

**Zbigniew RACZYŃSKI**

## **BADANIE WPLYWU ZAKŁÓCEŃ ELEKTROMAGNETYCZNYCH, GENEROWANYCH PRZEZ WYPOSAŻENIE ELEKTRYCZNE POJAZDU GĄSIENICOWEGO**

**Streszczenie:** W opracowaniu przedstawiono wymagania poprawnej transmisji cyfrowej współczesnych systemów radiowych, pracujących w otoczeniu innych urządzeń elektrycznych. Na przykładzie maszyny inżynierijno-drogowej MID-M, omówiono wyniki badań tego pojazdu w komorze bezzakłóceńowej.

**Słowa kluczowe:** pojazd gąsienicowy, radiostacja, spektrum zakłóceń.

### **1. WPROWADZENIE**

Współczesne pojazdy wojskowe nasycone są elektroniką, której prawidłowe działanie może być uzależnione od zakłócającego wpływu innych urządzeń elektrycznych i elektronicznych, zainstalowanych w tych pojazdach.

Dla ujednoczenia wymagań, jakim powinny odpowiadać podzespoły i urządzenia elektryczne instalowane w wyrobach wojskowych wprowadzono odpowiednie normy, które regulują uwarunkowania dotyczące między innymi kompatybilności elektromagnetycznej.

Urządzenie jest kompatybilne elektromagnetycznie (EMC – Electro Magnetic Compatibility), jeżeli działa w danym środowisku elektromagnetycznym w sposób zadowalający oraz jeżeli nie wprowadza zaburzeń, nie tolerowanych w tym środowisku.

Dla przykładu, obowiązująca norma wojskowa NO-06-A200 [1], dotyczy wymagań na dopuszczalne poziomy emisji elektromagnetycznych i charakterystyki sygnałów umownych, stosowanych przy badaniu odporności urządzeń techniki wojskowej na oddziaływanie narażeń elektromagnetycznych. Normę tą stosuje się w odniesieniu do urządzeń elektrycznych, elektromechanicznych i elektronicznych użytkowanych w Wojskach Lądowych, Wojskach Lotniczych i Marynarce Wojennej.

Odpowiednikiem polskiej normy w odniesieniu do dopuszczalnych poziomów emisji i charakterystyki sygnałów umownych jest norma MIL STD-461.

Należy dodać, że producenci niektórych urządzeń ustalają własne wymagania poprawnej ich pracy, w obecności zakłóceń zewnętrznych.

Wprowadzenie nawigacji satelitarnej i potrzeba współdziałania pojazdów wojskowych na współczesnym polu walki, wymusiła konieczność przesyłania drogą radiową informacji cyfrowych między współpracującymi pojazdami, np. o zmieniającej się sytuacji, czy lokalizacji własnych pojazdów na polu walki. Wymusiło to na producentach aparatury radiowej spełnienia wymagań nie tylko łączności bezpośredniej pomiędzy respondentami, lecz również możliwości przesyłania informacji cyfrowych (map, położenia własnych wojsk itp.).

Dla poprawnej transmisji cyfrowej współpracujących urządzeń radiowych, niezbędne jest ograniczenie emisji zakłóceń przez inne pracujące urządzenia elektryczne, znajdujące się w danym pojeździe do poziomu wymagań normy oraz producenta danego urządzenia radiowego.

Polskie wojskowe pojazdy gaśnicowe mają jednoprzewodowe zasilanie pokładowe napięciem stałym o wartości +24 V, z zaciskiem ujemnym na korpusie wyrobu. W dodatku wiele urządzeń elektrycznych, nadal wykorzystywanych w nowoprojektowanych wyrobach wojskowych było zaprojektowane wiele lat temu. Dla spełnienia obecnych wymagań kompatybilności elektromagnetycznej niezbędne jest przestrzeganie pewnych zaleceń, które umożliwiają znaczne ograniczenie wpływu pracy tych urządzeń na generowanie zakłóceń własnych w paśmie obecnie wykorzystywanych urządzeń radiowych z transmisją cyfrową.

Doświadczenia wynikające z badań już wyprodukowanych pojazdów, dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej, mogą posłużyć jako wzorce przy opracowywaniu konstrukcji nowych pojazdów gaśnicowych.

## 2. UWARUNKOWANIA POPRAWNEJ PRACY APARATURY RADIOWEJ

Obecnie na wyposażenie polskich pojazdów gaśnicowych wchodzi radiostacje francuskiej firmy THALES, posiadające również możliwość transmisji cyfrowej pomiędzy współpracującymi pojazdami. Są to:

- urządzenie radiowe typu TRC 3630 o paśmie częstotliwości 1,5 MHz ÷ 30MHz i mocy wyjściowej 125 W (ze wzmacniaczem mocy ALA 172),
- urządzenie radiowe typu TRC 9310 o paśmie częstotliwości 30 MHz ÷ 88 MHz i mocy wyjściowej 50 W.

Producent tych urządzeń zakłada, że dla poprawnej transmisji cyfrowej, (tj. przekłamania transmisji będą poniżej 5 %), poziom zakłóceń generowanych przez inne urządzenia elektryczne pojazdu w układzie antenowym danej radiostacji nie może przekraczać odpowiednio:

- dla urządzenia radiowego TRC 3630 - poziom zakłóceń powinien być mniejszy od -126 dBm,
- dla urządzenia radiowego TRC 9500 - poziom zakłóceń powinien być mniejszy od -113 dBm.

Zwrócić należy uwagę, że poziom napięcia zakłóceń  $u_z$  (w dBm) definiowany jest jako:

$$u_z [dBm] = 20 \lg \left( \frac{U_z}{0,775} \right) \quad (1)$$

gdzie:  $U_z$  – napięcie zakłóceń w V.

Przykładowo, poziomowi zakłóceń  $u_z = -113$  dBm odpowiada napięcie zakłóceń  $U_z = 1,73 \mu V$ , a poziomowi zakłóceń  $u_z = -126$  dBm napięcie zakłóceń  $U_z = 0,39 \mu V$ .

Dla weryfikacji tych wymagań, niezbędne jest wykonanie badań kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych obecnie produkowanych wojskowych pojazdów gaśnicowych, których wyniki pozwolą uniknąć błędów w nowo projektowanych wyrobach.

### **3. BADANIE MASZYNY INŻYNIERYJNO - DROGOWEJ MID-M W KOMORZE BEZZAKŁÓCENIOWEJ**

#### **3.1 Warunki spełnienia wymaganego poziomu szumów otoczenia**

Aby ograniczyć wpływ otoczenia na wyniki badań kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych stanowiących wyposażenie badanego pojazdu, poziom szumów otoczenia powinien być mniejszy o co najmniej 10 dBm od dopuszczalnego poziomu zakłóceń, wnoszonych przez pracujące urządzenia elektryczne. Spełnienie tego warunku w praktyce jest trudne.

Przykładem otoczenia spełniającego w przybliżeniu zadane warunki może być schron kolejowy z czasów II wojny światowej, znajdujący się w miejscowości Stępina (woj. podkarpackie Rys. 1), w którym zmierzony poziom zakłóceń zewnętrznych nie przekraczał: -125 dBm.



**Rys. 1. Pojazd MID-M w schronie kolejowym**

Wymiary bramy wjazdowej schronu (szer. x wys. = 440 cm x 460 cm) pozwalają na prowadzenie badań różnych wyrobów wojskowych, w tym także pojazdu MID-M.

#### **3.2 Metodyka i wyniki badań pojazdu MID-M**

Po umieszczeniu pojazdu w schronie kolejowym, sprawdzono wartości pokładowego napięcia zasilania 24 V instalacji urządzeń radiowych i stwierdzono, że zmiany napięcia podczas załączania różnych urządzeń nie przekraczały dopuszczalnego poziomu  $\pm 1$  V.

Następnie został sprawdzony poziom szumów otaczającego tła, rejestrowanego przez anteny obydwu urządzeń radiowych VHF i HF pojazdu.

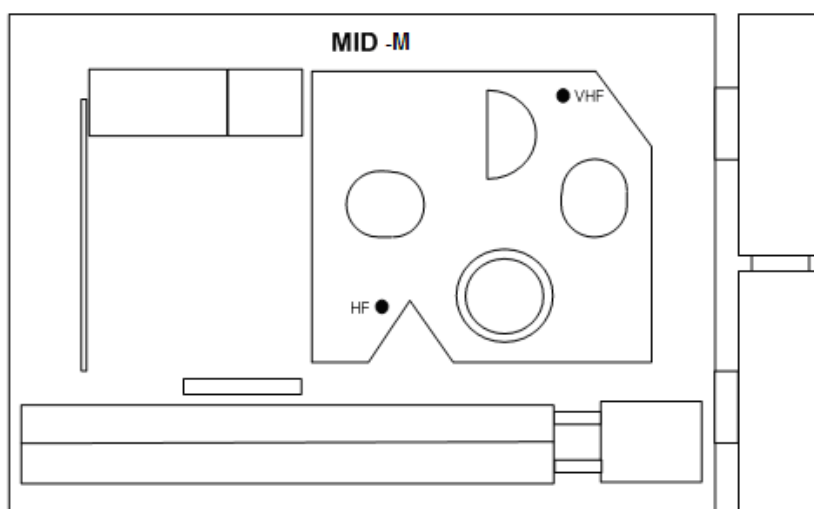
Otrzymane charakterystyki szumów otoczenia radiostacji VHF typu TRC 9500 w zakresie częstotliwości 30 MHz ÷ 90 MHz przedstawiono na wykresie - Rys. 10 (Zał. 1), a charakterystyki szumów otoczenia radiostacji HV typu TRC 3630 w zakresie częstotliwości 1,5 MHz ÷ 30 MHz przedstawiono na wykresie - Rys. 12 (Zał. 2).

W obydwu przypadkach, poziom szumów tła był niższy od dopuszczalnego poziomu zakłóceń (odpowiednio  $-113$  dBm i  $-126$  dBm) o prawie 10 dBm.

W dalszej kolejności wykonywano sukcesywnie badania wpływu zakłóceń poszczególnych urządzeń na spektrum częstotliwości sygnału antenowego poszczególnych radiostacji. W tym celu załączano po kolei urządzenia elektryczne, rejestrując spektra zakłóceń w pasmach odpowiednio:  $30$  MHz ÷  $90$  MHz (VHF) i  $1,5$  MHz ÷  $30$  MHz (HF).

Przykładowe spektra zakłóceń od pracującego układu łączności wewnętrznej SOTAS i od pracy pulpitu sterowania osprzętem wraz z rozdzielaczami hydrauliki przedstawiono na wykresach - Rys. 11 (Zał. 1) i Rys. 13 (Zał. 2). Na wykresie (rys. 11) można zauważyć znaczne przekroczenie dopuszczalnego poziomu zakłóceń o wartości  $-113$  dBm. Próby transmisji cyfrowej sygnałów binarnych w wybranych prążkach częstotliwości, gdzie zakłócenia przekroczyły dopuszczalny poziom, (przy pracujących urządzeniach wyrobu), wykazywały przekłamania rzędu  $10\%$  ÷  $15\%$  (dopuszczalny poziom przekłamań wynosił  $5\%$ ). Wynik badań był więc negatywny.

W trakcie badań sprawdzono i wykonano wiele poprawek instalacji elektrycznej oraz wprowadzono doraźnie wiele zmian, których efektem było uzyskanie pozytywnych wyników badań transmisji cyfrowej (dopuszczalny poziom przekłamań był mniejszy od  $5\%$ ) dla dowolnie pracującego urządzenia elektrycznego.



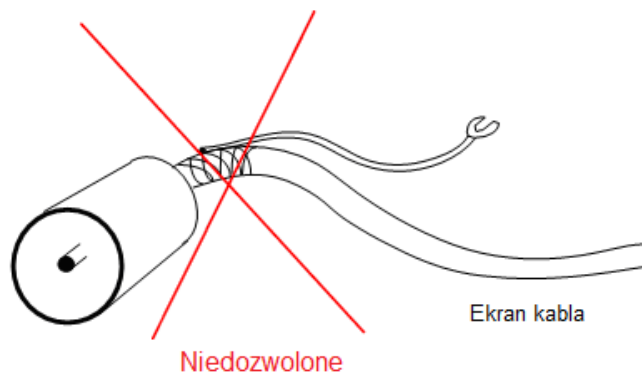
Rys. 2. Rozmieszczenie anten radiowych na korpusie pojazdu MID-M

#### 4. ŹRÓDŁA I PRZYCZYNY ZWIĘKSZONEGO POZIOMU ZAKŁÓCEŃ OD PRACUJĄCYCH URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH POJAZDU

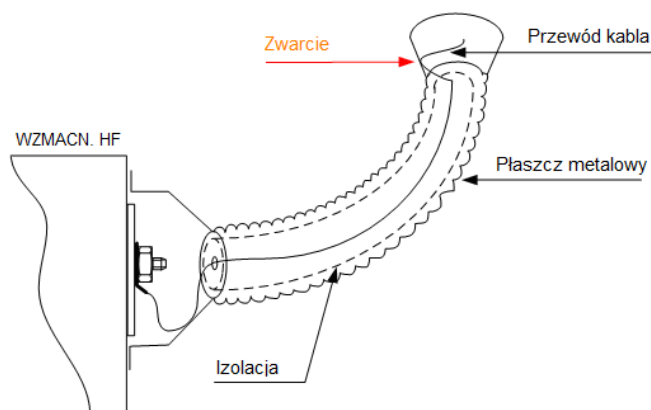
Można wyróżnić następujące źródła i przyczyny zwiększonego poziomu zakłóceń:

- anteny VHF i HF (Rys. 2) połączone są z radiostacjami koncentrycznymi kablami ekranowanymi. Podłączenie zakończenia wyprowadzenia ekranu kabla antenowego do korpusu wyrobu (Rys. 3), powodowało przenikanie zakłóceń do anteny od wszystkich pracujących urządzeń. Uziemienie zakończenia ekranu kabla przy antenie zlikwidowano. Początkowy brak komunikacji pomiędzy radiostacją HF a jej wzmacniaczem w paśmie  $1,5$  MHz ÷  $10$  MHz został spowodowany zwarcieniem przewodu antenowego z jego metalową osłoną (Rys. 4). Usunięcie zwarcia przywróciło właściwą pracę radiostacji HF;

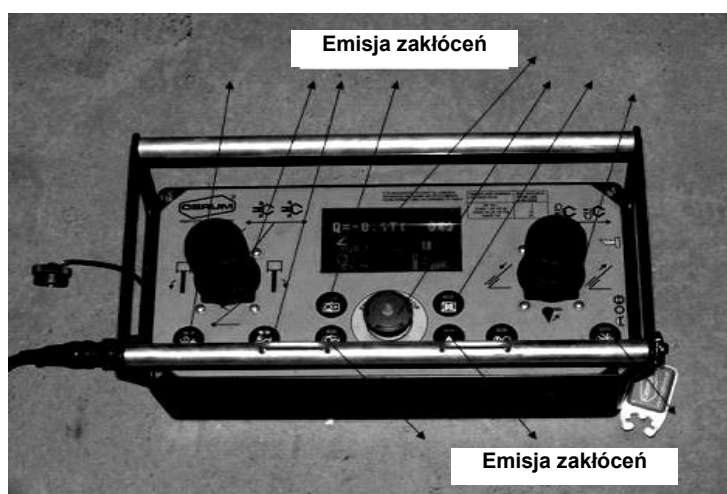
- zakłócenia podczas pracy osprzętem inżynierskim wyrobu za pomocą pulpitu sterowania (patrz wykresy Rys. 11 i Rys. 13), zostały spowodowane niewłaściwym ekranowaniem przycisków i dźwigni manipulatora (joysticków), znajdujących się na płycie czołowej pulpitu (Rys. 5) oraz brakiem uszczelki elektromagnetycznej pomiędzy pokrywą a obudową pulpitu.



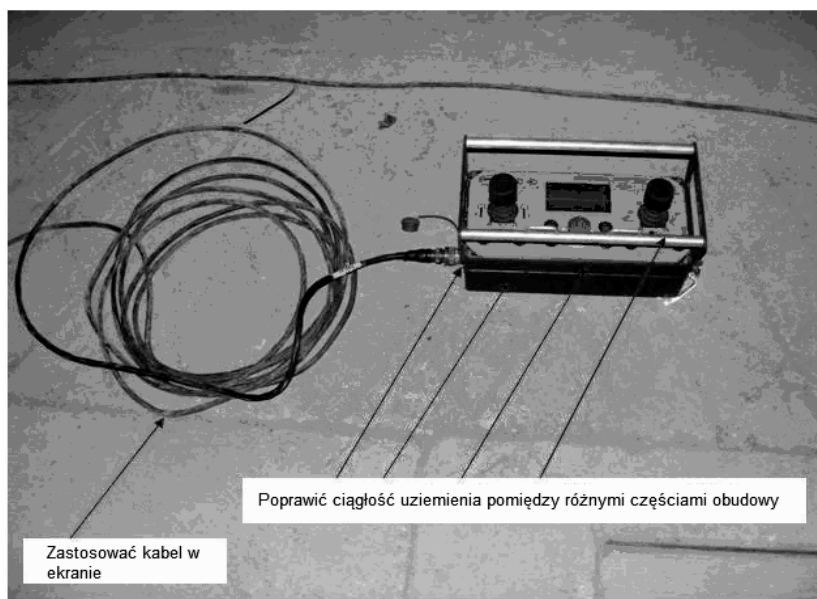
Rys. 3. Niedozwolony sposób wyprowadzenia ekranu kabla koncentrycznego



Rys. 4. Zwarcie w kablu wzmacniacza radiostacji HF

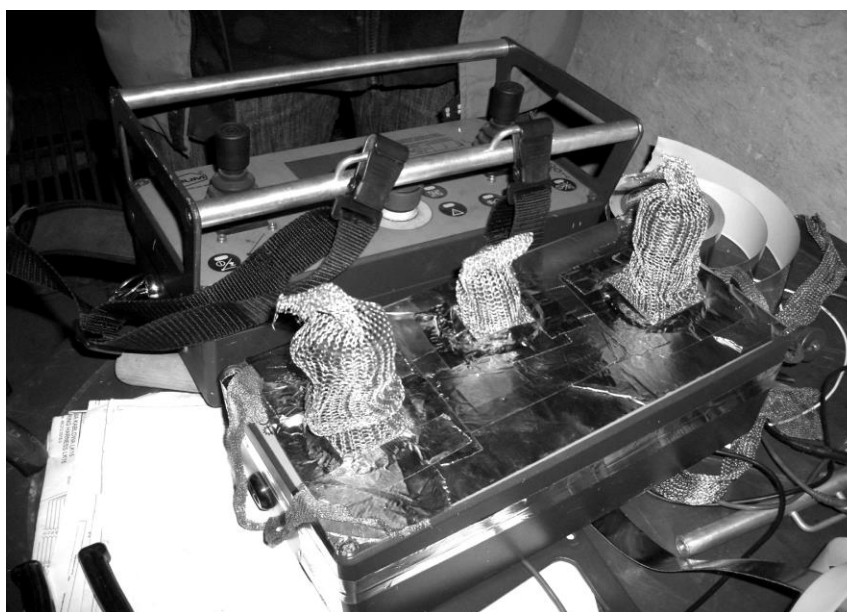


Rys. 5. Widok pulpitu sterowania



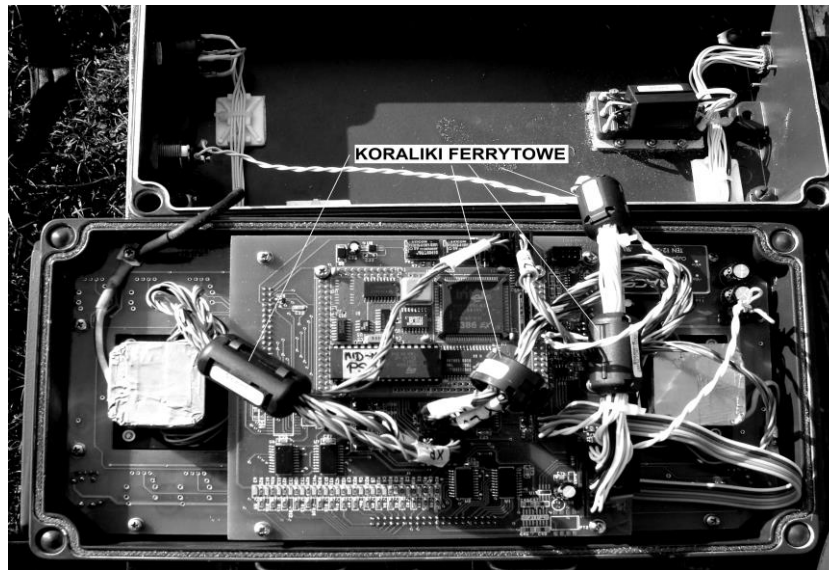
**Rys. 6. Przyczyny zakłóceń EMC z pulpitu sterowania**

Zakłócenia zostały ograniczone do wymaganego poziomu, po poprawie ciągłości uziemienia obudowy, wprowadzeniu w pokrywie uszczelki elektromagnetycznej oraz po zmianie kabla łączącego pulpit ze sterownikiem na ekranowany (Rys. 6). Ponadto joysticki oraz przycisk bezpieczeństwa zekranowano siatką miedzianą (Rys. 7).



**Rys. 7. Zaekranowane joysticki i wyłącznik bezpieczeństwa**

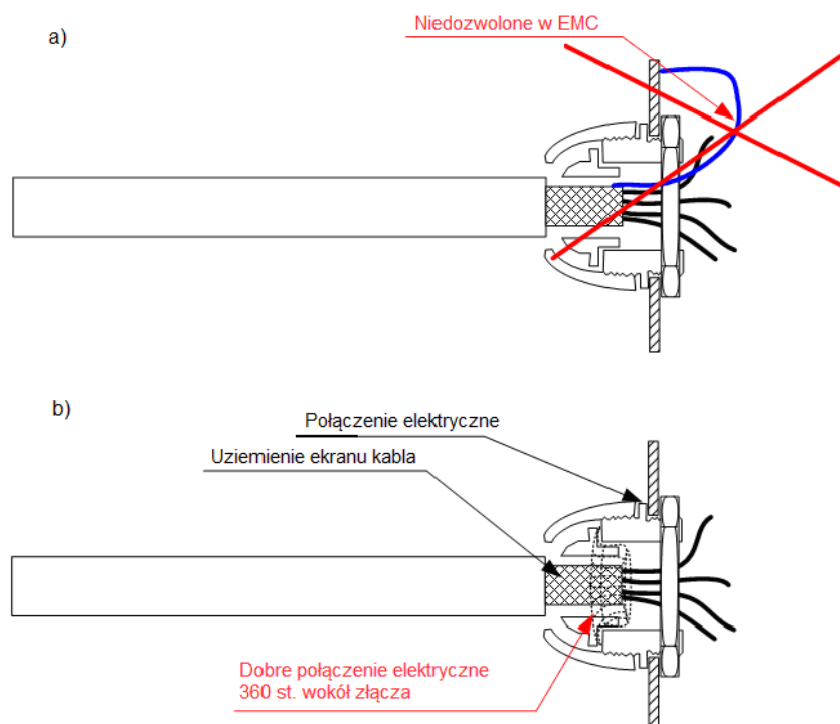
Dla zwiększenia bezpieczeństwa, na przewodach biegnących do złączy założono koraliki ferrytowe, obejmujące te przewody (Rys. 8).



Rys. 8. Koralki ferrytowe na przewodach sygnałowych pulpitu sterowania

Zakłócenia spowodowane pracą wentylatora agregatu prądotwórczego APU ograniczono, wprowadzając na przewodach zasilania wentylatora koralki ferrytowe z nawiniętym jednym zwojem (Rys. 9) o danych: producent - WURTH,  $Z = 145 \Omega$  (dla 1 zwoju) przy  $f = 25 \text{ MHz}$ ,  $Z = 264 \Omega$  (dla 1 zwoju) przy  $f = 100 \text{ MHz}$ .

Skrzynkę sygnałową zamontowaną w podstawie żurawia należało dobrze uziemić do płyty żurawia. Ponadto należało poprawić połączenie ekranu kabli z metalowymi dławnicami wkręconymi do skrzynki (Rys. 9).



Rys. 9. Błędny (a) i prawidłowy (b) sposób podłączenia ekranu do dławnicy

Po wprowadzeniu wymienionych poprawek, wykonano testy transmisji cyfrowej w różnych pasmach częstotliwości dla radiostacji VHF i HF. Błędy transmisji cyfrowego pliku binarnego w żadnym z testów nie przekroczyły 5 %. Wynik testów był pozytywny.

## 5. PODSUMOWANIE

W opracowaniu przedstawiono wybrane przypadki niewłaściwego montażu urządzeń elektrycznych bądź okablowania, które mają duży wpływ na powstawanie przekłamań podczas transmisji cyfrowej urządzeń radiowych.

Przeprowadzone badania i uzyskane wyniki pokazują, jak ważne jest właściwe zaprojektowanie instalacji elektrycznej pojazdu, ze względu na kompatybilność elektromagnetyczną współpracujących urządzeń, a szczególnie radiostacji.

Uzyskane wyniki badań można wykorzystać w projektowaniu instalacji elektrycznej innych nowych wyrobów, jak np. mostu MG-20. Pozwoli to uniknąć poważnych błędów konstrukcyjnych i przyczyni się do obniżenia kosztów badań oraz systematycznego wprowadzania poprawek konstrukcyjnych do prototypowych wyrobów.

## 6. LITERATURA

- [1] Norma obronna NO-06-A200: Kompatybilność elektromagnetyczna „Dopuszczalne poziomy emisji bocznych i odporność na narażenia elektromagnetyczne”, Warszawa 1998.
- [2] Kompatybilność elektromagnetyczna, [http://www.dipol.com.pl/kompatybilnosc\\_elektromagnetyczna\\_bib53.htm](http://www.dipol.com.pl/kompatybilnosc_elektromagnetyczna_bib53.htm)
- [3] Uszczelnianie elektromagnetyczne i kompatybilność elektromagnetyczna oraz elementy indukcyjne, <http://www.abcpol.pl/pol/index.html>
- [4] Protokół firm THALES nr DLJ/TCF/UCT/DOD/SCT/aa,08/0355/COM, Revision D, 2008.
- [5] Acceptance test report Vehicle with one HF and one VHF radio sets, Armored Engineering Vehicle (MID-M), 2008.

## 7. ZAŁĄCZNIKI

**Załącznik 1:** Wykresy spektrum zakłóceń zmierzone w antenie radiostacji VHF pojazdu.

**Załącznik 2:** Wykresy spektrum zakłóceń zmierzone w antenie radiostacji HF pojazdu.

## **TESTING OF THE EFFECT OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCES PRODUCED BY THE ELECTRIC EQUIPMENT IN MID-M VEHICLE**

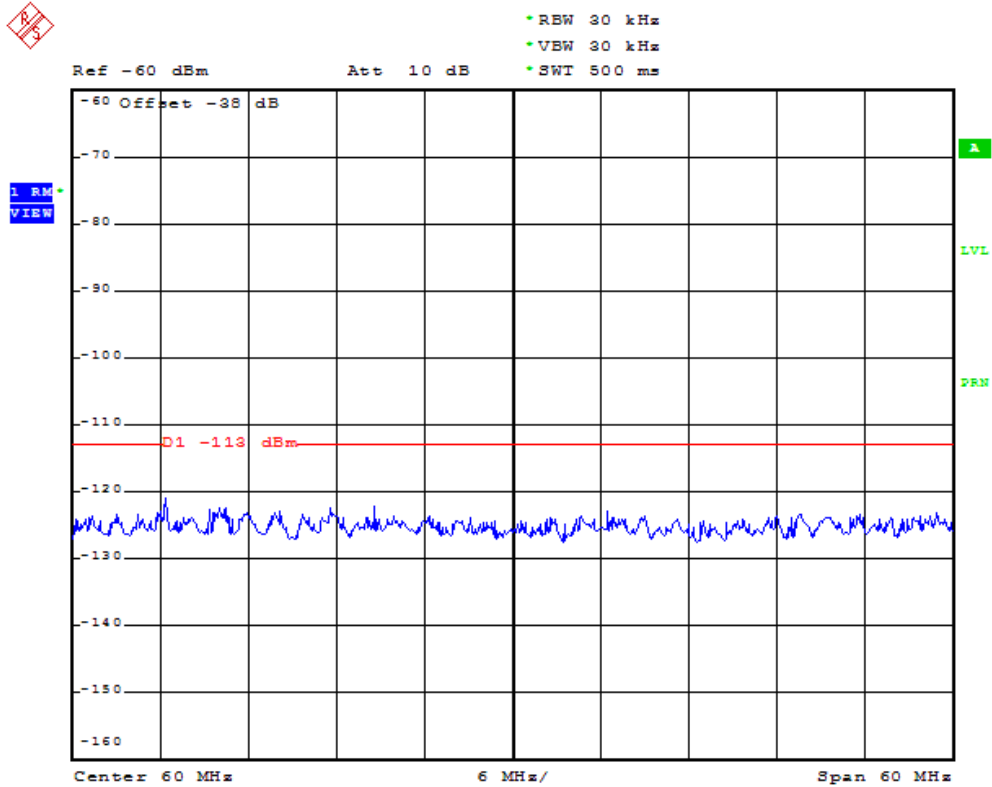
**Abstract:** The article presents the requirements of proper digital transmission of modern radio systems while working in the presence of other interfering electric devices. The road engineering vehicle MID-M was used as an example for examination in a non-interference chamber.

**Key words:** tracking vehicle, radio station, spectrum of noise.

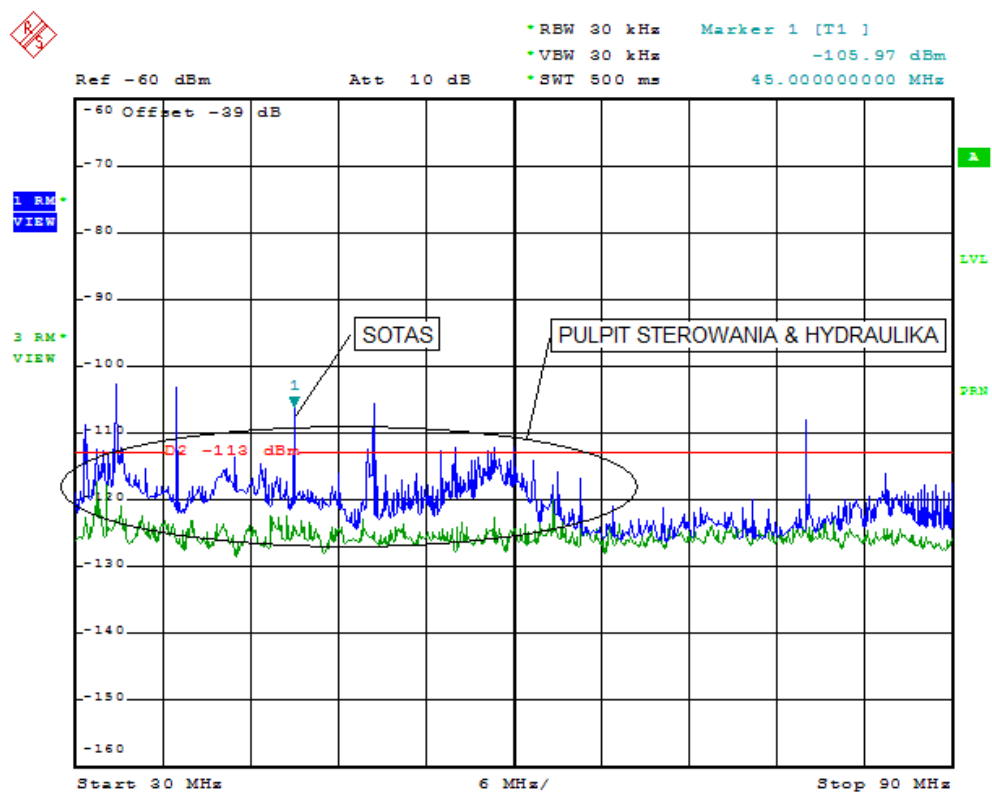
Recenzent: Dr inż. Jacek Spalek



**Załącznik 1: Wykresy spektrum zakłóceń zmierzone w antenie radiostacji VHF pojazdu.**

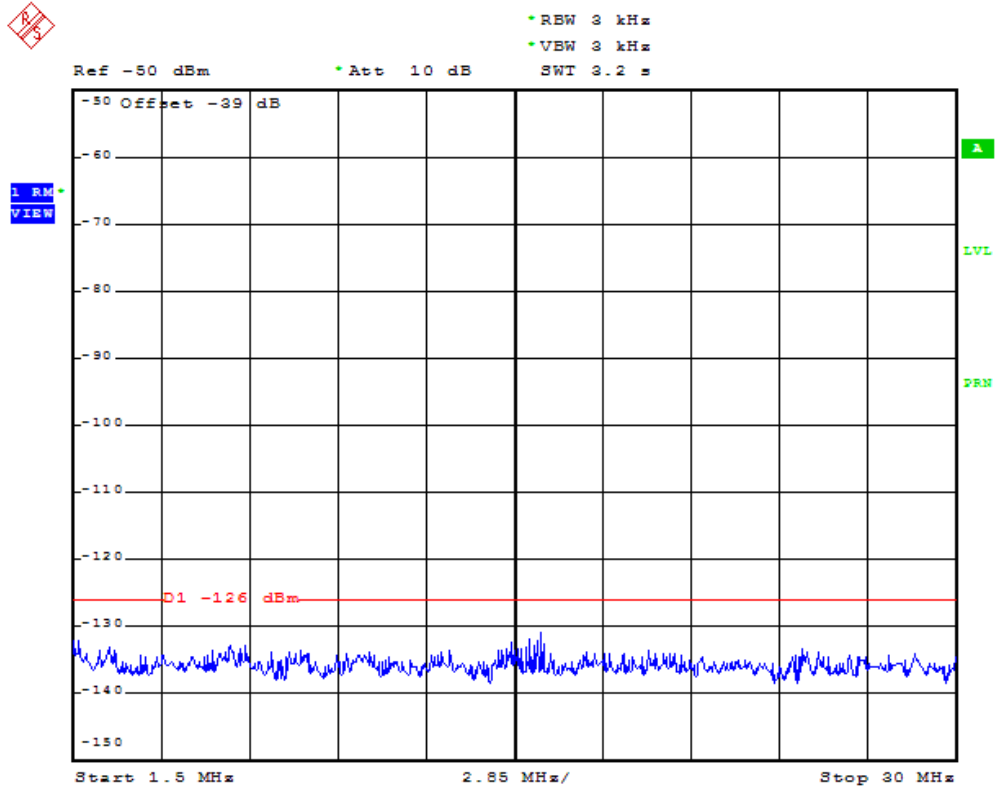


**Rys. 10. Szum otoczenia radiostacji VHF w paśmie 30 MHz ÷ 90 MHz**

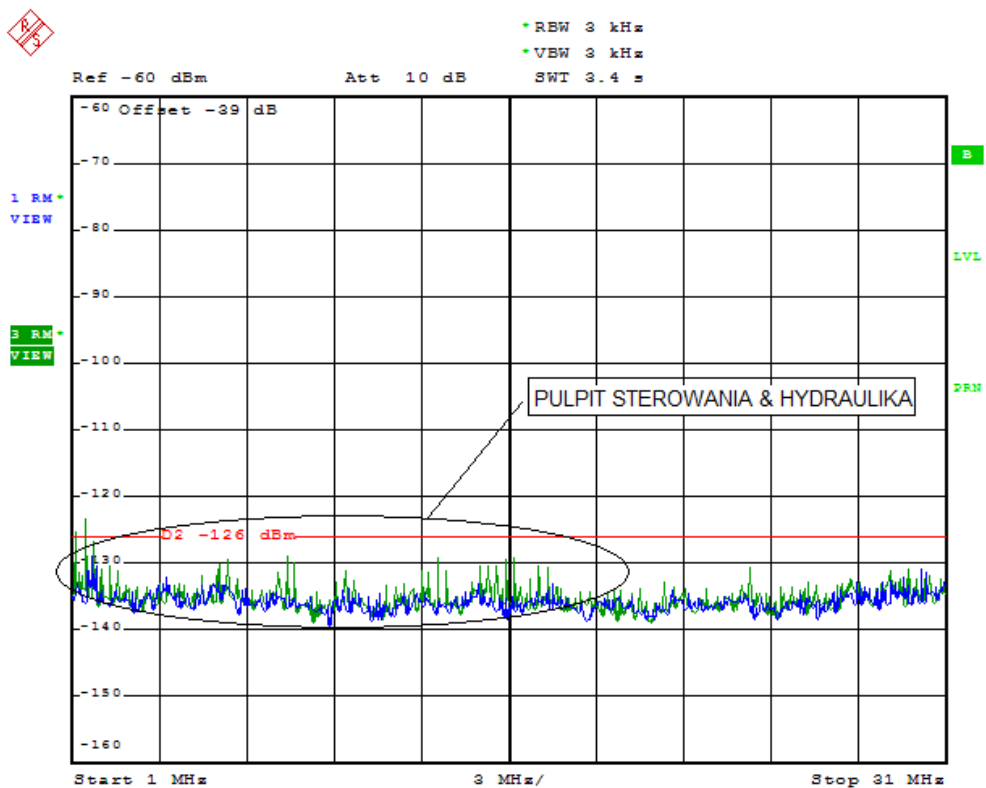


**Rys. 11. Spektrum częstotliwości zakłóceń radiostacji VHF generowanych przez załączane i pracujące urządzenia elektryczne pojazdu (30 MHz ÷ 88MHz)**

Załącznik 2: Wykresy spektrum zakłóceń zmierzone w antenie radiostacji HF pojazdu.



Rys. 12. Szum otoczenia radiostacji HF w paśmie 1,5 MHz ÷ 30 MHz



Rys. 13. Spektrum częstotliwości zakłóceń radiostacji HF generowanych przez załączane i pracujące urządzenia elektryczne pojazdu (1,5MHz ÷ 30MHz)