

ANALIZA KRZYWIZNY TORU KOLEJOWEGO W ASPEKTCIE WYMUSZONYCH PRZEMIESZCZEŃ POPRZECZNYCH¹

Andrzej Wilk

dr hab. inż., Politechnika Gdańska, tel. 58 347 1087,
e-mail: awilk@ely.pg.gda.pl

Piotr Chrostowski

dr inż., Politechnika Gdańska, tel. 58 348 6090, e-mail:
piochros@pg.gda.pl

***Streszczenie.** Artykuł dotyczy zagadnienia identyfikacji zmian kształtu toru występujących w procesie wymuszonych przemieszczeń poprzecznych. Wymuszenia takie mają miejsce w regulacji geometrycznej osi toru podczas pracy podbijarki. W pracy przedstawiono założenia do opracowywanej metody ciągłego pomiaru wymuszonych przemieszczeń poprzecznych rusztu torowego. Zaprezentowany został program komputerowy realizujący proces identyfikacji obrazu oraz założenia do metodyki określania modelu teoretycznego powstałej deformacji geometrycznej. Autorzy nawiązali do wykonywanych przez nich prac badawczych, których celem było wykazanie zależności pomiędzy postacią deformacji wynikającej z pracy podbijarki a siłą osiową występującą w tokach szynowych toru bezстыkowego.*

***Słowa kluczowe:** tor kolejowy, pomiar przemieszczeń poprzecznych, analiza obrazu, identyfikacja kształtu*

1. Charakterystyka problemu pomiarowego

W obecnych czasach niezwykle popularne stały się techniki analizy obrazów pochodzących z kamer cyfrowych. Analizy takie prowadzone są głównie w celach identyfikacji obiektów oraz zmian ich parametrów w czasie np. ich pozycji, kształtu, barwy. Należy zwrócić uwagę na fakt, że analiza taka staje się skuteczną metodą pomiarową charakteryzującą się brakiem kontaktu urządzenia pomiarowego i obiektu mierzonego oraz swobodą w wyborze układu odniesienia. Pierwsza cecha otwiera duże możliwości szczególnie tam, gdzie mamy do czynienia z procesem dynamicznym. Częstotliwość zapisu obrazów osiągnęła wartości rzędu tysięcy klatek na sekundę, co oczywiście jest niewspółmierne do potrzeb związanych ze zjawiskami występującymi w inżynierii lądowej. Nie mniej ważna jest kwestia wyboru układu odniesienia. Bardzo często w pomiarze przemieszczeń występują ograniczenia związane z odległością obiektu oraz z mobilnością układu pomiarowego.

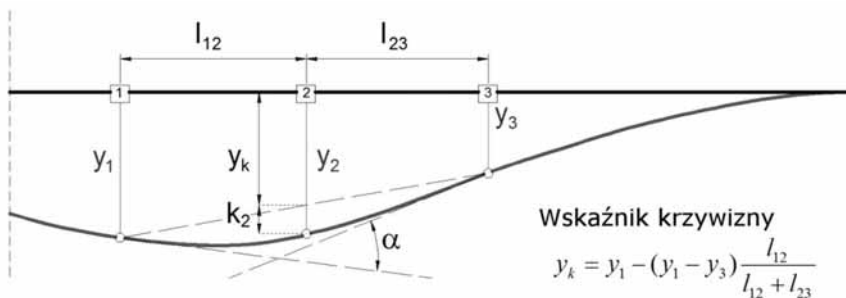
W ostatnich latach autorzy uczestniczyli w pracach zespołu badawczego z Politechniki Gdańskiej pod kierownictwem prof. W. Koca analizując kształt prze-

¹ Wkład autorów w publikację: Wilk A. %, Chrostowski P. %

mieszczanego w procesie regulacji geometrycznej toru kolejowego. Analizy te wykorzystywane były do badań stanu sił osiowych występujących w szynach toru bezстыkowego oraz w ocenie oporu poprzecznego rusztu torowego [4, 5, 6].

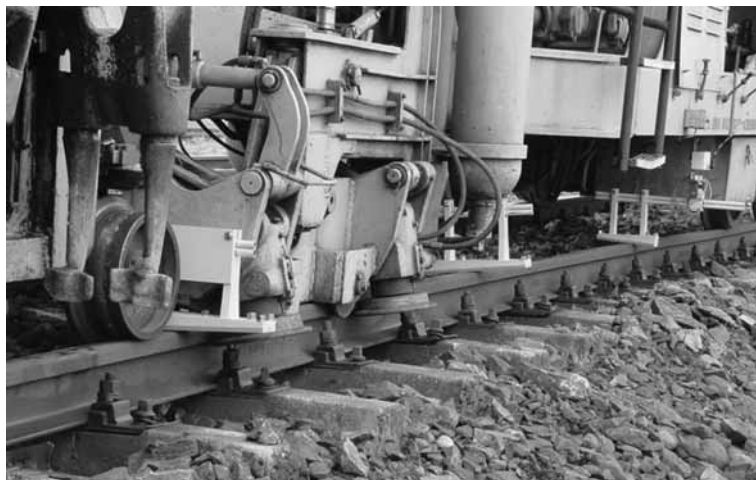
Badając zależności pomiędzy kształtem toków szynowych pomiędzy osiami pracującej podbijarki, a siłą osiową występującą w szynach, autorzy zmagali się z problemem metodyki pomiarowej. O ile ciągły (w czasie) pomiar siły wymuszającej mógł być realizowany praktycznie bez przeszkód, to bezpośredni pomiar kształtu toru był bardzo utrudniony. Trudności wynikały z dwóch głównych przyczyn, po pierwsze parametr krzywizny toru może być wyznaczony tylko na podstawie informacji przestrzennej dotyczącej odpowiednio długiego fragmentu deformowanego toru, co generuje potrzebę pomiaru przemieszczeń wielu punktów konstrukcji. Drugą problematyczną kwestią jest dynamiczny charakter badanego procesu. Przemieszczenie podczas nasuwania poprzecznego toru jest parametrem dynamicznym, a dodatkowo dochodzi wspomniana wcześniej kwestia zmiennej lokalizacji pomiaru, co w rezultacie skutkuje problemami z układem odniesienia przy pomiarze wykonywanym podczas pracy podbijarki torowej.

W poprzednich pracach autorzy posługiwali się odpowiednio zdefiniowanym wskaźnikiem krzywizny toru kolejowego, który wyznaczany był poprzez pomiar przemieszczeń toru w trzech charakterystycznych punktach. Punkty te określone były z uwagi na specyfikę pomiaru, a główny czynnik determinującym ich umiejscowienie związany był z konstrukcją podbijarki oraz z możliwościami montażu aparatury pomiarowej. Podejście takie, wynikające z trudności pomiarowych pozwalało jednak na zdefiniowanie pewnych wskaźników informujących o stanie układu geometrycznego deformowanego toru w funkcji czasu. Można zatem stwierdzić, że z punktu widzenia sposobu rejestracji sygnału pomiar był pomiarem ciągłym, zaś z punktu widzenia odtworzenia kształtu toru rejestrowany sygnał był pozyskiwany w sposób dyskretny. Rys. 1 ukazuje sposób, w który określana była krzywizna toru powstająca w wyniku działania siły poprzecznej w procesie nasuwania, natomiast fot. 1 przedstawia maszynę torową z zainstalowanym oprzyrządowaniem zawierającym trzy czujniki przemieszczenia [5].



Rys. 1. Schemat ideowy sposobu wyznaczania wskaźnika krzywizny

Oznaczenia: k_2 ; 1, 2, 3 – punkty pomiaru przemieszczeń; y_1, y_2, y_3 – wartości przemieszczeń poziomych w punktach 1, 2, 3; α – kąt między stycznymi do krzywej wycięcia



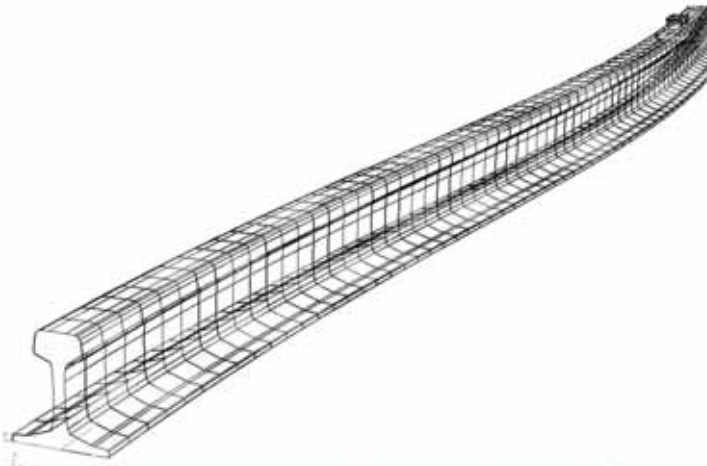
Fot. 2. Podbijarka torowa z zestawem trzech czujników do pomiaru przemieszczenia poprzecznego toru

Chcąc wyeliminować powyższe trudności postanowiono opracować metodykę wyznaczania krzywizny toru za pomocą pomiaru pośredniego. Jednym ze sposobów określania zależności przestrzennych jest fotogrametria, w której bazuje się na zależnościach geometrycznych rzutu środkowego. Techniki te wykorzystują zdjęcia fotograficzne wykonane w znanych warunkach orientacji zewnętrznej i wewnętrznej. Zatem wykorzystując kamerę cyfrową o znanych parametrach można zidentyfikować fotografowany kształt, jeśli tylko znana jest orientacja płaszczyzny fotografowanego obiektu względem osi optycznej aparatu. Proces taki w przypadku przemieszczeń toru pozwoli na odtworzenie jego kształtu w badanym zakresie przestrzennym oraz czasowym, co doprowadzić może do dogłębszej analizy wspomnianych wyżej mechanicznych właściwości nawierzchni.

2. Problem identyfikacji obiektów na obrazie cyfrowym

Aktualnym stanem badań są prace przygotowujące system do identyfikacji kształtu toru na podstawie obrazów rejestrowanych przez kamerę cyfrową. W pierwszym podejściu autorzy posłużyli się wirtualnymi symulacjami procesu deformacji toru, co miało na celu stworzenie podstawowych algorytmów identyfikujących obiekt na mapie bitowej obrazu. Zaletą symulacji poprzedzających prace polowe jest fakt, że wstępne analizy prowadzone są w zdefiniowanych i stałych warunkach, które mogą być w pełni kontrolowane. Możliwe więc jest stworzenie takich warunków pracy modułu identyfikującego obiekt, które symulować będą rzeczywiste warunki wykonywania fotografii konstrukcji. Głównym narzędziem służącym do celu identyfikacji jest opracowywany program komputerowy, który stwarza możliwość pracy z cyfrowymi plikami wideo oraz z plikami obrazów statycznych. Zatem dane wejściowe dostarczane są w postaci plików AVI, które mogą być wygenerowane również w środowisku wirtualnym. Wstępne prace nad

algorytmem prowadzone były na plikach pochodzących z symulacji wykonanych w środowisku *3DSMax* [3]. Środowisko to umożliwia tworzenie plików wideo zapisując symulowaną sytuację (w tym przypadku proces deformacji modelu szyny) według zasad rzutu środkowego, a więc tak jak ma to miejsce podczas pracy rzeczywistej kamery cyfrowej. Niewątpliwą zaletą symulacji jest możliwość symulowania również parametrów samej kamery, co jest przydatne szczególnie na etapie planowania metodyki pomiaru z uwagi na montaż kamery. Wymienione zalety pozwalają na przeprowadzenie efektywnych prac we wstępnej fazie poprzedzającej trudne i kosztowne eksperymenty polowe. Analizowany model komputerowy pojedynczej szyny poddanej wymuszeniu pokazano na rys. 2. Rysunek ten przedstawia również sposób reprezentacji wektorowej analizowanego obiektu w postaci powierzchniowej siatki przestrzennej (ang. *Wireframe*) złożonej z wierzchołków i krawędzi określających elementarne powierzchnie. Model taki uzupełniany był o odpowiednie tekstury graficzne symulujące refleksyjne właściwości stali szynowej. W kolejnym etapie analizie poddane zostały fotografie rzeczywistych konstrukcji, które pozwoliły na określenie ostatecznego algorytmu identyfikującego tor kolejowy.



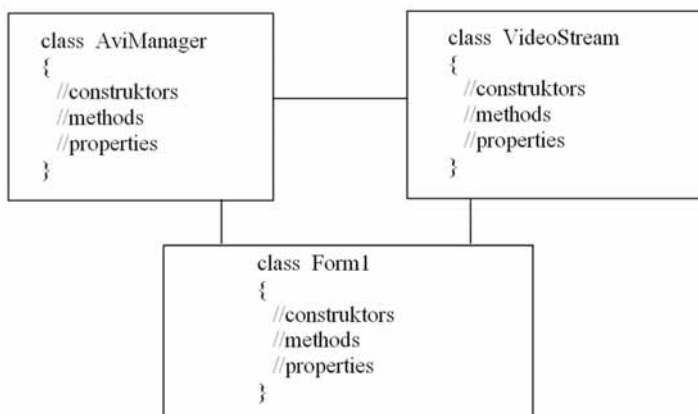
Rys. 2. Komputerowy model 3D szyny kolejowej reprezentowanej przez siatkę powierzchniową

3. Struktura programu do analizy plików graficznych

Analiza plików cyfrowych prowadzona jest przez odpowiednio zaprojektowany program komputerowy. Zasadnicze cechy programu komputerowego przedstawiono w pracy [8]. Program został opracowany od podstaw w środowisku programistycznym *Visual Studio 2010*, z wykorzystaniem biblioteki „*NET Framework*” [7]. Biblioteka ta umożliwia pisanie programu z wykorzystaniem tzw. zarządzanych języków programowania. Do realizacji celu wybrano język *C#*. Jest to język zarządzany i obiektowy. Obiektowość tego języka pozwala na realizację zadania

programistycznego przełożonego na pojęcie klas, dziedziczenia i polimorfizmu, co jest obecnie aktualnym modelem programowania.

Program jest zorganizowany w szereg klas. Poszczególne klasy są opracowane do realizacji określonych zadań. W zakresie tego referatu istotne do realizacji celu są trzy klasy o nazwach: „*AviManager*”, „*VideoStream*” oraz „*Form1*”. Relacje pomiędzy tymi klasami określa poglądowo rys. 3. Dodatkowo w programie zaimplementowano narzędzia analizy obrazów zawierających zdjęcia toru kolejowego.



Rys. 3. Relacje ważniejszych klas opracowanej przez autorów aplikacji komputerowej służącej do analizy plików graficznych

Głównym zadaniem klasy „*AviManager*” jest:

- dostarczenie konstruktorów do utworzenia obiektów tej klasy,
- otwarcie pliku *AVI* (cyfrowy format pliku wideo),
- pobranie strumienia video z otwartego pliku i otwarcie strumienia w celu jego przetwarzania,
- zamknięcie strumienia video, gdy nie jest używany,
- zamknięcie pliku *AVI*,
- zwolnienie pamięci operacyjnej, gdy strumienie video nie są używane.

Klasa „*VideoStream*” zawiera metody do edycji strumienia video. Jej głównym zadaniem jest:

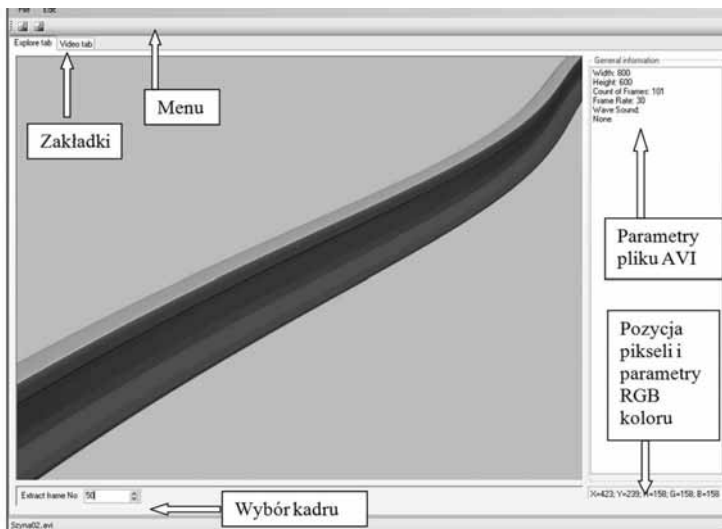
- dostarczenie konstruktorów do utworzenia obiektów tej klasy,
- dekompresja otwartego strumienia video do odpowiedniego zbioru ramek zawierających obrazy,
- przetworzenie ramki do obiektu klasy *Bitmap*, czyli odpowiedniego pliku rastrowego,
- zwolnienie pamięci operacyjnej, gdy pliki rastrowe są zamykane i edycja strumienia video nie jest dalej realizowana.

Klasa „*Form1*” zawiera komponenty graficznego interfejsu użytkownika (kontrolki) oraz metody obsługi zdarzeń dotyczących realizacji zadania. Głównym zadaniem tej klasy jest:

- dostarczenie konstruktorów do utworzenia obiektów tej klasy,

- obsługa zdarzeń wynikająca z interakcji pomiędzy użytkownikiem i aplikacją,
- eksploracja i edycja strumienia wideo,
- odtwarzanie plików wideo,
- przetwarzanie i analiza plików rastrowych w celu wyznaczenia krzywizny szyny,
- zwolnienie zasobów w pamięci operacyjnej przy zamykaniu programu.

Klasa „Form1” jest wspólną przestrzenią dla obiektów pozostałych klas. Inaczej mówiąc istotne do realizacji postawionego celu obiekty są inicjalizowane w klasie „Form1”. Graficzny interfejs użytkownika opracowanej aplikacji przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Graficzny interfejs użytkownika opracowanej przez autorów aplikacji komputerowej służącej do analizy plików graficznych

4. Wyniki identyfikacji główki szyny na fotografiach cyfrowych

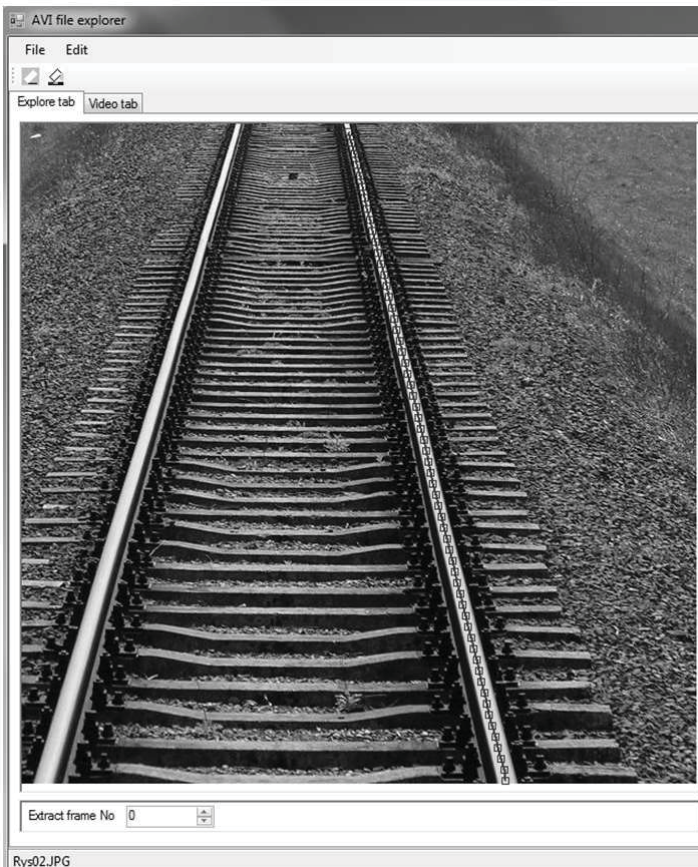
Podobnie jak ma to miejsce w typowych problemach diagnostyki wizyjnej, które polegają przykładowo na lokalizacji uszkodzeń i określeniu ich rozmiarów, dyskutowany problem polega na odseparowaniu informacji o wspólnej cesze, tj. wyizolowaniu pikseli reprezentujących główkę szyny kolejowej. Zatem algorytm ma za zadanie wybrać tylko te punkty, które należą do obrazu główki szyny, aby następnie określić jej oś podłużną. Zatem podstawowe problemy do rozwiązania tkwią w analizie ciągłości grupy pikseli. Autorzy postanowili opracować algorytm uwzględniający następujący szereg czynników określających jego funkcjonalność:

- możliwość wskazania przez użytkownika obszaru punktów (pikseli), których parametry RGB kolorów będą punktem odniesienia w analizie,
- możliwość dynamicznej autokorekcji tolerancji parametrów RGB, w której znajduje się analizowany obiekt, tj. powierzchnia toczna główki szyny,

- analiza gradientu wartości komponentu składowej koloru RGB względem współrzędnej przestrzennej,
- warunki początkowe i brzegowe stanu parametrów RGB kolorów,
- analiza ciągłości przestrzennej palety kolorów RGB reprezentujących powierzchnie toczna główki szyny.

Algorytm identyfikacji główki szyny był wstępnie analizowany na przykładzie komputerowych modeli 3D toru kolejowego. Wyniki tych prac pokazano w [8]. W niniejszej pracy pokazano wyniki identyfikacji główki szyny na podstawie zdjęć rzeczywistych obiektów. Wykorzystano zdjęcia przedstawiające fragmenty toru wykonane w różnych warunkach oświetlenia oraz odległości i orientacji fotografowanej sceny.

Na rysunkach 5 i 6 pokazano efekt pracy programu przy identyfikacji główki szyny toru ułożonego w odcinku prostym. Na główce szyny widoczny jest zbiór funkcji sklejanych w punktach, których współrzędne zaznaczone są markerami (kwadraty). Ten zbiór funkcji sklejanych reprezentuje zidentyfikowaną powierzchnię toczną główki szyny.



Rys. 5. Okno programu z wyświetloną fotografią, na której program zidentyfikował położenie osi podłużnej powierzchni tocznej główki szyny. Oś zdefiniowano zbiorem funkcji sklejanych



Rys. 6. Zbiór funkcji sklejanych reprezentujących zidentyfikowaną powierzchnię toczną główki szyny w jednym z toków szynowych toru ułożonego w odcinku prostym

Na rysunkach 7 i 8 pokazano efekt pracy programu przy identyfikacji główki szyny toru ułożonego w łuku poziomym.

Identyfikacja toków szynowych na zdjęciach reprezentujących tor rzeczywisty jest zagadnieniem trudniejszym niż w przypadku komputerowego modelu toru. Jest to związane przede wszystkim z problemem jakości wykonania fotografii. Badane przypadki obejmują zdjęcia różnej jakości wykonania, rozdzielczości, warunków oświetlenia, stanu toru i jego konstrukcji. Generalnie identyfikacja fragmentów główki szyny przez program okazała się być skuteczna w zakładanym zakresie przestrzennym. Interesujący autorów zakres długości toru wynika z odległości pomiędzy osiami jezdni podbijarki torowej. W tym bowiem zakresie wykonywane jest nasuwanie poprzeczne generujące zmianę krzywizny toków szynowych. Zdaniem autorów możliwe jest jednak lepsze odwzorowanie położenia toku szynowego przy wykorzystaniu transformat Fouriera w dziedzinie liczby falowej. Problemy te będą dyskutowane w kolejnych pracach kontynuujących obrany kierunek analiz.



Rys. 7. Zbiór funkcji sklejanych reprezentujących zidentyfikowaną powierzchnię toczną główki szyny w jednym z toków szynowych toru ułożonego w łuku poziomym



Rys. 8. Zbiór funkcji sklejanych reprezentujących zidentyfikowaną powierzchnię toczną główki szyny w jednym z toków szynowych toru ułożonego w łuku poziomym

5. Podsumowanie

- Autorzy postawili sobie za zadanie opracowanie efektywnej metodyki prowadzenia pomiaru kształtu toru kolejowego w procesie dynamicznych zmian jego położenia podczas pracy podbijarki.
- Wykorzystując oryginalne oprogramowanie do analizy obrazu zaimplementowane zostały algorytmy pozwalające na identyfikację kształtu główki szyny zarejestrowanego w postaci filmu wideo lub pliku obrazu.
- Dotychczasowe prace skupiały się głównie na analizie obrazu oraz na symulacji w wirtualnym środowisku odzwierciedlającym rzeczywiste warunki polowe. Faza ta pozwoliła przewidzieć potencjalne problemy oraz opracować metodykę w warunkach zdefiniowanych, stałych oraz kontrolowanych.
- Na tym etapie badań opracowany przez autorów program i algorytm spełnił postawione przed nim zadanie poprawnie identyfikując i odwzorowując położenie główki szyny na analizowanych fotografiach przedstawiających eksploatowane tory kolejowe.
- Algorytmy identyfikacji spełniły zakładane cele w sytuacji, gdy wybrane zdjęcia testowe cechowały się różnymi warunkami ekspozycji oraz przedstawiały różne typy nawierzchni kolejowej w różnym ich stanie technicznym.
- Autorzy zamierzają zaimplementować w algorytmie identyfikacji toku szynowego moduł analizy Fouriera w dziedzinie liczby falowej.

Literatura

- [1] Bojarczak P., Lesiak P., Visual system diagnosing the state of elements fastening the rail to the sleepers. *Pomiary Automatyka Kontrola* 12/2011, s. 1605 – 1607.
- [2] Bojarczak P., Lesiak P., Application of neural networks into automatic visual diagnostic of railway wooden sleepers. *Międzynarodowa Konferencja Naukowa Transport XXI wieku, Białowieża 2010. Logistyka* 4/2010 (płyta CD).
- [3] Elliott S., 3D Studio MAX. *Vademecum Profesjonalisty*, Helion, 1998.
- [4] Koc W., Wilk A., Chrostowski P., Grulkowski S., Tests on lateral resistance in railway tracks during the operation of tamping machine. *Journal of Rail and Rapid Transit*, Vol.225, May 2011, pp. 325-340.
- [5] Koc W., Wilk A., Grulkowski S., Chrostowski P., The use of tamping machine for diagnosing the longitudinal forces in rails of CWR track. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, vol. 4, No. 11 (Serial No. 36), November 2010.
- [6] Koc W., Wilk A., Chrostowski P., Grulkowski S., Determination of the transverse resistance characteristics in railway track. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 136, December 2010, pp. 1057-1067.

-
- [7] Templemann J., Vitter D., Visual Studio .NET: .NET Framework. Czarnaksiega, Helion, 2003.
 - [8] Wilk A., Chrostowski P., Pomiar wymuszonych przemieszczeń toru z wykorzystaniem algorytmu analizy obrazu. Technika Transportu Szynowego, 2-3/2012, s. 52-55.