tych badań stała się sprawa bezpieczeństwa energetycznego kraju i ochrony środowiska.



#### Literatura

- [1] Benes B., Schüler T., Schneider S.: *Europalokomotive TAURUS; Reihe 1016/1116 der Österreichischen Bundesbahnen*. EB 4/1999.
- [2] Boutonnet J. C., Fontanel E., Benard F.: *La Locomotive BB36000*. Rev.Gen. 5/1996.
- [3] Böhm H., Hartmann H.: *Elektrische Nahverkehrslokomotive Baureihe 146 für DB-Regio*. EB 4/2000.
- [4] Brauer H. M., Rieger H.: *Hella Sprinter – erste elektrische Lokomotive für Griechenland*. EB 4/1998.
- [5] Breuer W., Gaede P. J.: *Die Querkräfte der Hochleistungslokomotiven der Reihe 1016/1116*. GA 5/2002.
- [6] Buscher M., Pawlak J.: *Baureihe 185: Modulare Mehrzwecklokomotive für den grenzüberschreitenden Verkehr*. ETR 10/1999.
- [7] Buscher M., Winkenbach B.: *Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der neuen Adtranz – Lokomotivbaureihen*. GA 2-3/2000.
- [8] Cauwel P.: *Les Genes des BB 427000/437000/437500: les futures locomotives fret de la SNCF*. Rev. Gen. 5/1999.
- [9] Dvoracek V., Olovsson J., Buchholz K. H.: *Elektrische Doppellokomotiven für die nordskandinavische Erzbahn*. EB 8/2001.
- [10] Gammert R.: *Zweifrequenzlokomotive Baureihe 185 für DB Cargo*. EB 4/2000.
- [11] Geier W.: *Die Führerraum von modernen elektrischen Lokomotiven*. E.Revue 12/2002.
- [12] Gemmeke K.: *Zukunftsweisende Leittechnik komponenten für Lokomotiven von Adtranz*. ETR 5/1997.
- [13] Haban G.: *Neuartige Bremsanordnung für schnellfahrende Hochleistungslokomotiven*. GA 11/1998.



Rys. 26 Przestrzeń silnika trakcyjnego bezprzekładniowego w przypadku. Źr. *Eisenbahn Ingenieur* 8/2002

a) zawieszenie na osi zestawu kół, b) zawieszenie na ramie wózka

- [14] Hartmann H., Schunke M.: *Mehrzwecklokomotive Baureihe 145 der DB*. EB 11/1997.
- [15] Hondius H.: *Two railways test dual – system Tractis*. RG.Int. 5/1998.
- [16] IGBT – *Hochleistungslokomotive im Betriebsinsatz*. EB 5/1999.
- [17] IGBT – *Stromrichter für Hochleistungsanwendungen*. EB 8/2000.
- [18] Jöckel A.: *Gertriebelose Drehstromantriebe für Schienenfahrzeuge*. EB 3/2003.
- [19] Ketteler K. H.: *Weiterentwicklung der Mehrsystemlokomotiven am Beispiel der Baureihe E 412 der Italienischen Staatsbahnen*. GA 9-10/1995.
- [20] Kiessling B., Körner O., Pfeiffer R., Wach J.: *Oberbaubeanspruchung durch einen Drehstrom – Tatzlagerantrieb*. GA 2-3/2000.
- [21] Kiessling B., Wach J.: *Güterzuglokomotive Baureihe 152 der Deutschen Bahn*. EB 8-9/1996.
- [22] Klockow T., Hörl P., Kurz H.: *Permanentterregte Traktionsmotoren*. EB 3/2003.
- [23] Koch T., Körner O., Binder A.: *Direktantriebe für Lokomotiven*. E.Ing. 8/2002.
- [24] Kunz M., Hörl F., Klockow T.: *Entwicklung einer massearmen Energieversorgung für elektrische Triebfahrzeuge*. GA 11-12/1999.
- [25] Laurencin Ch., Rondeau C., Debruyne M.: *La BB 427000 de la SNCF les choix techniques pour la traction et le freinage*. Rev.Gen. 4/2002.
- [26] Mackrodt PA., Buchholz K. H., Loose S., Siemens H.: *Kopfwellen moderner Elektrolokomotiven unter Seitenwindeinfluss*. ETR 1/1998.
- [27] Messerschmidt W.: *Blick nach Italien*. GA 11/2001.
- [28] Messerschmidt W.: *Bo – Bo Hochleistungs – Serienlokomotiven für Italiens – Bahnen*. ETR 7-8/1995.
- [29] Middendorf E.: *Die neue Generation elektrischen Lokomotiven für Deutsche Bahn AG – Die Baureihen 101, 145 und 152*. ETR 6/1996.
- [30] Müller R.: *Vor und Nachteile 6-achsiger gegenüber 4-achsigen Lokomotiven*. ETR 1-2/1997.
- [31] Nordmann J.: *Baureihe 101 – erste Sierienlokomotive einer neuen Generation von Schienenfahrzeugen*. GA 2-3/1997.
- [32] Pedersen B. O., Jörgensen O. A., Pröll G.: *Co-Co Zweifrequenzlokomotive EG 3100 für Danske Statsbaner*. EB 11-12/2000 i 8/2001.

- [33] *Premiere sortie officielle de la nouvelle locomotive fret.* Rev.Gen. 3/2001.
- [34] Provost A.: *Dreisystemlokomotive Baureihe 36000 Astride der Societe Nationale des Chemins de Fer Francais.* EB 8/1997.
- [35] Ruegg R., Landolt M.: *Plattformkonzept OCTEON für elektrische Lokomotiven und Triebköpfe.* EB 4/1999.
- [36] Schreiber R., Häse P., Gerber P.: *Innovative Adhäsionsregelung – Versuchsergebnisse mit der BLS Drehstromlokomotive Re 465.* EB 8-9/1996.
- [37] Schüler T., Kirchhefer K., Schneider S.: *Entwicklung der Lokomotiv – Baureihen 1016/1116 der Österreichischen Bundesbahnen unter dem Aspekt erhöhter Zuverlässigkeit.* GA 2-3/2000.
- [38] Seidler H. J., Böhm H.: *Optimierung und Zulassung der elektrischen Lokomotive der Baureihe 145 für DB Cargo.* GA 3/1998.
- [39] Still L., Hammer W.: *Auslegung und elektrischer Leistungsteil der Lokomotive Baureihe 101 der DB.* EB 8-9/1996.
- [40] *Viersystemlokomotive Baureihe 189 für DB Cargo.* EB 8/2000.
- [41] Vitins J., Buscher M.: *Elektrische Lokomotives for cross – border operations.* RTR 1/2003.
- [42] Wach J., Middendorf E., Lösse W.: *Die Lokomotiven der Baureihe 152.* GA 9-10/1998.
- [43] Winkler U., Vitins J.: *Neue Lokomotiven Re 482 für SBB Cargo.* E.Rev. 12/2001.
- [44] Wolfram T.: *Nowoczesne lokomotywy elektryczne dużych mocy kolei europejskich.* Technika Transportu Szynowego 8-9/1995.
- [45] Wright E. C., Sinn R.: *Revolutionierung in der Entwicklung von Brems-systemen bei Lokomotiven durch Technologietransfer.* ETR 11/1997.

*Autor*

*doc. mgr inż. Tadeusz Wolfram*

*Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa*

## Konferencja

# TRANSMEC – 2003

Katowice, Ustroń 18–19 grudzień 2003

**Pod patronem Wiceprezesa Rady – Ministrów Ministra Infrastruktury Pana Marka Pola**

**Połączona z wręczeniem nagród:**

- Ministra Infrastruktury dla najlepszej pracy habilitacyjnej, doktorskiej, magisterskiej i inżynierskiej z dziedziny transport
- Prezesa PKP S.A. dla najlepszej pracy dyplomowej z zakresu transportu szynowego
- specjalnych firm: Alstom, Bombardier i Siemens za działalność promującą transport szynowy w Polsce w 2003 r.

**Tematyka:**

- Diagnostyka pojazdów szynowych
- Infrastruktura transportu szynowego
- Logistyka i jakość w transporcie szynowym
- Ekologia i ergonomia w transporcie szynowym
- Hamowanie i hamulce w transporcie szynowym
- Komputerowe wspomaganie projektowania pojazdów szynowych i ich elementów
- Dydaktyka i nauczanie w transporcie
- Transport w 6 programie ramowym unii europejskiej
- Współpraca nauka – kolej – przemysł

**Współorganizatorzy:** Polska Akademia Nauk, Oddział w Katowicach, Komisja Transportu ■ Akademia Ekonomiczna w Katowicach, Katedra Transportu ■ Politechnika Krakowska, Instytut Pojazdów Szynowych ■ Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Podstaw Konstrukcji Maszyn ■ Politechnika Radomska, Instytut Systemów Transportowych ■ Politechnika Warszawska, Zakład Podstaw Budowy Urządzeń Transportowych ■ Polskie Koleje Państwowe S.A. ■ Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Kolejnictwa, Oddział w Katowicach

**Patronat prasowy:** Nowe Sygnały ■ Przegląd Komunikacyjny ■ Rynek Kolejowy ■ Technika Transportu Szynowego

**Informacje:** Politechnika Śląska, Wydział Transportu – Katedra Transportu Szynowego  
40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 8  
tel./fax: (32) 60 34 364, tel. (32) 603 41 48  
e-mail: sitarz@polsl.katowice.pl