

ENERGOCHŁONNOŚĆ POJAZDÓW KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ W KRAKOWIE

W artykule poruszono problematykę energochłonności pojazdów komunikacji miejskiej. W ujęciu holistycznym na energochłonność transportu miejskiego ma wpływ wiele czynników, głównie te o charakterze technicznym i organizacyjnym, jednak jak wynika z przeprowadzonych badań można uzyskać korzystne efekty poprzez niewielkie modyfikacje i właściwy dobór środka transportu do rodzaju linii o określonym potencjale potoków pasażerskich. Na podstawie badań Autorów oraz danych udostępnionych przez MPK S.A. w Krakowie dokonano analizy chwilowego i uśrednionego zużycia energii na cele trakcyjne. Uwzględniając potoki pasażerskie występujące na poszczególnych liniach komunikacyjnych obliczono średnią energochłonność przypadającą na jednego pasażera.

WSTĘP

Transport publiczny jest podstawowym systemem umożliwiającym poprawne funkcjonowanie logistyki we współczesnym społeczeństwie i stanowi niejako kluczowy element inżynierii społecznej w zakresie mobilności. W aglomeracjach miejskich i miastach efektywna logistyka dużych potoków pasażerskich jest najczęściej realizowana przez system komunikacji autobusowej, tramwajowej, kolei aglomeracyjnej lub metra. W ujęciu historycznym głównymi parametrami, jakimi oceniano efektywność komunikacji miejskiej były czas przejazdu i koszt bezpośredni, natomiast koszty zewnętrzne transportu nie odgrywały wiodącej roli. Jednak większość przedsiębiorstw komunikacyjnych od wielu lat sukcesywnie realizowało strategię zasobooszczędnego, zrównoważonego rozwoju mającą na celu m.in. minimalizację negatywnych skutków oddziaływania transportu na środowisko, wydajne wykorzystanie środków transportu, sukcesywnie wprowadzenie nowoczesnego taboru o wyższej efektywności energetycznej [1, 2, 3]. W takim podejściu istnieje potrzeba cyklicznego monitorowania efektywności energetycznej funkcjonującego systemu komunikacji miejskiej i istotnego znaczenia nabiera wskaźnik energochłonności. Energochłonność bezpośrednia wyrażona w [MJ/pas.km] lub [MJ/wz.km] może być wykorzystywana pośrednio jako kryterium porównawcze odnoszące się do efektywności energetycznej różnych rodzajów transportu miejskiego np. autobusowego i tramwajowego.

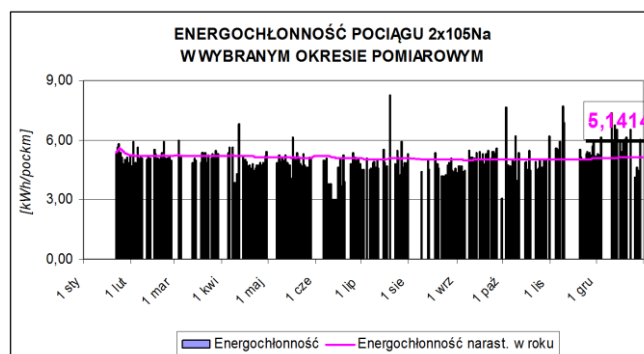
1. KOMUNIKACJA TRAMWAJOWA

1.1. Tramwaje rozwiązania napędów i charakterystyka.

Najstarsze tramwaje eksploatowane w Krakowie tj.: 105Na, E1, GT8S, N8 posiadają rezystorowe układy regulacji rozruchu i hamowania. 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).

W przypadku wagonów z dwoma silnikami przelączanymi (np. E1, GT8S) ok. 33% całkowitej energii niezbędnej do rozpędzenia pojazdu jest „zamieniana w ciepło”. Wagony z czterema przelączanymi silnikami (np. 105Na), „zamieniają na ciepło” około 26% pobieranej w trakcie każdego rozruchu energii. W tego typu wagonach cała energia rozpędzonego pojazdu w trakcie hamowania wytracana jest w postaci ciepła na rezystorach hamowania. Na rys.

1. przedstawiono w ujęciu rocznym, w formie histogramu energochłonność pociągu tramwajowego składającego się z dwóch wagonów 105Na. Analizując rysunek 1. można zauważyć, że energochłonność znacząco różni się pomiędzy poszczególnymi okresami w roku, co spowodowane jest to m.in. specyficznymi warunkami pogodowymi i ruchowymi.



Rys. 1. Histogram energochłonności pociągu tramwajowego 2x105Na w ujęciu rocznym

Układy napędowe z silnikami prądu stałego z rozruchem rezystancyjnym stosowane w starych typach tramwajów w celu zwiększenia ich efektywności energetycznej, można poddać procesowi modernizacji, która polega na zastąpieniu rezystorów rozruchowych przez przekształtnik impulsowy prądu stałego. Dokonując takiej przebudowy można uzyskać zmniejszenie zużycia energii podczas rozruchu nawet do 35% [4]. Stosując chopperowy układ zasilania silników prądu stałego w MPK S.A. w Krakowie zmodernizowano część tramwajów N8 i GT8S. Mimo teoretycznie większej energooszczędności w porównaniu z napędem przy wykorzystaniu silników asynchronicznych [4, 5], w obecnie produkowanych tramwajach nie stosuje się tego rozwiązania, ponieważ silniki szeregowo prądu stałego charakteryzują się wyższymi kosztami utrzymania.

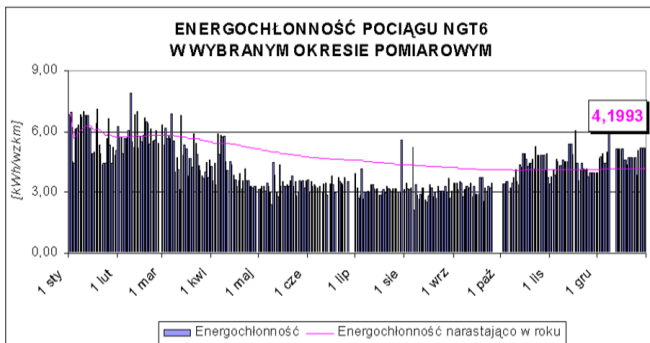
Nowe generacje tramwajów jak: NGT6, NGT8 (rysunek 2) i 2014N budowane są z układami regulacji rozruchu i hamowania wykonanymi w technice tyrystorowej. Wagony tego typu w trakcie rozruchu wykorzystują w 98% pobraną z sieci energię i dodatkowo w trakcie hamowania pulsacyjnie zwracają energię do sieci zasilającej. Bardzo istotnym zagadnieniem jest obciążenie podstacji trakcyjnych przez ruszające wagony. Wagony z rozruchem rezystorowym pobierają z sieci trakcyjnej największy prąd od startu do przed-

kości ok. 27-30 km/h (obciążenie skokowe) i dopiero potem maleje obciążenie podstacji.

Wagony z „impulsową regulacją” napędu (NGT6, NGT8, 2014N), ze względu na małe straty przetwarzania, pobierają z sieci trakcyjnej tyle energii, ile jest to niezbędne. Moc pobrana, jest w dużym uproszczeniu równa mocy wykorzystanej do napędu i pomimo tego, że w silnikach płynie duży prąd, obciążenie sieci jest małe.

W trakcie normalnej pracy każdy wagon pobiera również energię na cele nie trakcyjne – przetwornice zasilające układy sterowania i obwody pomocnicze (oświetlenie, kierunkowskazy itd.), systemy schładzania, ogrzewania, wentylacji itp.

Dla wagonów NGT6, NGT8, 2014N wielkość rekuperacji energii w trakcie hamowania wynosi ok. 30%. Około 10% z tego jest wykorzystywane w obwodach własnych tramwaju (zasilanie własnych urządzeń nietrakcyjnych), a pozostała energia - ok. 20% jest „zwracana” do sieci zasilającej. Ponieważ układy zasilania odcinków sekcyjnych sieci trakcyjnej w podstacjach są ze sobą połączone tj. pracują na „wspólną szynę”, energia od hamującego wagonu płynie do innych wagonów pobierających energię w innych rejonach zasilania z danej podstacji. Szacuje się, że znaczna część tej energii (ok. 90%) jest ponownie wykorzystywana przez inne tramwaje, część zaś tracona (straty przesyłania).



Rys. 3. Histogram energochłonności tramwaju NGT6 w ujęciu rocznym

Wprowadzanie wagonów z nowoczesną regulacją prędkości opartą o zastosowanie układów energoelektronicznych, z jednoczesną eliminacją wagonów z regulacją rezystorową, obniża ilość potrzebnej energii, przy porównywalnej zdolności przewozowej wagonów. Zmniejsza się również chwilowe obciążenie sieci, co powoduje bardziej racjonalne – zrównoważone obciążenie sieci trakcyjnej [4, 5, 7, 8].

Konsekwencją zakupu jednego nowoczesnego tramwaju klasy NGT6 niskopodłogowego, jest wycofanie z eksploatacji dwóch wagonów 105Na, zakup jednego typu 2014N, trzech tramwajów 105Na lub pociągu E1 – C3.

Na rysunku 3 pokazano energochłonność tramwaju NGT6 w ujęciu rocznym wyrażoną [kWh/wz.km]. Wynika z niego, że wagony NGT6 w odniesieniu do wagonów 105Na cechuje bardziej zróżnicowana energochłonność w warunkach letnich i zimowych.

Jak wynika z badań zamieszczonych w pracy [7], zużycie energii trakcyjnej przez obciążony nominalnie jeden wagon niskopodłogowy NGT6 wynosi 3,5 [kWh] na 1 kilometr wykonanej pracy przewozowej, natomiast zużycie energii trakcyjnej dwóch wagonów 105Na wynosi 6,3 [kWh] na 1 kilometr, co w przypadku wymiany wagonów daje oszczędność rzędu 2,8 [kWh] na jednostkę pracy.

Zastosowanie nowoczesnych układów energoelektronicznych w tramwajach umożliwia racjonalizację zużycia energii elektrycznej przez tabor tramwajowy. Skutkuje to tym, że mimo zakupu tramwajów nowych, wyposażonych we współcześnie wymagane systemy poprawiające komfort podróżowania (klimatyzacja, systemy informacyjne – informacyjne, itp.) - z natury energochłonnych, to globalne zużycie energii przez tabor tramwajowy w Krakowie nie wzrasta radykalnie. Implikacja jest oczywista, następuje sukcesywny wzrost efektywności jednostkowej transportu.

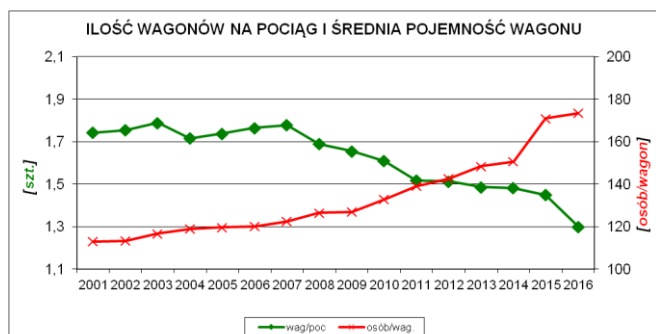
1.2. Podstawowe czynniki wpływające na zużycie energii przez tramwaje

Zużycie energii trakcyjnej jest uzależnione od wielu czynników. Jednymi z ważniejszych są: prawidłowe sterowanie rozruchem, hamowaniem i jazdą na wybiegu przez prowadzącego pojazd szynowy [6]. Doskonaląc technikę jazdy można uzyskać kilkunastoprocentowe oszczędności w zużyciu energii. Jednak są takie uwarunkowania, na które potencjalnie nie mamy wpływu. dotyczy to np. warunków pogodowych. Analizując zużycie energii za rok w układzie miesięcznym i kwartalnym, uwidacznia się istotna zależność zużycia energii od temperatury otoczenia (rysunek1 i 3).

Jednak wiodące znaczenie w zakresie zużycia energii mają czynniki o charakterze technicznym, m.in. rodzaj napędu, struktura, wymiary gabarytowe, masa, i to one decydują o wskaźniku jednostkowego zużycia. Należy nadmienić, że wskaźnik ten liczony jest w funkcji przebiegu pojedynczego wagonu, a tym samym zmiana struktury taboru ma decydujący wpływ na jednostkowe zużycie energii. Zakup nowoczesnych, wielko-pojemnych wagonów tramwajowych oraz modernizacja eksploatowanych powodują, że w taborze udział tych wagonów rośnie przy jednoczesnym spadku mniejszych, klasycznych wagonów. Na rysunku 4 przedstawiono w formie wykresu liczbę wagonów przypadających na jeden pociąg tramwajowy oraz średnią pojemność wagonu na przestrzeni ostatnich piętnastu lat.

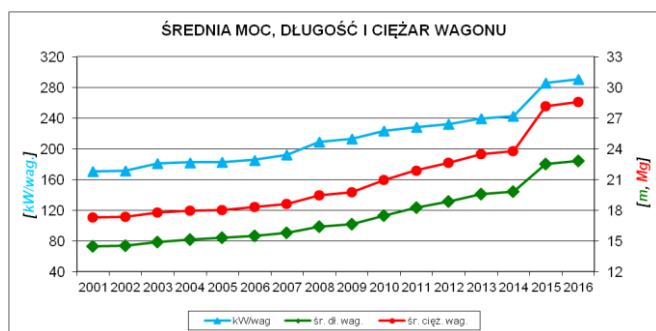


Rys. 3. Widok ogólny tramwajów NGT6 (po lewej) i NGT8 (po prawej) [14]



Rys. 4. Średnia liczba wagonów przypadająca na jeden pociąg tramwajowy oraz średnia pojemność pojedynczego wagonu w latach 2001 – 2016

Trendy zmian zachodzące w podstawowych parametrach technicznych wagonów są zobrazowane na rysunku 5.



Rys. 5. Średnia moc, długość oraz ciężar pojedynczego wagonu w latach 2001 – 2016

Z rysunków 4 i 5 wynika, że od 2001 roku następuje ciągły spadek liczby wagonów zestawianych w pociąg. Wartość ta zmienia się od ponad 1,7 wagonów w pociągu do 1,3 (spadek o około 25%). Jednocześnie występuje wzrost pojemności z około 110 osób na wagon do ponad 170 (wzrost o około 54%).

Wzrost pojemności wagonów wynika ze zmiany ich konstrukcji. Statystycznie średnia długość wagonu, od roku 2001 wzrosła z około 14 m do ponad 22 m (o prawie 60%), średnia masa, z około 17 ton, do ponad 28 ton (wzrost o ponad 60%) i średnia moc silników trakcyjnych wagonu z około 170kW do ponad 290kW (wzrost o 70%). Średnie zużycie energii trakcyjnej winno się zatem odnieść do wielkości eksploatowanych wagonów, mając na uwadze, że większy wagon (moc, masa) będzie potrzebował więcej energii (np. na rozruch i zasilanie urządzeń w nim zainstalowanych). Jak już wspomniano wcześniej również warunki pogodowe mają znaczący wpływ na jednostkowe zużycie energii trakcyjnej. Gdyby jednak założyć, dla uproszczenia, że warunki te były stałe, to w okresie od 2001 roku do 2016 roku zaobserwowano wzrost zużycia energii na jeden wozokilometr o prawie 30%, przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia na jeden pociąg o około 5% i spadku ilości energii potrzebnej do przewiezienia 1 tony pustego wagonu na drodze 1 km o ponad 20%. Świadczy to o znaczącym zwiększeniu efektywności energetycznej nowoczesnych tramwajów. Wprowadzanie do eksploatacji nowoczesnych, wielko-pojemnych wagonów powoduje istotny wzrost ilości zużywanej energii liczonej na jeden wagon. Uwzględniając jednak własności fizyczne wagonów takie jak: masa, pojemność, moc silników trakcyjnych okazuje się, że zużycie energii spada w przeliczeniu na pasażero-kilometr, co dodatkowo potwierdza słuszność przyjętego kierunku odnowy taboru tramwajowego i trendu dla racjonalizacji zużycia energii elektrycznej.

2. KOMUNIKACJA AUTOBUSOWA

2.1. Autobusy rozwiązania napędów i wymagania.

Układy napędowe w autobusach w ostatnich latach stopniowo ewoluowały od klasycznego układu z silnikiem ZS i manualnej skrzyni biegów, poprzez automatyczne skrzynie biegów, silniki spełniające normę Euro 6 i napędy hybrydowe zmierzając do układów napędowych elektrycznych. Zmiany dotyczą również urządzeń pokładowych i osprzętu silników [10, 11, 12]. Dążenie do przejścia z klasycznych napędów do elektrycznych wynika nie tylko z konieczności ograniczenia lokalnej emisji zanieczyszczeń, ale również z faktu, że silniki elektryczne charakteryzują się większą sprawnością sięgającą nawet powyżej 98%, podczas gdy silniki spalinowe ZS wysoko doładowane nie przekraczają 43%, co znacząco poprawia bilans energetyczny. Główną barierą decydującą o dynamice rozwoju autobusów elektrycznych jest konieczność zapewnienia autonomii pozwalającej na użytkowanie w warunkach miejskich, przy przewidywanych przebiegach dziennych powyżej 100 [km]. Współczesne minimalne wymagania, co do mocy i charakterystyki trakcyjnej oraz systemu magazynowania energii w autobusie są określane następująco:

- Autobus ma być napędzany silnikiem elektrycznym o optymalnej mocy umożliwiającej osiągnięcie przez pojazd, w którym znajduje się minimum 80 pasażerów, prędkości około 70 [km/h]. Silnik powinien umożliwiać ciągłą pracę w pojeździe, w skrajnie niekorzystnych warunkach eksploatacji miejskiej bez wpływu na jego pracę, a układ napędu musi odzyskiwać energię hamowania i wykorzystywać ją do doładowania akumulatorów lub kondensatorów (zależnie od zastosowanego rozwiązania technicznego).
- Energia elektryczna może być magazynowana w akumulatorach, superkondensatorach i innych urządzeniach będących wynikiem postępu technicznego o porównywalnych lub lepszych zdolnościach magazynowania energii w stosunku do nich.
- Zdolność magazynowania energii w pojeździe powinna umożliwić na przejechanie przez autobus przy zasilaniu elektrycznym w warunkach SORT-2 co najmniej 75 [km] bez doładowywania baterii.
- Urządzenia do magazynowania energii powinny być takiej konstrukcji, aby możliwy był ich jak najdłuższy okres użytkowania, z tym, że po upływie 35 miesięcy tego użytkowania w sposób określony w wymaganiach technicznych, możliwość magazynowania energii w urządzeniach powinna pozwolić na przejechanie w warunkach SORT-2 co najmniej 65 [km], bez doładowywania baterii.
- Ważnym elementem jest w związku z tym logistyka systemów ładowania zasobników energii. Musi być zapewnione ładowanie zasobników za pomocą:
- złącza plug-in o mocy dostosowanej do potrzeb ładowania baterii zastosowanych w autobusie w taki sposób by można było naładować całkowicie rozładowane baterie w czasie nie dłuższym niż 5 godzin,
- odbieraka prądu zamontowanego na dachu autobusu, o mocy ładowania od 60 [kW] do 250 [kW] przy napięciu 660 [V] DC. Autobus powinien być konstrukcyjnie przystosowany do szybkiego ładowania przy wykorzystaniu odbieraka. Ładowanie prowadzone ma być zgodnie z normami IEC 61851-1, IEC 61851-23AnexC, IEC61851-24 AnexC.

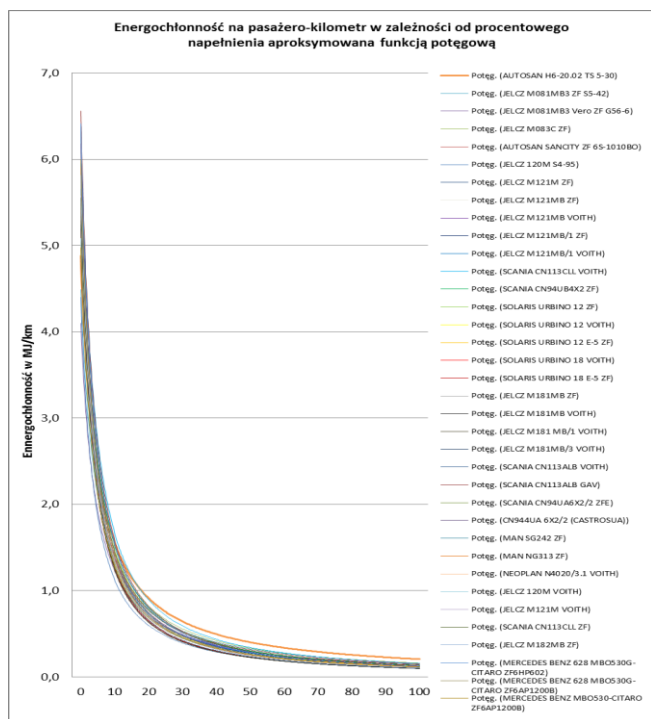
W czasie ładowania w autobusie mogą przebywać osoby oczekujące na przejazd oraz mogą one wsiadać lub wysiadać z pojazdu. Autobus wraz z układem ładowania ma być bezpieczny dla pasażerów przebywających wewnątrz autobusu, oczekujących na przejazd oraz w czasie wsiadania lub wysiadania z pojazdu. Musi być wypo-

sażony w układ elektroniczny nadzorujący proces ładowania i zabezpieczający pojazd przez ingerencją mechaniczną użytkownika podczas jego trwania. Układ zabezpieczający ma uwzględniać możliwe błędy użytkownika wynikające z roztrągnięcia, pośpiechu, rutyny lub braku doświadczenia.

Do ładowania autobusu za pomocą złącza plug-in używa się dedykowanych ładowarek o mocy ładowania dostosowanej przez producenta. Na rysunku 9 pokazano autobusy Solaris Urbino 12 Electric m.in. podczas ładowania baterii.

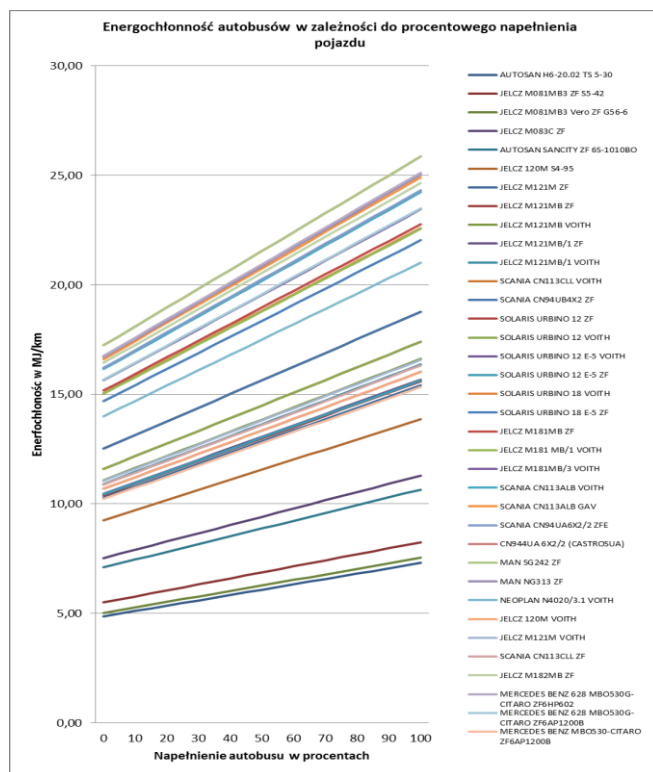
2.2. Energochłonność autobusów z klasycznym układem napędowym.

Mając na celu określenie energochłonności z klasycznych autobusów eksploatowanych w MPK S.A. dokonano oceny średniego zużycia paliwa poszczególnych typów autobusów obsługujących określone linie przy uwzględnieniu danych z pomiarów rzeczywistych potoków pasażerskich występujących na tych liniach. Z analizy danych wynika, że występują znaczące różnice w wielkości potoków pasażerskich zarówno w poszczególnych godzinach doby a także dni tygodnia. Powoduje to zmianę energochłonności bezpośredniej w ujęciu na pasażera nawet o kilkaset procent. Zobrazowano to w formie graficznej na rys. 6, na którym przedstawiono zależność energochłonności [MJ/km] (aprosymowanej funkcją potęgowa) wybranych typów autobusów w funkcji wypełnienia pasażerami.



Rys. 6. Energochłonność [MJ/pas.km] wybranych typów autobusów w funkcji procentowego wypełnienia pasażerami [13]

Wykorzystując model liniowy wykazano również dużą istotność wpływu wielkości wypełnienia pasażerami autobusu na jego bezpośrednią energochłonność w zależności od konkretnego typu i modelu, co pokazano dla przykładu na rysunku 7 [13].

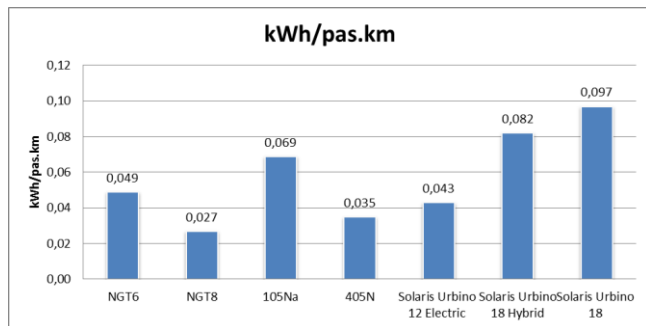


Rys. 7. Energochłonność [MJ/km] wybranych typów autobusów w funkcji procentowego wypełnienia pasażerami

Z analizy rysunku 7. wynika, że współczynnik kierunkowy prostej przedstawiającej zależność energochłonności danego autobusu od liczby przewożonych pasażerów jest związany z maksymalną pojemnością autobusu. W uproszczeniu można stwierdzić, że energochłonność bezpośrednia autobusu jest proporcjonalna do nominalnej liczby miejsc występujących w danym typie pojazdu. Różnice wynikające np. z rodzaju skrzyni biegów przy stopniu wypełnienia pasażerami powyżej 85% są mało znaczące.

PODSUMOWANIE

Intensywny rozwój systemów komunikacji miejskiej pociąga za sobą zwiększenie globalnego zapotrzebowania energetycznego. Zastosowanie jednak nowoczesnych rozwiązań technicznych powoduje zmniejszenie jednostkowej energochłonności na pasażerokilometr. Do tej pory pojazdy szynowe komunikacji miejskiej charakteryzowały się energochłonnością jednostkową poniżej 0,07 [kWh/pas.km], która była nieosiągalna dla innych rodzajów transportu miejskiego. Rozwój autobusów z napędem elektrycznym spowodował zmniejszenie energochłonności z poziomu około 0,1 [kWh/pas.km] do 0,04 [kWh/pas.km]. Wprowadzenie do eksploatacji autobusów elektrycznych pozwoliło więc na osiągnięcie wartości energochłonności bezpośredniej jednostkowej na jednego pasażera zbliżonej do miejskiej komunikacji szynowej. Dowodzi tego rysunek 8, na którym przedstawiono w postaci histogramu energochłonność bezpośrednią wyrażoną w [kWh/pas.km] wybranych pojazdów komunikacji miejskiej w Krakowie.



Rys. 8. Energochłonność jednostkowa [kWh/pas.km] wybranych typów autobusów w funkcji procentowego wypełnienia pasażerami

Przeprowadzone analizy z uwzględnieniem poszczególnych rodzajów komunikacji miejskiej w Krakowie pozwoliły wykazać, że średnia energochłonność bezpośrednia w ostatnich latach sukcesywnie spada i obecnie wynosi 0,11 [kWh/pas.km]. Konsekwentne realizowanie przyjętej strategii taborowej pozwoli na osiągnięcie do roku 2020 wartości poniżej 0,1 [kWh/pas.km].

BIBLIOGRAFIA

- Borowiecki R., Kaczmarek J., Magiera J., Młynarski S., *Eksploatacja taboru szynowego komunikacji miejskiej*. Wyd. Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków 2004.
- Zielona Księga. *W kierunku nowej kultury mobilności w mieście*, COM (2007) 551, Bruksela.
- Biała Księga. *Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu*, COM (2011) 144, Bruksela.
- Jedryczka M., Miszewski M., Analiza porównawcza zużycia energii przez napęd tramwajowy prądu stałego z rozruchem rezystancyjnym i impulsowym. *Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne* Nr78/2007.
- Chudzik P., *Asynchroniczny napęd tramwajowy ze sterowaniem wektorowym – zasada działania*. Technika Transportu Szynowego, nr 3, 2004, p. 52-55
- Lehmann H., *Energiesparende Fahrweise bei der Deutschen Bahn*. Elektrische Bahnen nr 7,p. 397-402, 2007 r.
- Zajac W., Popczyk M., Czuchra W., Kowalczewski M., *Badanie energochłonności wybranych typów tramwajów*. MPK Kraków, 2001.
- Czuchra W., Kobielski A., Prusak J.: *Zmienność napięcia w tramwajowej sieci trakcyjnej - próba oceny metodą statystyczną*. XI Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej

SEMTRAK 2004.

- Szeląg A., Gorzyczka P., Energochłonność tramwajów w systemach dynamicznego priorytetowania. *TTS* 5/2006.
- BAJERLEIN, M., RYMANIAK, Ł., MICHALAK, D. Analysis of bus sustainability with regard to air-conditioning systems and energy consumption. *Combustion Engines*. 2013, 154(3), 722-727. ISSN 0138-0346.
- Kropiwnicki J., *Ocena efektywności energetycznej pojazdów samochodowych z silnikami spalinowymi*, monografie 110, Gdańsk 2011.
- Merkisz J., Michalak D., Bajerlein M., Molik P., Rymanik Ł., Ziółkowski A., *Wpływ zastosowania modułów klimatyzacji wyposażonych w różne typy sprężarek na energochłonność autobusu*. *Autobusy* 4/2012. str. 111- 119.
- Olszewski R., *Analiza energochłonności transportu zbiorowego na przykładzie komunikacji autobusowej w Krakowie*. Praca magisterska, promotor Grzegorz Zajac, Politechnika Krakowska 2011.
- <http://www.mpk.krakow.pl/pl/tramwaje/tabor-NGT8>. Fot. Czuderna T.

Energy-consumption of vehicles of municipal transport services in Cracow

The article discusses the problem of energy consumption of vehicles of municipal transport services. In holistic perspective, the energy consumption of urban transport is influenced by many factors, mainly technical and organizational. However, according to the results of the research, beneficial effects can be obtained through slight modifications and the proper choice of means of transport to the type of communication line with a certain potential of passenger flows. Based on the authors' research and data provided by MPK S.A. in Cracow (City Transportation Company) the both, instantaneous and average energy consumption for traction purposes was analysed. Considering passenger flows on each communication line, the average energy intensity per passenger was calculated.

Autorzy:

dr inż. **Grzegorz Zajac** – Instytut Pojazdów Szynowych, Wydział Mechaniczny Politechniki Krakowskiej, e-mail: grzegorz.zajac@mech.pk.edu.pl.

dr inż. **Stanisław Jurga** – Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne S.A w Krakowie. e-mail: jurga@mpk.krakow.pl



Rys. 9. Widok ogólny autobusów z napędem elektrycznym Solaris Urbino 12 Electric (po lewej – podczas ładowania zasobników energii na ul. Pawiej) i (po prawej – przed budynkiem Dworca Głównego w Krakowie)