

Pomiary ograniczeń skrajni budowli na kolejach niemieckich

Janusz POLIŃSKI¹

Streszczenie

Wiedza o ograniczeniach skrajni, występujących na eksploatowanych liniach kolejowych, jest niezbędna do prowadzenia bezpiecznego ruchu kolejowego, określonego rozkładem jazdy pociągów. W artykule przedstawiono w historycznym ujęciu rozwój diagnostyki dotyczącej wykonywania pomiarów. Zaprezentowano również pierwsze konstrukcje pojazdów pomiarowych, dzięki którym systematycznie skracano czas diagnozowania linii kolejowych, w tym tuneli. Rozwój techniki i technologii umożliwił opracowywanie nowych metod badawczych, które sukcesywnie wdrażano dzięki modernizacji pojazdów diagnostycznych. Takie działania wpływały jednocześnie na jakość pomiarów, umożliwiały wykonywanie pomiarów przy coraz większej prędkości jazdy, a także automatyczne tworzenie bazy danych o ograniczeniach skrajni, występujących na sieci DB AG. Dane te są wykorzystywane m.in. do kodyfikacji linii kolejowych na potrzeby przewozów intermodalnych i przewozu przesyłek nadzwyczajnych.

Słowa kluczowe: transport kolejowy, koleje DB AG, skrajnia budowli, wagony pomiarowe

1. Wstęp

Pierwsze, uporządkowane informacje dotyczące skrajni budowli na kolejach niemieckich, pojawiły się w „Regulaminie pracy dla głównych kolei w Niemczech” z 1892 roku [1]. W drugim paragrafie tego dokumentu znalazły się zapisy dotyczące konieczności zachowania wolnej przestrzeni między

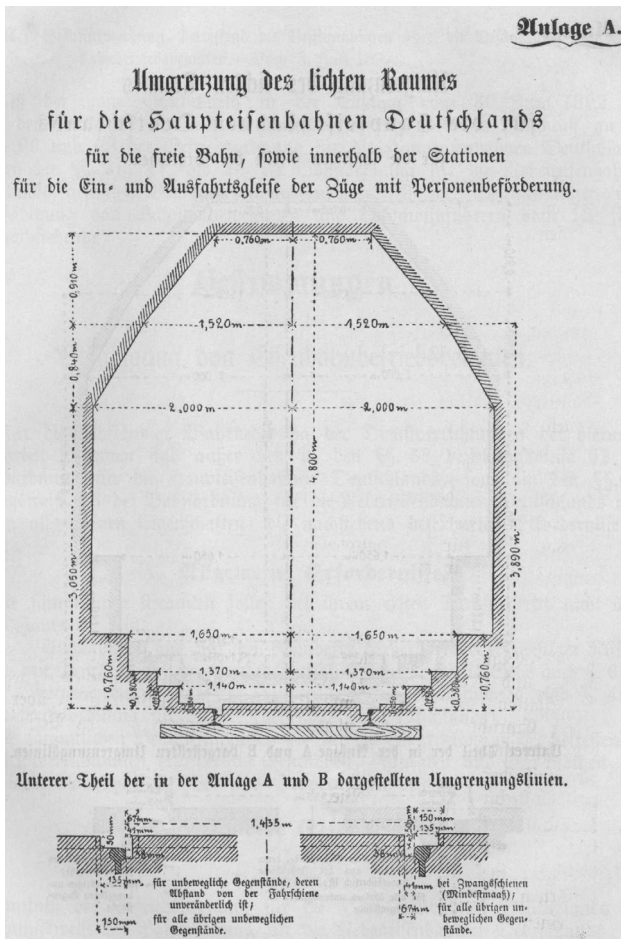
pociągiem i różnymi budowlami, urządzeniami lub maszynami wraz ze wskazaniem konieczności zachowania odpowiednich odległości (tabl. 1). W załączniku A (rys. 1). do tego dokumentu przedstawiono skrajnię budowli dla torów na szlaku i torów na stacjach służących do wjazdu i wyjazdu pociągów, a w załączniku B – skrajnię budowli dla pozostałych torów na stacjach.

Tablica 1

Niektóre wymagania z 1892 r. dla skrajni budowli na kolejach niemieckich [1]

Lp.	Wymagania
1.	Wszystkie tory, na których poruszają się pociągi, muszą być wolne od sprzętu budowlanego i przechowywanych przedmiotów przynajmniej do granicy wolnej przestrzeni, niezbędnej do swobodnego przejazdu pociągów po torach, również w obrębie stacji dla torów wjazdu i wyjazdu pociągów pasażerskich (zał. A) oraz po bocznych torach stacyjnych (zał. B). Należy przy tym uwzględnić poszerzenie toru i podniesienie szyny zewnętrznej. W przypadku torów wykorzystywanych do wjazdu i zjazdu pociągów wojskowych, na stacjach dopuszczalne jest odchylenie od granicy wolnej przestrzeni – załącznik A – w odniesieniu do wysokości najwyższego stopnia powyżej 0,760 metra.
2.	Przedmioty nieruchome wystające do 50 milimetrów powyżej górnej krawędzi szyny zasadniczo muszą pozostawać w odległości, co najmniej 150 milimetrów od wewnętrznej krawędzi główki szyny; jeżeli odległość od szyny jezdnej pozostaje niezmienną, można ją ograniczyć do rozmiaru 135 milimetrów. W obrębie toru ich odległość od wewnętrznej krawędzi główki szyny musi wynosić co najmniej 67 milimetrów, ale odległość tę można stopniowo zmniejszać do 41 milimetrów w środkowej części obowiązkowych szyn. Na zakrzywionych odcinkach z poszerzeniem toru, odległość nieruchomych obiektów wychodzących z toru z wewnętrznej krawędzi główki szyny musi być większa o wielkość poszerzenia toru niż wyżej wymienione wymiary.
3.	W zależności od rodzaju zastosowania, organ nadzorczy może zezwolić na ograniczenie wolnej przestrzeni na torach ładunkowych.
4.	Zakres, w jakim dopuszczalne są odstępstwa od przewidzianego ograniczenia przestrzeni, określa Rada Federalna.

¹ Dr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów; e-mail: jpolinski@ikolej.pl.



Rys. 1. Skrajnia budowli kolei niemieckich z 1892 roku [1]

Pomimo rozwoju techniki kolejowej, także w obecnych czasach na bezpieczeństwo ruchu pociągów wpływa zapewnienie odpowiedniej skrajni budowli. W miarę eksploatacji linii, jej modernizacji lub regulacji toru i podtorza, może dochodzić do sytuacji określanych jako ograniczenia ciągłe lub punktowe skrajni². W celu zapewnienia bezpiecznego i zoptymalizowanego trasowania pociągów z jednostkami ładunkowymi transportu intermodalnego oraz z przesyłkami nadzwyczajnymi, jest szczególnie ważna wiedza dotycząca układu geometrycznego toru, topologii poszczególnych linii sieci kolejowej i danych inwentaryzacyjnych jej topografii. Kluczowym kryterium bezpiecznego ruchu pociągów jest wolna przestrzeń pomiędzy infrastrukturą przytorową i pociągiem, dzięki czemu pociąg może jechać bez przeszkód. Wiedza o ograniczeniach tego typu, występujących na liniach kolejowych, jest niezbędna do:

- kodyfikacji linii na potrzeby transportu intermodalnego,
- kodyfikacji linii na potrzeby przewozu przesyłek nadzwyczajnych (ponadgabarytowych),
- utrzymania odległości krawędzi peronowej od osi toru, określonej przepisami, z czym jest związana wielkość łuki wpływającej na bezpieczeństwo dostępu do pociągu.

W przeszłości, przed każdorazowym nadaniem przesyłki nadzwyczajnej, zarządy kolejowe badały warunki i możliwości przewozu, ustalając przy tym wielkość przewoźnego. Ponieważ taka procedura (ze względu na czas jej realizacji), pracochłonność i koszty nie była atrakcyjna dla klientów kolei, Międzynarodowy związek Kolei (UIC) rozpoczął w 1984 roku prace, mające na celu jej uproszczenie. Ustalono wówczas, że poszczególne koleje określą warunki przewozu na liniach dla przesyłek o ustalonych profilach przez wprowadzenie tzw. metody zarysów skrajni, nadającej poszczególnym liniom określone kody. Zgłoszona przez klienta przesyłka wymagała jedynie przyporządkowania do właściwego wzorca oraz sprawdzenia możliwości przewozu konkretną trasą.

Opracowanie kodów linii kolejowych na potrzeby przewozu przesyłek nadzwyczajnych wymagało przeprowadzenia inwentaryzacji ograniczeń skrajni oraz ewidencji skrajni budowli na liniach przeznaczonych do ruchu towarowego lub mieszanego. Inwentaryzacja skrajni budowli polegała na zlokalizowaniu jej w terenie oraz na jednoznacznym określeniu zarysu wszystkich obiektów usytuowanych obok torów lub nad nimi, które naruszały skrajnię budowli, uniemożliwiając przewóz przesyłek o maksymalnym kodzie [11]. Kod jednostki ładunkowej transportu intermodalnego należało porównać z numerami kodów odcinków linii, po których planowano przewieźć przesyłkę. Transport przesyłki był możliwy wtedy, gdy numer kodu jednostki ładunkowej był mniejszy lub równy numerom kodów poszczególnych odcinków linii na trasie przewozu [11].

Wraz z rozwojem technik pomiarowych ukształtowały się różne metody uzyskiwania informacji dotyczących elementów budowli naruszających zarys skrajni. Z punktu widzenia uwarunkowań historycznych, można wyróżnić następujące metody:

- ręczną – obciążoną bardzo dużym błędem pomiaru, na który wpływa zarówno dokładność wykorzystywanych przyrządów pomiarowych, jak i umiejętności osób przeprowadzających pomiary,

² Do ograniczeń skrajni zalicza się m.in.: konstrukcję tuneli i mostów, krawędzie peronów, dachy wiat peronowych, ogrodzenia i ekrany dźwiękochłonne, budynki (ograniczenia typu ciągłego) i semafony, tarcze ostrzegawcze i manewrowe, wskaźniki, słupy trakcyjne, podpory kładek i filary mostów, latarnie zwrotnicowe itp. (ograniczenia typu punktowego).

- mechaniczną – wykorzystującą proste urządzenia pomiarowe (ramy wzorcowe, kątomierze itp.), umieszczone z reguły na wózkach torowych lub wagonach,
- automatyczną, gdzie w zależności od zastosowanych technik, można zastosować następujące rozwiązania:
 - fotogrametryczne, w którym wykorzystywane są pary zdjęć,
 - profile świetlne zadawane światłem lasera i rejestrowane przez szybką kamerę cyfrową,
 - wykorzystanie dalmierza laserowego lub skanera laserowego.

Ze względu na sposób wykonania pomiaru, wyróżnia się dwie metody:

- statyczną – urządzenie pomiarowe jest unieruchomione w miejscu wykonywania pomiaru,
- dynamiczną – pomiary są wykonywane podczas jazdy pojazdu diagnostycznego.

Pomiary skrajni budowli w Niemczech były wykonywane od momentu powstania pierwszej linii kolejowej. W miarę upływu czasu rozbudowywano zarówno sieć kolejową, jak i stacje. Szybki wzrost przytorowej infrastruktury kolejowej spowodował, że ręczne metody pomiaru skrajni budowli stały się niewystarczające. Dzisiejsza infrastruktura linii kolejowych (rys. 2), wymaga dokładności i szybkości wykonywania pomiarów. Może to zapewnić aparatura pomiarowa, stanowiąca wyposażenie pojazdów diagnostycznych.

W celu wykorzystania wyników pomiarów do różnych rozwiązań eksploatacyjnych, należy gromadzić je w specjalnie przygotowanej bazie danych. Bazę taką stworzono jeszcze w latach dziewięćdziesiątych XX w., w oddziale DB Netz AG w Mainz, gdzie opracowano zarówno pierwsze rozwiązania pomiaru ograniczeń skrajniowych, jak i na ich podstawie zasady kodyfi-

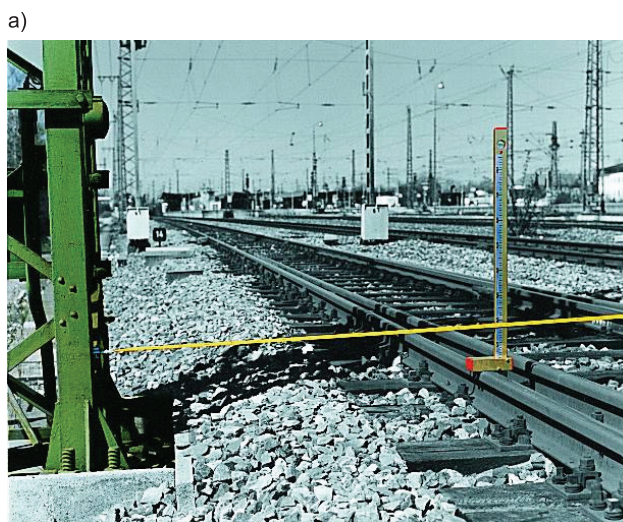
kowania linii kolejowych na potrzeby przewozów intermodalnych i przesyłek nadzwyczajnych. Celem artykułu jest opisanie tych działań na kolejach niemieckich wraz z pokazaniem przebiegu rozwoju pojazdów diagnostycznych do pomiaru ograniczeń skrajni.



Rys. 2. Przy rozwiniętej infrastrukturze linii kolejowych łatwo o naruszenie skrajni budowli [3]

2. Początki pomiarów ograniczeń skrajni

W pierwszym okresie funkcjonowania kolei w Niemczech pomiary skrajni budowli były wykonywane ręcznie. Z tamtego okresu nie zachowały się zdjęcia z takich pomiarów. Metody statyczne charakteryzowały się małą dokładnością, dużą czasochłonnością i ręcznym rejestrowaniem uzyskanych wyników. Z tego powodu nie można było tworzyć bazy danych ograniczeń skrajni występujących na poszczególnych liniach. Warto jednak pamiętać, że metody ręczne, wykorzystujące nowoczesne przyrządy pomiarowe, są nadal używane do pojedynczych, punktowych pomiarów ograniczeń skrajni, gdy uwarunkowania ekonomiczne uniemożliwiają zastosowanie nowoczesnych pojazdów pomiarowych (rys. 3).



Rys. 3. Przykłady ręcznego pomiaru ograniczeń skrajniowych: a) położenie słupa trakcyjnego [12], b) położenie tarczy semafora [fot. Deutsche Bahn AG, Geschäftsbereich Netz]

Na liniach kolejowych w Niemczech poważnym problemem były pomiary ograniczeń ciągłych w tunelach. Do tego celu powstał pojazd na bazie autobusu szynowego VT3802, wycofanego z eksploatacji w 1960 roku. Po jego przeróbce na wagon pomiarowy, we wrześniu 1965 roku, ponownie został oddany do użytku. Podczas prac dostosowawczych, układ drzwi i okien pozostał niezmieniony. W celu zamontowania mechanicznych elementów pomiarowych, wagon wydłużono o 1170 mm i na wydłużonej części zamontowano 55 wysuwanych i obrotowych sond, umożliwiających tworzenie profili roboczych. Z tego powodu był potocznie nazywany „tunelowym jeżem”. Konstrukcja mocowania sond umożliwiała wysuwanie oraz ich składanie, gdyby zaczęły one konstrukcję tunelu. Zmiana położenia sond była przekazywana do pomieszczenia pomiarowego za pomocą układu cięgien i rejestrowana. Ponadto, pojazd był wyposażony w pantograf roboczy (uziemiający), który był również wykorzystywany do określenia położenia przewodu jezdni (rys. 4).

W tunelach z siecią trakcyjną pomiary były znacznie trudniejsze. Częste pomiary tuneli tym systemem (określanym jako TUM), miały na celu ustalenie miejsc, w których wymiary zmieniały się wraz z upływem czasu. Było to możliwe przez porównanie wyników z poprzednich pomiarów. W 1994 roku wagon pomiarowy wycofano z eksploatacji i obecnie, jako zabytek, stacjonuje w Bochum-Dahlhausen Museum Depot.

Doskonalenie metod pomiarowych pod względem szybkości i dokładności pomiarów spowodowało zastąpienie metod kontaktowych metodami bezdotykowymi. Przed wycofaniem z eksploatacji opisanego wagonu pomiarowego, od 1993 roku jego rolę zaczął pełnić, nowoczesny jak na ówczesne czasy, pojazd pomiarowy PROM, służący do pomiaru profili obiektów ciągłych

(tunele, wiadukty, mosty, perony). Pojazd był wyposażony w laserowe urządzenie pomiarowe, które w 1994 roku uzupełniono szablonem mechanicznym, aby dotrzeć do obszarów niedostępnych dla technologii laserowej. Szablon był wysuwany przez rozsuwane drzwi w ścianie pojazdu. Pantograf pojazdu (rys. 5) spełniał analogiczne funkcje jak w poprzednim pojeździe.

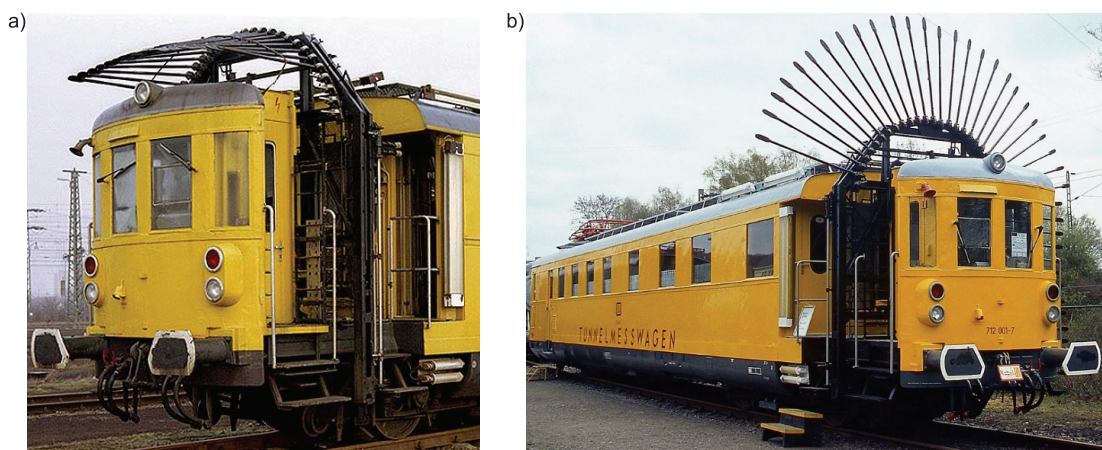


Rys. 5. Pojazd pomiarowy ograniczeń skrajniowych PROM (oznaczony jako 712 002) [fot. Erik Rauner]

Podstawowy system pomiarowy oparto na skanerze laserowym z czasem rozsyłu wiązki promieniowania dostępnym dla różnych odległości. Do skanera dołączono przemysłowy komputer, na którym archiwizowano dane. Pomiary wykonywano z prędkością 8 km/h, co było znaczącym postępem w stosunku do stosowanych metod statycznych.

3. Rodzina pojazdów serii LIMEZ³

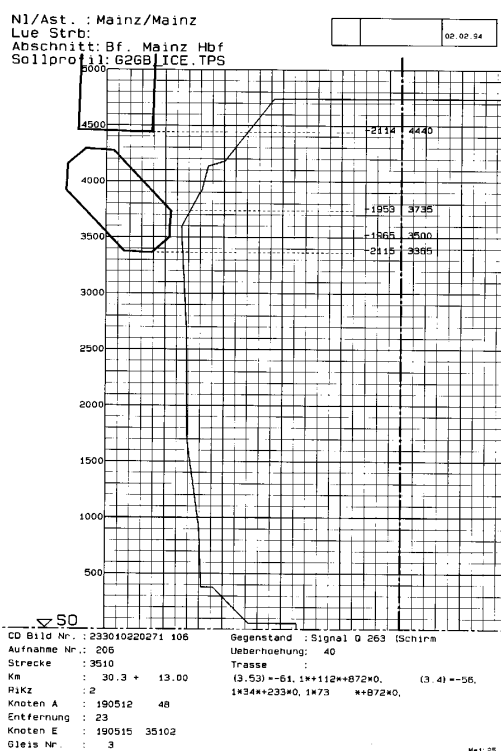
Doskonalenie metod pomiarowych umożliwiło realizację fotogrametrycznego, podwójnie obrazkowego systemu pomiarowego skrajni DOLIM. W 1994 r. powstał prototyp nowego pojazdu pomiarowego LIMEZ I, w wyniku współpracy spółki DB AG Netz w Mainz i Zakładu Badawczo-Rozwojowego FEW Blankenburg.



Rys. 4. Pojazd do pomiarów tuneli i skarp przytorowych na liniach górskich (oznaczony jako PELIM 712 001): a) złożone górne i boczne sondy służące do pomiaru zarysu tunelu [10], b) złożone sondy boczne, a rozłożone górne [15]

³ Nazwa systemu jest akronimem nazwy niemieckiej *Lichttraumprofil MessZug* (pociąg pomiarowy profilu /zarysu/ skrajni).

Pomiędzy dwiema wycofanymi z ruchu lokomotywami spalinowymi, które przebudowano na potrzeby nowego urządzenia pomiarowego, wbudowano specjalnej konstrukcji ramę, którą wyposażono w lampy błyskowe (praca w nocy), aparaty specjalnej konstrukcji do wykonywania zdjęć w każdych warunkach atmosferycznych oraz kamery. Zdjęcia dotyczyły przekrojów skrajni prostopadłej do osi toru. Pomiary ograniczeń skrajni mogły być wykonywane z prędkością 20 km/h a po jeździe rozpoznawczej, rejestrowanej kamerami wideo, z prędkością 60 km/h. Przykładowy wydruk arkusza pomiarowego zarejestrowanego przez urządzenia pojazdu LIMEZ I [11] pokazano na rysunku 6, natomiast pojazd pomiarowy na rysunku 7.



Rys. 6. Arkusz pomiarowy ograniczenia skrajni wykonany przez aparaturę pojazdu LIMEZ I [11], w trakcie przejazdu prezentującego zasady pomiaru [z udziałem autora artykułu (1994 rok)]

System pomiarowy pociągu LIMEZ I sprawdził się na liniach poza stacjami kolejowymi, jednak na stacjach nie był używany do pomiarów ograniczeń skrajni. System fotogrametryczny zastosowany w tym pojeździe charakteryzował się następującymi cechami [4]:

1. Krótkim czasem wykrywania obiektów; aby sparometryzować ograniczenie skrajni, nie zachodziła potrzeba postoju do jego parametryzacji. Ocena opisu parametrycznego mogła nastąpić w późniejszym czasie, na podstawie zdjęć uzyskanych w danej lokalizacji. Potrzebny materiał fotograficzny przygotowywano w ciągu kilku sekund podczas jazdy pojazdu. Dzięki temu pomiary nie były dotychczasowe dla eksploatacji linii.
2. Wysoką dokładnością (dokładność zapewniały kamery pomiarowe).
3. Wysokim stopniem wyboru rejestracji gęstości punktów pomiarowych.
4. Możliwością trwałego przechowywania dokumentacji pomiarowej w postaci filmów i zdjęć.
5. Bezdotykowym pomiarem, eliminującym kłopotliwe oznaczanie „wąskich gardeł”, co cechowało inne, dotychczasowe techniki pomiarowe.

Te cechy spowodowały, że DB AG uznało ówczesną metodę fotogrametryczną za najistotniejszą w odniesieniu do pomiarów ograniczeń skrajni na liniach kolejowych.

W 1997 roku, na zlecenie kolei DB AG, firma METRONOM Gesellschaft für Industrie-Vermessung mbH podjęła się opracowania nowej wersji pojazdu pomiarowego, nazwanego LIMEZ II. Pojazd składał się z wagonu napędowego (712 101-5), wyposażonego w dwie kabiny maszynistów, salę komputerową, warsztat, pomieszczenie na sprzęt, pomieszczenie sanitarne i salon dla zespołu pomiarowego. Pojazd mógł przewozić 10 osób. Do pojazdu silnikowego dołączono wagon pomiarowy (713 001-6). Zestaw pomiarowy pokazano na rysunku 8.

a)



b)



Rys. 7. Pojazd pomiarowy LIMEZ I: a) widok ramy z przyrządami pomiarowymi, b) widok pojazdu [fot. ze zbioru autora]



Rys. 8. Zestaw pomiarowy LIMEZ II: a) rama ekranowa wagonu pomiarowego [fot. Thomas Linberg], b) wyposażenie ramy wagonu pomiarowego [fot. Thomas Linberg], c) ogólny widok zestawu pomiarowego LIMEZ II [8], d) pomiar tunelu [14], e) czoło członu napędowego zespołu pomiarowego LIMEZ II [fot. Thomas Linberg]

Założono, że pojazd, będzie podstawowym źródłem danych o ograniczeniach skrajni, występujących na sieci kolejowej DB AG oraz o wysokości położenia przewodu jezdnego na liniach zelektryfikowanych. Z tego względu pojazd wyposażono w najnowszą technologię wideo-fotograficzną. Należą do niej np. kamery wideo (rejestrujące obrazy w kolorach), umieszczone na dachu wagonu, służące do dokumentacji trasy, a także inne kamery do orientowania ramy

pomiarowej pojazdu względem osi toru. Wszystkie sygnały obrazu były opatrzone kodem czasu (znacznik czasu), umożliwiającym synchronizację wszystkich nagranych sygnałów, a prowadzenie pomiarów wspierał system komputerowy. Ponadto, w pojeździe zainstalowano mocne reflektory halogenowe, co umożliwiała wykorzystywanie pojazdu po zapadnięciu zmroku lub w tunelach. Pomiary tym pojazdem rozpoczęto w 1998 roku.

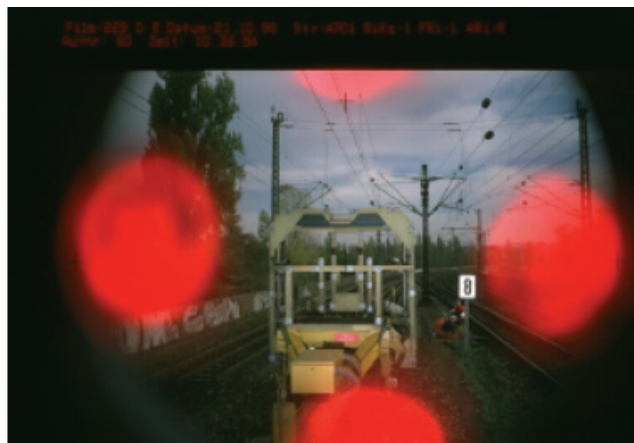
Wagon pomiarowy stanowiła platforma specjalnej konstrukcji, z urządzeniami pomiarowymi, do których należały m.in.: kamery wideo, dwie kamery cyfrowe, układ pomiaru osi toru. Urządzenia te były podłączone do komputera, na którym rejestrowano odczyty dzięki specjalnemu oprogramowaniu. Jak opisano w [9] (...) *Zsynchronizowane kalibrowane kamery niewielkiego formatu znajdowały się w odległości około 2,5 m. Wyposażono je w obiektywy o ogniskowej 31 mm i siatkę⁴ (...). W odległości 11 m od kamer znajdowała się rama z umieszczonymi na niej 22 punktami dostosowania, ulokowanymi w trzech płaszczyznach w stosunku do bazy fotogrametrycznej. Na zdjęciach mierzone obiekty znajdujące się w obszarze 3 m przed i 3 m za najdalszą od kamer ramą z fotopunktami, w pasie 20 cm wewnątrz i na zewnątrz rzutowanego na zdjęcia obrysu skrajni. Lokalizacja ewentualnej przeszkody odnosiła się do osi toru w odniesieniu do kilometrażu trasy (odczyt z kamery video). Pomiar zdjęć prowadzono w sposób półautomatyczny, z wykorzystaniem specjalnie dostosowanej do pomiaru skrajni wersji programu PICTRAN-L (...), [rysunek 9]. Mierzone były krzyże siatki, sygnały punktów dostosowania na ramie oraz punkty homologiczne w obszarze zainteresowań. Ostateczną weryfikację potencjalnie kolizyjnych obiektów dokonywał operator, zaznaczając go obrysem dodawanym do wektora skrajni. Wynikiem pomiaru była baza danych, w której znajdowały się między innymi informacje o rodzaju obiektu kolizyjnego, jego lokalizacji wzdłuż toru, numery zdjęć, itd. (...). Pełny opis zasady wykonywania pomiaru i zapisu wyników omówiono w artykułach [4, 9].*

Już w chwili oddania do eksploatacji pojazdu LIMEZ II, kontynuowano prace nad kolejną, unowocześnioną wersją wagonu pomiarowego, roboczo nazywaną LIMEZ III⁵. W 2006 roku dwa wagony serii 614 (045 i 046) przekształcono w pociąg do pomiaru zarysu skrajni (719 045/046), rysunek 10.



Rys. 10. Pociąg pomiarowy LIMEZ III [9]

Pojazd LIMEZ III służy do mierzenia zarysu skrajni budowli wraz z ograniczeniami wolnej przestrzeni nad torami i obok torów, które mogą stanowić ograniczenie dla ruchu pociągów. Wyniki pomiarów posłużyły do sprawdzania i ewentualnej weryfikacji kodów linii dla transportu intermodalnego i dla przesyłek nadzwyczajnych, które przekraczają skrajnię ładunkową. Pojazd wyposażono w dwa laserowe skanery pomiarowe, które są przymocowane z przodu wagonu 716 046 i umożliwiają pomiary przy prędkości pojazdu do 100 km/h. W 2012 roku pojazd wyposażono



Rys. 9. Lewy i prawy obraz wykonany przez system fotograficzny LIMEZ II [13]

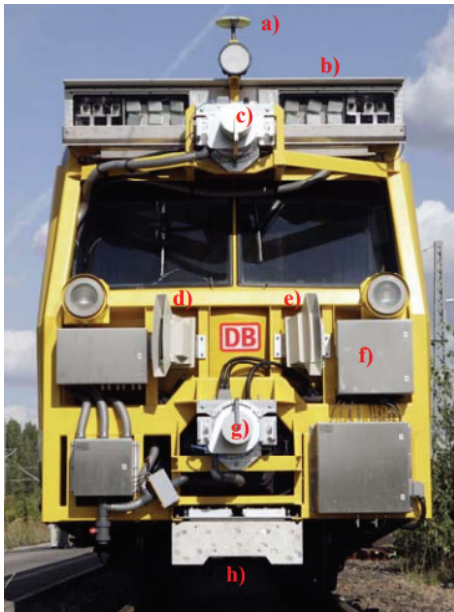
⁴ Siatka umożliwia wyznaczenie orientacji kamery pomiarowej oraz niweluje deformację obrazu.

⁵ Niemieccy miłośnicy kolei do dziś nie dowiedzieli się, co sprawiło, że pomimo roboczej nazwy pojazdu LIMEZ III, nazwa ta nigdy nie pojawiła się na jego ścianach.

w dodatkowe urządzenia służące do pomiaru sieci trakcyjnej i układu geometrycznego toru [12], w celu bardziej ekonomicznego wykorzystania przejazdów pomiarowych.

Podstawowym urządzeniem pomiarowym jest (...) fazowy skaner obrotowy, skanujący w płaszczyźnie, o dokładności pomiaru odległości < 6 mm, mierzący 3600 punktów na profil. Przy zastosowaniu skanera o podwójnym lustrze profilującym, przy pojedynczej głowicy gęstość pomiarowa wynosi 300 profili na sekundę, przy 4 głowicach może osiągnąć 1200 profili, co przy prędkości maksymalnej pociągu da profile co 2÷3 cm. W systemie zamontowano również kamery video, które służą do dokumentacji przebiegu pomiaru i pozwalają na identyfikację elementów kolizyjnych, lokalizację profili, ewentualnie na pomiar stereo wybranych obiektów (...) [9]. Przód pojazdu z układem urządzeń systemu pomiarowego pokazano na rysunku 11.

Metoda pomiaru ograniczeń skrajni wykorzystuje kilka istotnych elementów, do których należy m.in. przyjęty w regule obliczeniowej zarys profilu (rys. 12) i zasada pomiarów, polegająca na śledzeniu układu współrzędnych (rys. 13). System pomiarowy wyposażono w najnowocześniejszy GPS i INS (system pozycjonowania wykorzystuje m.in. żyroskop laserowy i akcelerometry), co umożliwia lokalizację wyniku pomiaru z dokładnością do kilku centymetrów.

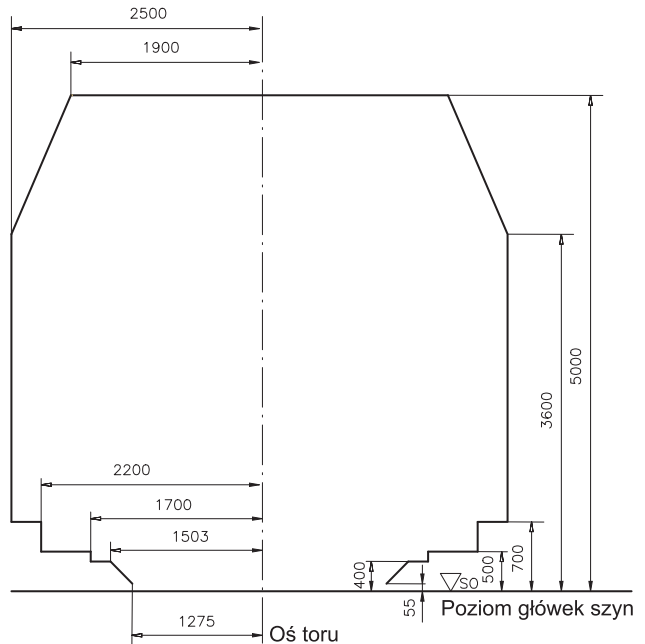


Rys. 11. System skanowania 3D w wagonie pomiarowym [2]: a), f) system GPS i INS, b) system fotogrametryczny wideo i stereo, c), g) podwójne skanery laserowe, d), e) skanery dalszej przestrzeni (perspektywy), h) znacznik toru

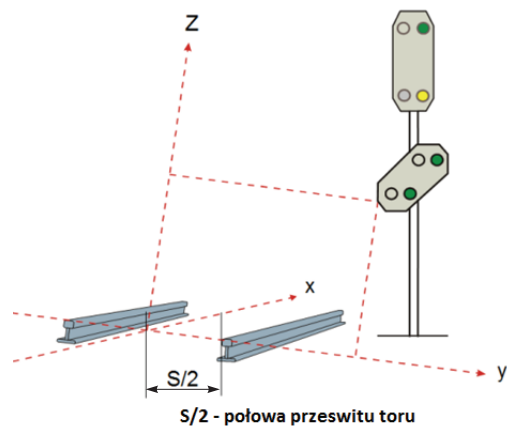
System pojazdu diagnostycznego zapewnia następujące dokładności [7]:

- pomiar toru: dokładność pomiaru szerokości: 2 mm, wysokości: 2 mm, gradient: 1 m/1 km, promień: 1%,

- pomiar otoczenia: dokładność pomiaru szerokości: 40 mm, przewyższenia: 4 mm, względna: 20 mm.



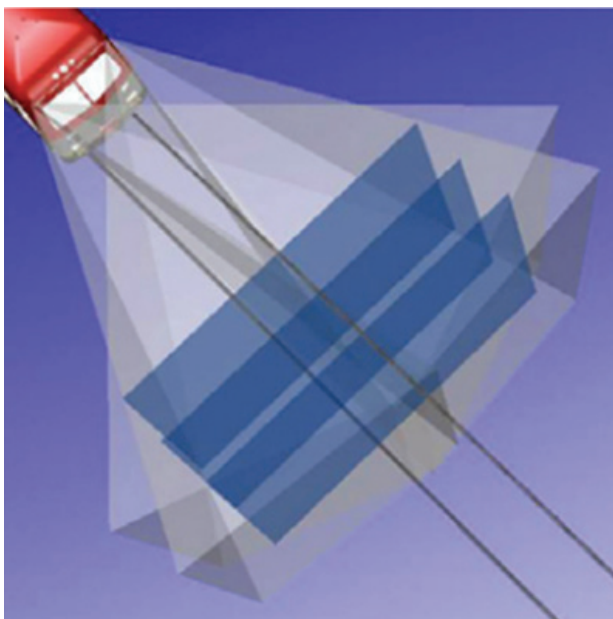
Rys. 12. Zarys reguły obliczeniowej profilu; opracowanie własne na podstawie [5]



Rys. 13. Układ współrzędnych pomiarów [5]

Pomimo tego, że szybkość pomiaru elementów przytorowych przez dwa skanery laserowe jest bardzo wysoka i generowana jest przy tym gigantyczna liczba punktów pomiarowych, system nie może przechwycić wszystkich, wąskich obiektów. Obiekty takie jak, np. tarcze wskaźników o grubości kilku milimetrów mogą znaleźć się w „martwych szczelinach”, w których nie można wykonać pomiarów głównymi skanerami laserowymi. Aby wypełnić tę lukę pomiarową, wykorzystuje się dodatkowy system, oparty na kamerach wideo do ocen fotogrametrycznych (system stereo). Składa się on z czterech cyfrowych czarno-białych kamer o rozdzielczości dwóch megapikseli każda. Każda

z dwóch kamer jest dopasowana do identycznych obszarów obrazu po prawej i lewej stronie toru (rys. 14).



Rys. 14. Konfiguracja nagrywania systemu pomiaru wideo [16]

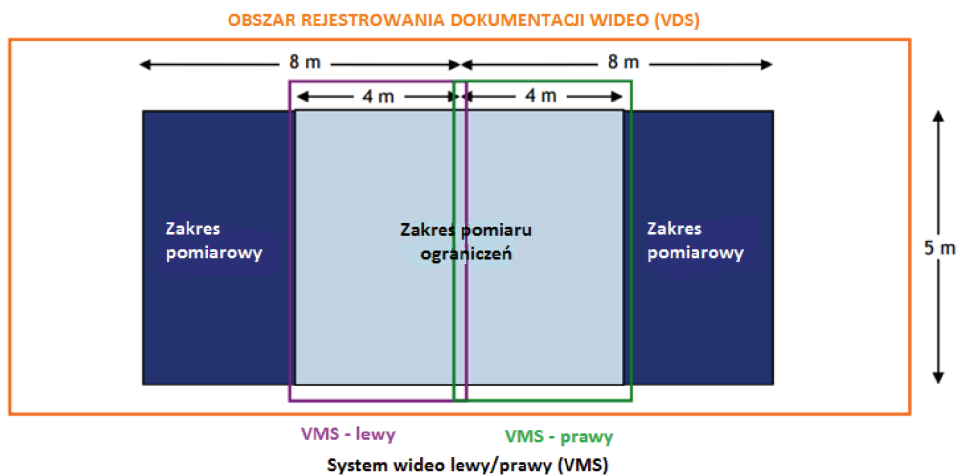
Wykorzystywany podczas pomiarów cyfrowy kolorowy aparat z dwoma megapikselami rozdzielczości i obiektywem szerokokątnym, oraz kamery do dokumentowania trasy wspierają ocenę danych skanera laserowego. Kamera do rejestrowania obrazów w kolorze jest zainstalowana na drugim końcu pojazdu, dzięki czemu zawsze wykonuje zdjęcia w kierunku jazdy (z przodu i tyłu pojazdu pomiarowego), co umożliwia zidentyfikowanie każdego elementu infrastruktury znajdującej się przy torze kolejowym. Zdjęcia czarno-białe są wykonywane co 2 m, natomiast zdjęcia w kolorze co 4 m.

Aby zminimalizować rozmycie obrazu przy prędkości pojazdu pomiarowego 100 km/h, czyli około

28 m/s, pomiar musi być wykonany przy bardzo krótkim czasie ekspozycji (krótszym od 1/1500 s). Wymaga to zapewnienia odpowiedniego oświetlenia zarówno w ciągu dnia, jak i w nocy oraz w tunelach. Oświetlenie, w paśmie częstotliwości światła widocznym dla ludzi, jest wykluczone, ponieważ oznacza to np. oślepienie pojazdem pomiarowym podróżnych znajdujących się na peronach. Niezbędne natężenie oświetlenia zapewniają specjalne diody podczerwieni, które są używane jako lampy błyskowe (pracujące w trybie impulsowym), zsynchronizowane z aparatami wykonującymi zdjęcia. Aby uwzględnić różne sytuacje związane z oświetleniem, opracowano również specjalny czujnik adaptacyjnej kontroli ekspozycji [16].

W pojeździe diagnostycznym LIMEZ III wykorzystuje się ponadto dwie kamery VDS umieszczone z przodu i z tyłu pojazdu, dające 20 obrazów na sekundę, o zasięgu pola widzenia w terenie o wymiarach 16 × 5 m oraz dwie kamery VMS, umieszczone z przodu pojazdu, obrazujące szeroki zakres terenu „do przodu”. Nakładające się jednocześnie obrazy z tych kamer dają możliwość pomiaru stereo. Do pomiaru szyn wykorzystano skanowanie światłem, gdzie profil świetlny (dla każdej szyny) jest rejestrowany przez kamery CCD [7]. Zakres pomiaru wideo pokazano na rysunku 15, natomiast skanowanie szyn w celu wyznaczenia osi toru (znacznik toru) przedstawiono na rysunku 16.

Do wyznaczenia osi toru służą dwa skanery profili szynowych, określane jako znacznik toru, przymocowane do dolnej części ramy ostoi pojazdu. Laserowe czujniki triangulacyjne są zainstalowane na stałe we wspólnej obudowie. Dwie szyny są znaczone cienką linią lasera. Specjalna kamera odwzorowuje linię lasera pod znanym kątem widzenia, zapewniając automatyczną ocenę obrazów i pozycjonuje układ pomiarowy względem ściśle określonej (z dokładnością do 1 mm) osi toru [16].



Rys. 15. Zakres pomiaru wideo (obszar nagrywania) [5]



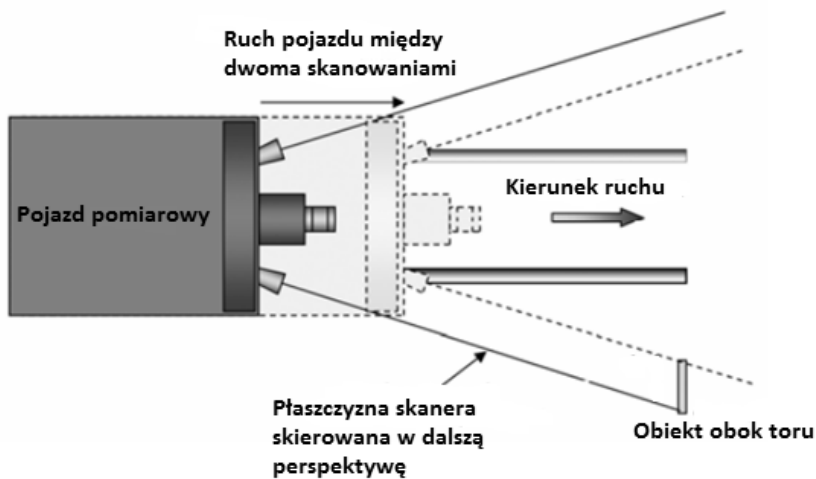
Rys. 16. Jeden z dwóch skanerów profilu szyny do określania osi toru [16]

Oprócz odczytów wykonanych przez obrotowe skanery laserowe wspomagane wideo, dodatkowo pomiary wykonują dwa laserowe skanery boczne, skierowane na zewnątrz obu stron toru (rysunek 17). Konfiguracja pomiaru wideo została pokazana na rysunku 18, natomiast urządzenie pomiaru wideo na rysunku 19.

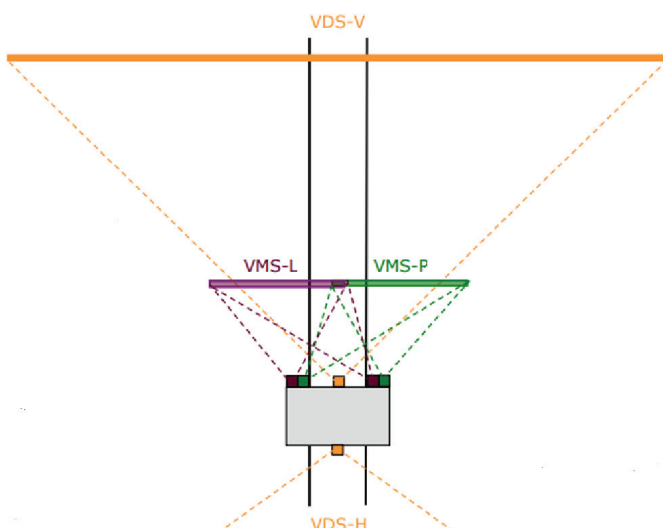
Na rysunku 20 przedstawiono kilka wyników uzyskanych w trakcie pomiarów pojazdem diagnostycznym. Badany obiekt zaznaczono żółtą strzałką.

4. Podsumowanie

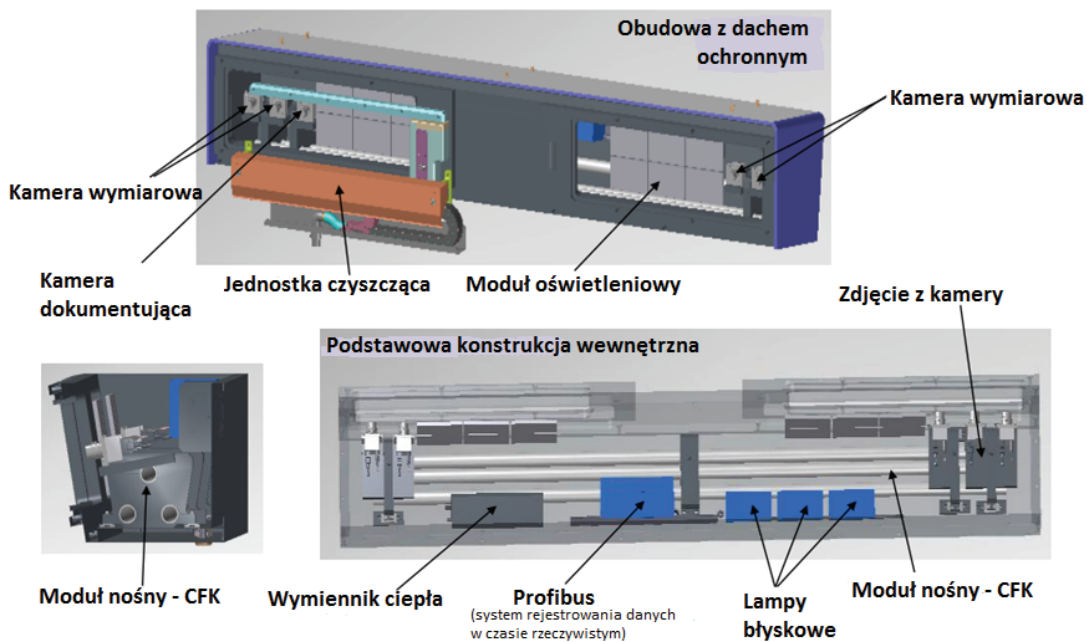
Z przeprowadzonego przeglądu wykorzystywanych systemów operacyjnych wykorzystywanych do pomiarów ograniczeń skrajni na liniach kolejowych w Niemczech można stwierdzić, że wraz z rozwojem kolei zmieniały się narzędzia pomiarowe. Wiedza nt. ograniczeń skrajni występujących na liniach kolejowych z biegiem czasu zaczęła wpływać na bezpieczeństwo i możliwości przewozowe kolei, a także na jakość świadczonych usług. Kierunkiem



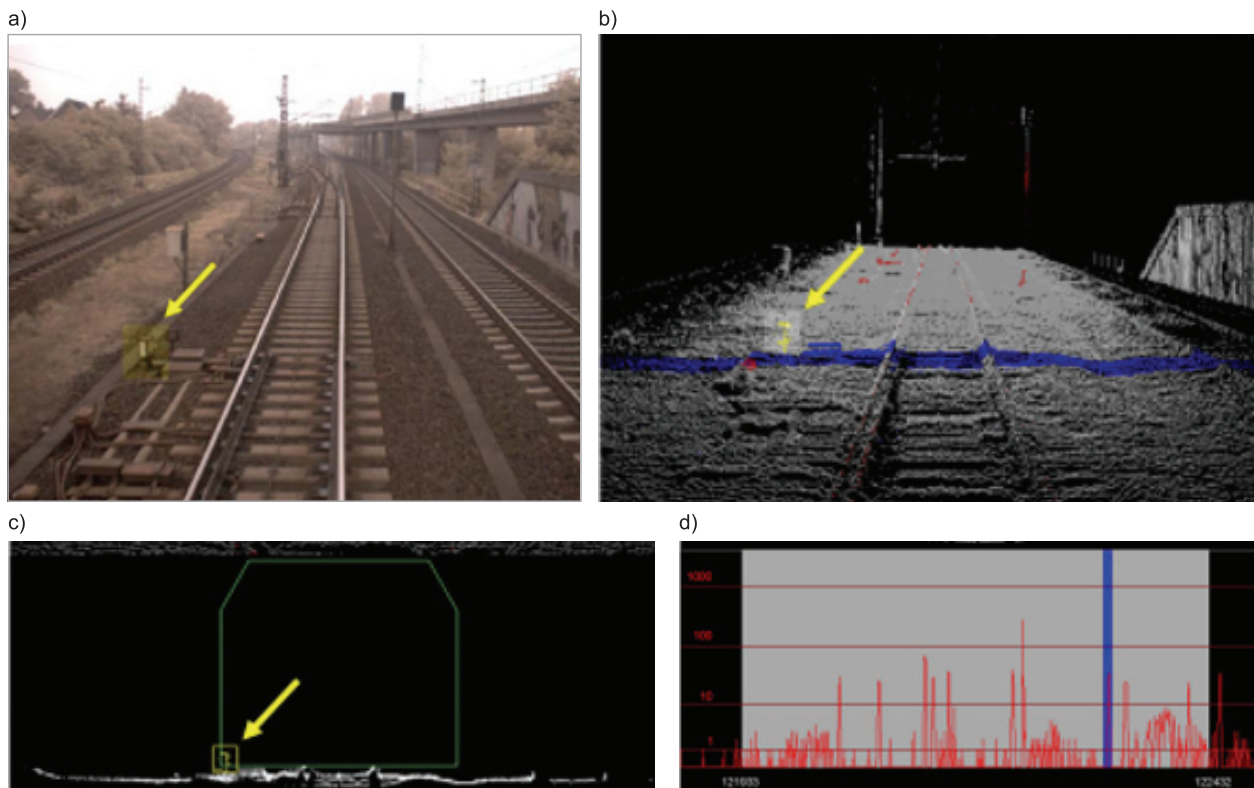
Rys. 17. Widok z góry układu skanowania za pomocą skanerów bocznych przestrzeni przed pojazdem pomiarowym [2]



Rys. 18. System pomiaru wideo (konfiguracja nagrywania) [5]



Rys. 19. Widok urządzenia systemu pomiaru wideo [5]



Rys. 20. Tworzenie dokumentacji pomiarów [2]: a) obraz dokumentacji wideo, b) chmura punktów 3D, c) widok zarysu skrajni wraz z badanym obiektem, d) statystyki naruszenia z liczbą punktów wewnątrz profilu odniesienia

rozwoju urządzeń diagnostycznych stały się pomiary wykonywane przez mobilne urządzenia diagnostyczne przy coraz większej prędkości jazdy pomiarowych i zachowaniu dużej dokładności uzyskiwanych wyników. Z perspektywy czasu można powiedzieć, że systemy operacyjne są oparte na trzech grupach metod [6]:

- metodzie wykorzystującej pomiar wykonany za pomocą dalmierza laserowego i skanera laserowego (LiDAR),
- metodzie fotogrametrycznej, wykorzystującej strumień obrazów,
- metodzie obejmującej profile światła rzutowane laserem świetlnym i rejestrowane przez szybki aparat cyfrowy.

Najbardziej zaawansowane systemy łączą wymienione metody pomiarowe. Warto przy tym podkreślić, że (...) metoda fotogrametrii dwuobrazowej osiągnęła praktycznie swój kres rozwojowy (...). Systemy stereowizyjne cechuje wysoka dokładność, a jednocześnie brak możliwości pełnej automatyzacji pomiaru. Zdjęcia muszą być przeglądane przez człowieka, który wybiera miejsca wymagające pomiaru na modelu stereoskopowym. Ponieważ zdjęcia wykonywane są w interwale kilkumetrowym, ich liczba jest duża, a odpowiedzialność obserwatora bardzo wysoka (...) [7]. Z dostępnej literatury wynika, że dotychczas nie udało się skutecznie zautomatyzować procesu opracowywania zdjęć stereoskopowych. Możliwe, że jest to następstwem specyfiki przestrzeni pasa kolejowego, w której (...) obiekty stanowiące przedmiot pomiaru są stosunkowo małe, często wysmukłe, pomiędzy nimi na zdjęciach rejestrowane jest względnie dalekie tło, co gwałtownie zmienia głębię modelu stereoskopowego (...) [7].

Większe możliwości automatyzacji procedury określania występujących na liniach kolejowych ograniczeń skrajni daje rejestracja profili laserowych. Profile zarejestrowane na zdjęciach w tej metodzie wektoryzuje się automatycznie i zestawia w sekwencję przekrojów, co następnie umożliwia wykrycie miejsc kolizyjnych w płaszczyźnie skrajni. Metoda ta jest obecnie wykorzystywana przez wiele zarządów kolejowych, w tym m.in. przez koleje włoskie, francuskie, austriackie, szwajcarskie, czeskie i rosyjskie.

Wśród wielu pomiarów różnych parametrów linii kolejowych wykonywanych na DB AG, pomiary ograniczeń skrajni były i są realizowane odrębnym sprzętem diagnostycznym. Jak dotychczas nie ma informacji, że ta zasada w ciągu najbliższych lat ulegnie zmianie.

Wiele informacji dotyczących m.in. rozwoju metod badawczych związanych z bezdotykowymi metodami pomiaru ograniczeń skrajni opisano w polskich publikacjach [6, 7] oraz licznych informacjach zawartych na niemieckojęzycznych stronach internetowych (*Photogrammetrische Messungen* – pomiary fotogrametryczne, *Lasermessungen* – pomiary laserowe).

Literatura

1. Bekanntmachung, betreffend die Bahnordnung für die Nebeneisenbahnen Deutschlands, Vom 5. Juli 1892, (Nr. 2047), Betriebsordnung für die Haupteisenbahnen Deutschlands, WWW https://de.wikisource.org/wiki/Bekanntmachung_betreffend_die_Bahnordnung_f%C3%BCr_die_Nebeneisenbahnen_Deutschlands [dostęp: 02.05.2020].
2. Blug A. et.al.: *Novel Platform for Terrestrial 3D mapping from Fast Vehicles*, PIA07 International Archives Photogrammetric Image Analysis, Munich, Germany, September 19–21, 2007, WWW https://www.pf.bgu.tum.de/isprs/pia07/publ/PIA07_Blug_et_al.pdf [dostęp 03.05.2020].
3. Infrastruktura torowa stanowiąca potencjalne ograniczenie skrajni budowli https://www.deutschlandfunk.de/sanierung-der-deutschenbahn-mehr-geld-allein-reicht-nicht.724.de.html?dram:article_id=469329, [dostęp: 30.04.2020].
4. LIMEZ – Photogrammetrische Vermessung von Lichtraumhindernissen [Fotogrametryczny pomiar przeszkód pokonywanych przez LIMEZ], WWW <https://docplayer.org/43970380-Limez-photogrammetrische-vermessung-von-lichtraumhindernissen.html> [dostęp: 02.05.2020].
5. Meier J.: *LIMEZ III – Der neue Lichtraummesszug der Deutschen Bahn*, [pokaz slajdów], Metronom, Hamburg, 2009.
6. Mikrut S. et.al.: *Mobilne laserowe systemy skanujące do pomiaru ograniczeń skrajniowych: aktualna sytuacja, testy i prognozy*, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4883374/>, Publikacja internetowa z dnia 12 maja 2016 r. Doi: 10.3390 / s16050683.
7. Mikrut S., Pyka K., Tokarczyk R.: *Systemy do pomiaru skrajni kolejowej – przegląd i tendencje rozwojowe*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 23, 2012, s. 291–301.
8. Pojazd pomiarowy LIMEZ II, <https://www.eisenbahndienstfahrzeuge.de/> [autor Heinrich Hölscher], [dostęp: 01.05.2020].
9. Pojazd pomiarowy LIMEZ III, WWW <https://www.picuki.com/media/1622359810732652403>, [dostęp: 03.05.2020].
10. Pojazd pomiarowy PELIM, WWW <https://www.eisenbahndienstfahrzeuge.de/> [autor Klaus Wedde] [dostęp: 01.05.2020].
11. Poliński J.: *Rola kolei w transporcie intermodalnym*, Instytut Kolejnictwa, Warszawa, 2015.
12. Ręczny pomiar ograniczenia skrajniowego, WWW <https://www.gleisbau-welt.de/lexikon/gleisbau-und-instandhaltung/werkzeuge-und-kleinmaschinen/mess-und-pruefgeraete/>, [dostęp: 30.04.2020].
13. Schewe H., Holl J., Gründig L.: *LIMEZ – Photogrammetric Measurement of Railroad Clearance Obstacles*, Institute for Geodesy and Photogrammetry, Technical University, Berlin, Germany, <http://www.technet-gmbh.de/fileadmin/Photogrammetrie/Publikationen/Limez-english.pdf> [dostęp: 05.05.2020].
14. Wagon pojazdu pomiarowego LIMEZ II, WWW <https://www.eisenbahndienstfahrzeuge.de/> autor Franz Marcus [dostęp: 01.05.2020].
15. Wagon pomiarowy PELIM, <https://www.bahnbilder.de/bild/deutschland~bahndienstfahrzeug-e~br-712-man-tunnelmessstriebwagen/935371/tunnelmesswagen-712-001-7-im-april-2010.html>, [dostęp: 01.05.2020].
16. Wirth H.: *Der neue Lichtraummesszug LIMEZ III der Deutschen Bahn AG*, ZFV 3/2008.