

Jacek PAŚ¹

ODDZIAŁYWANIE ZAKŁÓCEŃ ELEKTROMAGNETYCZNYCH – SKŁADOWEJ POŁA ELEKTRYCZNEGO NA TRANSPORTOWE SYSTEMY BEPIECZEŃSTWA

Transportowy system nadzoru stanowi przestrzennie ukształtowany zbiór składników współdziałających ze sobą w ramach osiągnięcia założonego poziomu bezpieczeństwa np. na dworcu kolejowym, lotniczym, porcie morskim. Występujące zakłócenia elektromagnetyczne w procesie eksploatacji systemu nadzoru mogą spowodować wystąpienie uszkodzeń katastroficznych lub mogą być przyczyną obniżenia jakości pracy systemów poprzez – np. zwiększenie prawdopodobieństwa fałszywego alarmu.

INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCES – ELECTRIC FIELD ON SAFETY TRANSPORT SYSTEMS

The transport systems of supervision is special structured set of components that interact which each other in order to achieve the complex level of safety, for example at the railway station, airport or seaport. Electromagnetic interference that occurs in operating process of control system may cause catastrophic damage or may result in quality reduction of systems by increasing the probability of false alarm.

1. WSTĘP

Transportowe systemy nadzoru są to systemy, których celem jest wykrywanie zagrożeń występujących w procesie transportowym (zarówno dla obiektów stacjonarnych jak i ruchomych) [1]. Systemy te są coraz częściej stosowane w procesie transportowym, gdzie zapewniają bezpieczeństwo:

1. ludziom (np. systemy nadzoru zainstalowane w obiektach stałych lotnisk, dworców kolejowych, portów, itd.);
2. przewożonym towarom w obiektach stałych (np. bazy logistyczne, terminale przeładunkowe lądowe i morskie, itp.);
3. przewożonym towarom w obiektach ruchomych (np. transport kolejowy, drogowy i morski – a w połączeniu z systemem GPS mogą monitorować stan ładunku i trasy przejazdu danego środka lokomocji).

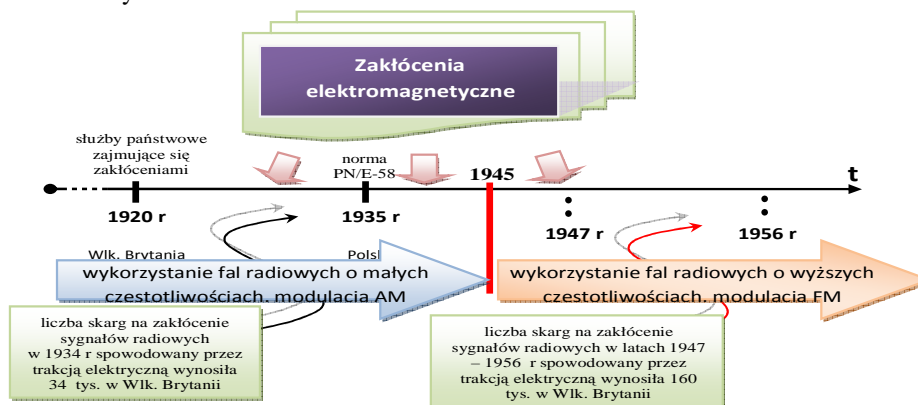
¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Zakład Eksploatacji Systemów Elektronicznych, Polska, 00-908 Warszawa, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, tel.: 22 6837534, e-mail: JPas@wat.edu.pl

Systemy transportowe są eksploatowane w zróżnicowanych warunkach klimatycznych i różnym otaczającym je środowisku elektromagnetycznym, które może być przyczyną występowania zakłóceń. Poprawne funkcjonowanie transportowego systemu nadzoru uzależnione jest od:

- niezawodności poszczególnych części składowych tworzących system;
- wewnętrznej struktury niezawodnościowej systemu transportowego;
- przyjętych do realizacji strategii eksploatacji systemu;
- zakłóceń elektromagnetycznych oddziaływujących na proces eksploatacji systemu.

Systemy nadzoru instalowane na rozległym obszarze kolejowym są narażone na oddziaływanie zakłóceń elektromagnetycznych, których źródłem są obiekty ruchome (pojazdy trakcyjne), jak i cała elektryczna i elektroniczna infrastruktura obszaru kolejowego – tj. zasilanie trakcyjne, elektroenergetyczne stacje transformatorowe, systemy sterowania ruchem kolejowym, systemy telekomunikacyjne. Duży poziom zakłóceń może być przyczyną wystąpienia zaburzenia w działaniu układów cyfrowych, systemów mikroprocesorowych z których zbudowane są transportowe systemy nadzoru (np. system sygnalizacji włamania i napadu SSWiN, system sygnalizacji pożaru SSP) [2].

Na obszarze kolejowym występują zakłócenia o różnych częstotliwościach i amplitudach. Trakcja elektryczna i stacje transformatorowe generują zakłócenia z zakresu małych częstotliwości, natomiast urządzenia impulsowe wykorzystywane do rozruchu pojazdów trakcyjnych generują zakłócenia bardzo szerokim widmie częstotliwości [3]. Zagadnienie odporności na zakłócenia transportowych systemów nadzoru, a tym samym zapewnienie bezpieczeństwa ruchu kolejowego, nabiera szczególnego znaczenia przy wprowadzeniu przez PKP urządzeń o dużych mocach – np. lokomotywy o mocy rzędu 6 MW [3]. Problemem zakłóceń elektromagnetycznych pojawił się we wczesnym okresie rozwoju radiofonii – rys. 1.



Rys. 1. Zakłócenia elektromagnetyczne na obszarze kolejowym [4]

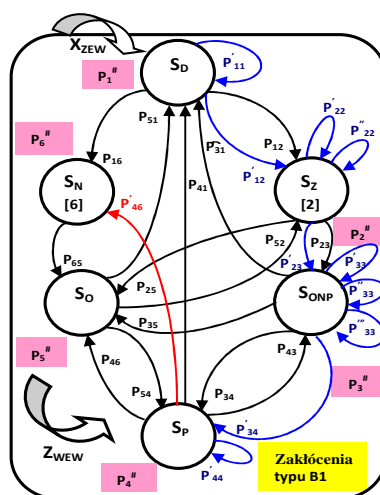
Obecnie na obszarze kolejowym wykorzystuje się urządzenia elektroniczne analogowe i cyfrowe (np. systemy: SRK, TSN, telekomunikacyjne), które same podczas pracy wytwarzają niezamierzone pola elektromagnetyczne i są narażone na zewnętrzne pola

wytwarzane przez inne urządzenia. Szerokie zainteresowanie niekorzystnym oddziaływaniem pól elektromagnetycznych z różnych zakresów częstotliwości na organizm ludzki i pracę urządzeń elektronicznych nastąpiło z chwilą wprowadzenia przez Unię Europejską dyrektywy dotyczącej kompatybilności elektromagnetycznej. Określenie warunków dopuszczalnych wobec oddziaływania zewnętrznych pól elektromagnetycznych na pracę urządzeń elektronicznych oraz sprzętu zawierającego układy elektroniczne zdefiniowano jako kompatybilność elektromagnetyczną. Pierwsze definicje tego pojęcia pochodzą z Departamentu Obrony USA z 1967 r. [5].

Transportowe systemy nadzoru użytkowane na obszarze kolejowym pracują w określonym środowisku elektromagnetycznym, które jest zniekształcone przez wprowadzenie dużej ilości źródeł zakłóceń zamierzonych i niezamierzonych. Nowoczesne systemy nadzoru w przeważającej części wykorzystują układy cyfrowe, które są niestety mało odporne na zakłócenia [2,11].

Skutki działania zakłóceń na transportowy system nadzoru mogą być:

- 1) **niezależne** – każde zakłócenie powoduje zmianę właściwości transportowego systemu nadzoru aż do jej poziomu krytycznego (wyładowanie atmosferyczne, wybuch jądrowy);
- 2) **zależne** – każde zakłócenie powoduje zmianę właściwości transportowego systemu nadzoru, jednak uszkodzenie systemu możliwe jest po wystąpieniu n – zakłóceń zależnych, oddziaływujących na system w określonym przedziale czasu z poziomem sygnału wystarczającym do uszkodzenia systemu – rys. 2;
 - a) **zależne kumulowane** - skutki kolejnych zakłóceń sumują się i zależnie od wielkości poszczególnych zmian oraz liczby zakłóceń, łączna zmiana właściwości osiąga lub nie - poziom krytyczny uszkodzenia systemu;



Rys. 2. Model oddziaływania zakłóceń na transportowy system nadzoru

Oznaczenia na rys. \rightarrow oddziaływanie zakłóceń o dużych wartościach wskaźników γ ;
 \rightarrow oddziaływanie zakłóceń o małych wartościach wskaźników γ ; S_D – stan diagnozowania; S_Z – stan zdolności; S_{ONP} – stan oczekiwania na pracę; S_P – stan pracy; S_O – stan obsługi; S_N – stan

niezdatności; $P_{12}, P_{16}, P_{23}, P_{25}, P_{34}, P_{31}, P_{35}, P_{43}, P_{45}, P_{41}, P_{54}, P_{52}, P_{51}, P_{65}$ – prawdopodobieństwa przejść procesu eksploatacji systemu nadzoru wynikające z normalnej eksploatacji systemu; P_{46} – prawdopodobieństwo przejścia procesu eksploatacji systemu nadzoru pod wpływem zakłóceń typu A dla przypadku dużych wartości wskaźników γ zakłóceń (sygnały zakłóceń o dużej amplitudzie); $P'_{11}, P'_{12}, P'_{22}, P''_{23}, P'_{33}, P''_{33}, P'''_{33}, P'_{34}, P_{44}$ - prawdopodobieństwo przejść procesu eksploatacji systemu nadzoru pod wpływem zakłóceń typu B dla przypadku małych wartości wskaźników γ zakłóceń (sygnały zakłóceń o małej amplitudzie)

- b) **zależne multiplikatywne** – sygnały zakłóceń ulegają wymnożeniu z sygnałami użytecznymi transportowego systemu nadzoru po spełnieniu określonych wymogów (sygnały oddziałują na element o charakterystyce nieciągłej lub nieliniowej)..

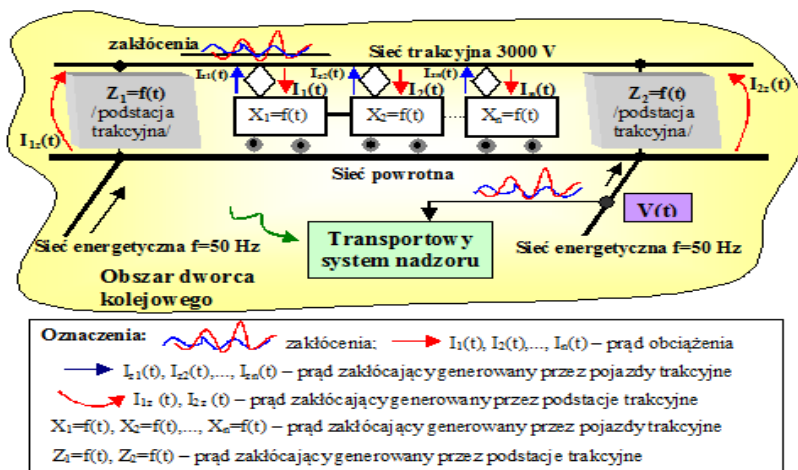
2. ODZIAŁYWANIE ZAKŁÓCEŃ – SKŁADOWEJ POLA ELEKTRYCZNEGO NA TRANSPORTOWE SYSTEMY NADZORU

Jeżeli pola elektryczne i magnetyczne zmieniają się w czasie, to następuje zjawisko wzajemnej indukcji tych pól, a obszary wzajemnych indukcji przemieszczają się w przestrzeni tworząc falę elektromagnetyczną [6]. Fizyk szkocki James Clerk Maxwell udowodnił, że elektryczność i magnetyzm są pojęciami nierozzerwalnie ze sobą związanymi i są częścią tego samego zjawiska – elektromagnetyzmu. Podstawowymi równaniami opisującymi naturę promieniowania elektromagnetycznego są „cztery równania Maxwella” – prawo Gaussa dla elektryczności, prawo Gaussa dla magnetyzmu, prawo Faradaya oraz prawo Amperę a rozszerzone przez Maxwella. Źródłem pola elektrycznego są ładunki elektryczne. Każdy ładunek elektryczny wytwarza w przestrzeni pole elektryczne działające na inny ładunek za pomocą siły Lorentza. Z równań Maxwella wynikają następujące prawidłowości - zmienne pole magnetyczne wytwarza wirowe pole elektryczne (prawo Faradaya), oraz zmienne w czasie pole elektryczne i przepływające ładunki elektryczne wytwarzają wirowe pole magnetyczne (prawo Amperę a). W/w równania uzupełnia się o tak zwane równania materiałowe, które wiążą wzajemnie podstawowe wielkości fizyczne opisujące pole elektromagnetyczne. Na obszarze kolejowym występują urządzenia elektryczne i elektroniczne które generują niezamierzone pole elektromagnetyczne. Wzajemne współlistnienie systemów i ich prawidłowa praca na obszarze kolejowym w określonym środowisku elektromagnetycznym oraz ich działanie bez wprowadzania w to środowisko niedopuszczalnych zniekształceń zostało zdefiniowane jako kompatybilność elektromagnetyczna. Mianem *kompatybilności elektromagnetycznej* określa się warunki dopuszczalne dla oddziaływania zewnętrznych pól elektromagnetycznych na pracę urządzeń elektronicznych oraz sprzętu zawierającego układy elektroniczne. – Zgodnie z zapisami występującymi w międzynarodowej normie IEC 50 (161) z 1990 r., zawartymi następnie w projekcie Polskiej Normy Pr. PN-T-01030 przyjmuje się, że: „*kompatybilnością elektromagnetyczną jest zdolność urządzenia lub systemu do zadowalającego działania w określonym środowisku elektromagnetycznym, również bez wprowadzania do tego środowiska niedopuszczalnych zaburzeń elektromagnetycznych*”. Zgodnie z wymienioną normą: „*zaburzeniem elektromagnetycznym nazywa się dowolne zjawisko elektromagnetyczne, które może*

obniżyć jakość działania urządzenia lub systemu, albo niekorzystnie wpływać na materię ożywioną i nieożywioną” [8].

Środowisko kolejowe jest jednym z najtrudniejszych ze środowisk pod względem zapewnienia kompatybilności elektromagnetycznej. Środowisko to charakteryzują następujące cechy:

1. duża rozległość obszarowa środowiska kolejowego;
2. kable zasilające, sygnałowe (w tym kable systemów nadzoru), sterujące oraz telekomunikacyjne układane są razem lub bardzo blisko siebie, co jest powodem indukowania się sygnałów zakłócających w systemach (długość kabli zasilających, magistral komunikacyjnych dla transportowego systemu nadzoru może osiągać wartość kilku kilometrów);
3. współistnienie na obszarze kolejowym obwodów, urządzeń wysokonapięciowych i niskonapięciowych pobierających małe i bardzo duże prądy zasilania – rys. 3;
4. złożoność i wzajemne powiązanie podsystemów różnej generacji - w tym systemów nadzoru;
5. różnorodność systemów zasilania i ich konfiguracji (od napięć stałych po zmienne o różnej częstotliwości);
6. rozległe ruchome niezamierzone źródła energii elektromagnetycznej o dużym poziomie zakłóceń zmiennym w czasie;
7. przenoszenie energii zasilającej do pociągów przez zestyki ślizgowe, które są elementem układu wytwarzającego zakłócenia o szerokim zakresie częstotliwości;
8. niesymetryczne obciążenia w poszczególnych fazach napięcia (L1,L2,L3) zasilającego budynek kolejowy i trakcję elektryczną;
9. zmienne i równoczesne generowanie zaburzeń pochodzących od wielu źródeł może prowadzić do interferencji, rezonansów, sumowania, odejmowania lub mnożenia algebraicznego zakłóceń.



Rys.3. Harmoniczne generowane przez odbiorniki prądu (pojazdy trakcyjne) i podstacje zasilające sieć trakcyjną

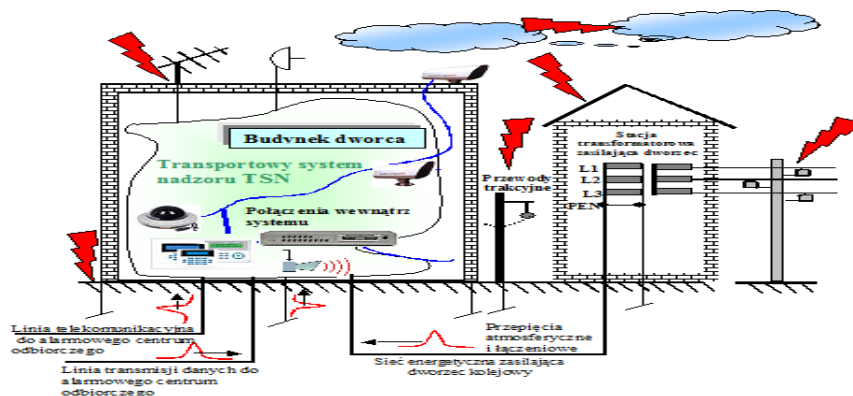
Rozpatrując oddziaływanie zakłóceń na transportowe systemy nadzoru należy uwzględnić następujące kryteria:

- **odporności** systemu na zakłócenia - definiowanej jako zdolność zachowania poprawnego działania urządzeń systemu podczas występowania zakłóceń;
- **podatności** systemu na zakłócenia – tj. reakcji pracującego systemu na zakłócenia zewnętrzne lub wewnętrzne;
- **wytrzymałości** systemu na zakłócenia – to znaczy zdolności do zachowania pierwotnych właściwości systemu po ustąpieniu zakłócenia.

W przypadku oddziaływania zakłóceń o bardzo małych częstotliwościach od 5 Hz do 100 kHz, zakres oddziaływania zakłóceń ze względów pomiarowych dzielimy na dwa podzakresy: przedział częstotliwości ELF (5-2000) Hz i przedział częstotliwości VLF (2-100) kHz.

Aby określić wartość współczynnika γ oddziaływania zakłóceń pola elektrycznego na transportowy system nadzoru, należy uwzględnić:

- wartość natężenia E pola elektrycznego pochodzącego z wyładowania atmosferycznego;
- zakres częstotliwości zakłóceń (tj. energię zawartą w danym paśmie częstotliwości), która powstaje podczas impulsowego wyładowania atmosferycznego;
- miejsce zainstalowania transportowego systemu nadzoru (w obiekcie budowlanym, na otwartej przestrzeni – rys. 4).



Rys. 4. Transportowy system nadzoru na terenie kolejowym

Rozważając propagację fal elektromagnetycznych, pochodzących od wyładowania atmosferycznego na obszarze kolejowym należy uwzględnić dwa ośrodki, w których może mieć miejsce rozchodzenia się fal:

- wolna przestrzeń – rozchodzenie się fali elektromagnetycznej uzależnione jest od częstotliwości i składowych widma sygnału;
- wewnątrz budynków zlokalizowanych na obszarze kolejowym – tłumienie (ekranowanie) – zależne od częstotliwości i mocy sygnału.

Ekranowanie pola elektromagnetycznego przez ściany, przegrody budowlane jest efektem znanym szczególnie dla zakresu wyższych częstotliwości i składowych natężenia E pola

elektrycznego dla zakresu małych częstotliwości [9,10]. Przewody instalacji odgromowej rozmieszczone znacznie rzadziej niż pręty zbrojeniowe powodują redukcję pola wewnątrz dworca kolejowego – składowe pola E, H. Osiągnięty efekt ekranowania można scharakteryzować za pomocą parametru nazywanego skutecznością ekranowania [10]. Oznaczając przez E_0 natężenie pola istniejącego w danym miejscu przy braku instalacji odgromowej, a przez E_1 – natężenie pola w tym samym miejscu, ale otoczonym instalacją odgromową, skuteczność ekranowania można określić jako:

$$S_E = 20 \log \frac{E_{0\max}}{E_{1\max}} \quad (1)$$

Obliczenia skuteczności ekranowania dla punktu znajdującego się wewnątrz budynku dworca kolejowego dla różnych wymiarów oka siatki odgromowej zostały przedstawione w tab. 1. Przy uwzględnieniu całkowitego widma sygnału wyładowania atmosferycznego (do 100 kHz zawarte jest 99,6 % energii wyładowania) - wskaźniki γ oddziaływania zakłóceń na transportowy system nadzoru będą wynosiły - dla natężenia E pola elektrycznego $\gamma_E = 1$.

Tab. 1. Ocena skuteczności ekranowania w funkcji wymiarów oka siatki

Oko siatki [m]	$E_{0\max}/E_{1\max}$	S_E [dB]
20x20	2,16	6,7
10x10	3,22	10,2
5x5	6,19	15,8

Przy uwzględnieniu wartości energii wyładowania zawartej w paśmie częstotliwości do 1000 Hz wskaźniki γ oddziaływania na transportowy system będą odpowiednio wynosiły $\gamma_{Ed} = 0,8$. Przy uwzględnieniu wartości energii wyładowania zawartej w paśmie częstotliwości powyżej 1000 Hz do 100 kHz wskaźniki γ oddziaływania na transportowy system będą odpowiednio wynosiły $\gamma_{Eg} = 0,196$. Powyżej częstotliwości 100 kHz wskaźnik γ oddziaływania na transportowy system będzie wynosił - $\gamma_{Eg} = 0,004$. Takie obliczone wskaźniki γ oddziaływania zakłóceń na transportowy system nadzoru należy przyjmować w przypadku systemu zainstalowanego na terenie otwartym – perony, szlak kolejowy. Jeżeli system nadzoru zainstalowany jest w obiekcie budowlanym (hala dworca, nastawnia), należy uwzględnić ekranujące działanie siatek instalacji odgromowej – rys. 5.

Przy uwzględnieniu wpływu instalacji odgromowej w budynku na wartość natężenia E pola elektrycznego dla wyładowania impulsem prądowym o parametrach 20 kA, 2/25 μ s tłumienie będzie odpowiednio wynosić dla składowej natężenia E pola elektrycznego:

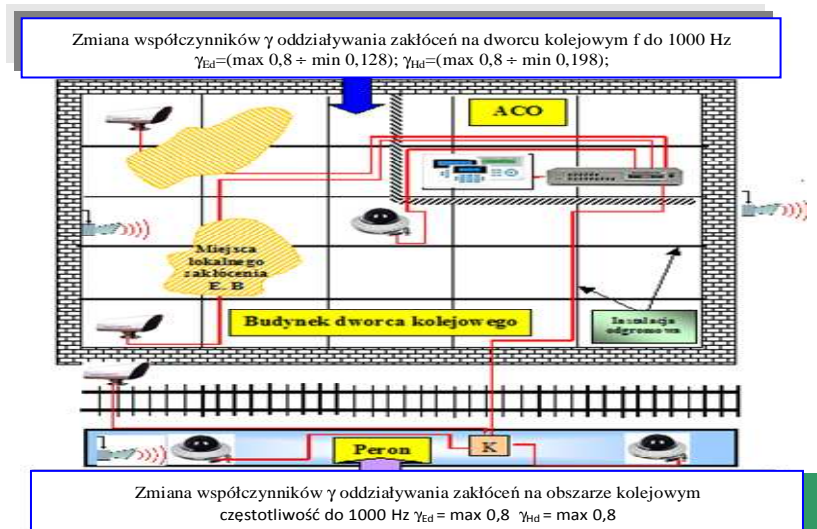
- oczko siatki 20x20 m – $E_1=60$ KV/m – tłumienie pola równe $\sigma_{Ed1} = E/E_1 = 2,08$;
- oczko siatki 10x10 m – $E_2=40$ KV/m – tłumienie pola równe $\sigma_{Ed2} = E/E_2 = 3,13$;
- oczko siatki 5x5 m – $E_3=20$ KV/m – tłumienie pola równe $\sigma_{Ed3} = E/E_3 = 6,25$.

Uwzględniając powyższe tłumienia składowych E pola elektromagnetycznego dla urządzeń systemu zainstalowanych w budynkach, wskaźniki oddziaływania γ_{Ed} , γ_{Eg} na transportowy system nadzoru będą odpowiednio równe:

$$\gamma_{Ed12 \times 2} = \frac{\gamma_{Ed}}{\sigma_{Ed1}} = \frac{0,8}{2,08} = 0,39 \quad \gamma_{Ed21 \times 1} = \frac{\gamma_{Ed}}{\sigma_{Ed2}} = \frac{0,8}{3,13} = 0,256 \quad \gamma_{Ed35 \times 5} = \frac{\gamma_{Ed}}{\sigma_{Ed3}} = \frac{0,8}{6,25} = 0,128$$

gdzie:

- $\gamma_{Ed12 \times 2}$ – wskaźnik γ oddziaływania zakłóceń dla natężenia E pola elektrycznego dla zakresu częstotliwości ELF dla oka siatki ekranującej 20x20 m;
- $\gamma_{Ed21 \times 1}$ – wskaźnik γ oddziaływania zakłóceń dla natężenia E pola elektrycznego dla zakresu częstotliwości ELF dla oka siatki ekranującej 10x10 m;
- $\gamma_{Ed35 \times 5}$ – wskaźnik γ oddziaływania zakłóceń dla natężenia E pola elektrycznego dla zakresu częstotliwości ELF dla oka siatki ekranującej 5x5 m.



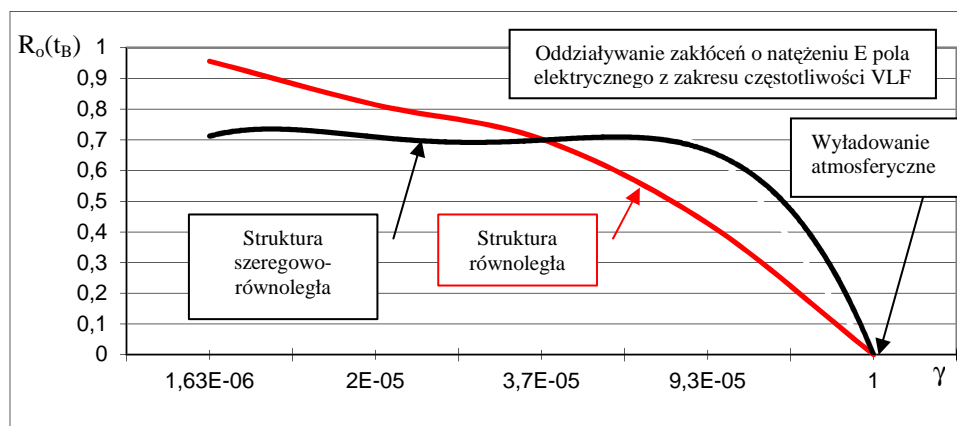
Rys. 5. Zakres zmian współczynnika γ oddziaływania zakłóceń na transportowy system nadzoru dla zakresu częstotliwości ELF i VLF

Tab. 2. Prawdopodobieństwa przebywania transportowych systemów nadzoru w stanach R_O , Q_{ZE1} , Q_B .

Nazwa wskaźnika	Typ transportowego systemu nadzoru				
	Struktura szeregowo-równoległa		Struktura równoległa		
	System pracujący bez zakłóceń $\gamma=0$	System pracujący na terenie kolejowym $\gamma \neq 0$	System pracujący bez zakłóceń $\gamma=0$	System pracujący na terenie kolejowym $\gamma \neq 0$	
a)	R_O	0,68	0,6667	0,9	0,882357
	Q_{ZE1}	0,127556	0,140886	0,0947435	0,113474
	Q_B	0,192444	0,193041	0,002565	0,004168
b)	R_O	0,68	0,458469	0,9	0,606797
	Q_{ZE1}	0,127556	0,349087	0,0947435	0,311476
	Q_B	0,192444	0,24693	0,002565	0,081726

- system nadzoru zainstalowany w pomieszczeniu użytkowym dworca kolejowego – tło pola - oddziaływanie pola elektrycznego z zakresu częstotliwości VLF $\gamma=2,26 \cdot 10^{-6}$;
- system nadzoru zainstalowany w wagonie kolejowym – pomiar pola podczas ruchu pociągu - oddziaływanie pola elektrycznego z zakresu częstotliwości VLF $\gamma=45 \cdot 10^{-6}$.
- R_0 - stan pełnej zdatości systemu; Q_{ZE1} - stan zagrożenia bezpieczeństwa; Q_B - stan zawadności bezpieczeństwa w przypadku oddziaływania zakłóceń dla składowej natężenia E pola elektrycznego z zakresu częstotliwości VLF.

Oddziaływanie zakłóceń elektromagnetycznych (składowej pola elektrycznego) na system nadzoru powoduje zmianę wartości prawdopodobieństwa stanu pełnej zdatości $R_0(t_b)$ – rys. 6. Zwiększanie poziomu zakłóceń powoduje to, że wartość parametru $R_0(t_b)$ dla struktury równoległej maleje liniowo, osiągając wartość równą zero dla wskaźnika $\gamma=1$. W strukturze szeregowo-równoległej zwiększanie poziomu zakłóceń do wartości $93 \cdot 10^{-6}$ nie powoduje zmiany $R_0(t_b)$. Powyżej tej wartości następuje spadek wartości $R_0(t_b)$.



Rys. 6. Zmiana wartości prawdopodobieństwa stanu pełnej zdatości systemu nadzoru $R_0(t_b)$ pod wpływem oddziaływających zakłóceń

3. WNIOSKI

Transportowe systemy nadzoru zainstalowane w obiektach kolejowych są narażone na oddziaływanie zakłóceń elektromagnetycznych o szerokim widmie częstotliwości. W referacie przedstawiono oddziaływanie zakłóceń z zakresu małych częstotliwości – do 100 kHz na transportowe systemy nadzoru. W oparciu o przeprowadzone analizy w pracy można sformułować następujące wnioski i spostrzeżenia:

- zakłócenia oddziałujące na transportowy system nadzoru na terenie kolejowym, powodują zwiększenie wartości intensywności uszkodzeń dla wszystkich systemów;
- system nadzoru o strukturze szeregowej jest najbardziej podatny na działanie zakłóceń (najmniejsza wartość oczekiwanego czasu pracy);
- transportowe systemy nadzoru zainstalowane na terenie peronów kolejowych, w przypadku oddziaływania zakłóceń, charakteryzują się najmniejszą wartością

- oczekiwanego czasu pracy ponieważ nie występuje zjawisko tłumienia zaburzeń elektromagnetycznych;
- systemy nadzoru zainstalowane w pomieszczeniach użytkowych zlokalizowanych na terenie dworca kolejowego są mniej wrażliwe na oddziaływanie zakłóceń z powodu ekranującego wpływu siatki odgromowej;
 - wartość oczekiwanego czasu pracy systemu nadzoru zainstalowanego w budynkach dworca kolejowego zależy od wymiarów oka instalacji odgromowej;
 - dla małych wartości wskaźników zakłóceń $\gamma=10 \cdot 10^{-6}$, które oddziałują na transportowy system nadzoru, funkcja prawdopodobieństwa przebywania systemu nadzoru w stanie pełnej zdatności utrzymuje się na stałym poziomie;
 - wartość dopuszczalnego poziomu odporności systemu na zakłócenia można określić za pomocą wskaźnika zakłóceń γ ;
 - odporność systemu nadzoru zależy od właściwości pola elektromagnetycznego zakłócającego system – czy pole ma charakter w przeważającej części magnetyczny ($E/H < 337 [\Omega]$) czy elektryczny ($E/H > 337 [\Omega]$) [12].

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Rosiński A.: *Analiza struktur niezawodnościowych w rozproszonych systemach bezpieczeństwa*, Zabezpieczenia nr 1/2 Warszawa 2005
- [2] Kalisz J.: *Podstawy elektroniki cyfrowej*, WKŁ 2002
- [3] Białoń A., Gradowski P., Kazimierczak A.: *Lokomotywa dużej mocy jako źródło zakłóceń dla urządzeń*, SRK XI Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej SEMTRAK 2004
- [4] Laskowski M.: *Główne źródła zakłóceń w elektrycznych pojazdach trakcyjnych oraz wpływ ich parametrów na poziom wytwarzanych zakłóceń radioelektrycznych*, Rozprawa doktorska. PW Warszawa 1991.
- [5] Paś J., Dyduch J.: *Oddziaływanie zakłóceń elektromagnetycznych na transportowe systemy bezpieczeństwa*, Pomiar Automatyka Robotyka nr 9/2009 str. 6 –11
- [6] Siemiński M.: *Fizyka zagrożeń środowiska*, PWN Warszawa 1994
- [7] Paś J.: *Przegląd unormowań prawnych dotyczących ochrony przed promieniowaniem elektromagnetycznym z zakresu małych częstotliwości*, XXII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Zakopane 2008
- [8] Dyduch J., Paś J.: *Środowisko elektromagnetyczne na rozległym obszarze kolejowym i jego wpływ na systemy bezpieczeństwa*, Transport Kolejowy 1/2009
- [9] Brejwo W., Paś J.: *Wpływ linii wysokiego napięcia na środowisko elektromagnetyczne*, Wiadomości. IPB nr 6(149) Warszawa 2003
- [10] Anisierowicz K.: *Analiza zagadnień kompatybilności elektromagnetycznej w rozległych obiektach narażonych na wyładowania atmosferyczne*, PB 2005
- [11] Busienko N. P., Kałasznikow W. W. Kowalenko I. N. *Teoria systemów złożonych*, PWN 1979
- [12] Litwin R.: *Teoria pola elektromagnetycznego*, WNT Warszawa 1970