

Jarosław Moczarski

Typologizacja modeli elementów taboru kolejowego w procesie ich identyfikacji

JEL: L92 DOI: 10.24136/atest.2019.017
Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

W artykule omówiono prace badawcze, których celem jest analiza możliwości identyfikacji elementów taboru kolejowego z wykorzystaniem dostępnych na rynku dalmierzy laserowych. Identyfikacja jest realizowana metodą oceny kształtu i rozmiarów poruszających się obiektów. Zdolność rozpoznawania wybranych obiektów, w szczególności elementów taboru oraz przewożonych ładunków, a także ich usytuowania przestrzennego, stanowi istotny czynnik umożliwiający dokładne i skuteczne pozycjonowanie pojazdów (szczególnie na stacjach i bocznicach), zwiększający bezpieczeństwo oraz efektywność przewozów kolejowych.

Słowa kluczowe: identyfikacja obiektów, sensory laserowe, ocena kształtu i położenia, rozpoznawanie taboru i ładunków.

Wstęp

Bezpieczne przemieszczanie pasażerów i ładunków transportem kolejowym, a także osiągnięcie wysokiej efektywności procesu przewozowego wymagają stosowania nowoczesnych technik pozyskiwania i analizy danych. W szczególności istotna jest umiejętność oceny położenia pociągów na odcinkach linii kolejowych, lokalizacji poszczególnych wagonów w składzie pociągu rozpoznawania sekwencji wagonów, stwierdzania ciągłości składów, pozycjonowania wagonów towarowych i pasażerskich na torach stacyjnych, a także wykrywania niebezpiecznych przemieszczeń ładunków i elementów taboru (lub ich braku) [1]. Mimo postępu technicznego, podstawową metodą identyfikacji taboru jest zliczanie osi przejeżdżających pociągów. Ocena położenia wagonów i ładunków odbywa się przede wszystkim metodą wzrokową.

Wzrost natężenia ruchu kolejowego (szczególnie w przewozach aglomeracyjnych), prędkości pociągów i liczby podróży, a także oczekiwania dotyczące skracania czasu podróży i transportu ładunków, automatyzacji procesów załadunku i rozładunku, potrzeba zwiększenia bezpieczeństwa, niezawodności i punktualności przewozów stymulują wprowadzanie nowych, skutecznych rozwiązań wspomagających organizację procesu przewozowego.

1. Metoda identyfikacji obiektów

Istotą realizowanych badań jest ocena możliwości zastosowania sensorów laserowych (kurtyn-barier pomiarowych, skanerów 2D oraz punktowych dalmierzy laserowych) do identyfikacji poruszających się obiektów. Wykonywane pomiary są ukierunkowane na ocenę kształtu oraz rozmiarów obserwowanych elementów.

Synchroniczny odczyt wyników pomiarów, realizowanych przez poszczególne sensory, wykonywany z założoną częstotliwością (w funkcji drogi lub czasu), pozwala zebrać dane charakteryzujące kształt fragmentów powierzchni przemieszczających się obiektów. Na podstawie wyników powtarzanych wielokrotnie eksperymentów, jest tworzony model matematyczny obserwowanego obiektu. Algorytm aplikacji komputerowej uczy się na danych treningowych. Odpowiednio wytrenowany model umożliwia rozpoznawanie pojedynczych obiektów lub odpowiednich sekwencji w trakcie ich prze-

mieszczania w polu widzenia sensorów. Aplikacja komputerowa funkcjonuje w środowisku Matlab, wykorzystując funkcje projektowania i symulacji sieci neuronowych.

Przed rozpoczęciem treningu można dokonać wyboru czujników, z których dane pomiarowe będą wykorzystywane w procesie modelowania obserwowanych obiektów. Aplikacja umożliwia budowę różnych modeli na podstawie wyników pomiarów uzyskanych z tego samego eksperymentu z wykorzystaniem dowolnego podzbioru sensorów. Takie podejście pozwala ocenić przydatność poszczególnych czujników w procesie identyfikacji, odpowiednio dobrać ich liczbę i konfigurację przestrzenną zapewniającą największą skuteczność identyfikacji i możliwie krótki czas obliczeń.

2. Wyniki obserwacji obiektów na stanowisku pomiarowym

Zainstalowana na stanowisku badawczym [2] kurtyna (bariera) pomiarowa (rys. 1) umożliwia obserwację przemieszczających się obiektów w płaszczyźnie pionowej, prostopadłej do kierunku ich ruchu. Pozwala rejestrować wewnętrzne i zewnętrzne kontury poszczególnych elementów. Skaner 2D obserwuje ruchomą scenę pomiarową z góry. Plamka lasera przemieszcza się w płaszczyźnie pionowej, prostopadłej do kierunku ruchu sceny i umożliwia pomiar odległości między skanerem i górną powierzchnią przemieszczających się obiektów.



Rys. 1. Skaner 2D (z lewej) oraz kurtyna-bariera pomiarowa (z prawej) na stanowisku badawczym [fot. autor]

Jako samodzielne urządzenie pomiarowe, kurtyna nie daje możliwości rozróżniania obiektów, których rzut na płaszczyznę pionową, równoległą do kierunku ruchu jest identyczny (lub zbliżony, ograniczony dokładnością obserwacji obiektu przez kurtynę). Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe zobrazowanie przetworzonych danych pomiarowych uzyskanych z kurtyny, podczas obserwacji sceny, na której umieszczono kolejno objekty o kształcie walca, prostokąta i kuli.

padłościanu o podstawie kwadratowej oraz prostopadłościanu o podstawie sześciokątnej (rys. 2), usytuowane w pozycji pionowej.

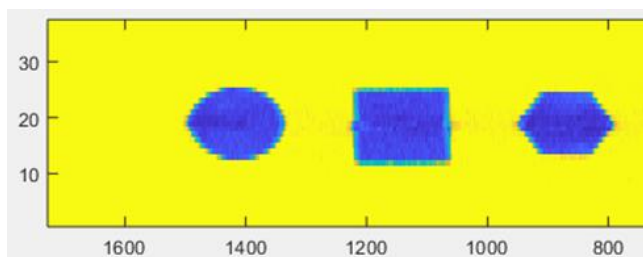


Rys. 2. Ruchoma scena pomiarowa z obiektami typu: walec, prostopadłościan o podstawie kwadratowej, prostopadłościan o podstawie sześciokątnej oraz kula, ustawionymi w pozycji pionowej [fot. autor]



Rys. 3. Zobrazowanie danych uzyskanych z kurtyny pomiarowej podczas obserwacji obiektów typu: walec, prostopadłościan o podstawie kwadratowej oraz prostopadłościan o podstawie sześciokątnej (usytuowanie obiektów jak na rys. 2) [opracowanie własne]

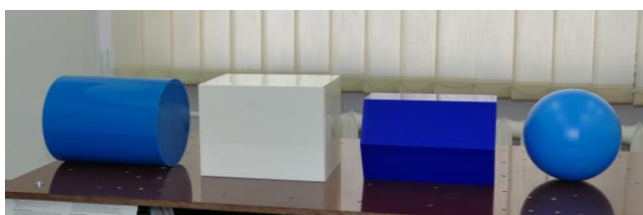
Na rysunku 4 przedstawiono dane pomiarowe dla tych obiektów (usytuowanych jak na rysunku 2), zarejestrowane przez skaner 2D.



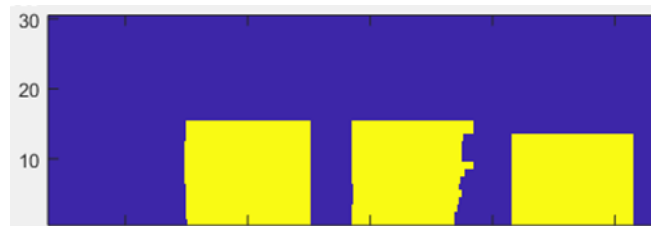
Rys. 4. Zobrazowanie danych uzyskanych ze skanera 2D podczas obserwacji obiektów typu: walec, prostopadłościan o podstawie kwadratowej oraz prostopadłościan o podstawie sześciokątnej (usytuowanie obiektów jak na rys. 2) [opracowanie własne]

Obrazy uzyskane z kurtyny pomiarowej są praktycznie jednokowe. Skaner 2D pozwala rozróżniać obserwowane obiekty ze względu na niejednakowy kształt podstawy.

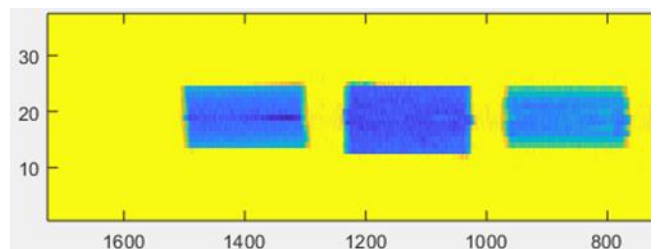
Efekty obserwacji tych samych obiektów w położeniu poziomym (rys. 5) zaprezentowano odpowiednio na rysunku 6 (wyniki uzyskane z kurtyny pomiarowej) oraz na rysunku 7 (wyniki uzyskane ze skanera 2D).



Rys. 5. Ruchoma scena pomiarowa z obiektami typu: walec, prostopadłościan o podstawie kwadratowej, prostopadłościan o podstawie sześciokątnej oraz kula rozmieszczonymi w pozycji poziomej [fot. autor]



Rys. 6. Zobrazowanie danych uzyskanych z kurtyny pomiarowej podczas obserwacji obiektów typu: walec, prostopadłościan o podstawie kwadratowej oraz prostopadłościan o podstawie sześciokątnej (usytuowanie obiektów jak na rys. 5) [opracowanie własne]

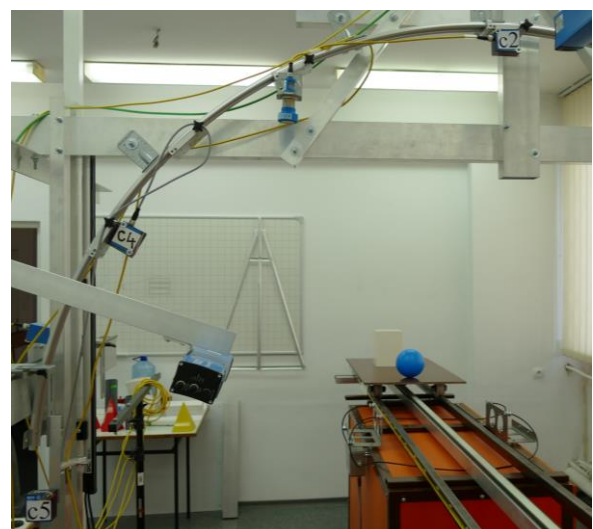


Rys. 7. Zobrazowanie danych uzyskanych ze skanera 2D podczas obserwacji obiektów typu: walec, prostopadłościan o podstawie kwadratowej oraz prostopadłościan o podstawie sześciokątnej (usytuowanie obiektów jak na rys. 5) [opracowanie własne]

Dla przedstawionej sekwencji obiektów rozmieszczonych w pozycji poziomej, wyniki pomiarów uzyskane zarówno z kurtyny jak też ze skanera 2D, nie pozwalają w jednoznaczny sposób rozróżnić poruszających się elementów. Dodatkowo, zakłócenia w pomiarze odległości powodowane ukośnym położeniem niektórych powierzchni obiektów w stosunku do padającej wiązki laserowej skanera, nie dają możliwości precyzyjnego określenia ich kształtu.

Punktowe dalmierze laserowe zdecydowanie lepiej odwzorowują kształty obserwowanych powierzchni. Ograniczenie stanowi fakt, że pomiar odległości od sensora do obiektu odbywa się wyłącznie w płaszczyźnie wyznaczonej przez kierunek ruchu obiektu oraz kierunek wiązki laserowej dalmierza. W wyniku otrzymujemy krzywe, odwzorowujące kształt fragmentów powierzchni bocznych obiektów, „widzianych” przez dalmierz.

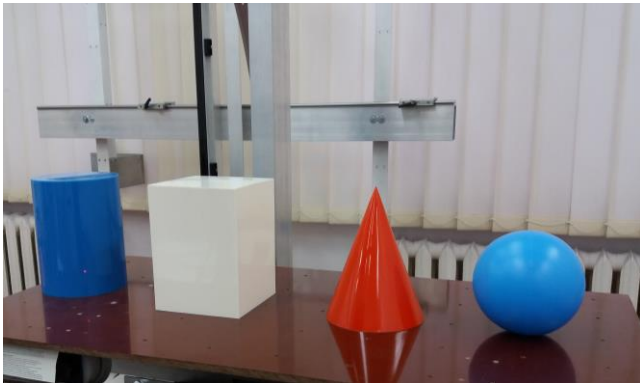
Na fotografii (rys. 8) przedstawiono podstawową, prostą konfigurację punktowych dalmierzy laserowych (oznaczonych, jako c2, c4 oraz c5), zainstalowanych na stanowisku badawczym.



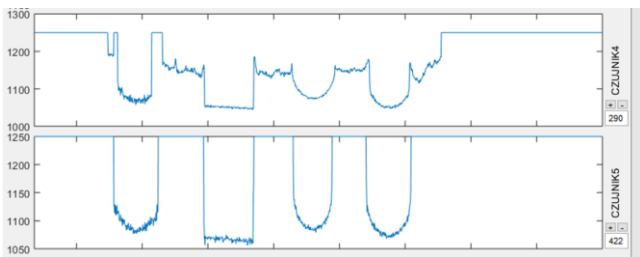
Rys. 8. Podstawowa konfiguracja punktowych dalmierzy laserowych zainstalowanych na stanowisku badawczym (czujniki c2, c4 oraz c5) [fot. autor]

Obserwacja obiektu przez pojedynczy dalmierz punktowy nie jest wystarczająca do jego jednoznacznej identyfikacji. Jak pokazano na rysunku 10, wynik pomiaru dla obiektów typu walec, stożek oraz kula (usytuowanych jak na rys. 9), obserwowanych w płaszczyźnie poziomej (czujnik c5), a także w płaszczyźnie nachylonej do podstawy pod kątem ok. 30 stopni (czujnik c4, rys. 8) są praktycznie jednakowe.

Wyjątek stanowi obraz prostopadłościanu o podstawie kwadratowej.

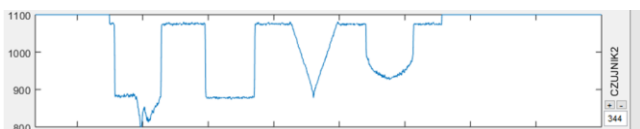


Rys. 9. Obiekty typu walec, prostopadłościan o podstawie kwadratowej, stożek oraz kula na ruchomej scenie pomiarowej [fot. autor]



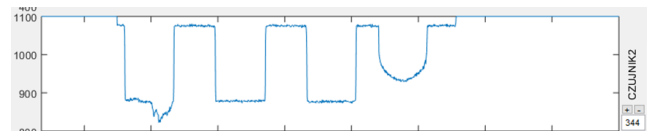
Rys. 10. Wynik obserwacji obiektów typu walec, prostopadłościan o podstawie kwadratowej, stożek oraz kula, odpowiednio w płaszczyźnie poziomej (przez czujnik c5) oraz w płaszczyźnie nachylonej pod kątem ok. 30 stopni (czujnik c4) [opracowanie własne]

Obserwacja sceny pomiarowej w kierunku pionowym, przez czujnik c2 (rys. 8) pozwala rozróżnić obiekty o kształcie stożka i kuli oraz odróżnić je od walca i prostopadłościanu (rys. 11). Natomiast krzywe odwzorowujące profil walca oraz prostopadłościanu są podobne i nie pozwalają na dostrzeżenie występujących odmienności kształtu tych brył.

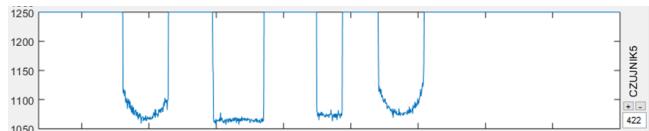


Rys. 11. Wynik obserwacji obiektów typu walec, prostopadłościan o podstawie kwadratowej, stożek oraz kula w płaszczyźnie pionowej (przez czujnik c2) [opracowanie własne]

W przypadku obserwacji obiektów o kształcie walca, prostopadłościanu o podstawie kwadratowej oraz prostopadłościanu o podstawie sześciokątnej (zgodnie z sekwencją przedstawioną na rys. 2), obraz tych elementów wygląda jednakowo w przypadku obserwacji w kierunku pionowym, przez czujnik c2 (rys. 12) oraz – dla prostopadłościanów - w kierunku poziomym, przez czujnik c5 (rys. 13).



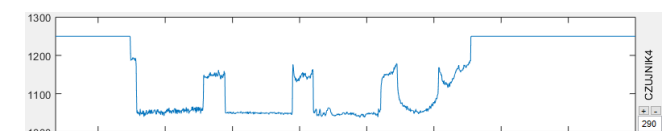
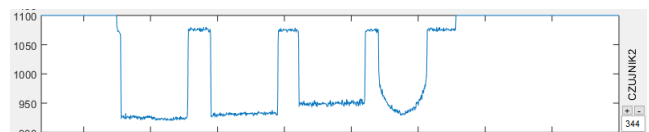
Rys. 12. Wynik obserwacji obiektów o kształcie (kolejno od lewej) walca, prostopadłościanu o podstawie kwadratowej, prostopadłościanu o podstawie sześciokątnej oraz kuli (zgodnie z sekwencją przedstawioną na rys. 2) przez czujnik c2 (kierunek pionowy – rys. 8) [opracowanie własne]



Rys. 13. Wynik obserwacji obiektów o kształcie (kolejno od lewej) walca, prostopadłościanu o podstawie kwadratowej, prostopadłościanu o podstawie sześciokątnej oraz kuli (zgodnie z sekwencją przedstawioną na rys. 2) przez czujnik c5 (kierunek poziomy – rys. 8) [opracowanie własne]

Widoczny, jako pierwszy od prawej, obraz kuli wyróżnia się spośród pozostałych obiektów przy obserwacji w kierunku pionowym, przez czujnik c2 (rys. 12), ale jest identyczny z obrazem walca przy obserwacji w kierunku poziomym, przez czujnik c5 (rys. 13).

Na rysunku 14 zaprezentowano wyniki obserwacji obiektów typu walec, prostopadłościan o podstawie kwadratowej, prostopadłościanu o podstawie sześciokątnej oraz kula, umiejscowionych na ruchomej scenie pomiarowej w sposób zaprezentowany na rysunku 5.



Rys. 14. Wyniki obserwacji obiektów o kształcie (kolejno od lewej) walca, prostopadłościanu o podstawie kwadratowej, prostopadłościanu o podstawie sześciokątnej oraz kuli (zgodnie z sekwencją przedstawioną na rysunku 5) przez czujnik c2 (kierunek pionowy) oraz czujnik c5 (kierunek poziomy) [opracowanie własne]

Wyniki pomiarów w kierunku pionowym uzyskane z czujnika c2 i poziomym uzyskane z czujnika c5 (rys. 14), a także obrazy uzyskane z kurtyny pomiarowej (rys. 6) i skanera (rys. 7), dla walca i prostopadłościanów, również nie dają możliwości ich rozróżniania.

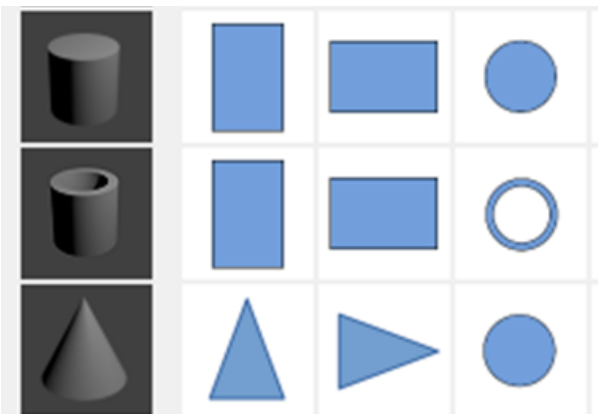
3. Typologizacja obiektów

Wykorzystywana w laboratorium aplikacja komputerowa przeznaczona do tworzenia modeli obserwowanych elementów, trenowania tych modeli oraz późniejszej identyfikacji wybranych obiektów pozwala, w sposób synchroniczny, rejestrować wyniki pomiarów jednocześnie ze wszystkich wykorzystywanych sensorów laserowych (kurtyny, skanera 2D oraz dalmierzy punktowych).

W tworzonego modelu matematycznym, każdy obserwowany obiekt jest opisany zbiorem wartości charakteryzujących kształt badanych fragmentów powierzchni, (jako wynik pomiarów odległości przez dalmierze punktowe oraz skaner 2D). Jednocześnie można wprowadzić do charakterystyki obiektu inne atrybuty, ułatwiające

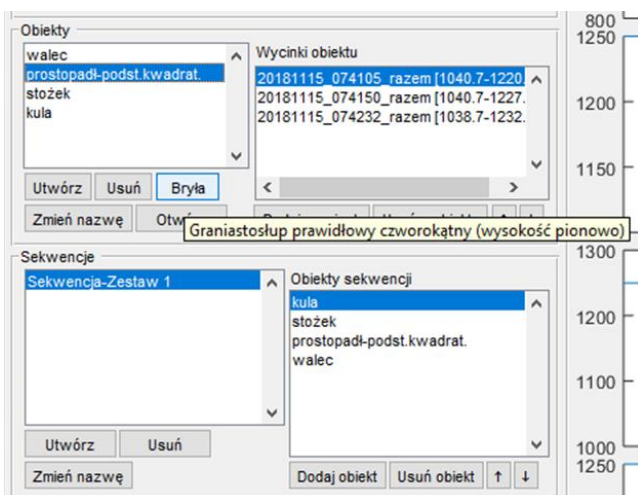
rozdzielanie przez aplikację komputerową elementów o podobnych rozmiarach i kształtach oraz przyspieszające proces prowadzonych obliczeń (zarówno na etapie trenowania modeli jak też późniejszego procesu identyfikacji).

Dla zwiększenia efektywności stosowanej aplikacji wykorzystano atrybut wskazujący na podobieństwo kształtu badanego elementu do typowych brył geometrycznych. W tym celu posłużono się modelami matematycznymi podstawowych brył geometrycznych takich jak np. walec, kula, stożek, prostopadłościany prawidłowe o różnych podstawach itp. rozróżniając przy tym ich zasadnicze orientacje przestrzenne (rys. 15).



Rys. 15. Przykładowe, podstawowe bryły geometryczne w różnych orientacjach przestrzennych, wykorzystywane w procesie trenowania modelu [opracowanie własne]

Tworząc modele matematyczne obiektów na podstawie wyników obserwacji można jednocześnie zadeklarować, jaka bryła geometryczna jest najbliższa kształtem badanemu elementowi. Na rysunku 16 zaprezentowano fragment okna interfejsu użytkownika, umożliwiającego definiowanie obserwowanych obiektów, w tym deklarowanie ich nazw oraz wskazywanie podobieństwa do odpowiednich brył geometrycznych i ich orientacji przestrzennej.



Rys. 16. Definiowanie brył powiązanych z obiektem badanym, oraz ich orientacji przestrzennej, w procesie trenowania modelu [opracowanie własne]

Wprowadzenie atrybutu badanego obiektu, określającego jego podobieństwo do podstawowych, opisanych matematycznie, brył geometrycznych oraz ich orientacji przestrzennej, zwiększyło sku-

teczność procesu identyfikacji oraz skróciło czas trenowania modelu.

Oczekuje się, że prowadzone prace badawcze pozwolą określić efektywność metody dla obiektów o różnych kształtach i występujących w różnych sekwencjach. Istotnym kierunkiem analiz jest określenie liczby i konfiguracji przestrzennej sensorów pomiarowych umożliwiających skuteczną identyfikację obiektów wyróżnionych zgodnie z przyjętą typologizacją.

Podsumowanie

Dokładność tworzonych modeli oraz skuteczność identyfikacji obserwowanych obiektów zależą od liczby zastosowanych sensorów laserowych oraz ich konfiguracji przestrzennej. Umieszczenie poszczególnych sensorów w stosunku do badanych elementów powinno uwzględniać ich kształt, zróżnicowanie powierzchni, kąt padania promienia lasera na powierzchnię (w przypadku powierzchni wielościennych - na poszczególne wielokątne bryły) itp.

Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że odpowiednio skonfigurowany przestrzennie zestaw sensorów umożliwia tworzenie modeli obserwowanych obiektów, a po ich wytrenowaniu (w efekcie wielokrotnie powtarzanych obserwacji i pomiarów) – wykrywanie poszukiwanych elementów, a także rozpoznawanie ich sekwencji.

Typologizacja obiektów oraz wprowadzenie możliwości kojarzenia badanych elementów z typowymi bryłami geometrycznymi w odpowiedniej orientacji przestrzennej, przyspieszają proces obliczeń oraz zwiększają skuteczność prowadzonej identyfikacji.

Bibliografia:

1. Moczarski J., Identyfikacja taboru w zarządzaniu transportem kolejowym, „Autobusy” 2018, nr 6.
2. Moczarski J., Identyfikacja elementów taboru kolejowego z wykorzystaniem sensorów laserowych, „TTS” 2017, nr 12.

Typologization of models of rolling stock elements in the process of their identification

Paper discussed the problem of rolling stock elements identification and recognition of loads. For evaluation of the object shape and position, in the tests are used laser sensors such as mid-range distance sensors, automation light grids and 2D laser measurement sensors. For the creation of digital models of the studied objects and their subsequent identification there was developed a computer application working in Matlab programming environment. Typologization of models of rolling stock elements accelerate calculations and increase the effectiveness of the conducted identification.

Keywords: object identification, laser sensors, evaluation of the shape and position, recognition of rolling stock and loads.

Autor:

dr hab. inż. **Jarosław Moczarski** – Instytut Kolejnictwa, Warszawa, e-mail : jmoczarski@ikolej.pl

Artykuł powstał w ramach projektu własnego Instytutu Kolejnictwa pt. „Badanie i ocena wpływu konfiguracji przestrzennej sensorów pomiarowych na efektywność identyfikacji ruchomych obiektów (na przykładzie wybranych elementów taboru kolejowego)” finansowanego z dotacji MNiSzW na działalność statutową.