



INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

ZAKŁAD KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

ul. Swojczycka 38

51-501 Wrocław

Tel. +48713699803 Fax. +48713728878 Email: sekretariat@il.wroc.pl

Kompatybilność elektromagnetyczna i bezpieczeństwo funkcjonalne w kopalniach

Sprawozdanie Z21/1009/21 30 002 6/(67/2006)

Autor sprawozdania:

Dr inż. Mirosław Pietranik

Wrocław, grudzień 2006 r.

Nr pracy	:	21 30 002 6 (67/2006)
Nazwa pracy	:	Kompatybilność elektromagnetyczna i bezpieczeństwo funkcjonalne w kopalniach
Zleceniodawca	:	Praca statutowa
Data rozpoczęcia	:	Styczeń 2006 r.
Data zakończenia	:	Grudzień 2006 r
Słowa kluczowe	:	kompatybilność elektromagnetyczna, bezpieczeństwo funkcjonalne, górnictwo
Kierownik pracy	:	dr inż. Mirosław Pietranik
Wykonawcy pracy	:	dr inż. Mirosław Pietranik prof. dr hab. Ryszard G. Strużak mgr inż. Marek Michalak mgr inż. Piotr Laszczyk mgr inż. Marek Kałuski mgr inż. Maga Hetel mgr inż. Karolina Skrzypek mgr inż. Marta Macher technik Michał Stajszczyk technik Rafał Bobrowski Małgorzata Pietrzela

Praca wykonana w Zakładzie Kompatybilności Elektromagnetycznej Instytutu Łączności we Wrocławiu

Kierownik Zakładu: dr inż. Janusz Sobolewski

Niniejsze opracowanie może być powielane i publikowane wyłącznie w całości
Powielanie i publikowanie fragmentów wymaga uzyskaniu zgody Instytutu Łączności

© Copyright by Instytut Łączności, Wrocław 2006

Streszczenie

Niniejsza praca dotyczy kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektronicznych sterujących maszynami i procesami stosowanymi w górnictwie zapewniającej ich poprawne działanie, czyli bezpieczeństwo funkcjonalne.

Urządzenia elektroniczne są stosowane szeroko w przemyśle wszędzie tam, gdzie wymagana jest szybka reakcja, niezawodność i dokładność, wysoka wydajność i efektywność ekonomiczna. Wszelkie urządzenia elektroniczne - niezależnie od ich konstrukcji, zasad działania itp - są jednak podatne (tj. nieodporne) na postronne zaburzenia elektromagnetyczne.

Problem jest stosunkowo nowy i w wielu przepisach prawnych dotyczących bezpieczeństwa funkcjonalnego i kompatybilności elektromagnetycznej istnieją jeszcze pewne rozbieżności, które mogą prowadzić do zwiększonego ryzyka zawodnego działania systemów. Wynika to z następujących przyczyn:

- stan środowiska elektromagnetycznego pogarsza się w wyniku masowego i wzrastającego stosowania urządzeń elektrycznych; należy pamiętać, że każda zmiana prądu elektrycznego powoduje pojawianie się pól elektromagnetycznych i zmiennych napięć, które mogą wywoływać zakłócenia w pracy urządzeń elektronicznych,
- zaburzenie elektromagnetyczne mają różnorodny charakter w dziedzinie czasu i częstotliwości,
- poziom zaburzeń elektromagnetycznych wzrasta w wyniku stosowania urządzeń elektromechanicznych o coraz większych mocach,
- wiele zaburzeń o różnorodnym charakterze występuje coraz częściej łącznie (tj. jednocześnie), co stanowi większe narażenie układów elektronicznych, niż w przypadku pojedynczych zaburzeń występujących oddzielnie,
- podatność urządzeń elektronicznych na zaburzenia elektromagnetyczne powiększa się w wyniku miniaturyzacji nowszych technologii układów scalonych,
- ilość różnych zastosowań układów elektronicznych w systemach bezpieczeństwa funkcjonalnego urządzeń wzrasta w olbrzymim tempie w wielu dziedzinach, np. w sygnalizacji stanów niebezpiecznych, regulacji pracy wielkich urządzeń itp.

A producenci urządzeń:

- są pod stałym naciskiem zmniejszania kosztów wytwarzania i skracania czasu opracowywania wyrobów, wobec czego starają się spełniać tylko minimalne wymagania z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej¹.

W literaturze technicznej jest bardzo mało publikacji z zakresu EMC i bezpieczeństwa funkcjonalnego, zwłaszcza w środowisku kopalni. Przykładowo w poradniku dotyczącym kompatybilności

¹ Stąd tak częste powoływanie się na znak CE jako stwierdzenie, że z "naszymi urządzeniami" jest wszystko OK! Ale czy tak jest rzeczywiście? W specjalistycznej literaturze technicznej coraz częściej zwraca się uwagę na wielkie ryzyko jakie niesie za sobą takie podejście

elektromagnetycznej i bezpieczeństwa funkcjonalnego, opracowanym przez IEE² [99] omawia się te problemy w odniesieniu do środowiska transportu drogowego, morskiego (statki), szynowego, lotniczego (pokłady samolotów), służby zdrowia, budynków, przemysłu ciężkiego, ale nie wymienia się tam środowiska kopalni.

Celem pracy jest rozpoznanie problemu kompatybilności elektromagnetycznej i bezpieczeństwa funkcjonalnego w środowisku kopalni.

Rozdział 1 sprawozdania poświęcony jest zagadnieniu bezpieczeństwa funkcjonalnego urządzeń i kompatybilności elektromagnetycznej. Omówiono w nim ustalenia wynikające z Dyrektyw Unii Europejskiej (EMC, maszynowej i niskonapięciowej) i powiązanych z nimi norm, zwracając uwagę na zauważone tam niekonsekwencje, które mogą prowadzić do tragicznych w skutkach nieporozumień między producentami urządzeń i ich użytkownikami.

W rozdziale 2 omówiono te czynniki, które decydują o prawidłowym współistnieniu różnych urządzeń bez szkodliwych zaburzeń elektromagnetycznych. Przedyskutowano tam zagadnienia identyfikacji zaburzeń i ich podział, drogi ich przenikania do urządzeń zakłócanych oraz przedsięwzięcia prowadzące do uzyskania kompatybilnego współistnienia urządzeń elektronicznych w określonym środowisku elektromagnetycznym. Omówiono tam także strukturę norm z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej obowiązujących w Polsce.

Rozdział 3 dotyczy opisu różnorodnych zjawisk elektromagnetycznych tworzących określone środowisko pracy urządzeń.

Opisowi środowiska elektromagnetycznego kopani poświęcono rozdział 4 sprawozdania, w którym szczególną uwagę zwrócono na zaburzenia elektromagnetyczne generowane w sieci zasilania w kopalni. Dokonano także porównania wymagań normy PN-EN 50160 [69], PN-EN 61000-2-2 [1] i PN-EN 61000-6-2 [38], zwracając uwagę na istniejące rozbieżności.

Rozdział 5 sprawozdania zawiera bardzo obszerne wyniki pomiarów zaburzeń elektromagnetycznych (w 3-ch wytypowanych punktach kopalni). Wyniki te wskazują, że istotne są tu zaburzenia przewodzone w sieci zasilania (przykładowo zaobserwowano szybkie zmiany chwilowej wartości napięcia zasilania często przekraczające 20% wartości nominalnej) oraz tak zwane pola bliskie o charakterze pola magnetycznego i elektrycznego w bezpośrednim sąsiedztwie urządzeń mocy i prowadzących do nich przewodów zasilania.

Ważnym problemem, dotyczącym urządzeń przewidywanych do pracy w kopalniach są pomiary ich parametrów pod względem zgodności z wymaganiami odpowiednich Dyrektyw, w szczególności Dyrektywy EMC [103, 104]. Są to na ogół urządzenia bardzo ciężkie i duże wymiarowo, co uniemożliwia wykonanie ich badań w warunkach laboratoryjnych przy zachowaniu wszystkich zaleceń odpowiednich norm. Takie urządzenia bada się u producenta (np. w halach produkcyjnych) lub u użytkownika (w miejscu ostatecznej lokalizacji badanego urządzenia) lub też na specjalnych poligonach (jeśli istnieje możliwość transportu badanego urządzenia). Pomiary w takich miejscach

² IEE (The Institution of Electrical Engineers) było organizacją zawodową elektroników, elektryków i informatyków, utworzoną w 1871 roku i do roku 2006 liczyło 12 000 członków, będąc największym stowarzyszeniem tego typu w Europie. W 2006 r. połączyło się z IIE tworząc "The Institution of Engineering and Terchnology (IET).

określa się w normach [48] jako pomiary IN SITU. Zagadnieniu odpowiedniego zaplanowania pomiarów w warunkach IN SITU poświęcony jest rozdział 6 sprawozdania.

W Załączniku 1 zamieszczono materiały zaprezentowane na konferencji "Elektryfikacja Kopalń KGHM Polska Miedź S.A." V Warsztaty - Sobótka Górka, 23-23 września 2006 r.

Kolejne Załączniki - to opis sieci energetycznej w kopalniach i przykładowe raporty z badań IN SITU stacji transformatorowej dużej mocy oraz układu kontroli ciągłości uziemienia (badania laboratoryjne).

Wykonawcy pracy pragną w tym miejscu podziękować:

- Ośrodkowi Badań Atestacji i Certyfikacji OBAC z Gliwic - w osobach Pani **inż. Aliny Szeloch** i Pana **mgr inż. Zbigniewa Tarnawskiego** - za pomoc w uzyskaniu zgody Kopalni KGHM Lubin na wykonanie na jej terenie pomiarów zaburzeń radioelektrycznych i przygotowanie opisu sieci elektroenergetycznej w kopalniach.
- Panu **mgr inż. Pawłowi Barańskiemu** - za organizację procesu pomiarowego na terenie kopalni KGHM Lubin i nadzór nad ekipą pomiarową Instytutu Łączności.

Streszczenie	3
1 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) i bezpieczeństwo funkcjonalne w środowisku kopalni	7
1.1 Uwagi ogólne	7
1.2 Kompatybilność elektromagnetyczna a bezpieczeństwo funkcjonalne	8
1.3 Przegląd problemów wynikających z powiązania kompatybilności elektromagnetycznej z bezpieczeństwem funkcjonalnym	9
1.4 Bezpieczeństwo funkcjonalne i kompatybilność elektromagnetyczna – Dyrektywy	9
1.5 Zakres niezbędnych działań	14
2 Kompatybilność elektromagnetyczna	16
2.1 Uwagi ogólne	16
2.2 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC)	17
2.3 EMC jest problemem skomplikowanym	19
2.4 Identyfikacja źródeł zaburzeń	19
2.5 Drogi przenikania zaburzeń	21
2.6 Minimalizacja zaburzeń	22
2.7 Urządzenia zakłócone	22
2.8 Środki zwiększające odporność urządzeń na zaburzenia radioelektryczne	23
2.9 Środowisko pracy urządzenia	24
2.10 Przepisy prawne z zakresu EMC	24
3 Środowisko elektromagnetyczne	28
3.1 Uwagi ogólne	28
3.2 Opis lokalizacji środowiskowych	30
4 Środowisko elektromagnetyczne kopalni	32
4.1 Ogólna charakterystyka zaburzeń elektromagnetycznych w kopalni	33
4.2 Zaburzenie elektromagnetyczne generowane w sieci zasilania kopalni	36
4.3 Przykłady zakłóceń różnorodnych urządzeń wywoływanych zaburzeniami w sieci zasilania	36
4.4 Identyfikacja i usuwanie skutków problemów związanych z niewłaściwą jakością sieci zasilania	38
4.5 Ocena stanu jakości sieci zasilania	38
5 Wyniki pomiarów zaburzeń	40
5.1 Uwagi ogólne	40
5.2 Wieża wyciągowa szybu głównego	41
5.3 Pompownia odwadniania głównego rejonu Lubin Główny	51
6. Pomiary IN-SITU	64
6.1 Wstęp	64
6.2 Przygotowanie do badań IN SITU	65
6.3 Wybór Laboratorium badawczego	65
6.4 Inne informacje niezbędne do zaplanowania przebiegu badań.	66
6.5 Dokumentacja wyników pomiaru	67
6.6 Wymagania dotyczące odporności w środowisku przemysłowym – uwagi ogólne	67
6.7 Wymagania dotyczące emisyjności w środowisku przemysłowym	67
Bibliografia	71

1 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) i bezpieczeństwo funkcjonalne w środowisku kopalni

1.1 Uwagi ogólne

Coraz częściej w organizacji systemów kopalnianych istotną rolę zaczynają odgrywać urządzenia elektroniczne i powiązane z nimi instalacje przesyłania i odbioru danych za pomocą sygnałów elektrycznych analogowych lub cyfrowych. Przykładowo dotyczy to systemów przeznaczonych do:

- sterowania, sygnalizacji i kontroli stanu pracy maszyn,
- kontroli parametrów atmosfery w kopalni,
- sterowania wentylacją, odwodnieniem w kopalni,
- kontroli poziomu gazów szkodliwych (CO₂, metan),
- kontroli ruchu załogi,
- alarmowania stanów niebezpiecznych,
- łączności wewnątrz kopalni i ze służbami naziemnymi, itd

Istotną grupą zagrożeń dla takich urządzeń są zjawiska elektromagnetyczne towarzyszące każdemu przetwarzaniu energii elektrycznej. Wagę tego problemu ilustrują tragiczne zdarzenia opisane w Załączniku 1.

Bezpieczeństwo funkcjonalne to zachowanie w określonym środowisku warunków wolnych od nieakceptowanego ryzyka wystąpienia zjawisk grożących zdrowiu lub uszkodzeniu maszyn (aspekt ekonomiczny) spowodowanych niewłaściwym zadziałaniem jakiegokolwiek urządzenia (systemu urządzeń) w wyniku błędów człowieka lub czynników zewnętrznych.

Urządzenie/system urządzeń można traktować jako powiązany z bezpieczeństwem funkcjonalnym, jeśli jego działanie może w jakikolwiek sposób wpływać na pracę innych urządzeń, których niezamierzone działanie może zagrozić zdrowiu człowieka lub spowodować powstawanie innych niebezpiecznych sytuacji.

Problem jest bardzo istotny dla środowiska kopalnianego, jeśli się uwzględni wielorakość stosowanych tam urządzeń sterowanych elektrycznie (możliwość porażenia prądem). Sprawa nabrała dodatkowo zupełnie nowego znaczenia, kiedy w sterowaniu, kontroli czy zabezpieczeniach urządzeń kopalnianych zaczęto stosować urządzenia elektroniczne, także programowalne.

Skomplikowanie układów elektronicznych i złożoność ich reakcji na wpływy różnych czynników środowiskowych wymaga drobiazgowych analiz ich pracy i zachowania się pod kątem, czy ich nieprawidłowe zadziałanie nie spowoduje niebezpiecznego działania kontrolowanych przez nie urządzeń.

Jednym z istotnych czynników zewnętrznych mogących zakłócić pracę elektronicznych układów sterowania/regulacji, a w konsekwencji wywołać niebezpieczną pracę kontrolowanych przez nie urządzeń, są zjawiska elektromagnetyczne.

Sprawa jest trudna. Zapewnienie, aby urządzenia i systemy miały odpowiednią odporność na niepożądane zjawiska elektromagnetyczne, to jest zapewnienie odpowiedniego bezpieczeństwa

funkcjonalnego sporo kosztuje, a producenci urządzeń i bardzo często ich użytkownicy nie zawsze mają pełną świadomość tego, że jest to konieczne i nie zawsze są skłonni ponosić zwiększone koszty.

Sporym utrudnieniem jest fakt, że dla specjalistów, zajmujących się „tradycyjnym” bezpieczeństwem, zaburzenia elektromagnetyczne i kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) stanowią zupełnie nowy problem, z którym wcześniej się nie stykali. Prowadzi to do pewnego niedoceniań w tych kręgach znaczenia braku EMC (to jest niedopuszczalnej emisji zaburzeń elektromagnetycznych i za małej odporności urządzeń elektronicznych na takie emisje). Zdarza się, że zagadnienia EMC i bezpieczeństwa funkcjonalnego są rozwiązywane przez oddzielne grupy specjalistów często pracujące - nawet w tym samym przedsiębiorstwie – niezależnie od siebie. W efekcie ważne zagadnienia bezpieczeństwa funkcjonalnego są rozwiązywane w niezależnych od siebie grupach zawodowych. Z tego względu potrzebna jest stała współpraca specjalistów EMC i specjalistów zajmujących się zagadnieniami bezpieczeństwa funkcjonalnego w kopalniach. Obie grupy zawodowe powinny nawzajem wczuć się w problematykę reprezentowanej przez nich wiedzy (i doświadczenia).

Warto w tym miejscu też wspomnieć kwestię personelu zajmującego się instalacją, konserwacją i naprawami urządzeń i całych instalacji kopalnianych. Zazwyczaj nie są to fachowcy od bezpieczeństwa funkcjonalnego oraz od EMC i mogą być im obce istotne problemy np. odpowiedniego docisku i czystości ekranów, specjalnych uziemień, itp., które na pierwszy rzut oka mogą wydawać się zbędne, itd., itd. Niewłaściwe postępowanie po prostu może zniweczyć dobrze zaprojektowane urządzenie, ważne z punktu widzenia bezpieczeństwa funkcjonalnego, pod kątem właściwej odporności na zaburzenia radioelektryczne.

1.2 Kompatybilność elektromagnetyczna a bezpieczeństwo funkcjonalne

Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) jest dyscypliną wiedzy, która zajmuje się problemami kontroli emisji zaburzeń EM i odporności na te zaburzenia w odniesieniu do wszelkiego rodzaju urządzeń elektrycznych i elektronicznych.

Zaburzenia elektromagnetyczne, jako zjawiska uboczne w wyniku pracy jakiegokolwiek urządzenia wykorzystującego energię elektryczną (zasilanie, przetwarzanie sygnałów), mogą mieć bardzo różnorodny charakter (zaburzenia ciągłe, impulsowe itp) rozchodząc się różnymi drogami (promieniowanie, zaburzenia przewodzone do wspólnej sieci zasilania, do wspólnego systemu przewodów sygnałowych).

Drugą grupą źródeł zaburzeń EM są zjawiska naturalne, np. wyładowania atmosferyczne. Jednak - dla środowiska kopalni - ten rodzaj zaburzeń jest raczej do pominięcia. Jeśli już, to tylko w sposób pośredni gdy na przykład w wyniku wyładowania atmosferycznego do urządzeń naziemnych wystąpi "totalne" zagrożenie dla systemu urządzeń podziemnych.

Wszystkie (!) urządzenia przetwarzające energię elektryczną wywołują zaburzenia radioelektryczne, jednocześnie nowoczesne urządzenia elektroniczne są niestety coraz to bardziej podatne na zaburzenia niż zastępowane przez nie dotychczasowe urządzenia.

Współczesna technologia elektroniczna w coraz to większym stopniu wkracza w dziedzinę zagadnień bezpieczeństwa funkcjonalnego ludzi/urządzeń/zespołów urządzeń. W efekcie błędy w działaniu

urządzeń elektronicznych, będące wynikiem oddziaływań niepożądanych zaburzeń EM, mogą być powodem powstawania niebezpiecznych sytuacji dla zdrowia człowieka lub niebezpiecznego zadziałania kontrolowanych przez nie urządzeń.

Przedsiębiorstwa zaangażowane od lat w zagadnieniach produkcji "bezpiecznych" urządzeń według dotychczasowej technologii często nie mają świadomości o możliwości wzrostu zagrożeń w wyniku zastosowania nowoczesnych urządzeń elektronicznych. Na przykład producent maszyny może zastosować programowalny regulator pracy produkowanego przez siebie urządzenia. W momencie, gdy sterujące urządzenie elektroniczne zostanie zakłócone przez pobliski radiotelefon (generujący falę ciągłą o znacznym natężeniu pola w bezpośrednim swoim sąsiedztwie) lub przez zaburzenie o charakterze impulsów w sieci zasilania (powstające np. w wyniku włączenia/wyłączenia dużych obciążeń o charakterze indukcyjnym) może wystąpić niezamierzone działanie sterowanej przez takie urządzenie elektroniczne maszyny, powodując ryzyko zranienia operatora lub zniszczenia pobliskich innych urządzeń (np. w wyniku niezamierzonego ruchu ramienia sterowanej maszyny).

1.3 Przegląd problemów wynikających z powiązania kompatybilności elektromagnetycznej z bezpieczeństwem funkcjonalnym

Przy kompleksowym rozważaniu problemów związku bezpieczeństwa funkcjonalnego z EMC należy podjąć odpowiednie działania po dokonaniu następujących ocen:

- a) na jakie zaburzenie elektromagnetyczne (EM), występujące nawet niezbyt często, może być narażone rozważane urządzenie elektroniczne (np. sterujące)? Tu należy wziąć pod uwagę charakter zaburzeń, ich poziomy i prawdopodobieństwo ich wystąpienia.
- b) jakie mogą być skutki takich zaburzeń dla rozważanego urządzenia (zagadnienie odporności na zaburzenia) lub urządzeń z nim współpracujących, np. układów z programowalną pamięcią, sterujących pracą innych, dużych urządzeń, których niewłaściwe zadziałanie stwarza zagrożenie dla ludzi lub innych maszyn?
- c) jak wytwarzane przez rozważane urządzenia zaburzenia EM (emisja zaburzeń) mogą oddziaływać na inne sąsiadujące z nim urządzenia elektroniczne – istniejące lub nowe, planowane do wprowadzenia do rozważanego środowiska pracy (poziomy zaburzeń, ich charakter, drogi rozchodzenia się, itp.)?
- d) Jakie mogą być skutki, dla ogólnego bezpieczeństwa funkcjonalnego w zespole urządzeń kopalnianych, nieodpowiedniej odporności urządzeń na zaburzenia i nadmiernej emisji wytwarzanych przez nie zaburzeń?

1.4 Bezpieczeństwo funkcjonalne i kompatybilność elektromagnetyczna – Dyrektywy

Wydane w Unii Europejskiej Dyrektywy, dotyczące różnorodnych środowisk przemysłowych lub urządzeń elektronicznych/elektrycznych, bardzo nieprecyzyjnie nawiązują do problemów EMC. Dotyczy to w szczególności Dyrektywy niskonapięciowej (LV 73/23/EEC, [105]) i Dyrektywy maszynowej (98/37/WE, [106]). Poniżej kilka uwag dotyczących ewentualnej interpretacji sformułowań

wspomnianych Dyrektyw w świetle wymagań kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) i bezpieczeństwa funkcjonalnego.

1.4.1 Dyrektywa EMC (89/336/EEC, [104, 105])

Powszechnie uważa się, że znak CE jest wystarczającym dowodem potwierdzającym właściwe rozwiązanie problemów kompatybilności elektromagnetycznej w odniesieniu do rozważanego urządzenia. W powiązaniu z problemem bezpiecznego działania urządzenia, takie mniemanie może okazać się fałszywe z następujących względów:

- Zagadnienie bezpieczeństwa funkcjonalnego nie znajduje bezpośredniego odbicia w Dyrektywie EMC. Nie używa się w niej pojęcia "bezpieczeństwo funkcjonalne". Ma natomiast w niej miejsce następujące sformułowanie:

"Bezpieczeństwo urządzeń nie powinno być przedmiotem niniejszej dyrektywy, ponieważ jest ono objęte odrębnym prawodawstwem wspólnotowym lub krajowym".

- Dyrektywa dotyczy tylko normalnego działania urządzenia, nie uwzględnia sytuacji "nieprzewidywalnych", np. błędów operatora, ekstremalnych zjawisk elektromagnetycznych (EM), nie uwzględnia badań przy jednoczesnym występowaniu różnorodnych zjawisk EM, itp.
- W normach zharmonizowanych, powiązanych z Dyrektywą, ujmuje się tylko ograniczoną grupę zjawisk elektromagnetycznych, które traktuje się jako zaburzenia elektromagnetyczne,
- W Dyrektywie nie ujmuje się problemu (w istocie bardzo ważnego) odporności urządzeń na jednoczesne oddziaływanie kilku rodzajów zaburzeń, np. zespołu: ESD + zapady w sieci zasilania + pola w.cz. (radiotelefon).

Wymienione powyżej uwagi w sposób ewidentny widoczne są w normie ogólnej PN-EN 61000-6-2 [38], skądinąd bardzo ważnej dla urządzeń stosowanych w środowisku przemysłowym, w której w rozdziale dotyczącym zakresu normy mówi się wprost:

"Wymagania z zakresu odporności zostały wybrane tak, aby zapewnić odpowiedni poziom odporności dla urządzeń przewidzianych do pracy w środowiskach przemysłowych. Poziomy te jednak nie obejmują przypadków ekstremalnych, które mogą wprawdzie wystąpić w dowolnym miejscu, ale przy wyjątkowo małym prawdopodobieństwie ich pojawienia się. Nie wszystkie zjawiska zaburzeniowe zostały ujęte w niniejszej normie w postaci odpowiednich badań; ujęto jedynie te, które uważa się za właściwe dla urządzeń objętych zakresem niniejszej normy.

UWAGA 1 - Niniejsza norma nie ujmuje wymagań dotyczących bezpieczeństwa"

Wniosek: Stwierdzenie producentów/dystrybutorów urządzeń, przeznaczonych do pracy w kopalniach, że ich wyroby mają znak CE i spełniają wymagania odpowiednich norm zharmonizowanych (np. norm ogólnych dla środowiska przemysłowego) nie oznacza, że w rzeczywistości nie sprawią one kłopotów, to znaczy, że gwarantują one bezpieczeństwo funkcjonalne współpracujących z nimi innych urządzeń.

1.4.2 Dyrektywa niskonapięciowa, (LV 73/23/EEC, [105])

Bieżące wydanie Dyrektywy niskonapięciowej (LVD - Low Voltage Directive), [105] nie ujmuje zagadnień bezpieczeństwa funkcjonalnego i podobnie nie ujmują tego zagadnienia cytowane w niej normy. W Unii Europejskiej Dyrektywę tą traktuje się w całości jako dotyczącą problemów bezpieczeństwa we wszystkich wynikających stąd aspektach, nawet w odniesieniu do tych problemów, które nie są wymienione w niej in extenso. Ale większość producentów preferuje raczej podejście literalne, aniżeli wynikające z ducha Dyrektywy, zwłaszcza jeśli takie podejście daje oszczędności finansowe. Innym usprawiedliwieniem takiego ich stanowiska może być brak świadomości wagi problem kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń i wynikających stąd możliwych dysfunkcji urządzeń elektrycznych (zwłaszcza tych, w których stosuje się wszelkiego rodzaju elektroniczne regulatory, zabezpieczenia itp).

Punktem wyjściowym są Części 1 i 3 w Załączniku I tej Dyrektywy, gdzie znajduje się wymaganie, aby producent zapewnił takie rozwiązania, że urządzenie elektryczne pozostanie odporne na niemechaniczne wpływy jakichkolwiek czynników zewnętrznych, występujących w środowisku pracy urządzenia i to w taki sposób, aby nie wystąpiło zagrożenie dla ludzi, zwierząt i innych dóbr materialnych.

Wprowadzie Załącznik II Dyrektywy specjalnie wyklucza zjawiska zaburzeń EM z zakresu jej wymagań, to jednak producent wyrobów elektrycznych podlegających jej zakresowi nie jest wyłączony z odpowiedzialności za uwzględnienie problemów EMC w aspekcie bezpieczeństwa funkcjonalnego. Wynika to z następujących przesłanek:

- Producent urządzeń elektrycznych, spełniających wymagania Dyrektywy (Załącznik I), musi zapewnić takie ich działanie, aby nie stwarzały one zagrożeń mechanicznych, termicznych, i nie wytwarzały niebezpiecznego promieniowania. Przez promieniowanie rozumie się (co jest mocno podkreślane w Dyrektywie) promieniowanie niebezpieczne dla zdrowia i bezpieczeństwa osób i zwierząt i nie dotyczy bezpośrednio promieniowania wynikającego z aspektów Dyrektywy EMC. Tu jest jednak pewna niekonsekwencja, ponieważ poziom promieniowania dotyczący zdrowia ludzi i zwierząt jest na tyle duży, że zawsze może wywołać niebezpieczne działanie urządzeń.
- Zabezpieczenia, które dotyczą ochrony przed zagrożeniami powodowanymi przez zewnętrzne czynniki mogą obejmować także wpływy zjawisk elektromagnetycznych powstających w sieci zasilania, takich jak stany przejściowe czy inne zjawiska mogące zakłócić pracę elektronicznych regulatorów czasowych, na przykład przekaźników czasowych. A ten rodzaj zjawisk elektromagnetycznych występujących w sieciach zasilania jest już przedmiotem problemów EMC (p. cytowane w Dyrektywie EMC normy ogólne dotyczące odporności [37, 38]).

Wszystkie wymienione powyżej uwagi znajdują potwierdzenie w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 15 grudnia 2005 r. [108], w którym w § 2, p. 8 stwierdza się, że rozporządzenie nie stosuje się do kompatybilności elektromagnetycznej, ale w § 7, p. 2 stwierdza się, że:

"W celu ochrony przed zagrożeniami mogącymi powstać na skutek oddziaływania czynników zewnętrznych na sprzęt elektryczny, w procesie jego projektowania i wytwarzania należy przewidzieć i zastosować w nim odpowiednie środki techniczne, aby ten sprzęt ... był odporny na

wpływy niemechaniczne w dających się przewidzieć warunkach otoczenia w taki sposób, aby ludzie, zwierzęta domowe oraz mienie nie były narażone na niebezpieczeństwo".

Spełnienie zacytowanych powyżej wymagań może oznaczać w praktyce konieczność uwzględniania problemów kompatybilności elektromagnetycznej.

CENELEC (Europejski Komitet Normalizacyjny Elektrotechniki) przewiduje wprowadzenie nakazu dla producentów sprzętu elektrycznego, aby brali pod uwagę powiązania między EMC i bezpieczeństwem funkcjonalnym [112].

1.4.3 Dyrektywa maszynowa 98/37/WE

Przykładowo **Dyrektywa maszynowa** [106] i cytowane w niej zharmonizowane normy zawierają drobne i niewystarczające odwołania do wzajemnych relacji między problemami bezpieczeństwa funkcjonalnego i EMC. Jedynie w tekście zasadniczym Dyrektywy znajduje się kilka odwołań, które można uznać za dotyczące wzajemnych relacji między bezpieczeństwem funkcjonalnym i kompatybilnością elektromagnetyczną. Te odwołania zacytowano poniżej.

W rozdziale dotyczącym Zasadniczych Wymagań z zakresu ochrony zdrowia i bezpieczeństwa formułuje w p. 1.5 następujące wymagania:

Elektryczność statyczna

"Maszyna powinna być tak zaprojektowana i wykonana, aby zapobiec lub ograniczyć gromadzenie się potencjalnie niebezpiecznych ładunków elektrostatycznych i/lub być wyposażona w układ do ich rozładowywania".

Promieniowanie

"Maszyna powinna być zaprojektowana i skonstruowana w taki sposób, aby wszelka emisja promieniowania przez maszynę była ograniczona do poziomu koniecznego do jej działania, zaś wpływ promieniowania na osobę zagrożoną albo nie występował, albo był ograniczony do bezpiecznego poziomu"

Promieniowanie zewnętrzne

"Maszyna powinna być zaprojektowana i skonstruowana w taki sposób, aby promieniowanie zewnętrzne nie zakłócało jej działania".

Sformułowanie jest niejasne, jakiego środowiska to dotyczy? Czy tylko zaburzeń promieniowanych, czy także zaburzeń przewodzonych we wszystkich przewodach połączeniowych: zasilania, regulacji, sterowania, uziemienia itp.

Wniosek

Powyższe stwierdzenia jednoznacznie kierują producentów maszyn na aspekty bezpieczeństwa funkcjonalnego i kompatybilności elektromagnetycznej (zapewnienie bezpiecznego działania maszyny i niedopuszczalność nadmiernej emisji zaburzeń elektromagnetycznych i konieczność zachowania odpowiedniej odporności na wszelkiego rodzaju zaburzenia elektromagnetyczne.

1.4.4 Normy

Norma PN-G-50003 [51] dotycząca ochrony pracy w górnictwie formułuje wymagania z zakresu odporności urządzeń elektrycznych stosowanych w górnictwie jedynie w odniesieniu do napięć w układach zasilania:

"Obwody sterownicze oraz kontrolujące ciągłość obwodu ochronnego powinny być odporne na działanie sinusoidalnych napięć zakłócających o wartości skutecznej co najmniej 5 V i częstotliwościach 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz i 250 Hz przy zasilaniu urządzenia napięciem o wartości od 0,85 do 1,2 wartości znamionowej i przy zmianach pojemności badanego obwodu od zera do wartości określonej w danych znamionowych.

Powyższe wymaganie nie dotyczy sterowania realizowanego z wykorzystaniem transmisji danych".

Przytoczone za normą sformułowania są niejednoznaczne i nie ujmują wszystkich aspektów kompatybilności elektromagnetycznej, zarówno w odniesieniu do odporności na zaburzenia jak i w odniesieniu do zaburzeń wytwarzanych przez takie urządzenia.

Norma PN-G-50001 [52]. Ta norma z kolei w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej, powołuje się na ustalenia normy PN-EN 60204-1 [50].

Norma PN-EN 60204 [50] W p. 4.4.2 formułuje się następujące wymagania z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej:

„Urządzenia nie powinny generować zaburzeń elektromagnetycznych większych od zaburzeń właściwych dla ich przewidywanego środowiska pracy. Ponadto urządzenia powinny mieć poziom odporności na zaburzenie taki, aby mogły one funkcjonować w ich przyszłym środowisku pracy.

Uwaga 1: Normy ogólne IEC 61000-6-1 lub IEC 61000-6-2 oraz IEC 61000-6-3 i IEC 61000-6-4 formułują odpowiednie wymagania dla poziomów emisji i odporności³.

Uwaga 2: Norma IEC 61000-5-2 jest przewodnikiem w zakresie sposobu wykonania uziemienia i okablowania elektrycznych/elektronicznych urządzeń gwarantującego spełnienie odpowiednich wymagań EMC. Jeśli istnieją normy wyrobu (np. IEC 1496-1, IEC 61800-6-3, IEC 60947-5-2) to są one nadrzędne w stosunku do norm ogólnych”.

Wniosek

W normie występuje pewna sprzeczność między sformułowaniem ogólnym (słusznym z punktu widzenia bezpieczeństwa funkcjonalnego urządzeń) i Uwagą 1, z której wynika, że spełnienie wymagań norm ogólnych jest wystarczające do uzyskania odpowiedniej kompatybilności wyrobu i jest wystarczające do zapewnienia poprawności działania wyrobu w każdym środowisku (?).

Norma PN-EN 61508 [49], W części 2 tej normy (punkt 7.2.3.2e) znajduje się następujące sformułowanie:

"wartości graniczne odporności na zaburzenia elektromagnetyczne powinny być określone przy wzięciu pod uwagę zarówno środowiska elektromagnetycznego (patrz 61000-2-5, [72]), jak i wymaganych poziomów nienaruszalności bezpieczeństwa;

³ Cytowane normy IEC mają już odpowiedniki w normach polskich [37 ÷ 40]

UWAGA 1 Ważne jest uwzględnienie, że poziom nienaruszalności bezpieczeństwa jest czynnikiem w określaniu wartości granicznych odporności elektromagnetycznej, szczególnie że poziom zaburzeń elektromagnetycznych w środowisku podlega rozkładowi statystycznemu. W większości rzeczywistych sytuacji nie jest możliwe szczegółowe określenie bezwzględnego poziomu zaburzeń, a jedynie poziomu, co do którego oczekuje się, że w praktyce nie zostanie przekroczony (jest to poziom kompatybilności elektromagnetycznej).

UWAGA 2 Chociaż wytyczne odnoszące się do EMC można znaleźć w normach wyrobów, to ważne jest, aby brać pod uwagę, że wyższe poziomy odporności niż te, które są podane w normach mogą być niezbędne w konkretnych lokalizacjach lub wtedy, gdy zamierza się urządzenie stosować w środowiskach o surowszych warunkach elektromagnetycznych. "

Wniosek

Norma **PN-EN 61508** zawiera bardzo poprawne podejście do kompatybilności elektromagnetycznej i bezpieczeństwa funkcjonalnego.

1.5 Zakres niezbędnych działań

Bezpieczeństwo funkcjonalne wynikające z kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń stosowanych w kopalniach wymaga kompleksowego rozpoznania. W ramach prac z zakresu bezpieczeństwa funkcjonalnego należy przedsięwziąć, omówione poniżej, działania techniczne i organizacyjne:

1.5.1 Działania techniczne

Działania techniczne powinny obejmować:

- a. Rozpoznanie stanu środowiska elektromagnetycznego (EM) – obecnego i przyszłego (powstającego w wyniku rozbudowy infrastruktury technologicznej danego środowiska pracy, np w wyniku wprowadzenia w kopalniach nowych maszyn wydobywczych, transportowych, systemu alarmowego, przesyłu informacji, łączności załogi itp). Oznacza to:
 - konieczność dokonywania kompleksowych pomiarów poziomu zaburzeń elektromagnetycznych występujących w newralgicznych punktach kopalni (to jest w punktach pracy ważnych elektronicznych urządzeń, np. urządzeń programowalnych), zarówno promieniowanych jak i przewodzonych (we wspólnej sieci zasilania, w systemach różnorodnych linii transmisyjnych,
 - rozpoznanie częstości powstawania różnorodnych zaburzeń (z przypisaniem im odpowiedniej wagi, czyli istotności z punktu widzenia bezpieczeństwa funkcjonalnego).
- b) Ocenę aktualnego stanu poziomów zaburzeń elektromagnetycznych i ustalenie odpowiednich wymagań w zakresie odporności urządzeń elektronicznych na zaburzenia – w świetle wymaganego stopnia bezpieczeństwa funkcjonalnego Należy zastanowić się nad istotnością zaburzeń o bardzo małym prawdopodobieństwie występowania).
- c) Ustalenie procedur i kryteriów oceny poprawności działania urządzeń przy badaniach ich odporności na zaburzenia EM; producenci/dostawcy urządzeń powinni mieć jasno sformułowane

wymagania. Oznacza to konieczność spełnienia przez nich surowszych wymagań z zakresu EMC (większa odporność na zaburzenia oraz mniejsze poziomy emitowanych zaburzeń, niż to wynika ze zwyczajowo branych pod uwagę wymagań podawanych w normach ogólnych EMC). Jeśli użytkownik urządzenia zadowolony się stwierdzeniem producentów/dostawców urządzeń, że jego wyroby mają znak CE i spełniają np. kryteria Dyrektywy EMC, to musi liczyć się z koniecznością interwencji we własnej strukturze technicznej, w celu obniżenia wytwarzanych zaburzeń elektromagnetycznych (a to może kosztować więcej, aniżeli zakup urządzeń o „podwyższonych” parametrach EMC).

1.5.2 Działania organizacyjne

- a) W zakładowym zespole odpowiedzialnym za bezpieczeństwo pracy (bezpieczeństwo funkcjonalne urządzeń) powinni znaleźć się specjaliści z zakresu EMC. Jeśli są to odrębne zespoły, to powinna między nimi istnieć stała współpraca. Nie wolno dopuścić do sytuacji włączania do użytku urządzeń elektronicznych (ważnych z punktu widzenia bezpiecznego działania współpracujących z nimi innych urządzeń, zwłaszcza urządzeń wykonawczych dużej mocy) bez wzajemnej konsultacji i uzgodnień obu zespołów. Istnieje bowiem niebezpieczeństwo wdrożenia urządzenia na podstawie deklaracji producenta/dostawcy, że posiada ono znak CE, zatem spełnia np. wszystkie wymagania odpowiednich norm zharmonizowanych.
- b) W zakładzie powinna istnieć ustalona i przestrzegana procedura postępowania z urządzeniem elektronicznym (mającym związek z bezpieczeństwem funkcjonalnym) od momentu jego konstrukcji, produkcji (współpraca z producentem/dostawcą), wdrożenia do pracy (poprawność włączenia, połączenia, uziemienia, ewentualnego ekranowania itp.), konserwacji, itp. Oznacza to, że personel wykonujący te czynności (technicy) powinien być odpowiednio przeszkolony i miał świadomość bezwzględnego przestrzegania wszystkich przepisów czynnościowych, wszystkich nakazów, zakazów itp.
- c) Dostarczanemu urządzeniu musi towarzyszyć odpowiednia dokumentacja, która powinna zawierać wszystkie niezbędne informacje o poprawnym jego włączeniu do systemu i zachowaniu tych warunków przez cały czas "życia" urządzenia. Powinna też zawierać ostrzeżenia o możliwych niebezpieczeństwach jeśli nie będą zachowane określone w dokumentacji zasady postępowania. Sformułowania, ujęte w niektórych Dyrektywach UE np., w Dyrektywie niskonapięciowej [105], dotyczące dokumentacji towarzyszącej określonemu urządzeniu nie zawierają żadnych wymagań określających środowisko elektromagnetyczne, w którym może pracować maszyna, lub dopuszczalnych wartości zaburzeń, które nie spowodują zakłóceń w jej pracy. Nie ma też żadnych wymagań, aby jej producent dostarczył odpowiednich danych umożliwiających taką ocenę.

2 Kompatybilność elektromagnetyczna

2.1 Uwagi ogólne

Życie współczesnego człowieka, w jego relacjach indywidualnych jak i społecznych, jest nie do wyobrażenia bez energii elektrycznej. Miliony różnorodnych urządzeń przetwarzających energię elektryczną na inne rodzaje energii (mechaniczną, ciepłą) są jednocześnie - niestety - źródłami niepożądanych emisji elektromagnetycznych do otaczającego je środowiska, w którym znajduje się wiele innych urządzeń elektrycznych o określonej reakcji na takie emisje. Osobną grupę stanowią urządzenia wytwarzające różnorodne sygnały elektryczne służące do przesyłania informacji drogą radiową (radiofonia, telewizja, radiokomunikacja,..) lub przewodową (telekomunikacja, teletransmisja danych, itp.). Ten rodzaj sygnałów, traktowanych jako sygnały użyteczne dla pewnych celów mogą powodować zakłócenia w pracy innych urządzeń.

Podsumowując, niezależnie od naszej woli, wszędzie tam gdzie używa się energii elektrycznej, występują różnorodne sygnały⁴, które mogą zakłócić pracę innych urządzeń lub, po przekroczeniu pewnych wartości⁵, mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia żywych organizmów.

Problem emisji zaburzeń radioelektrycznych stał się w ostatnich latach zagadnieniem pierwszorzędnej wagi i w większości krajów wysokorozwiniętych (po części także i w Polsce) zaczyna być traktowany na podobieństwo ochrony środowiska naturalnego człowieka przed zanieczyszczeniami np. wody, powietrza.

Wszystkie urządzenia elektryczne służą jakiemuś celowi. Znaczna część urządzeń jest z zasady przeznaczona do reagowania na, docierające do nich drogą radiową lub przewodową, specjalne sygnały niosące określone informacje (słowa, obraz, dane teleinformatyczne). Niestety urządzenia te bardzo często (przy określonych niekorzystnych warunkach) są podatne na występujące w ich otoczeniu sygnały zaburzające (inne niż sygnały użyteczne z ich punktu widzenia). Problem nabiera szczególnego znaczenia w związku z coraz powszechniejszym stosowaniem układów scalonych o wielkiej skali integracji, w których podzespoły czynne są rozłożone bardzo blisko siebie, pracują z bardzo wysokimi częstotliwościami przy bardzo małych poziomach sygnałów użytecznych (pojedyncze woltów w przypadku układów cyfrowych oraz mV w przypadku układów analogowych). Powszechność zastosowania takich urządzeń w różnych dziedzinach działalności człowieka uwypukla wagę ich niezawodnego (niezakłóconego) działania w przewidywanym dla nich środowisku pracy, np. układy sterowania/regulacji w kopalniach. O ile drobne zakłócenia typu chwilowego zniekształcenia głosu, braku synchronizacji obrazu są w pewnych przypadkach drażliwe, ale nie niosące bezpośredniego zagrożenia, to te same zjawiska w warunkach "katastrof" mogą być bardzo ważne. Przykładowo zaburzenia pojawiające się postaci niekontrolowanych sygnałów w strumieniu danych

⁴ W niniejszym opracowaniu pomija się problem zaburzeń elektromagnetycznych związanych ze środowiskiem naturalnym: promieniowanie kosmiczne, promieniowanie słoneczne, pola magnetyczne i elektryczne ziemi, wyładowania burzowe itd. Zjawiska naturalne są poza kontrolą człowieka. One po prostu są. W ramach swojej działalności technicznej należy je po prostu brać pod uwagę. Ponadto ten rodzaj zaburzeń w środowisku kopalni ma także drugorzędne znaczenie w stosunku do zaburzeń towarzyszących pracy różnorodnych, stosowanych tam urządzeń

⁵ Ten rodzaj promieniowania na ogół dotyczy sygnałów o charakterze fali ciągłej w bezpośredniej bliskości nadajników/anten nadawczych radiofonii/telewizji/radiokomunikacji lub urządzeń PMN (przemysłowych, medycznych i naukowych).

(niosących informacje/rozkazy o zachowaniu się maszyn dużej mocy) mogą pociągnąć za sobą straty materialne lub zagrożenie dla zdrowia, życia człowieka w wyniku dysfunkcji sterowanych nimi maszyn.

2.2 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC⁶)

Urządzenia i systemy elektroniczne są zawsze poddawane działaniu występujących w ich otoczeniu sygnałów i same ze swej istoty jako przetworniki energii elektrycznej są generatorami zaburzeń radioelektrycznych. Te zaburzenia są generowane w różnorodny sposób. Jednakże należy pamiętać, że:

główną przyczyną zaburzeń radioelektrycznych są nagłe zmiany prądu.

Są one propagowane do otaczającego środowiska elektromagnetycznego w postaci pól elektromagnetycznych lub napięć i prądów wprowadzanych do wszystkich przyłączy, którymi rozpatrywane urządzenie jest połączone z innymi urządzeniami (zasilanie, linie sygnałowe, linie transmisji danych, itp.).

Wzajemne relacje między:

- stanem środowiska elektromagnetycznego z jego "bogactwem" różnorodnych sygnałów występujących w postaci impulsów o różnych kształtach, amplitudach i czasach trwania lub w postaci fali ciągłej (niemodulowanej lub z modulacją o przypadkowym charakterze) o częstotliwościach od pojedynczych Hz do dziesiątek GHz, a
- podatnością urządzeń (małą odpornością) na zaburzenia radioelektryczne,

są przedmiotem dziedziny zwanej kompatybilnością elektromagnetyczną (EMC).

W międzynarodowej normie IEC [66] przyjmuje się następującą dla niej definicję:

Kompatybilność elektromagnetyczna jest to zdolność urządzenia lub systemu do zadowalającego funkcjonowania w jego środowisku elektromagnetycznym bez wprowadzania nietolerowalnych zaburzeń dla innych urządzeń (także organizmów żywych) znajdujących się w tym środowisku.

Problem kompatybilności elektromagnetycznej staje się ostatnio bardzo ważny ze względu na następujące czynniki:

- poziom generowanych zaburzeń rośnie w wyniku wzrostu prądów (i napięć) w sieciach zasilania. Przykładowo w kopalniach stosuje się napięcia zasilania do kilku kV, a pobory prądu sięgają tu setek A; jakkolwiek zmiana prądu w takich sieciach (w szczególności nagła zmiana) jest powodem bardzo silnych zaburzeń elektromagnetycznych w samej sieci (zaburzenie przewodowe) jak i w otoczeniu (zaburzenia promieniowane),

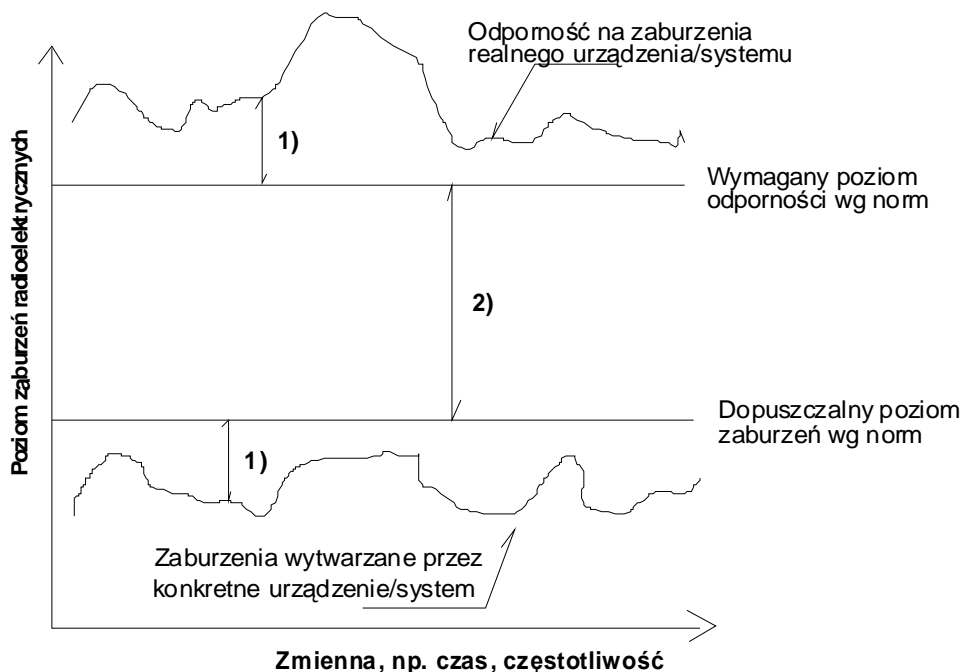
⁶ EMC - skrót przyjęty w literaturze technicznej (stosowany w większości krajów na świecie, także i w Polsce) od angielskiego określenia: **E**lectro**M**agnetic **C**ompatibility, oznaczającego współistnienie urządzeń/systemów elektrycznych/elektronicznych bez wzajemnego wpływu na swoje działanie. W polskiej literaturze technicznej występuje także skrót KEM – Kompatybilność **E**lektro**M**agnetyczna.

- obwody elektroniczne, stosowane przy budowie urządzeń, są coraz bardziej czułe, w wyniku stosowania układów scalonych o wysokiej skali integracji,
- odległości między „obwodami czułymi” i „obwodami zaburzającymi” stają się coraz mniejsze.

Dlatego też kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) jest fundamentalnym kryterium, które musi być brane pod uwagę we wszystkich fazach produkcji urządzenia, poczynając od fazy projektu aż do fazy uruchomienia produkcji i instalacji u użytkownika (w jego specyficznym środowisku elektromagnetycznym).

Ponadto EMC ma obecnie charakter legalny poprzez ustanowienie norm międzynarodowych i ich egzekucję w skali krajowej i międzynarodowej. W Unii Europejskiej obowiązuje w tym względzie Dyrektywa EMC (89/336/UE, [103])⁷.

Kryteria wzajemnych relacji między tymi czynnikami są przedmiotem analizy konkretnej sytuacji. Z zasady w dobrze zorganizowanym środowisku elektromagnetycznym powinny być zachowane relacje pokazane na Rysunku 1 [66].



Rysunek 1

- 1) Marginesy "bezpieczeństwa" związane z konstrukcją realnego urządzenia. Należy pamiętać, że wprowadzane na rynek urządzenie musi mieć zachowane te marginesy w stosunku do wymagań właściwej dla niego normy.
- 2) Margines kompatybilności elektromagnetycznej (odstęp między dopuszczalnym poziomem zaburzeń i poziomem wymaganej odporności na zaburzenia). Margines ten ustalają normy ogólne dla środowiska mieszkalnego, handlowego [37, 39] i dla środowiska przemysłowego [38, 40]

⁷ Dyrektywa Rady 89/336/EWG [103] z dnia 3 maja 1989 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstwa Państw Członkowskich dotyczącego kompatybilności elektromagnetycznej. W chwili obecnej Dyrektywa ta jest zastępowana przez Dyrektywę nr 2004/108/UE [104].

2.3 EMC jest problemem skomplikowanym

Kompleksowa analiza EMC musi uwzględniać:

- źródło zaburzeń we wszystkich aspektach jego budowy i działania (wymiary, lokalizacja, połączenia z otoczeniem, zasada działania, pobór mocy, itp.),
- drogi rozchodzenia się zaburzeń i charakteru sprzężeń z otaczającym środowiskiem elektromagnetycznym,
- podatność urządzeń na zaburzenia (w normach stosuje się określenie tej cechy urządzenia jako odporność na zaburzenia),
- docelowe środowisko pracy urządzenia. Rozróżnia się zasadniczo dwa rodzaje środowisk: środowisko mieszkalne, handlowe i lekko uprzemysłowione oraz środowisko przemysłowe. Należy jednak pamiętać, że ten podział nie wyczerpuje w sposób jednoznaczny wszystkich sytuacji. Spełnienie wymagań norm [38, 40] dla środowiska przemysłowego nie oznacza, że oceniane urządzenie zachowa swoją funkcjonalność w środowiskach specjalnych (np. kopalni, w zakładzie chemicznym, itp.).

Powyższe czynniki nie są niezależne. Przykładowo w fazie instalacji urządzenia, jego odległość w stosunku do najbliższych urządzeń, ekranowanie, zastosowanie filtrów to nie tylko aspekt zmniejszania emisji zaburzeń, czy też zwiększania odporności na zaburzenia ale także ingerencja w drogi przenikania zaburzeń.

Generalnie problemu EMC nie można rozwiązać teoretycznie dla realnych sytuacji. W każdym przypadku obserwuje się tak wiele czynników i o takiej zmienności, że szczegółowa analiza byłaby problemem nawet po zastosowaniu komputerów o największej mocy obliczeniowej.

W praktyce problemy EMC rozwiązuje się stosując przybliżone założenia, uproszczone modele źródła i urządzenia zakłócanego oraz rozsądną klasyfikację istotności dróg przenikania zaburzeń. Stąd wiedza specjalistyczna w tym względzie jest tu nie do przecenienia.

2.4 Identyfikacja źródeł zaburzeń

Identyfikacja źródła zaburzeń i ich charakteru jest bardzo ważna, ponieważ daje to wiedzę o ewentualnych krokach, które należy przedsięwziąć w celu wyeliminowania ich wpływu i uzyskać pożądany efekt przy rozsądnych nakładach finansowych.

2.4.1 Przyczyny zaburzeń:

1. Zjawiska w dystrybucyjnych sieciach energetycznych związane z operacjami przełączania. Nagłe włączenie/wyłączenie dużych obciążeń powoduje silne udary dochodzące do kilku kV na zaciskach dużych indukcyjności z dużą zawartością harmoniczną (w pewnych przypadkach odczuwalnych nawet w zakresie częstotliwości do kilkuset MHz). W sieciach średniej i małej mocy przełączanie powoduje powstawanie szeregu impulsów o bardzo krótkich czasach narostu (rzędu kilku ns) stanowiących poważne zagrożenie dla urządzeń ze sterowaniem mikroprocesorowych.

2. Promieniowanie związane z pracą zdalnie sterowanych/monitorowanych systemów, radiokomunikacją, radiofonią, telewizją, CB-radio itp. Ten rodzaj systemów jest powodem powstawania w bardzo szerokim zakresie częstotliwości (w zależności od częstotliwości pracy branego pod uwagę urządzenia) natężeń pól rzędu od kilku do kilkudziesięciu V/m.
3. Wyładowania elektrostatyczne. Stosowane wyroby z tworzywa sztucznego (np. dywany) w zależności od wilgotności powietrza, ładują się do kilkunastu kV. Jakikolwiek kontakt z nimi metalowych elementów powoduje przeskok iskry o bardzo krótkim czasie trwania (ns) powodującej zaburzenia w bardzo szerokim zakresie częstotliwości

Bardziej szczegółowy podział na rodzaje zaburzeń przedstawia poniższe zestawienie, wzięte z [111].

- **Zaburzenia przewodzone małej częstotliwości (m.cz.) w sieci zasilania**
 - Harmoniczne
 - Systemy sygnalizacji
 - Fluktuacje napięć
 - Zapady i przerwy
 - Asymetria (w sieciach 3-fazowych)
 - Zmiany częstotliwości sieci
 - Indukowane napięcia
 - Występowanie prądu stałego w sieciach prądu zmiennego
- **Zaburzenia promieniowane m.cz.**
 - Pola magnetyczne: ciągłe lub impulsowe
 - Pola elektryczne
- **Zaburzenia przewodzone wielkiej częstotliwości (w.cz.)**
 - Indukowane napięcia/prądy przez pola w.cz. (np. od urządzeń PMN, stacje radiowe),
 - Przebiegi nieustalone, unipolarne (o charakterze pojedynczych impulsów lub ich serii)
 - Przebiegi oscylacyjne (pojedyncze lub w powtarzających się seriach)
- **Zaburzenia promieniowane, w.cz.**
 - Pola magnetyczne
 - Pola elektryczne
 - Pola elektromagnetyczne w postaci: fali ciągłej (urządzenia PMN), fali modulowanej (stacje radiowe) lub przebiegów przejściowych (radary).
- **Wyładowania elektrostatycznego (ESD)**
- **Impuls elektromagnetyczny związany z wybuchem nuklearnym na dużej wysokości (HEMP)**

Powyższy podział ilustruje złożoność problemu. Ograniczenie każdego z tych zaburzeń wymaga często innego podejścia w praktyce w celu minimalizacji ich wpływu na inne urządzenia. Dla każdego z nich opracowane zostały odpowiednie normy zalecające sposób ich pomiarów i dopuszczalne poziomy. Istnieje także szereg norm lub raportów technicznych z opisem sposobu postępowania przy ich ograniczaniu [90]. W tablicach 2 i 3 znajduje się bliższe omówienie różnorodnych zaburzeń

elektromagnetycznych, przykłady urządzeń szczególnie podatne na rozważane zaburzenie wraz z przytoczeniem właściwych im norm dających bliższe informacje co do metody badań zaburzeń i odporności na zaburzenia [99].

2.4.2 Parametry zaburzeń:

Sygnały elektromagnetyczne mogą być wytwarzane intencjonalnie (różnorodne służby radiowe i teletransmisja danych) lub mogą być efektem ubocznym w pracy wielu urządzeń przeznaczonych do przetwarzania mocy; np. przekształtniki tyrystorowe, itp.

Niezależnie jednak od przyczyn powstawania zaburzeń można je scharakteryzować następującymi parametrami:

- szerokość widma wytwarzanych zaburzeń (zakres częstotliwości, w którym odczuwa się ich skutki); wąskie dla służb radiowych lub bardzo szerokie przy wyładowaniach elektrostatycznych (ESD), wyładowaniach iskrowych (elektrodrażarki) lub łukowych (spawarki),
- kształt generowanych przebiegów, czasy trwania i czasy narastania impulsów. Te parametry czasowe mają bezpośredni wpływ na szerokość widma generowanych zaburzeń,
- poziom zaburzeń napięć/prądów dla zaburzeń występujących w przyłączach sieci/sygnalizacji itp. i natężeń pola w otoczeniu,
- energia zawarta w zaburzeniu o charakterze impulsowym.

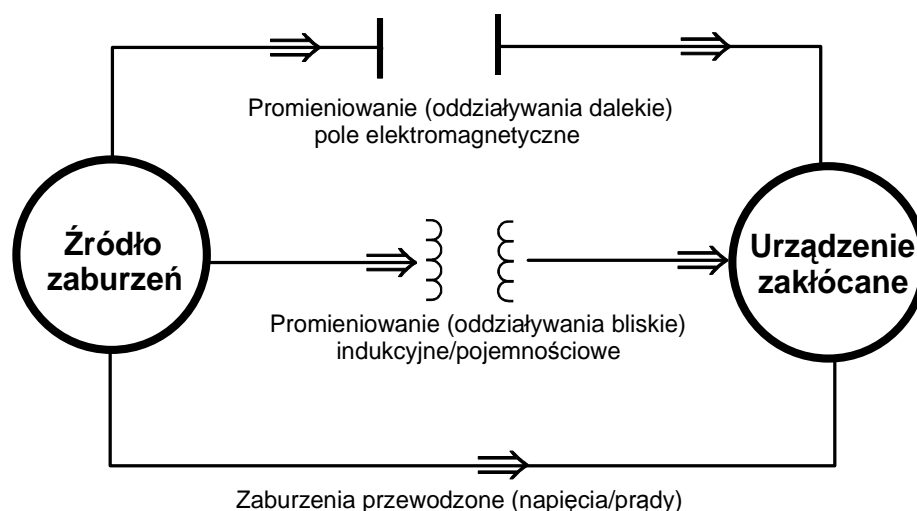
Przykład zaburzeń powstających w procesie przełączania stacji WN, 24 kV [113]. Nagłe przełączenie powoduje krótkotrwałe zmiany napięcia (w czasie kilku ns) dochodzące w skrajnych przypadkach do kilkuset kV. Obserwuje się tu także bardzo silne pole elektryczne o natężeniu do kilku kV/m w bezpośrednim sąsiedztwie (ok. 1 m). W metalowych obudowach przełączników mogą powstawać natężenia pola jeszcze o większej wartości. Tu należy zwrócić uwagę na istnienie ewentualnych szczelin (w znaczeniu braku kontaktu między metalowymi częściami obudowy). Takie szczeliny są źródłem wtórnego promieniowania z uwypukleniem zaburzeń na ich częstotliwościach rezonansowych (wynikających z wzajemnej relacji między wymiarem szczelin i długością fali).

2.5 Drogi przenikania zaburzeń

Zaburzenia mogą rozchodzić się w postaci:

- napięć wspólnych między całą wiązką przewodów źródła zaburzeń a ziemią odniesienia,
- napięć/prądów międzyprzewodowych,
- pola elektromagnetycznego o charakterze pola dalekiego (promieniowanie elektromagnetyczne ze znaną zależnością między obu składowymi pola – magnetyczną i elektryczną),
- pola elektromagnetycznego w bezpośrednim sąsiedztwie urządzenia o charakterze pola bliskiego z dominującą składową magnetyczną bądź elektryczną

Przykładowe drogi przenikania zaburzeń – ilustruje Rysunek 2.



Rysunek 2
Drogi rozchodzenia się zaburzeń radioelektrycznych

2.6 Minimalizacja zaburzeń

Dobłą praktyką konstrukcyjną jest pamiętanie o następujących (sprawdzonych przez wielu konstruktorów) zaleceniach prowadzących do minimalizacji emisji niepożądanych zaburzeń:

- źródła „zaburzeń” należy zamykać w ekranowanych obudowach,
- wszystkie przewody wchodzące/wychodzące z obudowy "zaburzonej" powinny mieć filtry przeciwzakłóceńowe,
- czasy narostu/opadania wszelkich impulsów należy ograniczać do niezbędnego minimum,
- cewki przekaźników należy zaopatrzyć w tłumiki "udarów", styki przekaźników i wszelkiego rodzaju przełączników zaopatrzyć w "gasiki",
- przewody "zaburzone" - ekranować lub tworzyć skręcane pary,
- ekrany kabli stosowany do tłumienia zaburzeń promieniowanych należy uziemiać obustronnie.

2.7 Urządzenia zakłócanie

Reakcja urządzenia zakłócanego (jego podatność na zaburzenia) na zaburzenia może mieć różnorodny charakter, na przykład:

- permanentna, powtarzalna na określone zaburzenia,
- przypadkowa i niepowtarzalna pojawiająca się w trakcie występowania zaburzenia,
- przypadkowa, niepowtarzalna – urządzenie pozostaje w stanie dysfunkcji po ustaniu zaburzenia,
- trwałe uszkodzenie urządzenia.

Powyższy podział oparty jest o kryteria czasu trwania niewłaściwego zachowania się urządzenia. W każdym przypadku należy brać pod uwagę skutki jakie może to wywołać. Mogą to być drobne efekty wywołujące jedynie dyskomfort jego użytkownika lub bardzo groźne, jeśli zakłócone urządzenie jest odpowiedzialne za np. sterowanie innym dużym urządzeniem, które wysterowane niewłaściwie może spowodować sytuacje kryzysowe. Przykładem takiego zachowania się było zakłócenie (przez

radiotelefon) systemu sterowania ruchomym chodnikiem (bliższe omówienie tego zdarzenia znajduje się w Załączniku 1 do niniejszego sprawozdania). Ale ten problem to już zagadnienie bezpieczeństwa funkcjonalnego i jego związków z kompatybilnością elektromagnetyczną.

2.8 Środki zwiększające odporność urządzeń na zaburzenia radioelektryczne

1. Projekt urządzenia. Dotyczy to w szczególności projektu płytek drukowanych uwzględniający właściwe poprowadzenie ścieżek sygnałowych i ścieżek niosących sygnały zakłócające (Np. zegara taktującego względem obwodów analogowych), właściwe uziemienia, zastosowanie filtrów itp.
2. Wybór właściwych podzespołów. Istnieje szereg podzespołów zwiększających odporność urządzeń na zaburzenia elektromagnetyczne, np. przewodzone. Wybór zależy od mocy chronionego obwodu (zasilanie, układy sygnałowe) i rodzaju zaburzenia (ciągłe, impulsowe małej mocy, impulsowe udarowe) i zakresu częstotliwości. Poniżej w tabelicy 1, tytułem przykładu, wymieniono zestaw podzespołów stosowanych do ochrony układów przed zaburzeniami.
3. Uziemienia - czynnik bardzo ważny. Należy na ogół stosować jak najkrótsze ścieżki/przewody/taśmy metalowe połączone pewnie z obudową metalową i z ogólnym uziemieniem. Należy pamiętać, że uziemienie ochronne nie zawsze oznacza dobre uziemienie z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej (EMC).

Rozpatrzenie i uwzględnienie wpływu tych wszystkich czynników jest bardzo ważne (choć czasami kłopotliwe i niechętnie stosowane ze względu na niezbyt „oczywisty” wpływ na funkcjonalność urządzenia. Często zadawane jest pytanie: po co? Urządzenie działa! A wszystko kosztuje!. W tabelicy 1 zestawiono - tytułem przykładu - podzespoły, które zastosowanie zapewnia odpowiedni rodzaj ochrony przed zaburzeniami elektromagnetycznymi.

Tabela 1

Rodzaj ochrony	Przykład podzespołu
Ochrona przepięciowa w obwodach zasilania	Iskierniki / odgromniki / ograniczniki
Ochrona przepięciowa w układach elektronicznych	Warystory / diody Zenera
Filtracja w układach elektronicznych, monitoringu, sterowania	Transformatory izolujące / dławiki i kondensatory przeciwzakłóceniami / specjalizowane filtry
Ekranowanie obwodów transmisji danych, „czułych” na zaburzenia układów elektronicznych	Obudowy metalowe: pełne, z siatek kable ekranowane / uszczelki w.cz.

Patrząc na cały problem perspektywicznie i biorąc pod uwagę aspekt prawny (spełnienie wymagań Dyrektywy EMC), można dojść do wniosku, że uwzględnienie problemów EMC już w fazie projektu urządzenia, po analizie jego zadań i stanu przyszłego jego środowiska pracy, opłaca się. Należy pamiętać, że zaniechanie tych problemów może prowadzić w przyszłości do wielokrotnych zmian konstrukcyjnych, wprowadzania podzespołów przeciwzakłóceniami i konieczności wykonywania badań z zakresu EMC (niestety bardzo kosztownych).

Poniżej zestaw „dobrych porad” prowadzących do poprawy odporności konstruowanego urządzenia na zaburzenia. Przestrzeganie tych "rad" prowadzi także do minimalizacji emitowanych zaburzeń. Należy zatem:

- przewody "mało-sygnałowe": umieszczać blisko chassis (w szczególności, gdy są to przewody wysoko-impedancyjne),
- pary przewodów sygnałowych o małej częstotliwości – skręcać lub ekranować, a ekrany uziemiać jednostronnie,
- unikać pętli w obwodach uziemienia linii mało-sygnałowych (wyjątek to przewody wielkiej częstotliwości i układów logicznych),
- stosować kable ekranowane - w szczególności w przypadku sygnałów wielkiej częstotliwości: ekran uziemiać po obu stronach,
- przewody "zaburzone" i "ciche" separować przewodem uziemiającym,
- unikać wspólnego uziemienia dla przewodów "wielko" i "mało" sygnałowych,
- stosować przewody uziemiające jak najkrótsze,
- unikać przypadkowych uziemień,
- zachować "separację" przestrzenną przewodów "zaburzonych" i "cichych",
- urządzenia "czułe na zaburzenia" umieszczać w specjalnym ekranie,
- przewody wychodzące z ekranów urządzeń "czułych na zaburzenia" wyposażyć w filtry,
- przewody "czułe" na zaburzenia powinny być jak najkrótsze,
- zwrócić uwagę, aby przewody "wewnętrzne" kabli koncentrycznych wychodzące poza ekran były jak najkrótsze,
- stosować metalizację (farby, uszczelki) elementów wykonanych z tworzywa, zwłaszcza przy metalowych powierzchniach stykowych,
- rozważyć sposób "przerwania" pętli uziemiającej przez zastosowanie: transformatora izolującego - dławika - linii światłowodowej - wzmacniacza różnicowego

2.9 Środowisko pracy urządzenia

W zakresie norm dotyczących wyłącznie kompatybilności elektromagnetycznej zasadniczo wyróżnia się dwa środowiska pracy. Są to:

- środowisko mieszkalne, handlowe i lekko uprzemysłowione, oraz
- środowisko przemysłowe.

Dla tych dwu środowisk opracowano odpowiednie normy ogólne [37 ÷ 40], które definiują odpowiednie metody pomiarów i wymagane poziomy odporności lub dopuszczalnych emisji zaburzeń poprzez odwoływanie się do norm serii 61000-4-x [9 ÷ 34] oraz serii 550xx⁸ [41 ÷ 48].

2.10 Przepisy prawne z zakresu EMC

Normy z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej istnieją od kilkadziesiąt lat. Pierwsze uregulowania na szczeblu międzynarodowym były wydane przez CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques - Międzynarodowy specjalny Komitet ds. Zakłóceń Radioelektrycznych) i dotyczyły emisji zaburzeń radioelektrycznych pod kątem ochrony odbioru

⁸ Zasady numeracji norm przyjęte w IEC oraz w UE, a w konsekwencji i w Polsce, omówione są w kolejnym rozdziale niniejszego opracowania

radiowego. Normy CISPR dotyczą emisji i odporności specyficznych grup urządzeń (artykuły gospodarstwa domowego, urządzenia oświetleniowe, urządzenia radiowe, urządzenia informatyczne i końcowe urządzenia telekomunikacyjne) w zakresie częstotliwości powyżej 9 kHz.

Publikacje CISPR wprowadzane są w Unii Europejskiej z oznaczeniem EN 550xx; gdzie xx - numer publikacji CISPR. Na przykład publikacja CISPR 14-1 dotycząca pomiarów emisji zaburzeń radioelektrycznych sprzętu powszechnego użytku wprowadzana jest w UE jako norma EN 55014-1 [43] (w Polsce jako norma PN-EN 55014-1). Publikacja CISPR 16 (rozbita ostatnio na szereg części) jest normą podstawową i dotyczy wymagań dla sprzętu pomiarowego stosowanego w miernictwie EMC, metod pomiarów, statystyki i niepewności pomiarów przy ocenie zgodności z wymaganiami).

Komitet Elektrotechniczny, IEC⁹ (International Electrotechnical Committee) rozpoczął wydawanie norm z zakresu EMC w aspekcie emisji i odporności urządzeń o zastosowaniach cywilnych. Zagadnienie EMC i opracowanie odpowiednich norm są domeną Komitetu Technicznego TC 77B, Kompatybilność elektromagnetyczna. Komitet ten odpowiada za przygotowanie norm międzynarodowych i raportów technicznych z zakresu EMC, ze szczególnym zwróceniem uwagi na zastosowania ogólne oraz ich wykorzystanie przez komitety wyrobów w części dotyczącej problemów EMC dla ich wyrobów.

Zakres zainteresowań TC 77B:

- odporność urządzeń w całym zakresie częstotliwości od 0 do 400 GHz; opracowywanie norm podstawowych (basic standards) i norm ogólnych (generic standards),
- emisja zaburzeń w zakresie małych częstotliwości (< 9 kHz), tj. harmoniczne i fluktuacje w sieciach zasilania: normy podstawowe, normy ogólne i normy wyrobów,
- emisja zaburzeń w zakresie wyższych częstotliwości (> 9 kHz) nie objętych działalnością CISPR; np. sygnalizacja w sieciach zasilania,
- emisje zaburzeń nie rozpatrywanych przez CISPR; np. szybkie stany przejściowe, udary.

Normy CISPR i IEC z zasady reprezentują aktualny stan wiedzy w tym zakresie i jako takie służą jedynie jako zalecenia. Legalny ich status występuje jedynie w przypadku oficjalnego wprowadzenia ich do norm krajowych.

Normy Europejskie (wydawane przez CENELEC) mają bardziej wiążący charakter. Są one publikowane jako normy europejskie (EN) i w takim przypadku stanowią one bazę do procesu "harmonizacji norm" we wszystkich krajach członkowskich Unii Europejskiej. Muszą one być przenoszone do przepisów krajowych przy jednoczesnym wycofaniu innych norm na ten sam temat. W takim przypadku stają się one krajowymi normami lub zaleceniami; w Polsce normy takie są wydawane po zastosowaniu rozszerzenia PN-EN.

Gwałtowny rozwój elektroniki we wszystkich jej aspektach (powszechność zastosowań, miniaturyzacja) wymusiły podejście całościowe do problemów EMC. Koncepcja takiego podejścia zawiera się w zhierarchizowanym podziale norm na:

⁹ Członkami IEC są krajowe jednostki normalizacyjne (w Polsce PKN) z 61 rozwiniętych krajów, które obejmują ponad 80 % populacji, zużywają ponad 95 % energii elektrycznej i produkują ponad 90 % różnorodnych urządzeń elektronicznych/elektrycznych.

- **normy podstawowe** (basic EMC standards), które ustalają ogólne i podstawowe warunki uzyskiwania określonej kompatybilności elektromagnetycznej. Dotyczą one wszystkich rodzajów urządzeń, systemów, instalacji i środowisk. Służą jako odniesienie dla komitetów technicznych (działających w ramach CISPR i IEC) opracowujących normy szczegółowe dotyczące określonych wyrobów lub ich rodzin. Normy podstawowe nie ustalają konkretnych wymagań. To zagadnienie jest przedmiotem norm ogólnych lub norm szczegółowych.

Normy podstawowe dotyczą: terminologii, opisu zjawisk, specyfikacji poziomów kompatybilności elektromagnetycznej, ogólnych wymagań w zakresie ograniczania emisji zaburzeń radioelektrycznych, zaleceń ostrości poziomów badawczych przy ocenie odporności urządzeń na zaburzenia radioelektryczne, technik pomiarowych i ich stosowalności oraz opisu i klasyfikacji środowisk pracy urządzeń. Normy podstawowe są oznaczone wyraźnie opisem Norma Podstawowa (Basic EMC standard) z podaniem jej rodzaju: norma - przewodnik - raport techniczny.

- **normy ogólne** (generic EMC standards) dotyczą wymagań z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej w odniesieniu do konkretnego środowiska. Ustalają one minimalny zestaw podstawowych wymagań i procedur badania odnoszących się do wszystkich urządzeń i systemów działających w danym środowisku pod warunkiem, że nie ma w tym względzie żadnych norm szczegółowych. Normy ogólne:

- nie podają szczegółowych opisów metod pomiarowych. W tym względzie odwołują się one do norm podstawowych,
- określają wymagania i właściwe metody badania w zakresie emisji zaburzeń i odporności na zaburzenia,
- ustalają jedynie minimalny zestaw wymagań i metod pomiarowych (biorąc pod uwagę optimum ekonomiczno-techniczne),
- są oznaczone odpowiednim opisem - Norma Ogólna (Generic Standard) - rodzaj wymagania: emisja lub odporność - środowisko przemysłowe lub mieszkaniowe Obecnie obowiązują 4 normy ogólne [37 ÷ 40].

- **normy przedmiotowe** (produkt family EMC standards). Normy te definiują specyficzne wymagania oraz metody badania dla określonej grupy (rodziny) urządzeń. Odwołują się one do norm podstawowych (odchylenia od norm podstawowych są dopuszczalne jedynie w wyjątkowych przypadkach) i są koordynowane z normami ogólnymi. Mają one jednak moc nadrzędną w stosunku do norm ogólnych (mogą definiować ostrzejsze lub łagodniejsze wymagania). Normy ogólne obowiązują jedynie przy braku norm przedmiotowych.

Przykłady norm przedmiotowych, dotyczących rodzin wyrobów:

- urządzenia powszechnego użytku (PN-EN 55014-1/2: emisja/odporność [43, 44]),
- urządzenia informatyczne (PN 55022 - emisja [46] i 55024 - odporność [47]),
- urządzenia radiowe (PN-EN 55013 - emisja i PN-EN 55020 - odporność).

- **normy wyrobów** (produkt EMC standard) dotyczą konkretnego wyrobu lub instalacji. Obowiązują tu te same zasady w odniesieniu do badań i wymagań jak dla rodziny wyrobów. Mają one postać albo norm samodzielnych, albo zwarty rozdział w normie bardziej ogólnej (np. dotyczącej podobnej rodziny wyrobów). Określają one odpowiednia instalacje urządzenia i jego specyficzne warunki działania oraz kryteria nieprawidłowego działania (podczas badania ich odporności) uwzględniające przeznaczenie wyrobu.

W ramach TC 77B powstają normy serii IEC 61000, które dzielą się na 9 części. Z kolei każda z części jest podzielona na arkusze, które są publikowane jako normy międzynarodowe lub raporty techniczne. Normy te (lub raporty) po nieznacznych zmianach wprowadzane są do norm europejskich z odpowiednią numeracją jako normy EN 61000-x-y i z tą samą numeracją jako normy polskie: PN-EN 61000-x-y (gdzie: x - nr części; y - arkusz).

Normy IEC z serii 61000 dotyczą kompatybilności elektromagnetycznej, a ich podział na odpowiednie części wynika z pogrupowania tematyki według podanego poniżej układu

Każda część jest podzielona na arkusze, które są publikowane jako normy międzynarodowe lub specyfikacje techniczne

- Część 1:** Postanowienia ogólne. Rozważania ogólne (wprowadzenie, podstawowe zasady. Definicje, terminologia.
- Część 2:** Środowisko elektromagnetyczne i jego klasyfikacja. Poziomy kompatybilności.
- Część 3:** Wartości graniczne. Dopuszczalne poziomy emisji zaburzeń radioelektrycznych. Wymagane poziomy graniczne odporności na zaburzenia (inne wartości graniczne mogą być zawarte w normach dotyczących konkretnych wyrobów lub ich grup).
- Część 4:** Metody badań i pomiarów. Przegląd tematyki norm ujętych w tej części - p. tabl 2.
- Część 5:** Instalowanie urządzeń i ograniczenia zaburzeń; wskazówki dotyczące instalowania; Metody i urządzenia przeznaczone do ograniczania zaburzeń.
- Część 6:** Normy ogólne dotyczące emisji i odporności urządzeń przewidywanych do pracy w środowisku przemysłowym lub w środowisku mieszkalnym (handlowym i lekko uprzemysłowionym). Normy obowiązują, jeśli dla rozważanych urządzeń nie ma odpowiednich norm dedykowanych

Wykaz wszystkich norm serii PN-EN 61000 - (nr części) - (arkusz) wprowadzonych w kraju (w języku polskim lub w języku oryginału - jako norma uznaniowa) znajduje się w Katalogu norm PKN (www.pkn.pl).

3 Środowisko elektromagnetyczne

3.1 Uwagi ogólne

Środowisko elektromagnetyczne to zespół lokalizacji mających wspólne własności w odniesieniu do rodzajów i gęstości (ilości) stosowanych tam urządzeń elektronicznych/elektrycznych z uwzględnieniem ich warunków lokalizacyjnych i wzajemnych wpływów zewnętrznych i generowanych przez te urządzenia zjawisk elektromagnetycznych.

Dla określonego urządzenia, środowisko elektromagnetyczne to najczęściej wynik obecności występowania w jego bezpośrednim otoczeniu innych urządzeń będących źródłami zaburzeń, wzajemnej odległości i zastosowanych środków zapobiegawczych w postaci ekranowania, filtrów itp. Oczywiście – w pewnych sytuacjach, w specyficznym środowisku - należy mieć na względzie także wpływ odległych źródeł zaburzeń docierających do rozważanej lokalizacji za pośrednictwem pola elektromagnetycznego (silne stacje radiowe) lub poprzez wspólną sieć zasilania, wspólne okablowanie sygnałowe, itp.

Cechą podstawową w opisie środowiska elektromagnetycznego jest wielostronna ocena wszelkich zjawisk elektromagnetycznych. Klasyfikacja opiera się na ocenie zjawisk najbardziej typowych dla danego środowiska.

Identyfikuje się trzy podstawowe kategorie zjawisk zaburzeniowych"

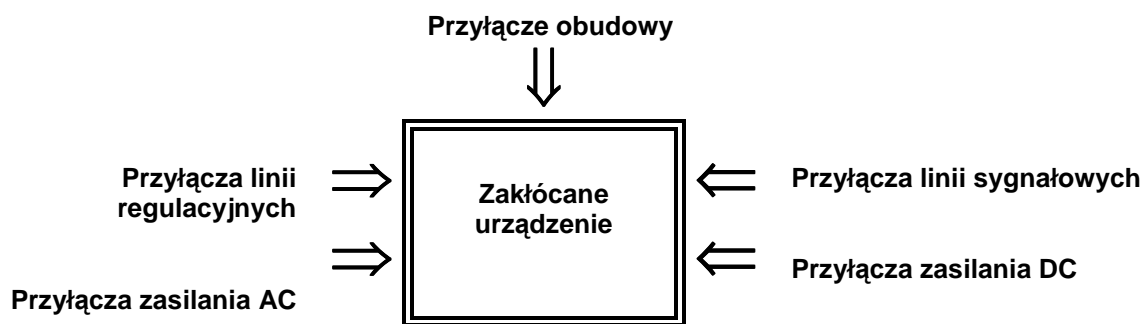
- a. zjawiska m.cz. (jako granicę przyjmuje się częstotliwość: $f \leq 9$ kHz),
- b. zjawiska w.cz. ($f > 9$ kHz),
- c. wyładowania elektrostatyczne (ESD).

Kolejne cechy zaburzeń EM, brane pod uwagę, to:

- a. atrybuty ilościowe zaburzenia:
 - o rozkład widmowy: amplituda w funkcji częstotliwości przy ustalonych parametrach wartościowania,
 - o parametry czasowe: kształt przebiegu, amplituda,
 - o częstość występowania zjawiska zaburzeniowego, itp.,
- b. dla każdego atrybutu ilościowego: wybór jednej wartości jako najbardziej reprezentatywnej dla wybranej klasy środowiska,
- c. ustalenie wymagań w odniesieniu do poziomu kompatybilności elektromagnetycznej dla danego środowiska (to jest relacji między dopuszczalnym poziomem zaburzeń i wymaganą odpornością z uwzględnieniem odpowiednich marginesów - p. rozdział 2).

I wreszcie kolejną ważną sprawą w ocenie stanu środowiska elektromagnetycznego jest "połączenie" urządzenia z otoczeniem (w normach EMC przyjmuje się określenie "przyłącze" lub "port"), poprzez które może ono być zakłócone. Wyróżnia się następujące rodzaje przyłączy:

- a. obudowa,
- b. przewody zasilania (zmiennoprądowe - AC lub stałoprądowe - DC),
- c. linie sygnałowe/regulacyjne/sterowania,
- d. połączenie urządzenia z ziemią odniesienia lub ziemią realną.



Rys. 3 "Połączenia" zakłócanego urządzenia z otoczeniem (poprzez które mogą oddziaływać zaburzenia EM)

Pomocną, w klasyfikacji środowisk i ocenie najistotniejszych w nich zaburzeń EM, może być Publikacja IEC 61000-2-5 [72]. Zawarte w niej dane można wykorzystać w przypadku dowolnego urządzenia, systemu lub jego podzespołu wykorzystującego energię elektryczną i pracującego w jednym z omawianych w Publikacji środowisk. Publikacja nie zawiera opisu środowisk specjalnych (np. w pojazdach, w środkach trakcyjnych, statkach, samolotach, kopalniach, i innych stanowiących pewien charakterystyczny system urządzeń i klasę środowiska). W Publikacji wyróżniano osiem klas środowiskowych, dla których wytypowano najbardziej charakterystyczne rodzaje spodziewanych tam zaburzeń i przypisano im odpowiednie stopnie ważności.

Przykładowo:

stopień "A" - dotyczy środowiska, w którym konieczne są pewne środki "zapobiegawcze" poprawiające warunki niezakłóconej pracy innych urządzeń,

stopień "X"- dotyczy środowiska, w którym mogą wystąpić wyjątkowe warunki, wymagające specjalnego potraktowania, np. ze względu na zapewnienie odpowiedniego bezpieczeństwa funkcjonalnego, to jest uniknięcie sytuacji niosących zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi lub poważnych (kosztownych) uszkodzeń sprzętu.

W zależności od przeznaczenia urządzenia zakłócanego można wyróżnić zaburzenia:

- a **katastroficzne** - zaburzenia mogące powodować śmierć, rany, uszkodzenia urządzeń lub powodować inne niebezpieczne sytuacje,
- b **krytyczne** - nie ma bezpośredniego zagrożenia dla życia i zdrowia człowieka, ale mogą wystąpić inne trwałe uszkodzenia urządzeń lub szkodliwe sytuacje, ale w stopniu umiarkowanym,
- c **silne zaburzenia** - wpływ oczywisty, ale skutki umiarkowane,
- d **małe zaburzenia** - może wystąpić chwilowa utrata własności zastosowanego urządzenia lub inna chwilowa "nie dobra" sytuacja,
- e **zaburzenia pomijalne** - o śladowym wpływie na urządzenia. Nie ma potrzeby interwencji operatora.

Z powyższej klasyfikacji wynika, że krytyczność zaburzeń zależy nie tylko od rozpatrywanego urządzenia, ale także od jego "współdziałania" z otaczającym go "światem". Należy pamiętać

o względności tego podziału: małoszaczące zaburzenia dla danego urządzenia mogą mieć "katastroficzne" znaczenie dla systemu gdzie mogą powodować niebezpieczne sytuacje (np. sprzęt komputerowy na pokładzie samolotu).

Inny podział "szkodliwości" zaburzeń został przyjęty w normach serii 61000-4-x przy ustalaniu kryteriów odporności urządzeń na różnorodne zaburzenia.

- a **Kryterium A** - normalne zachowanie się urządzenia w zakresie jego dopuszczalnych tolerancji,
- b **Kryterium B** - chwilowa utrata funkcjonalności lub parametrów, które samoczynnie ustępują po zaniku zaburzeń,
- c **Kryterium C** - chwilowa utrata własności urządzenia, przy czym wymagana jest interwencja operatora,
- d **Kryterium specjalne** - całkowita utrata własności w wyniku uszkodzenia urządzenia, uszkodzenia oprogramowania lub utrata danych.

3.2 Opis lokalizacji środowiskowych

Środowiska podane w normach ogólnych [37 ÷ 40] wyróżniają dwa charakterystyczne rodzaje, dla których ustala się określone wymagane poziomy odporności urządzeń na charakterystyczne dla tych środowisk zaburzenia oraz maksymalne dopuszczalne poziomy emisji. Te środowiska to:

- Środowisko dotyczące lokalizacji mieszkalnych, handlowych i lekko uprzemysłowionych, wewnątrz i na zewnątrz pomieszczeń. Ich cechą charakterystyczną jest zasilanie bezpośrednio z sieci niskiego napięcia. Dotyczy ono posesji mieszkaniowych, miejsc handlowych (sklepy), tereny urzędowe (biura), tereny zewnętrzne (stacje benzynowe, parkingi, ośrodki sportowo-rozrywkowe), tereny lekko uprzemysłowione (warsztaty, laboratoria, punkty usługowe).
- Środowisko przemysłowe wewnątrz i na zewnątrz pomieszczeń. Urządzenia pracujące w tym środowisku podłączone są do sieci elektroenergetycznej zasilanej z transformatorów średniego lub wysokiego napięcia. Urządzenia przewidziane do pracy w środowisku przemysłowym mają często bardzo duże obciążenia indukcyjne lub pojemnościowe, pobierają duże prądy wytwarzające silne pola magnetyczne, mogą pracować przy częstym przełączaniu obciążenia, itp.

Poniżej, tytułem przykładu, w tablicy 2 zestawiono, dla urządzeń przewidzianych do pracy w środowisku przemysłowym, wymagania z zakresu odporności na zaburzenia EM ciągłe i impulsowe. Ustalone w normach poziomy nie dotyczą przypadków ekstremalnych, co wynika z ogólnego założenia, że tego rodzaju zaburzenia są bardzo mało prawdopodobne. W normie wyraźnie podkreśla się, że nie ujmuje ona wymagań dotyczących bezpieczeństwa.

W szczególnych przypadkach mogą wystąpić sytuacje, gdy poziom zaburzeń może przekroczyć dopuszczalne wg normy poziomy odporności, np. gdy źródłem zaburzeń jest pobliskie urządzenie PMN lub trzymany w ręku radiotelefon. W takich przypadkach może zajść

konieczność zastosowania specjalnych środków zaradczych: np. organizacyjnych (bezwzględny zakaz używania w niektórych miejscach urządzeń łączności radiowej o ile nie pracują one na "autoryzowanej" dla danego miejsca częstotliwości), rozdzielenie przestrzenne w stosunku do urządzeń PMN itp.

Tablica 2 Wymagania z zakresu odporności urządzeń przewidywanych do pracy w środowisku przemysłowym

Zjawisko elektromagnetyczne	Metoda badań / norma podstawowa	Dopuszczalne wartości	Kryterium oceny zgodności
Zjawiska niskoczęstotliwościowe w sieci zasilania			
Harmoniczne w sieci zasilania	IEC 61000-4-13 [21]	3-cia harm. (8%) U_n 5-ta harm. (9%) U_n	B C
Zapady napięcia	PN-EN 61000-4-11 [19]	30% U_n / 0,5 okresu 60% U_n / 5 okresów	B C
Zaniki napięcia	PN-EN 61000-4-11 [19]	> 95% U_n 250 okresów	C
Fluktuacje napięcia	PN-EN 61000-4-14 [22]	$\pm 12\%$ U_n	w toku ustalania
Pola (oddziaływanie przez obudowę)			
Magnetyczne, 50 Hz	PN-EN 61000-4-8 [22]	30 A/m	A
Elektromagnetyczne, od 80 MHz do 1 GHz	PN-EN 61000-4-3 [11]	10 V/m, modulacja AM 80%	A
Wyładowania elektrostatyczne:	PN-EN 61000-4-2 [10]	± 4 kV ± 8 kV	B
Napięcia ciągłe i impulsowe / oddziaływanie: przyłącza zasilania i przyłącza sygnałowe			
Napięcia niesymetryczne od 0,15 MHz do 80 MHz	PN-EN 61000-4-6 [14]	10 V, modulacja AM	A
Napięcia niesymetryczne od 0 Hz do 150 kHz	PN-EN 61000-4-16 [24]	od 0,1 do 30 V w zależności od poziomu probierczego	A
Szybkie elektryczne stany przejściowe	PN-EN 61000-4-4 [12]	(1 ÷ 2) kV 5 kHz	B
Udary	PN-EN 61000-4-5 [13]	(1 ÷ 2) kV	B

4 Środowisko elektromagnetyczne kopalni

Kopalnia stanowi specyficzny układ przestrzenny w postaci długich poziomych chodników i pionowych szybów, w których pracują różnorodne urządzenia połączone między sobą wspólną siecią zasilania oraz siecią przewodów sygnalizacyjnych. Na ogół - biorąc pod uwagę strukturę geologiczną kopalni i skomplikowany charakter chodników - znaczenie mają jedynie zaburzenia przewodzone i pola bliskie. Ten fakt sugeruje, że zaburzenia generowane przez urządzenia kopalniane przenikają do "otoczenia" w postaci:

- zaburzeń przewodzonych, rozprzestrzeniających się w układzie wspólnego zasilania, lub w układzie wspólnego systemu kabli sygnałowych, wykorzystywanych do różnych celów: regulacji, sterowania, nadzoru itp,
- napięć indukowanych w wymienionych powyżej zespołach "linii" bądź to bezpośrednio przez pola elektromagnetyczne lub w wyniku silnych sprzężeń biegnących (często) równoległe przewodów: "gorących" i "cichych",
- pól elektromagnetycznych występujących w bezpośrednim sąsiedztwie urządzeń generujących takie zaburzenia. Ze względu na silne tłumienie tych fal, rosnące ze wzrostem częstotliwości, istotne są zaburzenia o częstotliwościach do kilkuset kHz.

Podstawową przyczyną zaburzeń w kopalni są wszelkie zmiany prądu w przewodach energetycznych (dotyczy to w szczególności zmian nagłych, powstających w wyniku celowego lub awaryjnego włączenia/wyłączenia dużych obciążeń) powodujące powstawanie w całym systemie energetycznym zaburzeń EM rozchodzące się w postaci napięć/prądów (t.zw. zaburzenia przewodowe) lub pól o charakterze pola magnetycznego/elektrycznego w bezpośrednim otoczeniu przewodów, w których zachodzą takie zmiany.

Celem niniejszego opracowania nie jest szczegółowy opis środowiska elektromagnetycznego w kopalni. Jest to praktycznie niemożliwe ze względu na dużą zmienność i różnorodność urządzeń w różnych jej punktach. Nie ma też absolutnej konieczności dokonywania kompletnego opisu środowiska elektromagnetycznego. W konkretnej sytuacji - przy planowanych zmianach urządzeń w jakimś określonym punkcie kopalni (zarówno urządzeń dużej mocy jak i urządzeń elektronicznych, które w razie zakłócenia mogą powodować zagrożenia dla ludzi i sprzętu) należy przeprowadzić odpowiednie pomiary stanu środowiska elektromagnetycznego i dokonać oceny jego właściwości; określić rodzaj zaburzeń najbardziej charakterystyczny w danym miejscu. Rozpoznanie takie pozwala na dokonanie oceny wymaganej odporności dla instalowanych w danym miejscu urządzeń. Pomocą w tym względzie może być norma ogólna PN-EN 61000-6-2 [38].

Pierwszy krok to wybór odpowiednich własności elektromagnetycznych korespondujących z różnymi zjawiskami, które mogą powodować zaburzenia EM. Wybór jest słuszny jeśli jednoznacznie określa się jego cel. Uwzględniając wielość mechanizmów sprzężenia urządzenia ze środowiskiem EM można dojść do wniosku, że wybór niezbędnego poziomu odporności dla jakiegokolwiek urządzenia wymaga trochę więcej informacji niż tylko opis środowiska, ale także z oceny jego przeznaczenia (np. ze względu na niezawodność lub bezpieczeństwo funkcjonalne). Ta ocena może prowadzić do ostrzejszych wymagań.

4.1 Ogólna charakterystyka zaburzeń elektromagnetycznych w kopalni

W tablicach 3 i 4 zamieszczono ogólne informacje o możliwych rodzajach zaburzeń w środowisku kopalni. Znajdują się tam także odwołania do norm (dokumentów IEC) pozwalających bliżej określić dopuszczalne poziomy tych zaburzeń i metody ich pomiarów. Zestawienia te mogą być bardzo pomocne przy ocenie możliwości wystąpienia określonych rodzajów zaburzeń na podstawie znajomości urządzeń występujących w danej lokalizacji w kopalni.

Tablica 3 Charakterystyka możliwych zaburzeń elektromagnetycznych

Zaburzenia elektromagnetyczne, ich źródło lub przyczyny	Ocena środowiska pracy	metody badań zaburzeń	Urządzenia szczególnie podatne na zaburzenia elektromagnetyczne	metody i poziomy badań odporności
1	2	3	4	5
<p>Zmiany napięć zasilania prądu stałego (DC) i prądu zmiennego (AC). W większości krajów dopuszczalne są zmiany w przedziale $\pm 10\%$. Przyczyna: nadmierne zmiany pobieranej mocy przez urządzenia, np. piece łukowe, spawarki</p>	IEC 61000-2-5 [72]		Uważa się, że wszystkie elektroniczne urządzenia mogą stracić swoje podstawowe właściwości lub być bardziej podatne na występujące w tym czasie inne zaburzenia EM	PN-EN 61000-4-14 61000-4-28 61000-4-29 [22, 32.33] 1: $\pm 3\% U_{nom}$ 2: $\pm 10\% U_{nom}$ 3: $\pm 15\% U_{nom}$ X: ustalone
<p>Niesymetria fazowa w sieciach prądu zmiennego (AC) Powód: niesymetryczne obciążenia faz lub nadmierne obciążenie jednej fazy</p>	IEC 61000-2-5 [72]		Urządzenia o zasilaniu 3-fazowym, które są podatne na niesymetrię napięcia zasilania, np. silniki prądu zmiennego, transformatory	PN-EN 61000-4-14 61000-4-27 [22, 31] 1: $\pm 2\% F_{nom}$ 2: $\pm 3\% F_{nom}$ X: ustalone
<p>Tętnienia w zasilaniu prądu stałego (DC) Tętnienia związane z pracą prostowników prądu zmiennego lub ładowarek bateryjnych.</p>	IEC 61000-2-5 [72]		Może dotyczyć urządzeń zasilanych z sieci AC poprzez własny lub inny zewnętrzny prostownik lub zasilanych z akumulatorów ładowanych podczas normalnej pracy urządzenia	PN-EN 61000-4-17 [25]
<p>Pola magnetyczne AC lub DC Urządzenia o dużym poborze mocy. Silne pola magnetyczne występują w szczególności w pobliżu kabli dystrybucyjnych. Przykładowo przy prądzie rzędu 1 kA w odległości 1 m może być wytworzone (w zależności od konfiguracji przewodu) pole magnetyczne do kilkunastu A/m. Pompa wodna o mocy 1 kW wytwarza pole 800 A/m w odległości 10 mm i 3 A/m w odległości 40 cm</p>	IEC 61000-2-7 [74] 61000-2-5 [72]	Brak norm podstawowych Można stosować metodę opisaną w EN 55103-1 [63]	Urządzenia wrażliwe: • Monitory ekranowe • Urządzenia z efektem Hall'a, • Przetworniki magnetyczne	PN-EN 61000-4-8 [16] poziomy ostrości: od 3 do 100 A/m lub poziomy specjalne
<p>Napięcia sygnalizacyjne w sieci zasilania AC (do 148,5 kHz) przy pewnych częstotliwościach mogą występować zjawiska rezonansowe o dużych wartościach napięć</p>	IEC 61000-2-1 61000-2-2 61000-2-5 61000-2-12 [70, 1, 72, 5]	IEC 61000-3-8 [81]	• Przetworniki mocy, lub • Urządzenia dla których ważne jest przejście przez zero/wartość szczytową napięcia zasilania ze względu np. taktowanie czasowe lub inne cele,	IEC 61000-4-13 [21] (do 2,4 kHz) 1: $5\% V_{sk}$ 2: $9\% V_{sk}$ lub specjalne

1	2	3	4	5
<p>Harmoniczne /interharmoniczne w sieci zasilania prądem zmiennym (zniekształcenia kształtu napięcia zasilania) Przyczyna: nieliniowe obciążenia (np. transformatory w stanie nasycenia)</p>	<p>IEC 61000-2-4 [2] 61000-2-5 [72]</p> <p>PN-EN 61000-2-4 [2]</p>	<p>IEC 61000-3-2 61000-3-4 61000-3-6 61000-3-9</p> <p>[6, 77, 79, 82]</p> <p>PN-EN 61000-3-2 [6]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Urządzenia dla których ważne jest przejście przez zero/wartość szczytową napięcia zasilania ze względu np. na taktowanie czasowe • w układach prostownikowych AC/DC oczekiwane napięcie wyjściowe może być mniejsze w wyniku zniekształceń kształtu fali napięcia AC, • Kondensatory poprawiające współczynnik kształtu, silniki AC, urządzenia łączeniowe mogą ulec przegrzaniu - uszkodzeniu ryzykiem zapalenia lub eksplozji • Nadmierny hałas, wibracje w silnikach AC mogą doprowadzić do uszkodzenia np. łożysk, 	<p>IEC 61000-4-7 61000-4-13 [15, 21]</p> <p>PN-EN 61000-4-7 [15]</p> <p>1: 4% THD 2: 8% THD 3: 10% THD X: ustalenia specjalne</p> <p>THD = wypadkowy współczynnik zniekształceń</p>
<p>Pola elektryczne AC lub DC Sieci rozdzielcze wysokiego i średniego napięcia. Podstawowe źródło - to kable dystrybucyjne</p>	<p>IEC 61000-2-5 [72]</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Nieekranowane obwody analogowe o dużej impedancji. • Niepożądane iskrzenie 	<p>poziomy testowe: od 0,1 kV/m do 20 kV/m lub specjalne</p>
<p>Zaburzenia przewodzone do 150 kHz (napięcia i prądy) Elektronika przemysłowe: prostowniki, układy tyrystorowe, napięcia indukowane przez nadajniki radiowe. Zjawiska obserwowane w rozległych instalacjach o dużym poborze mocy</p>	<p>IEC 61000-2-1 61000-2-2 61000-2-4 61000-2-5 61000-2-6</p> <p>[70, 1, 2, 72, 73]</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Telefonia analogowa • Czułe przyrządy do pomiarów przepływu, temperatury, ciężaru, • urządzenia video 	<p>PN-EN 61000-4-16 [24] poziomy testowe: 1 V do 20 V lub specjalne</p>
<p>Napięcia przewodzone powyżej 150 kHz we wszystkich przewodach (napięcia lub prądy); przykłady:</p> <ul style="list-style-type: none"> • indukowane przez ruchome służby radiokomunikacyjne i urządzenia PMN (przemysłowe-medyczne-naukowe), • wprowadzane przez różnorodne urządzenia, typu zasilacze z przetwornikami, silniki komutatorowe, itp 	<p>IEC 61000-2-3 61000-2-5</p> <p>[71, 72]</p>	<p>PN-EN 55011 [41] 55013 [42] 55014 [43] 55015 [45] 55022 [46]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • urządzenia cyfrowe w wyniku zakłóceń strumienia danych, • czułe urządzenia analogowe (pomiaru temperatury, ciężaru, przepływu, itp.) 	<p>PN-EN 61000-4-6 [14] poziomy testowe: 1 V (7 mA) do 30 V (210 mA) lub specjalne</p>
<p>Zaburzenia promieniowane o $f > 150$ kHz</p> <ul style="list-style-type: none"> • urządzenia PMN, • radiotelefony ruchome (generujące pola rzędu kilkudziesięciu V/m w bliskich odległościach (rzędu kilkunastu-kilkudziesięciu cm) 	<p>IEC 61000-2-5 [52]</p>			<p>PN-EN 61000-4-3 [11] poziomy testowe: 1 do 30 V lub specjalne</p>

Tablica 4 Zaburzenia o charakterze impulsowym o dużym prawdopodobieństwie wystąpienia

Zaburzenia elektromagnetyczne, ich źródło lub przyczyny	Ocena zjawisk	Urządzenia szczególnie podatne na zaburzenia elektromagnetyczne	metody badań i poziomy ostrości
<p>Zapady napięcia i krótkie przerwy w sieciach zasilania AC i DC</p> <ul style="list-style-type: none"> Przełączanie dużych obciążeń (silniki indukcyjne) 	IEC 61000-3-3 [7] IEC 61000-3-5 [78] IEC 61000-3-7 [80] IEC 61000-3-11 [8]	<ul style="list-style-type: none"> wszystkie systemy cyfrowe (i ich oprogramowanie); znane są techniki ochrony przed takimi zaburzeniami, ale bardzo często nie są stosowane (brak wiedzy, niepotrzebna oszczędność, itp.) zakłócenia w pracy układów analogowych; na ogół powrót po zaniku zaburzenia przełączniki i przelazniki mogą zmienić stan, wypadnięcie z "synchronizmu" silników o regulowanej prędkości. Może to dotyczyć całych systemów 	<p>PN-EN 61000-4-11 [19] AC 61000-4-29 [33] DC Zapady od 10% do 99% U_{nom} lub specjalne</p>
<p>Krótkie fluktuacje napięcia w sieciach zasilania AC i DC</p>			<p>PN-EN 61000-4-11 [25] 61000-4-29 [33] Od 3 % do 10% U_{nom} lub specjalne</p>
<p>Przewodzone i promieniowane zaburzenia związane ze stanami przejściowymi</p> <ul style="list-style-type: none"> Iskrenie podczas przerywania obwodów zasilania DC i AC; najgorzej przy obciążeniach indukcyjnych. Dotyczy przewodów biegnących do obciążeń i do zasilania - zaburzenia przewodzone i promieniowane (indukujące napięcia w sąsiednich kablach) 	PN-EN 55014 [43] Zaburzenia krótkotrwałe	<ul style="list-style-type: none"> Dotyczy wszystkich systemów cyfrowych (także w sterujących je programach) - mogą to być zakłócenia nieodwracalne Układy analogowe - mogą odczuwać zakłócenia w czasie trwania zaburzenia. Bardzo często po ustaniu zaburzenia odzyskują swoje właściwości bez potrzeby ingerencji. 	<p>PN-EN 61000-4-4 [12]</p> <ol style="list-style-type: none"> 500 V 1 kV 2 kV 4 kV wymagania specjalne
<p>Udary napięciowe w przewodach zasilania AC i DC oraz w długich przewodach, np. sygnałowych</p> <p>ten rodzaj zaburzeń wiąże się ze zmianami obciążeń w szczególności obciążeń o charakterze zespolonym, np. przełączanie kondensatorów korekcyj wspólczynnik mocy oraz zjawisk rezonansowych powstających w urządzeniach przełączających</p>		<ul style="list-style-type: none"> półprzewodniki dołączane do długich kabli, w impulsowych przetwornikach mocy są b. podatne na ten rodzaj zaburzeń występujących między przewodami zasilania (udary: przewód - przewód - DM), Udary występujące między przewodem i ziemią (udary : przewód - ziemia, CM) mogą wywoływać uszkodzenia (iskrenie) elementów elektronicznych w przypadku ich niewłaściwej izolacji, zbyt bliskiego położenia itp. 	<p>PN-EN 61000-4-5 [13] 61000-4-12 [20]</p> <ol style="list-style-type: none"> 0,5/0,25 kV CM/DM 1,0/0,5 kV CM/DM wymagania specjalne
<p>Zaburzenia przewodzone o charakterze tłumionych oscylacji (o czasie trwania mierzonym w sekundach)</p>		Urządzenia uszkodzane - jak w przypadku udarów, ale o większym prawdopodobieństwie ze względu na czas trwania zaburzenia	
<p>Wyładowania elektrostatyczne</p> <p>charakter wyładowań: bezpośredni lub pośredni</p>		<ul style="list-style-type: none"> układy logiczne urządzeń cyfrowych (wraz ze strumieniem danych) mogą ulec zakłóceniom, bez automatycznego powrotu do stanu poprawnej pracy układy analogowe - na ogół wracają - po ustaniu zaburzenia do stanu poprawnej pracy. 	<p>PN-EN 61000-4-2 [10] Poziomy ostrości badań: 1 / 4 / 8 /16 kV i testy specjalne</p>

4.2 Zaburzenie elektromagnetyczne generowane w sieci zasilania kopalni

Podany poniżej opis typowych zjawisk elektromagnetycznych występujących w sieci energetycznej kopalni, towarzyszących różnorodnym stanom pracy dołączonych do niej urządzeń nie stanowi kompletnego opisu. Zwraca się tu uwagę na niektóre, najbardziej istotne rodzaje zaburzeń obserwowane w praktyce i możliwe skutki tych zaburzeń dla pracy różnorodnych urządzeń.

Pomijając wszelkie zagrożenia związane z awarią systemu elektroenergetycznego (w wyniku oddziaływania różnorodnych czynników zewnętrznych, w tym błędów człowieka) istotną grupą zagrożeń są zjawiska elektromagnetyczne towarzyszące każdemu przetwarzaniu energii elektrycznej.

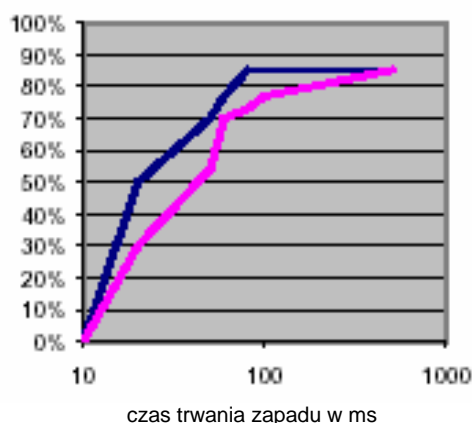
Wypadkowa jakość energii zasilania wewnątrz kopalni jest zależna głównie od:

- jej odbiorców o dużych poborach prądu wymuszanych różnorodnymi obciążeniami, często o charakterze zespolonym (powstawania przepięć, przetężeń). Inny powód zaburzeń, to urządzenia o nieliniowym obciążeniu, np. dość powszechnie stosowane tam w układach napędów maszyn wyciągowych przekształtniki (tyrystorowe). Przekształtniki takie są istotnym powodem zniekształceń w sieci zasilania objawiających się np. w dużej ilości składowych harmonicznych. Problem zaostrza się w przypadku t.zw. "sieci miękkiej" kiedy to nagłe zmiany obciążenia są odczuwalne przez inne dołączone do takiej sieci urządzenia.
- częstości włączania/wyłączania odbioru, co jest szczególnie istotne przy zespolonych obciążeniach i dużej ilości takich operacji.
- jakości dostarczanej energii zasilania, gwarantowanej przez jej dostawcę.

4.3 Przykłady zakłóceń różnorodnych urządzeń wywoływanych zaburzeniami w sieci zasilania

4.3.1 Komputery i ich systemy

Komputery przewidywane do zastosowań specjalnych powinny spełniać wymagania w zakresie odporności na zaburzenia sieciowe; w szczególności dotyczy to zapadów napięcia i sygnałów harmonicznych. Tego rodzaju zaburzenia występują dość często w bezpośrednim sąsiedztwie urządzeń o dużych poborach prądu przy tak zwanej sieci "miękkiej". A taka sytuacja ma miejsce w większości kopalń. Nie obserwuje się wpływu odległych źródeł tego rodzaju zaburzeń [86].



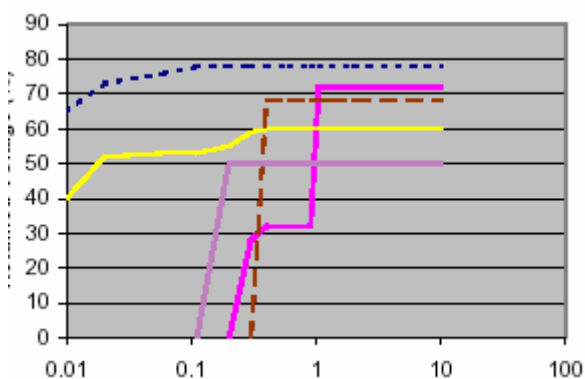
Rys. 4

Wpływ czasu trwania (oś pozioma) i wielkości zapadu napięcia zasilania (oś pionowa - % wartość zapadu w stosunku do nominalnego napięcia zasilania) na zakłócenia w pracy komputerów (ocena minimalnej i maksymalnej podatności na zjawisko zapadów) [99]

4.3.2 Sterowniki z pamięcią programowalną

Sterowniki z pamięcią programowalną (systemy zarządzania zespołem innych urządzeń - systemy PLC - Power Logic Controller) znajdują bardzo szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach, np. w dźwigach, przenośnikach itp.. Są one, podobnie do komputerów, podatne na zapady napięcia, na obecność harmonicznych w sieci zasilania oraz inne zniekształcenia przebiegu napięcia zasilania. Układy PLC mogą wykorzystywać część fali napięcia zasilania do kontroli swoich operacji. Może to być np. przejście napięcia przez zero, osiągnięcie wartości maksymalnej lub wydzielone wartości progowe napięcia.

Nabywcy sterowników z programowalną pamięcią, przewidywanych do zastosowań specjalnych powinni zawsze specyfikować odpowiednie badania i żądać potwierdzenia odpowiednimi badaniami. Muszą jednak znać swoje środowisko elektromagnetyczne oparte o odpowiednie badania własne.



Rys. 5

Wpływ czasu trwania (oś pozioma w sekundach) i wielkości zapadu napięcia zasilania (wyrażonej w % w stosunku do wartości nominalnej - oś pionowa) na zakłócenia pracy sterowników z pamięcią programowalną (przykłady testowania różnych rodzajów sterowników), [99]

4.3.3 Układy regulacji szybkości napędów (VSD)

Wiele z układów VSD, znajdujących zastosowanie w dźwigach, w układach wentylacji, ma zabezpieczenie dopuszczające spadek napięcia od 15% do 30%. Dzięki temu układ VSD jest chroniony, ale współpracujące z nim urządzenie, np. silnik może się zatrzymać.

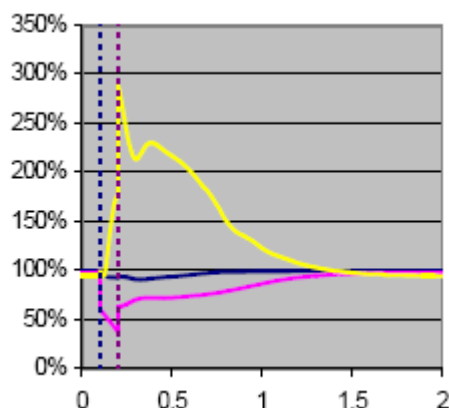
Zapady napięcia mogą powodować różnorodne uszkodzenia w zespołach VSD, np. prowadząc do przetężeń w napędzie, przepięć w wyniku niewłaściwego zadziałania tyrystora i komutacji tyrystora konwertera.

Obserwuje się także nagłą zmianę kąta w czasie wystąpienia zapadu, nawet jeśli zapad nie przekracza zadanego progu ochrony układu VSD. To może prowadzić do uszkodzenia tyrystorów (nawet spalania się), a w konsekwencji do istotnego uszkodzenia układu regulacji szybkości napędu. Podobnie jeśli występuje wielokrotne przekroczenia zera napięcia (w wyniku głębokiego zapadu) może wystąpić wadliwe działania całego zespołu.

4.3.4 Małe indukcyjne silniki

W przypadku pojedynczych silników nie obserwuje się istotnych problemów w wyniku występowania zapadów napięcia.. Problem może wystąpić przy większej ilości silników o impedancji o charakterze indukcyjnym. Czas trwania zapadu może się przedłużyć w związku z efektem występowania zjawiska

samoindukcji, próbującej podtrzymać stan poprzedni. Takie przedłużenie czasu trwania zapadu może stworzyć problemy dla współpracujących układów elektronicznych.



Rys. 6

Krzywa rozruchu silnika po wystąpieniu 50% zapadu napięcia o czasie 0,2 s.

Obserwowane parametry: **obroty wału**, **napięcie na zaciskach zasilania**, **prąd pobierany**.

Linie przerywane – granice zapadu napięcia
Oś pozioma – czas w s

Oś pionowa - % zmiany obserwowanych parametrów [99]

4.3.5 Styczniki

Styczniki elektryczne są przełącznikami sterowanymi elektrycznie i mają powszechne zastosowanie w przemyśle. Są "słabym" ogniwem w systemie kontroli, ponieważ po wystąpieniu nagłego zapadu napięcia mogą rozewrzeć się powodując wyłączenie całego systemu urządzeń włączanych za ich pośrednictwem.

4.4 Identyfikacja i usuwanie skutków problemów związanych z niewłaściwą jakością sieci zasilania

4.4.1 Urządzenia istniejące

- a) Wykonać pomiary i ocenić jakość istniejącej sieci zasilania. Ocenę tą należy przeprowadzić w szczególności po wystąpieniu jakiegokolwiek problemu.
- b) Przedsięwziąć odpowiednie środki zaradcze, np przez zastosowanie właściwych filtrów lub transformatorów izolujących.
- c) Wymienić urządzenia na inne, spełniające te same funkcje, ale mniej podatne na występujące w sieci zasilania zjawiska zaburzeniowe.

4.4.2 Nowe urządzenia

- e) Rozpoznać aktualny stan jakości sieci i sformułować odpowiednie wymagania dla nowego sprzętu.
- f) Ocenić "zaburzenia", które może wprowadzić nowy sprzęt pod kątem ich wpływu na istniejący sprzęt.

4.5 Ocena stanu jakości sieci zasilania

- a) Ustalić cel oceny stanu jakości sieci zasilania. Rozpoznać teren i działające na nim urządzenia/systemy łącznie z dostępnością do nich w wyniku dyskusji z przyszłym gospodarzem. Pomiary jakości sieci będą użyteczne jeśli oceni się, które parametry są najbardziej istotne w danym miejscu: wartość skuteczna napięcia zasilania, zmiany

- obciążenia prądowego (zmiany mocy pobieranej), dopuszczalne poziomy harmonicznych, zniekształcenia kształtu fali napięcia, dopuszczalne stany przejściowe, migotanie itp.
- b) Wybrać odpowiednią aparaturę pomiarową oraz odpowiednie normy według których będzie dokonywana ocena jakości sieci: PN-EN 50160 [69] i wymagań z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej: PN-EN 61000-2-2 [1], PN-EN 61000-6-x [37 ÷ 40].
- c) Ustalić wymagania w zakresie odporności urządzeń; w szczególności w odniesieniu do urządzeń nowych.
- d) Rejestracja danych – umożliwi ocenę trendów zmian napięcia i prądu w sieci zasilania. Dotyczy to zmian fazy, wartości napięć i prądów, zniekształceń, poziomu harmonicznych, poziomu migotania itp.
- e) Zawsze należy przeanalizować aktualny stan jakości sieci zasilania w momencie wystąpienia jakiegokolwiek problemu

Tablica 5

Porównanie wymagań normy PN-EN 50160 [69], PN-EN 61000-2-2 [1] i PN-EN 61000-6-2 [38] w zakresie dopuszczalnych poziomów zaburzeń występujących w sieci zasilania

Parametr	Poziom kompatybilności wg PN-EN 61000-2-2	Wymagana odporność wg PN-EN 61000-6-2	Parametry sieci zasilania wg PN-EN 50160
Częstotliwość	2 %	brak wymagań	1%/95% czasu tygodnia -6%/+4% czasu
Amplituda napięcia	-	$U_n \pm 10\%$ przez 15 minut	$U_n \pm 10\%$
Szybkie zmiany napięcia	3% (8% kilka razy) Pst < 1,0 Plt < 0,8	p. IEC 610003-3	5% normalnie 10% kilka razy dziennie Plt < 1 przez 95% tygodnia
Chwilowe przepięcia	-	-	< 1,5 kV
Przepięcia krótkotrwałe	-	± 1 kV 5/50 ns, 5 kHz	± 6 kV / t < 1 ms
Niesymetria napięcia zasilającego	2 %	-	2% przez 95% tygodnia (3% w przypadkach szczególnych)
Napięcia harmoniczne	6% (5), 5%(7) THD , 8%	p. IEC 61000-3-2	6% (5), 5%(7) THD < 8%
Zapady napięcia zasilającego	-	30% /10 ms (bez wpływu) 60% przez 100 ms (interwencja operatora)	< 60% przez t < 1 s przypadki szczególne 1000/rok < 15% 2 - 3 razy dziennie
Krótkie przerwy w zasilaniu	-	> 95% przez 250 ms	< kilkaset / w ciągu roku
Długie przerwy w zasilaniu	-	-	10 - 50 w ciągu roku czas trwania > 180 s

Pst - krótkookresowe migotanie światła

Plt - długookresowe migotanie światła

THD - całkowity współczynnik odkształcenia harmoniczych

5 Wyniki pomiarów zaburzeń¹⁰

5.1 Uwagi ogólne

Pomiary wykonano na terenie kopalni miedzi KGHM Lubin w 3-ch jej punktach:

1. Wieża wyciągowa szybu głównego,
2. Pompownia odwadniania głównego,
3. Stycznikownia przenośnika taśmowego.

Środowisko elektromagnetyczne to przede wszystkim:

- a) zjawiska m.cz. występujące w sieci zasilania kopalni (3 x 500 V):
 - harmoniczne prądu/napięcia,
 - zapady/zaniki/fluktuacje napięcia,
 - szybkie elektryczne stany przejściowe (prądu lub napięcia),
 - niesymetria napięć/prądów, (niestabilne przesunięcia kątów międzyfazowych),
- b) pola magnetyczne i elektryczne występujące bezpośrednio w otoczeniu wielkich maszyn, transformatorów, falowników i przewodów elektroenergetycznej sieci rozprawdzającej,
- c) pola elektromagnetyczne o wysokiej częstotliwości (powyżej 30 MHz) są najprawdopodobniej o mniejszym znaczeniu w związku z ich szybkim tłumieniem wzdłuż chodników (szybów). Oczywiście pomija się tu sygnały w.cz. wzbudzone wzdłuż chodników/szybów za pomocą tzw. "cieknących kabli koncentrycznych".
- d) prądy/napięcia w przewodach zasilania w zakresie częstotliwości od kilku kHz do kilkunastu MHz

Wymienione powyżej zaburzenia elektromagnetyczne mogą zakłócić urządzenia elektroniczne usytuowane w bezpośrednim sąsiedztwie źródeł zaburzeń (promieniowanych) lub zasilanych z tej samej sieci energetycznej (zaburzenia przewodzone).

Nie wszystkie wymienione powyżej rodzaje zaburzeń (zwłaszcza wynikające z oceny jakości sieci zasilania) zostały uchwycone w czasie pomiarów w środowisku kopalni. Jednym z czynników, które zadecydowały o takich wynikach był czas jakim dysponowała ekipa pomiarowa podczas jednego zjazdu do punktu pomiarowego (2 - 3 godzin). Zjawiska w rodzaju zapadów/fluktuacji napięcia zasilania można zaobserwować dopiero po dłuższym okresie czasu.

Celem pracy i wykonywanych w jej ramach pomiarów było sprawdzenie tezy o istnieniu dość dużego rozziwu między rzeczywistym stanem środowiska elektromagnetycznego w kopalni a wymaganiami normy PN-EN 61000-6-2 ustalającej maksymalne dopuszczalne poziomy zaburzeń elektromagnetycznych przy których urządzenie elektroniczne przewidywane do pracy w środowisku przemysłowym (np. w kopalni) powinny spełniać określone kryteria poprawności działania.

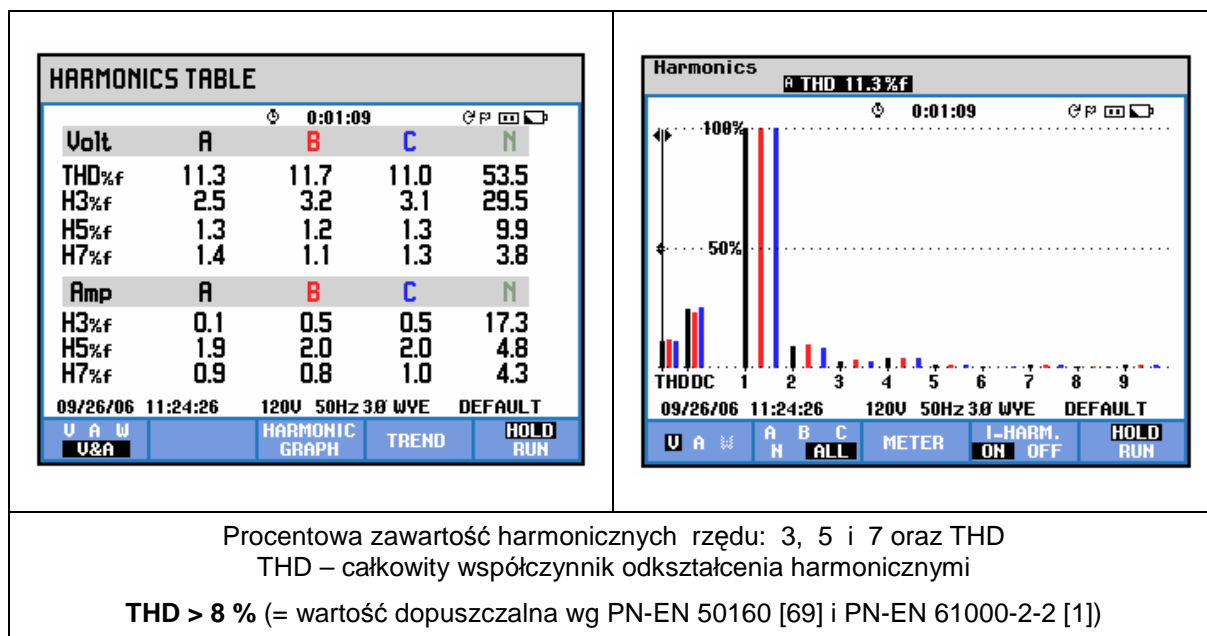
Uzyskane wyniki pomiarów (choć niepełne i cząstkowe) potwierdzają jednak powyższą tezę. Niektóre zaburzenia występujące w kopalni rzeczywiście są znacznie większe od wartości dopuszczalnych z punktu widzenia wymaganej odporności urządzeń elektronicznych. Przykładem takich zaburzeń są harmoniczne napięcia/prądu, szybkie zmiany napięcia, pola elektryczne i magnetyczne.

¹⁰ Szczegółowe wyniki pomiarów - uzyskane za pomocą analizatora stanu sieci (f-my Fluke), analizatorów widma (f-my Anritsu i Rohde&Schwarz), transformatora prądowego (f-my FCC) są przechowywane w Zakładzie Kompatybilności Elektromagnetycznej Instytutu Łączności we Wrocławiu, w odpowiednich zbiorach komputerowych.

5.2 Wieża wyciągowa szybu głównego

Miejsce pomiarów:	Rozdzielnia 500 V MNS „Z”.
Data wykonywania pomiarów:	26 września 2006 r
Badany obiekt:	Wentylator głównego silnika szybu wyciągowego - zasilanie oraz główny silnik szybu wyciągowego - pole magnetyczne.

5.2.1 Zawartości harmoniczných w napięciu i prądzie zasilania silnika wentylatora



5.2.2 Szybkie zmiany napięcia w przewodach zasilania 3 x 500 V

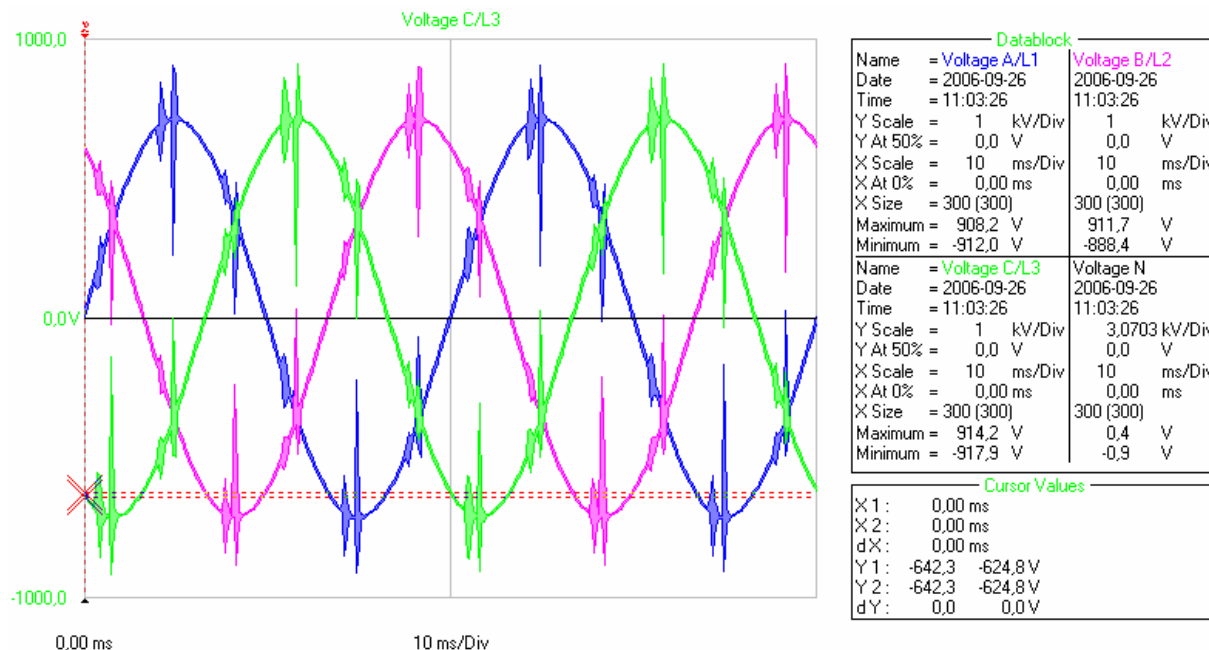
Szybkie zmiany napięcia mają charakter nieustalony zarówno co do amplitudy jak i momentów ich pojawiania się na obwodni napięcia zasilania. Tą cechą ilustrują rysunki 7 do 10 uzyskane na podstawie 40 próbek pomiarowych wykonywanych co 200 ms. Przedział zmian chwilowej szybkiej zmian napięcia dochodzi nawet do 850 V w czasie $\tau < 0,1$ ms. Ten fakt ilustrują rysunki 8, 9 i 10.

Indywidualne ich przebiegi ilustrują Rys. 11 do 14. Ich amplitudy przekraczają wartość 150 V i mają czasy krótsze od 0,1 ms.

Wniosek:

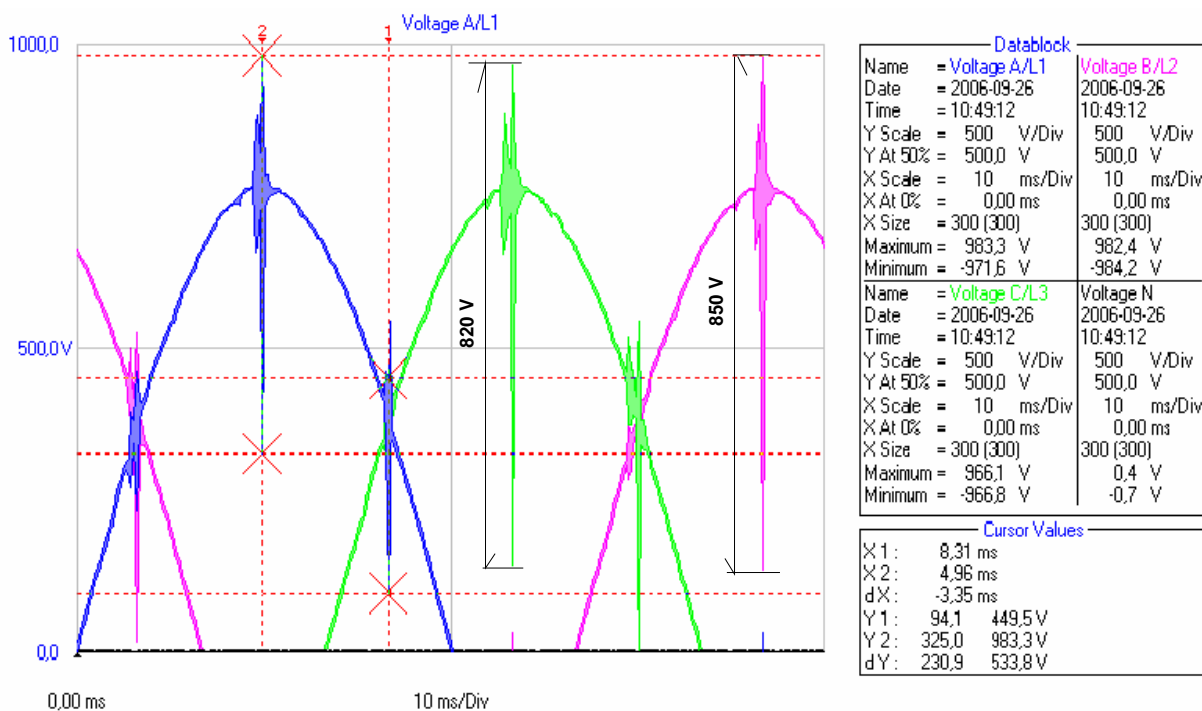
Zgodnie z wymaganiami PN-EN 50160 [69] szybkie zmiany napięcia zasilania nie powinny przekraczać 5% napięcia nominalnego (w wyjątkowych przypadkach, kilka razy w ciągu dnia, dopuszczalne są zmiany 10%).

Zaobserwowane w czasie pomiarów szybkie zmiany napięcia są istotnie wyższe od wymagań cytowanej powyżej normy i mogą być istotnym źródłem zakłóceń dla urządzeń elektronicznych. Tego rodzaju szybkie zmiany napięć są też przyczyną powstawania prądów (i napięć) zaburzeń przewodzonych w szerokim zakresie częstotliwości, co ilustrują wyniki pomiarów przedstawione na rysunkach 17 - 20.



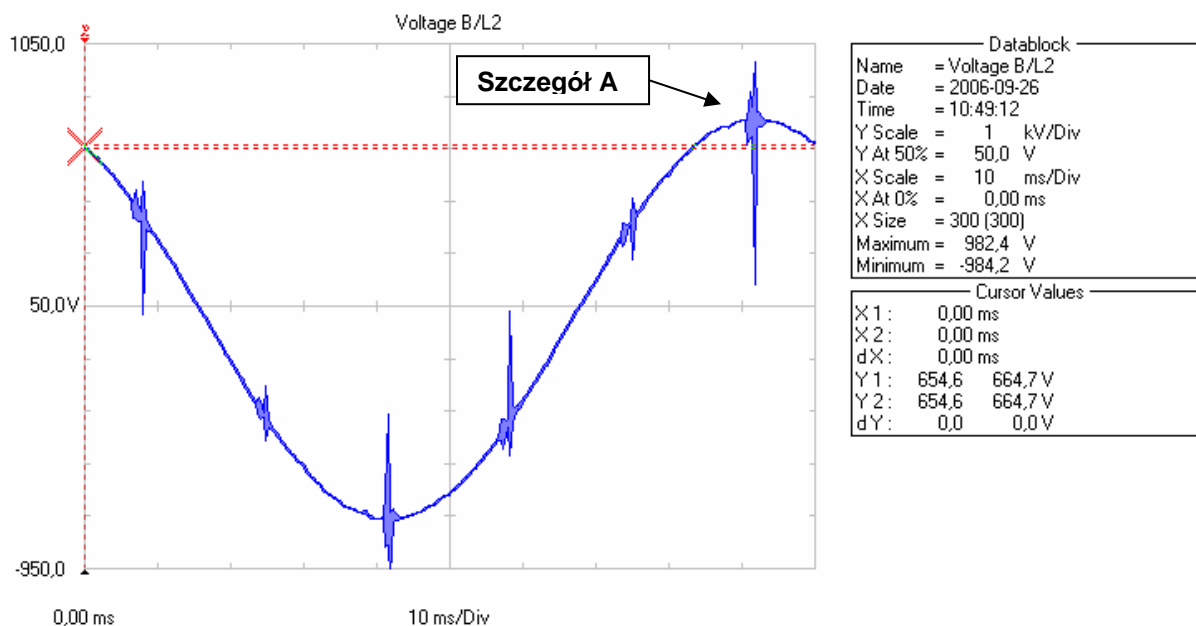
Rys. 7

Szybkie zmiany napięcia zasilania wentylatora silnika szybu głównego. Wykres ustalony na podstawie 40 próbek pomiarowych wykonywanych z odstępem czasu co 200 ms.



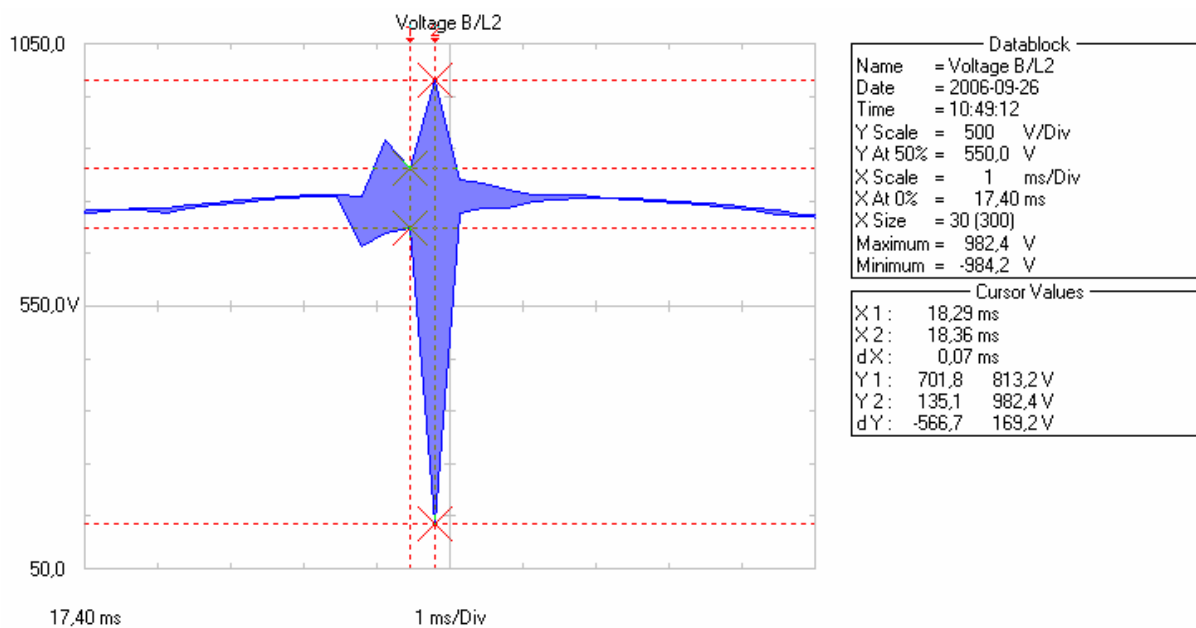
Rys. 8

Szybkie zmiany napięcia zasilania wentylatora silnika szybu głównego. Wykres ustalony na podstawie 40 próbek pomiarowych wykonywanych z odstępem czasu co 200 ms



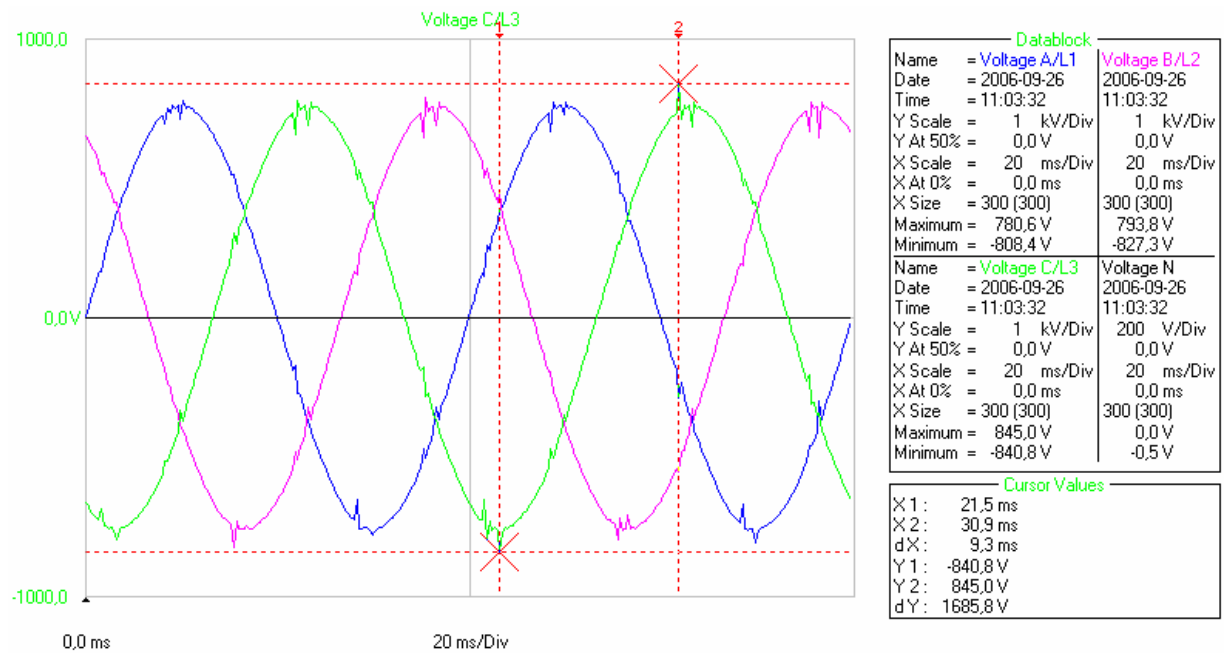
Rys. 9

Szybkie zmiany napięcia w przewodzie B/L2 silnika wentylatora szybu głównego. Wykres ustalony na podstawie 40 próbek pomiarowych wykonywanych z odstępem czasu co 200



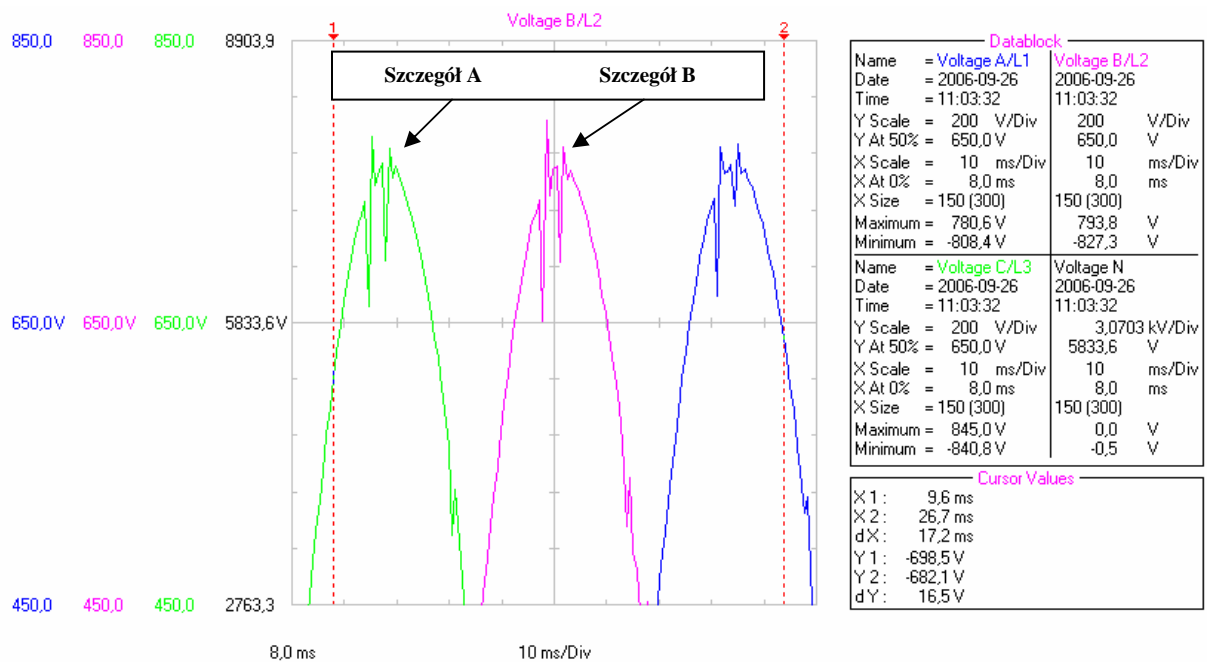
Rys. 10

Szybkie zmiany napięcia na przewodzie B/L2 (Ocena na podstawie 40 próbek pomiarowych) Szczegół A (z rysunku 9)



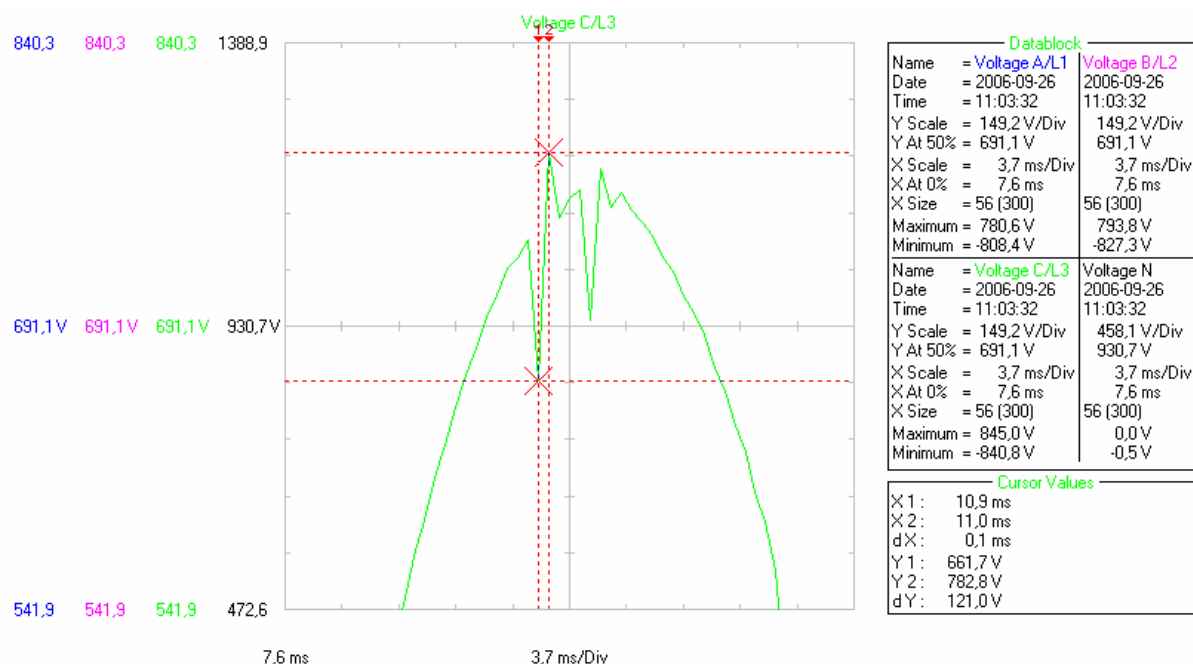
Rys. 11

Szybkie zmiany napięcia zasilania wentylatora silnika szybu głównego. Przykładowy wykres dotyczy jednej próbki pomiarowej



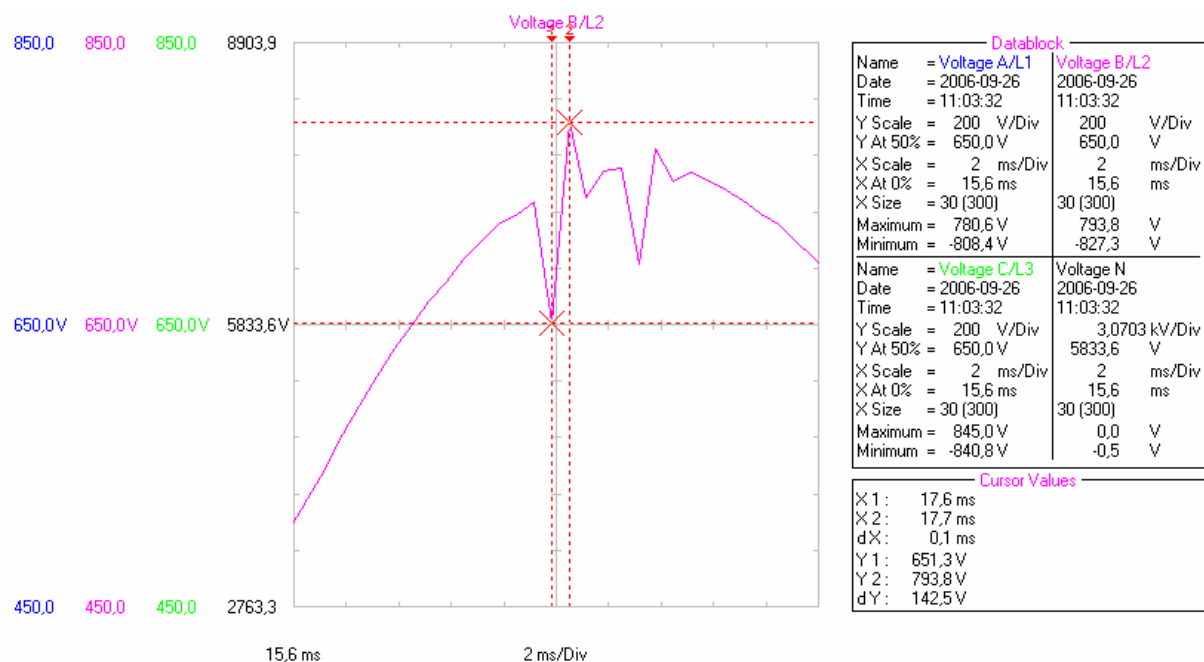
Rys. 12

Szybkie zmiany napięć w przewodach A/L1, B/L2 i C/L3
 (stany nieustalone, obserwowane na szczytach przebiegu napięcia zasilania)
 Wyniki pomiarów dla 1-nej próbki



Rys. 13

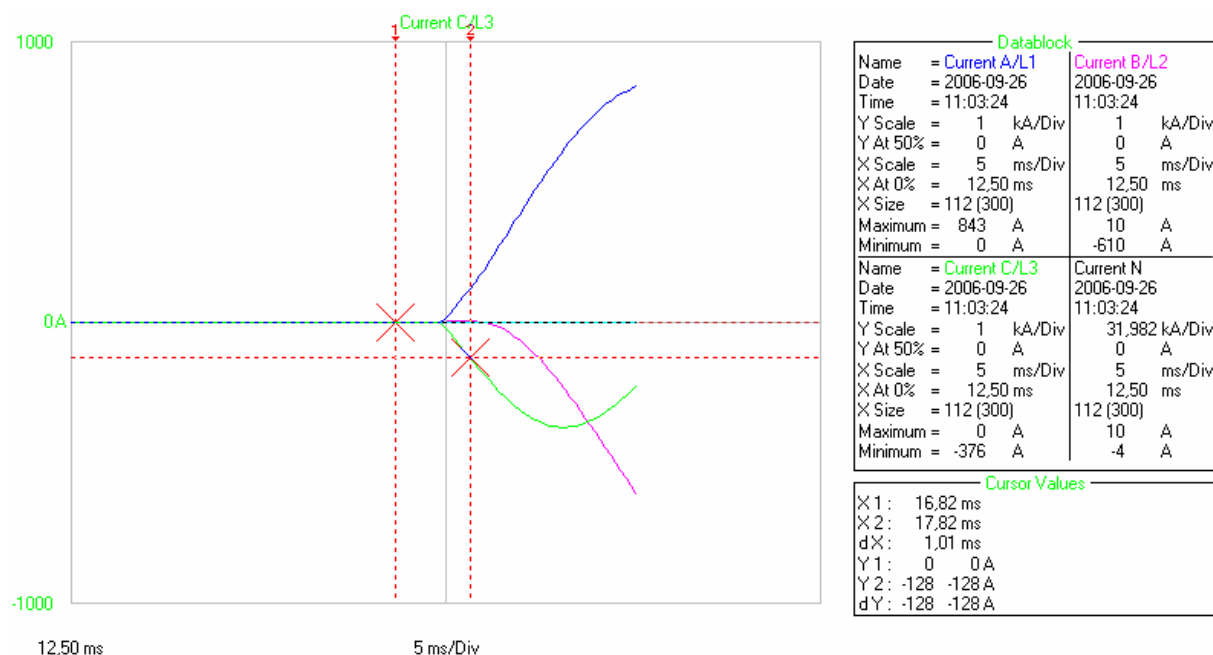
Powiększony fragment zmian napięcia w fazie C/L3 (Szczegół A)
 (Amplituda: $\Delta U \cong 120 \text{ V}$; Czas trwania zmian przebiegu niustalonego: $\tau \cong 0,1 \text{ ms}$)



Rys. 14

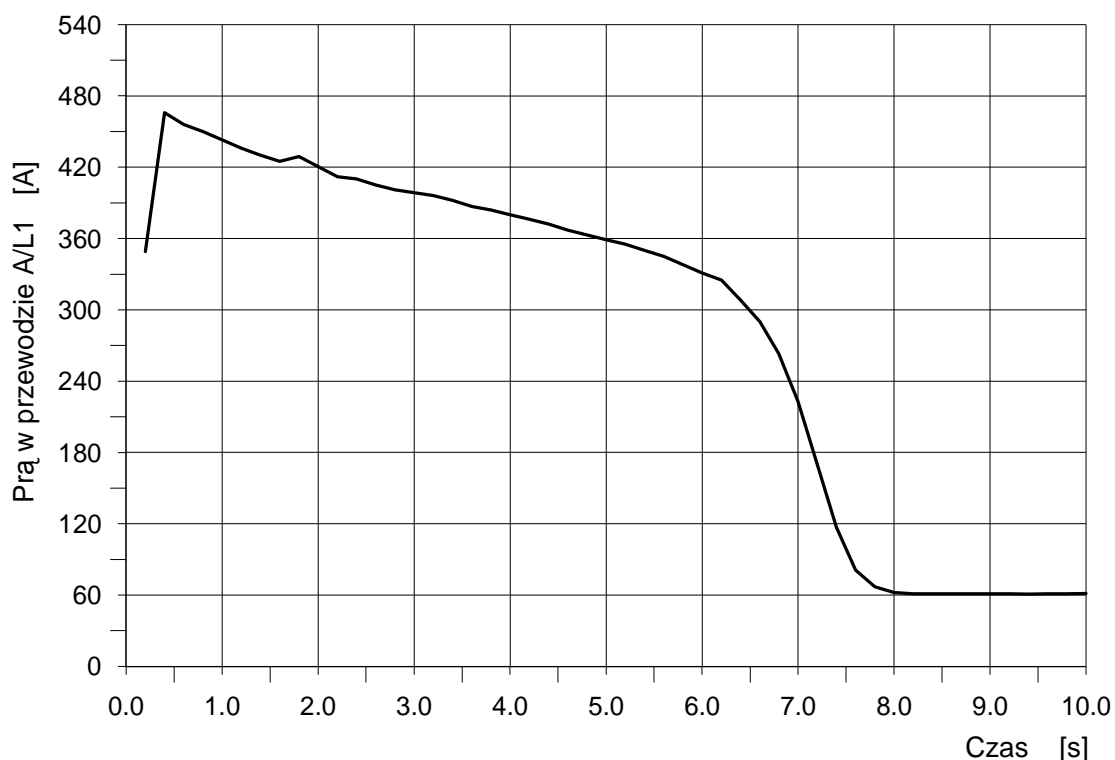
Powiększony fragment zmian napięcia w fazie B/L2 (szczegół B)
 (Amplituda: $\Delta U \cong 142 \text{ V}$; Czas trwania zmian przebiegu niustalonego: $\tau \cong 0,1 \text{ ms}$)

5.2.3 Prąd rozruchu silnika napędu wentylatora



Rys. 15

Prąd rozruchu silnika wentylatora (w czasie pierwszych kilkunastu ms)

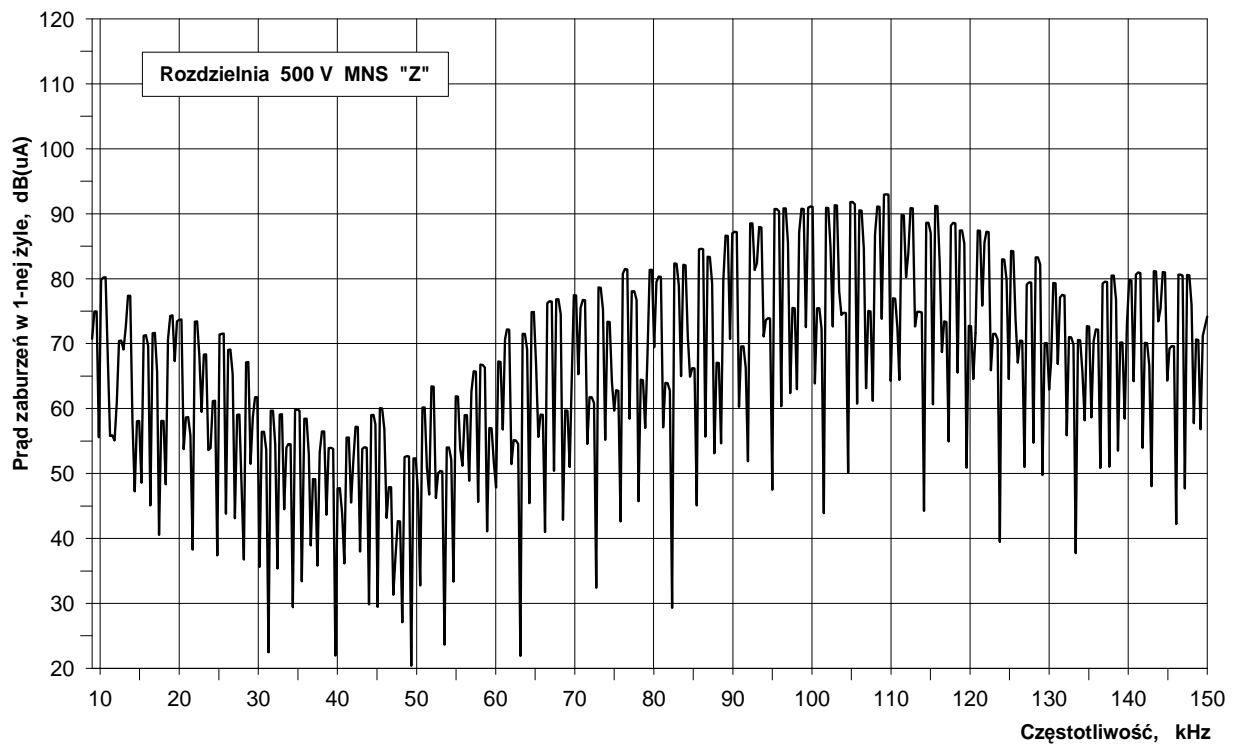
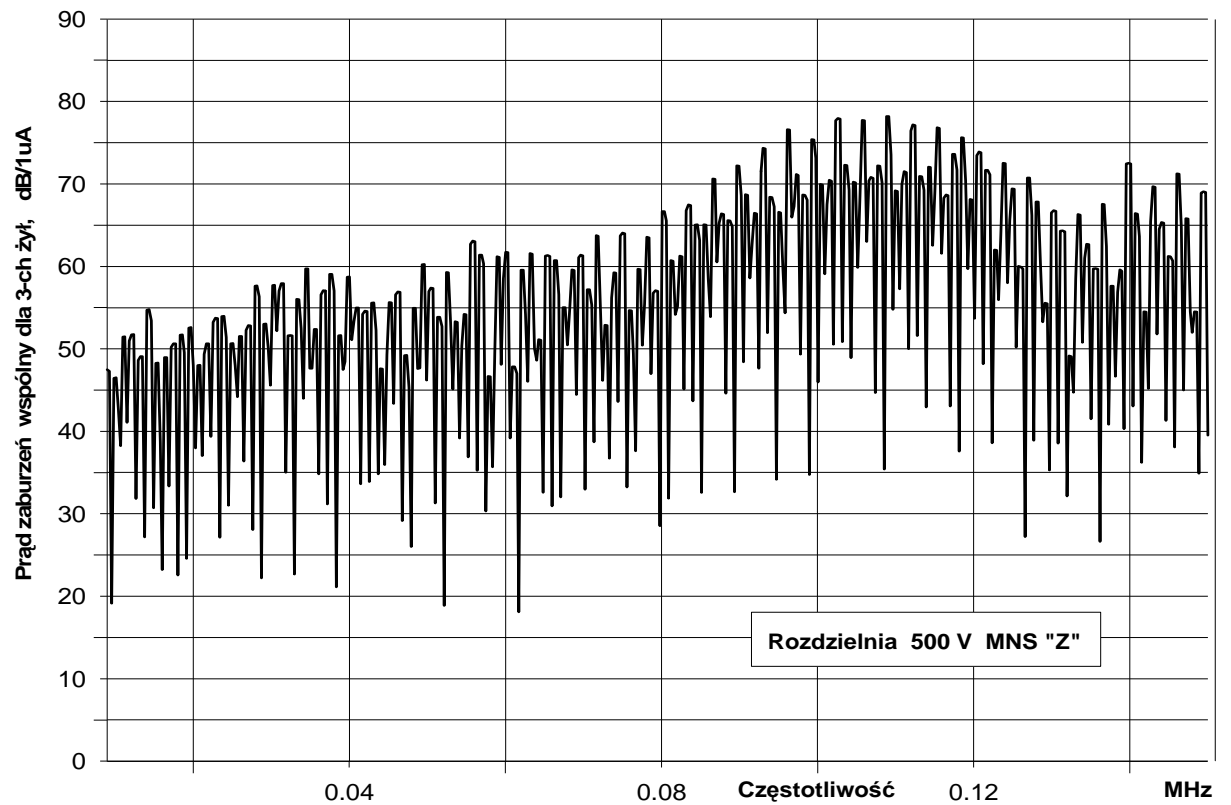


Rys. 16

Zmiany prądu w ciągu pierwszych sekund od momentu włączenia wentylatora
Prąd ustalony: ok. 60 A

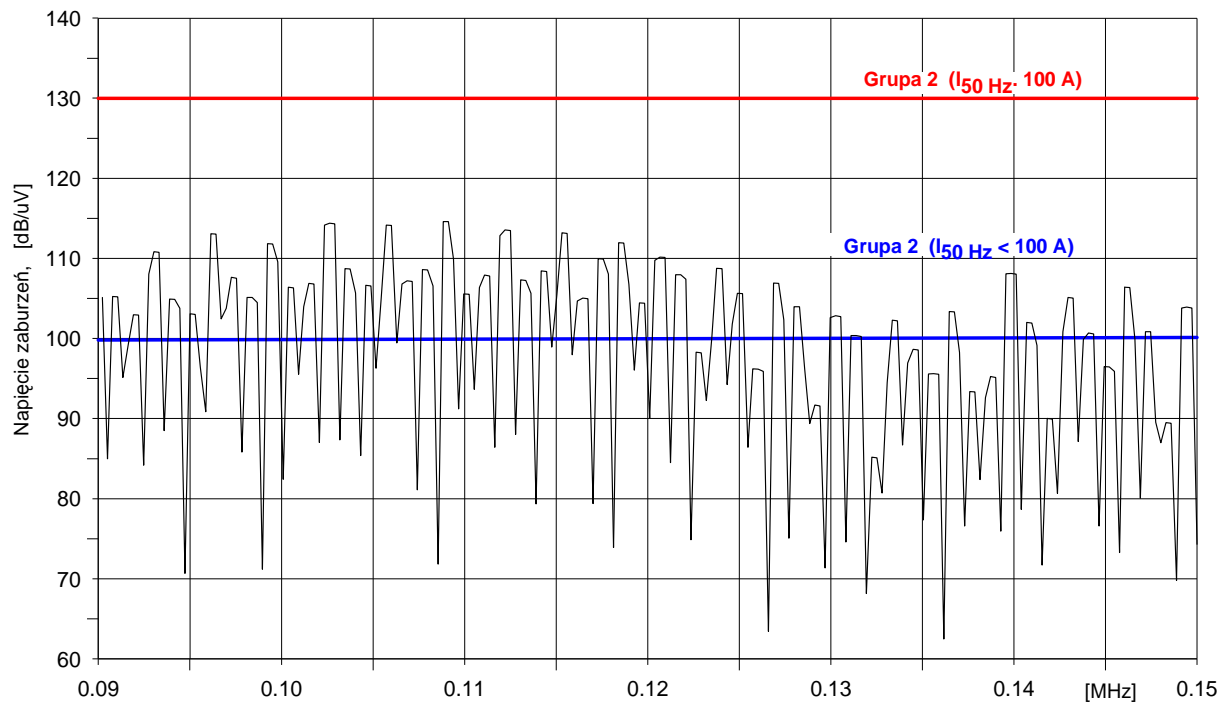
Wniosek: Duże prądy w okresie rozruchu silnika, wielokrotnie przekraczające wartość ustaloną prądu zasilania ($I \approx 60$ A), powodując znaczne zwiększenie pola magnetycznego o częstotliwości sieci, może być powodem zakłócania pracy urządzeń elektronicznych zawierających elementy podatne magnetycznie.

5.2.4 Prądy/napięcia zaburzeń w przewodach zasilania



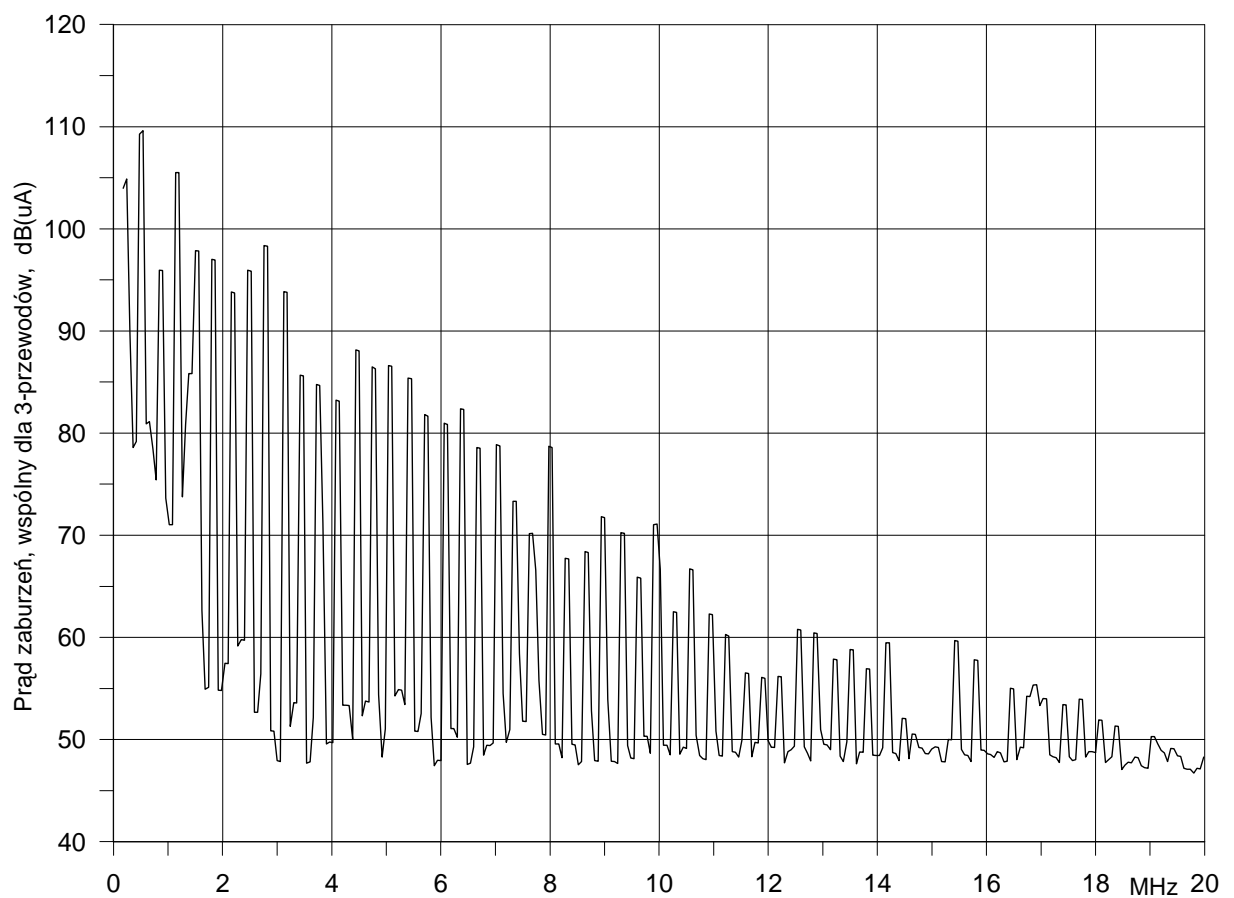
Rys. 17

Prądy zaburzeń w przewodach zasilania silnika wentylatora w zakresie częstotliwości do 150 kHz



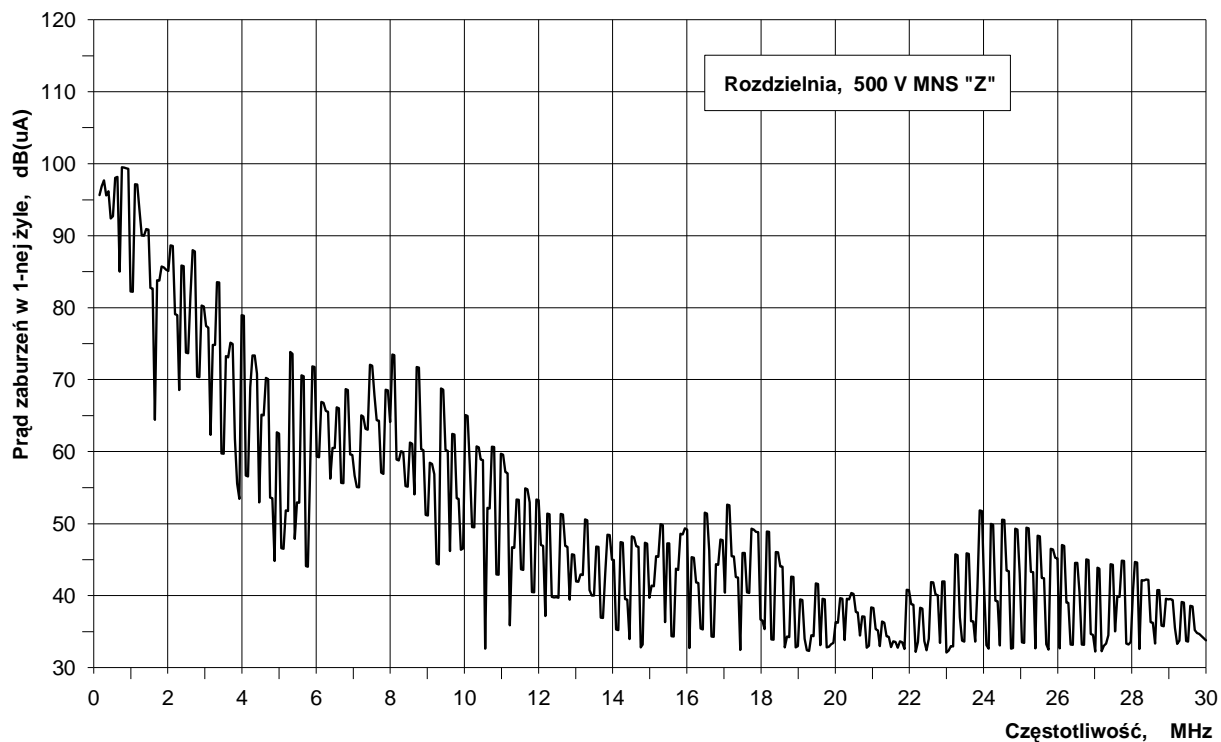
Rys. 18

Napięcie zaburzeń w przewodach zasilania silnika wentylatora w zakresie częstotliwości do 150 kHz

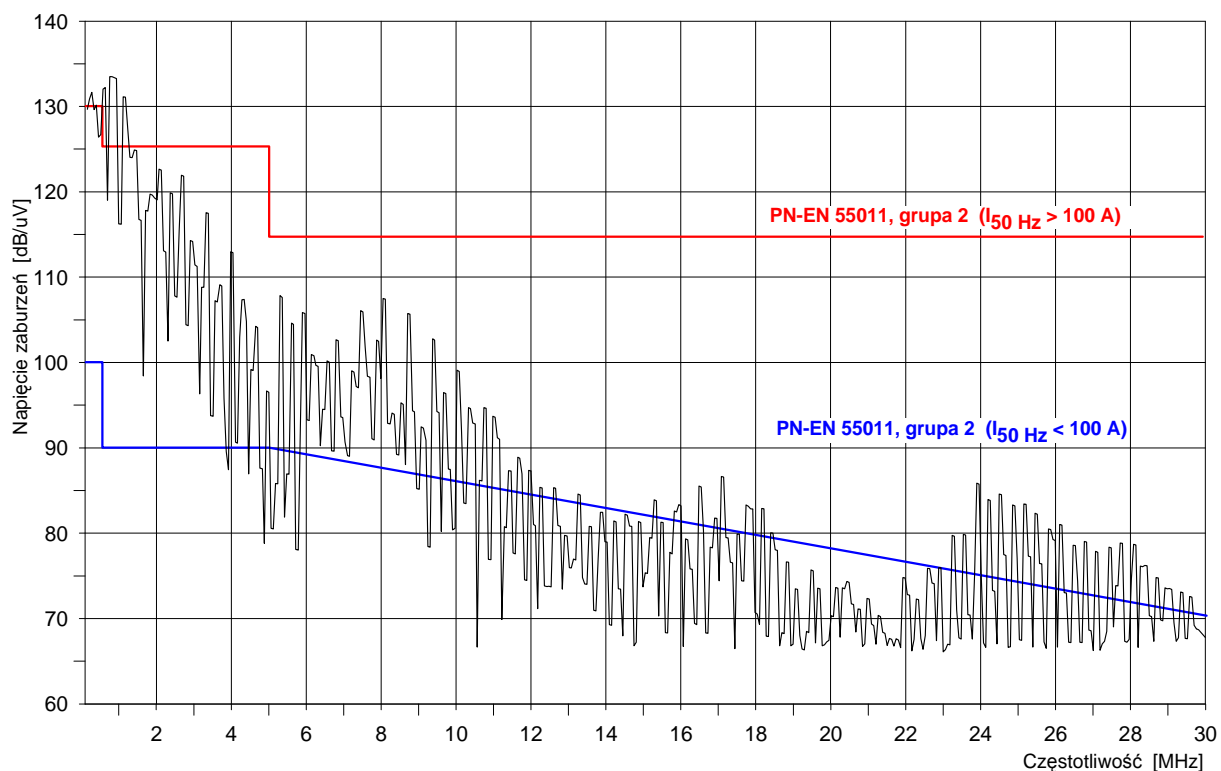


Rys. 19

Prądy zaburzeń w przewodach zasilania silnika wentylatora w zakresie częstotliwości od 150 do 30 MHz



Rys. 20
Prądy zaburzeń w przewodach zasilania silnika wentylatora w zakresie częstotliwości od 150 do 30 MHz

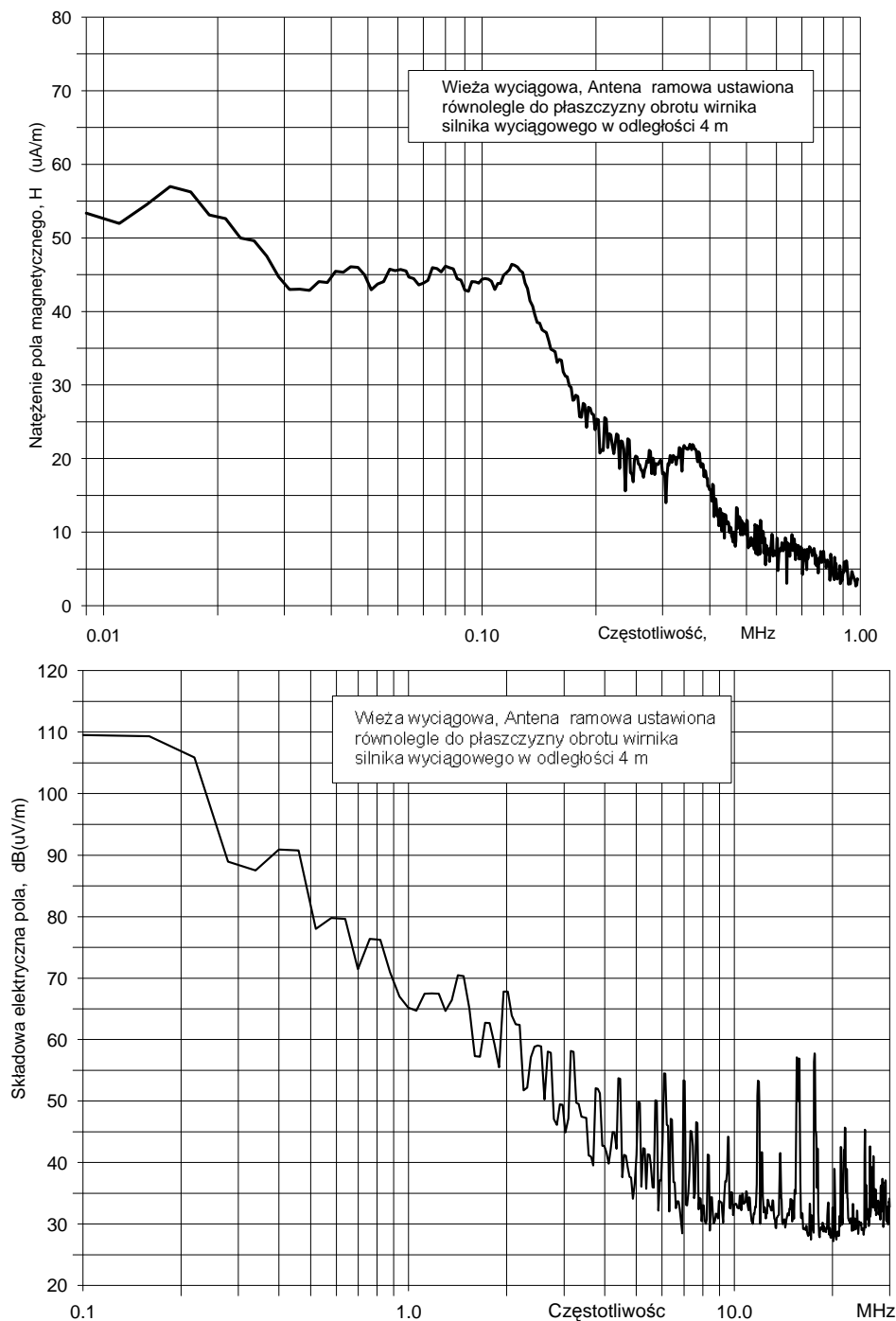


Rys. 21
Napięcie zaburzeń w przewodach zasilania silnika wentylatora w zakresie częstotliwości od 150 do 30 MHz.

Uwaga:

Na rysunkach 18 i 21 - liniami w kolorze czerwonym i niebieskim zaznaczono dopuszczalne poziomy napięcie zaburzeń wg PN-EN 55011

5.2.5 Natężenie pola magnetycznego i elektrycznego (w sąsiedztwie silnika wyciągowego)



Rys. 22 Natężenie pola magnetycznego i elektrycznego mierzone na przedłużeniu osi obrotów silnika wyciągowego w odległości ok, 4 m

Uwaga:

Natężenie pola mierzone w odległości 4 m od silnika windy szybu wyciągowego, to jest w strefie pola bliskiego, w której zmiany składowych pola (elektrycznej lub magnetycznej) maleją z trzecią lub drugą potęgą odległości. Przeliczając podane na wykresach wartości można domniemywać, że w odległości 1 m mogą wystąpić pola o natężeniu większym o ok. $(12 \div 19)$ dB. Mimo to, jest to wartości niższa od wymaganego poziomu ostrości przy badaniach odporności na pola magnetyczne według PN-EN 61000-4-8.

5.3 Pompownia odwadniania głównego rejonu Lubin Główny

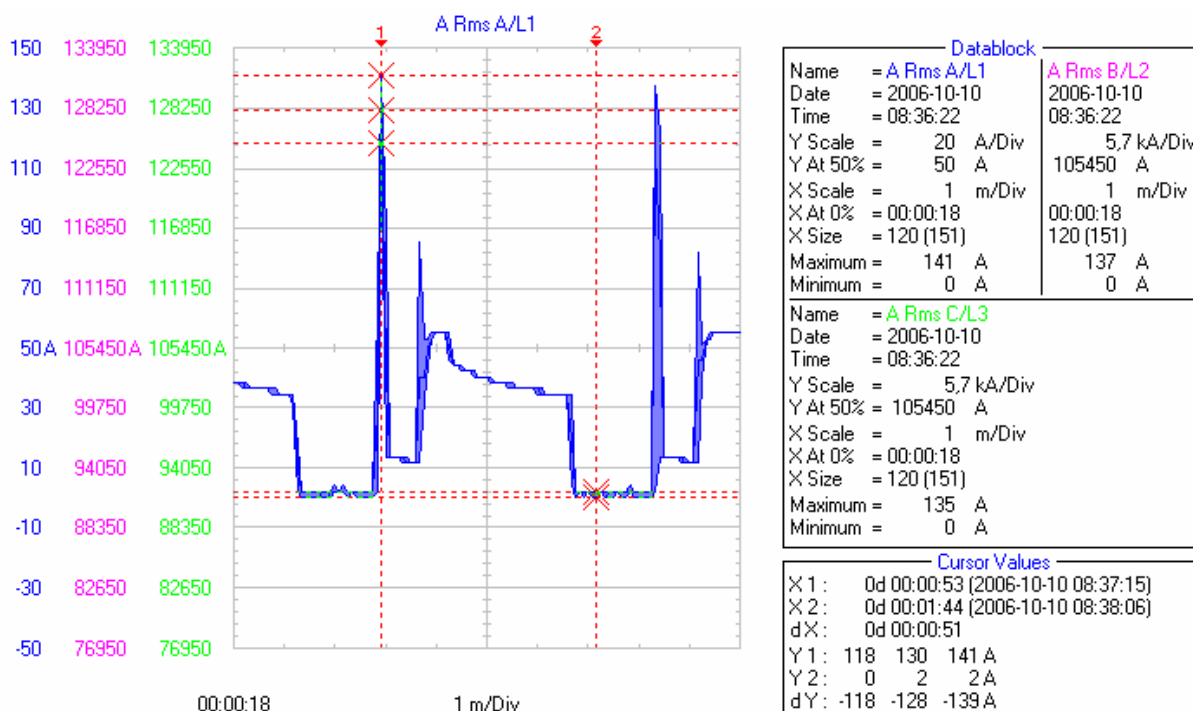
Miejsce pomiarów: Pompownia głównego odwadniania kopalni rejonu Lubin Główny
Data wykonywania pomiarów: 10 października 2006 r

Wnioski ogólne

Zmierzone parametry jakości sieci jak i zaburzenia radioelektryczne (prądy/napięcia/pola) nie przekraczają wartości krytycznych z punktu widzenia możliwości zakłócenia urządzeń elektronicznych o ile urządzenia te będą spełniały odpowiednich wymagania norm ogólnych z zakresu odporności na zaburzenia dla środowiska przemysłowego (normy serii PN-EN 61000-6-2).

Obserwuje się jednak przekroczenie dopuszczalnych wartości napięć zaburzeń w przewodach zasilania ustalonych dla urządzeń grupy 2 (wg PN-EN 55011) o poborze prądu zasilania poniżej 100 A. Wymagania dla urządzeń o większych poborach prądu są spełnione.

5.3.1 Zmiany poboru prądu i napięcia zasilania w wyniku włączenie/wyłączenia zespołu pomp/sprężarek



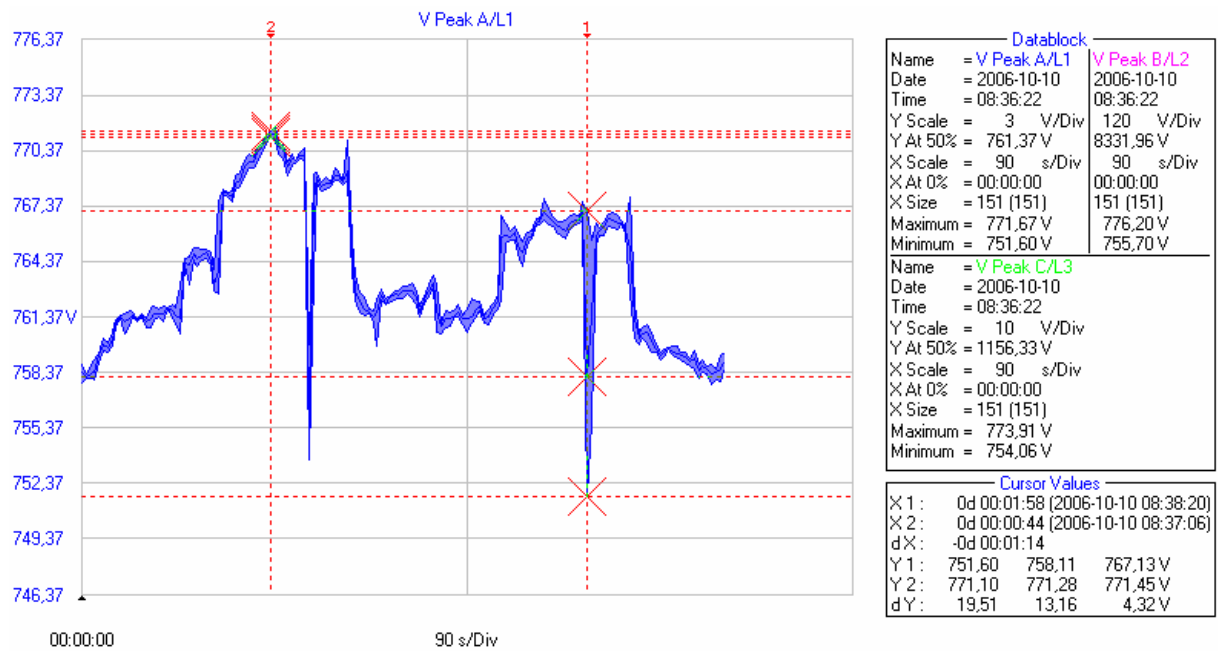
Rys. 21 b

Rys. 23

Chwilowe zmiany poboru prądu w wyniku włączenie/wyłączenia zespołu pomp/sprężarek

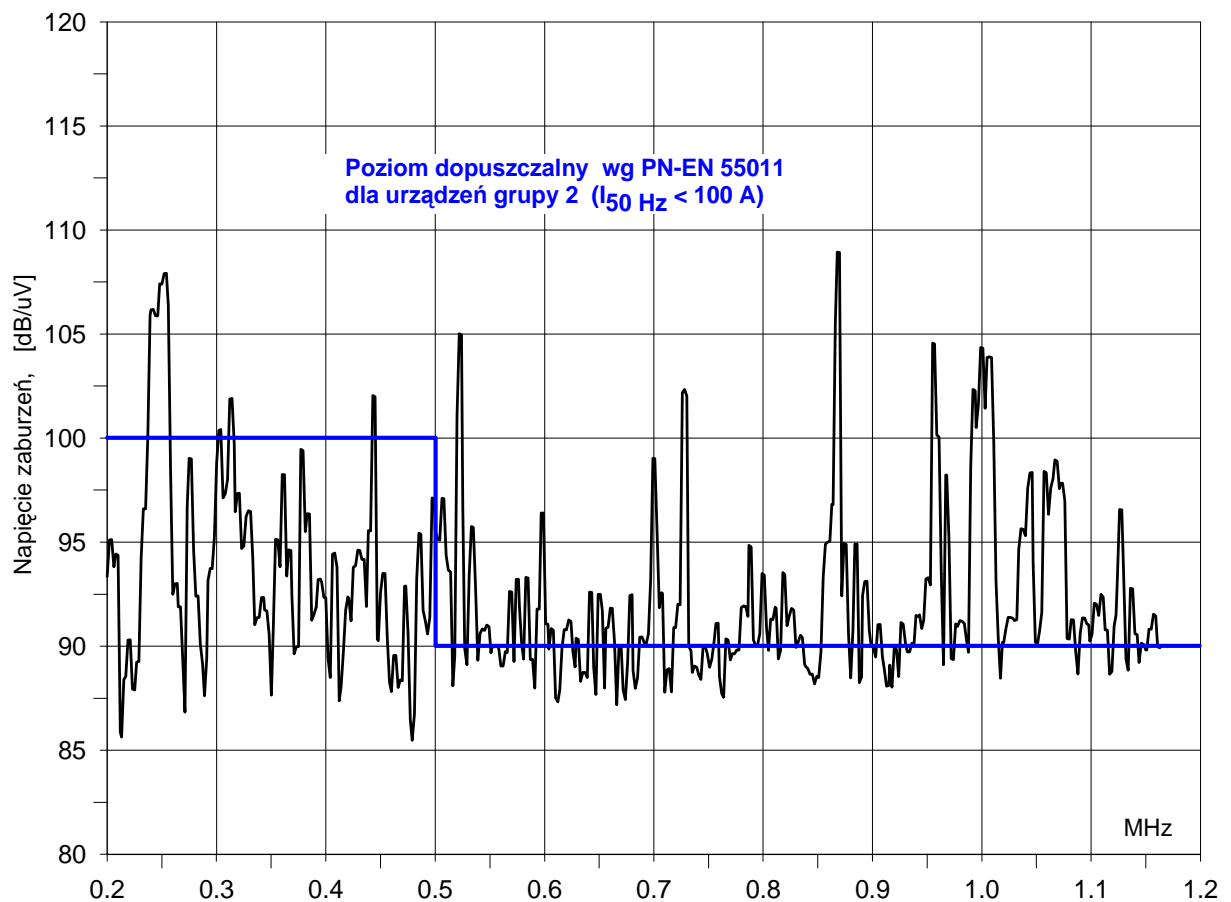
Wniosek:

Duże prądy w okresie rozruchu silnika zespołu pomp/sprężarek, mogą być powodem zakłócenia pracy urządzeń elektronicznych zawierających elementy podatne magnetycznie.

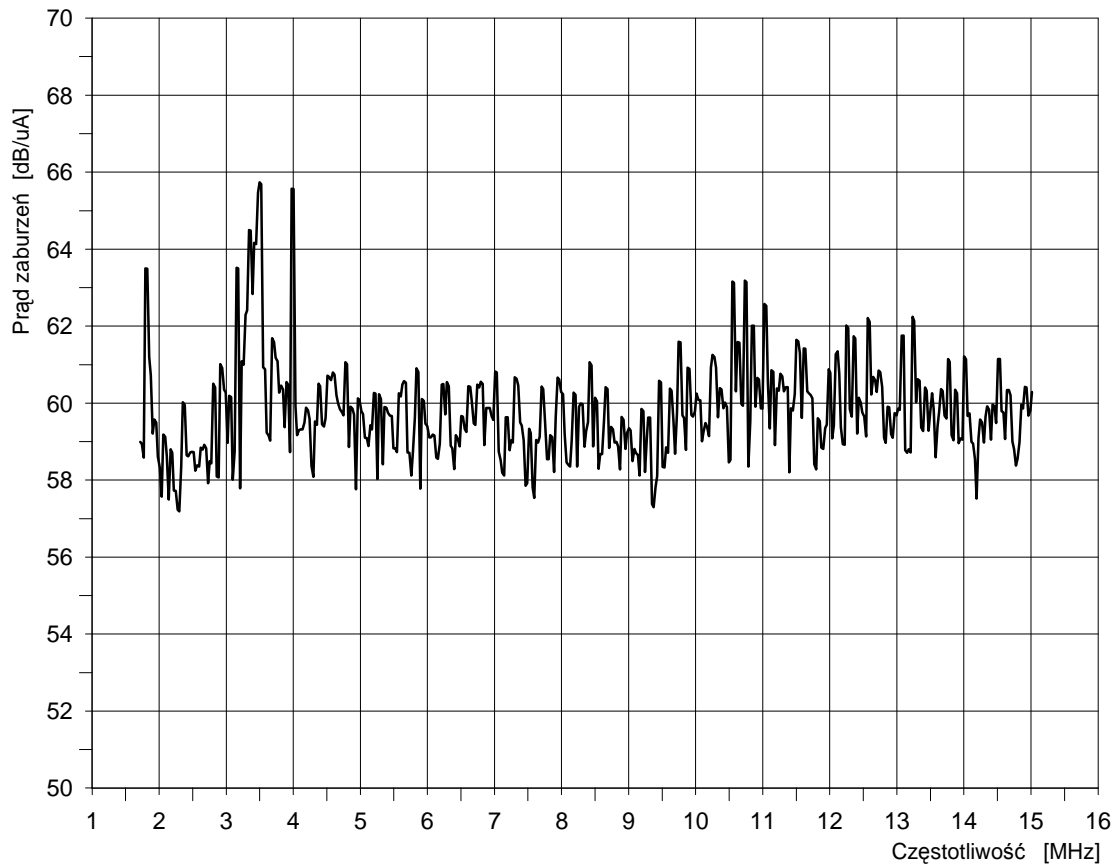


Rys. 24
 Chwilowe zmiany napięcia zasilania przy obserwacji w przedziale 76 s
 w wyniku włączania/wyłączania zespołu pomp/sprężarek

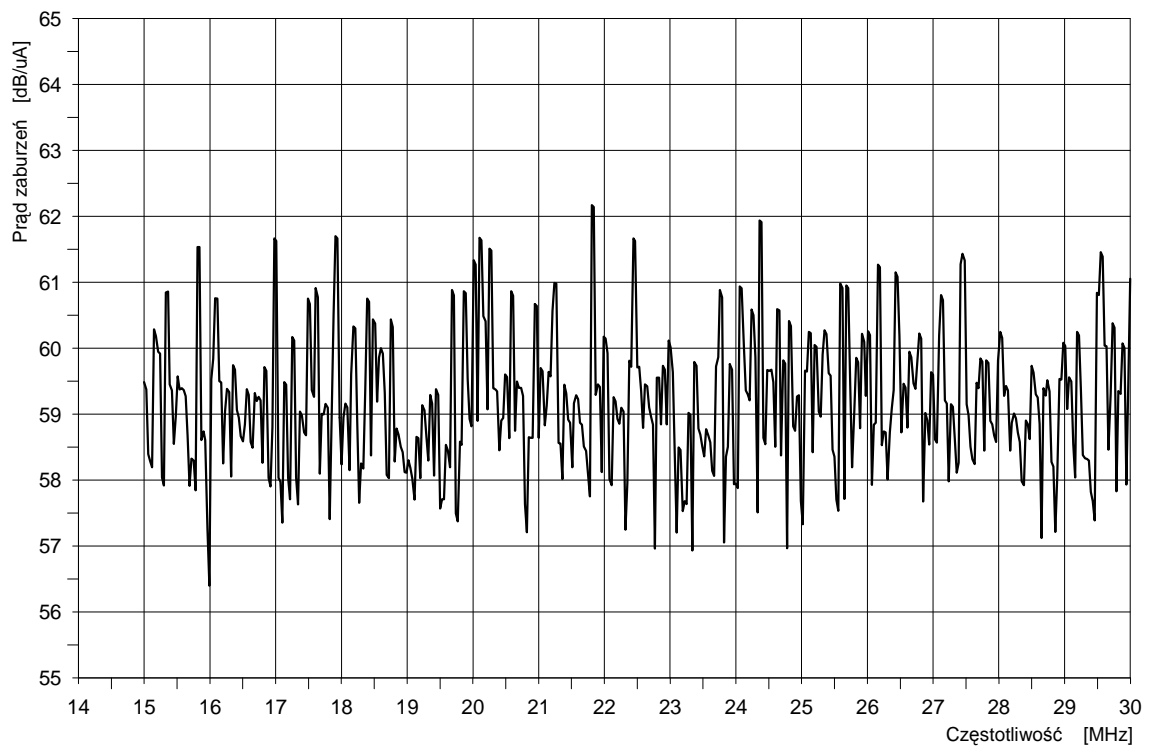
5.3.2 Napięcia/prądy zaburzeń radioelektrycznych w przewodach rozdzielni sterowania



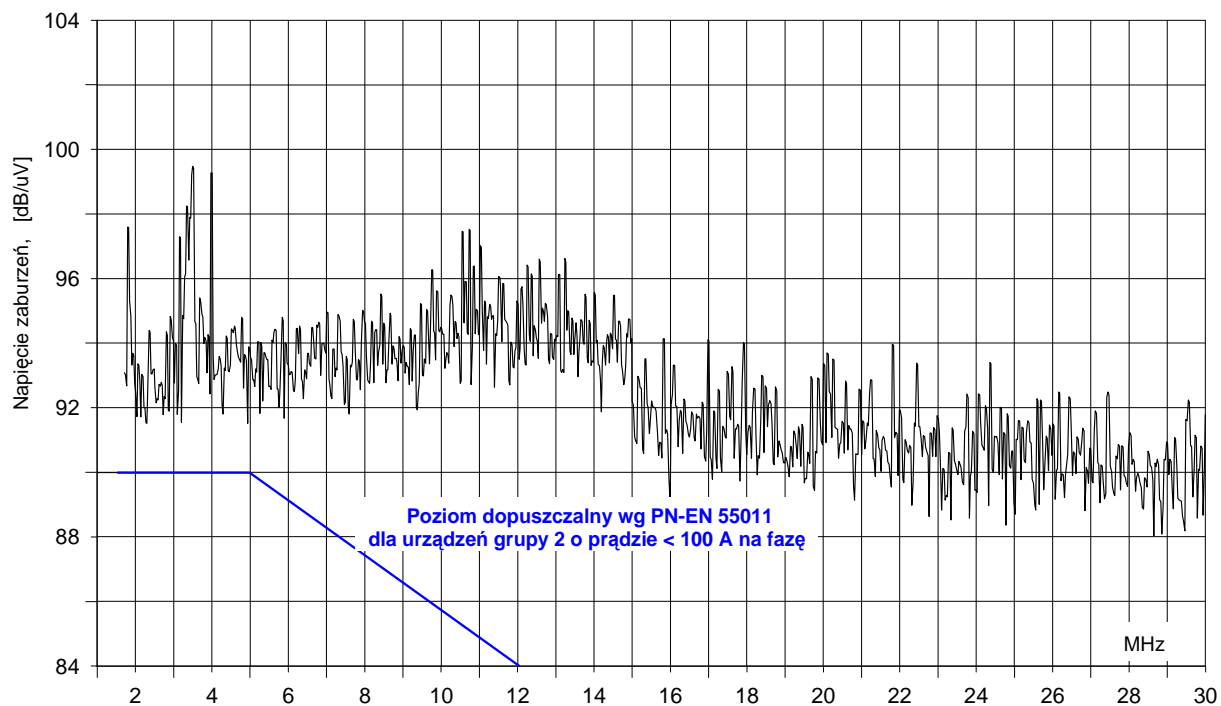
Rys. 25
 Napięcia zaburzeń w przewodach zasilania rozdzielni sterowania
 (zakres częstotliwości od 200 kHz do 1,2 MHz)



Rys. 26 Prądy zaburzeń w przewodach zasilania rozdzielni sterowania (zakres częstotliwości od 1 MHz do 15 MHz)



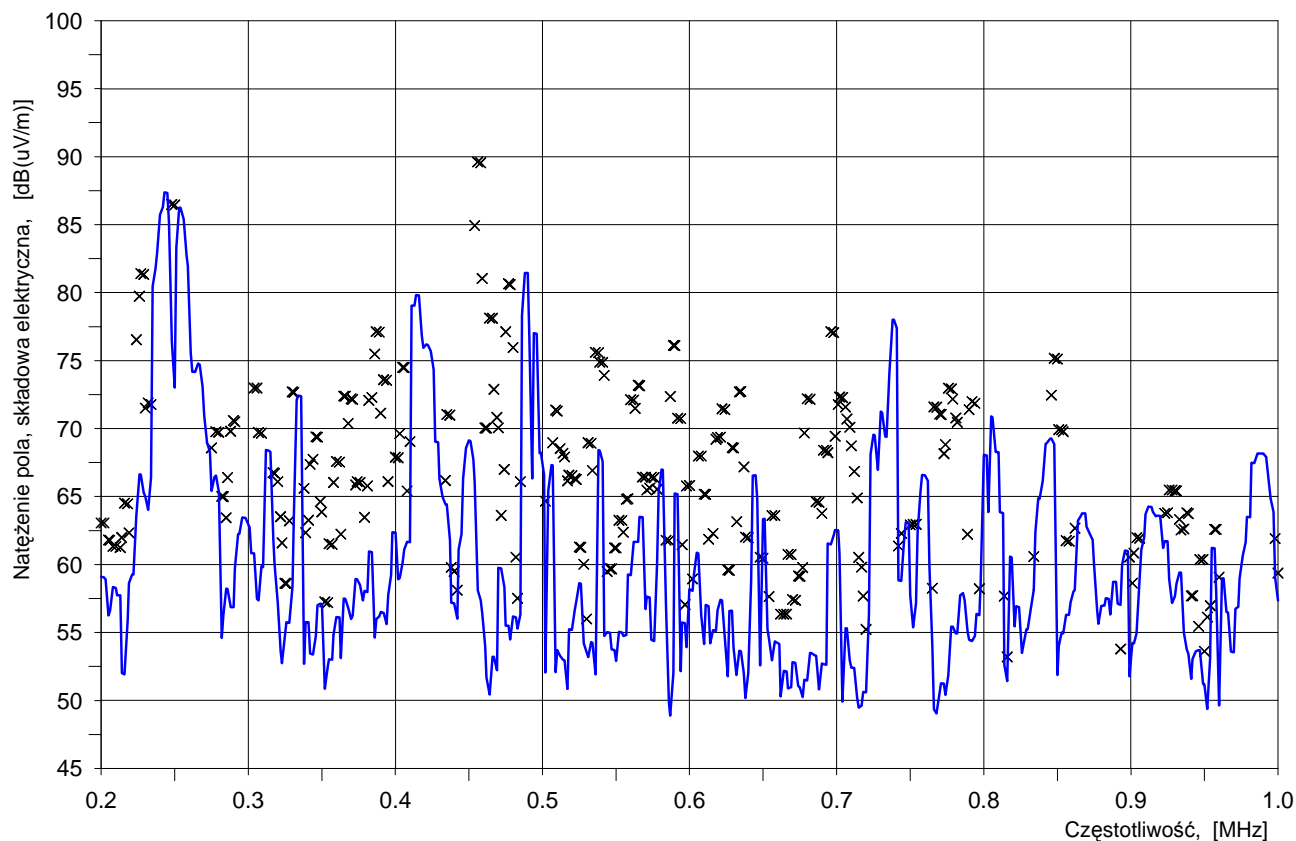
Rys. 27 Prądy zaburzeń w przewodach rozdzielni sterowania (zakres częstotliwości od 15 MHz do 30 MHz)



Rys. 28

Napięcia zaburzeń w przewodach rozdzielni sterowania (zakres częstotliwości od 1,5 do 30 MHz)
Napięcie zaburzeń przekracza poziom dopuszczalny dla urządzeń grupy 2 o poborze prądu poniżej 100 A, ale jest znacznie niższy od poziomu dopuszczalnego dla urządzeń tej samej grupy o poborze prądu powyżej 100 A ($115 \text{ dB/uV} < L_{\text{dop}} < 125 \text{ dB/uV}$)

5.3.3 Natężenie pola elektrycznego



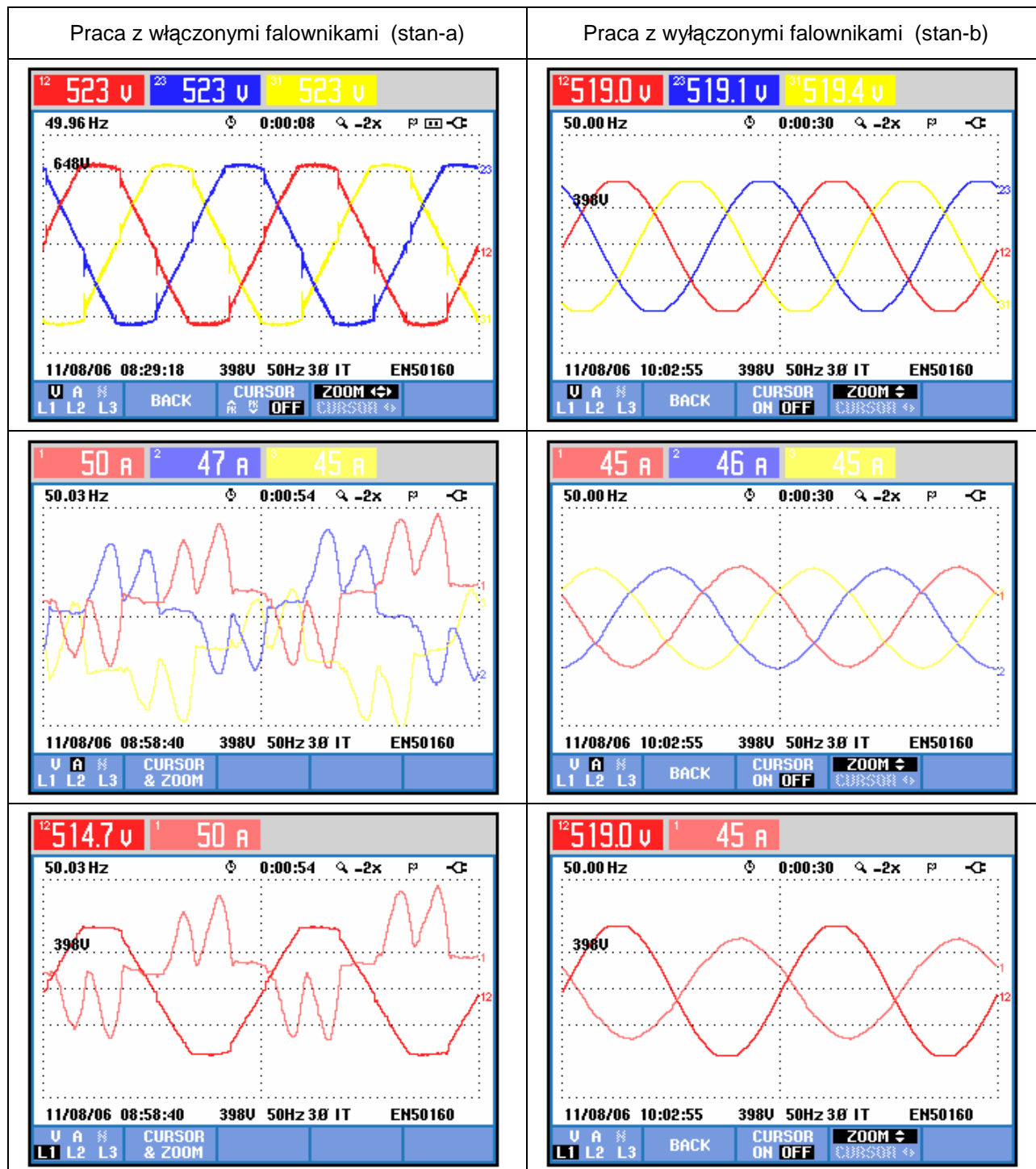
Rys. 29 Natężenie składowej elektrycznej pola w odległości ok. 2 m od trójfazowej linii elektrycznej.
Punkty – zmiany natężenia pola powodowane przejazdem kolejki elektrycznej

5.4 Stycznikownia przenośnika taśmowego K30, Chodnik K31, Przecinka 2A

Miejsce pomiarów: Pomieszczenie transformatorów i falowników

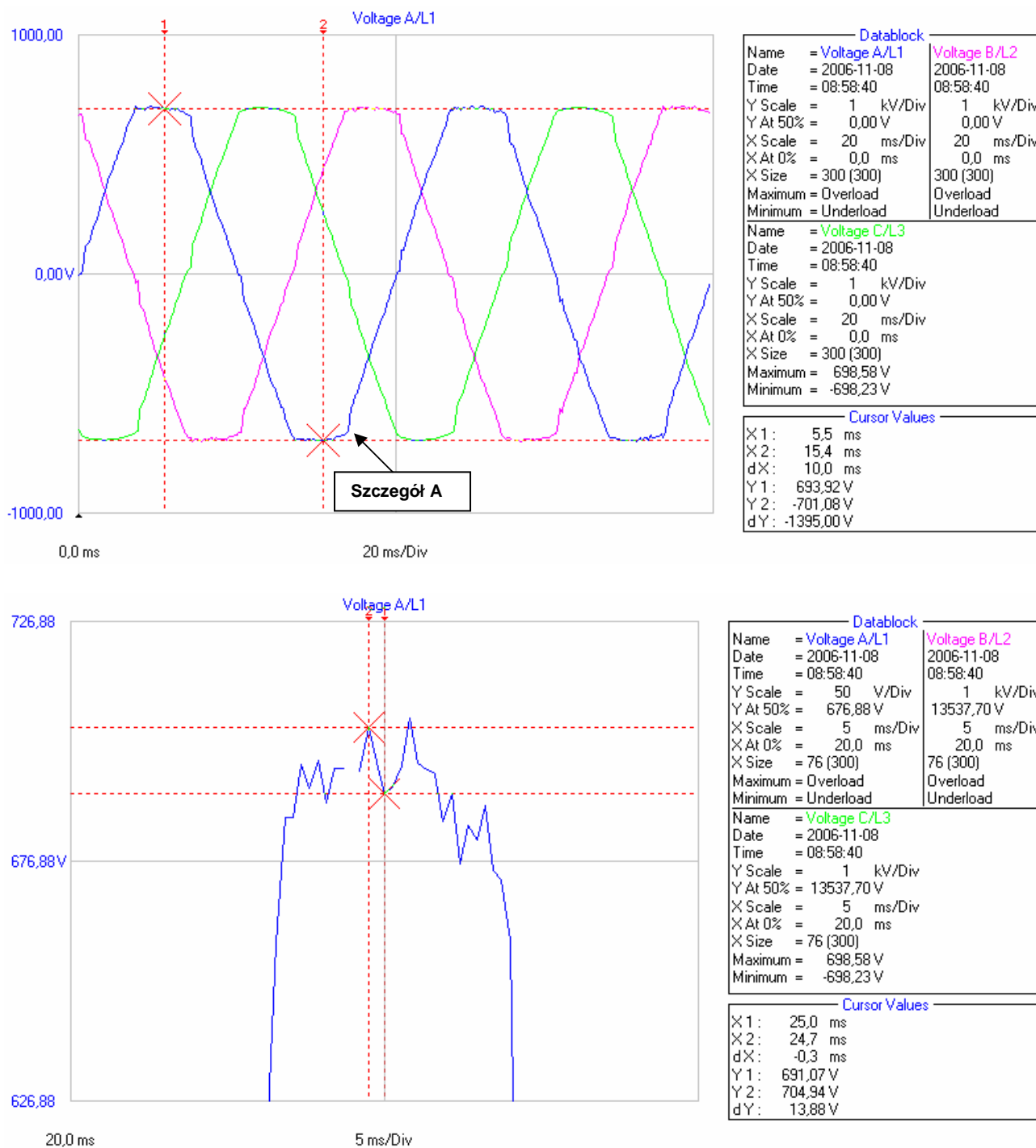
Data wykonywania pomiarów: 8 listopada 2006 r.

5.4.1 Pomiary stanu sieci w przewodach zasilania falowników: włączonych (stan a) i wyłączonych (stan b)



Rys. 30

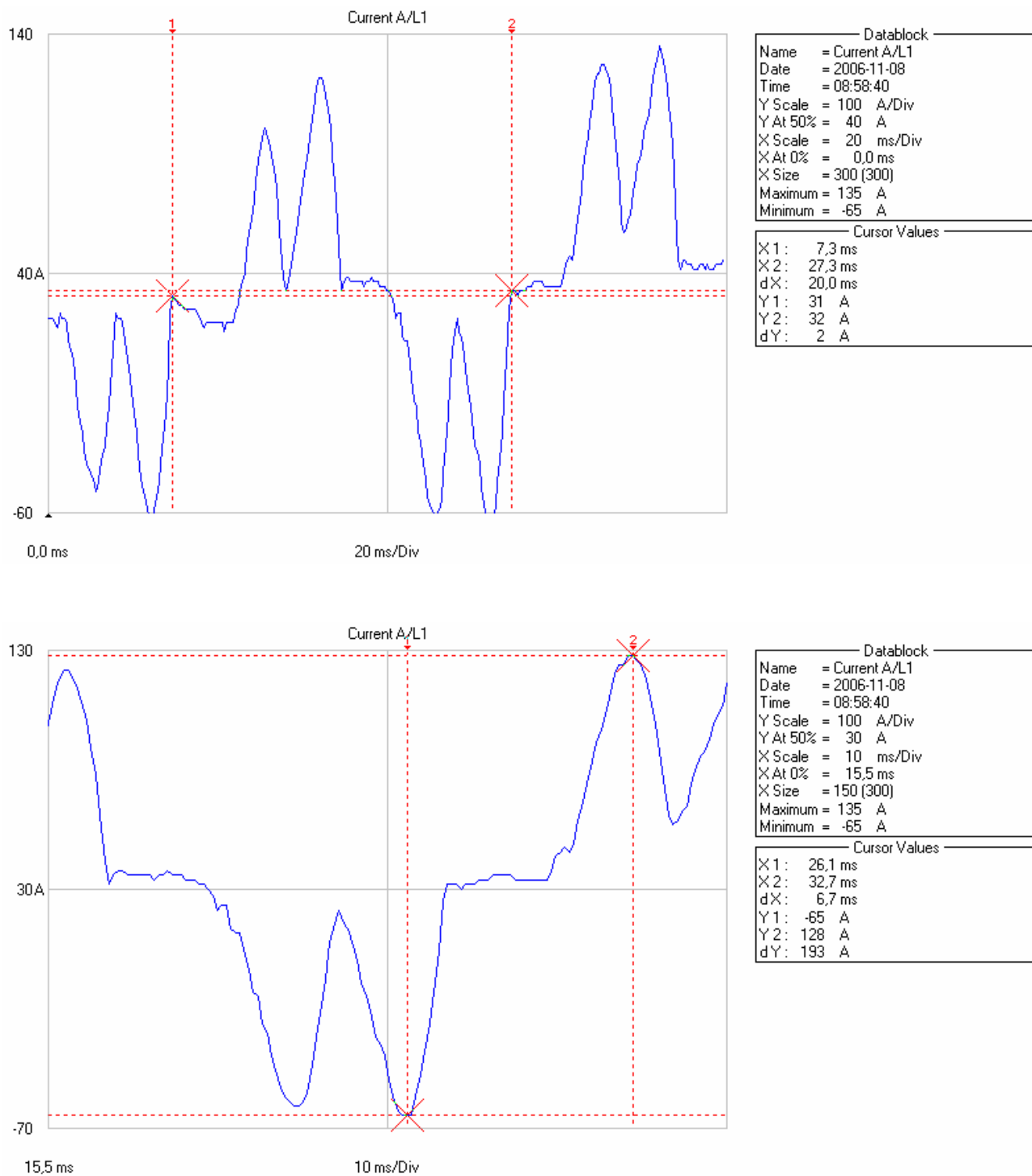
Charakter zmian napięć fazowych i prądów w przewodach zasilania falowników. Obserwuje się bardzo duże zniekształcenia w przebiegu prądu przy włączonych falownikach.



Rys. 31

Charakter zmian napięcia zasilania na przyłączy falowników. Dolny rysunek (charakter zmian na szczycie dodatnim napięcia zasilania).

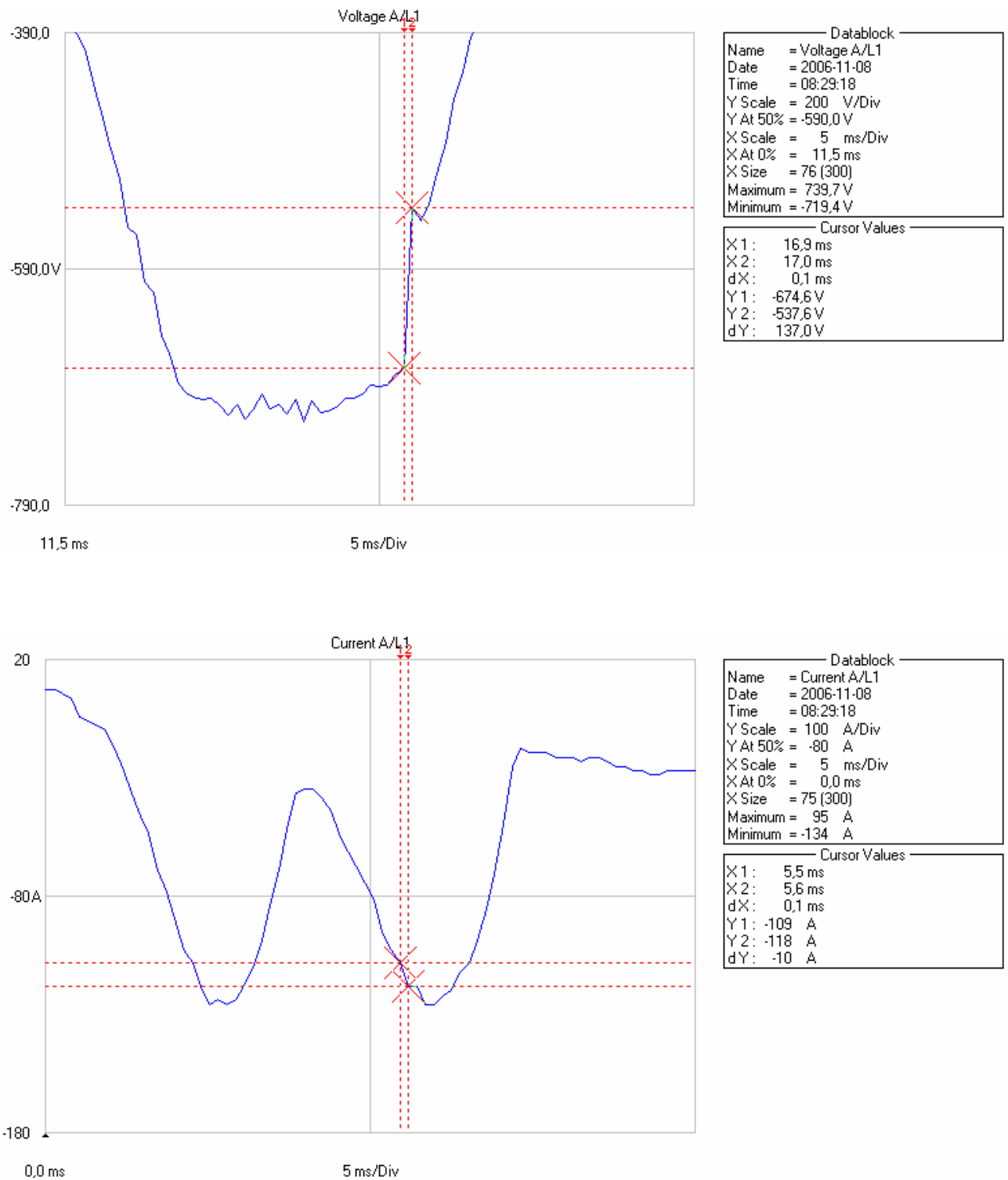
Obserwuje się szybkie zmiany napięcia (rzędu kilkunastu V) o krótkim czasie trwania < 0,4 ms.



Rys. 32

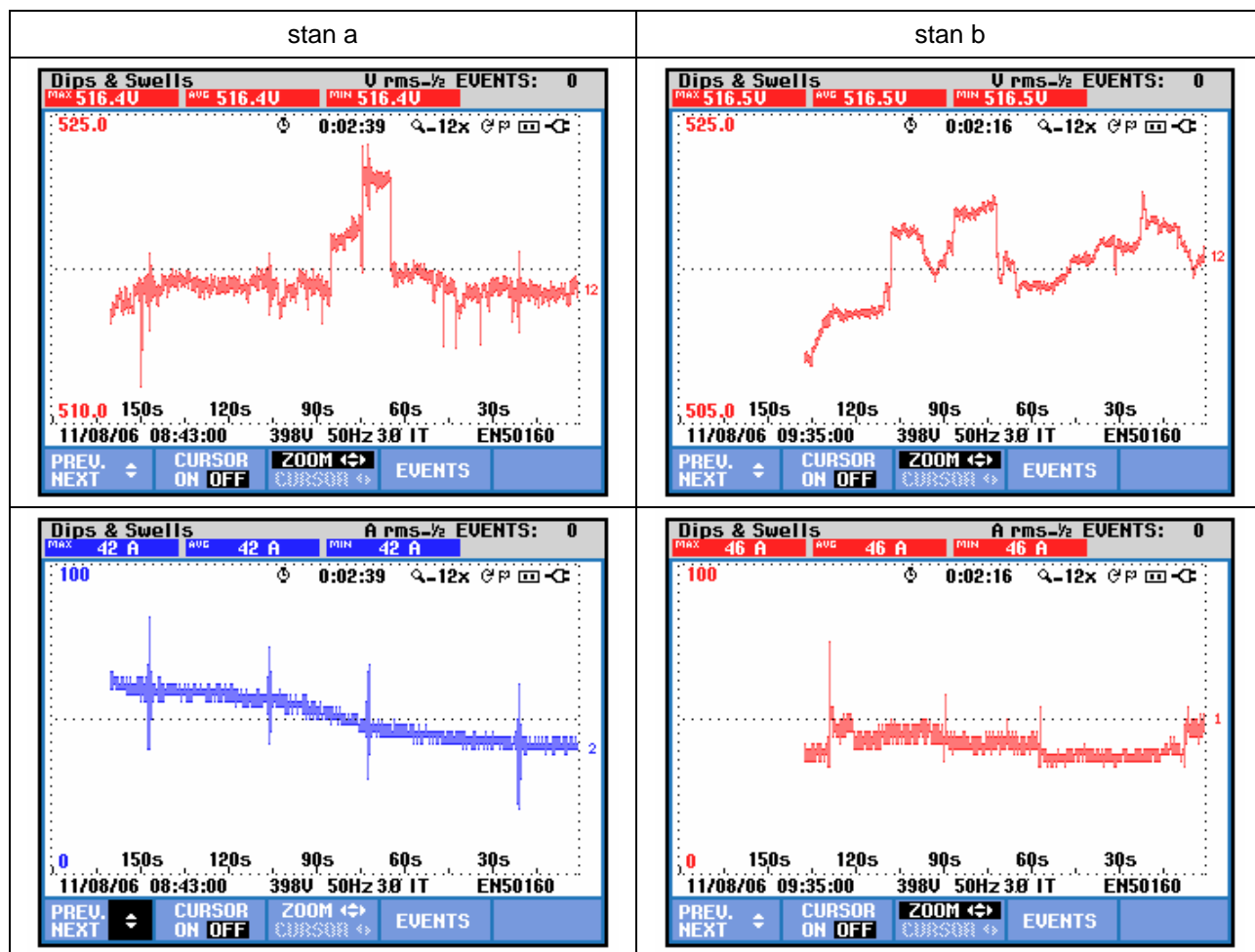
Charakter zmian prądu na przyłączy zasilania falowników.

Maksymalne zmiany prądu w ciągu jednego okresu dochodzą do prawie 200 A przy średniej wartości nominalnej poboru prądu 50 A (p. Rys. 30)



Rys. 33

Szybkie zmiany napięcia (rzędu 140 V - rysunek górny, o czasie trwania < 0,1 ms) i towarzyszące temu zmiany prądu rzędu 10 A są powodem dużych zaburzeń elektromagnetycznych rozchodzących się wzdłuż przewodów jako prądy i napięcia zaburzeń



Rys. 35

Zapady / wzrosty napięć i prądów przy włączonych (stan a) i wyłączonych (stan b) falownikach

Unbalance			
	Vneg.	Vzero	Aneg.
Unbal.(%)	0.1		100
	L12	L23	L31
Vfund	522.7	522.0	521.9
Hz	49.970		
	L1	L2	L3
φV(°)	0.0	-240.0	-120.1
φA(°)	-131.6	- 8.9	-254.6
Afund	54	50	49
11/08/06 08:23:26 398U 50Hz 3Ø IT EN50160			

Rys. 36

Asymetria sieci zasilania (stan a)

A_{neg}/V_{neg} - składowe symetryczne kolejności przeciwnej prądu/napięcia

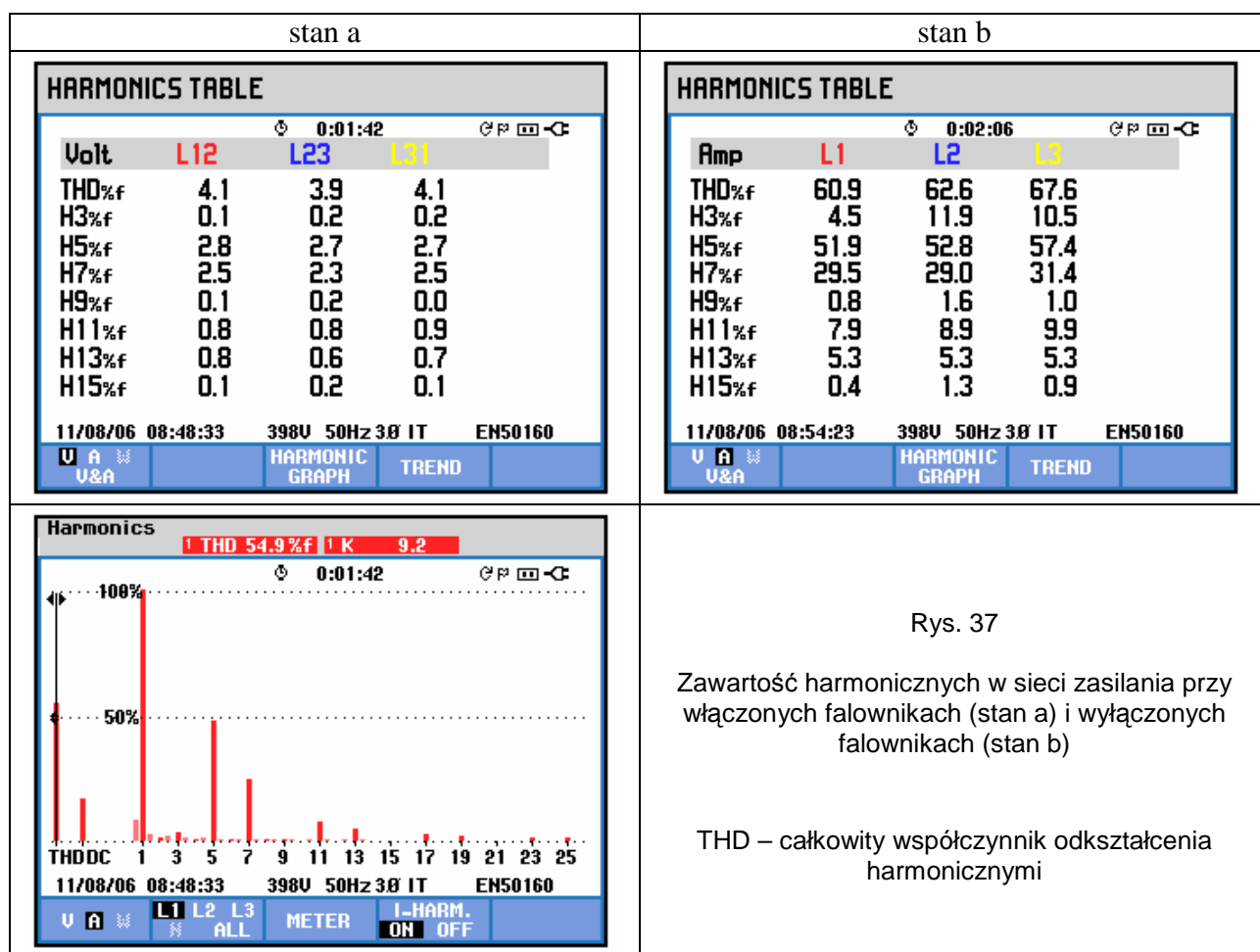
A_{fund}/V_{fund} - składowe podstawowe prądu/napięcia

$\Phi A(^{\circ}) / \Phi V(^{\circ})$ - kąty fazowe prądu/napięcia

Asymetria napięcia w sieciach wielofazowych, według PN-EN 61000-4-30, to stan, w którym nie wszystkie wartości skuteczne napięć międzyfazowych (składowa podstawowa) lub kąty fazowe między kolejnymi napięciami międzyfazowymi są równe.

W rozważanym przypadku obserwuje się istotną niesymetrię prądów przy dość dobrej symetrii napięć.

5.4.2 Harmoniczne prądu w przewodach zasilania falowników



Wartość współczynnika THD (dla prądów) istotnie przekracza dopuszczalną wartość wg wymagań norm: PN-EN 6100-4-7 [15] i PN-EN 61000-4-13 [21].

Dopuszczalna zawartość harmoniczných PN-EN 6100-4-7 [15]

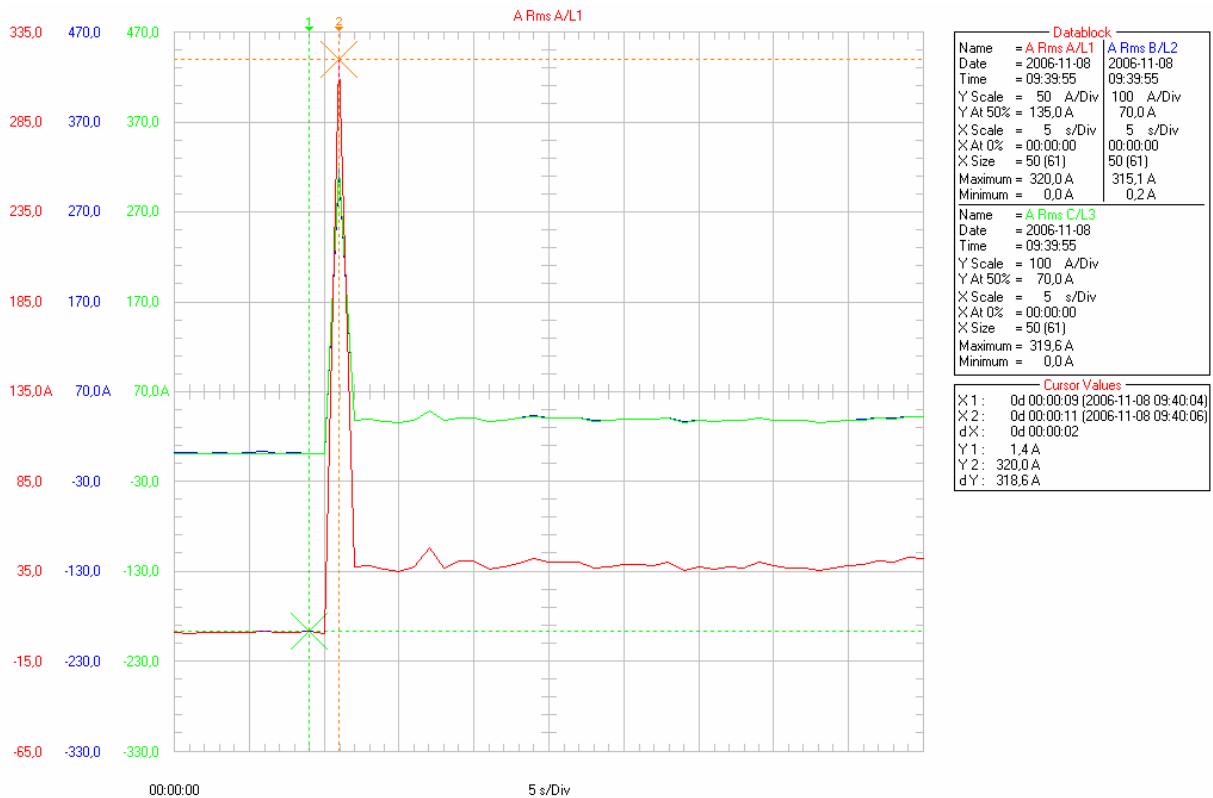
Rząd harmonicznęj n	3	5	7	9	11	13	15
Wartość dopuszczalna w [%] $U_n^{x/}$	5	6	5	1,5	3,5	3	0,3
Wynik pomiaru	3,5 11,9 10,5	51 52,8 57,4	29,5 29,0 31,4	50,8 1,6 1,0	27,9 8,9 9,9	5,3 5,3 5,3	0,4 1,3 0,9

Wymagane poziomy odporności wg PN-EN 6100-4-13 [21]

Rząd harmonicznęj n	3	5	7	9	11	13	15
Wartość dopuszczalna w [%] $U_n^{x/}$	9	12	10	4	7	7	3
Wynik pomiaru	3,5 11,9 10,5	51 52,8 57,4	29,5 29,0 31,4	50,8 1,6 1,0	27,9 8,9 9,9	5,3 5,3 5,3	0,4 1,3 0,9

^{x/} U_n - wartość nominalna napięcia zasilania

5.4.3 Przebiegi prądu i napięcia zasilania falowników przy pracy ze zmienną prędkością silnika oraz przy rozruchu silnika

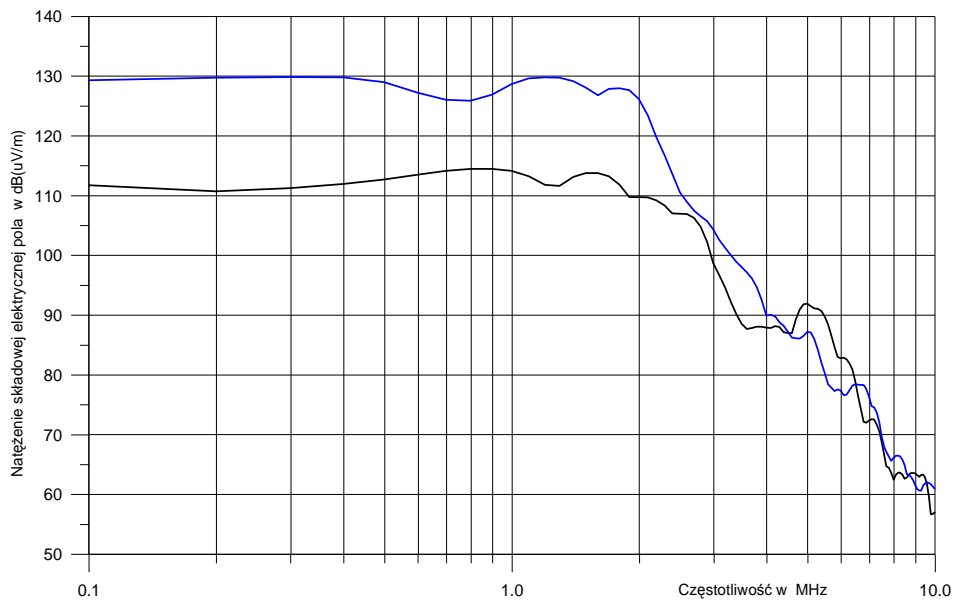


Rys. 38

Zmiany prądu (wartość skuteczna) w momencie rozruchu zespołu falowników (widać wyraźny skok prądu prawie 682 A) w momencie rozruchu i dalej wartość ustabilizowana na poziomie ok. 50 A

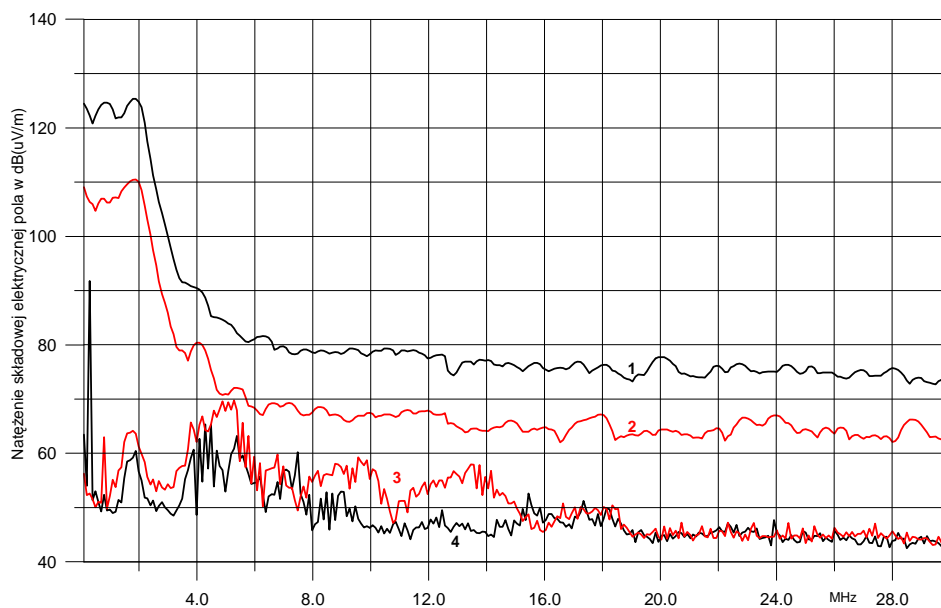
Duże prądy w okresie rozruchu silnika, wielokrotnie przekraczające wartość ustaloną prądu zasilania ($I \approx 60$ A), powodując znaczne zwiększenie pola magnetycznego o częstotliwości sieci, może być powodem zakłócania pracy urządzeń elektronicznych zawierających elementy podatne magnetycznie.

5.4.4 Natężenie pola elektrycznego w pomieszczeniu "stycznikowni"



Rys. 39

Natężenie pola (składowa elektryczna) - wartość szczytowa - w bezpośrednim sąsiedztwie stacji transformatorowej (Warunki pomiarów: antena ramowa ustawiona równoległe (krzywa górna) i prostopadłe (krzywa dolna) w stosunku do stacji transformatorowej w odległości ok. 1 m).



Rys. 40

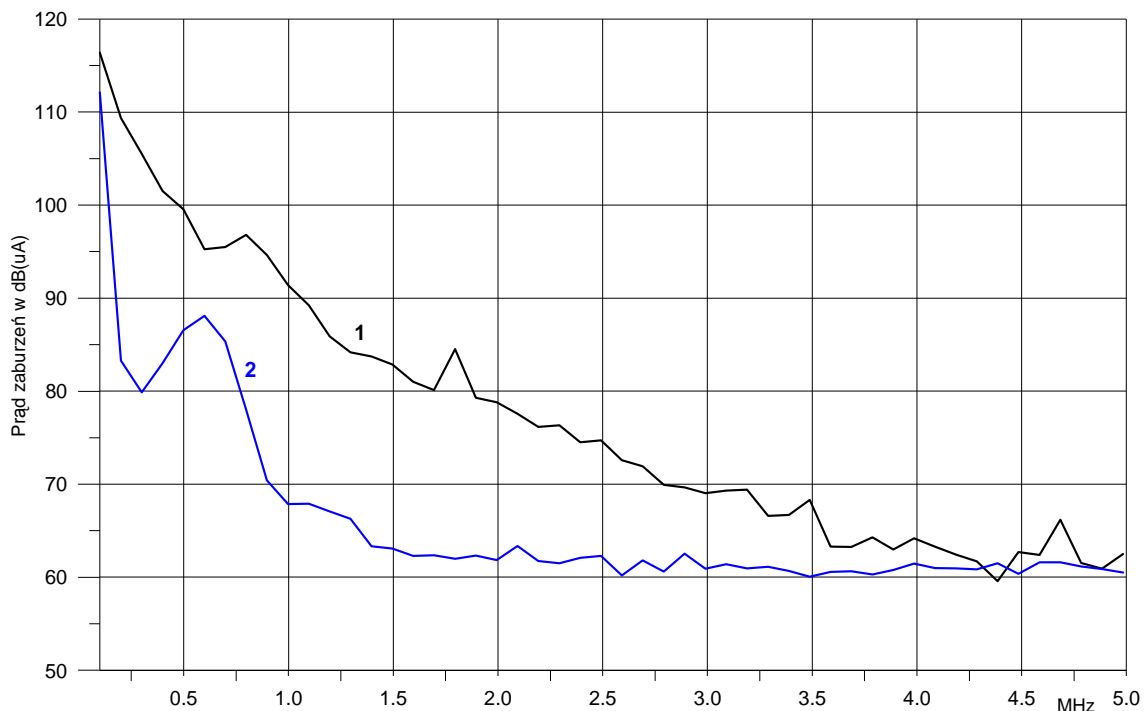
Natężenie pola (składowa elektryczna) - wartość szczytowa - w bezpośrednim sąsiedztwie szafy falownikowej (Warunki pomiarów: antena ramowa ustawiona równoległe (krzywe 1 i 3) i prostopadłe (krzywe 2 i 4) w stosunku do szafy falownikowej w odległości ok. 1 m).

Krzywe 1 i 2 - falowniki włączone; krzywe 3 i 4 - falowniki wyłączone

Wniosek:

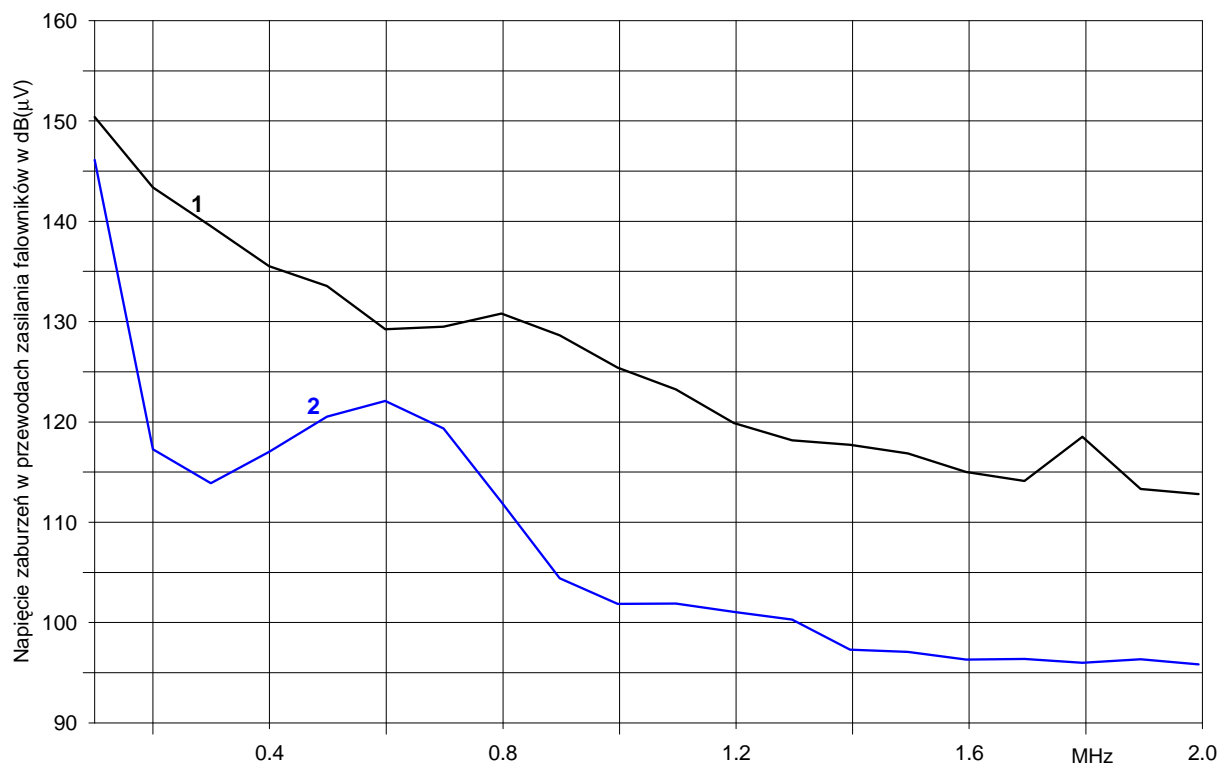
Obserwowana wartość natężenia pola jest rzędu 3 V/m (ok. 130 dB(uV/m)) w zakresie częstotliwości do ok. 3 MHz. W tym zakresie częstotliwości - w normach ogólnych dotyczących środowiska przemysłowego - nie stosuje się oceny urządzeń pod kątem ich odporności na pola zakłócające.

5.4.5 Prądy/napięcia zaburzeń w przewodach zasilania falowników



Rys. 41

Prąd zaburzeń w przewodach zasilania falowników.
1- falowniki włączone; 2 - falowniki wyłączone



Rys. 42

Napięcie zaburzeń w przewodach zasilania falowników.
1- falowniki włączone; 2 - falowniki wyłączone

Przy badaniach odporności na zakłuszające napięcia, wg PN-EN 61000-4-6, stosuje się napięcie probiercze 10 V (wartości skutecznej). Przedstawione na rysunku 42 wyniki pomiarów wskazują na duże prawdopodobieństwo przekroczenia tej wartości ($U > 140$ dB/uV)

6. Pomiary IN-SITU

6.1 Wstęp

Pomiary IN SITU - pojęcie stosowane w normach z zakresu EMC - to określenie oznaczające wykonywanie badań urządzeń w innych warunkach niż to wynika z ogólnych znormalizowanych wymagań. Względami technicznymi uzasadniającymi wykonanie pomiarów IN SITU są nadmierne wymiary i/lub ciężar przewidywanego do badań obiektu lub przypadki, w których jego połączenie z infrastrukturą jest zbyt kosztowne lub niemożliwe do wykonania w warunkach laboratoryjnych. Często oznacza to konieczność przeprowadzania badań:

- a) w miejscu budowy urządzenia (u producenta),
- b) w ostatecznym miejscu pracy urządzenia (u użytkownika),
- c) w innych miejscach, do których możliwy jest transport urządzenia i stworzenie tam odpowiednich warunków pracy/obciążeń, starając się przy tym stwarzać warunki badań zbliżone maksymalnie do warunków znormalizowanych (definiowanych w odpowiednich normach EMC).

W przypadku dużych urządzeń stosowanych w przemyśle wydobywczym w rachubę mogą wchodzić następujące miejsca pomiarowe:

- Badania odporności na zaburzenia - wyboru miejsca badań dokonuje się po starannej analizie ewentualnych zakłóceń innych urządzeń sąsiadujących z badanym urządzeniem.
- Pomiary emisji zaburzeń - wszystkie wyżej wymienione miejsca.

W przeciwieństwie do badań laboratoryjnych, w badaniach IN SITU normy stanowią tylko pomoc w ustalaniu programu i przebiegu badań. Zawsze w badaniach IN SITU występują pewne odchylenia od warunków laboratoryjnych. „Odchylenia” takie powinny być przedyskutowane i wymienione w programie badań oraz w raporcie końcowym.

Podstawowe normy w oparciu o które ustala się program badań to:

- normy wyrobów/rodzin wyrobów - jeśli takie normy są i mają zastosowanie dla konkretnego badanego urządzenia,
- normy ogólne: PN-EN 61000-6-2 i PN-EN 61000-6-4, właściwe dla środowiska przemysłowego:

Poniżej omówiono wymagania wynikające z norm ogólnych [37 - 40], gdyż bardzo często normy wyrobów odwołują się do nich.

6.2 Przygotowanie do badań IN SITU

Należy zwrócić uwagę, czy:

- zastosowane w badanym urządzeniu podzespoły mają znak CE; spełnienie wymagań odpowiednich norm przez podzespoły zwiększa prawdopodobieństwo spełnienia tych wymagań przez całe urządzenie, w którym będą one zastosowane (takie podejście oznacza mniejsze kłopoty i mniejsze koszty przy obniżaniu poziomów emitowanych zaburzeń lub zwiększaniu odporności na różne zaburzenia ostatecznego wyrobu).
- w obwodach zasilania silników o zmiennej prędkości, przełączników dużej mocy lub falowników zastosowane zostały odpowiednie filtry przeciwzakłóceń.
- w czasie badań EMC możliwe jest wielokrotne włączanie/odłączanie zasilania, w celu upewnienia się, czy badane urządzenie zachowuje się poprawnie i powtarzalnie.
- w czasie badań odporności urządzenia przygotowane są warunki do monitorowania poprawności działania testowanego urządzenia przez cały czas badań. Należy ustalić wszelkie warunki monitoringu: obserwowane parametry, czas obserwacji (czas niezbędny do uzyskania odpowiedniej reakcji EUT).
- wokół badanego urządzenia jest wystarczająco miejsca (wolnego od innych urządzeń) umożliwiającego rozstawienie aparatury pomiarowej (należy pamiętać, że zalecana odległość anteny pomiarowej od badanego urządzenia to minimum 3 m).

Ponadto należy:

- Zapewnić odpowiednie warunki do podłączenia zasilania EUT i stosowanego w czasie badań oprzyrządowania pomiarowego.
- Zwrócić uwagę na możliwość zachowania odpowiednich warunków BHP: w pomiarach powinien brać udział wyspecjalizowany elektryk do wykonania połączeń/podłączeń do badanego obiektu, w szczególności w przypadku dokonywania połączeń do elementów będących pod napięciem.
- Przed rozpoczęciem właściwych badań urządzenie powinno być odpowiednio "wdrożone" przez jego włączenie na dłuższy czas w celu ustabilizowania warunków termicznych, (ewentualnie innych).

6.3 Wybór Laboratorium badawczego

Wybierając Laboratorium badawcze należy zwrócić uwagę na następujące fakty:

- Czy Laboratorium posiada Akredytację PCA; Oczywiście można korzystać z innych Laboratoriów jeśli gwarantuje ono odpowiednie kompetencje techniczne.
- Czy pracownicy Laboratorium mają doświadczenie w badaniach dużych obiektów przemysłowych.
- Czy wyposażenie aparaturowe laboratorium i jego stan techniczny gwarantują odpowiednią jakość badań (np. czy stosowana aparatura ma odpowiednie Świadectwa wzorcowania). Jak

są niezbędne warunki zasilania: tej aparatury: z sieci lokalnej, czy też zasilanie bateryjne (preferowane). Tu należy zwrócić uwagę na możliwość stosowania tej aparatury w środowisku specjalnym np. w kopalni przy podwyższonej wilgotności/temperaturze/zapyleniu.

- Okres czasu niezbędny do opracowania wyników i przedstawienia odpowiedniego Raportu z badań (dobrze jest zapoznać się wcześniej z formą Raportów, zwyczajowo dostarczanych przez Laboratorium).
- Czas trwania badań i ich obiektywizm.
- Czy Laboratorium może udzielić porad technicznych i na jakich warunkach.

6.4 Inne informacje niezbędne do zaplanowania przebiegu badań.

Podane poniżej informacje powinny być dostarczane są przez Zleceniodawcę badań określonego urządzenia w formie odpowiednich dokumentów (drukowanych lub w postaci elektronicznej) lub ustalanych w toku wstępnego spotkania przedstawicieli Zleceniodawcy i Laboratorium Badawczego. Ze względu na ewentualny koszt usługi (skrócenie czasu konsultacji) dobrze jest jeśli Zleceniodawca jest wcześniej przygotowany do udzielenia poniższych informacji.

- Warunki pracy badanego urządzenia.
- Połączenie z innymi podzespołami (np. obciążenia, układy sterujące, monitorujące): rodzaje i ich długości oraz szkic ich ułożenia.
- Szkic ustawienia względem innych urządzeń (powiązanych z badanym obiektem, ale także tych, które nie dotyczą jego bezpośrednio, ale których obecność może wpływać np. na wyniki pomiarów emisji promieniowanych).
- Dostępność do elementów badanego urządzenia, możliwości rozstawienia aparatury pomiarowej, zapewnienie warunków zasilania, itd).
- Czy badania będą wykonywane na zewnątrz pomieszczeń czy w pomieszczeniu; w tym ostatnim przypadku przydatne są tu informacje o rodzaju materiałów, z których jest zbudowana hala (drewno?, metal?, cegła? czy też inne materiały?).
- Konstrukcja badanego urządzenia: układ blokowy; rodzaj obudowy. Czy są stosowane podzespoły przeciwzakłócenkowe (jeśli tak, to w których miejscach). Czy są stosowane ekrany elektromagnetyczne (zaznaczyć na szkicu) i jakich podzespołów dotyczą?
- Wykaz i opis podzespołów elektronicznych zastosowanych w badanym urządzeniu. Czy są odpowiednie wyniki ich badań z zakresu EMC? (dane te wynikają z dokumentacji dostarczanej przez podwykonawcę podzespołów).
- Opis zasady działania badanego obiektu (w oparciu o Instrukcję Obsługi) i jego kryteria eksploatacyjne, to jest objawy, które mogą wystąpić w czasie lub w konsekwencji zastosowania odpowiedniego zaburzenia elektromagnetycznego; w tym ocena możliwych (worst case) i prawdopodobnych skutków zaburzenia w pracy badanego urządzenia.

6.5 Dokumentacja wyników pomiaru

Dokumentacja (Raport z badań) powinien zawierać następujące informacje:

- Cel lub przyczyny wykonania pomiarów IN SITU,
- opis EUT lub mierzonej instalacji;
- wykaz dokumentacji technicznej dostarczonej przez Zleceniodawcę,
- rysunki miejsca pomiaru z zaznaczonymi punktami, w których wykonywano pomiary;
- szczegóły wszystkich połączeń między badanym EUT/badaną instalacją; dane techniczne i szczegóły ich umieszczenia/zestawienia;
- opis warunków pracy EUT,
- opis urządzeń pomiarowych;
- wyniki pomiaru:
 - istotne szczegóły pomiarów jak np. polaryzacja anteny pomiarowej;
 - wartości mierzone: częstotliwość, poziom mierzony i poziom zaburzeń;
 - ocena stopnia zakłóceń (przy badaniach odporności).
- Omówienie możliwych (worst case) i prawdopodobnych skutków zaburzenia w pracy EUT

6.6 Wymagania dotyczące odporności w środowisku przemysłowym – uwagi ogólne

Wymienione w normie PN-EN 61000-6-2 [38] badania wykonuje się w celu określenia odporności badanego urządzenia na zewnętrzne zaburzenia elektromagnetyczne. Wykonuje się badania odporności na zaburzenia przewodzone i promieniowane.

W przypadku dużych urządzeń (testowanych IN SITU) badania wykonuje się zgodnie z ogólnymi ustaleniami sformułowanymi w PN-EN 61000-6-2, w której stwierdza się, że jeżeli w wyniku zastosowania zdefiniowanych w niej testów urządzenie staje się niebezpieczne lub może stanowić zagrożenie, to uważa się, że nie spełnia ono odpowiednich wymagań. Norma określa parametry generowanych zaburzeń testowych, przywołuje odpowiednie normy podstawowe i określa kryteria oceny odporności urządzenia na testowe zaburzenie.

6.7 Wymagania dotyczące emisyjności w środowisku przemysłowym

W zakresie badań emisyjności norma PN-EN 61000-6-4 odwołuje się do normy PN-EN 55011 [48].

6.7.1 Pomiar zaburzeń przewodzonych

Pomiary napięć zaburzeń wykonuje się w przewodach zasilania AC. Zakres częstotliwości: od 0,15 do 30 MHz. Zasadniczo potrzebna jest sieć sztuczna. Przy dużych poborach prądu – co zazwyczaj ma miejsce przy badaniach dużych urządzeń w warunkach IN-Situ - można stosować sondy napięciowe, chociaż zastrzeżenia budzi fakt braku kontroli impedancji obciążenia. Dopuszcza się również stosowanie sond prądowych, pamiętając jednak o właściwej interpretacji uzyskiwanych wyników.

6.7.2 Pomiar zaburzeń promieniowanych

Procedura pomiarów natężenia pola jest dość szczegółowo opisana w normie PN-EN 55016-2-3 [48].

Pomiary natężenia pola w zakresie częstotliwości od 9 kHz do 30 MHz

Należy mierzyć natężenie pola magnetycznego z kierunku największego promieniowania w takich warunkach pracy badanego urządzenia, przy których wytwarza ono największe zaburzenia.

Do oceny natężenia pola zaburzeń zaleca się wykonanie pomiarów dla trzech ortogonalnych położań anteny obliczając wypadkowe natężenie ze wzoru:

$$H_{\text{sum}} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

W przypadku małych odległości anteny pomiarowej od badanego obiektu preferowane są oddzielne pomiary składowej elektrycznej i składowej magnetycznej pola zaburzeń.

Jeżeli nie można zastosować odległości znormalizowanej zalecanej w normie wyrobu lub w normie ogólnej, wówczas pomiaru można dokonać w odległości innej (odnotowując ten fakt w raporcie z badań). Należy wykonać co najmniej trzy pomiary w różnych odległościach pomiarowych i dokonać odpowiedniej interpolacji dla odległości znormalizowanej (w celu oceny wyrobu pod kątem odpowiednich wymagań).

Pomiary natężenia pola w zakresie częstotliwości powyżej 30 MHz

Natężenie pola elektrycznego zaburzeń z zasady należy mierzyć z kierunku największego promieniowania w odległości znormalizowanej (10 m - jako odległość podstawowa). Zaleca się stosowanie anten dwustożkowych w zakresie częstotliwości do 200 MHz i anten logarytmiczno-periodycznych dla wyższych częstotliwości.

Jeżeli wykonanie pomiarów w odległości znormalizowanej nie jest możliwe to wykonuje się je w kilku różnych odległościach. W każdym pomiarze należy zmieniać wysokość anteny. Uzyskane w taki sposób wyniki nanosi się na wykres zmian natężenie pola w funkcji odległości pomiarowej w skali logarytmicznej.

Jeżeli nie można wykonać pomiaru dla kilku odległości, a jedynie dla jednej odległości, która odnosi się do zewnętrznej granicy terenu, to wyniki pomiarów należy przeliczyć na równoważną wartość ważną dla odległości znormalizowanej wg poniższej zależności [97]:

$$E_{\text{std}} = E_{\text{mea}} + n \times 20 \times \log d_{\text{mea}} / d_{\text{std}}$$

w której:

- E_{std} jest natężeniem pola w odległości znormalizowanej w dB(μ V/m)
- E_{mea} jest natężeniem pola w odległości pomiarowej w dB(μ V/m);
- d_{mea} jest odległością pomiarową w metrach;
- d_{std} jest odległością znormalizowaną w metrach.
- $n = 0,6$ dla odległości ($3 \text{ m} < d_{\text{mea}} < 10 \text{ m}$).

UWAGA $n < 1$ uwzględnia różnicę między odległością pomiarową a odległością do badanego urządzenia.

Nie należy stosować odległości pomiarowych mniejszych niż 3 m.

Wnioski

- 1) Istnieje oczywisty związek między kompatybilnością sprzętu elektronicznego stosowanego w kopalniach a bezpieczeństwem funkcjonalnym sterowanych przez nie urządzeń wykonawczych dużej mocy,
- 2) Powyższa ocena może wynikać z faktu, że urządzenia stosowane w kopalniach mogą wytwarzać zaburzenia elektromagnetyczne znacznie przewyższające poziomy odporności gwarantowane przez producentów urządzeń elektronicznych. Ten fakt znalazł potwierdzenie w czasie wstępnych pomiarów zaburzeń na terenie kopalni KGHM Lubin. Zaobserwowano tam szybkie (o czasie trwania poniżej 0,1 ms) zmiany napięcia przekraczające 20% wartości nominalnej szczytowego napięcia, podczas gdy norma PN-EN 50160 [69] dopuszcza 5% zmian napięcia nominalnego (w wyjątkowych przypadkach, kilka razy w ciągu dnia, dopuszczalne są zmiany 10%). Obserwowane w czasie pomiarów zmiany występowały na szczytach fali napięcia w każdym jej okresie.
- 3) Producenci/dostawcy sprzętu w większości przypadków starają się spełniać wymagania z zakresu odporności określone w normie ogólnej dotyczącej środowiska przemysłowego [38]. Wymagania tej normy niestety odstają od rzeczywistych poziomów zaburzeń generowanych przez sprzęt dużej mocy stosowany w kopalniach. Przykładowo urządzenia bardzo dużej mocy o impedancji zespolonej (zwłaszcza o charakterze indukcyjnym) w wyniku ich nagłego odłączenia generują krótkotrwałe, bardzo duże przepięcia. Z kolei urządzenia o nieliniowym charakterze impedancji są przyczyną powstawania dużych poziomów sygnałów harmonicznych, itp ,
- 5) Innym ważnym aspektem stwierdzenia o możliwości wystąpienia zakłóceń sprzętu elektronicznego w środowisku wielkoprzemysłowym (np. w kopalni), a zatem naruszenia bezpieczeństwa sterowanych przez nie urządzeń, jest dopuszczalność (formułowanych w normach dotyczących jakości sieci zasilania) wyższych poziomów zaburzeń w stosunku do poziomów probierczych stosowanych w procesie sprawdzania odporności. Oznacza to, że urządzenie elektroniczne spełniające wymagania z zakresu odporności może być zakłócone przez zjawiska elektromagnetyczne występujące w sieci zasilania, także zgodnej z wymaganiami odpowiednich norm. Przykładowo według [38] badania odporności na szybkie zmiany napięcia sprawdza się przy napięciu $(1 \div 2)$ kV, podczas gdy normy stosowane przy ocenie jakości sieci zasilania dopuszczają chwilowe przepięcia o wartości 4 kV [wg PN-EN 61000-4-30 [34)] lub 6 kV (wg PN-EN 50160 [69]).
- 6) Oczywistym jest zatem fakt, że przy zakupie nowego sprzętu lub modernizacji stosowanego dotychczas zachodzi konieczność szczegółowej analizy i porównania jego parametrów z zakresu EMC z rzeczywistym stanem środowiska elektromagnetycznego, w którym będzie ono pracowało. Odpowiedniej oceny powinni dokonywać specjaliści zarówno zajmujący się problemami kompatybilności elektromagnetycznej jak i specjaliści odpowiedzialni za szeroko pojęte bezpieczeństwo pracy.

- 7) Nie ma możliwości dokonania generalnej oceny stanu środowiska elektromagnetycznego, słusznej dla całej kopalni, ze względu na różnorodność stosowanego w różnych jej działach sprzętu, specyfiki geologicznej kopalni (mającej istotny wpływ na propagację zjawisk elektromagnetycznych, zwłaszcza promieniowanych), wzajemnej separacji urządzeń i względnie dużego tłumienia zaburzeń rozchodzących się przewodowo (w sieci elektroenergetycznej, przewodach sygnałowych). Istotne są najbliższe urządzenia będące źródłami zaburzeń. Stąd każdorazowo konieczna jest ocena stanu środowiska w konkretnym miejscu kopalni, w którym przewiduje się wprowadzanie nowego sprzętu.
- 8) Należy zwrócić uwagę na wyposażenie pomiarowe i możliwości jego pracy w specyficznym środowisku kopalni (urządzenia w pewnych przypadkach muszą być iskrobezpieczne, a w innych muszą charakteryzować się odpowiednią szczelnością; praca w miejscach o b. dużej wilgotności względnej). Tu powstaje problem konieczności przeprowadzenia odpowiedniej kalkulacji czy pomiary należy zlecać zewnętrznym laboratoriom (wyposażonym w odpowiednią aparaturę) czy też dokonać jednorazowego zakupu aparatury we własnym zakresie.
- 9) W zespołach zajmujących się bezpieczeństwem funkcjonalnym powinni znaleźć swoje miejsce odpowiedni specjaliści z dziedziny EMC. Korzystanie z usług zewnętrznych specjalistów może być nieopłacalne, droższe, a przy tym nie zawsze kompetentne, chociażby ze względu na niepełną wiedzę specjalistów z zewnętrznego laboratorium o środowisku danej kopalni i wzajemnych powiązaniach istniejącego sprzętu lub sprzętu nowowprowadzanego czy też modernizowanego.
- 10) Fakt, że występuje pewien rozdział między przepisami dotyczącym kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektronicznych/elektrycznych przewidywanych do pracy w środowisku przemysłowym a przepisami regulującymi wymagania w zakresie bezpiecznego działania sprzętu w określonym środowisku (np. w kopalni) narzuca konieczność:
 - dokładnego przejrzania wszystkich przepisów dotyczących środowiska kopalń z uwzględnieniem ich specyfiki ogólnej i specyfiki szczegółowej z rozróżnieniem rodzajów kopalń (np. węgla o zagrożeniu np. metanowym i kopalń rud metali,
 - opracowania przewodnika naświetlającego problemy kompatybilności elektromagnetycznej sprzętu kopalnianego (tj. sprzętu wykonawczego o dużych poborach mocy i urządzeń elektronicznych odpowiedzialnych za nadzór/regulację) z uwypukleniem problemów ogólnych (z przeznaczeniem dla organów decyzyjnych/administracyjnych), dla nadzoru technicznego i wykonawczego,
 - nawiązania ściślejszej współpracy z różnymi krajowymi jednostkami zajmującymi się problemami bezpieczeństwa urządzeń przewidywanych do pracy w specjalnych środowiskach, w szczególności w kopalniach. Przykładem takiej współpracy może być porozumienie podpisane między Zakładem Kompatybilności Elektromagnetycznej Instytutu Łączności i Ośrodkiem Badań, Atestacji i Certyfikacji (OBAC) z Gliwic.

Bibliografia

1. PN-EN 61000-2-2, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 2-2: Środowisko. Poziomy kompatybilności zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości i sygnałów przesyłanych w publicznych sieciach zasilających niskiego napięcia
2. PN-EN 61000-2-4, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 2-4: Środowisko. Poziomy kompatybilności dotyczące zaburzeń przewodzonych małej częstotliwości w sieciach zakładów przemysłowych
3. PN-EN 61000-2-9, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 2-9: Środowisko. Opis środowiska HEMP. Zaburzenia promieniowane. Podstawowa publikacja EMC
4. PN-EN 61000-2-10, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 2-10: Środowisko. Opis środowiska HEMP. Zaburzenia przewodzone
5. PN-EN 61000-2-12, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 2-12: Środowisko. Poziomy kompatybilności dla zaburzeń przewodzonych niskiej częstotliwości i sygnałów sygnalizacji w publicznych sieciach zasilających średniego napięcia
6. PN-EN 61000-3-2, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 3-2: Dopuszczalne poziomy. Dopuszczalne poziomy emisji harmonicznych prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika < lub = 16 A)
7. PN-EN 61000-3-3, Kompatybilność elektromagnetyczna. Dopuszczalne poziomy. Ograniczanie wahań napięcia i migotania światła powodowanych przez odbiorniki o prądzie znamionowym < lub = 16 A w sieciach zasilających niskiego napięcia
8. PN-EN 61000-3-11, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 3-11: Dopuszczalne poziomy. Ograniczanie zmian napięcia, wahań napięcia i migotania światła w publicznych sieciach niskiego napięcia. Urządzenia o prądzie znamionowym < lub = 75 A podlegające przyłączeniu warunkowemu
9. PN-EN 61000-4-1, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-1: Metody badań i pomiarów. Przegląd serii norm IEC 61000-4
10. PN-EN 61000-4-2, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na wyładowania elektrostatyczne. Podstawowa publikacja EMC
11. PN-EN 61000-4-3, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-3: Metody badań i pomiarów. Badania odporności na pole elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej
12. PN-EN 61000-4-4, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na serie szybkich elektrycznych stanów przejściowych. Podstawowa publikacja EMC
13. PN-EN 61000-4-5, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na udary
14. PN-EN 61000-4-6, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Odporność na zaburzenia przewodzone, indukowane przez pola o częstotliwości radiowej
15. PN-EN 61000-4-7, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-7: Metody badań i pomiarów. Ogólny przewodnik dotyczący pomiarów harmonicznych i interharmonicznych oraz stosowanych do tego celu przyrządów pomiarowych dla sieci zasilających i przyłączonych do nich urządzeń
16. PN-EN 61000-4-8, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na pole magnetyczne o częstotliwości sieci elektroenergetycznej

17. PN-EN 61000-4-9, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na impulsowe pole magnetyczne
18. PN-EN 61000-4-10, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na pole magnetyczne oscylacyjne tłumione
19. PN-EN 61000-4-11, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badania odporności na zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia
20. PN-EN 61000-4-12, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badania odporności na zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia (Zmiana A1)
21. PN-EN 61000-4-13, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-13: Metody badań i pomiarów. Badania odporności na harmoniczne i interharmoniczne małej częstotliwości w przyłączy prądu przemiennego łącznie z sygnałami przesyłanymi w sieciach zasilających
22. PN-EN 61000-4-14, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-14: Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na wahania napięcia
23. PN-EN 61000-4-15, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Miernik migotania światła. Specyfikacja funkcjonalna i projektowa
24. PN-EN 61000-4-16, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na asymetryczne zaburzenia przewodzone w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 150 kHz
25. PN-EN 61000-4-17, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-17: Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na obecność składowej zmiennej w stałym napięciu zasilającym
26. PN-EN 61000-4-20, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-20: Metody badań i pomiarów. Badania zaburzeń i odporności w falowodach TEM
27. PN-EN 61000-4-21, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-21: Metody badań i pomiarów. Metody badań w komorze rewerberacyjnej
28. PN-EN 61000-4-23, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-23: Metody badań i pomiarów. Metody badań przyrządów ochronnych dotyczących zaburzeń przewodzonych HEMP i innych zaburzeń promieniowanych
29. PN-EN 61000-4-24, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-24: Metody badań i pomiarów. Metody badań urządzeń ochronnych przed zaburzeniami przewodzonymi HEMP. Publikacja podstawowa EMC
30. PN-EN 61000-4-25, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-25: Metody badań i pomiarów. Badania odporności urządzeń i systemów na HEMP
31. PN-EN 61000-4-27, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-27: Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na asymetrię napięcia
32. PN-EN 61000-4-28, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-28: Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na zmiany częstotliwości sieci zasilającej
33. PN-EN 61000-4-29, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-29: Metody badań i pomiarów. Badanie odporności na zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia występujące w przyłączy zasilającym prądu stałego
34. PN-EN 61000-4-30, Kompatybilność elektromagnetyczna. Część 4-30: Metody badań i pomiarów - Metody pomiaru jakości energii.
35. PN-EN 61000-5-5, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 5: Wytyczne dotyczące instalowania urządzeń i ograniczania zakłóceń. Zalecenia dotyczące przyrządów do ochrony przed zaburzeniami przewodzonymi HEMP. Publikacja podstawowa EMC

36. PN-EN 61000-5-7, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 5-7: Wytyczne dotyczące instalowania urządzeń i ograniczania zaburzeń. Stopnie ochrony przed zaburzeniami elektromagnetycznymi zapewniane przez obudowy (kod EM)
37. PN-EN 61000-6-1, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 6-1: Normy ogólne. Odporność w środowiskach mieszkalnych, handlowych i lekko uprzemysłowionych
38. PN-EN 61000-6-2, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 6-2: Normy ogólne. Odporność w środowiskach przemysłowych
39. PN-EN 61000-6-3, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 6-3: Normy ogólne. Norma emisji w środowiskach mieszkalnych, handlowych i lekko uprzemysłowionych
40. PN-EN 61000-6-4, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 6-4: Normy ogólne. Norma emisji w środowiskach przemysłowych
41. PN-EN 55011, Dopuszczalne poziomy i metody pomiarów zaburzeń radioelektrycznych wytwarzanych przez przemysłowe, medyczne i naukowe (PMN) urządzenia wielkiej częstotliwości
42. PN-EN 55013, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Odbiorniki radiofoniczne i telewizyjne i ich urządzenia dodatkowe - Charakterystyki zaburzeń radioelektrycznych - Dopuszczalne poziomy i metody pomiarów
43. PN-EN 55014-1, Kompatybilność elektromagnetyczna. Wymagania dotyczące przyrządów powszechnego użytku, narzędzi elektrycznych i podobnych urządzeń. Część 1: Emisja,
44. PN-EN 55014-2: Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Wymagania dotyczące przyrządów powszechnego użytku, narzędzi elektrycznych i podobnych urządzeń. Odporność na zaburzenia elektromagnetyczne. Norma grupy wyrobów
45. PN-EN 55015: Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Poziomy dopuszczalne i metody pomiarów zaburzeń radioelektrycznych wytwarzanych przez elektryczne urządzenia oświetleniowe i urządzenia podobne
46. PN-EN 55022: Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Urządzenia informatyczne. Charakterystyki zaburzeń radioelektrycznych. Poziomy dopuszczalne i metody pomiaru
47. PN-EN 55024: Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Urządzenia informatyczne. Charakterystyki odporności. Metody pomiaru i dopuszczalne poziomy
48. PN-EN 55016-2-3, Wymagania dotyczące aparatury pomiarowej i metod pomiaru zaburzeń radioelektrycznych oraz badania odporności na zaburzenia - Część 2-3: Metody pomiaru zaburzeń i badania odporności - Pomiaru zaburzeń promieniowanych
49. PN-EN 61508, seria, części od 1 do 8 , Bezpieczeństwo funkcjonalne, elektrycznych /elektronicznych /programowalnych systemów związanych z bezpieczeństwem (IEC 61508)
50. PN-EN 60204-1: bezpieczeństwo maszyn -Wyposażenie elektryczne maszyn - Wymagania ogólne, (IEC 60204-1)
51. PN-G-50003:, Ochrona pracy w górnictwie. Urządzenia elektryczne górnicze. Wymagania i badania
52. PN-G-50001, Ochrona pracy w górnictwie. Wyposażenie elektryczne maszyn górniczych. Wymagania ogólne
53. PN-EN 50371: Zgodność elektrycznych i elektronicznych urządzeń małej mocy z podstawowymi ograniczeniami dotyczącymi ekspozycji ludzi na pole elektromagnetyczne w zakresie częstotliwości od 10 MHz do 300 GHz - Ludność - Norma ogólna
54. PN-EN 50364: Ograniczenie ekspozycji ludzi w polach elektromagnetycznych urządzeń pracujących w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 10 GHz, wykorzystywanych w elektronicznej ochronie artykułów (EAS), identyfikacji drogą radiową (RFID) i tym podobnych zastosowaniach
55. PN-EN 60950, Bezpieczeństwo urządzeń techniki informatycznej (seria)

56. PN-EN 61326-1, Wyposażenie elektryczne do pomiarów, sterowania i użytku w laboratoriach - Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) - Część 1: Wymagania ogólne
57. PN-EN 61326-2-1, Wyposażenie elektryczne do pomiarów, sterowania i użytku w laboratoriach - Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) - Część 2-1: Wymagania szczegółowe - Konfiguracje badane, warunki pracy i kryteria jakości odnoszące się do czułego wyposażenia badawczego i pomiarowego do zastosowań w środowiskach niechronionych pod względem EMC
58. PN-EN 61326-2-2, Wyposażenie elektryczne do pomiarów, sterowania i użytku w laboratoriach - Wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) - Część 2-2: Wymagania szczegółowe - Konfiguracje badane, warunki pracy i kryteria jakości odnoszące się do przenośnego wyposażenia badawczego, pomiarowego i monitorującego do zastosowań w niskonapięciowych systemach rozdzielczych
59. PN-EN 60770-3, Przetworniki pomiarowe stosowane w systemach sterowania procesami przemysłowymi - Część 3: Metody oceny przetworników inteligentnych
60. PN-EN 50303, Urządzenia grupy I kategorii M1 przeznaczone do pracy ciągłej w atmosferach zagrożonych metanem i/lub pyłem węglowym
61. PN-EN 50014, Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem -Wymagania ogólne
62. PN-EN 61800-3, Elektryczne układy napędowe mocy o regulowanej prędkości. Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) z uwzględnieniem specjalnych metod badań
63. EN 55103-1, Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Profesjonalne urządzenia akustyczne, wizyjne, audiowizualne i sterowania oświetleniem estradowym - Emisja
64. PN-EN 50065-1, Transmisja sygnałów w sieciach elektrycznych niskiego napięcia w zakresie częstotliwości od 3 kHz do 148,5 kHz -- Wymagania ogólne, zakresy częstotliwości i zaburzenia elektromagnetyczne
65. PN-EN 61558, Bezpieczeństwo transformatorów mocy, jednostek zasilających i podobnych - Szczegółowe wymagania dotyczące transformatorów separacyjnych do ogólnego stosowania (seria)
66. IEC 61000-1-1, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1: General - Section 1: Application and interpretation of fundamental definitions and terms
67. IEC 61000-1-2, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1-2: General - Methodology for the achievement of the functional safety of electrical and electronic equipment with regard to electromagnetic phenomena
68. IEC 61000-1-4, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1-4: General - Historical rationale for the limitation of power-frequency conducted harmonic current emissions from equipment, in the frequency range up to 2 kHz
69. PN-EN 50160, Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych.
70. IEC 61000-2-1, Guide to electromagnetic environment for low-frequency conducted disturbances and signalling in public power supply systems
71. IEC 61000-2-3: Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2: Environment - Section 3: Description of the environment - Radiated and non-network-frequency-related conducted phenomena
72. IEC 61000-2-5, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2: Environment - Section 5: Classification of electromagnetic environment.
73. IEC 61000-2-6, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2: Environment - Section 6: Assessment of the emission levels in the power supply of industrial plants as regards low-frequency conducted disturbances
74. IEC 61000-2-7, Environment - Low frequency magnetic fields in various environments

75. IEC 61000-2-8, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-8: Environment - Voltage dips and short interruptions on public electric power supply systems with statistical measurement results
76. IEC 61000-3-1: Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-1: Limits - Overview of emission standards and guides - Technical Report (w toku opracowywania)
77. IEC 61000-3-4, Limits - Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A
78. IEC 61000-3-5, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 5: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A
79. IEC 61000-3-6, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 6: Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems - Basic EMC publication
80. IEC 61000-3-7, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3: Limits - Section 7: Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems - Basic EMC publication
81. IEC 61000-3-8, Limits - Guide to signalling on low-voltage electrical installations. Emission levels, frequency bands and electromagnetic disturbance levels
82. IEC 61000-3-9, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-9: Limits for interharmonic current emissions (equipment with input power ≤ 16 A per phase and prone to produce interharmonics by desing)
83. IEC 61000-3-13, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-13: Assessment of emission limits for the connection of unbalanced installations to MV, HV and EHV power systems
84. IEC 61000-3-15: Proposal on Assesment of electromagnetic immunity and emission requirements for dispersed generation in LV networks (w toku opracowywania)
85. IEC 61000-4-18, Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4-18: Testing and measurement techniques - Oscillatory waves immunity test - Basic EMC Publication
86. IEC 61000-4-22, Radiated emissions and immunity measurements in fully anechoic rooms (FARs) (w opracowaniu)
87. IEC 61000-4-34, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-34: Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with input current more than 16 A per phase
88. IEC 61000-5-1, Installation and mitigation guidelines - General considerations. Basic EMC publication
89. IEC 61000-5-2, Installation and mitigation guidelines - Earthing and cabling
90. IEC 61000-5-6, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 5-6: Installation and mitigation guidelines - mitigation of external EM influences
91. IEC 61000-6-6, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6-5: Generic standards - Immunity for power station and substation environments
92. IEC 61000-6-7, Generic emission standard for in-situ measurements
93. IEC 62132-5, Integrated circuits - Measurement of electromagnetic immunity, 150 kHz to 1 GHz - Part 5: Workbench Faraday cage method
94. IEC 61158, Digital data communications for measurement and control - Fieldbus for use in industrial control systems (seria)
95. IEC 61511, Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector (seria)
96. IEC 61069-4, Industrial process measurement and control - evaluation of system properties for the purpose of system assessment - Part 4: Assessment of system performance
97. IEC 61010-1, "Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements".

98. NASA reference Publication 1374, Electronic systems failures and anomalies attributed to electromagnetic interference
99. IEE Guide to EMC and Functional Safety, IEE September 2000, <http://www.iee.org/Policy/Areas/Emc/index.cfm>
100. Brown S. Dangers of Interference – EMC and safety ', IEE Review, July 1994
101. Armstrong K., New guidance on EMC related functional safety', 2001 IEEE EMC International Symposium, August 13-17 2001 (session D3-P3, 15th August).
102. De Vré R., 'Considerations on safety and EMC ', Annex A to EU document CLC(SG)765
103. Dyrektywa EMC, Dyrektywa Rady 89/336/EEC z dnia 3 maja 1989 r. w sprawie ujednoczenia przepisów prawnych Krajów Członkowskich w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej (stan obecny);
104. Dyrektywa EMC, Dyrektywa 2004/108/EC Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej oraz uchylająca dyrektywę 89/336/EEG (zastąpi dyrektywę 89/336/EEC)
105. Dyrektywa niskonapięciowa, Dyrektywa 73/23/EEG Rady z dnia 19 lutego 1973 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw Państw Członkowskich dotyczących wyposażenia elektrycznego przewidzianego do stosowania w niektórych granicach napięcia
106. Dyrektywa maszynowa, Dyrektywa 98/37/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 22 czerwca 1998 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstwa państw członkowskich dotyczącego maszyn
107. Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 10 kwietnia 2003 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn i elementów bezpieczeństwa (Dz. U. Nr 91, poz. 858)
108. Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie zasadniczych wymagań dla sprzętu elektrycznego, 2005 r.
109. Rotkiewicz W., Rotkiewicz P., Technika Odbioru radiowego. Miernictwo, WNT
110. Wybrane zagadnienia kompatybilności elektromagnetycznej w górnictwie. Praca zbiorowa pod redakcją F. Krasuckiego. PWN 1988.
111. IEC Technical Information: Electromagnetic Compatibility, 1977 (www.iec.ch)
112. PD-ROBT-004, 2002, EC Directives, functional safety and the role of CENELEC standardization
113. Schneider Electric, Cahier technique 149, electromagnetic compatibility