

BIAŁOŃ Andrzej¹
FURMAN Juliusz²
KAZIMIERCZAK Andrzej³
ZAWADKA Łukasz⁴

DOPUSZCZALNE PARAMETRY ZAKŁÓCEŃ DLA OBWODÓW TOROWYCH STOSOWANYCH NA PKP

Artykuł opisuje problemy związane z zakłóceniami występującymi w obwodach torowych stosowanych w urządzeniach sterowania ruchem kolejowym. Omówiono źródła zakłóceń mających wpływ na obwody torowe. Opisano metody pomiarów odporności na zakłócenia obwodów torowych. Pokazano sposoby określania dopuszczalnych parametrów zakłóceń. Przetoczono wyniki badań wrażliwości na zakłócenia obwodów torowych. Zaprezentowano również dopuszczalne parametry zakłóceń dla wybranych typów obwodów torowych.

PERMISSIBLE INTERFERENCE PARAMETERS FOR TRACK CIRCUITS USED ON THE POLISH RAILWAY LINES (PKP)

The article describes the problems associated with interference in a track circuits used in railway traffic control devices. The sources of interference having an impact on track circuits was discussed. The methods of measurement of resistance in track circuits were described. The methods of determining the acceptable interference parameters were shown. The results of sensitivity of track circuits on disturbances were quoted. Acceptable disturbance parameters for selected types of track circuits were also presented.

¹Instytut Kolejnictwa, 04-275 Warszawa, ul. Chłopickiego 50, Tel. +48 22 4731453, fax. +48 22 4731036, e-mail: abialon@ikolej.pl; Politechnika Śląska, Wydział Transportu Zespół Automatyki w Transporcie, ul. Krasińskiego 8,40-019 Katowice, tel. +48326034136 e-mail: andrzej.bialon@polsl.pl

²Instytut Kolejnictwa, 04-275 Warszawa, ul. Chłopickiego 50, tel. +48 22 4731054, fax. +48224731036, e-mail: furman@ikolej.pl

³Instytut Kolejnictwa, 04-275 Warszawa, ul. Chłopickiego 50, tel. +48 22 4731459, fax. +48224731036, e-mail: akazimierzak@ikolej.pl

⁴Instytut Kolejnictwa, 04-275 Warszawa, ul. Chłopickiego 50, tel. +48 22 4731054, fax. +48224731036, e-mail: lzawadka@ikolej.pl

1. WSTĘP

Perspektywa otwarcia kolejowego rynku przewozów pasażerskich oraz wprowadzania na sieci PKP pociągów o dużej prędkości (powyżej 160 km/h) nierozzerwalnie wiąże się z zastosowaniem nowoczesnego taboru. Z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej tabor ten znacznie różni się od taboru tradycyjnego (większa moc, liczna zabudowa różnorodnych systemów i urządzeń zasilających oraz przetwarzających energię). W związku z tym zagadnienie poprawy współpracy taboru z systemami i urządzeniami technicznego wyposażenia linii kolejowych, ich złożoność i bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo ruchu kolejowego, nakazują potraktowanie tych zagadnień w sposób priorytetowy i kompleksowy. Ponadto nowe techniki i technologie pomiarów oraz nowe obszary wiedzy w zakresie kompatybilności pracy urządzeń, powinny zostać usankcjonowane w obowiązujących przepisach.

Należy wyspecyfikować systemy i urządzenia sterowania ruchem kolejowym podatne na zakłócenia i opracować wymagania w zakresie szeroko pojętej kompatybilności elektromagnetycznej taboru kolejowego z urządzeniami sterowania ruchem kolejowym (srk) i usankcjonowanie tych wymagań w obowiązujących przepisach. Pozwoli to na uzyskanie licznych efektów dla właściciela infrastruktury np.:

- ograniczenie liczby przypadków działania urządzeń srk pod wpływem zakłóceń,
- eliminacja strat finansowych spowodowanych przypadkami trwałego uszkodzenia urządzeń srk lub ich elementów przez zakłócenia,
- eliminacja strat finansowych spowodowanych zakłóceniami w pracy urządzeń srk,
- eliminacja zagrożeń spowodowanych wpływem zakłóceń na działanie urządzeń srk,
- poprawa poziomu bezpieczeństwa ruchu kolejowego,
- eliminacja perturbacji eksploatacyjnych związanych z działaniem zakłócanych urządzeń srk.

2. ANALIZA CZĘSTOTLIWOŚCI PRACY URZĄDZEŃ STEROWANIA RUCHEM

Z dotychczas przeprowadzonych studiów literaturowych i posiadanego doświadczenia wynika, że najbardziej narażone na zakłócenia są obwody torowe i czujniki pociągu pracujące na zasadzie obwodów torowych.

Na sieci polskiego właściciela infrastruktury PKP PLK S.A. są stosowane obwody torowe, czujniki pociągu i liczniki osi pracujące na częstotliwościach przedstawionych w tabeli 1.

Tabela 1 Wykaz częstotliwości pracy dla urządzeń srk

Rodzaj obwodu torowego	Częstotliwości pracy [kHz]
Klasyczny	0,05
Bezzłaczowy liniowy i stacyjny	1,58; 1,86; 2,17; 2,47 i 2,8
Bezzłaczowy zwrotnicowy	7; 8; 10; 12,15; 14,6 i 16,8
Czujniki pociągu	10;14,6;19,0; 20,8; 23,4; 26,1; 28,7; 31,5; 34,6; 38,2

Wyszczególnione częstotliwości, albo mówiąc dokładniej, pasma częstotliwości będą brane pod uwagę w dalszych rozważaniach.

3. ANALIZA CZĘSTOTLIWOŚCI PRACY PODSTACJI TRAKCYJNYCH ORAZ TABORU TRAKCYJNEGO

Na sieci PKP PLK S.A. stosowane są przede wszystkim podstacje trakcyjne z prostownikami 6 i 12-połówkowymi. Teoretycznie na wyjściu podstacji trakcyjnej powinny pojawiać się tylko harmoniczne wynikające z pracy prostowników, to znaczy 300, 600 Hz (i harmoniczne tych częstotliwości). Jednakże z różnych przyczyn (np. niesymetrii transformatorów czy prostowników) na wyjściu podstacji pojawiają się harmoniczne 50 i 100 Hz oraz wszystkie ich harmoniczne, a także harmoniczne wynikające z superpozycji harmonicznych podstawowych podstacji i harmonicznych 50 i 100Hz. Poziomy harmonicznych 50 i 100 Hz zależą od jakości elementów podstacji (transformatory, prostowniki).

Zupełnie innym zagadnieniem są filtry (urządzenia wygładzające) stosowane na podstacjach trakcyjnych. Chodzi tu zarówno o typ filtrów i jak i fakt ich pracy lub nie. W rozważaniach zakłóceń należy przyjmować dwa stany włączenia filtrów na podstacji: filtry załączone i filtry wyłączone. W obu tych przypadkach proporcje między poszczególnymi harmonicznymi są różne i zależą od parametrów elementów podstacji trakcyjnej. Ponadto, z dotychczasowych rozważań teoretycznych i rezultatów badań wynika, że podstacje pracujące z filtrami rezonansowymi w porównaniu z podstacjami wyposażonymi w filtry typu gamma z punktu widzenia zakłóceń pracują mniej stabilnie. Wynika to z wielu przyczyn, między innymi jedną z przyczyn jest rozstrajanie się filtrów rezonansowych, a także nietłumienie przez te filtry częstotliwości 50 i 100 Hz.

Tabor trakcyjny generuje przede wszystkim harmoniczne wynikające z pracy przekształtników. Przekształtniki współcześnie produkowanych lokomotyw i elektrycznych zespołów trakcyjnych pracują na częstotliwościach z zakresu 30 do 300 Hz. Starsze typy lokomotyw pracują z czoperami na częstotliwościach $33 \frac{1}{3}$ Hz, 100 Hz i 300Hz. Przetwornice statyczne pracują zazwyczaj na częstotliwościach kilku kiloherców.

W praktyce każdy pojazd trakcyjny generuje harmoniczne charakterystyczne dla tego pojazdu. Powtarzalność występuje tylko w niektórych seriach pojazdów wykorzystujących ten sam typ przekształtników.

Współczesny tabor trakcyjny (pojazdy trakcyjne, przetwornice statyczne itp.) wyposażane są na ogół w dostatecznej jakości filtry tłumiące produkty przekształcania energii w taborze. Istotnym stwierdzeniem jest tutaj, to że nie wszystkie filtry na taborze trakcyjnym w dostatecznym stopniu tłumią harmoniczne generowane przez przekształtniki – dotyczy to przede wszystkim przetwornic statycznych. Inną kwestią jest sposób prowadzenia mas i uzemień na pojeździe – ich niewłaściwe wykonanie jest często przyczyną wzrostu poziomu zakłóceń, wynikającego między innymi z faktu przedostawania się zakłóceń do sieci trakcyjnej (przede wszystkim powrotnej) poza zainstalowanymi filtrami.

Przy stosowaniu pojazdów trakcyjnych dużej mocy w niektórych przypadkach pojawiło się oddziaływanie na czujniki stosowane w licznikach osi. Przyczyną są prawdopodobnie (w przyszłym roku będą prowadzone przez koleje europejskie prace zmierzające do wyjaśnienia zagadnienia) pola elektromagnetyczne wytwarzane przez elementy taboru

(silniki trakcyjne, elementy filtrów trakcyjnych itp.) lub też rezonanse w powrotnej sieci trakcyjnej.

4. METODYKA BADAŃ

Dla zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej między taborem kolejowym a urządzeniami sterowania ruchem kolejowym należy przede wszystkim określić dopuszczalne parametry zakłóceń oddziałujących na urządzenia srk. W celu określenia dopuszczalnych poziomów zakłóceń i wyboru kryteriów oceny odbiorników urządzeń srk należy wyznaczyć ich charakterystyki czułości i wrażliwości na zakłócenia. Pierwszą z nich ustala się na podstawie określenia wartości progowych sygnału, przy których odbiornik działa prawidłowo. Chodzi tu o takie parametry jak: amplituda, częstotliwość, czas trwania impulsu i czas powtarzania impulsu. Charakterystykę wrażliwości na zakłócenia odbiornika urządzeń srk określa się przez ustalenie parametrów sygnału zakłócającego, analogicznie jak przy określaniu czułości oraz sprecyzowaniu parametrów zakłóceń, które mogą doprowadzić do nieprawidłowego działania odbiornika lub też uszkodzenia odbiornika.

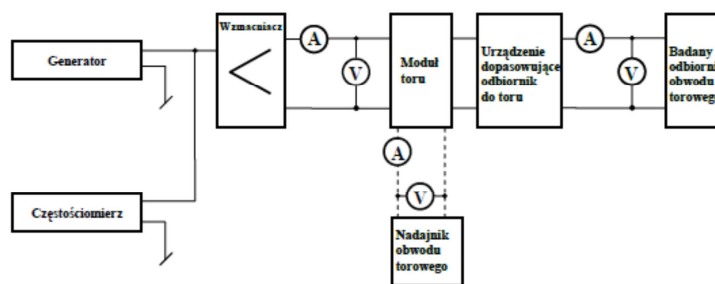
W pomiarach można pominąć problematykę impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych. Wynika to z dotychczasowych doświadczeń, ponieważ tego typu zaburzenia oddziałują negatywnie przy wyższych amplitudach sygnału. Natomiast oddziaływanie zakłócające jest istotne podczas występowania sygnału ciągłego.

Badania należy przeprowadzić w warunkach laboratoryjnych i porównawczo w warunkach terenowych.

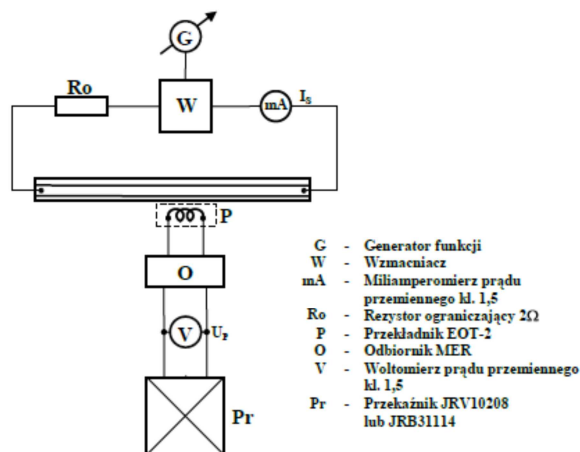
W warunkach laboratoryjnych badania przeprowadzono dla:

- podzespołów obwodów torowych 50 Hz ze złączami izolowanymi,
- podzespołów bezzłączowych obwodów torowych,
- odbiorników czujników pociągu.

Na rysunkach 1 i 2 pokazano przykładowe, konkretne układy pomiarowe do prowadzenia badań czułości i odporności na zakłócenia odbiorników obwodów torowych w warunkach laboratoryjnych.

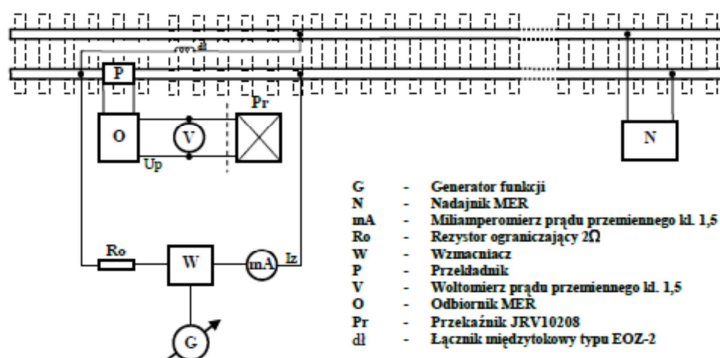


Rys. 1. Układ pomiarowy do badań laboratoryjnych obwodów torowych ze złączami izolowanymi



Rys. 2. Układ pomiarowy do badań laboratoryjnych czułości odbiorników prądowych bezłączkowych obwodów torowych

W warunkach terenowych badania należy prowadzić zgodnie ze schematami pokazanymi na rysunku 3.



Rys. 3. Układ pomiarowy do badań terenowych bezłączkowych obwodów torowych

5. DOPUSZCZALNE PARAMETRY ZAKŁÓCEŃ

W zależności od skutków oddziaływań pochodzących od prądu trakcyjnego niepoprawne działanie urządzeń srk można podzielić na:

- **zakłócające** – tzn. takie, kiedy zachowane są warunki bezpieczeństwa ruchu kolejowego, a efektem działania zakłóceń jest np. zmniejszenie przepustowości linii kolejowej, dodatkowe - nieplanowane - zatrzymanie pociągów (straty energetyczne),
- **niebezpieczne** – tzn. takie, kiedy nie są zachowane warunki bezpieczeństwa (np. na sygnalizatorze przytorowym zamiast światła czerwonego pojawia się światło zielone)

zezwalające na jazdę). Sytuacja taka jest w każdym przypadku niedopuszczalna, ponieważ istnieje potencjalne niebezpieczeństwo wystąpienia katastrofy. Ponieważ wszystkie urządzenia srk zlokalizowane są w pobliżu torów kolejowych, w tym część tych urządzeń połączona jest bezpośrednio z tokami szynowymi (z powrotną siecią trakcyjną), narażone są one na negatywny wpływ prądów trakcyjnych.

Dopuszczalne parametry zakłóceń w urządzeniach srk zależą przede wszystkim od zastosowanych typów urządzeń, dlatego należy stosować takie urządzenia, które będą w maksymalnym stopniu odporne na zakłócenia.

5.1 Zasady określenia współczynników zapasu

Charakterystyki wrażliwości odbiorników wraz z charakterystykami źródeł zakłócających stanowią punkt wyjścia do oceny zakłóceń. Określenie dopuszczalnych parametrów zakłóceń dla danego typu urządzeń srk wymaga przyjęcia odpowiednich współczynników zapasu. Dla odbiorników obwodów torowych, jako najbardziej narażonych na zaburzenia elektrotrakcyjne, należy określić dopuszczalne amplitudy zakłóceń dla trzech przypadków:

- a) obwód torowy wolny, sygnał roboczy równy zero, istnieje sygnał zakłócający,
- b) obwód torowy wolny, istnieje sygnał zakłócający, po zajęciu obwodu torowego odbiornik (przełącznik) musi zwolnić,
- c) obwód torowy wolny, istnieje sygnał.

W związku z powyższym przyjęto następujące określenia:

A_R – amplituda sygnału roboczego obwodu torowego

A_p – amplituda przyciągania (wzbudzenia) przełącznika torowego

A_o – amplituda zwolnienia (odwzbudzenia) przełącznika torowego

A_z – amplituda zakłóceń

$A_R : A_z = S$ – stosunek sygnału roboczego do zakłóceń.

Dla wcześniej wymienionych przypadków stanu obwodów torowych dopuszczalne amplitudy zakłóceń będą następujące:

- $A_z < A_p$ to znaczy $A_z \cdot S_1 < A_p$
- S_1 – współczynnik charakteryzujący odstęp sygnału obwodu torowego powodującego wzbudzenie przełącznika torowego od zakłóceń,
- $A_z < A_o$ to znaczy $A_z \cdot S_2 < A_o$
- S_2 – współczynnik charakteryzujący odstęp sygnału obwodu torowego powodującego odwzbudzenie przełącznika torowego od zakłóceń,
- $A_p - A_z > A_o$
- $A_z < A_p - A_o$ to znaczy $A_z \cdot S_3 < A_p - A_o$
- S_3 – współczynnik charakteryzujący odstęp między zakłóceniami a nadwyżką sygnału roboczego nad sygnałem wzbudzania.

Dla PKP, na podstawie własnych rozważań przyjęto następujące wartości współczynników zapasu:

$$S_1 = 1,2$$

$$S_2 = 1,1$$

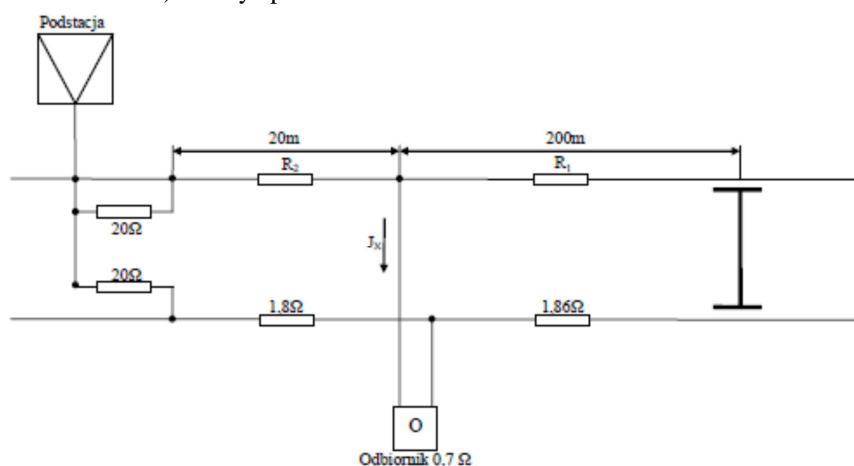
$$S_3 = 1,1.$$

5.2 Zasady obliczania dopuszczalnych parametrów zakłóceń

Określenie dopuszczalnych parametrów zakłóceń wymaga uwzględnienia wrażliwości obwodów torowych, współczynników zapasu oraz rozptywu prądów w szynach. Należy rozpatrywać:

- bezzłączowe obwody torowe z odbiornikiem sprzężonym z torem galwanicznie;
- bezzłączowe obwody torowe z odbiornikiem sprzężonym z torem indukcyjnie;
- jednotokowe obwody torowe ze złączami izolowanymi;
- dwutokowe obwody torowe ze złączami izolowanymi;

Przykładowo dla obwodów torowych z punktu a) dokonano obliczeń sytuacji pokazanej na rysunku 4. Założono, że istnieje asymetria w tokach szynowych, spowodowana np. pęknięciem szyny (symbolizują to rezystory R_1 i R_2) i dla wartości podanych na rysunku obliczono, jaki maksymalny prąd może płynąć przez odbiornik. Wyniki przedstawiono w tabeli 2. Otrzymaną maksymalną wartość prądu w odbiorniku (49,1%) można określić jako 50% prądu całkowitego w szynach. Oznacza to, że w obliczeniach dopuszczalnych parametrów należy w tym przypadku dopuszczalny prąd zakłócający (wynikający z czułości odbiornika) mnożyć przez 2.



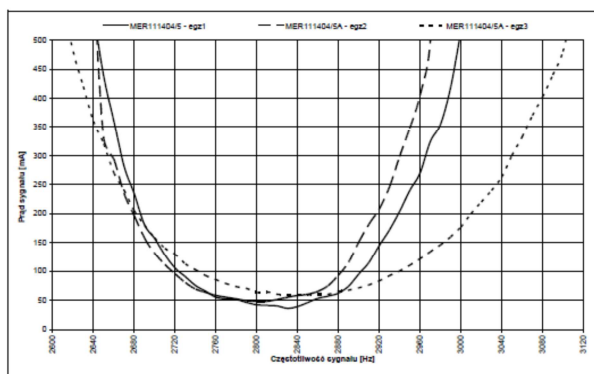
Rys. 4. Sytuacja ruchowa do obliczenia zakłóceń w bezzłączowym obwodzie torowym z odbiorem napięciowym

Tabela 2. Prąd płynący przez odbiornik dla różnych wartości rezystancji z rys.4.

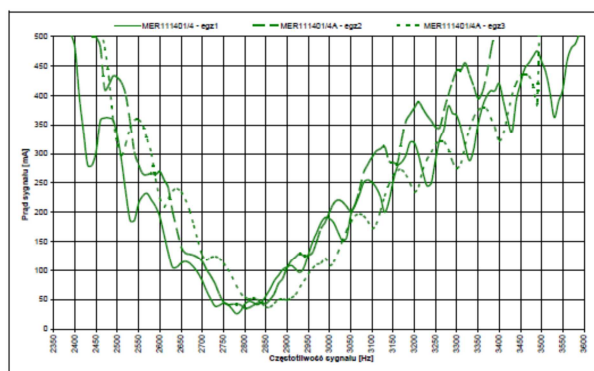
R_1 [przy $R_2=18,6\Omega$] [Ω]	1,8	5	10	18	100000	
I_x [%]	0	3,3	7	13,1	49	
R_2 [przy $R_1=1,8\Omega$] [Ω]	18,6	30	50	150	180	100000
I_x [%]	0	11,3	22,3	38,1	39,8	49,1

6. PRZYKŁADOWE WYNIKI BADAŃ

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono przykładowe wyniki badań laboratoryjnych.

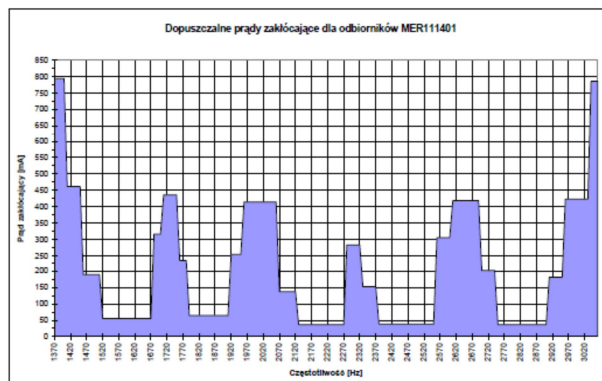


Rys. 5 Charakterystyka czułości odbiornika typu MER11404/5 w funkcji częstotliwości



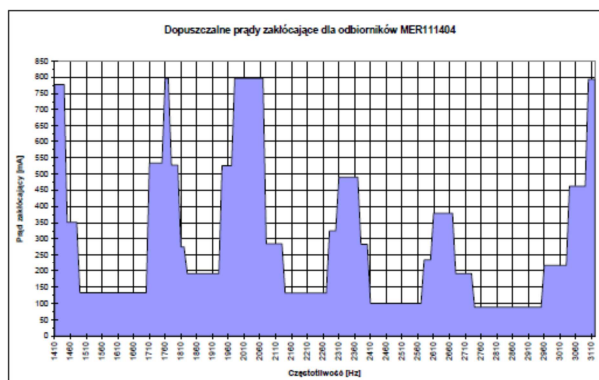
Rys. 6 Charakterystyka czułości odbiornika typu MER11401/4 w funkcji częstotliwości

Na rysunkach 5 i 6 pokazane są charakterystyki czułości odbiorników bezzłączowych obwodów torowych. (na rys.5. odbiornik nowego typu, natomiast na rys.6 odbiornik starszego typu - produkcja 1991 rok). Jak widać charakterystyka odbiornika nowego typu jest regularna i symetryczna względem częstotliwości środkowej, natomiast charakterystyka odbiornika starszego nie ma tych cech. Można stąd wnioskować, że urządzenia sterowania ruchem kolejowym powinny być wycofywane z eksploatacji po dwudziestu latach – dłuższy okres eksploatacji prowadzi do utraty własności początkowych poszczególnych elementów (choć przy zachowaniu bezpiecznej ich pracy).



Rys. 7. Dopuszczalne parametry zakłóceń dla bezzłączowych obwodów torowych typu MER111401

Jak widać na rysunkach 7 i 8, przedstawiających wartości dopuszczalnych parametrów zakłóceń dla bezzłączowych obwodów torowych, odbiorniki starego typu mają wartości dopuszczalne prądów zakłócających dwa razy mniejsze niż dla odbiorników nowego typu. Wynika stąd oczywisty wniosek, że odbiorniki starego typu powinny zostać wycofane z eksploatacji.



Rys. 8. Dopuszczalne parametry zakłóceń dla bezzłączowych obwodów torowych typu MER111401

7. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych prób i badań można przyjąć że:

- przyjęte metody badań charakterystyk czułości i wrażliwości odbiorników obwodów torowych w laboratorium i w terenie dają analogiczne wyniki. Pozwala to na wykonywanie pomiarów tylko w laboratorium, obniżając tym samym koszty i czas trwania badań.

- odbiorniki torowe bezzłączowych obwodów torowych starego typu powinny być wycofane z eksploatacji z powodu niedotrzymywania parametrów i znacznie większej podatności na zakłócenia.
- uzyskane wartości dopuszczalnych parametrów zakłóceń powinny służyć do określenia maksymalnych poziomów zakłóceń generowanych przez tabor (w tym pojazdy trakcyjne) do sieci trakcyjnej.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 50238-1: Zastosowania kolejowe. Kompatybilność pomiędzy taborem urządzeniami wykrywania pociągu. Wiadomości ogólne.
- [2] PN-EN 50238-2: Zastosowania kolejowe. Kompatybilność pomiędzy taborem urządzeniami wykrywania pociągu. Kompatybilność z obwodami torowymi.
- [3] PN-EN 50238-3: Zastosowania kolejowe. Kompatybilność pomiędzy taborem urządzeniami wykrywania pociągu. Kompatybilność z licznikami osi.
- [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] PN-EN 50121-3-2:2009 Zastosowania kolejowe - Kompatybilność elektromagnetyczna -- Część 3-2: Tabor – Aparatura.
- [6] PN-EN 50121-3-1:2010 Zastosowania kolejowe - Kompatybilność elektromagnetyczna -- Część 3-1: Tabor -- Pociąg i kompletny pojazd.
- [7] Określenie dopuszczalnych poziomów i parametrów zakłóceń dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym. Praca IK 4430/10. Warszawa 2011.