

BARTOSZ RYDEL

Koła Młodych Logistyków Just In Time działającego przy Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej im. Angelusa Silesiusa w Wałbrzychu, e-mail: bartek.rydel.1995@o2.pl

PATRYK CHWEDCZUK

Koła Młodych Logistyków Just In Time działającego przy Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej im. Angelusa Silesiusa w Wałbrzychu, e-mail: chwedczukpatryk@gmail.com

Rozwiązanie problemu zmiany trakcji w kontekście funkcjonowania kolei dojazdowej¹

Streszczenie: W ostatnich latach dąży się do jak największego ograniczenia szkodliwego oddziaływania pojazdów trakcji spalinowej na środowisko naturalne. Dlatego też konstruktorzy projektując nowoczesne układy trakcyjne, starają się zminimalizować zużycie przez nie oleju napędowego oraz środków smarnych poprzez zastosowanie nowoczesnych silników spalinowych napędu głównego. Ostatnio dąży się również do zastosowania innych rodzajów napędów, w tym napędu hybrydowego, w którym zasilanie silników trakcyjnych odbywa się z wysokowydajnych zasobników energii (ogniwa akumulatorowe, kondensatory) lub z zasobników wspomaganych energią wytworzoną przez zabudowany na lokomotywie zespół prądowców (silnik spalinowy, prądnicą prądu przemiennego, prostownik). Pierwsze pojazdy hybrydowe powstały na bazie samochodów, autobusów, trolejbusów i tramwajów. Dopiero od kilkunastu lat rozpoczęto prace nad stworzeniem układu hybrydowego napędu z zastosowaniem do lokomotyw przeznaczonych najczęściej do ruchu manewrowego i przetokowego. W Polsce pierwsze prace nad stworzeniem układu napędu hybrydowego, w zastosowaniu do modernizowanych spalinowych lokomotyw manewrowych, rozpoczęto w 2010 roku.

Słowa kluczowe: kolej, trakcja kolejowa, hybryda, emisja spalin, kolej dojazdowa.

Wprowadzenie

Sieć kolejowa w Polsce liczy 18,5 tysięcy km linii kolejowych, z czego ponad 63% jest zelektryfikowana i w porównaniu do innych państw europejskich jest to zadowalający wynik. Jednak fakt, iż ponad 1/3 sieci jest przystosowana do innego napędu niż elektryczny rodzi problemy natury logistycznej. W artykule opisano schemat działania sieci trakcyjnej oraz możliwość jego poprawy, wykorzystując pojazdy hybrydowe na przykładzie dwóch niefunkcjonujących linii kolejowych oraz jednej używanej w ruchu liniowym na obszarze Dolnego Śląska. U podstaw analizy leżą dwa założenia: połączenie tych linii z liniami zelektryfikowanymi oraz brak uzasadnienia do elektryfikacji tych linii ze względu na rachunek ekonomiczny.

Rodzaje trakcji wykorzystywanych w transporcie kolejowym

Trakcją nazywany jest sposób pozyskiwania energii w pojeździe szynowym. Do rodzajów napędu stosowanych na kolei zalicza się:

- napęd elektryczny – pojazdy z takim napędem odbierają energię elektryczną za pomocą odbieraków (pantografów),

- napęd spalinowy – w takich pojazdach spalanie paliwa wytwarza energię zamienianą w pracę mechaniczną,
- napęd parowy (obecnie już praktycznie nieistniejący w ruchu liniowym) – wykorzystujący silnik parowy.

Obecnie w Europie oraz Polsce dominują elektryczne tabor kolejowy, zasilane energią stałą z sieci trakcyjnej. Sieć trakcyjna to zespół urządzeń umożliwiających dostarczanie energii elektrycznej do pojazdów poruszanych silnikami elektrycznymi (fot. 1).



Fot. 1. Sieć trakcyjna

Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Sieć_trakcyjna#/media/Plik:Przewody_trakcyjne_na_polskich_torach_PKP.jpg

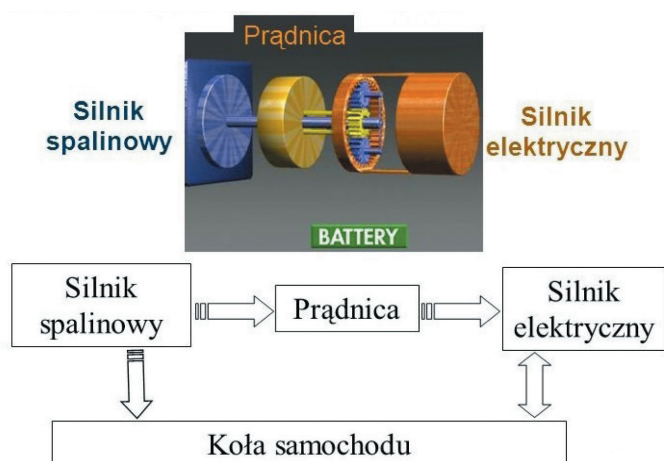
Sieć trakcyjna obejmuje sieć jezdnią i sieć powrotną. Sieć jezdnią służąca bezpośredniemu doprowadzeniu energii elektrycznej do pojazdu trakcyjnego za pośrednictwem odbieraków prądu składa się z zespołu przewodów wraz z osprzętem sieciowym i konstrukcji wsporczych, a sieć powrotna składa się z szyn toru kolejowego oraz ich połączeń elektrycznych przewodzących prąd trakcyjny.

Lokomotywy elektryczne to bardzo rozbudowane, zaawansowane napędy wyposażone w silnik elektryczny, które w czasie rzeczywistym przekazują całą moc do napędu. Rozwiązania te powodują, że kolej jest jednym z efektywniejszych rodzajów transportu. Jediną wadą takiego rozwiązania jest konieczność instalacji sieci trakcji kolejowej, która jest droga w budowie.

Istota napędu hybrydowego

Napęd hybrydowy to połączenie w jednym urządzeniu dwóch silników, w tym rozwiązaniu to najczęściej połączenie silnika spalinowego i elektrycznego (rys. 1). Silniki te

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2020. Procentowy udział wkładu autorów w publikację: B. Rydel 50%, P. Chwedczuk 50%



Rys. 1. Napęd hybrydowy

Źródło: <https://leftlane.pl/wp-content/uploads/2017/12/naped-hybrydowy-mieszany.jpg>

mogą pracować na przemian lub jednocześnie, w zależności od potrzeb. Silnik elektryczny może być prądnicą i ładować akumulatory lub kondensator w wyniku napędzania silnikiem spalinowym lub w wyniku hamowania silnikiem.

Rodzaje napędów hybrydowych :

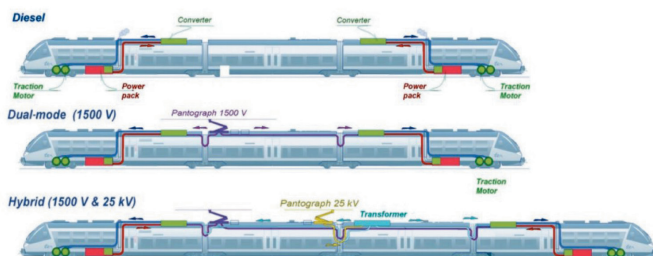
- szeregowy – silnik spalinowy napędza silnik elektryczny, nadmiar energii zostaje przekazany do akumulatorów;
- równoległy – silnik spalinowy może bezpośrednio napędzać koła oraz działa równoległe z silnikiem elektrycznym, podczas hamowania silnik elektryczny pełni rolę generatora;
- szeregowo-równoległy – kombinacje łączące napęd równoległy z szeregowym.

Napędy hybrydowe w pociągach

Przez pociągi hybrydowe najczęściej rozumie się lokomotywę lub zespół trakcyjny, gdzie funkcjonują dwa niezależne układy napędowe (najczęściej spalinowy i elektryczny).

Jeden silnik jest standardowy elektryczny, zasilany z sieci trakcyjnej, a drugi, spalinowy napędzany paliwem ON. Rozwiązanie tego typu ma na celu zapewnić płynność oraz

komfort podróżowania, tam gdzie następuje zmiana traktacji i zachodzi konieczność zmiany taboru (co wiąże się z wysokimi kosztami oraz stratami czasowymi). W zależności od modelu i producenta różne składy mają różne parametry techniczne, takie jak prędkość maksymalna czy pojemność zbiornika paliwa (rys. 3).



Rys. 3. Różnice w układach napędowych w pociągach

Źródło: Piotr Michalak, Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”

We Francji, 9 października 2007 roku, odbyła się prezentacja pierwszego na świecie pociągu pasażerskiego AGC o napędzie hybrydowym spalinowo-elektrycznym, produkcji Bombardier Transportation. Pociąg hybrydowy w Troyen wykonany został jako 4-wagonowy w wersji dwunapięciowej. Cały zespół jest oparty tylko na 5 wózkach, środkowe wózki są wspólne dla sąsiednich wagonów. Takie rozwiązanie zmniejsza masę zespołu, a także poprawia komfort i bezpieczeństwo jazdy (rys. 4).

Podstawowe dane hybrydowego zespołu 4-wagonowego

Moc silników elektrycznych	[kW]	$4 \times 325 = 1300$
Moc silników spalinowych	[kW]	$2 \times 588 = 1176$, przy 1800 obr./min
Prędkość maksymalna zespołu	[km/h]	160 (trakcja elektryczna i spalinowa)
Przyspieszenie rozruchu	[m/s ²]	0,67 (trakcja elektryczna)
	[m/s ²]	0,47 (trakcja spalinowa)
Liczba miejsc do siedzenia		206
Długość zespołu	[m]	72,8
Wysokość podłogi	[m]	0,59 (rejon wejść)
	[m]	1,26 (pozostała część)
Maksymalny nacisk na oś	[t]	17 (zajęte wszystkie miejsca do siedzenia)

Rys. 4. Podstawowe dane hybrydowego zespołu na przykładzie AGC

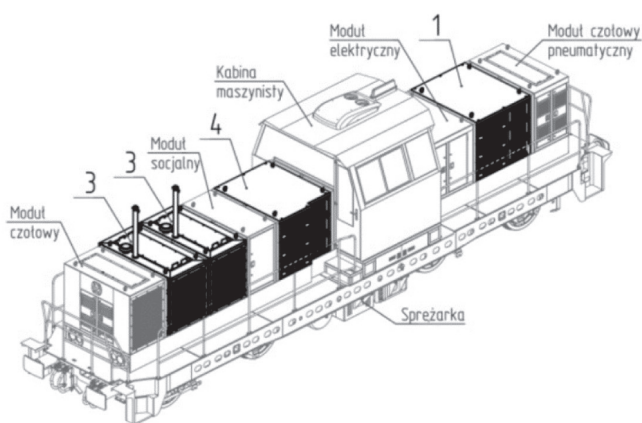
Źródło: Marek Rabsztyń „Pociągi hybrydowe z Bombardiera o napędzie elektryczno-spalinowym na kolejach SNCF”, Warszawa 2007

Zespoły AGC mogą być wykonywane w odmianie do ruchu intercity, do ruchu regionalnego lub podmiejskiego.

Napędy wodorowe w pociągach

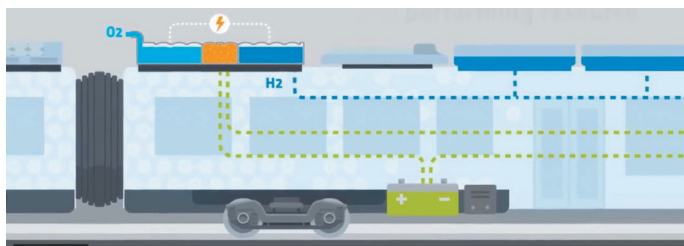
Nowoczesny pociąg, zespół trakcyjny wyposażony w ogniwa paliwowe, które przekształcają wodór i tlen w energię elektryczną, eliminując tym samym szkodliwe emisje związane ze spalaniem paliwa (rys. 5).

Obecnie na podróż tym pierwszym na świecie bezemisyjnym pociągiem o niskim poziomie hałasu, osiągającym prędkość do 140 km/h, będą mieli pasażerowie sieci EVB Elbe-Weser. Dla LNVG pociągi Coradia iLint będą obsługiwały linię o długości prawie 100 km biegnącą przez Cuxhaven, Bremerhaven, Bremervörde i Buxtehude, zastę-



Rys. 2. Układ ogólny lokomotywy hybrydowej (z czterema silnikami trakcyjnymi) z dwoma modułami zespołu prądotwórczego i dwoma modułami wysokowydajnych zasobników energii 1,4 – moduły zasobników energii, 3 – moduł prądotwórczy

Źródło: mgr inż. Piotr Michalak, Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”



Rys. 5. Układ ogólny lokomotywy z napędem wodorowym produkcji Coradia iLint, zbudowany przez Alstom w Salzgitter w Niemczech

Źródło: http://www.umwd.dolnyslask.pl/urzed/aktualnosci/artykul/dolny-slask-przejmuje-nastepne-linie-kolejowe-od-pkp/?no_cache=1&cHash=3b8574e3c59a2cab821ead9d98b962bc

pując istniejącą flotę pociągów spalinowych. Nowe pociągi będą tankowane na mobilnej stacji tankowania wodoru. Gazowy wodór będzie wpompowywany do pociągów ze stalowego kontenera o wysokości ponad 12 m znajdującego się obok torów na stacji Bremervörde. Na jednym tankowaniu pociągi mogą jeździć po sieci przez cały dzień, dzięki pełnej autonomii, pokonując 1000 km. Zgodnie z harmonogramem stacjonarna stacja tankowania na terenie EVB zostanie uruchomiona w 2021 roku, kiedy Alstom dostarczy kolejne 14 pociągów Coradia iLint dla LNVG [6].

Funkcjonowanie kolei dojazdowych

W kontekście funkcjonowania kolei dojazdowej wykorzystanie napędów hybrydowych może rozwiązać wymienione powyżej problemy. Aby dokładnie nakreślić problem należy opisać funkcjonowanie kolei dojazdowej. Jest ona często rozumiana jako trasa, która wiedzie z głównej, magistralnej linii w kierunku mniejszych węzłów komunikacyjnych. Na potrzeby artykułu koleje dojazdowe potraktowano jako odgałęzienia z linii magistralnych, gdzie następuje konieczność zmiany trakcji. W przeszłości istniało wiele takich systemów, których rdzeniem zazwyczaj były miasta wielkości dzisiejszych miast powiatowych. Koleje te nie wytrzymały naporu konkurencji oraz przemian ustrojowych, przez co były sukcesywnie likwidowane (przyczynił się też do tego brak inwestycji w infrastrukturę oraz tabor), te, które funkcjonują do dziś, są wykorzystywane głównie w celach turystycznych. Powodami, które również przyczyniły się do likwidacji kolei dojazdowych są dynamiczny rozwój sieci drogowych, przez co oferty przewoźników samochodowych ulegały stopniowej poprawie, oraz dostęp do zagranicznych rynków samochodów używanych. Trudno jest oszacować, ile dokładnie systemów takiej kolei zlikwidowano, gdyż można przyporządkować je odmiennym kryteriom (takim jak rozstaw szyn czy okres funkcjonowania). Ponadto czasem dzielono te linie na mniejsze, a dopiero później likwidowano. Obecnie największą funkcjonującą koleją dojazdową jest warszawska WKD, z oczywistych przyczyn jej istnieniu nie zagrażała likwidacja. Na obszarach metropolitalnych stwarza się koleje aglomeracyjne, pełniące funkcje kolei dojazdowych. Przykładem takiej kolei jest Poznańska Kolej Metropolitalna czy rozwijana obecnie kolej aglomeracyjna we Wrocławiu.

Połączenia do mniejszych miejscowości, po tzw. liniach mało obciążonych, mają trudności z powodu likwidacji czę-

ści infrastruktury – mijanek lub poczekalni dla pasażerów. Kolejnym problemem jest inny przebieg potoków pasażerskich w czasie budowy tych linii. Problemem natury technicznej są braki w spalinowych zespołach trakcyjnych (o lokomotywach spalinowych, pasażerskich nie wspominając). Większa część zamówień dotyczy elektrowozów lub elektrycznych zespołów trakcyjnych, przykładem takiego niedoboru mogą być Koleje Dolnośląskie. Na obsługiwanych trasach zespoły spalinowe obsługują połączenia z Wrocławia do Świdnicy, gdzie na 59 km całej trasy aż 49 km pociąg jedzie po trasie przystosowanej do obsługi elektrowozami. Według danych przewoźnika posiada on 25 pojazdów spalinowych oraz 32 elektryczne, nie wiadomo jednak, ile z nich zostało czasowo wycofanych z eksploatacji, w wyniku uszkodzeń po wypadkach. Innym przykładem niedostosowania możliwości przewozowych do rozkładu jazdy są Koleje Wielkopolskie, które były zmuszone wydzierżawić 2 pojazdy spalinowe od przewoźnika Arriva.

Propozycja wdrożenia pojazdów hybrydowych na przykładzie Dolnego Śląska

W związku z wolą samorządu województwa dolnośląskiego przejęcia niektórych nieczynnych od lat odcinków linii kolejowych z zamiarem ich odbudowy i przywrócenia regularnych przewozów pasażerskich przeprowadzono analizę ich wprowadzenia, z wykorzystaniem pojazdów hybrydowych. Odcinki, które zamierza przejąć samorząd, o łącznej długości 340 km (docelowo), to linie, gdzie popyt na usługi transportowe nie jest wystarczający, aby uruchomił je podmiot prywatny. Obejmuje głównie odcinki o długości do 20 km, m.in. z Boguszowa-Gorce do Szczawna-Zdroju (dawna linia 291) czy do Karpacza (dawna 340). Obecnie najbardziej obciążoną przewozami, jest linia nr 274, dlatego też skupiono się na połączeniach wychodzących właśnie od niej.

Pierwszym omawianym przykładem będzie linia kolejowa nr 291, której obecnie nieistniejący fragment o długości 17,7 km został przejęty przez władze samorządowe. Dalsza część istnieje i prowadzony jest na niej sezonowy ruch pociągów z Wrocławia oraz Wałbrzycha do czeskiego Adrspachu. Trasa ta spełnia kryteria, o których wcześniej napisano. Jest ciekawym przypadkiem, gdyż zaczyna bieg, odchodząc od zelektryfikowanej linii nr 274, po czym krzyżuje się z nią ponownie przy wyjeździe ze stacji Boguszów-Gorce Wschód. Biorąc pod uwagę całość linii, to trasa z Wrocławia wynosiłaby 97 km. W pobliżu obecnie nieistniejącego odcinka mieszka około 60 tysięcy osób, co jest dodatkowym argumentem za prowadzeniem tam transportu kolejowego. Rewitalizacja tej linii powinna zakładać kurs z Wałbrzycha Szczawienko i pierwotnym szlakiem zmierzać w kierunku granicy – w tym wypadku wystarczyłby pojazd wyłącznie spalinowy. Natomiast kurs z Wrocławia powinien przechodzić linią nr 274 do stacji Szczawienko i dalej być realizowany trakcją spalinową. Atutem tego rozwiązania jest zajęcie pojazdu hybrydowego wyłącznie w weekendy lub w sezonie, co pozwoliłoby realizować nim inne zadania w pozostałym czasie. Byłoby to

urozmaicenie oferty przewozowej na obszarze Wałbrzycha, gdyż zapewniałoby możliwość trasowania części składów częściowo linią nr 291 i z powrotem na linię 274. Innym plusem takiego rozwiązania jest krótszy czas przejazdu, gdyż linia prowadząca przez Wałbrzych na długości 4 km składa się wyłącznie z łuków. W przypadku takiego rozwiązania długość trasy zmienia się z obecnych 127 do 117 km.

Drugim przypadkiem będzie linia kolejowa do Karpacza, która naturalnie powinna być dostosowana do ruchu pociągów regionalnych i dalekobieżnych, z racji funkcjonowania tu dużego ośrodka wypoczynkowego. Długość trasy z Jeleniej Góry to 17 km, na całość składają się dwa odcinki złożone z dwóch linii kolejowych – 340 oraz 308. Planowy ruch został zawieszony na początku XXI w. Linia ta wcześniej była jednotorowa i zelektryfikowana do czasu końca drugiej wojny światowej. Obecnie nie jest tam prowadzony ruch kolejowy, a przeznaczenie samej stacji w Karpaczu zostało zmienione. W końcowym okresie istnienia tej linii pokonanie trasy zajmowało aż 40 minut, co także miało wpływ na popyt. Jedyną drogą jest transport kołowy, przez pewien czas przewoźnik regionalny oferował zintegrowany bilet do Karpacza, na który składał się bilet kolejowy do Jeleniej Góry i następnie przesiadka do autobusu do Karpacza, oferta jednak została wycofana. Przesiadki są z reguły źle postrzegane przez pasażerów, co wpływa negatywnie na frekwencję. W przypadku wykorzystania taboru hybrydowego na stacji Jelenia Góra uniknięto by przesiadki z zespołu elektrycznego do spalinowego, oszczędzono czas, przeznaczany teraz na manewry na stacji. Takie rozwiązanie jest możliwe, gdyż stacja w Jeleniej Górze jest stacją początkową/końcową dla większości składów przez nią obsługiwanych, więc wprowadzenie wydłużonych kursów nie ingeruje mocno w rozkład jazdy i funkcjonowanie stacji.

Na obszarze Dolnego Śląska, między Jelenią Górą a Kłodzkiem, na liniach nr 274 i 285, brakuje bezpośredniego połączenia. Na tym 98 km odcinku, zelektryfikowany szlak ma długość 47 km (Jelenia Góra–Wałbrzych Gł.), pozostałe 51 km to odcinek między Kłodzkiem a Wałbrzychem, gdzie elektryfikacji nie ma. Według rozkładu jazdy, w dzień roboczy najszybsze połączenie na tym odcinku to 125 min w godzinach przedpołudniowych, w odwrotnym kierunku, z Kłodzka do Jeleniej Góry – 116 min (przy przesiadkach odpowiednio 10 i 5 minut). Biorąc pod uwagę możliwości nowoczesnego taboru i poprawę parametrów linii, czas ten mógłby zostać skrócony, chociaż już obecnie czas poniżej 2 godzin jest konkurencyjny w stosunku do transportu kołowego. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że nie funkcjonuje bezpośrednie połączenie autobusowe między tymi miejscowościami. Przejazdy z przesiadkami trwają minimum 240 minut, więc nie są konkurencyjne. Wykorzystanie taboru dwunapędowego umożliwiłoby tworzenia kursów z Jeleniej Góry przez południową część województwa z wykorzystaniem magistrali podsudeckiej do Nysy czy na Górny Śląsk. Biorąc pod uwagę rosnące zainteresowanie wykorzystywaniem kolei jako podstawowego środka komunikacji dalekobieżnej oraz faktem funkcjonowania takich połączeń w przeszłości, istnieją szanse na rozwój kolejowych połączeń hybrydowych.

Obecnie obowiązujące uwarunkowania infrastrukturalne, jak i taborowe (niedobór pojazdów trakcji spalinowej) mają znaczący wpływ na ograniczanie oferty niebędącej połączeniem ze stolicą województwa. Siatki połączeń przewoźników regionalnych mają charakter koncentryczny, gdzie do mniejszych miejscowości będących „na uboczu” głównych linii kolejowych kursują tylko wybrane pociągi, rzadziej spotyka się wahadłowo kursujące składy, które dowożą pasażerów do linii magistralnych. Szybko rosnąca w ostatnich latach liczba pasażerów oraz zwiększanie częstotliwości kursów spowodowały uszczuplenie rezerwy taborowej przewoźników, na czym proporcjonalnie najmniej skorzystały małe ośrodki miejskie. Zastosowanie pojazdów hybrydowych w ruchu liniowym pozwoli na większą elastyczność w tworzeniu rozkładu jazdy i nowych relacji, co przełoży się pozytywnie na wykorzystanie obecnie używanego taboru.

Literatura

1. Roczny Rozkład Jazdy Pociągów 2019, PKP Polskie Linie Kolejowe, Warszawa 2018.
2. Zalewski P., Siedlecki P., Drewnowski A., *Technologia Transportu Kolejowego*, Wydawnictwa Komunikacji Łączności, Warszawa 2013.
3. Raport Roczny za 2018, PKP Polskie Linie Kolejowe, 2018.
4. Rabsztyń M., *Pociągi hybrydowe z Bombardiera o napędzie elektryczno-spalinowym na kolejach SNCF*, Warszawa 2007.
5. <https://www.kolejedolnoslaskie.pl/o-spolce-2/tabor/>, [dostęp: 25.02.2020]
6. <https://www.rynek-kolejowy.pl/mobile/pociagi-alstom-o-napedzie-wodorowym-wyjechaly-na-tory-w-dolnej-saksonii-swiatowa-premiera-88694.html>, [dostęp: 25.02.2020]

Katedra Systemów Transportowych
na Wydziale Inżynierii Lądowej w Politechnice Krakowskiej

organizuje w roku akademickim 2020/2021
siódmą edycję studiów podyplomowych

„MIEJSKI TRANSPORT ZBIOROWY – ZARZĄDZANIE, ORGANIZACJA, NOWOCZESNE TECHNOLOGIE I INFORMATYCZNE WSPOMAGANIE”

1. Czas trwania studiów: dwa semestry **01.10.2020 r. – 30.06.2021 r.**
2. Liczba godzin: **160**, w tym 118 godzin wykładów i 42 godzin laboratoriów.
3. Tryb studiów: niestacjonarny, zjazdy sobotnio–niedzielne, 14 zjazdów (I semestr – 7 zjazdów, 82 godziny, II semestr – 7 zjazdów, 78 godzin). Na ostatnim zjeździe egzamin końcowy i obrona prac dyplomowych.
4. Miejsce studiów: Politechnika Krakowska, Kraków, ul. Warszawska 24.
5. Rekrutacja odbywać się będzie na podstawie zgłoszonych ankiet (ankieta dostępna na stronie Katedry). Termin nadsyłanie zgłoszeń: **15.08.2020 r.**

Kierownik studiów:

prof. dr hab. inż. Wiesław Starowicz,
tel. , , 12 628 30 94end_of_the_skype_highlighting,
e-mail: wstar@pk.edu.pl

Obsługa administracyjna:

mgr inż. Danuta Schwertner, tel. 12 628 30 93, e-mail: dschwer@pk.edu.pl