

KOMPATYBILNOŚĆ ELEKTROMAGNETYCZNA SIECI TV KABLOWEJ

Streszczenie: W artykule przedstawiono zagadnienia związane z kompatybilnością elektromagnetyczną sieci TV kablowej (TVK). Przeanalizowano przyczyny promieniowania energii z sieci zbudowanych z kabli współosiowych, podano obowiązujące przepisy oraz wynikające z nich obowiązki operatorów sieci TVK. Omówiono również zagadnienia techniczne związane ze znakowaniem i pomiarem wycieków z sieci TVK.

1. WSTĘP

W Polsce rozpoczęło się zagospodarowywanie częstotliwości zwolnionych w ramach tzw. pierwszej dywidendy cyfrowej. Podobny proces rozpoczął się kilka lat temu w USA i Europie Zachodniej. Pasma 791-862 MHz jest przeznaczone dla systemu telefonii komórkowej LTE 800. Po uruchomieniu stacji bazowych nowego systemu w pierwszej połowie 2015 r. polscy operatorzy TV kablowej (TVK) zaczęli bardzo poważnie odczuwać zakłócenia wnikające do nieszczelnych sieci. Niektórzy z nich zaczęli zgłaszać zakłócenia do Urzędu Komunikacji Elektronicznej. Liczba zgłoszeń może gwałtownie ulec zwiększeniu w chwili, gdy zwycięzcy aukcji na częstotliwości LTE 800, organizowanej przez UKE, zaczną budować swoje sieci. Operatorzy sieci TVK sami mogą zakłócać naziemne systemy radiokomunikacyjne. Dość spektakularny przypadek takich zakłóceń miał miejsce w Dublinie w 2007 r. Jedna z sieci TVK uniemożliwiła pracę stacji bazowej TETRA należącej do policji i została zmuszona do wyłączenia zakłócających kanałów aż do momentu poprawy szczelności elektromagnetycznej sieci. Operatorzy LTE w USA przyznają, że sieci TVK są najpoważniejszym źródłem zakłóceń dla ich systemu.

Okazało się po raz kolejny, że kompatybilność elektromagnetyczna sieci TV kablowej w Polsce jest niewystarczająca. Pierwszym poważnym ostrzeżeniem było wprowadzenie usług w kanale zwrotnym po roku 2000. Operatorzy wprowadzający te usługi mieli motywację, aby zająć się stanem swoich sieci i zredukować poziom wnikających zakłóceń. Niektórzy z nich podjęli skuteczne działania, które doprowadziły do zwiększenia szczelności elektromagnetycznej. W 2007 roku została uchwalona ustawa o kompatybilności elektromagnetycznej [14], która nałożyła pewne obowiązki na operatorów TVK. Polscy operatorzy powszechnie je zbagatelizowali (wielu z nich nie ma do dziś pojęcia o ustawie), za co mogą zapłacić sporą cenę. Niedługo zaczną oni wprowadzać nowe technologie (DOCSIS 3.1) poszerzające pasmo pracy sieci do 1,2 GHz. Może to powodować brak kompatybilności z systemem GSM 900. Druga dywidenda cyfrowa, do której już szykują się operatorzy TVK w Europie Zachodniej, będzie stanowić kolejne wyzwanie dla naszych sieci kablowych.

Niniejszy artykuł jest próbą syntetycznego zebrania informacji dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej sieci TVK. Może on pomóc operatorom w redukcji podatności na zakłócenia i emisyjności ich sieci oraz wskazać skuteczne środki i metody do znajdowania źródeł nieszczelności elektromagnetycznej.

2. ŹRÓDŁA INGRESU I WYCIEKÓW Z SIECI TVK

System telekomunikacyjny jest kompatybilny z innymi systemami (urządzeniami), gdy:

- nie powoduje zakłóceń w innych systemach
- nie jest podatny na emisje z innych systemów

- nie zakłóca sam siebie.

Dwa pierwsze punkty definiują tzw. kompatybilność zewnętrzną z innymi systemami, zaś punkt ostatni kompatybilność wewnętrzną systemu. Regulacje prawne dotyczą zwykle kompatybilności zewnętrznej, natomiast o kompatybilność wewnętrzną dba najczęściej sam operator, gdyż leży to bezpośrednio w jego interesie.

Sygnały w sieciach TVK zajmują typowo pasmo od 5 do 862 MHz (widoczna jest ostatnio tendencja do poszerzania tego pasma w górę do 1,2 GHz). Przestrzeń wokół kabli i podłączonych do nich urządzeń jest wypełniona falami radiowymi zajmującymi to samo pasmo częstotliwości i wytwarzanymi przez pożądane (np. nadajniki RTV, telefonia komórkowa LTE/GSM, systemy trunkingowe, urządzenia pracujące w paśmie CB, zdalnie sterowane zabawki itd.) oraz niepożądane źródła promieniowania. Zakłócenia radioelektryczne mogą być wytwarzane np. przez układy zapłonu aut, świetlówki, silniki, komutatory, prostowniki, falowniki czy sprzęt AGD.

Teoretycznie kable koncentryczne ze złączami i współpracujące z nimi obudowane urządzenia aktywne (wzmacniacze) i bierne (odgałęźniki, rozgałęźniki) powinny być szczelne elektromagnetycznie. Sieci TVK nie powinny promieniować na zewnątrz energii elektromagnetycznej. W praktyce sieci te potrafią być nieszczelne i promieniować znaczną ilość energii. Wokół miejsc nieszczelności często można uzyskać niezakłócony odbiór programów za pomocą przenośnych odbiorników TV (natężenia pola rzędu mV/m). Są to tak zwane wycieki, będące efektem uszkodzenia kabla, złącza, zdjęciem lub uszkodzeniem obudowy wzmacniacza lub niezainstalowaniem obciążalnika na niewykorzystanych gniazdach wyjściowych wzmacniaczy, odgałęźników, rozgałęźników i gniazd abonenckich. Miejsca występowania nieszczelności są antenami nadawczo-odbiorczymi, co oznacza, że oprócz promieniowania potrafią one również odbierać energię elektromagnetyczną z otoczenia i wprowadzać ją do wnętrza kabla. Jest to tak zwany ingres, szczególnie groźny dla pracy kanału zwrotnego 5-65 MHz (planowane rozszerzenie do 200 MHz). W kanale zwrotnym realizuje się usługi typu Internet czy telefonia. Źródła ingresu w praktyce są tożsame w 99 % ze źródłami wycieków. Usługi wykorzystujące kanał zwrotny zaczęły być w Polsce wprowadzane około roku 2000 i od tego czasu można zaobserwować u niektórych operatorów starania o ograniczenie zarówno wycieków, jak i ingresu. Sieci TVK, które nie posiadają odpowiedniej szczelności elektrycznej, nie są w stanie zapewnić abonentom niezawodnych usług transmisji danych o wysokiej jakości i dużej przepływności danych. Działania zmierzające do wykrycia i usunięcia źródeł wycieków/ingresu leżą zatem w interesie samych operatorów TVK niezależnie od uwarunkowań prawnych, które je wymuszają.

Wieloletnie pomiary pozwoliły na określenie najczęstszych źródeł wycieków i ingresu. Są to [12,13]:

- w instalacji budynkowej: nielegalne przyłącza, nieprofesjonalne rozgałęźniki (np. wykonane z przewodów energetycznych), złej jakości kable łączące odbiorniki TV z gniazdem antenowym, złej jakości materiały i wykonawstwo, nieobciążone rozgałęźniki i niewykorzystane wyjścia gniazd abonenckich, złej jakości wzmacniacze (czasem zakończone anteną nadawczą), łączenie sieci TV kablowej i anteny do odbioru TV naziemnej; brak dostatecznego ekranowania modemów kablowych, STB i odbiorników TV;

- w instalacji doprowadzającej: luźne lub uszkodzone złącza, pęknięte kable, nielegalne przyłącza, uszkodzony sprzęt, złej jakości materiały i wykonawstwo;

- w sieci magistralnej: uszkodzone kable, wilgoć w kablach, uszkodzone złącza.

Czasem zdarzają się źródła wycieków, przez które nie wnika ingres. Przykładem może być wzmacniacz zakończony anteną, dzięki której możliwy jest darmowy odbiór sygnałów TV w promieniu do kilkuset m. Występują też źródła ingresu, które nie są źródłami wycieków. W przeszłości zdarzały się wadliwie skonstruowane odbiorniki kanału zwrotnego, w których zegar taktujący układy cyfrowe zakłócał odbierane sygnały na wejściu w.cz. Przypadki takiej asymetrii są jednak bardzo rzadkie.

Doświadczenia zebrane przez wiele lat pozwalają oszacować, że ok. 70-80% źródeł wycieków i ingresu przypada na instalację budynkową. Spowodowane jest to najczęściej przypadkowymi lub celowymi ingerencjami abonentów w okablowanie zainstalowane wewnątrz mieszkań lub domów. Z tego powodu poziom wycieków może dynamicznie zmieniać się w krótkim czasie.

3. OBOWIĄZUJĄCE PRZEPISY DOTYCZĄCE KOMPATYBILNOŚCI EM. SIECI TVK

Pierwsze doniesienia o szkodliwym wpływie sieci TVK na systemy łączności stosowane w lotnictwie cywilnym pojawiły się w USA w I. 70 XX w. [3]. Podobne raporty pojawiły się później również w Europie [9]. Przypadki zakłócenia systemów radiowych lotnictwa cywilnego w USA wymusiły pojawienie się w połowie lat 80. przepisów [16], nakazujących wszystkim operatorom TVK coroczny pomiar wycieków oraz wprowadzających obowiązek całorocznego monitorowania stanu sieci i usuwania wszystkich wykrytych źródeł promieniujących powyżej ustalonej wartości granicznej.

W Europie sytuacja prawna wyglądała nieco inaczej. W 1989 r. została uchwalona dyrektywa EMC 89/336/WE. Formalnie dotyczyła ona zarówno urządzeń, jak i instalacji stacjonarnych. W praktyce jednak jej stosowanie ograniczyło się tylko do urządzeń. Operatorzy TVK w krajach Unii Europejskiej nie musieli spełniać żadnych norm dotyczących poziomu wycieków z sieci lub wnikającego ingresu. Jedynym obowiązkiem było wykorzystywanie urządzeń spełniających normę [5] zharmonizowaną z dyrektywą EMC. W Polsce w 1997 r. wprowadzono rozporządzenie [10], opisujące m.in. parametry techniczne sieci TVK. Załącznik nr 21 do rozporządzenia podawał maksymalną wartość wycieku z sieci TVK i opisywał sposób jego pomiaru. Pomiar, wykonywany przez regulatora (poprzednicy UKE), nie dotyczył jednak obszaru całej sieci, ale kilku wybranych punktów. Rozporządzenie [10] przestało w praktyce obowiązywać w chwili wejścia Polski do Unii Europejskiej.

W 2004 r. została uchwalona nowa dyrektywa EMC EMC 2004/104/WE [1]. Jej treść została wprowadzona do polskiego systemu prawnego ustawą o kompatybilności elektromagnetycznej [15], której ustalenia zaczęły obowiązywać od lipca 2009 r. Od kwietnia 2016 r. zaczną obowiązywać postanowienia dyrektywy 2014/30/UE [2], uchwalonej w 2014 r. Utrzymała ona postanowienia dyrektywy [1] odnoszące się do instalacji stacjonarnych.

Ustawa o kompatybilności definiuje w art. 1 wymagania zasadnicze, zarówno w odniesieniu do urządzeń będących elementami składowymi sieci TVK, jak i do wszystkich sieci stacjonarnych, w tym TVK, jako całości, i dotyczące:

- a) niewywoływania w swoim środowisku zaburzeń elektromagnetycznych o wartościach przekraczających odporność na te zaburzenia innego urządzenia występującego w tym środowisku oraz
- b) posiadania wymaganej odporności na zaburzenia elektromagnetyczne.

W art. 6 ustawa definiuje instalację stacjonarną jako połączenie kilku rodzajów aparatury albo połączenie aparatury i innych wyrobów, którego przeznaczeniem jest używanie w określonej i stałej lokalizacji. Sieci TVK są zatem bez wątpienia w świetle tej definicji instalacjami stacjonarnymi.

Artykuł 8 ustawy stwierdza, że aparatura oraz instalacja stacjonarna przed wprowadzeniem do obrotu lub oddaniem do użytku podlegają obowiązkowej ocenie zgodności z zasadniczymi wymaganiami. Jeśli chodzi o urządzenia stosowane m.in. w instalacjach stacjonarnych, art. 9 ustawy mówi, iż domniemywa się, że aparatura spełnia zasadnicze wymagania, jeżeli jest zgodna z normami zharmonizowanymi w rozumieniu przepisów ustawy z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności.

Artykuł 17 ustawy w p. 1 określa obowiązki wykonawcy instalacji stacjonarnej. Powinien on dokonać oceny zgodności instalacji z wymaganiami zasadniczymi przed oddaniem jej do użytku. Artykuł 17 odwołuje się do art. 9 mówiącego o zgodności ze zharmonizowanymi normami. Punkt 2 art. 17 definiuje pojęcie wykonawcy jako tego, kto dokonał połączenia instalacji stacjonarnej w sposób zapewniający spełnianie jej funkcji zgodne z przeznaczeniem przed oddaniem jej do użytku. Za wykonawcę uważa się także każdego, kto dokonał ostatniej modyfikacji w tej instalacji. Ważny jest też punkt 3 art. 17 ustawy, który stwierdza, że aparatura przeznaczona wyłącznie do zamontowania w instalacji stacjonarnej i niedostępna w obrocie jako samodzielny wyrób, podlega ocenie zgodności wraz z instalacją stacjonarną, do której została wmontowana. W punkcie 4 wymieniono szczegółowo pozycje, jakie muszą znaleźć się w dokumentacji technicznej sieci TVK:

- opis i schemat instalacji
- informacje o wynikach przeprowadzonych badań zgodności instalacji z zasadniczymi wymaganiami
- informacje o sposobie postępowania w trakcie montażu instalacji, w tym wchodzącej w jej skład aparatury, zapewniającym zachowanie zgodności z zasadniczymi wymaganiami
- instrukcję używania i konserwacji instalacji
- informacje pozwalające na identyfikację wykonawcy instalacji oraz producenta aparatury stanowiącej stałe wyposażenie instalacji.

Drugi podpunkt wyraźnie mówi o konieczności przeprowadzenia przez wykonawcę sieci TVK badań zgodności z zasadniczymi wymaganiami udokumentowanych zapisem ich wyników. Konieczność taka występuje również w przypadku jakiegokolwiek modyfikacji istniejącej sieci TVK. Badanie zgodności z zasadniczymi wymaganiami może być przeprowadzone przez akredytowane laboratoria badawcze lub samodzielnie przez wykonawcę lub docelowego operatora sieci.

Artykuł 18 ustawy nakazuje wykonawcy instalacji przekazanie jej właścicielowi lub użytkownikowi wraz z dokumentacją techniczną określoną w art. 17, natomiast właściciel lub użytkownik ma obowiązek utrzymania sieci w stanie zapewniającym zgodność z zasadniczymi wymaganiami. Oznacza to w praktyce konieczność regularnego wykrywania i usuwania źródeł wycieków i ingresu. Ponadto, wg art. 18 ustawy, właściciel lub użytkownik sieci powinien przechowywać i w razie potrzeby aktualizować i udostępniać do celów kontrolnych dokumentację techniczną. Chodzi tu o dokumentowanie modyfikacji lub zmian instalacji oraz nowe wyniki badań potwierdzających utrzymanie sieci w stanie zapewniającym zgodność z wymaganiami zasadniczymi.

Organem uprawnionym do kontroli spełniania przez urządzenie wymagań dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej oraz kontroli przechowywania i aktualizacji dokumentacji technicznej jest Prezes Urzędu Komunikacji Elektronicznej (art. 20 i 21 ustawy). Jeśli w wyniku kontroli Prezes UKE stwierdzi, że właściciel lub użytkownik instalacji stacjonarnej nie spełnił obowiązku, o którym mowa w art. 18 (utrzymywanie sieci w odpowiednim stanie oraz przechowywanie i aktualizacja dokumentacji technicznej), może wezwać w określonym terminie do dostarczenia dokumentacji technicznej spełniającej wymogi, o których mowa w ustawie. W przypadkach „konfliktu elektromagnetycznego” z siecią TVK UKE prosi jej operatora o dostarczenie wyników pomiarów szczelności elektromagnetycznej.

Artykuł 31 ustawy wprowadził dwuletnie *vacatio legis* poprzez stwierdzenie, że przepisy zawarte w ustawie będą obowiązywać wszystkie urządzenia i instalacje stacjonarne nowo oddawane lub modyfikowane po 20 lipca 2009 r. Powstaje tu problem praktyczny, jak traktować sieci TVK zbudowane przed tą datą. Ponieważ wcześniej obowiązywała dyrektywa EMC 89/336/WE, dotycząca w praktyce wyłącznie urządzeń, należy przyjąć, że powinny one spełniać wymagania zasadnicze określone w zharmonizowanych z ówczesną dyrektywą normach. Użycie takich urządzeń nie gwarantuje jednak, że jako całość sieć TVK będzie szczelna elektrycznie. Aby zminimalizować ryzyko zakłóceń sygnałów TVK oraz zapobiec degradacji wysokiej jakości oferowanych usług przez wnikający ingres i jednocześnie ograniczyć ryzyko zakłócania innych systemów lub urządzeń przez wycieki z sieci TVK, pożądane byłoby sprawdzenie szczelności sieci przez operatorów. Zgodnie z art. 17 p. 3 ustawy, wystarczy sprawdzić i wykazać zgodność całej sieci TVK z wymaganiami zasadniczymi (np. mierząc wycieki), aby stwierdzić spełnienie wymagań zasadniczych również wobec tych urządzeń. Obowiązek spełnienia wymagań zasadniczych wynikających z dyrektywy EMC ciąży na producencie danego wyrobu lub wykonawcy instalacji stacjonarnej.

Normą zharmonizowaną z dyrektywą EMC jest PN-EN 50083-2 [5]. Dotyczy ona sprzętu montowanego w sieciach TVK. Zastosowanie normy przez operatorów oznacza, że wszystkie urządzenia używane w sieciach muszą spełniać jej wymagania. Obowiązek ten istnieje w Polsce od 2004 r.

Jak wspomniano, zastosowanie urządzeń zgodnych z normą [5] oznacza domniemanie spełnienia wymagań zasadniczych w odniesieniu do poszczególnych urządzeń, ale nie w odniesieniu do całej sieci TVK. Mogą zdarzyć się bowiem przypadki np. uszkodzenia tych urządzeń, uszkodzenia (przypadkowego lub zamierzonego) kabli lub złączy czy wadliwe wykonanie złączy. Szczególnie dużo źródeł wycieków powstaje w instalacjach budynkowych na skutek nieumiejętnej (celowej lub przypadkowej) modyfikacji instalacji kablowej przez samych abonentów. Wtedy sieć jako całość może promieniować nadmiernie energię elektromagnetyczną (wycieki) lub być podatna na zakłócenia zewnętrzne (ingres). Ta oczywista konstatacja została uwzględniona dopiero w dyrektywie EMC [1] z 2004 r. Przed jej wprowadzeniem ograniczenie poziomu wycieków i ingresu w sieciach TVK nie było w Europie wymuszane żadnymi przepisami i zależało wyłącznie od dobrej woli operatorów sieci TVK.

Należy również wspomnieć o normie PN-EN 50117-2-3 [7], zharmonizowanej z dyrektywą niskonapięciową LVD. Norma podaje wymagany poziom ekranowania i wprowadza klasy ekranowania kabli używanych do budowy sieci TVK.

Normą zharmonizowaną z dyrektywą [1], dotyczącą instalacji stacjonarnych zbudowanych z kabli koncentrycznych, jest PN-EN 50529-2 [8]. Sieć TVK spełnia wymagania normy [8], gdy:

- jest zbudowana z urządzeń spełniających wymagania zawarte w normie [5]
- urządzenia są zamontowane zgodnie z instrukcją producenta
- sieć została skonstruowana, zbudowana i jest konserwowana zgodnie z udokumentowaną dobrą praktyką inżynierską.

Dodatek informacyjny do normy [8] zawiera zapis, że dobrą praktyką inżynierską jest m.in.:

- zastosowanie odpowiedniego dla danego urządzenia typu kabla
- spełnienie warunku, aby urządzenia były uziemione i połączone zgodnie z instrukcjami producenta dotyczącymi ich instalacji
- podjęcie w czasie pierwszego włączenia urządzenia do sieci TVK kroków mających na celu zapewnienie, że kable koncentryczne w sieci są pomierzone i wolne od wad
- umieszczenie w planie operacyjnym szczegółowej procedury monitorowania i minimalizowania zaburzeń (czyli pomiarów wycieków oraz usuwania ich źródeł)
- instalowanie urządzeń biernych i czynnych jedynie przez przeszkolony personel, używający odpowiednich narzędzi do instalacji kabli i złączy
- zakończenie wszystkich nieużywanych portów urządzenia ekranowanymi zakończeniami (obciążeniami) o odpowiedniej wartości (75Ω).

Procedura monitorowania wycieków z sieci TVK jest w praktyce jedyną metodą pozwalającą ocenić, czy badana sieć jako całość nie promieniuje nadmiernie i jednocześnie nie jest podatna na ingres. Ustalenie przybliżonej lokalizacji źródła ingresu jest możliwe. Wymaga ono jednak dość skomplikowanego sprzętu i oprogramowania, a ustalenie dokładnego miejsca wnikania zakłóceń i tak odbywa się w oparciu o pomiar wycieków. Zgodnie z dodatkiem informacyjnym normy [8], pomiar wycieków wraz z późniejszym usuwaniem wykrytych źródeł przekraczających limit promieniowania jest uważany za dobrą praktykę inżynierską i powinien być regularnie wykonywany przez operatorów sieci TVK. Norma nie precyzuje odstępu między pomiarami, natomiast wynikający z dotychczasowej praktyki maksymalny okres między pomiarami tej samej sieci wynosi zwykle jeden rok (taki okres jest wymagany przez przepisy obowiązujące w USA [6]). Wynika on przede wszystkim z dużej aktywności abonentów, którzy często dokonują nieumiejętnych przeróbek okablowania w mieszkaniach. Wyniki pomiarów wycieków (również ingresu, jeśli są wykonywane) powinny być przechowywane przez cały okres użytkowania sieci w celu udostępnienia właściwym krajowym organom do kontroli. Należy też pamiętać, że w okresie między pomiarami mogą pojawić się silne źródła wycieków z sieci na skutek np. nowych uszkodzeń spowodowanych przez abonentów. Fakt regularnego wykonywania pomiarów kontrolnych przez operatora sieci TVK, niezależnie od okresu ich powtarzania, jest jednak ponad wszelką wątpliwość wymagany przez ustawę [5] działaniem sprawdzającym i potwierdzającym przez operatora TVK zgodność jego sieci z wymaganiami zasadniczymi.

W tym samym dodatku informacyjnym normy [8] pojawia się sugestia o zastosowaniu kabli współosiowych z ekranowaniem klasy A lub lepszym (wg normy [7]).

Bardzo ważny w praktyce utrzymania i eksploatacji sieci TVK jest następujący fragment dodatku informacyjnego normy [8]:

„Specjalne postanowienia EMC, dotyczące sieci kablowych służących do rozprowadzania sygnałów telewizyjnych, radiofonicznych i usług interaktywnych, ustalono w EN 50083-8. Norma ta odnosi się do charakterystyk promieniowania i odporności na zaburzenia elektromagnetyczne takich sieci wykorzystujących kable współosiowe i pokrywa zakres częstotliwości od 0,15 MHz do 3 GHz. Określono w niej wymagania dotyczące działania i metody pomiaru.”

Fragment ten powołuje normę PN-EN 50083-8 [6], wg której od wielu lat niektórzy europejscy operatorzy kontrolują stan swoich sieci (przyjmując podane w niej wartości graniczne wycieków), mimo iż nie jest to norma zharmonizowana z dyrektywą EMC. Powyższy zapis w normie [8] stanowi pośrednio usankcjonowanie wartości granicznych wycieków określonych w normie [6]. Zatem operatorzy TVK, którzy regularnie mierzą wycieki i usuwają źródła wytwarzające natężenie pola elektrycznego przekraczające wartość $22 \mu\text{V/m}$ w odległości 3 m w paśmie częstotliwości 30-1000 MHz, będą w stanie wykazać spełnienie wymagań zasadniczych dyrektywy [1] i ustawy [15] w odniesieniu do swoich sieci.

4. POMIARY WYCIEKÓW

4.1. Dlaczego mierzymy wycieki?

Pomiar wycieków jest najłatwiejszym sposobem sprawdzenia stanu szczelności sieci TVK. O wiele łatwiej jest zmierzyć poziom natężenia pola elektrycznego bezpośrednio w terenie, aniżeli analizować poziom ingresu na stacji czołowej (choć również jest to działanie pożądane z punktu widzenia kontroli szczelności sieci). Przyczyny pomiaru wycieków są następujące:

- ograniczenie zakłóceń systemów łączności i systemów nawigacyjnych lotnictwa cywilnego
- ograniczenie zakłóceń innych systemów radiokomunikacyjnych, których pasmo pokrywa się z pasmem zajmowanym przez sieci TVK
- ograniczenie jakości sygnałów TV oraz usług transmisji danych poprzez ograniczenie ingresu w kanale dosyłowym i kanale zwrotnym
- utrzymanie niezawodności sieci i jakości świadczonych usług poprzez ułatwienie wykrywania usterek (wycieki i ingres są czasem zapowiedzią poważniejszych awarii)
- ograniczenie liczby reklamacji zgłaszanych przez abonentów
- redukcja kradzieży sygnału z sieci TVK.

Pomiar wycieków stał się na całym świecie główną metodą kontroli szczelności elektromagnetycznych sieci TVK.

4.2. Znakowanie sygnału wycieków i częstotliwość pomiaru

Jednym z ważnych problemów jest rozpoznanie mierzonego wycieku. Należy mieć pewność, że odbierany sygnał pochodzi z badanej sieci TVK, a nie z sieci konkurencyjnych pracujących na tym samym obszarze. Miernik może odbierać jako wyciek sygnały z innych źródeł energii elektromagnetycznej (nadajniki, źródła szumów radioelektrycznych). Sygnał używany do pomiaru wycieków powinien być zatem znakowany, aby miernik lub detektor wykrył wyciek w sposób prawidłowy i jednoznaczny. Znane są trzy główne metody wykrywania wycieków z sieci kablowych:

- opartą o analizę widmową
- opartą o korelację sygnałów QAM

- opartą o wprowadzenie do sieci wąskopasmowych nośnych.

Każda metoda ma swoje wady i zalety. Przeanalizujemy je pokrótce.

Metoda analizy widmowej zakłada odbiór i wzrokową analizę całego widma zajmowanego przez sieci CATV. Zaletami metody są możliwość użycia odbiorników ogólnego przeznaczenia lub analizatorów widma, możliwość użycia w sieciach analogowych i/lub cyfrowych, analiza szerokiego widma częstotliwości, użycie anten kierunkowych (łatwiejsza lokalizacja źródeł), brak pogorszenia jakości badanego sygnału (sygnały użyteczne w sieci nie są modyfikowane) oraz brak sprzętu instalowanego na stacji czołowej. Główne wady tej metody to konieczność pracy dobrze wykwalifikowanego technika/inżyniera w celu analizy odbieranego widma na ekranie analizatora i weryfikacji pochodzenia wycieku (badana sieć czy sieć konkurencyjna, co często może być niewykonalne), niepełna automatyzacja (rozpoznanie sygnału przez człowieka – brak sygnałów znakujących), nierozpoznane źródło wycieku (w przypadku, gdy na tym samym obszarze występują dwie lub więcej sieci nadających np. wyłącznie sygnały QAM), wyższy koszt szerokopasmowych odbiorników lub analizatorów widma, niemożność wykonania patroli samochodowych całego obszaru sieci (anten kierunkowe nie nadają się do pomiarów mobilnych) oraz bardzo długi czas pomiaru rozległych terytorialnie sieci kablowych.

Metoda korelacji opiera się o korelację sygnałów QAM wysyłanych ze stacji czołowej i sygnałów odbieranych w terenie jako wyciek. Silna korelacja między sygnałem ze stacji bazowej a wyciekami jest znakiem, że odbierany sygnał jest nadawany przez badaną sieć. Zaletą tej metody jest brak konieczności użycia osobnego sygnału pomiarowego lub zajęcia kanału wyłącznie dla celów pomiarowych, brak pogorszenia jakości sygnałów nadawanych w sieci i możliwość patroli mobilnych (szybka zgrubna lokalizacja źródeł wycieków, lokalizacja dokładna jest możliwa przez technikę z prostą anteną kierunkową). Mimo że metoda pozwala na identyfikację sieci z wyciekami, posiada ona jednak pewne wady. Należy do nich skomplikowany sprzęt na stacji czołowej i w terenie, wyższy koszt sprzętu i oprogramowania oraz konieczność użycia osobnego kanału transmisji (zwykle sieć telefonii komórkowej) między stacją czołową a miernikiem w terenie w celu wykonania analizy korelacyjnej.

Metody oparte na wprowadzaniu sygnałów znakujących zakładają wykorzystanie specjalnych, wąskopasmowych sygnałów nadawanych ze stacji czołowej. Sygnały te mogą być wprowadzone w pasmach ochronnych (między kanałami) analogowych lub cyfrowych kanałów TV lub DOCSIS. Miernik w terenie odbiera sygnał znakujący, mierzy jego amplitudę i wykrywa informację znakującą. Jeśli nie wykryto sygnału znakującego, wyciek jest ignorowany. Zalety tej metody to duża prostota, możliwość pełnej automatyzacji, relatywnie niewielki koszt urządzeń, podobieństwo do dobrze znanych metod wykorzystywanych w przeszłości w analogowych sieciach kablowych, możliwość użycia w sieciach analogowych i całkowicie cyfrowych, elastyczność dotycząca wstawienia sygnału znakującego na osi częstotliwości, brak konieczności użycia oddzielnego, niezależnego kanału transmisyjnego oraz możliwość wykonania patroli mobilnych do zgrubnej lokalizacji źródeł. Powyższa metoda wymaga zainstalowania urządzenia znakującego sygnał (znacznika) na stacji czołowej. Sygnały znakujące o bardzo wąskim paśmie nie powodują pogorszenia jakości sygnałów transmitujących usługi do abonentów. Przykład metody znakowania opartej na wprowadzeniu kilku nośnych jest opisany np. w patencie [4].

Drugą istotną sprawą jest wybór częstotliwości sygnału znakującego. Większość sygnałów znakujących jest zwykle umieszczona w paśmie lotniczym VHF (np. 115-140 MHz). Obecnie występuje tendencja do umieszczania tego sygnału w paśmie systemu, który ma być chroniony lub wnosi duży ingres (np. LTE 800). Problem wyboru częstotliwości znacznika jest skomplikowany. Wyniki wielu doświadczeń wskazują, że dość trudno jest znaleźć korelację między poziomami wycieków z tego samego źródła dla różnych częstotliwości. Poziom mocy odbieranego sygnału zależy od fizycznego rodzaju uszkodzenia, orientacji przestrzennej uszkodzonego kabla lub złącza oraz rozmiarów elektrycznych „dziury” w kablu (rozmiary te rosną wraz z częstotliwością). Nie jest możliwe określenie, dla której częstotliwości poziom wycieku będzie największy. Doświadczenia pokazują też, że jeśli stan techniczny sieci TVK jest kiepski (co nadal jest dość częstą sytuacją w Europie), poziom wycieków jest wysoki zarówno dla małych, jak i dużych częstotliwości.

Innym ważnym czynnikiem jest tłumienie wolnej przestrzeni zależne od częstotliwości [11]. Dla przykładu założmy, że mamy dwa źródła o częstotliwościach 150 MHz i 800 MHz, które promieniują tę samą moc. Tłumienie wolnej przestrzeni w odległości 15 m od źródła wynosi 39,5 dB i 54 dB odpowiednio na 150 MHz i 800 MHz. Oznacza to, że moc odbierana przez odbiornik będzie 28 razy mniejsza dla wyższej częstotliwości. Jeśli założymy identyczną czułość miernika na obu częstotliwościach, w niektórych przypadkach wycieki o małych i średnich amplitudach mierzone na wyższych częstotliwościach mogą pozostać niewykryte. Można wykorzystać na przykład anteny Yagi do zwiększenia poziomu mocy sygnału na wejściu miernika. Tego typu antena jest niepraktyczna w czasie pomiarów wewnątrz budynków oraz nie nadaje się do pomiarów mobilnych, gdzie potrzebna jest antena o dookólnej charakterystyce promieniowania. Można też wykorzystać aktywną antenę unipolową. Wzmocnienie wzmacniacza antenowego powinno być wtedy jak najniższe, aby poziom produktów intermodulacji nie był wysoki. Produkty intermodulacji mogą skutecznie maskować wycieki o różnych poziomach, szczególnie podczas pomiarów w miastach.

Intermodulacja jest ogromnie ważnym zjawiskiem dla pomiaru wycieków. Jeśli chcemy mierzyć wycieki bezpośrednio w paśmie systemu LTE 800, musimy być świadomi, że w na obszarze mierzonej sieci TVK będzie pracować bardzo wiele źródeł o różnej mocy, takich jak terminale przenośne i stacje bazowe LTE (w niektórych krajach także zagłuszarki). Źródła te zwiększają ryzyko intermodulacji. Dotychczasowe doświadczenia w innych krajach, związane z pomiarami wycieków na dużych częstotliwościach, nie są jak na razie zbyt zachęcające. Wydaje się, że najlepiej mierzyć wycieki na częstotliwościach, które:

- a) nie są za wysokie (tłumienie wolnej przestrzeni)
- b) znajdują się w tej części widma, w której nie pracują nadajniki naziemne (np. UKF-FM, TV, systemy trunkingowe, LTE 800 lub inne silne źródła zakłóceń radioelektrycznych) lub znajdują się one jak najdalej (zarówno w sensie odległości, jak i częstotliwości) od sygnału znacznika badanej sieci (intermodulacje, odczulenie miernika).

Czasem może być konieczne użycie wąskopasmowych filtrów pasmowoprzepustowych lub pułapek częstotliwości, by obniżyć poziom sygnałów zakłócających, szczególnie gdy częstotliwość pomiaru znajduje się blisko pasma GSM/LTE. Filtry zakładane na wejście przyrządów pomiarowych stały się niepostrzeżenie typowym widokiem w czasie wykrywania zakłóceń elektromagnetycznych. Bliskość silnych źródeł pól elektromagnetycznych powoduje bowiem odczulanie oraz intermodulacje na

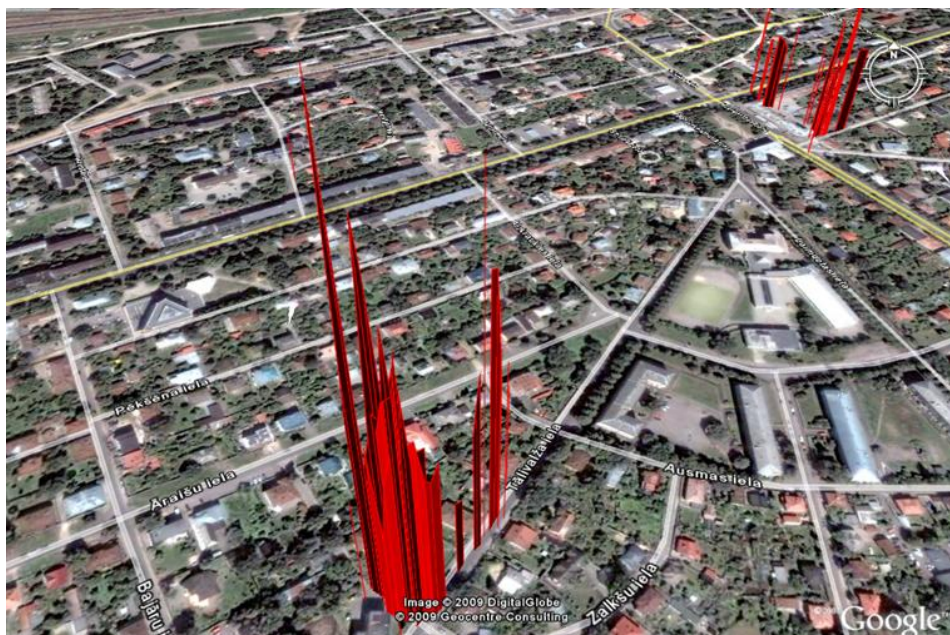
wejściu przyrządów pomiarowych. Ostateczny wybór częstotliwości znacznika należy zawsze do operatora sieci kablowej.

4.3. Sposoby pomiaru wycieków

Pomiar wycieków był dość pracochłonną operacją w czasach, w których nie można było skorzystać z komputerów i systemów nawigacyjnych. Jediną techniką był pomiar pieszy. Technik wyposażony w miernik i antenę kierunkową (dipol półfalowy) chodził po obszarze całej sieci [12,13]. Obecnie podstawową techniką jest pomiar mobilny. Korzysta się wtedy z mierników z wbudowanym odbiornikiem GPS. Umieszczając na dachu samochodu antenę o dookólnej charakterystyce promieniowania (unipol) można szybko objechać obszar całej sieci TVK, obejmującej nawet bardzo duży obszar. Wyniki pomiarów przedstawia się na mapie. Przykłady takiego zobrazowania są pokazane na rys. 1 i 2. Możliwe jest wyświetlanie np. wyników powyżej ustalonej wartości natężenia pola elektrycznego lub tylko miejsc, w których miernik wykrył znacznik. Technicy mogą na tej podstawie dość szybko ustalić źródła wycieków i je usunąć.



Rys. 1. Przykładowe zobrazowanie wyników pomiaru wycieków na mapie kartograficznej (skala kolorów została usunięta)



Rys. 2. Przykładowe zobrazowanie wyników pomiaru wycieków na mapie Google Earth (miejsca zaznaczone na czerwono oznaczają przekroczenie limitu wycieków i detekcję znacznika)

Poszukiwanie źródeł wycieków w budynkach oraz w sieci magistralnej i dosyłowej jest relatywnie szybkie, jeśli technik dysponuje anteną kierunkową (najczęściej dipol półfalowy) i odpowiednim doświadczeniem. Konieczne jest praktyczne szkolenie personelu technicznego. Większość osób łatwo przyswaja podstawowe informacje i umiejętności związane z poszukiwaniem wycieków. Ważne są zajęcia w terenie pod nadzorem doświadczonych instruktorów. Dobra znajomość topologii sieci oraz stosowanych w niej urządzeń również przyczynia się do szybkiego znajdowania i usuwania źródeł wycieków. Obserwacje autora z ostatnich lat jednoznacznie wskazują, że konieczne jest częste powtarzanie szkoleń na skutek dużej rotacji pracowników sieci kablowych oraz coraz niższego poziomu wykształcenia absolwentów szkół średnich i wyższych. Dotyczy to nie tylko problematyki wycieków, ale pomiarów radiotechnicznych w ogóle.

Pewnym problemem mogą być źródła wycieków umieszczone na wyższych piętrach (powyżej czwartego). Mogą one nie ujawnić się w czasie patrolu mobilnego [14]. Konieczny jest wtedy pomiar pieszy wewnątrz budynku i kontrola poziomu wycieków na wszystkich kondygnacjach. Pomocne byłyby pomiary wykorzystujące samoloty, helikoptery lub drony. Pomiary lotnicze są często wykonywane w USA. W polskich warunkach na przeszkodzie stoją duże koszty i ograniczenia formalne.

5. PODSUMOWANIE

Zagadnienia związane z kompatybilnością elektromagnetyczną sieci TVK były do niedawna traktowane jako mało ważne. Operatorzy zakładali, że nic im nie zagraża, bo przecież „kabel koncentryczny jest szczelny”. Ignorowali oni również obowiązki nałożone na nich przez prawo. Wiosna tego roku dla niektórych z nich okazała się bardzo niemiłym doświadczeniem. Możliwa jest jednak skuteczna walka zarówno z ingresem, jak i wyciekami. Wymaga ona jednak wiedzy z zakresu kompatybilności em., odpowiedniego sprzętu oraz doświadczenia, które nabywa się w czasie wykonywania pomiarów.

6. LITERATURA

- [1] Dyrektywa 2004/108/WE z dnia 15 grudnia 2004 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej oraz uchylająca dyrektywę 89/336/EWG (dyrektywa EMC).
- [2] Dyrektywa 2014/30/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej.
- [3] Gordon R., Beu F.E., A Service Technician's Guide to Monitoring and Measuring Signal Leakage for Cable TV Systems, ORION CATV Technical Training Institute, Washington 1990.
- [4] Patent USA US 8,856,850 B2. Sala W., Szóstka J., „Method of Tagging Signals Used for Leakage Detection and Measurement in Cable Television Networks and Apparatus for Detection and/or Measurement of Leakage Sources Tagged with this Method”.
- [5] PN-EN 50083-2:2012 Sieci kablowe służące do rozprowadzania sygnałów: telewizyjnych, radiofonicznych i usług interaktywnych. Część 2: Kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń.
- [6] PN-EN 50083-8:2014-09 Sieci kablowe służące do rozprowadzania sygnałów: telewizyjnych, radiofonicznych i usług interaktywnych. Część 8: Kompatybilność elektromagnetyczna sieci.
- [7] PN-EN 50117-2-3:2005 Kable współosiowe. Wymagania szczegółowe dotyczące kabli stosowanych w sieciach rozdzielczych. Kable rozdzielcze i magistralne pracujące w zakresie częstotliwości od 5 MHz do 1000 MHz.
- [8] PN-EN 50529-2:2012 Norma dotycząca EMC dla sieci. Część 1: Przewodowe sieci telekomunikacyjne wykorzystujące kable współosiowe.
- [9] Raport EUROCONTROL „Coaxial Cable Television Interference to Aviation Systems” (https://eurocontrol.int/sites/default/files/field_tabs/content/documents/communications/15032001-briefing-catv8.pdf, 06.07.2015 r.)
- [10] Rozporządzenie Ministra Łączności z dnia 4 września 1997 r. w sprawie wymagań technicznych i eksploatacyjnych dla urządzeń, linii i sieci telekomunikacyjnych zakładanych i używanych na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, Dz. U. nr 109 z dnia 18 września 1997 r., poz. 709.
- [11] Szóstka J., Fale i anteny, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006.
- [12] Szóstka J.: Pomiary wycieków w sieciach CATV. Materiały X Krajowego Sympozjum Nauk Radiowych URSI 2002, Poznań, 14 – 15 marca 2002.
- [13] Szóstka J., Paluszkiewicz H.: Leakage Monitoring – a Key for Successful Activation of Return Path Services. Proceedings of 16th International Wrocław Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Wrocław, June 25 – 28, 2002.
- [14] Szóstka J., Paluszkiewicz H.: CATV Leakage Measurements at Heights. Proceedings of 17th International Wrocław Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Wrocław, 29 June – 1 July, 2004.

[15] Ustawa o kompatybilności elektromagnetycznej z dnia 13 kwietnia 2007 r. (Dz. U. nr 82 z 2007 r., poz. 556 z późniejszą zmianą).

[16] FCC Part 76 of the Code of Federal Regulations Title 47