

Stanislav Malinčík

# Modernizacja tramwaju T3 MOD w Słowackiej Republice

**Komunikacja tramwajowa na Słowacji jest od lat jednym z najbardziej niezawodnych systemów komunikacji miejskiej. Tramwaje są eksploatowane w dwóch miastach – w Bratysławie i Koszycach. Te dwa systemy, ukształtowane historycznie, z uwagi na wysokie koszty nie są planowane do dalszej rozbudowy. Miasto Bratysława nosi się ponadto z zamiarem budowy metra. Obecny stan taboru tramwajowego w Bratysławie i Koszycach wymaga jednak pilnych działań w zakresie zakupu nowych pojazdów lub modernizacji obecnych.**

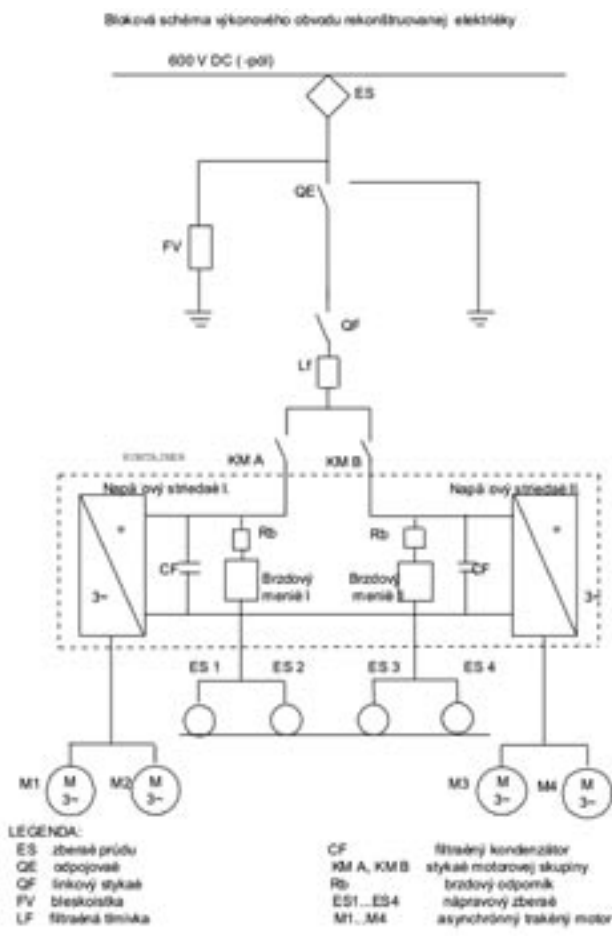
Kierując się potrzebami modernizacji obecnego taboru założone zostało konsorcjum firm, które zajęło się pracami przygotowawczymi i realizacją projektu modernizacji tramwaju T3 Mod. W skład konsorcjum wchodzi Kolejowe Zakłady Naprawcze i Mechaniczne Zvolen, a.s. (Železničné opravovne a strojárne Zvolen, a.s.), Elektrotechniczny Instytut Badawczo-Projektowy a.s., Nová Dubnica (Elektrotechnický výskumný a projektový ústav a.s., Nová Dubnica), Uniwersytet Žiliński, Wydział Mechaniki, Žilina (Žilinská univerzita, strojnica fakulta, Žilina), Przedsiębiorstwo Komunikacyjne Miasta Koszyce, a.s. (Dopravný podnik mesta Košice, a.s.).

W zakres modernizacji tramwaju wchodzi: modyfikacja jego wyglądu zewnętrznego, wymiana siedzeń, drzwi, dotychczasowych stopni na nierdzewne, zastosowania wykładziny podłogowej antypoślizgowej, modyfikacji wyposażenia elektrycznego, instalacji urządzeń diagnostycznych, modyfikacji wyposażenia wnętrza, montażu klimatyzacji, wyposażenia w urządzenia dla rekuperacji energii elektrycznej, zamiany dotychczasowych hamulców na skuteczniejsze. Modernizacji poddana została również sieć trakcyjna i podstacje.

Modernizacja podniosła walory użytkowe pojazdu i obniżyła koszty eksploatacji i napraw. Modernizacja rozwiązała zagadnienia sterowania rozruchem i hamowaniem, ochrony przeciwpoślizgowej podczas wszystkich reżimów jazdy, zwrotu energii elektrycznej do sieci trakcyjnej (z możliwością pomiaru ilości

zwróconej energii). Wprowadzono ponadto funkcje sprzężenia systemu sterowania z tachografem i pozostałymi obwodami peryferyjnymi, przetwornicę statyczną do zasilania napędów i obwodów pomocniczych, wymieniono dotychczasowy dwuramienny odbierak prądu na nowy jednoramienny (LEKOV a.s. Blovice) oraz starą baterię akumulatorów na baterię nowego typu.

W obwodach elektrycznych pojazdów zastosowano asynchroniczne silniki trakcyjne (Slovres Košice) z zasilaniem przez układ falownikowy (EVPU Dubnica) ze sterowaniem impulsowym oraz dokonano modernizacji obwodów pomocniczych.



Rys. 1. Schemat elektryczny modernizowanego tramwaju

Bloková schéma výkonového obvodu rekonštruovanej električky - schemat blokowy siłowego obvodu rekonstruowanego tramwaju, zberač prúdu - odbierak prądu, odpojovač - wylącznik główny, linkový stykač - stycznik liniowy, bleskoisťka - odgromnik, filtračná tlmivka - dławik filtracyjny, filtračný kondenzátor - kondensator filtracyjny, stykač motorovej skupiny - stycznik grupy silników, brzdový odporník - rezystor hamowania, nápoťový zberač - odbierak kołowy, asynchrónny trakčný motor - asynchroniczny silnik trakcyjny, nápoťový strieďač - falownik, brzdový menič - przekaźnik hamowania





## Modyfikacja konstrukcji

Podczas rekonstrukcji tramwaju nie ingerowano w pierwotną konstrukcję wózków, ramy nośnej i pudła.

Zastosowano silniki napędowe o konstrukcji mechanicznej, umożliwiającą ich zabudowanie w wózku w miejsce silników dotychczas stosowanych.

## Pudło

Dokonane zmiany zgodnie z wymaganiami zleceniodawcy dotyczyły następujących elementów:

- w miejsce dotychczasowych ulegających korozji stopni zastosowano stopnie z materiału nierdzewnego;
- w miejsce dotychczasowych okien zasuwanych zastosowano okna odchylne, pełniące jednocześnie funkcję częściowego układu wentylacyjnego wnętrza tramwaju;
- obrotowe drzwi zastąpione zostały drzwiami odskokowo-przesuwnymi sterowanymi centralnie;
- po zewnętrznych stronach kabiny motorniczego zostały zamontowane podgrzewane lustra wsteczne nastawne od wewnątrz kabiny (typ BAHOZA).

## Wnętrze

Głównymi zmianami, jakim zostało poddane wnętrze tramwaju przy uwzględnieniu wymagań zleceniodawcy są:

- zastąpienie dotychczasowych mocowanych do podłogi siedzeń pasażerskich nowymi siedzeniami typu NOVA mocowanymi do ścian bocznych;



- z uwagi na zmianę sposobu obsługi pojazdu oraz wprowadzenie nowych elementów została zmieniona w całości koncepcja pulpitu motorniczego na stanowisku A, z uwzględnieniem wymogów ergonomicznych;
- kabina motorniczego została zmodyfikowana w taki sposób, żeby zapewnić motorniczemu możliwie maksymalny komfort: w miejsce dotychczasowego siedzenia wstawione siedzenie



ergonomiczne z możliwością regulacji wysokości i pochylecia oparcia, odizolowanie od części przeznaczonych dla pasażerów zamykanymi drzwiami z okienkiem do sprzedaży biletów, zainstalowana została szafka na rzeczy osobiste;

- zainstalowano nowocześniejsze oświetlenie wnętrza z wykorzystaniem świetlówek firmy SEC Nitra przeznaczonych dla środków komunikacyjnych;
- wyłożenie wnętrza wykładzinami (niepalne, łatwo zmywalne) zostało rozwiązane w taki sposób, żeby dotychczasowe przejścia między ścianami bocznymi a dachem tworzyły równą płaszczyznę (miejsce dla reklamy itp.).

Rekonstrukcję tramwaju można interpretować z uwagi na zasadniczą zmianę regulacji i sterowania napędu jako rekonstrukcję odtworzeniową pomimo faktu, że na podstawie wyglądu zewnętrznego tramwaju jest ona prawie niewidoczna.

### Porównanie właściwości tramwajowych układów napędowych prądu stałego i przemiennego

Historycznie, najczęściej stosowanym rodzajem napędu elektrycznego do celów trakcyjnych jest napęd z silnikiem szeregowym prądu stałego. Ten typ układu napędowy rozpowszechnił się dzięki dogodnej charakterystyce momentu obrotowego oraz dzięki stosunkowo prostej regulacji momentu obrotowego i prędkości obrotowej szeregowego silnika.

Główne wady silnika na prąd stały to:

- nadmierna masa i wymiary w stosunku do otrzymywanej mocy,
- komutator zwiększający koszty napraw i obniżający niezawodność,
- niższa sprawność (do 90%).

Obecnie coraz powszechniej są stosowane napędy prądu przemiennego z silnikami asynchronicznymi w połączeniu z przekształtnikami trakcyjnymi zbudowanymi na elementach IGBT. Takie rozwiązanie eliminuje główne wady wynikające z zastosowania silnika prądu stałego, przy czym zalety zostają zachowane. Silnik asynchroniczny z wirnikiem klatkowym jest najprostszym i najtańszym napędem obrotowym i charakteryzuje się następującymi właściwościami:

- mocna konstrukcja,
- wysoka niezawodność i żywotność,
- niskie koszty napraw (ograniczone właściwie tylko do łożysk),
- całkowita bezstykowość (silnik ma uzwojenie tylko na stojanie).

Napęd prądu przemiennego można zastosować przy budowie pojazdów nowych ale również przy modernizacji pojazdów starych. W drugim przypadku celowe jest skonstruowanie takiego silnika asynchronicznego, który miałby jednakowe gabaryty i parametry jak silnik dotychczasowy. Dla modernizacji tramwaju T3 został zaprojektowany asynchroniczny silnik ATR200L-4, który ma identyczne wymiary jak dotychczasowy silnik prądu stałego TE022J.

Niektóre z parametrów obu silników zamieszczono w tabelicy 1.

Jeżeli chodzi o metodę regulacji prędkości obrotowej i momentu obrotowego silników trakcyjnych, w praktyce stosowana jest regulacja rezystorowa lub przetwornica impulsowa dla silników prądu stałego a dla silników asynchronicznych falownik. Kryteriami porównawczymi poszczególnych sposobów regulacji są:

charakterystyki momentu obrotowego, straty podczas regulacji i złożoność urządzenia.

Na rysunku 2 porównano charakterystyki trakcyjne dla różnych sposobów regulacji przy wartości nominalnej napięcia zasilającego.

### A. Regulacja rezystorowa

Charakteryzuje się tym, że podczas przyspieszania prąd jest ograniczany rezystorami rozruchowymi, które są stopniowo odłączane stycznikami. Po osiągnięciu obrotów nominalnych dochodzi do regulacji w obszarze odwzbudzenia, kiedy są stopniowo dotychczasowe stycznikami rezystory równolegle do uzwojenia wzbudzającego. Na rysunku 2 przedstawiono idealizowaną charakterystykę tramwaju T3 z regulacją rezystorową z ograniczeniem prądu do 480 A. Rzeczywista charakterystyka będzie piłokształtna i będzie położona w obszarze przebiegu idealizowanego według tego, jak będą przez styczniki podłączane rezystory. Wadą regulacji tego rodzaju są wysokie straty podczas rozruchu sięgające 50% (można je obniżyć o połowę za pomocą kolejnych styczników, które przy rozruchu łączą wzajemnie silniki trakcyjne najpierw szeregowo a potem równolegle). O ile regulacja ma być dostatecznie precyzyjna, wymaga to użycie wielkiej liczby rezystorów i styczników. Schemat dalej komplikuje użycie styczników do jazdy wstecz oraz styczników hamowania. Hamowanie jest oporowe.

### B. regulacja z impulsowym układem rozruchu

Krzywa na rysunku 2 odpowiada modernizowanemu pojazdowi T3 z obwodami elektrycznymi TV8. Krzywej dla obwodów TV14 nie ma do dyspozycji, ale prawdopodobnie jest jednakowa jak dla TV8.

Do osiągnięcia prędkości ok. 21,5 km/h prąd rozruchowy jest bezstratowo ograniczony do wartości 600 A przez przekształtnik jazdy z elementem GTO (ew. 300 A dla pary silników z IGBT elementem przy TV14). Załamanie na przebiegu charakterystyki trakcyjnej spowodowane jest włączeniem odłącznika. Ponieważ wypełnianie nie jest dokładne (w obszarze powyżej 30 km/h dobrze byłoby instalować dalsze odłączane rezystory), charakterystyka trakcyjna przy wysokich prędkościach stromo opada w dół. W porównaniu z regulacją rezystorową regulacja z impulsowym układem jest praktycznie bez strat energetycznych. Bardziej skomplikowane podłączenie impulsowego układu jest częściowo kompensowane eliminacją rezystorów i odłączników rozruchowych, zastosowanie styczników hamowania, do jazdy wstecz oraz przekształtnika jazdy jest konieczne. Układ umożliwia odzyskiwanie energii przy hamowaniu i również wytracanie nadmiaru energii w rezystorach hamulcowych, kiedy przewód trakcyjny nie jest w stanie wchłonąć powracającej energii.

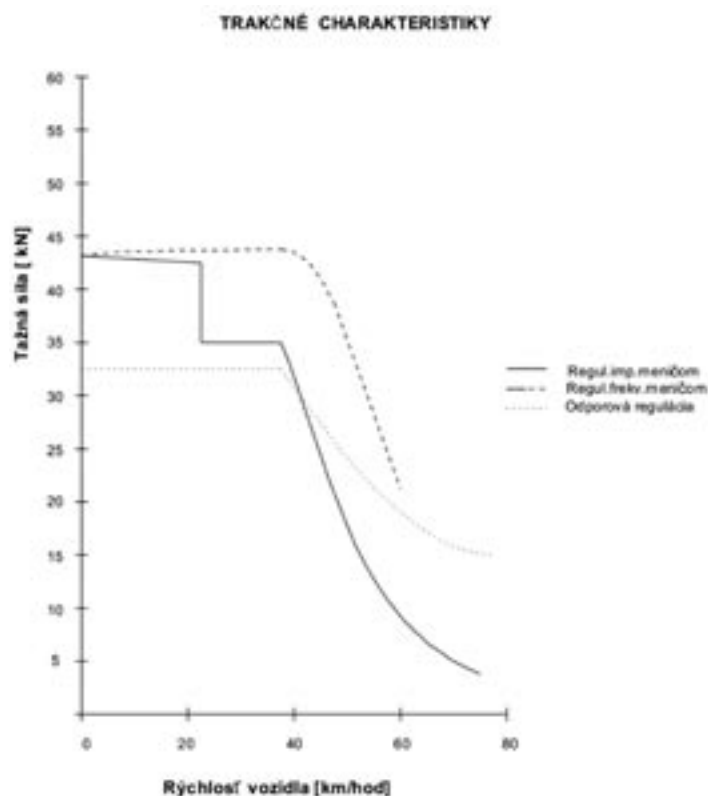
### C. Regulacja za pomocą falownika

Za pomocą falownika zmieniane jest napięcie i częstotliwość przemiennego napięcia, którym jest zasilany silnik asynchroniczny trójfazowy. Regulacja jest praktycznie bez strat w całym zakresie.

Na rysunku 2 są przedstawione maksymalne pomierzone wartości siły pociągowej przy współpracy silnika ATR200I-4 z falownikiem SN400-120, przeliczone na 4 silniki. W rzeczywistości z falownika powinny być zasilane dwa silniki a gwarantowana wartość siły pociągowej będzie o 5÷10% mniejsza, jak na rysunku 2. Ostatni punkt na wykresie odpowiada maksymalnej dopuszczalnej prędkości obrotowej użytego dynamometru. Zakłada-

### Wybrane parametrów silników

Typ	P [kW]	$n_n$ [min <sup>-1</sup> ]	$n_{max}$ [min <sup>-1</sup> ]	Sprawność [%]	$U_n$ [V]	$I_n$ [A]	$f_n$ [Hz]	Masa [kg]
TE022J	40	1750	4200	88,9	300=	150=	0	307
ATR200L-4	50	2075	4200	94,1	3×400	85	70	320



Rys. 2. Charakterystyki trakcyjne

Tažná síla - siła pociągowa, Rýchlosť vozidla - prędkość pojazdu, Regul. imp. meničom - regulacja z impulsowym układem rozruchu i hamowania, Regul. frekv. meničom - regulacja falownikowa, Odporová regulácia - regulacja rezystorowa

ny przebieg charakterystyki hamowania jest podobny, jak w reżimie silnikowym. Falownik umożliwia rekuperację oraz wytracanie nadmiaru energii w rezystorach hamowania. Skomplikowana konstrukcja falownika jest kompensowana faktem usunięcia wszystkich styczników oprócz stycznika sieciowego i stycznika wstępnego ładowania kondensatorów międzyobwodu oraz faktem braku elementów stykowych w falowniku i silniku i sprzyjającą charakterystyką momentu. Dlatego to rozwiązanie jest perspektywiczne i obecnie praktycznie jedyne stosowane.

### Odzyskiwanie energii hamowania w pojazdach komunikacji miejskiej

Elektrycznie napędzane pojazdy komunikacji miejskiej zasilane są z elektrycznej sieci trakcyjnej napięciem stałym 600 V. Potrzebną energię elektryczną pobierają zasilające podstacje trakcyjne z trójfazowej sieci energetycznej o napięciu przeważnie 22 kV 50 Hz, transformują i prostują ją dla systemu trakcyjnego prądu stałego, który poprzez zasilające i powrotne kable zasilają sieć trakcyjną.

Elektryczne silniki trakcyjne pojazdów mają podczas pracy pod napięciem nominalnym wysoką sprawność, nawet najwyższą

pośród wszystkich znanych używanych do napędu typów silników w ogóle, w granicach  $85 \div 90$  %. Tę wysoką sprawność zachowują tylko w przypadku pracy w ekonomicznym zakresie prędkości, tj. przy pełnym napięciu i przy regulowanym wzbudzeniu, w zakresie  $(0,5 \div 1,0) v_{\max}$ .

W celu usunięcia również i tych strat konieczne jest rozwiązanie zdolności przenoszenia przez sieć trakcyjną odzyskanej energii do pojazdów aktualnie odbierających prąd lub oddawania nadwyżek mocy do sieci energetycznej.

Taki stan można osiągnąć przez wzdłużne połączenie odcinków sieci trakcyjnej wyłącznikami ochronnymi co spowoduje wyraźne zwiększenie zdolności sieci trakcyjnej do przenoszenia odzyskanych mocy do pojazdów odbierających prąd i eliminację obciążeń podstacji przez prądy rekuperowane.



Literatura

- [1] Jansa. F.: Rekuperace brzdne energie impulsními měniči u vozidel MHD, Elektrotechnický obzor čís. 7, SNTL Praha, 1980
- [2] EVPU a.s. Nová Dubnica.: Porovnanie vlastností jednosmerných a striedavých pohonov električiek, Podnikový prospekt, 1999
- [3] Prevádzkové údaje mestskej hromadnej dopravy v Košiciach, vydal Dopravné podniky mesta Košice a.s. 1999
- [4] Blaho. J.: Návrhy rekonštrukcie električiek, Podnikový prospekt ŽOS Zvolen, 1999

Tłum. M. Banasiewicz

*Autor*

*inż. Stanislav Malinčík, CSc – Katedra Odnowy Maszyn i Urządzeń Wydziału Mechaniki Uniwersytetu w Żilinie, zajmuje się teorią urządzeń elektrycznych, diagnostyką i badaniami pojazdów szynowych*

*Veľky Diel, 010-26 Žilina, Słowacja, e-mail: stanislav\_malincik@kosz.utc.sk*

➤ *Dokończenie ze s. 47*

skomplikowany charakter, dokumenty prywatyzacyjne przygotowane w trakcie realizacji Programu Wspierania Inicjatyw Prywatyzacyjnych ulegały deaktualizacji. W związku z tym, niektóre przedsiębiorstwa PPKS pomimo posiadania wymaganych prawem analiz, musiały dokonywać ich aktualizacji, którą same finansowały.

### **Zakończenie**

Członkostwo Polski w Unii Europejskiej niewątpliwie stanowić może jeden z najważniejszych etapów historii gospodarczej kraju. Aby możliwa była absorpcja funduszy strukturalnych i funduszu spójności konieczna jest wiedza na temat wielkości środków możliwych do pozyskania oraz znajomość procedur postępowania, umożliwiającą ich faktyczne otrzymanie dla polskiej gospodarki, w tym dla sektora transportu. Właśnie dzięki środkom przedakcesyjnym polska gospodarka transformuje system funkcjonowania, dostosowuje struktury administracyjno-terytorialne do przyszłej akcesji. W dostosowaniu do zasad gospodarki rynkowej uczestniczą również przedsiębiorstwa samochodowego trans-

portu regionalnego, które w przyszłości będą funkcjonować na otwartym rynku europejskim. Na zakończenie warto również zauważyć, że działania w zakresie przygotowania do pełnej akcesji odbywają się w ramach tzw. Sektorowego Programu Operacyjnego – Transport – Gospodarka Morska oraz Strategia Rozwoju Transportu dla Funduszu Spójności. Program ten opracowany przez Departament Rozwoju Ministerstwa Infrastruktury zawiera propozycje wykorzystania środków pomocowych Unii Europejskiej służących współfinansowaniu działań i projektów rozwojowych w sektorze transportu w latach 2004–2006. Służą one realizacji priorytetu Narodowego Programu Rozwoju, jakim jest *Rozwój i modernizacja infrastruktury transportowej i telekomunikacyjnej*, w części dotyczącej infrastruktury transportowej.



*Autorka*

*dr Bożena Grad*

*Politechnika Radomska*