

JEDNOLITA METODA BADANIA KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ TABORU I URZĄDZEŃ STWIERDZANIA NIEZAJĘTOŚCI TORU¹

Dominik Adamski

mgr inż., Instytut Kolejnictwa, Zakład Sterowania
Ruchem i Teleinformatyki, tel. (0 22) 473 1054

Witold Olpiński

mgr inż., Instytut Kolejnictwa, Ośrodek Koordynacji Projektów i Współpracy Międzynarodowej, tel. (0 22) 473 1084

Streszczenie. Coraz częściej do stwierdzania niezajętości toru stosowane są urządzenia licznikowe, których zasadniczymi elementami są czujniki koła. Równocześnie coraz bardziej złożony tabor kolejowy, szczególnie pojazdy trakcyjne, stanowią źródło potencjalnych zakłóceń mogących oddziaływać na pracę takich urządzeń detekcji taboru. W procesie dopuszczania nowych pojazdów szynowych do eksploatacji prowadzona jest więc weryfikacja ich kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) ze stosowanymi urządzeniami sterowania ruchem kolejowym, zwłaszcza z systemami stwierdzania niezajętości toru. Jednym z elementów prowadzonych badań jest ocena zakłócających pól magnetycznych wytwarzanych przez tabor. Dla ujednoczenia i uproszczenia metod pomiaru takich zakłóceń prowadzono prace nad normą EN 50238 i opracowano specyfikację techniczną TS 50238-3. Specyfikacja ta określa jednolitą metodę pomiarową. Stosowanie jej wymaga sprawdzenia, czy może ona zastąpić różne sposoby pomiaru stosowane w poszczególnych krajach europejskich. W tym celu realizowany jest europejski projekt badawczy, finansowany ze środków europejskiej sieci transportowej TEN-T w ramach projektu mającego ułatwić i przyspieszyć wprowadzanie europejskiego systemu zarządzania ruchem kolejowym – ERTMS. Jedną z dziewięciu kampanii pomiarowych zaplanowanych w ramach projektu przeprowadzona została w Polsce. Po rozwinięciu opisanego powyżej wprowadzenia, w artykule omówiono cechy wykorzystywanej, specjalistycznej aparatury pomiarowej, zgodnej ze specyfikacją TS 50238-3. Przedstawiono także przebieg i wyniki polskiej kampanii pomiarowej oraz docelowe przeznaczenie rezultatów całego projektu.

Słowa kluczowe: sterowanie ruchem, interoperacyjność, transport kolejowy

1. Wprowadzenie

Jedną z podstawowych funkcji realizowanych przez urządzenia sterowania ruchem kolejowym jest stwierdzanie niezajętości toru określonej części sieci linii kolejowych. Może to być całość lub fragment (odcinek) toru szlakowego lub stacyjne-

¹ Wkład procentowy poszczególnych autorów: Adamski.D. 35%, Olpiński W. 65%

go, strefa określonej zwrotnicy czy inny wydzielony obszar, którego stan zajętości musi być kontrolowany dla realizacji procesu sterowania ruchem z zapewnieniem bezpieczeństwa prowadzonych operacji ruchowych taboru kolejowego. W przeszłości funkcja ta była realizowana przeważnie przez różnego rodzaju obwody torowe, których podstawową zasadą działania było stwierdzanie elektrycznego (galwanicznego) zwarcia toków szynowych przez każdy zestaw kołowy taboru. Takie obwody torowe stwierdzają stan niezajętości toru w sposób ciągły na całym kontrolowanym odcinku toru. Dla prawidłowego działania obwodów torowych konieczne było zapewnienie właściwej izolacji elektrycznej pomiędzy tokami szynowymi toru. Dodatkowo wykorzystywany był efekt uboczny stosowanej metody działania obwodów torowych, polegający na stwierdzaniu powstania braku ciągłości elektrycznej toków szynowych, co umożliwiała niejednokrotnie wykrywanie pęknięć szyn. Występowały jednak trudności na styku między służbami kolejowymi: drogową, odpowiedzialną za stan nawierzchni kolejowej oraz sterowania ruchem, odpowiedzialną za bezpieczną kontrolę niezajętości torów spowodowane niezgodnymi ze sobą głównymi zadaniami obu służb. Trudności te stały się jedną z przyczyn rozpowszechniania się alternatywnej metody stwierdzania niezajętości określonego odcinka toru, polegającej na stosowaniu tak zwanych licznikowych systemów stwierdzania niezajętości torów zwanych skrótowo, choć nieprawidłowo, obwodami licznikowymi. Do ich działania wykorzystywane są czujniki szynowe, zwane czujnikami koła lub osi, stwierdzające fakt i kierunek przejazdu koła (osi) taboru kolejowego przez miejsce ich instalacji, czyli punkt oddziaływania, gdyż czujniki szynowe z zasady swego działania są urządzeniami oddziaływania punktowego. Czujniki koła stanowią urządzenie wejściowe licznika osi, wykorzystywanego w licznikowym systemie stwierdzania niezajętości określonego odcinka toru przez obliczanie bilansu liczby osi wjeżdżających i wyjeżdżających z tego kontrolowanego odcinka, ograniczonego parą czujników koła. Dla poprawy niezawodności systemy licznikowe konstruowane są zwykle jako urządzenia co najmniej dwukanałowe, ze zdublowanymi czujnikami szynowymi, instalowanymi na obu tokach szynowych punktu oddziaływania. W niniejszym artykule pomijamy inne, alternatywne rozwiązania stwierdzania niezajętości toru, wykorzystujące np. układane w torze tzw. pętle indukcyjne, które bywają stosowane w określonym, ograniczonym zakresie w zastępstwie obwodów torowych lub czujników szynowych czy systemy mikrofalowe, radarowe albo oparte na rozpoznawaniu obrazu.

Z wielu względów, które nie są przedmiotem niniejszego artykułu, poszczególne koleje, a właściwie zarządcy infrastruktury kolejowej, coraz częściej i na coraz większej części podlegającej im sieci linii kolejowych zmieniają urządzenia stwierdzania niezajętości toru odchodząc od wykorzystywania różnego rodzaju obwodów torowych z oddziaływaniem ciągłym na rzecz systemów licznikowych. W miarę dostępności coraz lepszych rozwiązań licznikowych systemów stwierdzania niezajętości torów, w ciągu ostatnich kilkunastu lat zarządcy infrastruktury kolejowej wymienili wiele obwodów torowych na systemy licznikowe, w tym zwłaszcza na liniach głównych o zasadniczym znaczeniu dla całości systemu transportowego. Powoduje to konieczność dobrego rozwiązania występujących problemów zwią-

zanych z wykorzystywaniem tego typu urządzeń sterowania ruchem zapewniając bezpieczeństwo, dostępność i niezawodność ich działania [1]. Wiąże się to bezpośrednio z zagadnieniem zapewnienia prawidłowego działania systemów licznikowych przy oddziaływaniu zakłóceń wytwarzanych przez tabor kolejowy, szczególnie trakcyjny. Czujnik szynowy systemu licznikowego musi spełniać wymagania odnośnie czułości, aby w sposób niezawodny wykrywać fakt przejazdu koła (osi) taboru przez punkt oddziaływania, nie dopuszczając możliwości nie wykrycia wjazdu taboru na odcinek, którego stan niezajętości jest kontrolowany przez ten system licznikowy. Czułość ta musi być jednak równocześnie ograniczona, gdyż konieczne jest zapewnienie określonej odporności czujnika szynowego na zakłócenia zewnętrzne, które mogą powodować błędne, nadmiarowe zliczenie osi pomimo braku przejazdu taboru przez punkt oddziaływania.

W analizie czułości i niezawodności czujnika szynowego pod uwagę brane są dwa zasadnicze źródła zakłóceń:

- wyposażenie elektryczne taboru kolejowego, przede wszystkim urządzenia trakcji elektrycznej, które wytwarzają pole elektromagnetyczne oddziałujące bezstykowo na czujnik szynowy sprzęgając się z jego obwodami, przy czym zgodnie z terminologią stosowaną w dokumentach związanych z tym zagadnieniem, w dalszym ciągu artykułu mowa będzie o zakłócającym polu magnetycznym,
- pole wytwarzane przez powrotny prąd trakcyjny płynący tokami szynowymi.

Jako akceptowalny poziom prawdopodobieństwa powstania błędu zliczania osi przez głowicę czujnika szynowego stosowanego na interoperacyjnych liniach kolejowych przyjmowano początkowo wartość równą 10^{-7} . Aktualnie wymagania dotyczące parametrów RAMS licznikowych systemów stwierdzania niezajętości toru definiowane są w inny sposób. Nie jest to jednak tematem niniejszego artykułu. Zapewnienie wymaganej niezawodności zliczania osi przez czujnik szynowy przy zapewnieniu jego niezbędnej czułości, powoduje konieczność zachowania ograniczonej wielkości pól zakłócających, pochodzących od eksploatowanego taboru kolejowego, szczególnie pojazdów trakcji elektrycznej [2,3]. Zagadnienie to jest określane mianem zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej (EMC, od ang. *Electromagnetic Compatibility*) taboru kolejowego i urządzeń stwierdzania niezajętości toru, w tym przypadku czujników szynowych systemów liczników osi. Na kolejach europejskich stosowanych jest szereg różnych typów licznikowych systemów stwierdzania niezajętości toru, eksploatowanych przez tylko jednego lub przez kilku zarządców infrastruktury, natomiast tabor kolejowy jest zwykle przygotowywany i dopuszczany do eksploatacji na większym obszarze europejskiej sieci kolejowej, co powoduje znaczną złożoność problemu zapewnienia kompatybilności [4]. Ustalenie dopuszczalnych poziomów zakłóceń dla poszczególnych częstotliwości w pasmie pracy czujników szynowych jest przedmiotem tak zwanego procesu zarządzania częstotliwościami, objętego w szczególności europejską działalnością normalizacyjną.

2. Specyfikacja techniczna TS 50238-3

Kompatybilność elektromagnetyczna taboru kolejowego i urządzeń stwierdzania niezajętości toru jest przedmiotem działania grupy roboczej WGA4-2 europejskiej organizacji normalizacyjnej CENELEC.

Konieczność normatywnego uregulowania zagadnień kompatybilności taboru i urządzeń stwierdzania niezajętości toru wynika w szczególności z potrzeby ujednoczenia i uproszczenia procedur związanych z dopuszczaniem poszczególnych typów taboru kolejowego do eksploatacji na europejskiej sieci kolejowej, w tym zwłaszcza badań zapewniających wymaganą interoperacyjność tego taboru oraz możliwość deklarowania interoperacyjności linii kolejowych wyposażonych w określone systemy stwierdzania niezajętości toru [5,6].

Do zadań grupy roboczej WGA4-2 należy praca nad normą EN 50238 [7], która w swoich poszczególnych arkuszach dotyczy w szczególności kompatybilności elektromagnetycznej taboru i obwodów torowych (EN 50238-2) oraz systemów opartych na zliczaniu osi (EN 50238-3). Dostarczanie informacji źródłowych dla tej grupy roboczej było przedmiotem projektu „RAILCOM” realizowanego w latach 2006-2009 w ramach 6. Programu Ramowego Badań i Rozwoju Technicznego UE. Jednym z uczestników tego projektu był Instytut Kolejnictwa (IK) noszący wówczas nazwę Centrum Naukowo-Technicznego Kolejnictwa – CNTK, pod którą występuje w dokumentacji projektu. W tym czasie, jako zadanie finansowane z własnych środków, IK brał również udział w pracach grupy roboczej WGA4-2. W kolejnych latach IK prowadził badania kompatybilności elektromagnetycznej taboru z licznikowymi systemami stwierdzania niezajętości toru, w tym pomiary uwzględniające pierwsze wersje normy EN 50238 [8].

Obok prac nad normami, WGA4-2 opracowała europejską specyfikację techniczną TS 50238 dotyczącą kompatybilności elektromagnetycznej taboru i systemów stwierdzania niezajętości toru. Poszczególne arkusze tej specyfikacji dotyczą: zagadnień ogólnych (TS 50238-1), kompatybilności obwodów torowych (TS 50238-2) oraz systemów licznikowych (TS 50238-3) [9]. Przedmiotem niniejszego artykułu są zagadnienia związane ze stosowaniem specyfikacji technicznej TS 50238-3 i zagadnień związanych z badaniem kompatybilności elektromagnetycznej licznikowych systemów stwierdzania niezajętości toru. Omawiany arkusz trzeciej specyfikacji technicznej TS 50238 zawiera:

- rozdziały, dotyczące zakresu, odwołań do innych norm, definicji pojęć i skrótów,
- zagadnienia ogólne, w tym opis mechanizmu oddziaływania zakłócającego taboru na głowice liczników osi, wymagany margines bezpieczeństwa oraz wybrane parametry liczników osi,
- część zasadniczą, obejmującą specyfikację metody pomiarowej emisji zakłóceń przez pojazd, w tym wartości ograniczeń tej emisji oraz sposobu stwierdzania kompatybilności elektromagnetycznej pojazdu,
- załącznik normatywny A, ustalający limity emisji dla pojazdów,

- załącznik informacyjny B, zawierający projekt zarządzania częstotliwościami,
- załącznik informacyjny C, obejmujący specyfikację badań odporności liczników osi na zakłócenia, w tym badań czułości oraz badań walidacyjnych, poprzedzających wydanie ostatecznej wersji normy,
- załącznik informacyjny D, stanowiący wytyczne projektowania anten do pomiaru emisji zakłóceń generowanych przez pojazd,
- bibliografię zagadnienia.

Zgodnie z wymaganiami specyfikacji technicznej TS 50238-3 opracowano anteny pomiarowe służące do pomiaru wartości emisji we wszystkich trzech wzajemnie prostopadłych płaszczyznach. Anteny te są przystosowane do zainstalowania w torze, w miejscu instalacji głowicy czujnika szynowego. Zestawiono także odpowiedni system pomiarowy wykorzystujący te anteny jako urządzenia wejściowe i realizujący badania zgodnie ze specyfikacją zawartą w TS 50238-3. Wyniki pomiarów przeprowadzonych przez Instytut Kolejnictwa z wykorzystaniem anten i systemu zgodnych z tą specyfikacją są przedmiotem niniejszego artykułu.

3. Projekt wspierający wdrażanie ERTMS na europejskiej sieci kolejowej

Zagadnienie zapewnienia interoperacyjności taboru oraz infrastruktury kolejowej ma kluczowe znaczenie dla wprowadzenia jednolitego Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym – ERTMS (od ang. *European Railway Traffic Management System*), a w jego ramach upowszechnieniem stosowania systemu bezpiecznej kontroli jazdy pociągów ETCS (od ang. *European Train Control System*). Przyspieszenie i ułatwienie procesu wdrażania systemu ERTMS na europejskich liniach kolejowych wchodzących w skład ogólnoeuropejskiej sieci transportowej TEN-T (od ang. *Trans-European Transport Network*) stało się podstawą opracowania i przyjęcia do realizacji projektu nr 2011-EU-60013-S, współfinansowanego przez Komisję Europejską oraz Wspólnotę Kolei Europejskich – CER. Jednym z pakietów roboczych tego projektu, obejmującego m.in. kampanię testową oraz badania walidacyjne wersji bazowej nr 3 ETCS, zagadnienia związane z łącznością radiową GSM-R, opracowaniem specyfikacji testów funkcjonalnych dla interfejsu między urządzeniami pokładowymi ETCS a pojazdem oraz wymagań dotyczących automatycznego prowadzenia pociągu z wykorzystaniem ETCS jest pakiet WP11 dotyczący walidacji metody pomiarowej zakłóceń generowanych przez tabor kolejowy, oddziałujących na pracę czujników szynowych licznikowych systemów stwierdzania niezajętości toru. Metoda ta jest oparta na specyfikacji technicznej TS 50238-3 i wykorzystuje anteny pomiarowe skonstruowane zgodnie z opisem zawartym w załączniku D tej specyfikacji. Prace realizowane w ramach pakietu roboczego WP11 koordynowane są przez Międzynarodową Unię Kolei – UIC i obejmują przeprowadzenie dziewięciu niezależnych kampanii pomiarowych w różnych krajach europejskich: w Austrii, Belgii, Holandii, Francji, Niemczech, Polsce,

Szwajcarii, Wielkiej Brytanii i we Włoszech. Badania prowadzone są na podstawie wstępnie uzgodnionych programów na wybranych odcinkach eksploatowanych linii kolejowych i/lub na okręgach badawczych, dla wszystkich systemów zasilania trakcyjnego, tj. dla 1,5 kV i 3 kV prądu stałego oraz 15 kV i 25 kV prądu zmiennego. Każda kampania pomiarowa obejmuje:

- zarejestrowanie w jednolity sposób, zgodnie ze specyfikacją techniczną, emisji eksploatowanych pojazdów w czasie jazd testowych i normalnej eksploatacji oraz przeprowadzenie analizy zgromadzonych danych,
- zarejestrowanie zgodnie z obowiązującymi narodowymi procedurami badawczymi odpowiedniej reakcji liczników osi podczas takich samych jazd testowych, o ile wyniki rejestracji emisji pojazdów pokażą, że jest to konieczne,
- przetworzenie zgromadzonych danych w celu sprawdzenia, czy poziom zakłóceń mieści się w granicach ustalonych we wspólnych specyfikacjach europejskich i porównanie wyników z obowiązującymi narodowymi ograniczeniami dopuszczalnych wartości emisji.

Przeprowadzenie kampanii pomiarowych i obróbka zgromadzonych danych ma na celu:

- walidację jednolitej metody pomiarowej i wartości dopuszczalnej emisji zakłóceń,
- usunięcie tak zwanych „punktów otwartych” z Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności (TSI) dla podsystemu „Sterowanie” (CCS) dotyczących dopuszczalnego poziomu zakłóceń od pojazdów, oddziałujących na systemy liczników osi,
- identyfikację wszystkich występujących przypadków niekompatybilności, o ile mają miejsce, innych od tych, których parametry są już uwzględnione w specyfikacji TSI CCS,
- wsparcie efektywnego ekonomicznie procesu migracji systemów liczników osi do rozwiązań interoperacyjnych.

Każda z narodowych kampanii pomiarowych jest zakończona raportem zawierającym ewentualne propozycje zmian dopuszczalnych wartości zakłóceń generowanych przez pojazdy oraz proponowanych zmian jednolitej specyfikacji pomiarowej, o ile zajdzie taka potrzeba udokumentowana wynikami przeprowadzonych prób. Działanie takie pozwoli na potwierdzenie jednolitej metodyki badań określonej dla interoperacyjnych licznikowych systemów stwierdzenia niezajętości toru z zapewnieniem ich przydatności dla istniejących, obecnie eksploatowanych systemów licznikowych oraz na opracowanie długoterminowej strategii dojścia do systemu docelowego przez poszczególne europejskie zarządy kolejowe, o ile zajdzie taka potrzeba. Zastosowana metodyka badań może być rozszerzona przez poszczególne kraje do stosowanych rozwiązań systemów licznikowych, które nie są interoperacyjne, pozwalając na zastąpienie stosowanych narodowych sposobów ich badań przez metodę jednolitą, przyczyniając się tym samym do wprowadzania procesu wzajemnej zgodności.

4. Kampania pomiarowa w Polsce

Realizacja jednej z dziewięciu kampanii pomiarowych objętych opisanym powyżej projektem wspierania procesu wdrażania ERTMS, dofinansowanym przez Komisję Europejską ze środków TEN-T, miała miejsce w Polsce. Za realizację poszczególnych kampanii pomiarowych odpowiedzialne są narodowe zarządy kolejowe państw objętych projektem, w przypadku Polski jest to przedsiębiorstwo Polskie Koleje Państwowe – PKP S.A. Na podstawie odpowiedniej umowy zawartej między PKP S.A. a Instytutem Kolejnictwa, został on podwykonawcą zadania przeprowadzenia polskiej kampanii pomiarowej, opracowania jej wyników i reprezentowania strony polskiej we wszystkich czynnościach technicznych związanych z realizacją projektu.

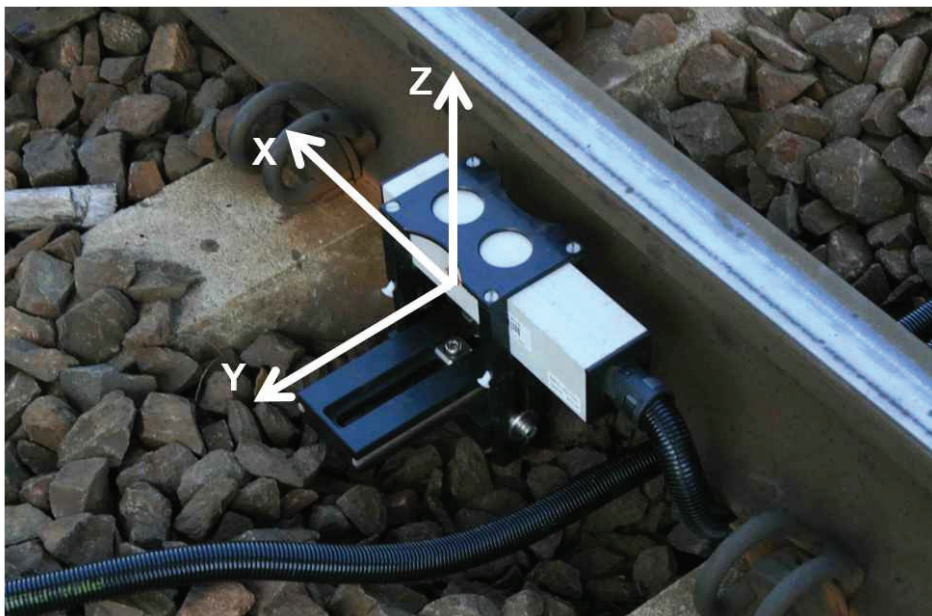


Rys.1. Anteny pomiarowe typu MFS-3D-100 zainstalowane w torze

W celu przeprowadzenia badań przewidzianych w projekcie, Instytut Kolejnictwa skompletował wyposażenie stanowiska pomiarowego umożliwiającego jego instalację w różnych lokalizacjach. Struktura tego stanowiska jest zgodna z wymaganiami specyfikacji technicznej TS 50238-3 i obejmuje dwie anteny pomiarowe typu MFS-3D-100 zakończone terminatorami TNB 100-1-F1 z wbudowanymi transformatorami impedancji, dostarczone przez firmę „adts” GmbH, która jest jednym z dwóch działających na rynku europejskim dostawców systemów pomiarowych do zakłócających pól magnetycznych generowanych przez tabor kolejowy, zgodnych ze specyfikacją techniczną TS 0238-3. Urządzenia tej firmy zostały wybrane ze względu na niższą cenę przy równocześnie lepszym spełnianiu wymagań odnośnie elastyczności wykorzystywania dostarczanego systemu pomiarowego.

System pomiarowy wyposażony jest ponadto -w zewnętrzne karty oscyloskopowe firmy Picoscope oraz urządzenie łączące je z portem USB komputera przenośnego (notebooka) wchodzącego również w skład stanowiska pomiarowego i wyposażonego w specjalistyczne oprogramowanie do gromadzenia i obróbki danych pomiarowych. Elementami uzupełniającymi stanowisko pomiarowe są przyrządy pomiarowe służące do jego kalibracji, w tym oscyloskop, generator sygnałowy, multimetry i kable pomiarowe oraz aparat fotograficzny wykorzystywany głównie do utrwalania obrazów pojazdów przejeżdżających przez stanowisko pomiarowe, generujących rejestrowane zakłócenia oraz tworzenia dodatkowej dokumentacji wizualnej prowadzonych prac.

Zgodnie ze specyfikacją techniczną TS 50238-3 pomiar zakłóceń jest równocześnie prowadzony niezależnie w trzech wzajemnie prostopadłych płaszczyznach oznaczonych odpowiednio literami: X, Y i Z, gdzie opisując obrazowo: płaszczyzna X (czyli płaszczyzna Z-Y) jest prostopadła do osi podłużnej szyny (toru), płaszczyzna Z jest płaszczyzną poziomą, na której leży tor kolejowy, a płaszczyzna Y jest trzecią, pozostałą, czyli prostopadłą do podłużnych osi podkładów. Powyższe oznaczenie kierunków pomiaru zakłóceń jest stosowane na wszelkich rysunkach, wykresach i opisach dotyczących prowadzonych badań, w tym także nałożonych limitów na wartości sygnałów zakłócających.



Rys.2. Antena pomiarowa z naniesionymi kierunkami płaszczyzn

We wszystkich etapach polskiej kampanii pomiarowej rejestracji prowadzono równocześnie z wykorzystaniem dwóch anten pomiarowych umieszczonych przy obu tokach szynowych po wewnętrznej stronie toru, aby zarejestrować maksymalny poziom zakłóceń generowanych przez dany typ taboru i mogących oddziaływać

na czujniki szynowe, niezależnie od ewentualnej asymetrii położenia źródła zakłóceń na pojeździe względem osi toru.

W pierwszej fazie realizacji projektu przez poszczególnych uczestników projektu opracowany został plan prób i badań. Odnośnie polskiej kampanii pomiarowej zaplanowano przeprowadzenie pomiarów w Ośrodku Eksploatacji Toru Doświadczalnego Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie oraz na wybranym odcinku normalnie eksploatowanej linii kolejowej. Zasadniczym celem prowadzenia prób na linii kolejowej było umożliwienie rejestracji zakłóceń od możliwie dużej liczby typów taboru kolejowego.

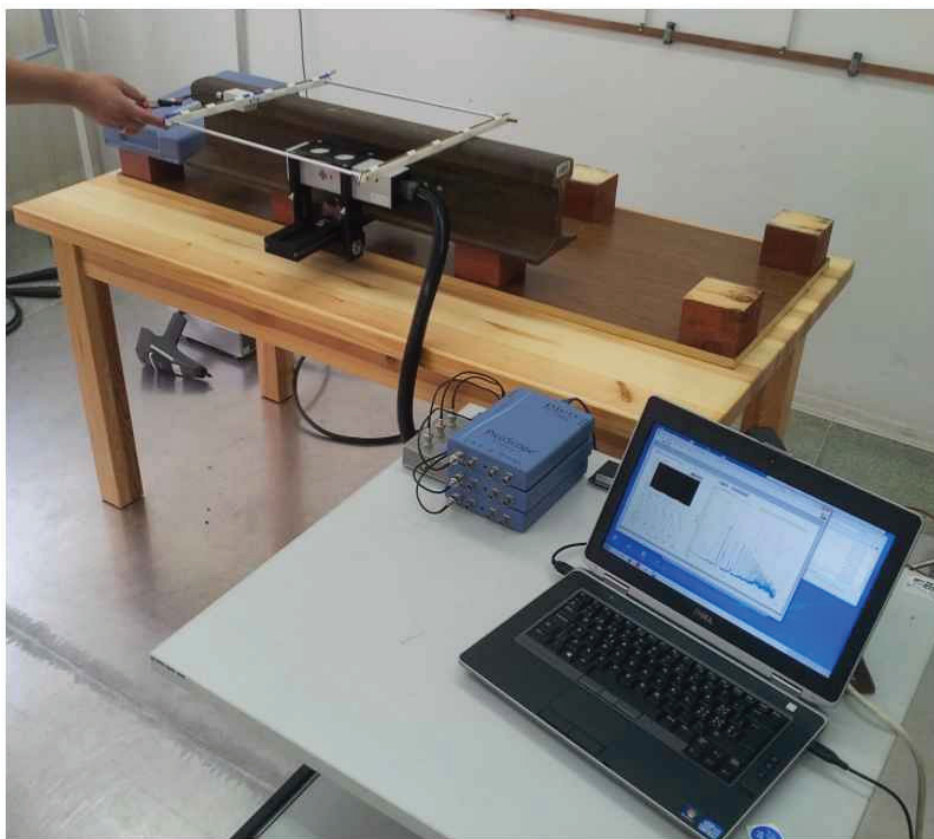
Polska kampania pomiarowa podzielona została na trzy etapy. Pierwszy etap badań prowadzony był w Ośrodku Eksploatacji Toru Doświadczalnego Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie. Jego celem było przede wszystkim zapoznanie się personelu badawczego IK z nową aparaturą badawczą stanowiącą wyposażenie stanowiska pomiarowego oraz z procedurami badawczymi i procesem obróbki zgromadzonych danych, przewidzianymi w specyfikacji technicznej TS 50238-3 oraz programie badań. Realizacja pomiarów na torze doświadczalnym IK pozwoliła na rozszerzenie gamy pojazdów, których zakłócenia były rejestrowane, o kilka dodatkowych typów, nieprzewidywanych w dalszych etapach prac.

Drugi etap badań IK prowadził na Centralnej Magistrali Kolejowej – CMK, jedynej linii kolejowej w Polsce umożliwiającej jazdę pociągów z prędkością większą niż 160 km/h. Na tej linii przeprowadzono rejestrację zakłóceń generowanych w szczególności przez elektryczne zespoły trakcyjne jadące z prędkością przekraczającą 200 km/h, co nie było możliwe w innych lokalizacjach stanowiska pomiarowego na sieci PKP.

Do realizacji trzeciego, zasadniczego etapu badań wybrano taką lokalizację, która zapewniała możliwie różnorodną gamę pojazdów trakcyjnych będąc równocześnie dogodną dla kilkudniowego okresu prowadzenia rejestracji. Dodatkowo, korzystne jest zapewnienie możliwości kilkukrotnej rejestracji dokładnie tego samego pojazdu i kilku pojazdów tego samego typu. W tym celu postanowiono zlokalizować próby na torze nr 1 odcinka linii kolejowej nr 2 Warszawa – Terespol w jej kilometrze 13,9 w pobliżu stacji Warszawa-Rembertów za semaforem wyjazdowym, gdzie po połączeniu torów układu podmiejskiego i dalekobieżnego, na których prędkość jazdy jest ograniczona odpowiednio do 60 km/h i 100 km/h w linię dwutorową, pojazdy z reguły przyspieszają do większej prędkości, dopuszczalnej dla tych pojazdów, gdyż linia kolejowa nr 2 jest przystosowana od kilometra 12,9 do prędkości wynoszącej 160 km/h. Pojazdy na tym szlaku równocześnie pokonują nieznaczne wzniesienie, co łącznie powoduje zwiększenie obciążenia ich napędu przyczyniając się do potencjalnego wzrostu generowanych zakłóceń. Dla prowadzonych pomiarów korzystne jest przy tym możliwie największe zbliżenie się do sytuacji jak najgorszej pod względem zwiększonego poziomu zakłóceń emitowanych przez pojazd. Dodatkowym kryterium wyboru miejsca pomiarów było przewidzenie możliwie małej wielkości prądu powrotnego płynącego tokami szynowymi, na co wpływ ma potencjalne sumowanie się prądów trakcyjnych wielu pojazdów i relacji ich położenia z lokalizacją podstacji trakcyjnej, możliwie odległej od miejsca badań. Ustalono, że wybrane miejsce pomiarów spełnia te warunki.

Po uzyskaniu niezbędnej zgody zarządcy infrastruktury – PKP Polskich Linii Kolejowych S.A. dokonano instalacji stanowiska pomiarowego i przeprowadzono zaplanowane badania.

W ramach badań zgromadzono rejestracje zakłóceń podczas przejazdów ponad 70 pojazdów trakcyjnych. Wśród tych pojazdów znajdowały się lokomotywy elektryczne starszego typu, z trakcyjnymi przetwornicami elektromechanicznymi oraz nowsze, z przetwornicami elektronicznymi, a także starsze i nowsze typy elektrycznych zespołów trakcyjnych. Dokonano także rejestracji pojazdu z lokomotywą spalinową. Przeprowadzono kilkakrotnie rejestracje tak zwanego tła, czyli poziomu zakłóceń występującego bez przejazdu żadnego pojazdu w okolicach stanowiska pomiarowego. Dodatkowo zarejestrowano poziom tła oraz poziom zakłóceń wcześniej rejestrowanego pojazdu podczas równoczesnej jazdy innego pojazdu trakcyjnego przez miejsce instalacji stanowiska pomiarowego w po torze sąsiednim w celu ustalenia, czy ma to wpływ na poziom rejestrowanych zakłóceń.



Rys. 3. Stanowisko pomiarowe w laboratorium IK z anteną nadawczą w płaszczyźnie Z

Uzupełnienie kampanii pomiarowej stanowiło przeprowadzenie w laboratorium Instytutu Kolejnictwa w Warszawie testowych rejestracji poziomu zakłóceń niezależnie we wszystkich trzech płaszczyznach pomiaru, wytwarzanych z wyko-

rzystaniem anteny nadawczej, zwanej w projekcie „*black box antenna*”, tej samej dla wszystkich prowadzących badania w ramach projektu. Antena ta wykonana została zgodnie z wymaganiami specyfikacji technicznej przez INFRABEL – belgijskiego uczestnika projektu i następnie była przesyłana i wykorzystywana w celu weryfikacji metody pomiarowej przez poszczególnych uczestników projektu. Wprawdzie stosowane przez IK anteny pomiarowe typu MFS-3D-100 mają wbudowane dodatkowe, odseparowane galwanicznie anteny kontrolne, umożliwiające wprowadzenie sygnału testowego do sprawdzenia działania systemu rejestracji i obróbki danych, jednak w szczególności, ze względu na możliwość stosowania innych anten pomiarowych przez poszczególnych uczestników projektu, wykorzystanie zewnętrznych, niezależnych anten wytwarzających pole testowe jest metodą bardziej korzystną, pozwalającą na porównanie zgodności stosowanych systemów pomiarowych.

Zgromadzone źródłowe dane pomiarowe poddano obróbce cyfrowej z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania dostarczonego łącznie ze sprzętem stanowiącym wyposażenie stanowiska pomiarowego.

5. Wyniki badań przeprowadzonych w Polsce

Wyniki kampanii pomiarowej przeprowadzonej w Polsce zawarto w raporcie stanowiącym zgodnie z założeniami projektu sposób wywiązania się ze zobowiązań jego uczestnika. Raporty z poszczególnych, narodowych kampanii pomiarowych stanowią materiał źródłowy dla opracowania końcowego raportu projektu. Zadanie to jest aktualnie realizowane przez technicznego koordynatora projektu, którym jest na zlecenie kolei holenderskich oddział firmy Lloyd's Register z siedzibą w Utrechcie.

Raport z polskiej kampanii pomiarowej, składa się z części zasadniczej oraz dwóch załączników. W części zasadniczej raportu opisano na wstępie ogólne założenia projektu, oczekiwane rezultaty z uwzględnieniem uwarunkowań narodowych oraz skrótowy plan polskiej kampanii pomiarowej. Następnie zawarto opis systemu pomiarowego z uwzględnieniem wykorzystywanych elementów i urządzeń oraz specjalistycznego oprogramowania, sposobu walidacji systemu pomiarowego i sprawdzania anten pomiarowych oraz analizy niepewności pomiaru. W raporcie przewidziano także opis odstępstw od metody pomiarowej określonej w specyfikacji, jednak w polskiej kampanii pomiarowej takie odstępstwa nie są planowane. W dalszej części raportu zawarto wyniki pomiarów przedstawiając szczegółowo najbardziej charakterystyczne wyniki. W końcowej części raportu zawarto wnioski z przeprowadzonej kampanii pomiarowej.

Pierwszy załącznik do raportu, Załącznik A, zawiera opis pomiarów kontrolnych systemu pomiarowego z wykorzystaniem zewnętrznej anteny nadawczej, tej samej dla wszystkich uczestników projektu. Była ona przesyłana kolejno do wszystkich realizatorów narodowych kampanii pomiarowych prowadzonych w ramach projektu.

Załącznik B, podzielony ze względu na jego obszerność na dwie części, zawiera wyniki pomiarów prowadzonych na linii kolejowej nr 2, przy jej normalnej eksploatacji. W załączniku tym zamieszczono dla każdego zarejestrowanego przejazdu pojazdu (pociągu) jego fotografię oraz zrzuty ekranu systemu pomiarowego zawierające wykresy poziomu zakłóceń dla wszystkich trzech płaszczyzn pomiarowych oraz dla obu anten pomiarowych. Jak wspomniano wcześniej, dla uzyskania informacji o maksymalnym poziomie zakłóceń, niezależnie od ewentualnej asymetrii położenia źródła zakłóceń na pojeździe względem osi toru wykorzystywano bowiem równocześnie dwie anteny pomiarowe umieszczone przy obu tokach szynowych.

Raport z kampanii pomiarowej z załącznikami przekazano koordynatorowi technicznemu projektu, który opracuje zbiorczy raport końcowy. Zdecydowane zostanie także, jaki zakres zgromadzonych materiałów zostanie udostępniony publicznie. Ponieważ projekt jest finansowany ze środków publicznych Unii Europejskiej, tylko niektóre informacje, jak np. powiązanie określonego typu taboru ze zgromadzonymi pomiarami zakłóceń, o ile w określonym pomiarze stwierdzono przekroczenie ich dopuszczalnego poziomu, mogą być usunięte z udostępnianych danych.

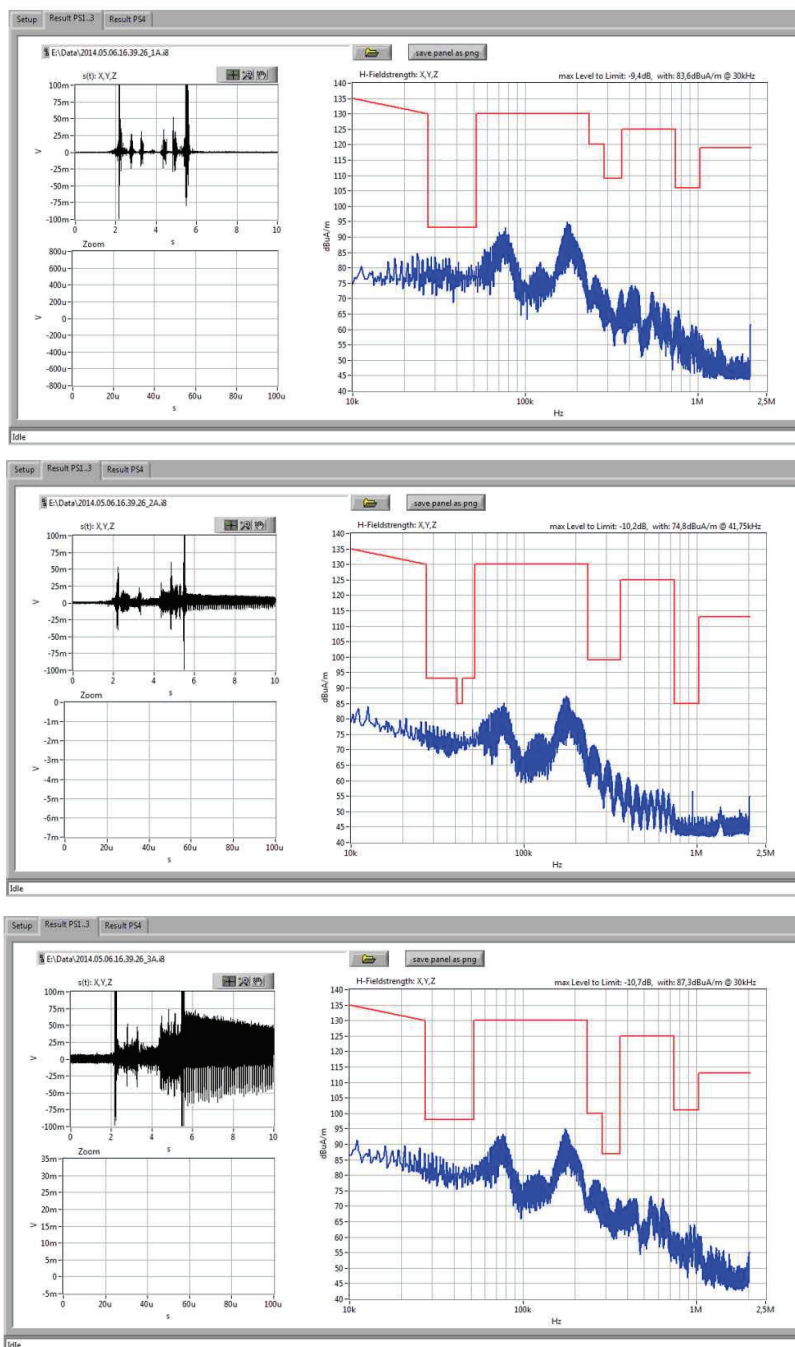
6. Wnioski z polskiej kampanii pomiarowej i przeznaczenie uzyskanych wyników

Dane zgromadzone we wszystkich fazach polskiej kampanii pomiaru zakłócających pól magnetycznych generowanych przez tabor, które mogą powodować błędy zliczania osi przez czujniki szynowe stosowane w licznikowych systemach stwierdzania niezajętości toru pozwoliły po ich obróbce cyfrowej na sformułowanie kilku wniosków. Dotyczą one poziomu zakłóceń generowanych przez pojazdy trakcyjne zasilane napięciem 3 kV prądu stałego, czyli systemu zasilania trakcyjnego stosowanego w szczególności na polskiej sieci linii kolejowych.

Pierwszy wniosek dotyczy dokładności stosowanej metody pomiarowej. Została ona potwierdzona w wyniku poniżej opisanych rejestracji i analizy ich wyników.

W ramach kolejnych dni pomiarów prowadzonych na normalnie eksploatowanej linii kolejowej dokonano kilkukrotnej rejestracji zakłóceń wytwarzanych przez dokładnie ten sam egzemplarz pojazdu określonego typu. Dotyczyło to dwóch typów elektrycznych zespołów trakcyjnych oraz lokomotywy elektrycznej nowej generacji. Stwierdzono, że przebiegi na wykresach przedstawiających graficznie wyniki pomiarów uzyskane dla danej anteny pomiarowej (z dwóch wchodzących w skład stanowiska pomiarowego) i dla danej płaszczyzny są do siebie bardzo zbliżone, tylko z niewielkimi zauważalnymi różnicami. Natomiast graficznie przedstawione wyniki rejestracji zakłóceń dla dwóch różnych egzemplarzy pojazdów tego samego typu są do siebie również podobne, lecz w tym przypadku określone różnice są dość łatwo zauważalne. Przebiegi zakłóceń generowanych przez różne typy pojazdów są już zdecydowanie różne. Obrazowo można stwierdzić, że graficzny wynik pomiarów jest tak charakterystyczny dla konkretnego egzemplarza pojaz-

du, że można go porównać z odciskiem palca, unikalnym i charakterystycznym dla danej osoby. Na rys. 1 przedstawiono graficzne wyniki pomiarów zakłóceń zarejestrowanych dla tego samego pojazdu w trzech płaszczyznach, X, Y i Z.



Rys. 4. Graficzne wyniki pomiarów zakłóceń, kolejno w trzech płaszczyznach: X, Y i Z

Opisane wyżej obserwacje stanowią potwierdzenie dokładności stosowanej metody pomiarowej ze względu na powtarzalność uzyskiwanych wyników. Należy przy tym zaznaczyć, że całość stanowiska pomiarowego była demontowana po zakończeniu danego dnia kampanii pomiarowej i ponownie instalowana w kolejnym dniu pomiarów. Jak wynika z uzyskanych wyników, nie wpływa to negatywnie na powtarzalność pomiarów. Powtarzalność ta zapewnia wiarygodność wyników. System pomiarowy musi być więc skalibrowany praktycznie tylko odnośnie wielkości sygnału dla jego danej częstotliwości. Może to być przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem skonstruowanych w tym celu odpowiednich anten nadawczych. Takie pomiary zostały również przeprowadzone w ramach projektu.

Kolejne wnioski dotyczą poziomu zakłóceń generowanych przez różne rodzaje i typy pojazdów. Przede wszystkim, co było łatwe do przewidzenia, elektryczne pojazdy trakcyjne wyposażone w elektromechaniczne przetwornice trakcyjne wytwarzają znacząco mniejszy poziom zakłóceń niż pojazdy nowszej generacji, wyposażone w przetwornice elektroniczne. Zakłócenia wytwarzane przez lokomotywy spalinowe, które udało się zarejestrować podczas kampanii pomiarowej, są jeszcze mniejsze i nie wykraczają znacząco powyżej poziomu zakłóceń występujących w tle, czyli zarejestrowanych bez przejazdu pojazdów w pobliżu stanowiska badawczego.

Po przeprowadzonej obróbce zgromadzonych danych zauważono, że zdarzają się przypadki nieznacznego przekroczenia dopuszczalnego poziomu zakłóceń przez niektóre typy pojazdów. Doświadczenie personelu badawczego IK pozwoliło stwierdzić, że uprzednio, podczas badań tych pojazdów w celu ich certyfikacji, bez wykorzystywania aparatury i metod pomiarowych zgodnych ze specyfikacją TS 50238-3, lecz stosując narodowe metody badawcze obserwowano przypadki zakłócania przez te pojazdy pracy czujników szynowych niektórych typów stosowanych w Polsce.

Dla zapewnienia wymaganej niezawodności działania i pewności zliczania osi czujniki szynowe wyposażane są w odpowiednie układy filtrujące, zwiększające odporność całego czujnika na zakłócenia. Wspomniane przypadki zakłóceń pracy czujników obserwowano bezpośrednio na wyjściu głowicy czujnika, bez uwzględnienia działania układów filtrujących. Zakłócenia te nie powodowały błędów na wyjściu kompletnego czujnika szynowego, wyposażonego w odpowiednie obwody filtrujące sygnał. Umożliwiło to dopuszczenie do eksploatacji na polskiej sieci kolejowej pojazdów trakcyjnych wytwarzających zakłócenia na granicy odporności stosowanych czujników szynowych, jednak bez jej przekraczania. Licznikowe systemy stwierdzania niezawodności toru są ponadto zwykle wyposażane w co najmniej zdublowane czujniki szynowe. Uzyskana dwukanałowość wejścia systemu licznikowego pozwala na dodatkową poprawę niezawodności jego działania.

Badania przeprowadzone w ramach polskiej kampanii pomiarowej pozwoliły na sformułowanie dodatkowych wniosków odnośnie metody określonej w specyfikacji technicznej TS 50238-2.

Jak wspomniano wcześniej, dodatkowo dokonano pomiarów podczas przejazdu pociągu po torze sąsiednim w stosunku do wyposażonego w anteny pomiarowe, na którym prowadzono pomiary zakłóceń. Pomiary takie przeprowadzono zarówno

dla tła oraz dla egzemplarza pojazdu, którego poziom wytwarzanych zakłóceń został już wcześniej zarejestrowany. Po obróbce danych okazało się, że w obu przypadkach da się zaobserwować wpływ tego pojazdu przejeżdżającego obok stanowiska pomiarowego po torze sąsiednim. Wpływ ten polega na nieznacznym, lecz zauważalnym wzroście poziomu zarejestrowanych zakłóceń. Bez dociekania konkretnych przyczyn stwierzonego wpływu należy stwierdzić, że pomiary powinny być prowadzone bez tego typu dodatkowych czynników skutkujących zmianą rejestrowanych zakłóceń.

Dodatkowy, również możliwy do przewidzenia z góry wniosek dotyczy wpływu położenia anteny pomiarowej w osi prostopadłej do płaszczyzny toru, czyli wyżej lub niżej względem poziomu główki szyny. W kilku próbach dokonano rejestracji przy zmienionym (obniżonym) położeniu anteny pomiarowej. Zaobserwowano jedynie nieznaczne zmniejszenie się wartości zarejestrowanego sygnału zakłócającego bez zmiany jego innych parametrów. Możliwe wydaje się zawarcie w specyfikacji odpowiednich współczynników korekcyjnych do stosowania przy obniżeniu położenia anteny. Umożliwienie nieznacznego obniżenia położenia anteny pomiarowej w stosunku do przewidzianego w specyfikacji TS 50238-1 zapewniłoby zmniejszenie szansy uszkodzenia anteny przez obrzeże koła taboru w przypadku występowania tak zwanego płaskiego miejsca obręczy koła i tym samym obniżenia strefy, w której możliwe jest naruszenie anteny przez to obrzeże.

Dodatkowy wniosek z polskiej kampanii pomiarowej wykracza poza zakres badań przewidzianych w przyjętym planie testów. Otóż w pierwszej fazie pomiarów prowadzonych na terenie Ośrodka Eksploatacji Toru Doświadczalnego Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie przeprowadzono kilkakrotnie rejestrację zakłóceń wytwarzanych przez pojazd wykorzystujący hamulce elektrodynamiczne. Uzyskane wyniki nie zostały uwzględnione w raporcie z polskiej kampanii pomiarowej, gdyż takie badania nie były objęte programem badań. Stwierdzono jednak znaczące przekroczenia dopuszczalnych poziomów zakłóceń, co prowadziłoby do powodowania błędów sygnału wyjściowego z większości stosowanych czujników szynowych i tym samym do błędów zliczania wykorzystujących je licznikowych systemów stwierdzania niezajętości toru.

Wyniki kampanii pomiarowych prowadzonych przez poszczególne koleje uczestniczące w projekcie mają posłużyć, jak wspomniano na wstępie niniejszego artykułu, do walidacji określonej w specyfikacji technicznej TS 50238-3, jednolitej, europejskiej metody pomiaru generowanych przez pojazdy trakcyjne zakłóceń, które mogą powodować błędy pracy licznikowych systemów stwierdzania niezajętości toru. Zapewnienie uniknięcia takich przypadków na interoperacyjnych liniach kolejowych, wyposażonych w systemy licznikowe wykorzystujące dopuszczone do stosowania czujniki szynowe wymaga sprawdzenia, czy poziom zakłóceń generowany przez każdy nowy typ pojazdu trakcyjnego nie przekracza ustalonej granicy odporności tych istniejących czujników. Dla uproszczenia i zmniejszenia kosztu wprowadzania nowego typu taboru do eksploatacji korzystne będzie umożliwienie jednorazowego pomiaru wytwarzanych przez niego zakłóceń bez konieczności powtarzania takich pomiarów przez każdego zarządcę infrastruktury i zastąpieniu stosowanych dotych-

czas narodowych metod oceny takich zakłóceń jednolitą metodą pomiarową, a więc rzeczywiste stosowanie metod wzajemnej zgodności i uznawania badań. Wstępne wyniki już przeprowadzonych kampanii pomiarowych, realizowanych w ramach pakietu roboczego WP11 projektu finansowanego ze środków europejskich dla sieci TEN-T, mającego ułatwić i przyspieszyć wdrażanie systemu ERTMS na kolejach europejskich pozwalają stwierdzić, że jednolita metoda testowania określona w specyfikacji technicznej TS 50238-3 może zastąpić dotąd stosowane różnorodne narodowe metody pomiarowe. Ostateczny wniosek uwzględniający ewentualne korekty tej specyfikacji i granicznych wartości poziomu zakłóceń zostanie sformułowany w podsumowaniu wszystkich kampanii pomiarowych i będzie stanowił rezultat projektu opisanego w niniejszym artykule.

Bibliografia

- [1] Określenie dopuszczalnych poziomów i parametrów zakłóceń dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Praca IK 4430/10. Warszawa 2011.
- [2] PN-EN 50121-3-1:2010 Zastosowania kolejowe - Kompatybilność elektromagnetyczna - Część 3-1: Tabor -- Pociąg i kompletny pojazd.
- [3] PN-EN 50121-3-2:2009 Zastosowania kolejowe - Kompatybilność elektromagnetyczna - Część 3-2: Tabor –Aparatura.
- [4] Dyrektywa 2004/108/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15.12.2004 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstwa Państw Członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej oraz uchylająca dyrektywę 89/336/EWG (Dz. U. UE L390/23 PL).
- [5] 2012/88/UE: Decyzja Komisji z dnia 25 stycznia 2012 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności w zakresie podsystemów „Sterowanie” transeuropejskiego systemu kolei. Dz.U. L 51 z 23.02.2012, str. 1—65.
- [6] 2012/696/UE: Decyzja Komisji z dnia 6 listopada 2012 r. zmieniająca decyzję 2012/88/UE w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności w zakresie podsystemów „Sterowanie” transeuropejskiego systemu kolei. Dz.U. L 311 z 10.11.2012, str. 3—13.
- [7] PN-EN 50238:2003/AC:2010E Zastosowania kolejowe. Kompatybilność pomiędzy taborem i urządzeniami wykrywania pociągu.
- [8] Białoń A., Adamski D., Pajka P., Badanie kompatybilności elektromagnetycznej taboru z urządzeniami wykrywania pociągu z uwzględnieniem normy EN 50238. Problemy Kolejnictwa, z.152., Warszawa 2011.
- [9] CLC/TS 50238-3:2010 Railway applications - Compatibility between rolling stock and train detection systems - Part 3: Compatibility with axle counters, (Zastosowania kolejowe. Kompatybilność pomiędzy taborem i urządzeniami wykrywania pociągu. Część 3: Kompatybilność z licznikami osi.) CENELEC, 2010.