

Jacek PAŚ¹

ODDZIAŁYWANIE ZAKŁÓCEŃ ELEKTROMAGNETYCZNYCH NA TRANSPORTOWY SYSTEM BEZPIECZEŃSTWA O STRUKTURZE SZEREGOWEJ

Transportowy system bezpieczeństwa eksploatowany na rozległym obszarze kolejowym jest użytkowany w różnych warunkach środowiska elektromagnetycznego. Występujące na rozległym obszarze kolejowym zaburzenia elektromagnetyczne zamierzone lub niezamierzone /stacjonarne lub ruchome/ mogą być przyczyną zakłócenia pracy systemu bezpieczeństwa. Systemy bezpieczeństwa odpowiadają za bezpieczeństwo transportu tj. proces przemieszczania ludzi i/lub ładunków. Zakłócenie podstawowych funkcji systemu bezpieczeństwa może być przyczyną wystąpienia zagrożeń życia i zdrowia ludzi. Niniejszy referat przedstawia wpływ zakłóceń elektromagnetycznych na transportowy system bezpieczeństwa o strukturze szeregowej.

INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC DISTURBANCES ON SECURITY TRANSPORT ACTION SYSTEM OF SERIAL STRUCTURE

The security transport systems used on a vast railway area are exploited in diverse electromagnetic environments. The electromagnetic disturbances, intentional or unintentional, present on this area can disturb the systems operation. The security systems are responsible for security of humans and goods transportation and therefore their disturbance can threaten life or health their disturbance can threaten life or health of people. This paper present the influence of electromagnetic disturbances on security transport action system of serial structure.

1. WSTĘP

Głównym celem transportu jest przemieszczanie osób i ładunków. Bezpieczeństwo transportu jest to właściwość realizowanego procesu transportowego (proces przemieszczania ludzi i/ lub ładunków), charakteryzująca się brakiem występowania zagrożeń życia i zdrowia ludzi [1,2]. Proces ten powinien cechować się wysokim poziomem niezawodności i bezpieczeństwa. Miarą bezpieczeństwa transportu jest zaufanie, że elementy procesu transportowego pozostaną w trakcie jego realizacji nienaruszone poza

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

zmianami wynikającymi z naturalnych procesów starzenia i zużycia. Aby zapewnić odpowiedni poziom bezpieczeństwa niezbędne jest stosowanie transportowych systemów nadzoru, których zadaniem jest zwiększenie bezpieczeństwa przewożonych osób i ładunków.

Transportowe systemy nadzoru są to systemy, których celem jest wykrywanie zagrożeń występujących w procesie transportowym (zarówno dla obiektów stacjonarnych jak i ruchomych) [3,4]. 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 (transport kolejowy, drogowy i morski – a w połączeniu z systemem GPS mogą monitorować stan ładunku i trasy przejazdu danego środka lokomocji).

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:

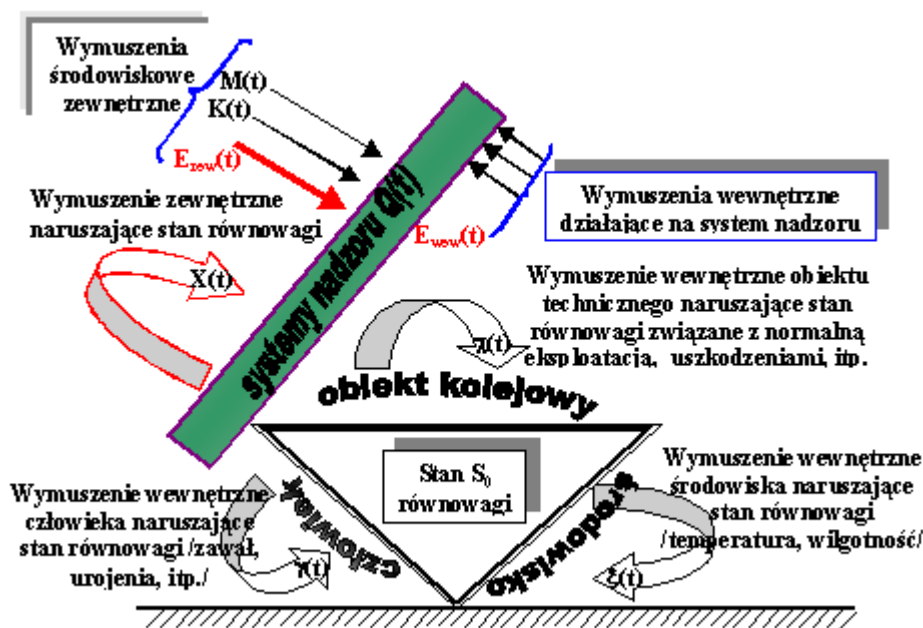
- niezawodności poszczególnych części składowych tworzących system;
- wewnętrznej struktury niezawodnościowej systemu transportowego;
- przyjętych do realizacji strategii eksploatacji systemu;
- zakłóceń elektromagnetycznych oddziaływujących na proces eksploatacji systemu.

Systemy nadzoru instalowane na rozległym obszarze kolejowym są szczególnie 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, których zbudowane są transportowe systemy nadzoru (np. system sygnalizacji włamania i napadu).

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 o bardzo szerokim widmie częstotliwości. 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].

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. Występowanie zakłóceń prowadzi do zwiększenia prawdopodobieństwa fałszywego alarmu w systemach nadzoru zainstalowanych na obszarze kolejowym, co może skutkować poważnymi następstwami – rys. 1.

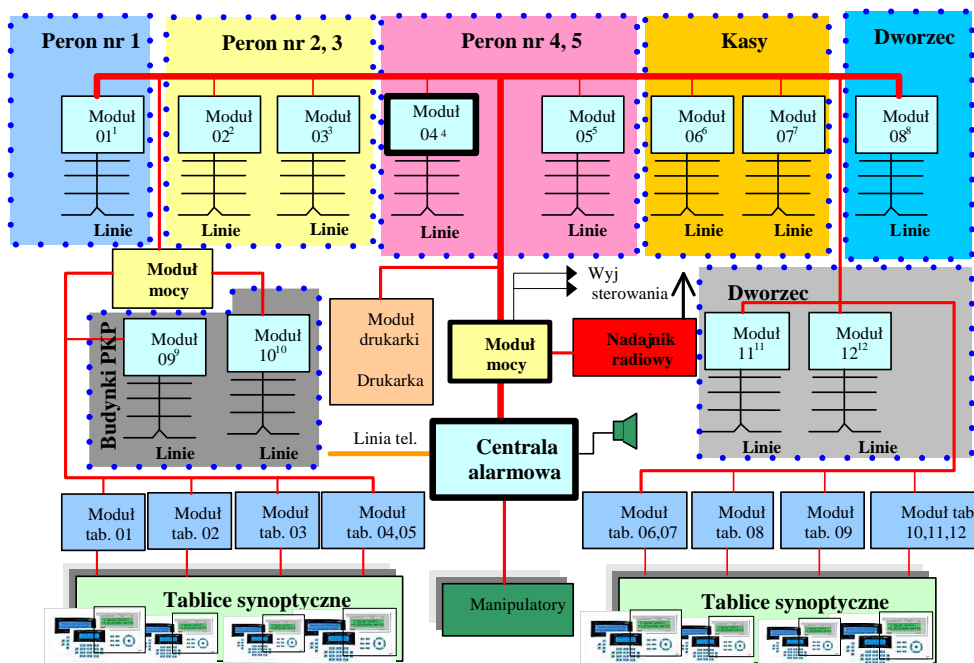


Rys. 1. Naruszenie stanu bezpieczeństwa transportowego systemu nadzoru

Oznaczenia na rysunku: X(t) - kradzież, rozbój (napad) i inne wymuszenie; E_{zew}(t); E_{wew}(t) - zakłócenia naturalnego pola elektromagnetycznego; K(t) - warunki klimatyczne, M(t) - zakłócenia mechaniczne. S₀ - stan bezpieczeństwa związany z równowagą trzech elementów: człowieka γ(t), obiektu kolejowego χ(t) i środowiska ξ(t).

2. TRANSPORTOWY SYSTEM BEZPIECZEŃSTWA O STRUKTURZE SZEREGOWEJ Z JEDNĄ MAGISTRALĄ, MODUŁAMI I INTERFEJSEM

Na rys. 2 został przedstawiony schemat blokowy transportowego systemu rozproszonego, gdzie centrala alarmowa i poszczególne moduły zostały połączone magistralą transmisyjną z interfejsem RS-232C.

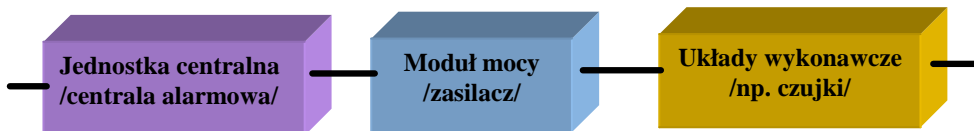


Rys. 2. Schemat blokowy transportowego systemu bezpieczeństwa z jedną magistralą transmisyjną i modułami z interfejsem RS-232C

System ten (rys. 2.) ma budowę modułową o następujących opcjach konfiguracji:

- ❑ moduły rozszerzające system do maksymalnej liczby 128 linii dozorowych;
- ❑ moduł może mieć podłączone jednocześnie maksymalnie 8 linii dozorowych;
- ❑ moduły mocy służą do wzmocnienia prądowego całego systemu – ich umiejscowienie zależy od długości magistrali transmisyjnych pomiędzy poszczególnymi elementami systemu;
- ❑ manipulatory oraz tablice synoptyczne zależą od potrzeb ochranianego obiektu kolejowego.

Wszystkie moduły z jednostką centralną są połączone za pomocą jednej magistrali transmisyjnej z interfejsem RS-232C – rys. 3.



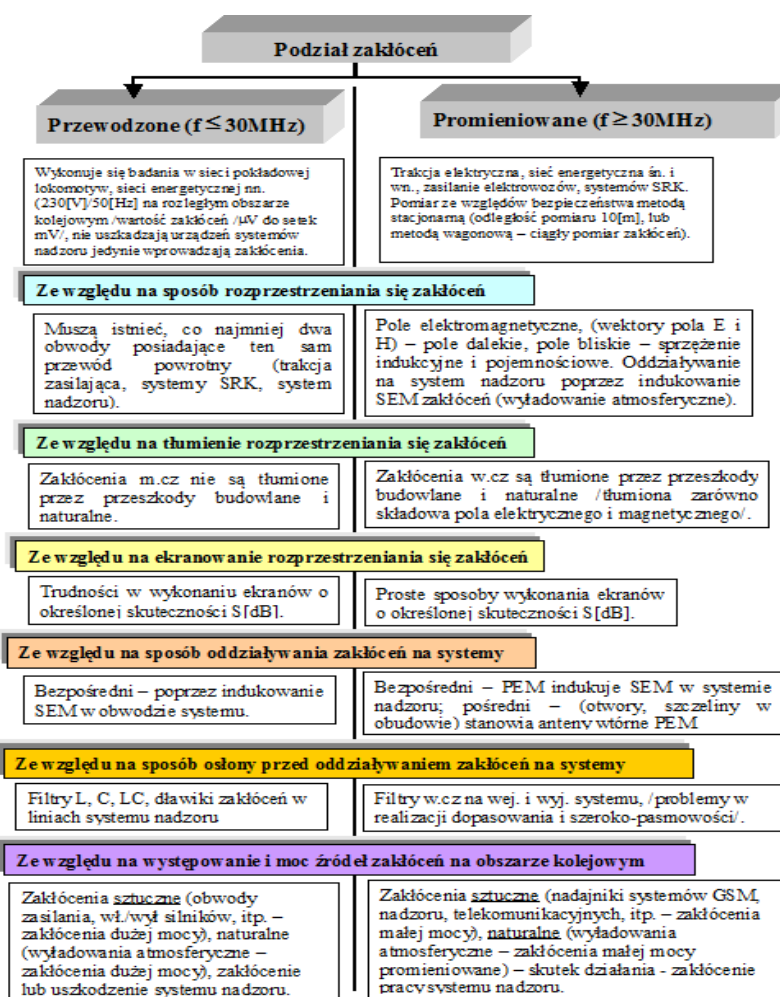
Rys. 3 Uproszczony schemat niezawodnościowy transportowego systemu nadzoru

3. ODDZIAŁYWANIE ZAKŁÓCEŃ NA TRANSPORTOWY SYSTEM NADZORU

Na rozległym obszarze kolejowym występują zakłócenia elektromagnetyczne o bardzo szerokim widmie częstotliwości. Ze względu na złożoną strukturę pola

elektromagnetycznego oraz różne jego właściwości w polu dalekim i bliskim, w celu wyznaczenia wskaźnika dokonano podziału zakłóceń na dwa podzakresy częstotliwości - rys. 4. Podziału tego dokonano ze względu na zakres częstotliwości i następujące właściwości pola elektromagnetycznego:

- sposób rozprzestrzeniania się zakłóceń;
- tłumienie rozprzestrzeniania się zakłóceń;
- ekranowanie zakłóceń;
- oddziaływanie zakłóceń na system;
- sposób osłony przed zakłóceniami;
- moc zakłóceń występujących na obszarze kolejowym.

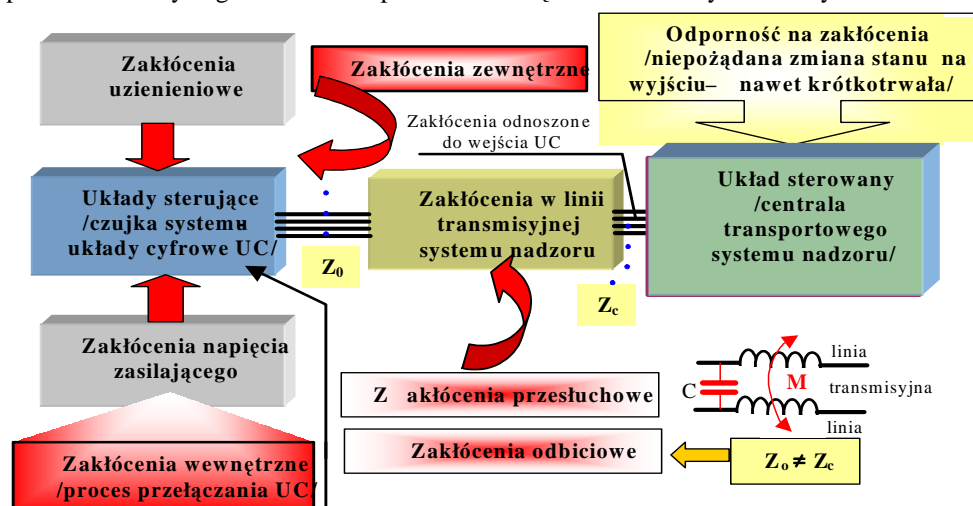


Rys. 4. Podział zakłóceń oddziałujących na transportowy system nadzoru

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

- ❑ wartość natężenia E pola elektrycznego oraz indukcji B pola magnetycznego 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 lub na otwartej przestrzeni.

Wytworzone na obszarze kolejowym zakłócenia oddziałują na transportowe systemy nadzoru. Nowoczesne systemy nadzoru obecnie w przeważającej części zbudowane są z układów cyfrowych (w czujkach, centralach alarmowych zastosowano mikroprocesory, specjalizowane układy cyfrowe do analizy i przetwarzania sygnałów, programowalne układy analogowe). Elementem najbardziej podatnym na oddziaływanie zakłóceń elektromagnetycznych w systemie bezpieczeństwa jest centrala alarmowa. Wytworzone zakłócenia oddziałują na układy oraz magistrale transmisyjne - mogą przyczynić się do powstania fałszywego alarmu lub spowodować błędne działanie systemu – rys. 5.



Rys. 5. Oddziaływanie zakłóceń na transportowy system nadzoru

Występujące zakłócenia elektromagnetyczne w procesie eksploatacji transportowego systemu nadzoru mogą spowodować wystąpienie uszkodzeń katastroficznych lub mogą być przyczyną obniżenia jakości pracy systemów poprzez – np. zwiększenie prawdopodobieństwa fałszywego alarmu.

Skutki działania zakłóceń na transportowy system nadzoru mogą być:

- ❑ niezależne – każde zakłócenie powoduje zmianę właściwości transportowego systemu nadzoru aż do jej poziomu krytycznego (wyładowanie atmosferyczne, wybuch jądrowy);
- ❑ 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;

- 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;
- 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).

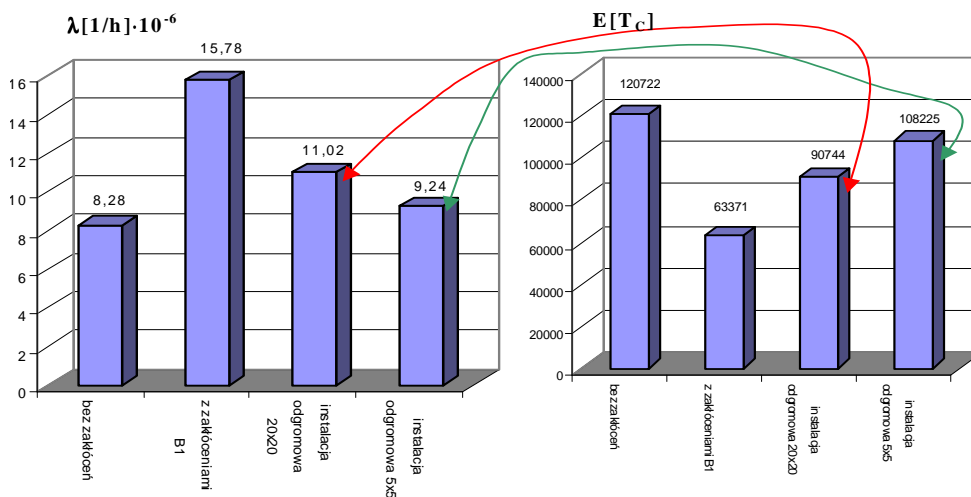
Ze względu na skutki oddziaływania zakłóceń na transportowy system nadzoru, możemy wyróżnić następujące rodzaje zakłóceń:

- typu A – zakłócenia powodujące uszkodzenie całkowite transportowego systemu nadzoru – uszkodzenie katastroficzne;
- typu B – zakłócenia powodujące uszkodzenie parametryczne transportowego systemu nadzoru;

W celu określenia wpływu zakłóceń na eksploatację systemów zostały obliczone wskaźniki eksploatacyjno-niezawodnościowe. Wskaźniki eksploatacyjne zostały określone dla następujących transportowych systemów nadzoru, uwzględniających wskaźnik γ zakłóceń:

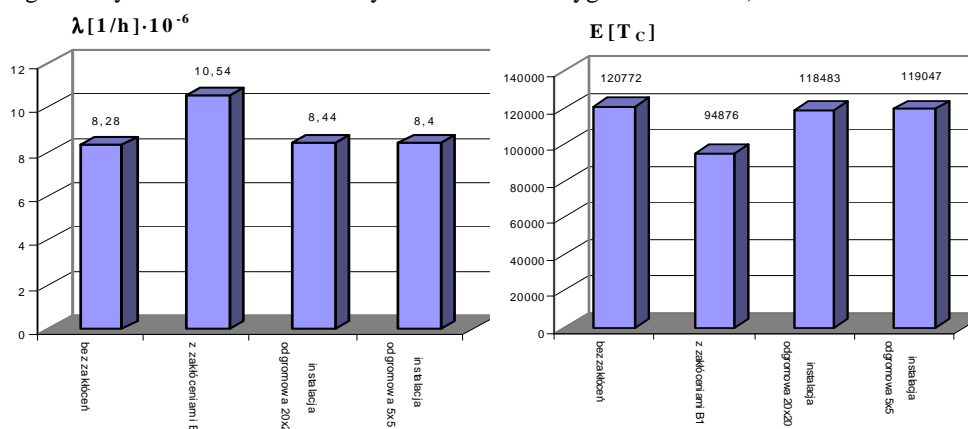
- systemu nadzoru o strukturze szeregowej, który został zainstalowany w pomieszczeniach laboratoryjnych ($\gamma = 0$ – brak zakłóceń);
- systemu nadzoru o strukturze szeregowej, zainstalowany na rozległym obszarze kolejowym ($\gamma \neq 0$ – system zainstalowany na rozległym obszarze kolejowym).

Na rys. 6 – 8 przedstawiono intensywność λ uszkodzeń centrali alarmowej w różnych warunkach pracy oraz odpowiadający im oczekiwany czas pracy dla zakłóceń przez składową pola elektrycznego i magnetycznego dla dwóch zakresów częstotliwości ELF i VLF.

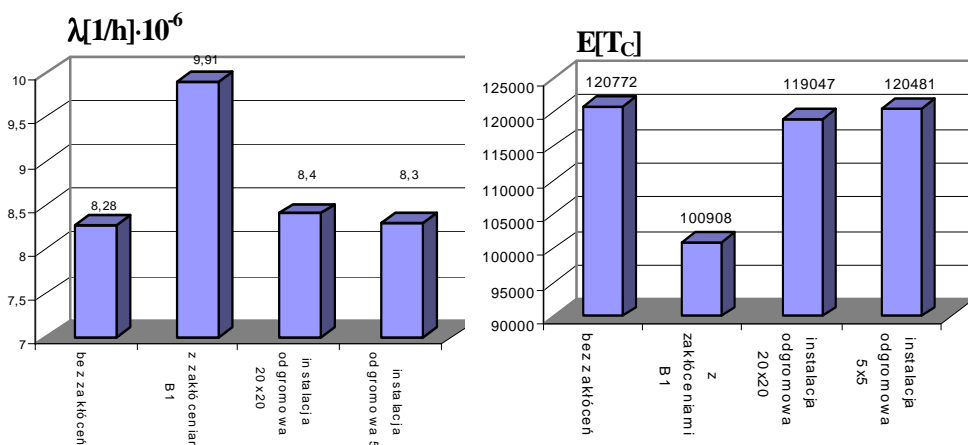


Rys. 6. Intensywność λ uszkodzeń centrali alarmowej w różnych warunkach pracy oraz odpowiadający im oczekiwany czas pracy dla zakłóceń natężeniem E pola elektrycznego – zakres częstotliwości ELF

Obliczone wskaźniki procesu eksploatacji transportowego systemu nadzoru dotyczą systemu, który jest zainstalowany na terenie otwartym obiektu kolejowego – np. perony, szlak kolejowy. Jeżeli system nadzoru zainstalowany jest w obiekcie budowlanym (hala dworca kolejowego, nastawnia), należy uwzględnić ekranujące działanie instalacji odgromowej. Obliczenia intensywności uszkodzeń oraz oczekiwanego czasu pracy poszczególnych urządzeń tworzących system nadzoru przedstawiono dla oka siatki instalacji odgromowej 20x20 m oraz 5x5 m (wartości skrajne oczek instalacji odgromowych – minimalne i maksymalne tłumienie sygnału zakłóceń).



Rys. 7. Intensywność λ uszkodzeń centrali alarmowej w różnych warunkach pracy oraz odpowiadający im oczekiwany czas pracy dla zakłóceń indukcyjną B pola magnetycznego – zakres częstotliwości VLF



Rys. 8. Intensywność λ uszkodzeń centrali alarmowej w różnych warunkach pracy oraz odpowiadający im oczekiwany czas pracy dla zakłóceń natężeniem E pola elektrycznego – zakres częstotliwości VLF

4. WNIOSKI

W oparciu o przeprowadzone analizy można sformułować następujące wnioski i spostrzeżenia:

- zakłócenia oddziałujące na transportowy system nadzoru na terenie kolejowym, powodują zwiększenie wartości intensywności uszkodzeń dla systemu o szeregowej strukturze niezawodnościowej;
- 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;
- wartości poszczególnych prawdopodobieństw przebywania systemu w stanach zależą od właściwości pola elektromagnetycznego zakłócającego (wektor pola magnetycznego lub elektrycznego);
- największy wpływ na prawdopodobieństwa przebywania systemu w wyróżnionych stanach ma indukcja B pola magnetycznego z zakresu częstotliwości ELF (tłumienie indukcji B pola magnetycznego przez instalację odgromową dla tego zakresu częstotliwości jest najmniejsze);
- 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;
- odporność systemu nadzoru zależy od właściwości pola elektromagnetycznego zakłócającego system – czy pole ma charakter w przeważającej części magnetyczny ($E/H < 337 [\Omega]$) czy elektryczny ($E/H > 337 [\Omega]$).

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Białoń A., Furman J., Gradowski P., Kazimierczak A.: *Problematyka odporności na zakłócenia urządzeń SRK generowane przez lokomotywę serii 163 firmy SKODA*, SEMTRAK 2008
- [2] Laskowski M.: *Poziomy sinusoidalnych i impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych w kolejowych pojazdach szynowych*, SEMTRAK 2004
- [3] Rosiński A.: *Analiza struktur niezawodnościowych w rozproszonych systemach bezpieczeństwa*. Zabezpieczenia nr 1/2 Warszawa 2005
- [4] Szulc W.: *Elektroniczne metody monitorowania ruchomych środków transportowych*, Zabezpieczenia Nr 5/2006
- [5] Paś J., Dyduch J.: *Oddziaływanie zakłóceń elektromagnetycznych na transportowe systemy bezpieczeństwa*, Pomiar Automatyka Robotyka nr 10/2009
- [6] Dyduch J., Paś J.: *Środowisko elektromagnetyczne na kolei i jego wpływ na systemy bezpieczeństwa*, Transport i Komunikacja nr 1/2009