

BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA TROLEJBUSU NA PRZYKŁADZIE SOLARIS TROLLINO 12

W artykule została omówiona budowa trolejbusu oraz zasada działania tego środka transportu zbiorowego. Opisano także szczegółowo wszystkie charakterystyczne podzespoły wchodzące w jego skład. Przedstawione zostały rodzaje napędów jakie stosuje się w trolejbusach, wraz z uwzględnieniem zagadnień związanych z ich eksploatacją. Artykuł porusza także zagadnienie sieci trakcyjnej jako elementu niezbędnego do zaistnienia i prawidłowego działania komunikacji trolejbusowej w danym obszarze miejskim. Sieć trakcyjna omówiona została szczegółowo zarówno pod względem aspektów technicznych jej konstrukcji jak i ogólnej zasady funkcjonowania.

WSTĘP

Trolejbusy to środki transportu zbiorowego, które posiadają układy napędowe wykorzystujące energię elektryczną. Trolejbusy budowane są najczęściej na podstawie konstrukcji różnych modeli autobusów, jednakże posiadają przy tym wiele charakterystycznych dla siebie, unikalnych elementów. System komunikacji trolejbusowej, aby mógł funkcjonować wymaga wybudowania specjalistycznej infrastruktury jaką stanowi sieć trakcyjna. Sieć trakcyjna zasilana jest prądem stałym o napięciu 600 V. Komunikacja trolejbusowa obecnie coraz bardziej zyskuje na znaczeniu, głównie z uwagi na fakt, iż jest to przyjazny środowisku rodzaj transportu. Trolejbus nie emituje bezpośrednio żadnych spalin, co ma bardzo duże znaczenie w wymiarze stosowania tego rodzaju środka transportu na obszarze miasta. Obecnie na obszarze Polski systemy komunikacji trolejbusowej występują na obszarach jedynie trzech aglomeracji miejskich do których zaliczamy: Lublin, Gdynię oraz Tychy. Bardzo dobrym przykładem jest miasto Lublin, w którym w ostatnich latach dzięki wykorzystaniu funduszy pochodzących z Unii Europejskiej nastąpił znaczny rozwój i wzrost znaczenia tego rodzaju komunikacji. Przeprowadzono modernizację wszystkich elementów składających się na system trolejbusowy począwszy od infrastruktury takiej jak sieć trakcyjna, podstacje, przystanki, skrzyżowania i ulice poprzez zakup nowych środków transportu, aż po wybudowanie nowej zajezdni trolejbusowej i organizację odpowiedniego Systemu Zarządzania Ruchem. W ten sposób osiągnięto znaczny wzrost efektywności oraz niezawodności działania systemu komunikacyjnego przy jednoczesnym maksymalnym zmniejszeniu jego niekorzystnego wpływu na środowisko naturalne.

1. BUDOWA ORAZ ZASADA DZIAŁANIA TROLEJBUSÓW

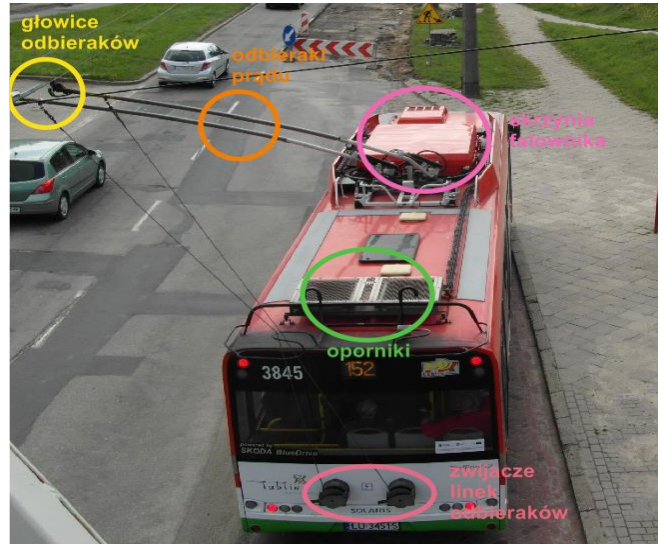
Trolejbusy są pojazdami komunikacji zbiorowej wyposażonymi w napęd elektryczny, które zasilane są za pośrednictwem sieci trakcyjnej. Do zasilania trolejbusów wykorzystuje się prąd stały o napięciu 600 voltów. Najczęściej występującym rodzajem napędu jest silnik centralny, który za pośrednictwem wału napędowego przekazuje siłę napędową na oś napędową. W celu umożliwienia sterowania silnikiem każdy trolejbus wyposażony jest w aparaturę przetwarzającą pobierany prąd w sposób pozwalający na rozruch,

płynną jazdę oraz hamowanie. Współczesne trolejbusy są pojazdami nowoczesnymi, posiadającymi wiele udogodnień zapewniających ich funkcjonalność i niezawodne działania. Obecnie najczęściej trolejbusy wykorzystują konstrukcje autobusów, które są odpowiednio przystosowywane i zabudowywane. W latach wcześniejszych natomiast trolejbusy powstawały wykorzystując dedykowane nadwozia, które produkowane były najczęściej przez producentów trolejbusów.

Specyfika konstrukcji trolejbusu wymaga stosowania odpowiednich komponentów, które spełniają właściwe dla siebie zadania:

- Silnik elektryczny – jest źródłem napędu trolejbusu, w silniku energia elektryczna doprowadzana z sieci trakcyjnej zamieniana jest na energię mechaniczną napędzającą koła pojazdu. Zasada działania silnika opiera się na wykorzystaniu przewodników i zjawisk elektromagnetycznych: pole elektryczne stojąca znajdującego się w silniku pozwala na wprawienie w ruch wirnika, który uzyskuje ruch obrotowy. Współcześnie w trolejbusach powszechnie stosowane są silniki prądu zmiennego, które wypierają silniki prądu stałego szczególnie z uwagi na ich wysoką sprawność i bezobsługowość.
- Falownik (rys. 1, 2) – jest to urządzenie zapewniające możliwość przekształcenia prądu stałego pochodzącego z trójfazowej sieci trakcyjnej na prąd zmienny. Każdy falownik posiada sterownik, który w zależności od sposobu w jaki jest zaprogramowany realizuje określony program przekształcania prądu stałego na zmienny. Warto podkreślić, iż falowniki stosowane są w nowych pojazdach posiadających napęd asynchroniczny, w starszych pojazdach natomiast występowały przerywacze (tranzystorowe lub tyrystorowe) lub nastawniki, których działanie oparte jest na załączaniu styczników oporników rozruchowych według konstrukcyjnie przewidzianej sekwencji.
- Oporniki rozruchowe (rys. 2) – podstawową funkcją oporników jest obniżanie napięcia podczas rozruchu trolejbusu lub wytracanie energii hamowania w postaci ciepła. W przypadku starszych konstrukcji wykorzystywane były do obniżania napięcia podczas rozruchu, lecz z uwagi na nieekonomiczność takiego rozwiązania obecnie stosowane są w celu wytracania energii hamowania. Oporniki wykonywane są z żelaza, które z uwagi na swoją dużą oporność w porównaniu do miedzi, z której produkowane są przewody elektryczne pozwala na wytracanie energii w postaci ciepła.

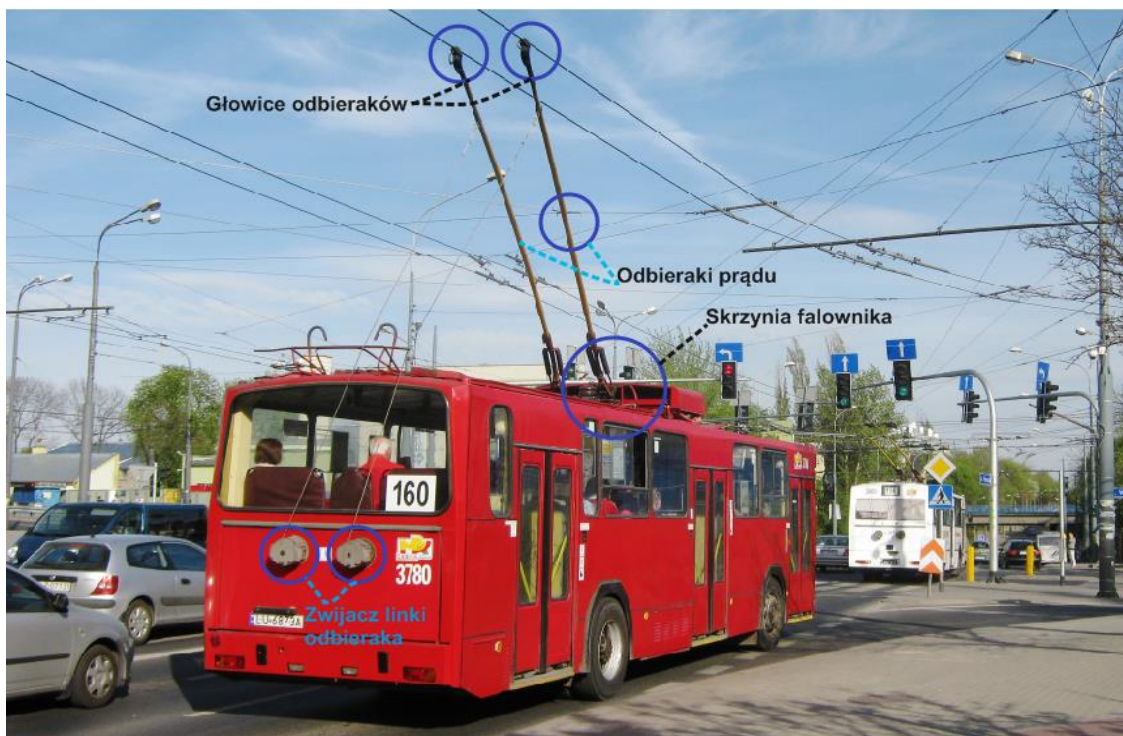
- Przetwornica – jest to urządzenie pozwalające na zmianę napięcia pochodzącego z sieci na napięcie o wartości typowej dla samochodów (24V), co zapewnia możliwość zasilania dla wszystkich urządzeń sterujących, ogrzewania, oświetlenia, oraz całego zainstalowanego osprzętu elektrycznego. Przetwornice montowane są najczęściej na dachach pojazdów.
- Odbierak prądu (rys. 1, 2) – jest to najbardziej charakterystyczny element trolejbusu. Jego konstrukcję stanowi drążek umożliwiający podłączenie trolejbusu do przewodów trakcyjnych. Odbieraki wykonywane są najczęściej z tworzyw sztucznych co zapewnia ich lekkość, trwałość i nieodkształcalność. W skład konstrukcji odbieraka możemy zaliczyć obrotową podstawę, drążek oraz głowicę wyposażoną w ruchomy element odbierający prąd. Podstawa odbieraka umożliwia jego obrót na boki oraz w pionie, przy jednoczesnym odizolowaniu od dachu trolejbusu, w jej skład wchodzi także system sprężyn, które mają za zadanie zapewnienie właściwego docisku odbieraka do przewodów sieci trakcyjnej. Wewnątrz drążka umieszczony jest kabel, który umożliwia przepływ prądu pomiędzy głowicą odbieraka a przewodami wysokiego napięcia w trolejbusie.
- Głowica odbieraka (rys. 1, 2) – jest elementem odbieraka, który pracuje w bezpośrednim kontakcie z przewodami linii trakcyjnej, z tego względu podstawową funkcją głowicy odbieraka stanowi obejmowanie przewodu linii trakcyjnej, co umożliwia pobór energii elektrycznej. W głowicy umieszczona jest wkładka wykonana z grafitu, która stopniowo ściera się w ciągu użytkowania, cechując się jednocześnie bardzo dobrą przewodnością energii elektrycznej. Opisywana wkładka umieszczona jest w rynience wchodzącej w skład ruchomej części głowicy, która to z kolei zamontowana jest na nasadce zaciskanej śrubami na końcówce drążka. Ruchoma część głowicy jest zdolna do obracania się na boki, dzięki czemu odbierak może odchyłać się od sieci trakcyjnej. Jednocześnie kształt całej głowicy, a także długość grafitowej wkładki przekłada się bezpośrednio na przyleganie podbieraka oraz jego podatność na wypadanie z sieci trakcyjnej.
- Linka oraz zwijacz linki odbieraka (rys. 1, 2) – zapewnia napięcie linki pozwalającej na ściąganie odbieraka z sieci, podczas dłuższych postojów trolejbusu. Linki wykorzystywane są także do zakładania odbieraków po ich awaryjnym wypadnięciu z sieci, jednakże w dzisiejszych konstrukcjach problem ten został niemal całkowicie wyeliminowany. Manewrowanie odbierakami może być pomocne także w przypadku konieczności wyminięcia się trolejbusów lub ręcznego przełożenia odbieraków na inny tor sieci w przypadku nie zadziałania zwrotnicy [3,4].



Rys. 2. Zdjęcie trolejbusu Solaris Trollino 12 z zaznaczonymi elementami trolejbusu: głowica odbieraka, odbieraki prądu, skrzynia falownika, oporniki, zwijacz linki odbieraka, źródło: fotografia Jakub Kozak, schemat Anna Zalewska

2. ZASADA DZIAŁANIA TROLEJBUSU

Działanie trolejbusu oparte jest na wykorzystywaniu zjawisk fizycznych związanych bezpośrednio z przepływem prądu elek-



Rys. 1. Zdjęcie zabytkowego trolejbusu z zaznaczonymi elementami trolejbusu: głowica odbieraka, odbieraki prądu, skrzynia falownika, zwijacz linki odbieraka, źródło: fotografia Michał Krawczyk, schemat Anna Zalewska

trycznego. Energia elektryczna znajdująca się w sieci trakcyjnej jest doprowadzana do silnika poprzez odbieraki i przewody zasilające. Wewnątrz silnika znajdują się ruchomy wirnik oraz nieruchomy stojan posiadający uzwojenie magnetyczne ukształtowane w bieguny. Zasilenie stojana prądem elektrycznym powoduje powstanie pola magnetycznego, które to oddziałując na ruchomy wirnik wprawia go w ruch obrotowy dzięki wytworzeniu się siły elektromotorycznej. Ruch obrotowy wirnika powoduje, że silnik staje się źródłem napędu, który poprzez wał doprowadzony zostaje do przekładni osi napędowej trolejbusu, skąd trafia do pól osi i ostatecznie do kół, które wykorzystując tarcie powstające w punkcie styku z nawierzchnią jezdni wprawia trolejbus w ruch. Warunkiem poruszania się trolejbusu jest konieczność pokonania wszystkich oporów powstrzymujących pojazd przed ruchem, do których możemy zaliczyć:

- Opór bezwładności powstający przy rozpędzaniu pojazdu,
- Opór powietrza,
- Opór wzniesienia powstający przy pokonywaniu wzniesień,
- Opór tarcia występujący na styku kół z nawierzchnią,
- Opory mechaniczne przekładni,
- Opory występujące w łożyskach.

Trolejbus, żeby zaczął przyspieszać musi pokonać mocą swojego silnika wszystkie, zsumowane ze sobą opory, w przypadku gdy wartość oporów jest równa mocy silnika pojazd będzie poruszał się ze stałą prędkością, jeżeli natomiast wartość oporów przekroczy daną moc silnika będzie zmniejszał prędkość. W związku z powyższym można zauważyć, iż w ujęciu dynamicznym przy przyspieszaniu niezbędne jest osiągnięcie odpowiedniej nadwyżki mocy. W tym miejscu warto podkreślić fakt istnienia zależności powodującej ograniczenie maksymalnej prędkości trolejbusu, która wynika z faktu, że wraz ze wzrostem wartości przyspieszenia pojazdu następuje proporcjonalny wzrost oporów, szczególnie oporu powietrza. Wyżej wymieniona maksymalna prędkość wynika bezpośrednio z właściwości danego silnika, który to posiada charakterystyczną dla siebie wartość mocy maksymalnej, a także tzw. mocy godzinnej. Pod pojęciem mocy godzinnej mieści się średnia moc, z którą dany silnik może pracować przez jedną godzinę nie ponosząc ryzyka przegrzania się. Właściwość ta jest istotną z uwagi na aspekty eksploatacyjne silników, które to zmuszone są do nieustannej pracy w ruchu miejskim. Specyfika takich warunków eksploatacji wymusza ciągle zatrzymywanie się i ponowny rozruch silnika, co powoduje ryzyko jego przegrzewania się. Dodatkowo w silnikach stosowane są pomocniczo układy chłodzenia oparte na: naturalnym przewietrzaniu, chłodzeniu powietrzem przy pomocy wentylatora, lub wymuszonym chłodzeniu wodnym. Przegrzanie się silnika może spowodować jego uszkodzenie powodujące całkowitą niesprawność, polegające na zniszczeniu uzwojenia w stojanie [2,3,4].

3. RODZAJE NAPĘDÓW STOSOWANYCH W TROLEJBUSACH

Każdy trolejbus musi posiadać napęd, który zapewni możliwość jego poruszania się. Głównym podzespołem w układach napędu jest silnik oraz aparatura sterująca, która jest niezbędna do zapewnienia prawidłowej pracy i możliwości jego sprawnego wykorzystania. Wraz z upływem lat stosowane jest wiele rozwiązań w zakresie sterowania silników, które zapewnić mają wysoki poziom niezawodności, precyzji oraz umożliwić osiągnięcie jak najniższego poziomu zapotrzebowania na energię. Regulacja mocy z jaką pracuje silnik opiera się na dokonywaniu zmian zarówno w wartościach natężenia jak i napięcia prądu. W przypadku konstrukcji wykorzystujących prąd zmienny dodatkowo istotna jest także częstotliwość prądu zasilającego. Specyfikacja trolejbusów wymaga także zastosowania właściwego rodzaju aparatury rozruchowej. Tego typu

rozwiązanie ma na celu przede wszystkim obniżenie napięcia zasilającego w początkowej fazie rozruchu, gdyż bezpośrednie podłączenie silnika do wysokiego napięcia zasilającego mogłoby skutkować jego całkowitym zniszczeniem. W przypadku gdy weźmiemy pod uwagę silniki wykorzystujące prąd zmienny niezbędne jest zastosowanie falownika posiadającego zmienne parametry pracy.

Układy ze sterowaniem opornikowym – ten typ układów jest najdłużej stosowany i posiada nieskomplikowaną konstrukcję. Podstawę tego typu układu stanowi silnik elektryczny prądu stałego, najczęściej w układzie szeregowym, niekiedy także w układzie szeregowo-bocznikowym. W obwodzie silnika umieszczone są oporniki, które mają za zadanie przede wszystkim ograniczanie prądu dopływającego do silnika w początkowej fazie. Działanie opisywanego układu polega na zwarceniu oporników poprzez włączenie styczników przy zachowaniu właściwej kolejności, co pozwala na uzyskanie właściwego przepływu prądu. W ten sposób możliwe jest uzyskanie stałej średniej wartości natężenia prądu. Stopniowe zwieranie oporników powoduje równoczesne stopniowe zwiększanie się napięcia, aż do osiągnięcia napięcia o wartości maksymalnej wynoszącej 600 woltów. Od tego momentu trolejbus przyspiesza zgodnie z charakterystyką naturalną silnika, która zakłada stopniowy wzrost prędkości przy jednoczesnym zmniejszaniu się wartości mocy. Wyżej opisana zależność jest charakterystyczna dla układów opartych na silnikach szeregowych, które to cechuje zdolność do samodzielnego dostosowywania się do zmiennego obciążenia. W celu dalszego zwiększenia prędkości niezbędne jest zmniejszenie natężenia pola magnetycznego stojana co skutkuje osłabieniem wzbudzenia. Osiągnięcie prędkości maksymalnej wymaga zrównania się wartości oporów ruchu z maksymalną mocą silnika trolejbusu. Sterowanie opornikowe cechuje się występowaniem dużych strat mocy, która tracona jest w postaci ciepła w nagrzewających się podczas rozruchu opornikach. Dodatkowym mankamentem opisywanego rozwiązania jest także występowanie szarpnięć przy ruszaniu pojazdu z miejsca odbija się negatywnie na komforcie podróży. Zjawisko to wynika bezpośrednio z wyłączenia się oporników z obwodu w sposób skokowy. Układy wykorzystujące sterowanie opornikowe były szeroko stosowane przez dziesięciolecia w różnorodnych modelach trolejbusów takich jak np.: Ransomes, JaTB-2, Skoda 8Tr, Skoda 9Tr, ZIU 682, Jelcz PR110E(rys. 3), Jelcz 120MT, czy też Mercedes O405NE [1,2,4].



Rys. 3. Jelcz PR110E, fotografia: Michał Krawczyk

Układy ze sterowaniem tyrystorowym – konstrukcje tego typu zakładają zastosowanie rozwiązania polegającego na modernizacji obwodu sterującego silnika poprzez zastąpienie oporników tyrystorowymi przerywaczami. Sterowanie tyrystorowe, podobnie jak sterowanie opornikowe opiera się na uzyskaniu efektu obniżenia na-

pięcia, jednakże eliminuje przy tym występowanie strat wynikających z emisji ciepła, a także pozwala na uzyskanie bardziej płynnego rozruchu. Wyżej opisane właściwości skutkują poprawą aspektów ekonomicznych, gdyż eksploatacja tego typu pojazdów niesie za sobą oszczędność zużycia energii oraz poprawę opłacalności ich stosowania. Jak wadę stosowania tego rodzaju sterowania należy wskazać przede wszystkim wysoki stopień skomplikowania konstrukcji układu tyrystorowego oraz mniejszy zakres możliwości sterowania w porównaniu do układów tranzystorowych. W pierwszych tego typu układach wykorzystywano przede wszystkim standardowe tyrystory, jednakże wraz z upływem czasu były one stopniowo zastępowane poprzez tyrystory GTO, które to umożliwiają wyłączanie poprzez prąd bramki. Jako przykłady konstrukcji wykorzystujących opisywane rozwiązanie możemy wskazać przede wszystkim trolejbusy takie jak: WPK/Karosa SM 11 (pierwsza tego typu polska konstrukcja), Jelcz PR110T (pierwsza tego typu polska konstrukcja seryjna), Skoda 21Tr a także Jelcz 120MT (seria lubelska) – rys. 4 [1,2,6].



Rys. 4. Jelcz 120MT, fotografia: Michał Krawczyk

Układy ze sterowaniem tranzystorowym – tego typu konstrukcje wywodzą się bezpośrednio z układów tyrystorowych, jednakże w miejscu tyrystorów korzystają z bardziej efektywnych tranzystorów IGBT. Sterowanie tranzystorowe znacznie poprawia aspekty eksploatacyjne, gdyż pozwala na uzyskanie w pełni płynnego rozruchu oraz elektryczne hamowanie odzyskowe w całym zakresie prędkości. Zastosowane tranzystory cechują się stosunkowo małą masą i możliwością precyzyjnej regulacji, co bezpośrednio przekłada się na poprawę dynamiki jazdy. Wadą tego rodzaju konstrukcji jest przede wszystkim koszt konieczności ciągłej kontroli i wymiany szczotek węglowych, które współpracują z komutatorem. Sterowania tranzystorowe zastosowano w pojazdach takich jak: Solaris Trollino 12T, Jelcz M121E – rys. 5 (pierwszy tego typu trolejbus w Polsce posiadający napęd opracowany przez Instytut Elektrotechniki w Międzylesiu), a także eksploatowany w Lublinie Jelcz 120MTE.



Rys. 5. Jelcz M121E, fotografia: Michał Krawczyk

Napędy asynchroniczne – jest to rodzaj napędów, które obecnie stosowane są jako standardowe. Silnik asynchroniczny będący silnikiem prądu zmiennego pozwala na uzyskanie wysokiej sprawności, przy jednoczesnym zachowaniu dużo mniejszej masy niż silnik prądu stałego. Sterowanie tego typu silnikiem wymusza dokonywanie zmian zarówno natężenia i napięcia prądu, jak i częstotliwości przez co musi odbywać się we wszystkich trzech fazach zasilania. W skład tego rodzaju układu wchodzi elementy takie jak: silnik asynchroniczny, sterownik oraz falownik, który zmienia prąd stały z sieci na prąd zmienny o sterowanych parametrach. Praca tego typu układu napędu nadzorowana jest przez sterownik, który realizuje cały proces tak, aby uzyskać jak najszybszy i najbardziej oszczędny rozruch silnika. Sterownik posiada zaprogramowane przebiegi, oraz dokonuje odczytu parametrów z zainstalowanych czujników, dzięki czemu dobiera odpowiednie wartości poszczególnych parametrów pracy. Jako największy mankament tego rozwiązania należy wskazać przede wszystkim jego wysoką cenę, jednakże jego zalety takie jak najtańsza eksploatacja oraz bezobsługowość skutkują, że jest to rozwiązanie, które wybierane jest zdecydowanie najczęściej. Wystarczy wspomnieć, iż tego typu rozwiązanie stosowane jest obecnie przez wszystkie przedsiębiorstwa trolejbusowe na terenie Polski. Jako przykłady pojazdów z takim napędem wymienić należy przede wszystkim trolejbusy: Solaris Trollino 12AC (pierwszy w Polsce trolejbus z takim napędem, który zadebiutował na ulicach Gdyni w 2003 roku), czy też Mercedes O405N2AC.

Napędy z silnikami synchronicznymi – tego typu napędy opierają się na wykorzystaniu w silniku wirnika posiadającego wbudowane magnesy trwałe. Silniki tego typu mają bardzo małe rozmiary przez co bardzo często instalowane są w piastach kół, jednakże moc osiągnięta przez nie może osiągać bardzo wysokie wartości. Obecnie jest to rozwiązanie jeszcze rzadko spotykane, głównie z uwagi na jego wysoką cenę. Przykładowym pojazdem wykorzystującym tego typu napęd jest trolejbus Neoplan N6121 [1,2,4].

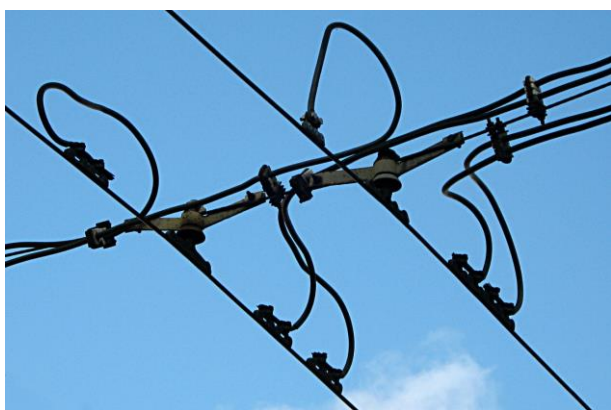
4. SIĘC TRAKCYJNA

Prąd elektryczny, który zasila silnik trolejbusu wytwarzany jest w elektrowni i poprzez sieć wysokiego napięcia transportowany jest do podstacji trolejbusowych. W ramach podstacji (rys. 6) działają urządzenia służące do przetwarzania prądu.

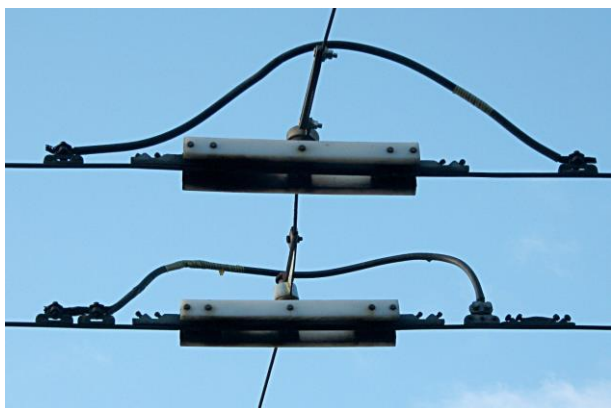


Rys. 6. Podstacja trakcyjna, fotografia: Michał Krawczyk

Transformatory w podstacjach obniżają napięcie wpływającego prądu, prostowniki natomiast przekształcają prąd ze zmiennego na stały, który ostatecznie posiada napięcie o wartości 600 V. Prostownienie prądu jest procesem niezbędnym, gdyż stosowanie prądu zmiennego w liniach przesyłowych gwarantuje niskie straty energii, natomiast zasilanie trolejbusów wymaga z kolei prądu stałego. Obecnie powszechnie stosowane są prostowniki krzemowe, które wyparły z użycia dawniej stosowane prostowniki rtęciowe oraz naczyniowe. Następnym etapem jest przejście energii elektrycznej przez elementy zabezpieczające podstacji, skąd trafia do dodatniego i ujemnego kabla zakopanego w ziemi, który prowadzi do punktów zasilania sieci trakcyjnej (rys. 7). Opisywany kabel połączony jest z jednym przewodem jezdnym, co pozwala na zapewnienie zasilania jednego odcinka sieci trakcyjnej. Warto zauważyć, iż wszystkie z odcinków oddzielone są od siebie izolatorami sekcyjnymi (rys. 8) znajdującymi się w sieci trakcyjnej, dzięki temu w przypadku zaistnienia awarii jednego odcinka pozostałe mogą być w dalszym ciągu zasilane.



Rys. 7. Punkt zasilania sieci trakcyjnej, fotografia: Michał Krawczyk



Rys. 8. Izolatory sekcyjne, fotografia: Michał Krawczyk

Przeznaczeniem każdej z podstacji trolejbusowej jest zarówno zasilanie sieci trakcyjnej jak i ochrona sieci przed uszkodzeniami. W tym celu w ramach podstacji instalowane są urządzenia takie jak: łączniki, wyłączniki szybkie umożliwiające wyłączenie prądów nadmiarowych oraz odłączniki, które umożliwiają odłączanie elementów podstacji w przypadku awarii lub konieczności konserwacji.

Pomiędzy przewodami sieci trakcyjnej występuje napięcie znamionowe o wartości 600 V, które podatne jest jednak na wahania będące skutkiem zmian pobieranej przez trolejbusy mocy lub zmian oporności przewodów zasilających wynikających z warunków atmosferycznych. Zmienność wielkości mocy pobieranej przez trolejbusy wynikać może przykładowo z sytuacji, w których na jednym odcinku zasilania rusza jednocześnie kilka pojazdów co generuje znaczny pobór mocy i skutkuje znacznym spadkiem napięcia

do wartości mogącej spowodować unieruchomienie pozostałych pojazdów podłączonych do sieci. Innym przypadkiem z kolei może być sytuacja, w której to żaden trolejbus nie rusza ani nie rozpędza się przez co pobór prądu jest znikomy, wtedy to napięcie osiąga wartości wyższe od znamionowych i wynoszące nawet ponad 750 V. W skład konstrukcji sieci trakcyjnej wchodzi konstrukcja nośna, podwieszenie oraz tory. Każdy z torów to dwa umieszczone obok siebie przewody: dodatni i ujemny, które zawieszono są z zachowaniem odpowiedniego zwisu, który jest konieczny z uwagi na wydłużanie się i skracanie przewodów w zależności od temperatury otoczenia. Wyróżnia się trzy rodzaje podwieszania sieci trakcyjnej:

Podwieszenie sztywne – zakłada taką konstrukcję sieci trakcyjnej, w której między przewodem jezdnym a podwieszeniem nie znajdują się elementy zapewniające możliwość dostosowywania długości przewodu w zależności od konieczności wynikającej z panujących warunków atmosferycznych. Niezbędne zatem staje się dokonywanie ręcznego wydłużania przewodów przed okresem jesienno - zimowym przez wyszkolonych elektryków. Generuje to dodatkowe koszty, które można określić jako wadę podwieszania sztywnego, jego zaletą natomiast jest najniższy koszt instalacji.

Podwieszenie półelastyczne – zakłada konstrukcję podwieszania sieci trakcyjnej, która posiada samoistną kompensację długości przewodu dzięki zastosowaniu specjalnych elementów pozwalających na pracę przewodu w szerokim zakresie temperatur. Z założenia tego typu podwieszenie samoczynnie dostosowuje się do zmieniających się warunków temperaturowych, co eliminuje ryzyko wystąpienia negatywnych następstw zmian temperatury otoczenia. Przewody jezdne na prostych odcinkach mocowane są do konstrukcji nośnej za pomocą wieszaków umożliwiających odginanie się przewodu, podobnie rozwiązane jest także mocowanie przewodów jezdnych na łukach sieci (rys. 9 i 10).



Rys. 9. Mocowanie przewodów sieci trakcyjnej na łuku starego typu, fotografia: Michał Krawczyk



Rys. 10. Mocowanie przewodów sieci trakcyjnej na łuku nowego typu za pomocą dwóch wieszaków, fotografia: Michał Krawczyk

Podwieszenie elastyczne – jest to wariant konstrukcji podwieszenia, który praktycznie nie znalazł zastosowania na terenie Polski, gdyż wyżej opisane podwieszenie półelastyczne spełnia wszelkie wymagane kryteria przy jednoczesnym zachowaniu znacznie niższych kosztów eksploatacji.

Każda sieć trakcyjna jest planowa przez odpowiednio wykwalifikowanych projektantów, którzy muszą dokonać właściwego doboru elementów takich jak: słupy, konstrukcje nośne, przewody jezdne, zwrotnice oraz krzyżówki spośród dostępnych na rynku. Warto podkreślić także, iż osoba projektująca sieć trakcyjną oprócz potrzeb ruchowych i przestrzennych musi uwzględnić także dokonane obliczenia wytrzymałościowe, na które to ma wpływ wiele czynników takich jak: siły boczne pochodzące od wiatru czy też warstwy szadzi powstające na przewodach trakcji w porze zimowej. W ramach konstrukcji nośnej sieci trakcyjnej stosuje się elementy wykonane najczęściej ze stali lub szklolaminatu, które to z kolei mocowane są do stalowych lub betonowych słupów, niekiedy także do ścian budynków.

W celu zapewnienia możliwości zmiany toru sieci niezbędne staje się zastosowanie elementów takich jak zwrotnice trakcyjne (rys. 11).



Rys. 11. Zwrotnica sterowana prądowo, fotografia: Michał Krawczyk

Każda zwrotnica posiada elementy ruchome – prowadnice, które pozwalają na nakierowywanie odbieraków w pożądanym kierunku bez konieczności ingerencji kierowcy i ich ręcznego przekładania. Rozwiązaniem, które zyskało największą popularność były natomiast zwrotnice sterowane impulsem prądowym. Trolejbus przejeżdżający z poborem prądu przez impulsator zawieszony przed zwrotnicą wyzwalał cewkę napędu zwrotnicy dzięki czemu następowało przestawienie prowadnicy i zablokowanie jej w odpowiednim położeniu. Po przejeździe sprężyny wchodzące w skład konstrukcji zwrotnicy przemieszczały prowadnicę do jej pierwotnego położenia. W przypadku zaś, gdy przejazd przez zwrotnicę wykonywany był bez poboru prądu, nie następowało przestawienie zwrotnicy. Jako wadę tego typu rozwiązania możemy wskazać konieczność znacznego zmniejszenia prędkości jazdy przez kierowcę podczas przejazdu przez zwrotnicę. Wraz z rozwojem technologii w tej dziedzinie zaczęto wdrażać zwrotnice sterowane radiowo, które to były konstruowane przy użyciu dłuższych przewodnic wykluczających konieczność zwalniania przy przejeździe. Przelączenie tego typu zwrotnic realizowane jest za pomocą zdalnych przycisków znajdujących się w każdym trolejbusie, a jednym z ich integralnych elementów są znajdujące się na słupach wyświetlacze pokazujące kierunek ich aktualnego nastawienia. Kolejnym elementem stosowanym w ramach sieci trakcyjnych są krzyżówki (rys. 12.), które umieszczane są w obrębie skrzyżowań sieci trakcyjnych (rys. 13). Konieczność ich stosowania wynika z potrzeby odizolowania od siebie przewodów dodatnich i ujemnych w miejscach ich przecina-

nia się. Trolejbusy pokonują krzyżówki z rozpędu, gdyż w miejscach przecinania się przewodów instaluje się izolowane elementy po których prześlizgują się głowice odbieraków, natomiast ciągłość obwodu zasilania zapewnia odpowiednie przeprowadzenie kabla, który to łączy dwie części przewodu po obu stronach skrzyżowania biegnąc ponad izolowanymi miejscami przecięć [1,5,7].

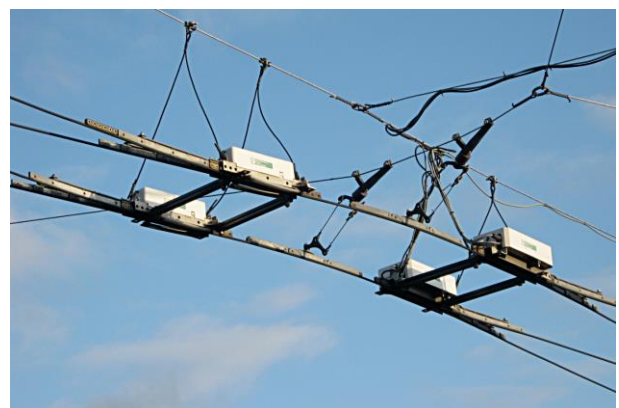


Rys. 12. Krzyżownica sieci trakcyjnej, fotografia: Michał Krawczyk



Rys. 13. Skrzyżowanie sieci trakcyjnej, fotografia: Michał Krawczyk

W przypadku gdy dwa tory sieci zjeżdżają się stosuje się tzw. zjazdówki (rys. 14), które są elementami podobnymi do zwrotnic, jednakże pozbawionymi napędu oraz możliwości sterowania.



Rys. 14. Zjazdówka elektroniczna i zwrotnica elektroniczna, fotografia: Michał Krawczyk

Niekiedy układ sieci trakcyjnej wymusza konstruowanie złożonych skrzyżowań składających się z kilku zwrotnic i krzyżówek, które to tworzą gęstwinę elementów trakcyjnych umożliwiającą trolejbusom skręcanie w wielu kierunkach. Tego rodzaju węzły mogą zaburzać atrakcyjność wizualną okolicy w której się znajdują,

przez co często rezygnuje się z budowy ich w okolicach zabudowanych lub szczególnie atrakcyjnych architektonicznie części miasta. Warto wspomnieć także, że wraz z rozwojem rozwiązań stosowanych w tym zakresie dąży się do wprowadzania długich, wielosegmentowych przewodnic cechujących się małymi kątami załamania, dzięki czemu znikła konieczność znacznego ograniczania prędkości na łukach sieci przy jednoczesnym braku ryzyka wypadania odbieraków z sieci. Wszelkie działania konserwatorskie związane z trolejbusowymi sieciami trakcyjnymi wymagają udziału wysoko wykwalifikowanych pracowników i użycia pojazdów wyposażonych w specjalistyczne zabudowy posiadające min. podnośniki platformowe [1,5,7].

PODSUMOWANIE

Trolejbusy są pojazdami wykorzystywanymi w systemach komunikacji miejskiej, które do prawidłowego funkcjonowania wymagają organizacji odpowiedniego systemu. Pojazdy tego typu zasilane są energią elektryczną, która dostarczana jest do każdego z pojazdów za pośrednictwem właściwie skonstruowanej sieci trakcyjnej. Z uwagi na panującą obecnie ekomobilność i dążenie do maksymalnego zmniejszenia szkodliwego wpływu środków transportu na środowisko naturalne, trolejbusy zyskują na coraz większym znaczeniu. Największą zaletą stosowania trolejbusów jest przede wszystkim ich bezemisyjność, która w odniesieniu do obszaru miejskiego staje się kwestią obecnie najbardziej istotną. Trolejbusy są pojazdami budowanymi w oparciu o konstrukcje autobusowe, jednakże muszą one posiadać właściwe sobie elementy warunkujące ich działanie. Do tego typu komponentów zaliczamy przede wszystkim: silniki elektryczne, falowniki, oporniki rozruchowe, przetwornice a także ich najbardziej charakterystyczny element czyli odbieraki wraz ze specjalnej konstrukcji głowicami, które umożliwiają podłączenie pojazdu do sieci trakcyjnej. Wraz z rozwojem komunikacji trolejbusowej stosowano różne rodzaje napędów do których możemy zaliczyć: układy ze sterowaniem opornikowym, układy ze sterowaniem tyrystorowym układy ze sterowaniem tranzystorowym oraz napędy typu asynchronicznego i synchronicznego. Sieć trakcyjna stanowi infrastrukturę warunkującą funkcjonowanie systemu trolejbusowego, gdyż nie tylko zapewnia możliwość zasilania każdego pojazdu, ale także wyznacza ściśle trasy w ramach których

trolejbusy mogą się przemieszczać. Odpowiednio zorganizowany i funkcjonujący system trolejbusowy pozwala na znaczną poprawę wielu aspektów funkcjonowania transportu miejskiego, ze szczególnym uwzględnieniem znacznej poprawy aspektów ekologicznych, co przynosi daleko idące korzyści szczególnie w zakresie redukcji szkodliwego wpływu transportu miejskiego na środowisko. Jednocześnie znacznej poprawie ulegają także aspekty ekonomiczne. Przykładem tego typu systemu jest komunikacja trolejbusowa na terenie miasta Lublina.

BIBLIOGRAFIA

1. Materiały własne Zarząd Transportu Miejskiego w Lublinie
2. Połom M., Piasecki A., Bartłomiejczyk M., *Charakterystyka autonomiczności trolejbusów – nowe doświadczenia w elektromobilności miejskiej*, Logistyka 4/2015, Poznań 2015
3. Pudło J., *Budowa trolejbusu*, www.lubus.info (18.09.2017 r.)
4. Pudło J., *Trolejbusy w Polsce*, Księży Młyn Dom Wydawniczy i Przemysław Dominas, Łódź 2011
5. Pudło J., *Sieć trakcyjna*, www.lubus.info (18.09.2017 r.)
6. Rutka G., *Prezentacja niskopodłogowego trolejbusu Skoda 21 Tr w Gdyni*, „Autobusy-Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2000, nr 5
7. www.wikipedia.org – sieć trakcyjna (18.09.2017 r.)

Structure and principle of operation of trolleybus illustrated with an example of Solaris Trollino 12

The structure of trolleybus and principle of operation of such means of public transport were discussed in this article. All its characteristic subassemblies were also described. Types of drives used in trolleybuses and issues related to their operation were presented. Traction system as an element necessary for proper operation of trolleybus transport in a given urban area was described in this article. Traction system both in terms of technical aspects of its structure and general principle of operation was discussed.

Autorzy:

mgr inż. **Anna Zalewska** – doktorantka, Katedra Pojazdów Samochodowych Politechnika Lubelska