

Jacek Makuch

dr inż., Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
tel.: +48 71 320 39 36, email: jacek.makuch@pwr.edu.pl

Igor Gisterek

dr inż., Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
tel.: +48 71 320 45 49, email: igor.gisterek@pwr.edu.pl

Adam Hyliński

mgr inż., Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
tel.: +48 71 320 45 48, email: adam.hylinski@pwr.edu.pl

Piotr Lalewicz

mgr inż., Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
tel.: +48 71 320 28 95, email: piotr.lalewicz@pwr.edu.pl

Jędrzej Gonera

mgr inż., Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
email: jedrzejgonera@gmail.com

ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA SKANERA LASEROWEGO DO DIAGNOSTYKI TORÓW TRAMWAJOWYCH¹

***Streszczenie.** W artykule odniesiono się do zagadnień pomiaru zużycia przekroju stalowych elementów nawierzchni szynowych stanowiących styk pojazdu z drogą, w oparciu o nowe technologie skaningu laserowego. Zaprezentowano przykłady coraz szerszego wykorzystania tej technologii w budownictwie kolejowym, związane z wdrażaniem metodologii BIM. Przedstawiono budowę, podstawowe parametry oraz sposób obsługi laserowego systemu pomiaru profili szyn i rozjazdów. Opisano sposób wykonania pomiarów i analizy ich wyników dla zwrotnic, przyrządów wyrównawczych, szyn w łukach o małych promieniach, zużycia falistego, pękniętych spoin oraz wadliwych połączeń szyn. W podsumowaniu sformułowano wnioski z przeprowadzonych badań, w postaci nowych proponowanych procedur utrzymaniowych.*

***Słowa kluczowe:** drogi szynowe, diagnostyka, LIDAR, cyfrowy bliźniak, BIM*

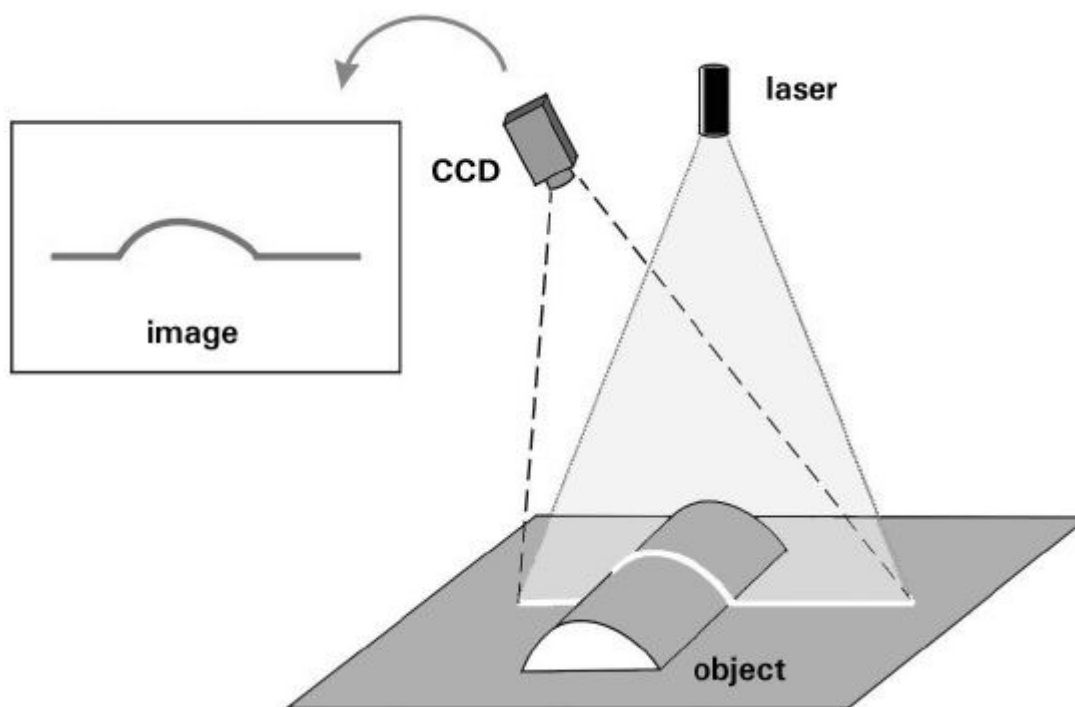
1. Wprowadzenie

Skanowanie laserowe jest jedną z nowoczesnych technologii, obecnie coraz częściej wykorzystywanych w budownictwie. Do jej nazwania używane jest również określenie „LIDAR”, co jest skrótem od angielskiego „Light Detection and Ranging”. Nazwa ta brzmi podobnie jak określenia „RADAR” albo „SONAR” - i nie bez przyczyny, gdyż jest to analogiczna metoda, tyle tylko że zamiast fal radiowych (tak jak w radarze) albo akustycznych (tak jak w sonarze) wykorzystywane jest w jej przypadku światło laserowe.

¹ Wkład procentowy poszczególnych autorów: Makuch J.: 55%, Gisterek I.: 15%, Hyliński A.: 10%, Lalewicz P.: 10%, Gonera J.: 10%

Jest to metoda pomiaru położenia (a nawet odwzorowania kształtu) badanego obiektu, poprzez oświetlenie go światłem laserowym i pomiar odbicia tego światła za pomocą czujnika. Zasada działania jest następująca (rys.1):

- laser wysyła poprzez specjalny układ optyczny bardzo krótkie, silne impulsy o konkretnej długości fali w określonym kierunku,
- światło to ulega odbiciu od badanego obiektu i rozproszeniu, i jest rejestrowane za pomocą czułego fotodetektora, znajdującego się w tym samym urządzeniu,
- otrzymane dane są analizowane komputerowo,
- różnice w czasie powrotu wiązki lasera oraz zmiana długości fali są wykorzystane do stworzenia trójwymiarowego modelu badanego obiektu - nazywanego jego cyfrowym bliźniakiem (czyli tak zwanym „digital twin” - według anglojęzycznej terminologii).



Rys.1. Zasada działania skanera laserowego [1]

Metoda ta jest coraz powszechniej stosowana w budownictwie, jako narzędzie pozyskiwania informacji o terenie albo obiekcie. Przykładowo, kilka lat temu w Danii, podczas projektowania pierwszej w tym kraju linii dużych prędkości z Kopenhagi do Ringsted wykorzystano metodę skaningu laserowego, zarówno do odwzorowania istniejącego terenu, jak i do wizualizacji rozwiązań projektowych [2]. Pozwoliło to na realizację tejże inwestycji według standardów BIM. Kolejny przykład to Monachium i używana przez tamtejszy zarząd transportu aplikacja do zarządzania infrastrukturą, wykorzystująca cyfrowego bliźniaka tejże infrastruktury, uzyskanego właśnie poprzez skanowanie laserowe [3]. Technologia ta pozwala przykładowo na kontrolę skrajni pod wiaduktem kolejowym bez konieczności udawania się w teren. W Wielkiej Brytanii wykorzystuje się cyfrowe bliźniaki, uzyskane ze skanowania laserowego wykonanego z jadącej lokomotywy [4]. Również w Polsce technologie te są już stosowane (rys.2).



Rys.2. Przykład skanowania laserowego linii kolejowej wykonanego z drona [5]

Niniejszy artykuł jest kontynuacją rozważań, jakie autorzy zaprezentowali na konferencji NOVKOL w 2019 roku [6]. Przedstawione zostały wtedy analizy dotyczące krzyżownic - zarówno kolejowych jak i tramwajowych.

W niniejszym artykule autorzy poddają analizie jeszcze inne przypadki rozwiązań konstrukcyjnych nawierzchni szynowych, bądź pewnych charakterystycznych form ich zużycia, takich jak:

- zwrotnice,
- przyrządy wyrównawcze,
- szyny w łukach o małych promieniach,
- zużycie faliste,
- pęknięte spoiny,
- wadliwe połączenia szyn.

Zanim jednak przedstawione zostaną wyniki przeprowadzonych badań, najpierw krótkie przypomnienie dotyczące urządzenia pomiarowego, którym te badania przeprowadzono.

2. Opis urządzenia pomiarowego

Ze względu na zarzut recenzenta, iż artykuł reklamuje konkretny produkt, usunięte zostały z niego informacje dotyczące nazwy urządzenia oraz jego producenta.

Elementy składowe oraz wygląd urządzenia przedstawiono na rys.3, a jego podstawowe parametry - w tab.1. Urządzenie składa się z:

- prostopadłościennej, wydłużonej nośnej ramy pozycjonującej - ustawianej na torach, stanowiącej sztywną podstawę odniesienia pomiaru, zawierającej elementy napędu umożliwiającego przejazd głowicy pomiarowej po ramie,
- głowicy pomiarowej - zawierającej lasery i kamery skanujące, mocowania rejestratora i akumulatorów oraz wyjście USB,
- pulpitu sterującego - z wyświetlaczem, klawiaturą i własnym wbudowanym akumulatorem,
- czterech standardowych akumulatorów litowo-jonowych,

- poprzecznej belki podtrzymującej - stosowanej w przypadku braku stabilności ustawienia ramy pozycjonującej,
- walizki do transportu pulpitu sterującego, akumulatorów oraz dwóch ładowarek (osobnej do akumulatorów i osobnej do pulpitu sterującego),
- oprogramowania komputerowego służącego do analizy przeprowadzonych pomiarów,
- instrukcji obsługi urządzenia i oprogramowania.

Głowica pomiarowa od spodu posiada dwa lasery oraz dwie kamery skanujące (pełniące rolę fotodetektorów). Oba lasery nie emitują „plamek” (tak jak w dalmierzach laserowych) lecz „kreskę” przesuwającą się wraz z przejazdem głowicy pomiarowej po ramie pozycjonującej.



Rys.3. Urządzenie podczas pomiaru w torze tramwajowym

Tab. 1. Podstawowe parametry urządzenia

Zakres pomiarowy w jednym przejeździe (dług. x szer. x wys.)	1223 x 160 x 70 mm
Krok pomiarowy	1 ÷ 10 mm
Dokładność pomiaru	± 0,1 mm
Maksymalny czas pojedynczego pomiaru	2 min
Waga	rama - 29 kg, głowica - 13 kg
Wymiar zewnętrzny (dług. x szer. x wys.)	rama - 1800 x 610 x 240 mm, głowica - 560 x 300 x 320 mm
Temperatura pracy	-10C ÷ +50C
Czas pracy na pojedynczym zestawie baterii	2,5 h (co odpowiada pełnym pomiarom około 6 ÷ 8 krzyżownic); możliwość wymiany akumulatorów bez wyłączania urządzenia
Pojemność pamięci	100 pomiarów
Format zapisu danych	DXF, CSV, ASC
Oprogramowanie	aplikacja dla systemów Windows XP lub nowszego

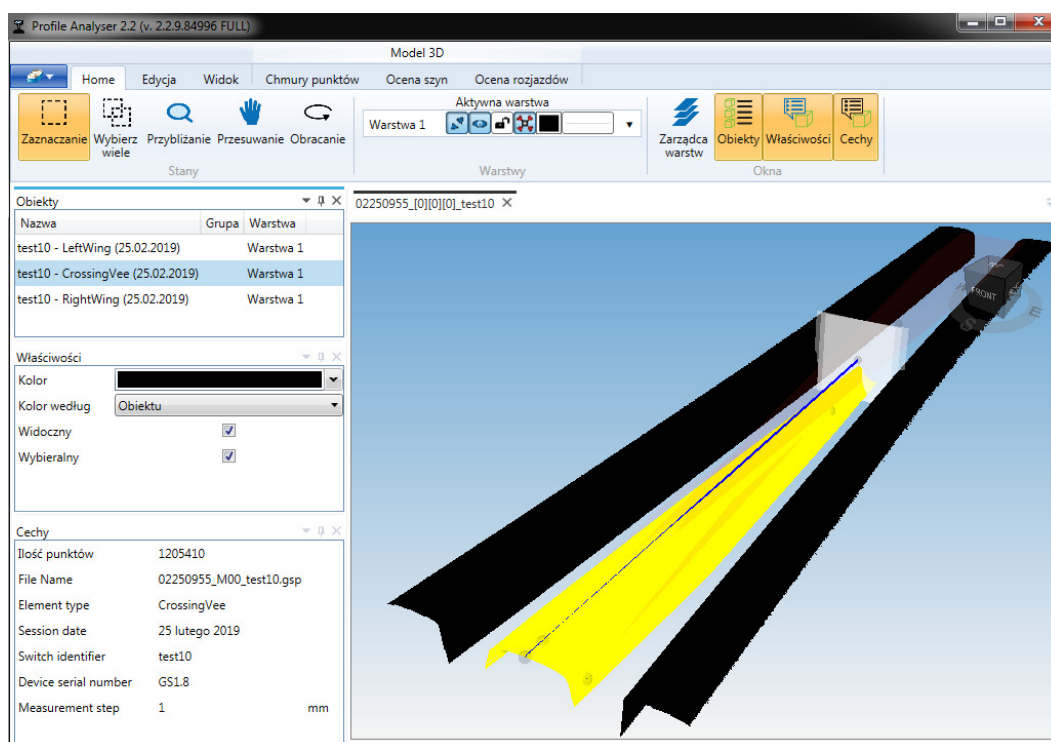
Zakres pomiarowy urządzenia jest następujący:

- długość - nieco ponad 122 cm,

- szerokość - 16 cm,
 - wysokość (głębokość) - 7 cm,
- natomiast dokładność pomiaru, to 0,1 mm.

Pomiarów nie należy wykonywać na mokrych albo wilgotnych elementach oraz przy nadmiernym nasłonecznieniu, gdyż może to obniżyć ich dokładność albo wręcz powodować generowanie modeli 3D niezgodnych z rzeczywistością. Powierzchnie połyskujące badanych elementów należy pokryć środkiem matującym, na przykład wywołującym spawalniczym. W przypadku nadmiernego nasłonecznienia należy zastosować namiot dający cień.

W prezentowanej metodzie pomiarowej, w stosunku do rzeczywistego obiektu, możliwe jest wygenerowanie jego tak zwanego „digital twin”, czyli „cyfrowego bliźniaka”. Taki cyfrowy bliźniak jest oczywiście obiektem trójwymiarowym (rys.4). Przeglądając go w oprogramowaniu komputerowym możemy go dowolnie obracać, co ułatwia nam narzędzie „View Cube” (analogiczne jak w Autocadzie). Możemy go oczywiście przesuwając oraz wykonywać oddalenia i zbliżenia (a przez to bardziej dokładnie oglądać pewne szczegóły), możemy realizować tak zwane „wirtualne spacer”. Dla przeprowadzenia bardziej miarodajnych analiz konieczne jest natomiast założenie linii referencyjnej (stałej linii odniesienia) - w oparciu o nią można następnie generować przekroje poprzeczne oraz profile podłużne. Wygenerowane przekroje można przeglądać, można je też wymiarować i opisywać. Można je również wyeksportować do formatów grafiki rastrowej czy wektorowej albo tekstowych (a właściwie liczbowych), po to - aby w innych, bardziej zaawansowanych programach komputerowych dokonać bardziej szczegółowych analiz. W przypadku analiz profili podłużnych procedura jest analogiczna.



Rys.4. Wygląd ekranu w trybie 3D z analizą pomiaru krzyżownicy kolejowej - z założoną linią referencyjną

3. Przeprowadzone pomiary

W celu przeprowadzenia pomiarów wykorzystano czasowe wstrzymania ruchu tramwajowego, jakie miały miejsce we Wrocławiu w marcu i lipcu 2019 roku. Pomiary

wykonano na pętach Osobowice oraz Park Południowy i ponadto na ul. Ślężnej. Skorzystano również z odcinka torowiska, które nie jest wykorzystywane w ruchu tramwajów liniowych, a była to ul. Mickiewicza pomiędzy ulicami Kopernika a Paderewskiego.

3.1. Krzyżownice

Opis wyników przeprowadzonych badań krzyżownic przedstawiono w artykule z poprzedniej konferencji NOVKOL [6].

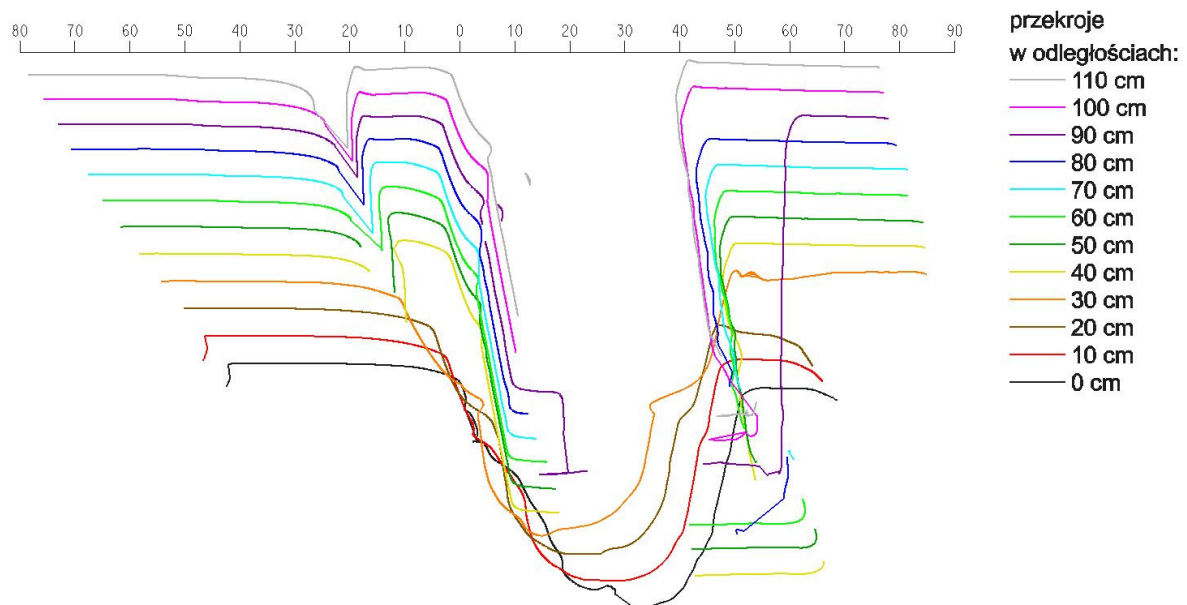
3.2. Zwrotnice

Dla każdej z przebadanych półzwrotnic pomiary wykonywano w sumie dla aż sześciu ustawień urządzenia pomiarowego, gdyż ze względu na długości iglic wynoszące w tego typu zwrotnicach nieco ponad 3 metry - konieczne były trzy kolejne ustawienia ramy pozycjonującej - co 110 cm, czyli z „zakładkami” wynoszącymi po nieco ponad 12 cm, przy czym trzy osobne ustawienia realizowano dla iglicy w położeniu do jazdy z kierunku zasadniczego, a trzy kolejne - dla iglicy w położeniu do jazdy z kierunku zwrotnego.

Na rys.5 przedstawiono wygląd rzeczywisty oraz cyfrowego bliźniaka dla początku jednej z przebadanych półzwrotnic, zaś na rys.6 wykres kaskadowy wygenerowanych dla niej przekrojów poprzecznych.



Rys.5. Widok rzeczywisty (z lewej) i cyfrowy bliźniak (z prawej) początku półzwrotnicy tramwajowej zewnętrznej na wyjeździe z pętli Park Pd. (widok przeciwnie do kierunku jazdy)



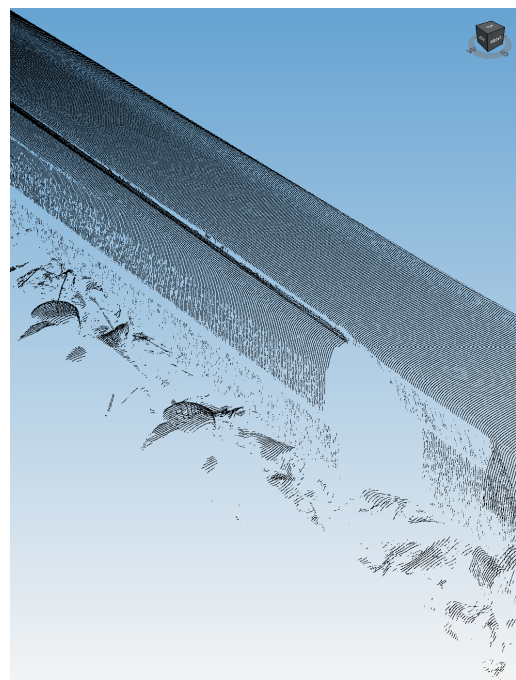
Rys.6. Wykres kaskadowy wygenerowanych przekrojów poprzecznych dla początku półzwrotnicy j.w.

Jest to przykład tak zwanej analizy obrazowo-porównawczej. Taki sposób prezentacji uwidacznia najdrobniejsze niuanse zmian kształtu przekroju poprzecznego, czyni analizę zaistniałych zużyć bardziej dogłębną, szczegółową.

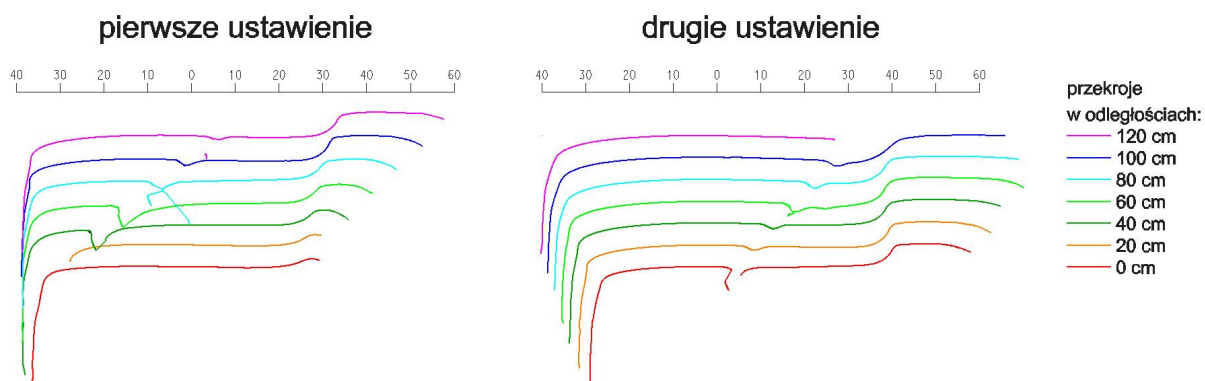
3.3. Przyrządy wyrównawcze

Ze względu na długości przyrządów wyrównawczych wynoszące ponad 2 metry, konieczne były dwa kolejne, osobne ustawienia urządzenia pomiarowego, na „zakładkę” - wynoszącą znów nieco ponad 12 cm (tak jak w przypadku zwrotnic).

Na rys.7 i 8 przedstawiono wyniki analiz badań przykładowego przyrządu wyrównawczego.



Rys.7. Widok rzeczywisty (z lewej) i cyfrowy bliźniak (z prawej) początku iglicy przyrządu wyrównawczego toku lewego toru w stronę Sępólna na ul. Mickiewicza pomiędzy skrzyżowaniami z ul. Kopernika i Paderewskiego (widok przeciwnie do kierunku jazdy)



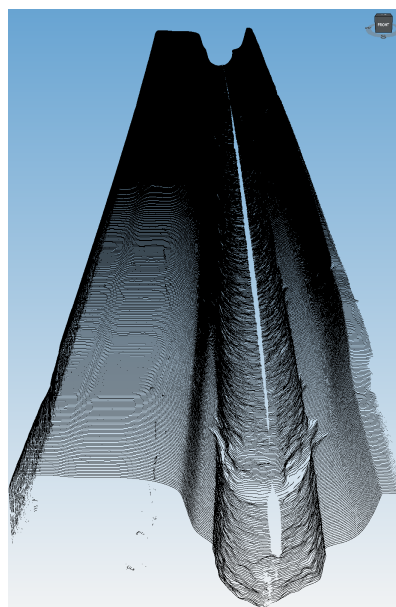
Rys.8. Wykres kaskadowy wygenerowanych przekrojów poprzecznych dla przyrządu wyrównawczego j.w.

W stosunku do „nie jeżdżonej” powierzchni opornicy widać wyraźnie zużycie „jeżdżonej” jej powierzchni oraz iglicy.

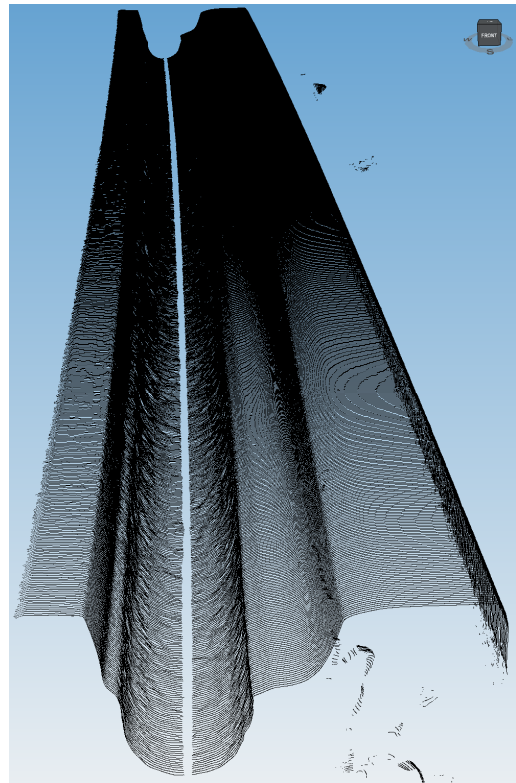
3.4. Szyny w łukach o małych promieniach

Pomiary wykonywano dla pojedynczych ustawień urządzenia pomiarowego dla toku lewego jak i prawego.

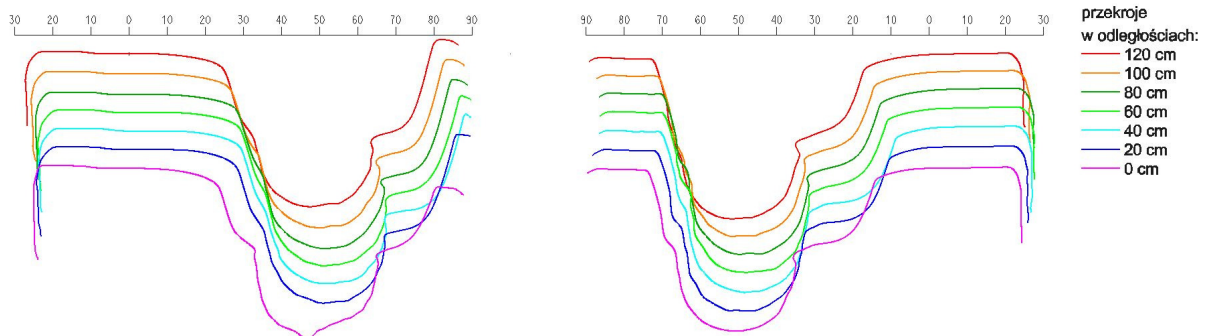
Na rys.9, 10 i 11 przedstawiono wyniki analiz badań dla łuku o promieniu 27 m toru wyjazdowego z pętli tramwajowej Park Pd. W wewnętrznym toku - na długości badanej szyny znalazła się też spoina.



Rys.9. Widok rzeczywisty (z lewej) i cyfrowy bliźniak (z prawej) szyny toku wewnętrznego łuku o promieniu $R=27$ m toru wyjazdowego z pętli Park Pd. (widok zgodny z kierunkiem jazdy)



Rys.10. Widok rzeczywisty (z lewej) i cyfrowy bliźniak (z prawej) szyny toku zewnętrznego łuku o promieniu $R=27$ m toru wyjazdowego z pętli Park Pd. (widok zgodnie z kierunkiem jazdy)



Rys.11. Wykresy kaskadowe wygenerowanych przekrojów poprzecznych dla szyn j.w.

Na rys.9 widać wspomnianą spoinę oraz znacznie większe zużycie boczne prowadnicy tuż za tą spoiną - będące najprawdopodobniej efektem braku styczności krzywizn łuku w tym miejscu. Na rys. 10 widać zaś znacznie większe zużycie boczne - tym razem główki szyny, niejako korespondujące ze zużyciem bocznym prowadnicy szyny wewnętrznej.

3.5. Zużycie faliste

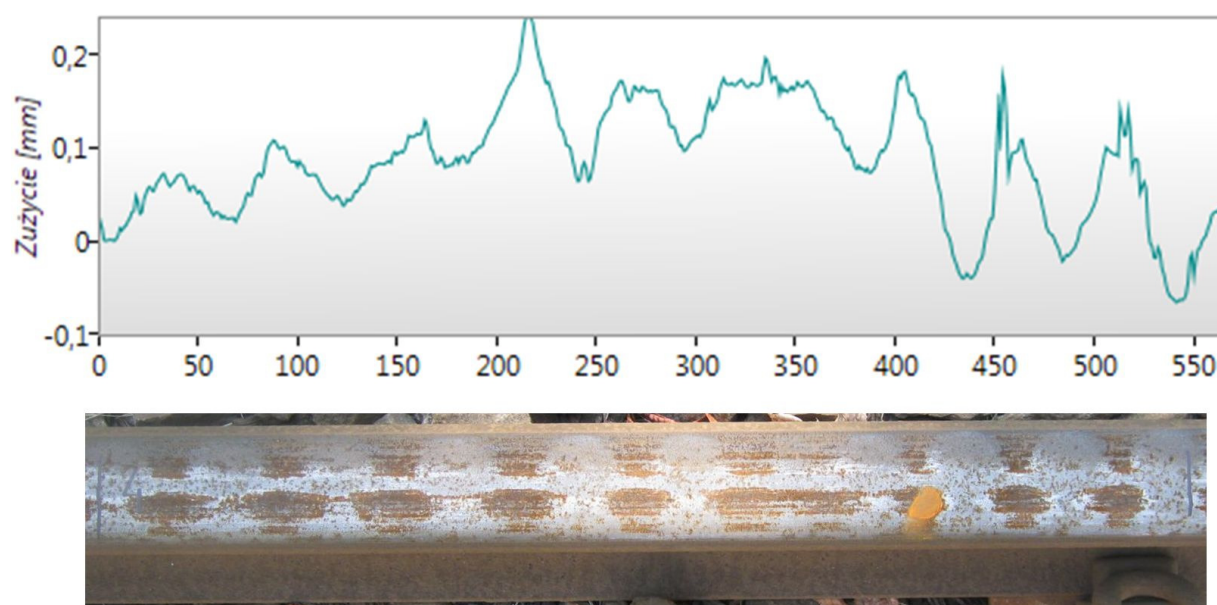
Ten typ zużycia przebadano na ul. Ślężnej, w torze na kierunku do centrum, około 100 m za skrzyżowaniem z ul. Pułtuską. Pomiary wykonano dla zewnętrznego toku szynowego, w sumie dla sześciu kolejnych ustawień urządzenia pomiarowego - co 110 cm (czyli znowu z „zakładkami” po nieco ponad 12 cm).

Badania były przeprowadzone około miesiąca od wstrzymania ruchu tramwajowego, dlatego na główce szyny widoczne są już rdzawe ślady, które ułatwiają zidentyfikowanie zużycia falistego.

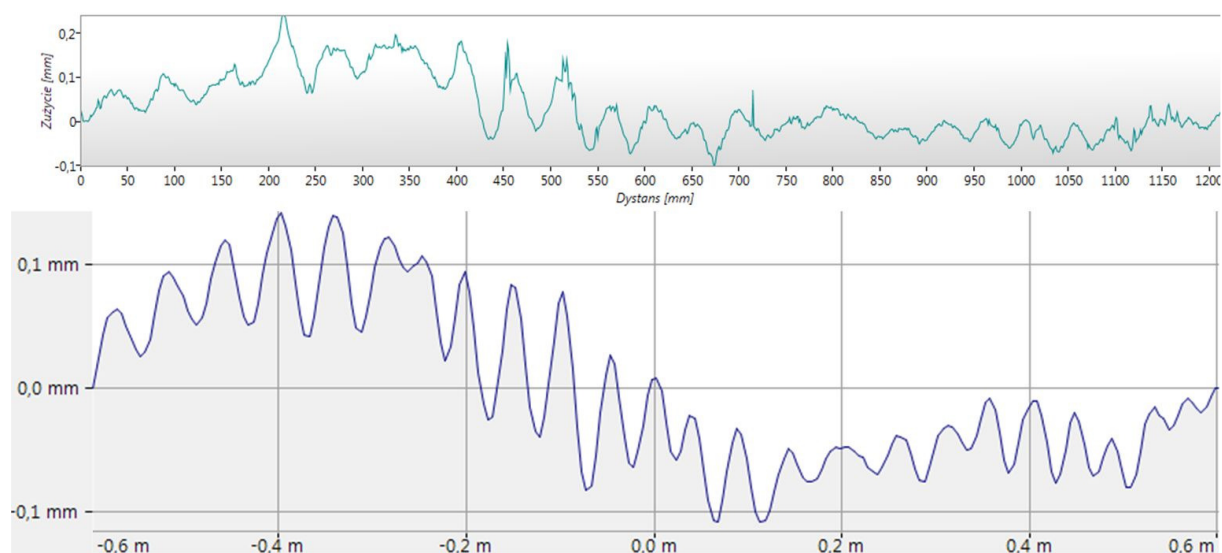
Tym razem nie analizowano wyglądu cyfrowych bliźniaków, gdyż w tym przypadku zużycia były na tyle małe, że praktycznie w widoku modeli 3D wygenerowanych przez urządzenie pomiarowe - niezauważalne.

Analizowano natomiast wygenerowane profile podłużne. Na rys.12 przedstawiono pierwszą połowę (55 cm) czwartego w kolejności ustawienia. Widać wyraźnie pokrywanie się „pików” wykresu z rdzawymi miejscami.

W celu weryfikacji poprawności pomiarów przeprowadzonych skanerem laserowym wykonano analogiczne badania innym urządzeniem - prostomierzem elektronicznym. Wyniki okazały się zbieżne (rys.13) dla wszystkich ustawień.



Rys.12. Profil podłużny zużycia falistego (na górze) i jego wygląd rzeczywisty (na dole) dla przykładowego pomiaru.

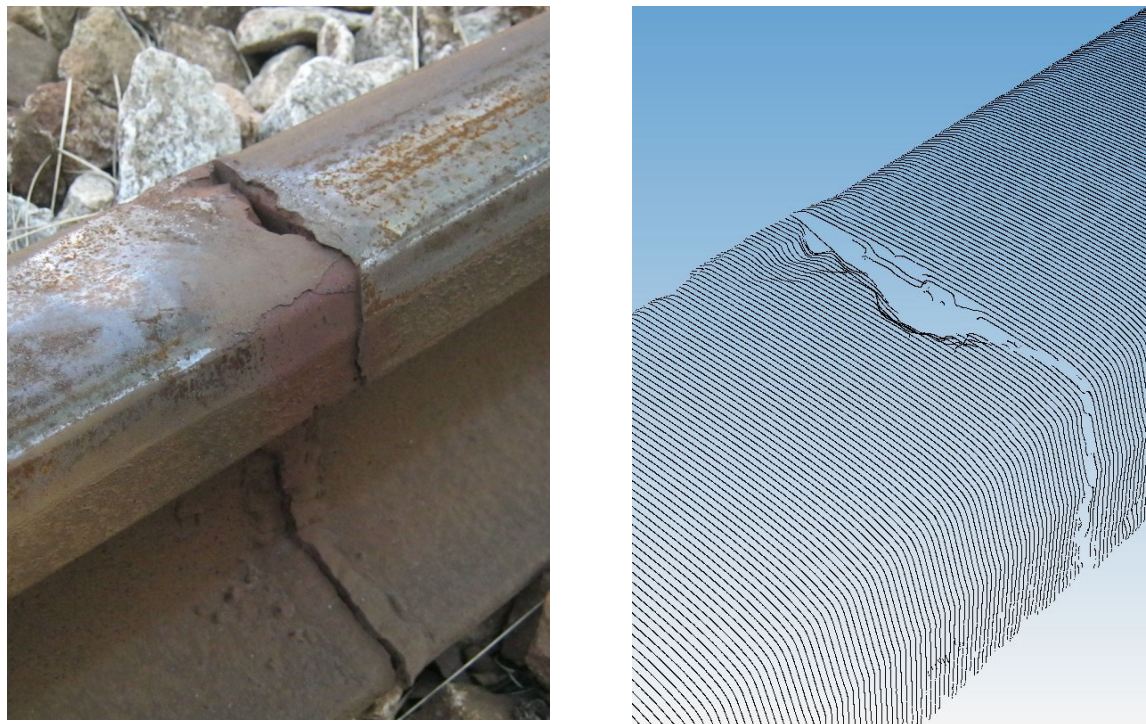


Rys.13. Porównanie wyników pomiarów zużycia falistego przeprowadzonych skanerem laserowym (na górze) oraz prostomierzem elektronicznym (na dole) dla przykładowego pomiaru.

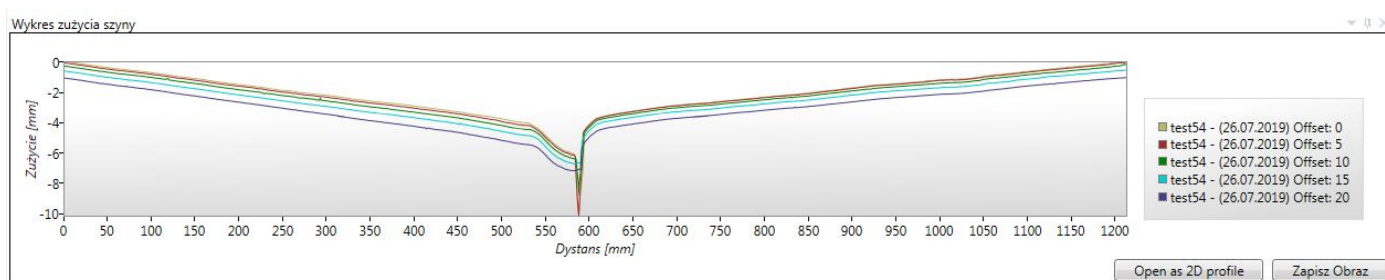
3.6. Pęknięte spoiny

Ten typ zużycia przebadano również na ul. Ślężnej, gdzie w torze na kierunku do pętli Park Pd., w odległości około 50 m przed przystankiem „Pułtуска” znajdowała się taka właśnie spoina. Na rys.14, 15 i 16 przedstawiono wyniki przeprowadzonych w tym miejscu

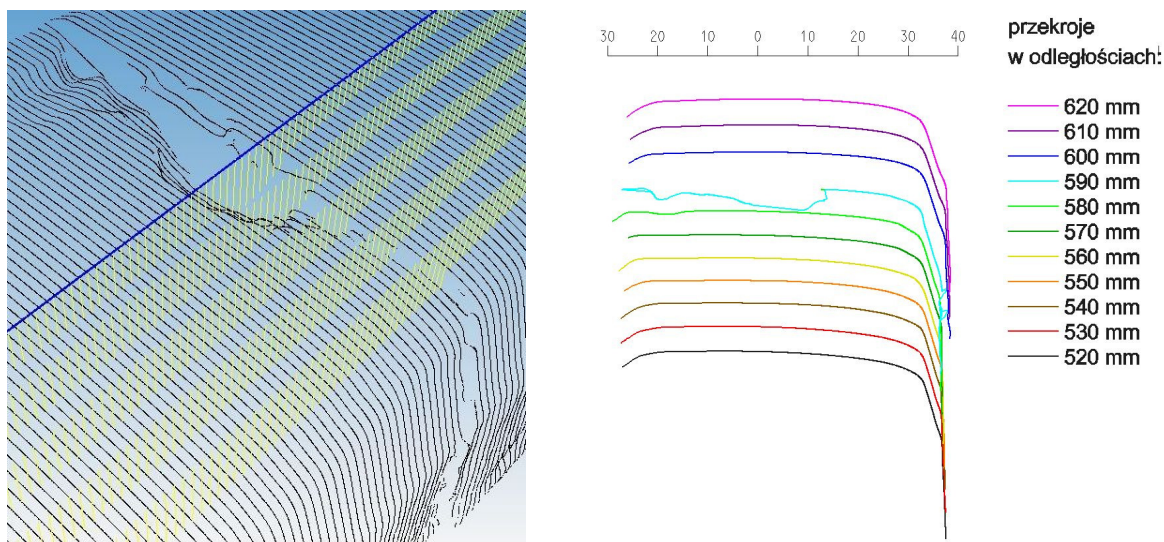
analiz. Ramę pozycjonującą urządzenia pomiarowego ustawiano tak, aby pęknięta spoina znajdowała się w środku jego zakresu pomiarowego po długości. Oczywiście urządzenie pomiarowe wykonało skanowanie nie tylko w miejscu spoiny, ale na całej długości zakresu pomiarowego ramy pozycjonującej. Oglądając profile podłużne na rys.15: pierwszy (w osi główki szyny) i kolejne cztery (wykonane z przesunięciami po 5 mm do wewnątrz toru) - widzimy obniżenie niwelety główki szyny oraz ubytki występujące w miejscu pęknięcia.



Rys.14. Widok rzeczywisty (z lewej) i cyfrowy bliźniak (z prawej) pękniętej spoiny (widok przeciwnie do kierunku jazdy)



Rys.15. Wykres wygenerowanych profili podłużnych dla odcinka szyny z pękniętą spoiną j.w. (przeciwnie do kierunku jazdy)



Rys.16. Widok 3D wygenerowanych profili podłużnych (z lewej) oraz wykres kaskadowy wygenerowanych przekrojów poprzecznych (z prawej) z przedziału od 520 do 620 mm profilu j.w. (czyli w miejscu pęknięcia)

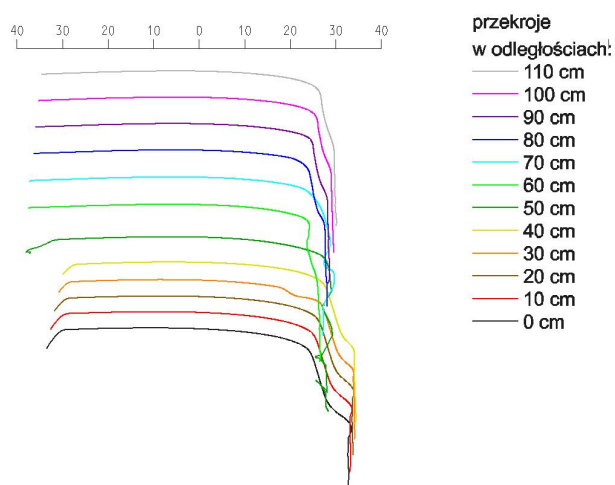
3.7. Wadliwe połączenia szyn

Przypadek taki przebadano w torze na kierunku do centrum, na odcinku ul. Mickiewicza pomiędzy skrzyżowaniami z ul. Paderewskiego i Kopernika.

W lewym toku szynowym jedno z połączeń spawanych było wykonane w niewłaściwy sposób - nie zachowano osiowości toku szynowego przed i za połączeniem. W efekcie występowało tam duże zużycie boczne główki szyny tuż przed połączeniem. Na rys.17 i 18 przedstawiono wyniki przeprowadzonych w tym miejscu analiz.



Rys.17. Widok rzeczywisty (z lewej) i cyfrowy bliźniak (z prawej) wadliwego połączenia szyn (widok zgodnie z kierunkiem jazdy)



Rys.18. Wykres kaskadowy wygenerowanych przekrojów poprzecznych dla wadliwego połączenia szyn j.w.

4. Podsumowanie

Zaprezentowana technologia jak najbardziej wpisuje się w obecne trendy - autorzy niniejszego artykułu mają tu na myśli informatyzację budownictwa, a konkretnie wdrażanie BIM-u wykorzystującego:

- trójwymiarowe modelowanie oraz
- podejście polegające na analizie całego cyklu życia obiektu budowlanego - czyli „LifeCycle Analysis” [7], w ramach szerszego pojęcia jakim jest „Asset Management” - czyli zarządzanie zasobami.

Co prawda nie jest to „ostatnia nowinka” - a tu z kolei autorzy artykułu chcą się odwołać do tak zwanego „Data Driven Maintenance”, czyli utrzymania w oparciu o dane. W metodzie tej elementy infrastruktury podlegające zużyciu monitoruje się na bieżąco przy pomocy Internetu Rzeczy (IoT - Internet of Things), a następnie analizując przypadki, kiedy to nie działają one zgodnie z oczekiwaniami, można na tej podstawie podejmować już pewne zabiegi utrzymaniowe, jeszcze przed wykonaniem przeglądów lub zareagowaniem na awarie. Celem tej metody jest oczywiście minimalizacja kosztów utrzymania. Rozwiązania takie są już stosowane, przykładowo w przypadku napędów zwrotnic [8].

Niestety - w zakresie przypadków, które przedstawiono w niniejszym artykule - raczej trudno jest sobie coś takiego wyobrazić. Ale kto wie? Być może kiedyś, w przyszłości, w przerwach nocnych - wtedy kiedy po ulicach nie kursują tramwaje, na tory będą wyjeżdżały autonomiczne drezyny pomiarowe, będą sobie same skanowały co trzeba, następnie analizowały co jest „nie tak” i podpowiadały - jakie podjąć działania utrzymaniowe.

Póki co, wróćmy jednak do realiów obecnej rzeczywistości. Aby mieć możliwość realizowania procesu utrzymania elementów infrastruktury zgodnie z zaleceniami metodologii BIM, w zakresie kontroli zużyć (zmian kształtu) „jezdnych” elementów dróg szynowych - potrzebujemy:

- skaner laserowy (dedykowany do nawierzchni szynowych),
- pracowników do jego obsługi,
- pojazd do jego transportu

i możemy wykonywać takie skanowania:

- albo w przerwach nocnych,
- albo nawet w ciągu dnia (gdyż jednorazowe badanie wymaga wstrzymania ruchu na torze nie dłuższego niż 2-3 minuty).

Potrzebujemy również oprogramowania do wygenerowania cyfrowych bliźniaków - przy czym to akurat powinien nam zapewnić producent urządzenia, którego będziemy używać.

Ważniejsze jest natomiast oprogramowanie z zakresu wspomnianego już „Asset Management” - czyli dużo większy produkt:

- coś, co pozwoli nam przekrojowo przeanalizować wykonane przez nas badania i zaleci zoptymalizowane scenariusze działań utrzymaniowych,
- oprogramowanie wykorzystujące narzędzia sztucznej inteligencji (AI - Artificial Intelligence), w tym uczenia maszynowego (ML - Machine Learning),
- może to być osobny program, choć lepiej, aby był to jeden z modułów całego systemu, którego zamierzamy używać do zarządzania naszymi zasobami.

Firmy z branży IT tworzące oprogramowanie dla budownictwa czy infrastruktury są obecnie w stanie zaoferować takie rozwiązanie, może niekoniecznie jako gotowy produkt, ale na pewno jako tworzony na zamówienie pod konkretnego użytkownika.

Aby analizować obiekt w całym cyklu jego życia potrzebujemy rozpoznać jego stan wyjściowy (początkowy):

- i tu na pewno pomocny byłby model 3D w postaci pliku grafiki wektorowej - uzyskany od producenta danego elementu infrastruktury (choć na pewno producenci nie będą temu

- chętni - gdyż chcą chronić projekt swojego produktu, traktując go jako tajemnicę handlową),
- ale też na pewno nasz pierwszy pomiar - na przykład powiązany z odbiorem budowlanym. Potem, w trakcie eksploatacji prowadzone natomiast powinny być:
 - cykliczne pomiary - o częstotliwości zależnej od natężenia ruchu i wieku,
 - towarzyszące im analizy postępu degradacji - dające możliwość formułowania wniosków dotyczących zakresu działań utrzymaniowych,
 - ale też pomiary „ponaprawcze” - po różnego rodzaju pracach spawalniczych oraz szlifowaniu, zarówno w celu oceny poprawności wykonanych napraw, jak i dla określenia nowych stanów wyjściowych.

Bibliografia

- [1] Fontana R., Gambino M., Greco M., Pampalonia E., Pezzatia L., Scopigno R., High-resolution 3D digital models of artworks, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, October 2003, https://www.researchgate.net/publication/252289473_High-resolution_3D_digital_models_of_artworks (dostęp: 12.10.2021);
- [2] Monshizadeh G.: The New Line, Copenhagen-Ringsted, Year In Infrastructure Bentley Conference 1-3.11.2016, https://www.bentley.com/pl/project-profiles/2016/banedanmark_copenhagen-ringsted (dostęp: 12.10.2021);
- [3] Bringing a new dimension to your public transportation network, Global Railway Review webinar 2.12.2020, <https://www.globalrailwayreview.com/webinar/112414/bringing-a-new-dimension-to-your-public-transportation-network/> (dostęp: 12.10.2021);
- [4] Kosmala D.: Scaling new heights in transportation with BIM, Bentley webinar 28.04.2020 (obecnie niedostępny w internecie);
- [5] Kłodzko - odcinek toru kolejowego, AMIGEO SP.J. 18.11.2017, <https://www.youtube.com/watch?v=pOGPtFVgy38> (dostęp: 12.10.2021);
- [6] Makuch J., Gisterek I., Hyliński A., Lalewicz P., Gonera J.: Analiza możliwości wykorzystania skanera laserowego do diagnostyki krzyżownic tramwajowych, XVIII Konferencja Naukowo-Techniczna Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Transporcie Szynowym, Zakopane 4-6.12.2019;
- [7] Gisterek I., Makuch J.: "Metoda LCC w ocenie rozwiązań konstrukcyjnych torowisk tramwajowych", Przegląd Komunikacyjny 2011 nr 9-10, s. 138-141;
- [8] A data-driven approach to reliability-centered maintenance, Global Railway Review webinar 27.05.2021, <https://www.globalrailwayreview.com/webinar/121221/a-data-driven-approach-to-reliability-centred-maintenance/2/#register> (dostęp: 12.10.2021);

POSSIBILITY ANALYSIS OF LASER SCANNER UTILISATION IN TRAM TRACKS DIAGNOSTICS

Summary. In article the problems of measurement methods of transverse section wear of steel railroad elements on vehicle-road interface, basing on new technologies using laser scanning was concerned. Examples of the increasing use of these technologies in railway construction, related to the implementation of the BIM methodology were described. Construction, basic parameters and manner of service of laser system for rail and turnout profile measurement was presented. The method of making measurements and analyzing their results carried out with this device for switches, expansion joints, rails in curves with small radius, corrugation, cracked welds and defective rail joints was described. In summary, conclusions from effected investigations were formulated, in the form of new proposed maintenance procedures.

Keywords: *railroads, diagnostics, LIDAR, digital twin, BIM*