

Andrzej Białoń, Mieczysław Laskowski

# Zaburzenia radioelektryczne i impulsowe w sieci niskiego napięcia zasilającej obiekty kolejowe

*W artykule przedstawiono problematykę zaburzeń radioelektrycznych i impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych, nazywanych potocznie przepięciami, które występują w sieci energetycznej 230 V 50 Hz zasilającej stacjonarne obiekty kolejowe, takie jak na przykład nastawnie. Wykonywano pomiary zaburzeń w sieci trójfazowej wytypowanych wcześniej obiektów kolejowych. Przedstawiono również wiele propozycji dla producentów urządzeń sterowania ruchem kolejowym i urządzeń łączności.*

## Wprowadzenie

Zapewnienie poprawnej i niezawodnej pracy urządzeń elektrycznych i elektronicznych pracujących na terenie kolejowym uzależnione jest w dużej mierze od poziomu sygnałów niepożądanych występujących w ich otoczeniu, w tym również w sieci zasilania. Niniejszy artykuł jest próbą przedstawienia stanu kompatybilności elektromagnetycznej w energetycznej sieci zasilania prądu przemiennego na terenie kolejowym. Opiera się on na wynikach kompleksowych badań przeprowadzonych w latach 1995–1997 w Centrum Naukowo-Technicznym Kolejnictwa [1]. Pomimo upływu czasu uzyskane wtedy wyniki nie utraciły swojej aktualności, ponieważ w minionym okresie nie przeprowadzono innych tego typu badań, a w wielu obiektach kolejowych przybyło nowego sprzętu elektrycznego i elektronicznego, zasilanego z sieci energetycznej, który może stać się potencjalnym źródłem zaburzeń elektromagnetycznych. Pewne wycinkowe prace związane z omawianą tematyką dotyczyły sytuacji, w których należało ustalić przyczyny często pojawiających się awarii i opracować środki zaradcze.

Znajomość występujących poziomów sygnałów niepożądanych umożliwia zastosowanie odpowiednich środków zaradczych przy konstruowaniu lub projektowaniu systemów i urządzeń już w fazie wstępnej. Przedstawione rezultaty prowadzonych badań dotyczą poziomów zaburzeń radioelektrycznych w paśmie od 0,15 MHz do 30 MHz oraz amplitud i częstotliwości występowania przepięć w sieci niskiego napięcia zasilającej wytypowane obiekty kolejowe. Wybór obiektów do badań nie miał charakteru przypadkowego.

Wiadomo, że przebieg napięcia przemiennego w sieciach energetycznych niskiego napięcia, jedynie w przybliżeniu można uznać za sinusoidalny. Współczynnik zniekształceń nieliniowych (współczynnik zawartości harmonicznych), w większości przypadków, nie ma jednak bardzo istotnego znaczenia dla potrzeb odbiorców tej energii. Dużo groźniejsze, z punktu widzenia bezpieczeństwa i prawidłowego funkcjonowania urządzeń, są zaburzenia elektromagnetyczne o dużej energii (przepięcia), które ma-

ją bardzo zróżnicowany charakter. Przyczynami występowania przepięć, zaników i fluktuacji napięcia w sieci zasilania są zjawiska naturalne, jak również wynikające z działalności człowieka. W szczególności, głównymi przyczynami przepięć w sieci energetycznej mogą być:

- dołączanie i odłączanie obciążeń (zwłaszcza o charakterze reaktancyjnym),
- komutacja w obwodach elektrycznych (zwłaszcza o dużym poborze mocy),
- wyładowania atmosferyczne oraz pewne warunki pogodowe mające wpływ na jakość przesyłanej energii elektrycznej,
- stan linii przesyłowej i sposób rozdziału energii do poszczególnych odbiorców.

Do zapewnienia poprawnej pracy urządzeń kolejowych zasilanych z sieci energetycznej, niezbędne jest zagwarantowanie dostaw energii elektrycznej na odpowiednim poziomie jakościowym. Norma [8] określa parametry napięciowe publicznych sieci zasilających nisko- (do 1 kV wartości skutecznej) oraz średnionapięciowych (od 1 kV do 35 kV wartości skutecznej).

W normie tej, między innymi określone są:

- zakres dopuszczalnych zmian częstotliwości dla sieci zsynchronizowanej z innymi systemami 50 Hz  $\pm 1\%$  (tj. 49,5–50,5 Hz) w ciągu 95% tygodnia oraz 50 Hz  $+4\%/-6\%$  (tj. 47–52 Hz) w ciągu 100% tygodnia;
- napięcie nominalne o wartości  $U_n$  230 V;
- dopuszczalne zmiany napięcia nominalnego  $U_n \pm 10\%$  (obsługiwane w ciągu dowolnego okresu tygodnia w czasie 95% z 10 min);
- inne parametry takie, jak: krótkie i długie przerwy, przepięcia, niezrównoważenie między fazami, a także zawartość harmonicznych.

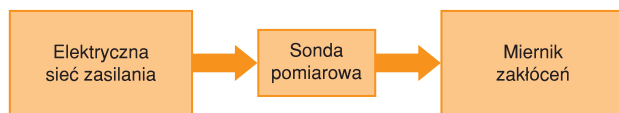
Tematyka ta omawiana jest także w normie [9], w której określono poziom częstotliwości harmonicznych i interharmonicznych, fluktuacje napięcia, uskoki i przerwy, a także poziomy kompatybilności dla przewodzonych niskoczęstotliwościowych zaburzeń w energetycznych systemach zasilających przemysłowych i publicznych.

## Metodyka wykonywania badań poziomów zaburzeń radioelektrycznych i impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych o dużej energii

### Metodyka wykonywania pomiarów poziomów zaburzeń radioelektrycznych

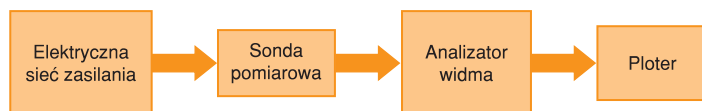
Pomiary składowej niesymetrycznej napięcia zaburzeń radioelektrycznych wykonuje się zgodnie z zaleceniem normy [5] (załącznik E punkt E4) w zakresie częstotliwości od 0,15 MHz do 30 MHz za pomocą sondy pomiarowej (np. typ SLMZ – 150), stanowiącej wyposażenie kompletu pomocniczego do pomiaru zaburzeń ra-

dielektrycznych oraz miernika zaburzeń radioelektrycznych lub analizatora widma. Odczyt wyników pomiaru może być bezpośredni, co ilustruje rysunek 1.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego do bezpośredniego pomiaru zakłóceń radioelektrycznych

Stosując analizator widma, wynik pomiaru należy zarejestrować. Do tego celu można zastosować ploter graficzny. Schemat układu pomiarowego pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego do pomiaru zakłóceń radioelektrycznych analizatorem widma

W razie potrzeby między sondę pomiarową a mierniki zakłóceń lub analizator widma włączany był tłumik o wymaganej wartości tłumienia. Pomiaru zaburzeń radioelektrycznych wykonywane były głównie przy użyciu analizatora widma, a tylko w niektórych przypadkach miernikiem zakłóceń radioelektrycznych.

Przy użyciu analizatora widma, zawsze na wstępie pomiarów, rejestrowana była charakterystyka widma zaburzeń w paśmie 0–30 MHz przy załączonym detektorze wartości szczytowej. Pozwalało to na szybkie poznanie przebiegu charakterystyki zaburzeń w funkcji częstotliwości, ponieważ czas pomiaru w tym przypadku wynosi tylko 10 s. Zgodnie z zaleceniami normy [5] oraz dokumentów CISPR, na których bazuje ta norma, pomiary zaburzeń radioelektrycznych analizatorem widma należy wykonywać przy załączonym detektorze quasi-szczytowym (oraz przy wymaganej częstotliwości pośredniej), co jednak bardzo wydłuża czas wykonywania pomiaru (np. dla podzakresu 150 kHz–3 MHz czas pomiaru wynosi 1000 s). Z przebiegu wstępnie zdjętej charakterystyki można zorientować się, w jakim paśmie należy wykonać pomiary używając detektora quasi-szczytowego.

Na załączonych charakterystykach uwzględniono tłumienie wnoszone przez następujące elementy układu pomiarowego:

- tłumik zewnętrzny włączany doraźnie (np. 20 dB),
- tłumienie wnoszone przez sondę pomiarową –21 dB.

## Metodyka pomiaru amplitudy i częstotliwości występowania zaburzeń elektromagnetycznych o dużej energii

Pomiary amplitudy i częstotliwości występowania zaburzeń elektromagnetycznych objawiających się w formie przebiegów wymagają zastosowania specjalistycznej aparatury. Oscylograficzne metody pomiaru przebiegu wartości chwilowych przebiegów są bardzo trudne do przeprowadzenia i kosztowne, a jednocześnie pod względem zakresu, czasokresu obserwacji, liczebności bardzo ograniczone. Nie pozwalają na określenie rozkładu prawdopodobieństwa występowania wartości szczytowych przebiegów. Są one bardzo przydatne w specyficznych warunkach, tam gdzie potrzeb-

na jest pełna informacja o przyczynach wywołujących przebiegi, np. w trakcie włączania i wyłączania poszczególnych obwodów.

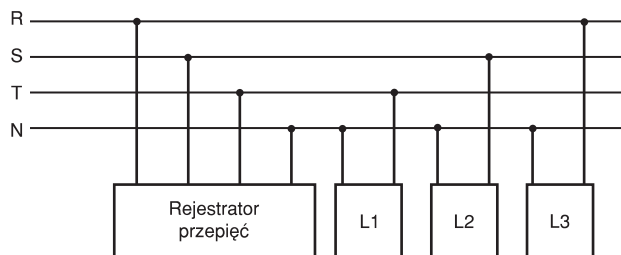
Informacje o rozkładzie amplitud przebiegów, częstotliwości występowania można uzyskać stosując analogowe rejestratory z wbudowanym przetwornikiem przebiegów, który zamienia szybkozmienny przebieg napięcia na wejściu, na sygnał o wartości proporcjonalnej do wartości szczytowej napięcia wejściowego. Czas trwania przetworzonego impulsu musi być na tyle długi, aby był zarejestrowany przez kompensacyjny rejestrator napięcia stałego.

Do rejestracji przebiegów występujących w trójfazowej sieci zasilania  $3 \times 380 \text{ V } 50 \text{ Hz}$ , jednofazowej sieci zasilania  $220 \text{ V } 50 \text{ Hz}$  służył trójkanałowy rejestrator przebiegów. Zbudowany on jest z trójkanałowego rejestratora typu KR5A firmy Lumel do którego został dobudowany trójkanałowy przetwornik przebiegów. Umożliwiał on zarejestrowanie przebiegów o czasie trwania  $1,2/50 \mu\text{s}$  na taśmie papierowej bez możliwości wyróżniania biegunowości przebiegów. Dokonywano również rejestracji występujących przebiegów w trójfazowej sieci zasilania między każdym przewodem fazowym a przewodem neutralnym w układzie niesymetrycznym. Przetwornik umożliwia rejestrację przebiegów osobno w każdej fazie.

Pomiary realizowane były również za pomocą liczników przebiegów typu LP4/LCD. Licznik przebiegów może zliczać impulsy dodatnie i ujemne. Napięcie znamionowe wynosi  $400 \text{ V } 50 \text{ Hz}$  lub  $\pm 200 \text{ V}$  napięcia stałego

Do badań użyto również oscyloskopu cyfrowego LS-140 firmy LeCroy. Jest to czterokanałowy oscyloskop umożliwiający rejestrację przebiegów w paśmie częstotliwości do 100 MHz. Najmniejsza podstawa czasu 500 ps/dz. Urządzenie ma wewnętrzną pamięć 170 MB. Dzięki temu jest możliwość rejestrowania przebiegów w pamięci w celu późniejszego odtworzenia i analizy na dowolnym komputerze.

W obiektach stałych takich jak nastawnie, gdzie doprowadzona jest sieć elektroenergetyczna trójfazowa, wykonywano pomiary na przyłączy w obwodach wszystkich faz. Ze względu na różnice w progach zliczania przebiegów między rejestratorem przebiegów a licznikiem przebiegów, w wytypowanych obiektach załączono równolegle do wejść rejestratora przebiegów liczniki przebiegów. Schemat blokowy układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat blokowy układu pomiarowego zaburzeń impulsowych o dużej energii w obiektach zasilanych z trójfazowej sieci elektroenergetycznej

## Wyniki pomiarów dla obiektów stacyjnych (nastawni)

### Wybór obiektów do badań

Przed rozpoczęciem badań CNTK zwróciło się do większości ówczesnych Zarządów Automatyki i Telekomunikacji Dyrekcji Okręgowych z prośbą o wytypowanie obiektów stacyjnych, w których miały miejsce awarie urządzeń elektronicznych o przyczynach trudnych do ustalenia. Otrzymało listę obiektów, które znajdowa-

ty się na terenie byłych Dyrekcji Okręgowych w Gdańsku, Krakowie, Lublinie, Warszawie, Wrocławiu. Po wstępnym rozpoznaniu przeprowadzono wizję lokalną w wytypowanych obiektach przed rozpoczęciem badań. W wyniku analiz wytypowano do badań obiekty stałe typu nastawnie (14) i SSP (samoczynną sygnalizację przejazdową – 8 obiektów).

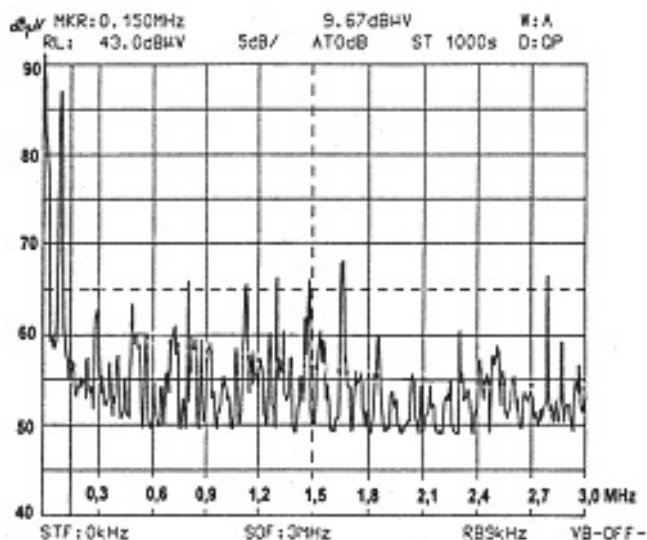
Większość badań wykonano w okresie, kiedy nie było wyładowań atmosferycznych, zatem wyniki odzwierciedlają przede wszystkim stan napięcia komutacyjnych w energetycznej sieci zasilania.

## Pomiary zaburzeń radioelektrycznych w energetycznej sieci zasilania

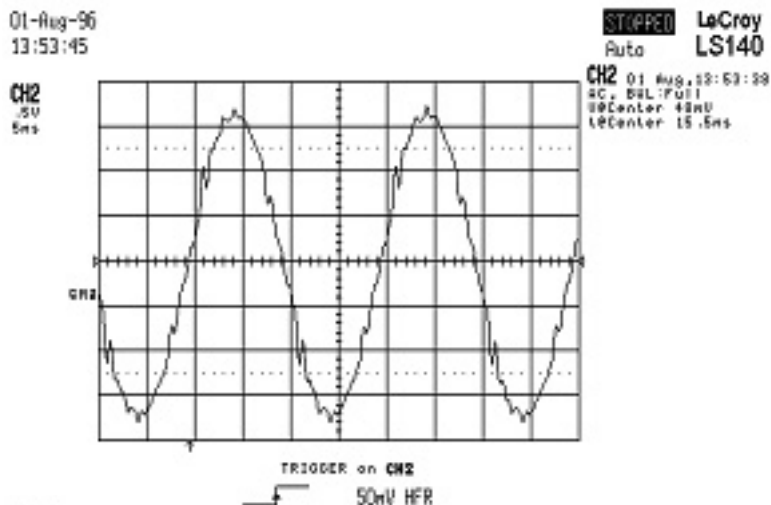
Wyniki wykonanych pomiarów odzwierciedlają stan emisyjności zaburzeń radioelektrycznych w danym momencie, w którym wykonywany był pomiar. Badania były prowadzone w określonych porach doby. Przyjęto założenie, że najwięcej urządzeń pracuje na pierwszej zmianie, tj. w godzinach 7–15. Wyniki pomiarów przedstawiono w postaci wykresów (analyzer widma – rysunki 4–6) i tabel, jeżeli pomiar wykonywany był za pomocą miernika zakłóceń radioelektrycznych.

W tabelach 1 i 2 przedstawiono w formie liczbowej wyniki z pomiarów, przeprowadzonych w miejscowościach: Biadoliny i Kolbuszowa. Pomiary zaburzeń radioelektrycznych wykonano w nastawniach (na przyłączy) energetycznej sieci zasilania  $3 \times 380 \text{ V } 50 \text{ Hz}$ .

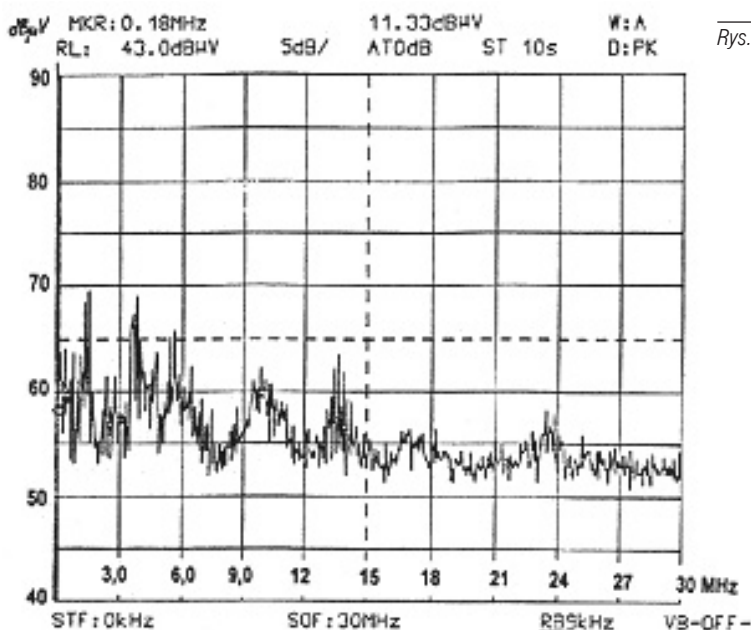
Pomiary były wykonywane w godzinach przedpołudniowych, ale wtedy nie pracowały żadne istotne urządzenia, które wprowadzałyby zaburzenia radioelektryczne w zarejestrowanych poziomach. Zarejestrowane zaburzenia pochodzą zatem od źródeł zlokalizowanych nie na terenie kolejowym.



Rys. 5. Przebieg charakterystyki poziomu zaburzeń radioelektrycznych na terenie nastawni w Mościcach. Faza R. Charakterystyka widma zaburzeń w paśmie 0,15–3 MHz



Rys. 6. Przykładowy przebieg napięcia sieci zasilania 220 V 50 Hz na terenie nastawni w Mościcach



Rys. 4. Przebieg charakterystyki poziomu zaburzeń radioelektrycznych na terenie nastawni w Mościcach. Faza R. Charakterystyka widma zaburzeń w paśmie 0–30 MHz

## Pomiary impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych o dużej energii w energetycznej sieci zasilającej

Do pomiarów użyto trójkanałowego rejestratora napięć typ KR 5A oraz jednofazowego licznika napięć typ LP 4/LCD. Do oceny poziomów impulsowych zaburzeń oraz liczby impulsów zaburzeń w określonym czasie, w sieci prądu przemiennego 220 V 50 Hz zostały użyte liczniki napięć. Liczniki te mierzą amplitudę napięcia. Przyjęto, że dopuszczalne wartości napięcia sieci powinny zawierać się w zakresie  $\pm 10\%$  wartości nominalnej, co dla wartości skutecznej oznacza 198–242 V, zaś dla wartości szczytowej 280–342 V. Wszystkie wyniki uzyskane z rejestratorów napięć dotyczą wartości amplitud i dlatego należy je porównywać z granicami 280–342 V.

Z punktu widzenia ochrony przeciwprzepięciowej urządzeń elektronicznych zasilanych z sieci energe-

## Wyniki pomiarów napięcia zakłóceń radioelektrycznych w miejscowości Białdolino, 22.08.1996 r.

Godz.		F [MHz]									
		0,15	0,25	0,50	1,00	1,50	3,00	6,00	10,00	15,00	25,00
		Napięcia zakłóceń $U_z$ [dB] mierzone miernikiem									
11:00	Faza R	67,8	61,8	59,8	50,8	37,8	41,8	41,8	37,8	30,8	26,8
11:20	Faza R	67,8	60,8	56,8	47,8	39,8	43,8	41,8	37,8	30,8	24,8
11:35	Faza R	67,8	61,8	57,8	47,8	38,8	45,8	41,8	37,8	31,8	25,6
11:40	Faza S	60,8	52,8	49,8	48,8	36,8	37,8	34,8	25,8	23,8	24,8
11:55	Faza S	65,8	53,8	50,8	47,8	35,8	36,8	33,8	23,8	22,8	23,8
12:10	Faza S	65,8	55,8	51,8	47,8	37,8	39,8	33,8	×	×	22,8
10:00	Faza T	61,8	58,8	51,8	40,8	32,8	34,8	35,8	28,8	24,8	X
10:15	Faza T	57,8	55,8	51,8	40,8	33,8	30,8	37,8	29,8	20,8	26,8
10:30	Faza T	59,8	59,8	48,8	36,8	30,8	28,8	34,8	×	21,8	24,8

× – Wartość niemierzalna, poniżej możliwości odczytu.

Tabela 2

## Wyniki pomiarów napięcia zaburzeń radioelektrycznych w miejscowości Kolbuszowa, 22.08.1996 r.

Godz.		F [MHz]									
		0,15	0,25	0,50	1,00	1,50	3,00	6,00	10,00	15,00	25,00
		Napięcia zakłóceń $U_z$ [dB] mierzone miernikiem									
11:30	Faza R	57,8	45,8	37,8	34,8	32,8	32,8	25,8	×	24,8	×
12:00	Faza R	61,8	48,8	41,8	27,8	26,8	20,8	×	×	×	×
12:40	Faza R	60,8	43,8	38,8	27,8	26,8	×	×	×	×	×
12:50	Faza S	51,8	37,8	31,8	28,8	20,8	×	×	×	×	×
13:40	Faza S	49,8	36,8	30,8	27,8	20,8	×	×	×	×	×
14:10	Faza S	49,8	35,8	31,8	29,8	×	×	×	×	×	×
14:20	Faza T	60,8	38,8	30,8	31,8	29,8	13,8	×	×	×	×
14:35	Faza T	61,8	39,8	30,8	31,8	22,8	×	×	×	×	×
15:00	Faza T	61,8	38,8	30,8	31,8	19,8	×	×	×	×	×

tycznej groźne są przepięcia o amplitudzie przekraczającej 500 V.

### Wyniki pomiarów dla wybranych nastawni spośród wcześniej wytypowanych do badań

#### 1. Boguchwała

Powodem do wykonywania pomiarów było zgłoszenie problemu związanego z wartością napięcia zasilającego oraz z pojawiającymi się przepięciami, pochodzącymi prawdopodobnie od zmiany obciążenia w sieci wiejskiej. Z tej samej sieci zasilany jest również zakład produkcji porcelany. Rejestrator przepięć i liczniki podłączono w pomieszczeniu agregatu nastawni dysponującej.

Zaobserwowano stosunkowo dużą liczbę impulsów przepięć o amplitudzie powyżej 350 V (nawet powyżej 20 impulsów w ciągu jednej doby). Należy zaznaczyć, że największa liczba impulsów uwidacznia się między godziną 5. a 6. rano. Najwięcej ich występuje w fazach R i T, a najmniej w fazie S. Amplituda przepięć osiąga wartość 500 V. Histogramy wyników, dające obrazowy pogląd na otrzymane rezultaty badań, przedstawiają wykresy na rysunku 7.

W okresie obserwacji licznik przepięć zarejestrował 6 przepięć powyżej 500 V.

#### 2. Żurawica

Zasilanie doprowadzone jest z sieci wiejskiej. Zgłaszane problemy były związane z jakością napięcia zasilającego (zmiany ampli-

tudy i przepięcia). Rejestrator przepięć i liczniki podłączono w pomieszczeniu agregatu nastawni dysponującej.

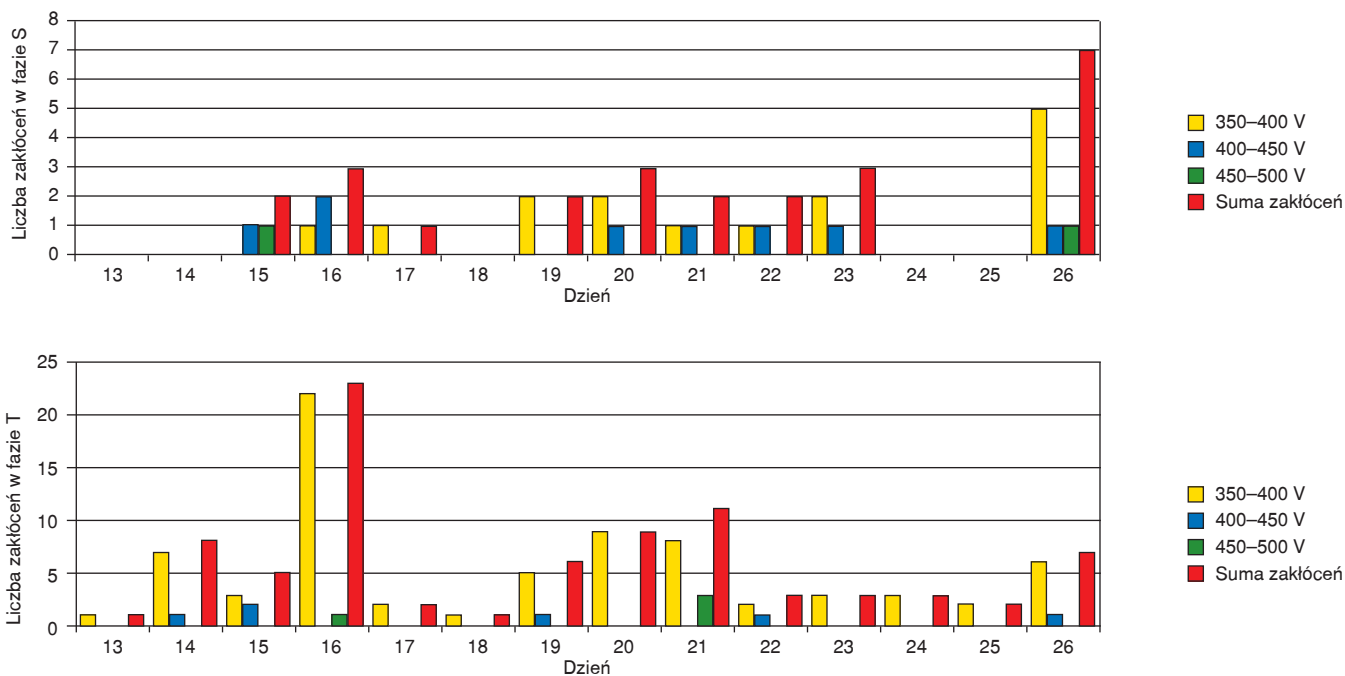
Wystąpiły nieliczne przepięcia (maksymalnie do 10 przepięć w ciągu doby), zazwyczaj nie przekraczające 450 V. Najwięcej przepięć odnotowano w fazie R.

Wyniki pomiarów w poszczególnych fazach, w zależności od dnia, w którym dokonywano rejestracji przedstawione są w postaci histogramów (rys. 8), dające obrazowy pogląd na otrzymane rezultaty badań.

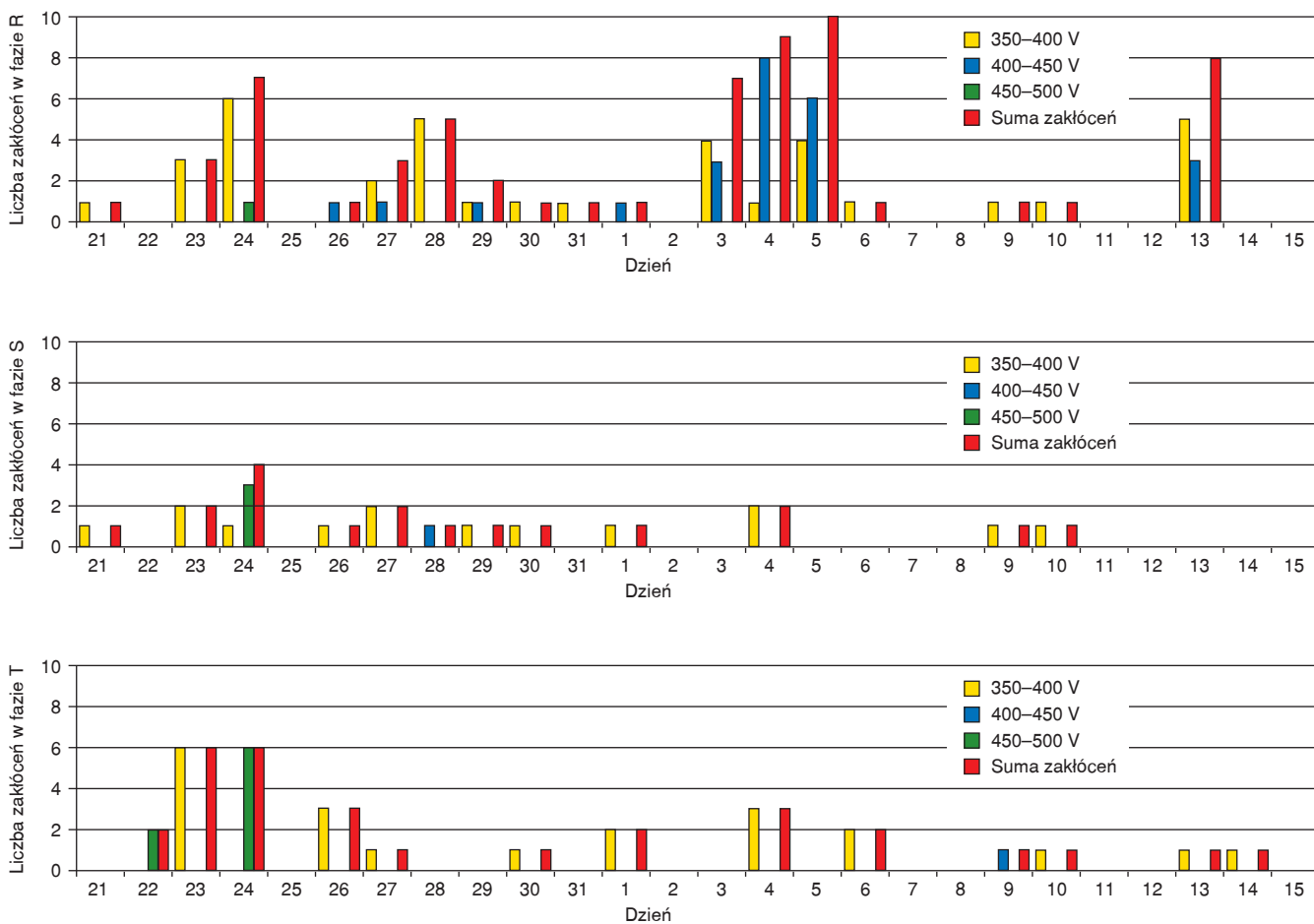
W czasie badań licznikiem przepięć, w fazie S zanotowano 8 przepięć powyżej 500 V, jedno powyżej 1000 V i jedno powyżej 2000 V. W fazie T zanotowano po jednym przepięciu powyżej 500 V, powyżej 1000 V i powyżej 2000 V.

### Analiza wyników pomiarów poziomu zaburzeń radioelektrycznych

Przeprowadzone pomiary analizatorem widma lub miernikiem zakłóceń dotyczą danego momentu i nie odzwierciedlają sytuacji, która może zaistnieć w innej chwili czasu. Na podstawie zdjęć migawkowego można jedynie oceniać sytuację, która miała miejsce w danej chwili. Jeżeli wynik jest negatywny, należy ponownie pomiar, a jeżeli jest on w dalszym ciągu zły, można wnioskować, że sytuacja jest naprawdę niepokojąca. Natomiast, jeżeli powtórny pomiar da wynik pozytywny, należy sytuację badać w dalszym ciągu ponownie. W zależności od wyników, ocena globalna może być pozytywna lub negatywna. Jest to ocena statystyczna i na jej podstawie można wnioskować o prawdopodobieństwie zaistnie-



Rys. 7. Boguchwała. Histogramy wyników pomiarów



Rys. 8. Żurawica. Histogramy wyników pomiarów



nia sytuacji niebezpiecznej. Dlatego wykonywane pomiary były nieraz kilkakrotnie powtarzane.

Pomiary zostały przeprowadzone analizatorem widma zgodnie z wcześniej opisaną metodyką. Najpierw badano charakterystykę widma detektorem wartości szczytowej w całym zakresie widma (dla skrócenia czasu pomiaru), a następnie po analizie, wybierano interesujące zakresy (tam, gdzie poziom zaburzeń był zdecydowanie wyższy) i mierzono przy użyciu detektora quasi-szczytowego.

Postanowiono przedstawić niektóre rezultaty z pomiarów, jak np. z Mościc, ponieważ uzyskane przebiegi charakterystyk poziomu zaburzeń radioelektrycznych przebiegają podobnie jak charakterystyki pokazane na rysunkach 4 i 5. W miejscowości Boguchwała, w nastawni, wystąpiło przekroczenie dopuszczalnego poziomu zakłóceń radioelektrycznych w pewnych wycinkach badanego pasma częstotliwości (1,3 MHz – największe przekroczenie, 2,6 MHz, 15 MHz). Na uwagę zasługuje fakt, że takie same przekroczenia (w tych samych zakresach częstotliwości) mają miejsce we wszystkich trzech fazach R, S, T. Podobne zjawisko obserwujemy na terenie Mościc, przy czym w innych zakresach częstotliwości niż w Boguchwale. Przekroczenia dopuszczalnego poziomu zaburzeń radioelektrycznych w pewnych wycinkach badanego pasma częstotliwości mają miejsce dla częstotliwości ok. 3–6 MHz i 12–15 MHz, dla wszystkich faz. Dla pełniejszego zobrazowania jakości przebiegu napięcia sieci 230 V 50 Hz przeprowadzono badanie oscyloskopem i zarejestrowano przykładowe przebiegi. Na rysunku 6 wyraźnie widać występujące zniekształcenia sinusoidy.

Zupełnie odmienny przebieg mają charakterystyki zdjęte w Żurawicy. Można powiedzieć, że w tej sieci nie występują zaburzenia radioelektryczne o poziomach przekraczających poziom dopuszczalny. Ta pozytywna ocena dotyczy wszystkich trzech faz. Pomiary wykonane miernikiem zakłóceń w nastawniach w miejscowościach Biadoliny i Kolbuszowa wykazały, że poziom zakłóceń jest niższy od poziomu dopuszczalnego, natomiast w Strażowie zanotowano przekroczenia w pasmach 0,5 MHz i 4–11 MHz dla wszystkich trzech faz.

Badania poziomu zaburzeń radioelektrycznych w obwodach zasilania samoczynnej sygnalizacji przejazdowej wykazały, że jest on niższy od poziomu dopuszczalnego.

## **Analiza wyników pomiarów impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych o dużej energii**

W energetycznych sieciach zasilania występują zaburzenia radioelektryczne i zaburzenia o charakterze impulsowym. Należy pamiętać, że każde zaburzenie elektromagnetyczne o dużej energii powoduje powstanie zaburzenia radioelektrycznego o określonym widmie częstotliwości. Szerokość widma uzależniona jest od czasów propagacji impulsów. Poziom zaburzeń radioelektrycznych zależy od mocy źródła, odległości od źródła, tłumienności linii przesyłowej, odległości od linii przesyłowej (dla zaburzeń indukowanych).

W sieci energetycznej niskiego napięcia głównymi przyczynami występowania impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych są:

- dołączanie i odłączanie obciążeń, szczególnie o charakterze indukcyjnym;
- przełączanie obwodów elektrycznych, zwłaszcza o dużym poborze mocy;

- stany przejściowe wynikające z uszkodzeń urządzeń dołączonych do sieci;
- obciążenia o charakterze nieliniowym;
- wyładowania atmosferyczne;
- zła jakość linii energetycznej (niepewne kontakty i łącza).

Najgroźniejsze są przebiegi wywołane bądź przetaczaniem obwodów elektrycznych o dużym poborze mocy, bądź wyładowaniami atmosferycznymi.

W Polsce praktycznie nie prowadzono dotychczas długotrwałych obserwacji przebiegów w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia, szczególnie zasilających obiekty kolejowe [2, 4]. Pewne fragmentaryczne badania przeprowadzono dla typowej wiejskiej sieci odizolowanej od zaburzeń przychodzących z innych miejsc i dla środowiska miejskiego reprezentowanego przez duży blok mieszkalny na terenie Warszawy oraz dla środowiska przemysłowego w postaci zakładu pracy, położonego na obrzeżach Warszawy [2]. Były to pomiary trwające stosunkowo krótko, bo tylko cztery doby dla każdego środowiska. Badania w środowisku wiejskim i w bloku mieszkalnym prowadzono w sposób ciągły z krótkimi przerwami technicznymi w dni robocze, soboty i niedziele. W zakładzie przemysłowym badania wykonywano tylko podczas jednej zmiany.

W wyniku badań stwierdzono, że wartości amplitud i czasów trwania charakteryzują się dużym rozrzutem wartości. Najwięcej impulsów zarejestrowano na terenie wiejskim i miejskim o amplitudach ujemnych i o wartościach około 50 V oraz o amplitudach dodatnich również o amplitudach około 50 V. Natomiast na terenie zakładu przemysłowego najwięcej było impulsów o amplitudach ujemnych oraz o wartościach 150 V oraz 300 V. Impulsów przekraczających amplitudę 400 V nie zanotowano na żadnym z terenów gdzie przeprowadzano badania.

Bardzo charakterystyczną cechą rozkładu amplitud jest to, że są one większe na terenie wiejskim niż miejskim. Liczba wszystkich impulsów jest również większa na terenie wiejskim niż w mieście. Zauważono również, że czasy trwania impulsów są dłuższe na terenie wiejskim niż miejskim, a dla terenu przemysłowego występuje większe zróżnicowanie. Prawdopodobną przyczyną występowania większej liczby impulsów przebiegowych w sieci wiejskiej niż w miejskiej jest małe tłumienie w słabo obciążonej sieci napowietrznej. Obciążona kablowa instalacja podziemna znacznie silniej tłumii przebiegi w stosunku do instalacji napowietrznej i słabo obciążonej, szczególnie w godzinach nocnych.

W literaturze można spotkać dane dotyczące liczby przebiegów pochodzące z Japonii, Kanady, USA i Włoch, ale dotyczą one głównie przebiegów pochodzenia burzowego [3, 4]. Z danych tych wynika, że w dowolnym punkcie sieci (w ciągu roku) średnio rejestrowano przebiegi o następujących amplitudach:

- 300–500 V – kilkadziesiąt przypadków,
- 500–1000 V – kilkanaście przypadków,
- ponad 1000 V – kilka przypadków.

Zdarzały się również przypadki znacznie większego zagrożenia. W obszarze o dużej aktywności burzowej zarejestrowano w czasie dwutygodniowych pomiarów kilkanaście udarów napięciowych o wartościach szczytowych przekraczających 2 kV, z których jeden osiągnął 5,6 kV. Z punktu widzenia ochrony przeciwprzebiegowej urządzeń elektronicznych zasilanych z sieci energetycznej, groźne są przebiegi o amplitudzie przekraczającej 500 V. Jak wynika z przeprowadzonych badań, impulsy o am-

plitudzie powyżej 500 V nie są częstym zjawiskiem, jednakże w kilku przypadkach, jak np. w miejscowości Boguchwała, Straków (jedno przebiegnięcie powyżej 500 V), Kolbuszowa (dwa przebiegnięcia powyżej 500 V) – zanotowano pojedyncze impulsy. Najbardziej niepokojące zjawisko zarejestrowano w przypadku Żurawicy, gdzie notowano impulsy o amplitudzie nawet powyżej 2000 V. W wielu obiektach, w których zainstalowany był licznik bądź rejestrator przebiegnięć, nie zanotowano żadnych przebiegnięć.

W energetyce zasilającej obiekty kolejowe, innym, ważnym problemem jest zjawisko stabilności napięcia sieci. Jak wynika z badań, w niektórych miejscowościach notuje się podwyższenie lub obniżenie napięcia sieci. Zwłaszcza niepokojące jest podwyższenie napięcia (zanotowane np. w Lublinie) powyżej górnej dopuszczalnej granicy.

Należy podkreślić, że dla większości przypadków badania prowadzono w okresie nie burzowym. Problem oceny zagrożenia w przypadku wyładowań atmosferycznych jest nadal otwarty.

Badania amplitud przebiegnięć przeprowadzono również w obwodach zasilania samoczynnej sygnalizacji przejazdowej przy użyciu liczników przebiegnięć. W toku prowadzonych obserwacji nie zanotowano przebiegnięć powyżej 500 V.

### Propozycje dla producentów urządzeń sterowania ruchem kolejowym i urządzeń łączności

Urządzenia elektroniczne sterowania ruchem kolejowym oraz urządzenia łączności przewodowej oraz radiowej zainstalowane na terenie kolejowym muszą pracować w określonym środowisku elektromagnetycznym. Na parametry tego środowiska, związane z kompatybilnością elektromagnetyczną będą miały wpływ urządzenia pracujące w tym środowisku, które wytwarzają zaburzenia radioelektryczne o określonym poziomie oraz zaburzenia docierające z zewnątrz poprzez elektroenergetyczną sieć zasilającą i drogą pola elektromagnetycznego. Na prawidłową pracę urządzeń wpływać będą również zaburzenia radioelektryczne wytwarzane przez sąsiadujące i dalej położone urządzenia, jak również impulsowe zaburzenia elektromagnetyczne o małej energii (zaburzenia impulsowe nanosekundowe) i dużej energii docierające do urządzeń przez sieć zasilającą i drogą promieniowania.

Ochrona urządzeń przed zaburzeniami elektromagnetycznymi polegać powinna na ograniczeniu emisyjności zaburzeń do poziomu określonego w normach oraz zapewnienie takiej odporności urządzeń, aby powstające w sposób losowy i niezależny od użytkownika zaburzenia elektromagnetyczne pochodzenia naturalnego lub powstające w wyniku działalności człowieka nie wpływały na pracę urządzeń.

Dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń radioelektrycznych jakie mogą wprowadzać do sieci energetycznej urządzenia są określone są w normach krajowych i europejskich [6, 10, 11]. Problematyka odporności urządzeń elektronicznych instalowanych w obiektach stałych jest omówiona w normie [7].

W Polsce ze względu na znaczny udział linii napowietrznych niskiego napięcia w systemie elektroenergetycznym, w tym również systemie energetycznym kolejowym oraz braku nowoczesnych ochronników w tych liniach należy przypuszczać, że w okresie burzowym mogą wystąpić przebiegnięcia o dużych wartościach szczytowych. Z tego względu dopóki problem ochrony przed zaburzeniami impulsowymi o dużej energii w elektroenergetyce nie będzie powszechnie rozwiązany, należy stosować na PKP własne rozbudowane systemy ochrony. Wszystkie nowo wprowadzane

urządzenia elektroniczne zasilane z sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia powinny być wyposażone w układ ochronny.

Urządzenia zasilane z energetycznej sieci zasilania powinny być odporne na następujące amplitudy przebiegnięć:

- dla sieci trójfazowej 400 V – do 1500 V,
- dla sieci trójfazowej 230 V i jednofazowej 230 V – do 800 V.

Obwody zasilania urządzeń torowych zasilane napięciem 24 V: obwody sygnałowe powinny być odporne na impulsy do 2000 V.

Wyjścia nadajników i wejścia odbiorników obwodów torowych, które są bezpośrednio połączone z tokami szynowymi, powinny być odporne na działanie impulsów zakłócających o amplitudzie do 2 kV.

### Podsumowanie

Przeprowadzone badania zaburzeń radioelektrycznych oraz impulsowych zaburzeń elektromagnetycznych w obiektach stałych wykazały, że istnieją obiekty, w których w energetycznej sieci zasilającej dopuszczalny poziom zaburzeń radioelektrycznych jest przekroczony. Należy również podkreślić, że istnieją liczne obiekty, w których poziom ten jest niższy od poziomu dopuszczalnego. Wobec powyższego, instalacja nowych wrażliwych urządzeń elektronicznych w obiektach stałych o nieokreślonym wcześniej poziomie zaburzeń powinna być poprzedzona odpowiednimi badaniami.

W niektórych obiektach stałych w energetycznej sieci zasilającej stwierdzono występowanie zaburzeń impulsowych dużej energii o znaczącym poziomie, co może być przyczyną uszkodzenia lub nawet zniszczenia urządzenia elektronicznego. Jest to zjawisko losowe i dlatego należy stosować układy zabezpieczające przed zaburzeniami dużej energii.

Mając na względzie wyniki uzyskane w trakcie badań, które wprawdzie nie są alarmujące, ale zawierają już informacje ostrzegawcze, w związku z tendencją do wprowadzania nowoczesnych elektronicznych urządzeń na teren kolejowy, tematyka kompatybilności elektromagnetycznej powinna być przedmiotem ciągłych badań i analiz.

Koszty poniesione jednorazowo na wyposażenie urządzeń w odpowiednie elementy ochronne są znacznie niższe od kosztów wynikających z konieczności usuwania powstałych awarii, np. po przejściu frontu atmosferycznego z intensywnymi wyładowaniami atmosferycznymi na danym obszarze.

### Wnioski

Przedstawione w artykule wyniki badań i ich analiza pozwalają na sformułowanie następujących wniosków.

1. Urządzenia elektroniczne i elektryczne instalowane w kolejowych obiektach stałych i ruchomych są narażone od strony sieci zasilającej na zaburzenia elektromagnetyczne, które mają stochastyczny charakter. Określenie stopnia degradującego wpływu zaburzeń na pracę danego urządzenia na terenie kolejowym wymaga indywidualnego rozpoznania problematyki kompatybilności elektromagnetycznej dla tego urządzenia.
2. Uzyskane wyniki nie mogą stanowić oceny „badań typu” tylko należy je traktować jako rozpoznanie wagi problemu zaburzeń elektromagnetycznych w sieciach zasilających danego typu obiektu na terenie PKP.
3. Wielokrotnie zbadane fakty powiązania między poziomami zaburzeń elektromagnetycznych a stanem technicznym badanych

obiektów dają podstawy do postawienia tezy, że największe rezerwy w zwalczaniu nadmiernych poziomów zakłóceń elektromagnetycznych tkwią w jakości prac związanych z utrzymaniem i eksploatacją obiektów, przy czym za właściwą jakość należy rozumieć kompleksowe utrzymanie danego obiektu (wszystkich urządzeń w nim zawartych, stanu połączeń między nimi, sieci zasilającej obiekt i urządzenia, stanu uziomów itp.).

**4.** Powinno stać się obowiązującą zasadą, aby w wymaganiach na instalowany sprzęt elektryczny i elektroniczny PKP stawiło żądanie, że urządzenia nie będą przekraczały dopuszczalnych poziomów generowanych zaburzeń radioelektrycznych i będą jednocześnie miały niezbędną odporność na zaburzenia zewnętrzne – przy uwzględnieniu przepisów normalizacyjnych i specyfiki środowiska kolejowego.

**5.** Oprócz przestrzegania prawidłowości działań związanych z utrzymaniem urządzeń (wniosek 3), w wielu urządzeniach kolejowych może okazać się niezbędne zastosowanie przeciwzakłóceńowych układów zabezpieczających.

**6.** Wyniki badań przedstawione w niniejszym artykule potwierdzają potrzebę i zasadność wykonywania pomiarów w dziedzinie kompatybilności elektromagnetycznej, szczególnie w procedurze nadawania świadectw kwalifikacji dla urządzeń elektronicznych i elektrycznych wdrażanych na PKP. Ze względu na fakt, że zapewnienie kompatybilności elektromagnetycznej dla danego urządzenia ma znacząco pozytywny wpływ na niezawodność jego pracy, wymienione pomiary powinny być wykonywane – dla niektórych urządzeń – nawet w przypadku zwolnienia danego urządzenia od podstawowych badań kwalifikacyjnych.

**7.** Pilną koniecznością staje się rozpoczęcie prac badawczych związanych z określeniem optymalnych warunków pracy urządzeń elektronicznych opartych na technice mikroprocesorowej w obiektach stałych i ruchomych – przy uwzględnieniu rzeczywistego środowiska zakłóceńowego na PKP (np. jedna z pierwszych prac z tej dziedziny powinna dotyczyć pracy urządzeń komputerowych w pociągach).



## Literatura

- [1] Laskowski M., Kulawiak A.: *Ochrona przeciwprzepięciowa i przeciwporażeniowa w urządzeniach srk z elementami elektronicznymi*. Praca CNTK nr 1002/24-1994.
- [2] Kuciński S., Turczyński J., Zajac J.: *Zakłócenia w sieci energetycznej niskiego napięcia – wyniki badań dla typowych środowisk*. (Pollab – Jadwisin 8–9 maja 1996 r.).
- [3] Sowa: *Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa*. Poradnik. Wyd. VESALIUS. Kraków 1996.
- [4] Sowa: *Zagrozenie piorunowe urządzeń elektronicznych – kompleksowa ochrona odgromowa. Impulsowe narażenia elektromagnetyczne*. Wyd. Politechniki Wrocławskiej 1994.
- [5] PN-93/T-06450 *Przemysłowe zakłócenia radioelektryczne. Urządzenia i metody pomiarów zakłóceń radioelektrycznych*.
- [6] EN 50081-2 *Kompatybilność elektromagnetyczna. Wymagania ogólne dotyczące emisyjności. Środowisko przemysłowe*.
- [7] EN 50082-2 *Kompatybilność elektromagnetyczna. Poziomy odporności. Część1; Środowisko przemysłowe*.
- [8] Polska Norma PN –EN 50160:2002 *Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych* (PKN, Warszawa 2002).
- [9] IEC 1000 –2 *Electromagnetic compatibility. Part 2: Environment Sections 1–6*.
- [10] EN 50121-4 *Railway applications – Electromagnetic compatibility. Part 4: Emission and immunity of the signalling and telecommunications apparatus*.
- [11] EN 50121-5 *Railway applications – Electromagnetic compatibility. Part 5: Fixed power supply installations*

## Autorzy

dr inż. Andrzej Białoń

dr inż. Mieczysław Laskowski

Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa

## ➤ Dokończenie ze s. 42

### Literatura

- [1] Bedrich S.: *INTEGRAL Final Presentation*. ESTEC, Noordwijk 2004.
- [2] Białoń A., Toruń A.: *GNSS application for railway – PKP (Polish State Railways)*. Żel 2005 12 Międzynarodowe Sympozjum „Railways on the Edge of the 3<sup>rd</sup> Millennium” „On the way towards the European railway harmonisation and ITS”. Żylna 2005.
- [3] Grupa Robocza UIC: *Galileo applications for rail*. „Economic estimates of GNSS/Galileo applications”. Paryż 2006.
- [4] Gu X.: *Field Tests of INTEGRAL, Final Presentation*. ESTEC, Noordwijk 2004.
- [5] Gu X.: *Sensor Fusion, Test Result and Test Setup*. EGNOS/INTEGRAL Demonstration. Guateng 2005.
- [6] Iwański R.: *Systemy nawigacji satelitarnej i ich zastosowanie w transporcie kolejowym*. Seminarium Zakładu Sterowania Ruchem i Teleinformatyki, Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa. Warszawa 2005.
- [7] Iwański R., Toruń A.: *Metody lokalizacji pociągu w oparciu o systemy nawigacji satelitarnej*. Seminarium Automatyki i Telekomunikacji, „Transmisja w systemach związanych z bezpieczeństwem ruchu kolejowego”. Kazimierz Dolny 2006.

- [8] Mandelka G.: *GNSS based telematic applications*. European Satellite Navigation Cooperation Day. Warszawa 2004.
- [9] Staton G.: *INTEGRAL Project Overview*. EGNOS/INTEGRAL Demonstration. Guateng 2005.
- [10] Toruń A.: *Nowoczesne systemy informacji przestrzennej w zastosowaniach kolejowych*. Seminarium Zakładu Sterowania Ruchem Kolejowym Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2005.
- [11] Winter J., Gu X.: *GNSS-supported train location for safety-relevant applications on branch lines*. Żel 2005 12 Międzynarodowe Sympozjum „Railways on the Edge of the 3<sup>rd</sup> Millennium” „On the way towards the European railway harmonization and ITS”. Żylna 2005.

## Autorzy

Rafał Iwański

Andrzej Toruń

Centrum Naukowo Techniczne Kolejnictwa

Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki