

Stanisław Jurga

Tramwaje NGT-6 w Krakowie

Historia tramwajów niskopodłogowych w Polsce rozpoczęła się nie, jak zwykliśmy sądzić, w ostatnich latach XX w., ale już w 1930 r. Wtedy to, na Międzynarodowych Targach Poznańskich, zaprezentowano tramwajowy wagon doczepny, którego podłoga w części środkowej miała obniżony poziom. Wagon ten został zbudowany w Poznaniu, a obecnie znajduje się w zbiorach Muzeum Komunikacji Miejskiej w Krakowie i stanowi ciekawostkę historyczną.

W kolejnych dziesięcioleciach komfort pasażerów nie stanowił priorytetu w realizowanych koncepcjach rozwoju komunikacji tramwajowej. Problem powrócił po siedemdziesięciu latach. Pojawily się zróżnicowane rozwiązania techniczne tramwajów, które dzięki wprowadzeniu niskiego poziomu podłogi (do 300 mm od główki szyny), stały się przyjazne dla pasażerów w każdym stanie kondycji fizycznej i mogą stanowić konkurencyjny dla samochodu środek transportu w mieście.

W konstrukcjach tego typu taboru występuje znaczne zróżnicowanie dotyczące procentowego udziału niskiej podłogi, zastosowanego rodzaju napędu, systemu aparatury energoelektronicznej oraz materiałów wykorzystanych do wykonania nadwozia tramwaju.

Dokonując wyboru tramwaju, który będzie wykorzystany w systemie transportowym miasta, należy uwzględnić przewidywany przebieg trasy: rodzaj i stan infrastruktury torowo-sięciowej, planowane zapewnienie oraz odległości, na których przemieszczane są najliczniejsze grupy pasażerów. W Krakowie, mieście specyficznym, jeśli chodzi o zabudowę i istniejące potrzeby, przy dokonywaniu wyboru tramwaju spełniającego wymogi dla komfortowego, szybkiego przemieszczania pasażerów, wzięto pod uwagę wszystkie wymienione czynniki.



Fot. 1. Tramwaj NGT-6

Czynniki wyboru tramwaju NGT-6

Uwzględniając istniejące zaplecze techniczne krakowskiego przedsiębiorstwa komunikacyjnego, zrezygnowano z wyboru tramwaju o niskiej podłodze na całej długości wagonu, ponieważ zastosowany przy takiej konstrukcji napęd jest bardzo wyrafinowany, jego obsługa i naprawy w stacjach obsługi tramwajów nie mogłyby przebiegać skutecznie bez bardzo znacznych nakładów inwestycyjnych. Przewidywany proces produkcji tramwaju, w tym wózków, przy znacznym udziale Stacji Obsługi i Remontów MPK, również nie sprzyja takiemu rozwiązaniu. Wybór prostszej opcji pojazdu – tramwaju NGT-6 – ograniczył wydatki na przedsięwzięcia w zakresie przystosowania i modernizacji stanowisk montażowych, diagnostyczno-obsługowych do niezbędnego minimum, które gwarantuje wytworzenie i utrzymanie pojazdów na odpowiednim poziomie technicznym.

Nie bez znaczenia jest też fakt, że ze względu na bardziej złożoną konstrukcję całkowicie niskopodłogowego tramwaju, szczególnie części biegowej, można spodziewać się wielu problemów technicznych i eksploatacyjnych, co w efekcie może skutkować niższą efektywnością wykorzystania tramwaju, a więc stratami.

Usługi przewozowe, świadczone z wykorzystaniem pojazdów o zróżnicowanym poziomie podłogi w wagonie, a także komfort podróży nie odbiegają od poziomu, jaki istnieje w przodujących w dziedzinie transportu tramwajowego miastach Europy.

W tramwaju NGT-6 nadwozie wagonu jest lekką konstrukcją wykonaną ze stali odpornej na korozję. Elementy obłachowania i konstrukcja dachu są połączone metodą spawania, tworzą konstrukcję nośną, zapewniającą maksymalne bezpieczeństwo pasażerów. Dzięki zastosowaniu odpowiednich, nowoczesnych materiałów również izolacja akustyczna i cieplna nie budzi zastrzeżeń. Lekko przyciemniane okna, wklejane w ściany boczne, zapewniają dobrą widoczność zarówno pasażerom stojącym, jak i siedzącym na ergonomicznych, tapicerowanych siedzeniach. Koncepcja okien, w poszczególnych seriach tramwajów już eksploatowanych w Krakowie, jak również produkowanych obecnie, podlegała znacznym modyfikacjom. W pierwszej serii część uchylna okien w przedziale pasażerskim stanowiła tylko niewielką część całej ich powierzchni. Uwagi pasażerów o niewystarczającej wydajności wentylacji spowodowały, że w serii drugiej zastosowano okna ze znacznie zwiększoną częścią otwieralną (przesuwną). Zwiększono również 2-krotnie liczbę wymian powietrza agregatów wentylacji wymuszonej. W serii trzeciej część przesuwna okien stanowi połowę ich powierzchni.

Dla pasażerów niepełnosprawnych, z wózkami i na wózkach, wydzielono odpowiednie miejsca, gdzie mogą bezpiecznie i wygodnie odbywać podróż. Wejście do wagonu z peronu przystankowego nie stwarza trudności podróżującym. Dobrze funkcjonuje system sterowania i zabezpieczenia drzwi pojazdu. Dzięki podwyższeniu podłogi nad wózkami napędowymi tramwaju, w członach skrajnych, stworzono wygodny tzw. „przedział odpoczynku” dla podróżnych pokonujących dłuższe odległości. Pozostały obszar płaskiej, wyłożonej antypoślizgowym materiałem podłogi, umożliwia przewóz na krótkich dystansach znacznej liczby pasa-

żerów na miejscach stojących, gdzie do ich dyspozycji pozostają odpowiednio rozmieszczone poręcze i uchwyty.

Nie można przy tym pominąć bezspornego faktu, że tramwaj o kilkudziesięcioprocentowym udziale niskiej podłogi, jest znacznie tańszy (20–50%) od tramwaju z całkowicie niską podłogą. Przy tym względy użytkowe obu typów tramwajów są porównywalne.

Obserwuje się obecnie, że użytkownicy tramwajów niskopodłogowych obu wersji, a więc z częściową i całkowicie niską podłogą, którzy mogli dokonać obserwacji eksploatacyjnych obu typów, skłaniają się obecnie ku rozwiązaniu, jakie wybrano w Krakowie.

Krakowskie bombardiery mają jeszcze inne niewątpliwe zalety. Są przyjazne dla ludzi, a jak dowodzą badania i pomiary, również dla środowiska. Większość wagonów tramwajowych obecnie eksploatowanych w Krakowie (105N/Na, E1, GT6) posiada rezystorowy układy regulacji rozruchu i hamowania. Nowe generacje tramwajów (NGT-6) budowane są z układami regulacji rozruchu i hamowania wykonanymi w technice tyrystorowej lub tranzystorowej. W trakcie rozruchu w wagonach z rezystorową regulacją rozruchu i hamowania, znaczna część energii niezbędnej do rozpędzenia pojazdu jest wytracana na rezystorach rozruchowych (w celu ograniczenia wysokości napięcia zasilania na silnikach napędowych).

Nowoczesne wagony typu NGT-6 w trakcie rozruchu wykorzystują w 98% pobraną z sieci energię i dodatkowo w trakcie hamowania pulsacyjnie zwracają energię do sieci zasilającej.

Geneza NGT-6

Pomysł zastosowania w komunikacji tramwajowej krótkiego wagonu przegubowego (*Kurzgelenkwagen*) po raz pierwszy pojawił się w Niemczech w latach 50. XX w.

W okresie powojennym w wielu miastach, w których dla sieci tramwajowych wykorzystano tradycyjne układy urbanistyczne z licznymi łukami, przewozy pasażerskie mogły być wykonywane jedynie przez tramwaje dwuosiove. Zastosowanie popularnych przegubowców Duewag, które z powodzeniem używane były w komunikacji podmiejskiej, w ciasnych centrach miast nie było możliwe. Jednocześnie wagony dwuosiove, jako znacznie mniej komfortowe, w coraz mniejszym stopniu były akceptowane przez pasażerów. Koncepcja krótkich wagonów przegubowych stanowiła próbę zaoferowania nowoczesnych warunków podróżowania w miastach posiadających stare sieci tramwajowe.

W wagonach tych zastosowano dwa wózki, po jednym dla każdego z dwóch członów, nie wprowadzono natomiast wózka podtrzymującego przegub. Dzięki temu stało się możliwe skonstruowanie stosunkowo szerokiego pudła wagonu przy małej jego długości. W efekcie pojawił się komfortowy i przestronny tramwaj, przeznaczony do ruchu po ciasnych i krętych ulicach.

Pierwsze takie konstrukcje powstały w Esslingen koło Stuttgartu i przez lata służyły w sieci tramwajowej, przebudowywanej potem na kolejkę miejską.

Podstawą sukcesu takiej konstrukcji było umieszczenie pod podłogą ramy, która była połączona z oboma wózkami oraz, w środku, z przegubem. Zapewniało to właściwe, kontrolowane współdziałanie wszystkich podzespołów i części tramwaju.

W Bremie, w tym samym okresie powstał podobny tramwaj. Został wyprodukowany przez Hansa-Waggonbau wraz z koncernem MAN (znanym obecnie z produkcji autobusów). Różnica po-



Fot. 2. Czoło tramwaju NGT-6



Fot. 3. Wnętrze wagonu – widok z części środkowej w kierunku końca pojazdu

legała na zastosowaniu drążków reakcyjnych w miejsce ciężkiej belki. Konstrukcja okazała się na tyle skuteczna, że wykorzystywaną ją także poza Bremą.

Zapotrzebowanie na nowego typu tramwaje pojawiło się także w Niemczech Wschodnich, głównie w Berlinie. W ramach specjalizacji państw RWPG, to Czechosłowacja miała przygotować wagon przegubowy. W Zakładach TATRA opracowano prototyp takiego tramwaju w 1969 r. Masowa produkcja ruszyła pięć lat później. W tej konstrukcji również zastosowano drążki reakcyjne, które ustawiały pudło wagonu we właściwej pozycji w stosunku do wózków.

W latach 70. podjęto próbę udoskonalenia konstrukcji tramwaju przegubowego. Zamiast dotychczasowych drążków reakcyj-

nych, wprowadzono hydrauliczny układ regulacji wzajemnego ustawienia członów pojazdu. Nowe tramwaje były produkowane (1973–1977) przez Wegmann & Co dla Bremy. Niestety hydraulika sprawiała wiele problemów, więc ostatecznie zostały one przebudowane na tradycyjne drążki.

W 1986 r. w Bremie rozpoczęto próbną eksploatację tramwaju trójczłonowego. Dzięki temu prototypowi zebrano eksploatacyjne doświadczenia, które pozwoliły na skonstruowanie w 1990 r., odpowiadającego nowym trendom w miejskiej komunikacji szynowej, tramwaju przegubowego o niskiej podłodze. Został on oznaczony symbolem NGT-6N lub NGT-6M (N oznacza tramwaj na tor o rozstawie szyn 1435 mm, M – 1000 mm).

Były to pierwsze niskopodłogowe tramwaje, które bazowały na koncepcji krótkich wagonów przegubowych. Były one wyposażone w wózki skrętne, a człony były powiązane ze sobą za pomocą siłowników hydraulicznych, które bardzo starannie opracowano. W efekcie powstał udany tramwaj, który podbił nie tylko Bremę, ale również Berlin, Monachium, Norymbergę oraz kilka mniejszych miast. Podobną konstrukcję zaoferował również Dewag dla Frankfurtu nad Menem, ale zastosowane w jego pojazdach rozwiązanie układu hydraulicznego okazały się zawodne.

Konstrukcja tramwaju przegubowego podlegała stałemu doskonaleniu i unowocześnianiu. Pojawiły się wersje dwuczłonowe oraz czteroczłonowe. Wprowadzenie tej ostatniej wymagało opracowania rozwiązań zabezpieczających przed niekontrolowanymi zachowaniami czterech sprzężonych ze sobą członów. Problem rozwiązano eliminując hydrauliczne siłowniki między członami 2 i 3. Współczesny, czteroczłonowy tramwaj składa się z dwóch dwuczłonowych wagonów połączonych elastycznie między sobą na wzór przejścia między wagonami kolejowymi.

Pierwotnie producentem tych pojazdów był MAN, dzisiaj, po zmianach własnościowych, jest nim Bombardier.

Konstrukcję tramwajów opartą na opisanej technologii można rozwijać i do pierwotnej koncepcji wprowadzać zmiany. Jedną z możliwości jest wykorzystanie trzech członów z wózkami i uzupełnienie ich dwoma członami wiszącymi, dzięki czemu uzyskuje się znaczne wydłużenie wagonu. Mankamentem takiego rozwiązania jest zwiększenie hałasu emitowanego przez przejeżdżający tramwaj, wywołane zwiększeniem nacisku na tor. Takie problemy występują jednak również przy innych tramwajach wieloczłonowych.

Tramwaj może być wyposażony w licencyjne ruchome wózki oraz układ np. siłowników hydraulicznych, zapewniających właściwe ustawienie pudła wagonu. Stopień wychylenia członów pudła wagonu musi być sterowany. Dzięki temu możliwe jest wyeliminowanie oscylacji pudeł względem siebie. Zapewnia to spokojny bieg oraz prawidłowe zachowania w ciasnych łukach sieci torowej. Tramwaj może mieć nawet 32 m długości i przewozić ponad 200 pasażerów.

Krakowski NGT-6

Przegubowy 3-członowy tramwaj NGT-6 to pojazd jednokierunkowy, z możliwością awaryjnej jazdy do tyłu.

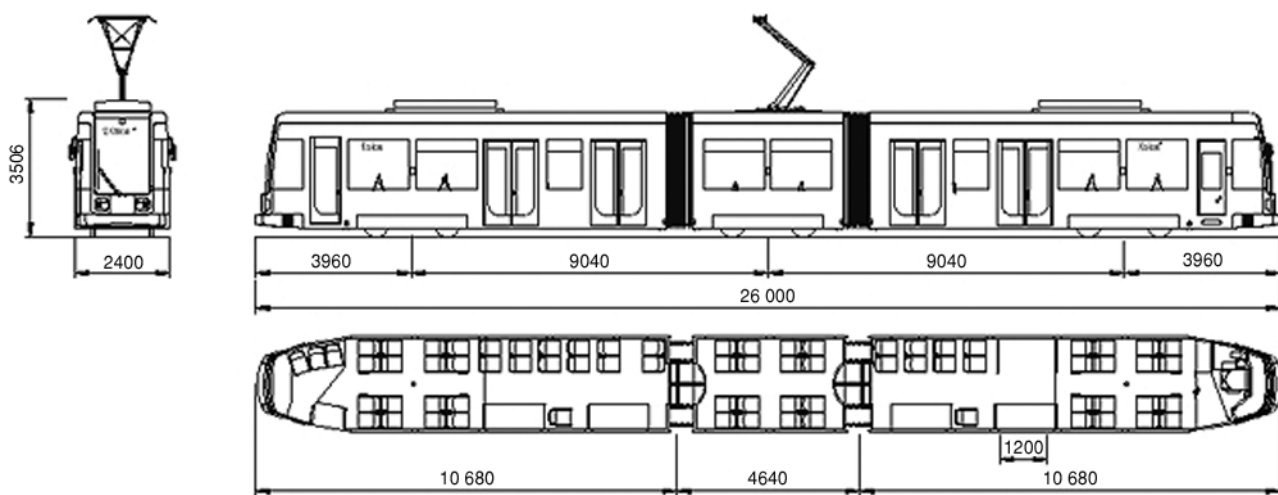
Nadwozie – pudło tramwaju zaprojektowano i wykonano jako lekką konstrukcję stalową ze spawanych, odpornych na korozję elementów. Szyby przyciemniane ze względu na ograniczenie emisji promieniowania słonecznego do wnętrza wagonu stanowią integralną część nadwozia i są wklejane w konstrukcję pudła. Z przodu i z tyłu są one wykonane jako bezpieczne ze szkła klejonego. Dodatkowo szyba tylna jest ogrzewana. Wszystkie okna spełniają wymagane normy bezpieczeństwa.

Właściwą izolację cieplną i akustyczną zapewnia wagonowi wielowarstwowo wykonany dach oraz podłoga wyklejona wykładziną kauczukową.

Cztery 2-skrzydłowe i jedno 1-skrzydłowe drzwi, przesuwane na zewnątrz wagonu, zapewniają szybką i bezpieczną wymianę pasażerów na przystankach. Wysokość wejścia wynosi 290 mm nad główką szyny i umożliwia wsiadanie, wysiadanie osobom starszym i niepełnosprawnym oraz wjazd wózków dziecięcych i inwalidzkich.

Obszar niskiej podłogi w wagonie zajmuje ok. 65% ogólnej. Komfort podróży na miejscach siedzących zapewniają wygodne i ergonomiczne siedzenia pokryte wykładziną odporną na akty wandalizmu, w barwach konwenujących z kolorystyką całego pojazdu. Dla zapewnienia właściwych, odpowiednich do pory roku i dnia, warunków komfortu cieplnego zamontowano na dachu w przedniej i tylnej części wagonu wysokowydajne urządzenia wentylacyjne, które, w połączeniu z grzewczymi urządzeniami akumulacyjnymi pod siedzeniami, zapewniają spełnienie wymagań pasażerów.

Istotne dla podróżujących znaczenie ma nowoczesny system informacyjny. Składa się on z elementów wizualnych i akustycznych, skierowanych na zewnątrz i do wnętrza tramwaju, sterowa-



Rys. 1. Schemat tramwaju



Fot. 4. Przegubowe przejście z automatem biletowym



Fot. 5. Układ siedzeń w wagonie końcowym

nych ze stanowiska prowadzącego za pośrednictwem pokładowego komputera.

Koncepcja, zrealizowana w już dostarczonych, i będących w fazie produkcji tramwajach, prócz zapewnienia komfortowych warunków podróżowania, obejmuje również stworzenie bardzo wysokiej dyspozycyjności ruchowej, przy ograniczonych do minimum zabiegach technicznych, przeglądach okresowych i naprawach. Służą temu:

- odpowiednia konfiguracja napędu, w której każdy silnik trakcyjny jest zasilany poprzez własną przetwornicę, zaopatrzoną w system sterujący; czuwa nad tym, obsługiwany przez komputer, system diagnostyki z pamięcią zdarzeń; elementy układu umieszczono w kontenerach na dachu tramwaju ponad przednim i tylnym wózkiem napędowym;
- każdy niezależny system napędowy składa się z trakcyjnego przemiennika częstotliwości z własnym sterownikiem napędu IGBT, oporem hamowania, modułem sterującym i elementami funkcyjnymi oraz z zespołu silnik–przekładnia w wózku napędowym;
- wysokiemu komfortowi jazdy sprzyja regulacja napędu, zapewniająca łagodne ruszanie i hamowanie pojazdu; istnieje przy tym możliwość przekazywania odzyskanej energii hamowania z powrotem do sieci zasilającej, zmniejszając tym samym zużycie energii;
- dwa wózki napędowe pod skrajnymi członami są wyposażone w indywidualny, poprzeczny napęd oraz asynchroniczne, 3-fazowe silniki prądu przemiennego;

- zabudowany pod strefą niskopodłogową wózek toczny ma osadzone na wykorbionej osi luźne koła; wszystkie koła odsprężynowane mają, co jest szczególnie istotne w eksploatacji, jednakową średnicę;
- pewność hamowania i uzyskiwanie wymaganych przepisami parametrów zapewnia odpowiedni system; hamowanie podstawowe realizowane jest jako elektrodynamiczne, a współdziałają z nimi mechaniczne hamulce tarczowe z elektronicznym zabezpieczeniem przed poślizgiem; hamulce wspomagane są dodatkowo systemem piasecznic dozujących automatycznie piasek w przypadku utraty przyczepności i poślizgu przez koła.

Wszystkie wózki wyposażone są w hamulce szynowe.

Kabinę motorniczego, łącznie z fotelem, wykonano według najnowszych zaleceń ergonomii, zgodnie ze światowymi standardami w tej dziedzinie. Odseparowana od pozostałej części wagonu, z oddzielnym wejściem – wyjściem na zewnątrz i do środka wagonu oraz możliwością komunikacji głosowej z pasażerami, posiada indywidualny system wentylacji i ogrzewania. W serii trzeciej, także układ klimatyzacji. Znaczny stopień przeszklenia zapewnia pełną widoczność we wszystkich kierunkach, zaś sterowane z pulpitu lusterka zewnętrzne pełną kontrolę drzwi tramwaju, niezależnie od warunków atmosferycznych.

W najnowszej serii tramwajów wprowadzony został system monitoringu wnętrza pojazdu, umożliwiający również śledzenie i rejestrowanie zdarzeń przed wagonem.

Parametry techniczne i ich ocena w aspekcie użytkowym

Tabela 1

Podstawowe dane dane techniczne NGT-6 Kraków

Długość	[mm]	26 000
Szerokość	[mm]	2400
Wysokość	[mm]	3455
Wysokość podłogi od główki szyny nad wózkami napędowymi w strefie niskopodłogowej przy wejściu	[mm]	560
	[mm]	360
	[mm]	290
Minimalny promień łuku poziomego	[mm]	18 000
Maksymalna prędkość	[km/h]	80
Liczba miejsc	ogółem	182
	do siedzenia	82
	do stania	100
Masa	całkowita	[kg] 46 650
	pustego pojazdu	[kg] 30 000
	użytkowa	[kg] 16 150
Odległość między osiami wózka	[mm]	1800
Średnica koła	nowego	[mm] 590
	zużytego	[mm] 510
Hamulec szynowy	[kN]	6 × 60
Ogrzewanie i wentylacja		8 urządzeń grzewczych pod siedzeniami, 3 dachowe urządzenia nawiewne
Charakterystyka napędu		4 silniki asynchroniczne prądu trójfazowego, każdy 125 kW, z własnym przewietrzaniem
Sterowanie i hamowanie		selektywne na każdy silnik, tzn. 4 przetwornice impulsów bezpośrednich

Tabela 2

Dostawy tramwajów NGT-6 dla Krakowa

	Lata	Sztuk
Seria I	1999–2000	14
Seria II	2003	12
Seria III	2007–2008	24

Tramwaj, ze względu na zastosowane rozwiązania i system sterowania, doskonale nadaje się do realizacji przewozów w warunkach naszego miasta.

Bardzo istotnym zagadnieniem jest obciążenie podstacji trakcyjnych przez ruszające wagony. Podczas, gdy wagony z rozruchem rezystorowym pobierają z sieci trakcyjnej największy prąd od startu do ok. 27–30 km/h (obciążenie skokowe) i dopiero od tej prędkości maleje obciążenie podstacji; wagony NGT-6, z impulsową regulacją napędu, ze względu na małe straty przetwarzania energii, pobierają jej z sieci trakcyjnej tyle, ile jest niezbędne.

Wprowadzanie wagonów z nowoczesną regulacją prędkości, opartą o zastosowanie układów energoelektronicznych, z jednoczesną eliminacją tramwajów z regulacją rezystorową, zmniejsza ilość potrzebnej energii przy porównywalnej zdolności przewozowej. Jednocześnie, szczególnie na trasach o dużej dynamice ruchu na wydzielonych torowiskach, przy uprzywilejowanych przejazdach i odpowiedniej organizacji ruchu, takie wagony zmniejszają poziom chwilowych przeciążeń podstacji trakcyjnych.

Dodatkowym argumentem uzasadniającym wprowadzenie do eksploatacji nowoczesnych tramwajów NGT-6 jest fakt, że wymagają one mniejszego nakładu pracy nad utrzymaniem w sprawności, mogą być lepiej wykorzystywane w ruchu, z powodzeniem więc zastępują większą liczbę taboru starszej generacji.

Dotychczasowe doświadczenia potwierdziły w całej pełni słuszność dokonanego wyboru typu tramwajów niskopodłogowych. Sprawdził się również sposób ich produkcji, zakładający montaż finalny w MPK Kraków.

Nieliczne mankamenty, sygnalizowane przez użytkowników, zostały w drugiej i trzeciej serii praktycznie wyeliminowane.

Wszystko wskazuje na to, że tramwaj NGT-6, będący pomostem dla komunikacji miejskiej Krakowa w XXI w., stanowić będzie również przełom dla eksploatacji następnych, jeszcze bardziej wyrafinowanych technicznie środków transportu szynowego.

