

doi:10.15199/48.2024.04.54

Pole elektromagnetyczne systemów radiofonicznych i telewizyjnych wczoraj i dziś

Streszczenie.

Historia radiokomunikacji to niewiele ponad 100 lat. Z radiokomunikacją nieodłącznie związana jest emisja pola elektromagnetycznego (PEM) do środowiska, a z nią ochrona przed nadmierną ekspozycją. W artykule przedstawiono charakterystykę PEM pochodzącego od systemów radiofonicznych i telewizyjnych na tle historii rozwoju tych systemów

Abstract.

The history of radiocommunications is just a little more than 100 years old. With radio communication is inherent the emission of electromagnetic fields (EMF) into the environment, and with it the protection against overexposure. The article presents the characteristics of EMF from radio and television systems in the background of the history of development of these systems (**Electromagnetic field of broadcasting systems yesterday and nowadays**).

Słowa kluczowe: ochrona środowiska elektromagnetycznego, radiodyfuzja, radiofonia, telewizja, DVBT, DAB

Keywords: electromagnetic environment protection, broadcasting, radio, television, DVBT, DAB

Wstęp

Historia światowej radiokomunikacji ma niewiele ponad 100 lat. Jako początek profesjonalnej radiokomunikacji w Polsce można przyjąć rok 1923, kiedy uruchomiono Transatlantyczną Radiotelegraficzną Centralę Nadawczą w Babicach – tak więc w 2023 roku obchodziliśmy 100-lecie polskiej radiokomunikacji. Kolejną rocznicą będzie rok 2026 – kiedy minie 100 lat od rozpoczęcia regularnych transmisji radiofonicznych Polskiego Radia. Te 100 lat to nie tylko dynamiczny rozwój, nowe technologie, większe zasięgi, ale również ciągłe zwiększanie emisji energii elektromagnetycznej do środowiska i zainteresowanie tematem oddziaływania pola elektromagnetycznego (PEM) na biosferę. Początki to „syndrom radiotelegrafistów” sformułowany w latach 30-tych XX wieku – badany po II Wojnie Światowej między innymi przez prof. S. Barańskiego, dr. P. Czerskiego czy prof. S. Manczarskiego [1,2], później różne incydenty wypadkowe i w końcu w latach 50-tych XX w. pierwsze unormowania prawne w ochronie przed nadmiernym narażeniem na PEM pracowników. Ochrona populacji generalnej to lata 80-te XX wieku. Dlaczego tak późno? - z prostej przyczyny – wcześniej nie było problemu – bo istotne z punktu widzenia oddziaływania PEM na środowisko instalacje były posadowione z reguły na obszarach niedostępnych dla ludności – ogrodzonych, dobrze chronionych i było ich stosunkowo niewiele. Pierwszym głośnym, i w tamtych czasach praktycznie jedynym problemem w środowisku, był nadajnik 1 Programu Polskiego Radia w Konstancynie – no może druga dość głośna sprawa dotyczyła nadajnika w okolicach Krakowa. Realnie w Polsce dopiero po 1989 roku nadajniki radiowe i telewizyjne trafiły „nad strzechy” – na dachy wieżowców czy kominy elektrociepłowni, a prawdziwy rozwój źródeł PEM to historia telefonii komórkowej – w Polsce od 1992r, ale prawdziwy wysyp stacji bazowych rozpoczął się w 1996r, kiedy to wdrożono do użytku system GSM. Przez lata ewoluowały systemy radiokomunikacyjne – zmieniało się także podejście do ochrony przed nadmierną ekspozycją środowiska na PEM - na rys. 1 i 2 przedstawiono unormowania z roku 1980 [3] i aktualnie obowiązujące z w Polsce dopuszczalne poziomy pola elektromagnetycznych w środowisku z 2019 r [4]. Odpowiednie akty prawne określają również zasady kontroli i nadzoru nad dotrzymaniem dopuszczalnych poziomów PEM w środowisku. Rozporządzenie [5] reguluje zasady wykonywania pomiarów kontrolnych instalacji PEM, a

rozporządzenie [6] – monitoring PEM w środowisku realizowany przez laboratoria Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska [7].

W artykule skupiono się na tzw. radiokomunikacji rozsiewczej lub radiodyfuzji – czyli systemach radiofonicznych i telewizyjnych (RTV), które przez 100 lat swojej historii ewoluowały technologicznie, co miało też istotny wpływ na PEM emitowane do środowiska.

Postać promieniowania	WARTOŚCI GRANICZNE STREF OCHRONNYCH		
	50 Hz	Strefa ochronna	
		pierwszego stopnia	drugiego stopnia
Pole elektromagnetyczne o częstotliwości (składowa elektryczna)	od 0,1 do 10 MHz	powyżej 10 kV/m	powyżej 1 kV/m do 10 kV/m
	powyżej 10 MHz do 300 MHz	powyżej 20 V/m	powyżej 5 V/m do 20 V/m
Pole elektromagnetyczne o częstotliwości powyżej 300 MHz	— stacjonarne	powyżej 7 V/m	powyżej 2 V/m do 7 V/m
	— niestacjonarne	powyżej 0,1 W/m ²	powyżej 0,025 W/m ² do 0,1 W/m ²
		powyżej 1 W/m ²	powyżej 0,25 W/m ² do 1 W/m ²

Rys.1. Dopuszczalne poziomy PEM w środowisku – rok 1980 [1]

Zakres częstotliwości pola elektromagnetycznego	Parametr fizyczny		
	Składowa elektryczna E (V/m)	Składowa magnetyczna H (A/m)	Gęstość mocy S (W/m ²)
lp.	1	2	3
1	0 Hz	10000	2500
2	od 0 Hz do 0,5 Hz	ND	2500
3	od 0,5 Hz do 50 Hz	10000	60
4	od 0,05 kHz do 1 kHz	ND	3 / f
5	od 1 kHz do 3 kHz	250 / f	5
6	od 3 kHz do 150 kHz	87	5
7	od 0,15 MHz do 1 MHz	87	0,73 / f
8	od 1 MHz do 10 MHz	87 / f ^{0,5}	0,73 / f
9	od 10 MHz do 400 MHz	28	0,073
10	od 400 MHz do 2000 MHz	1,375 × f ^{0,5}	0,0037 × f ^{0,5}
11	od 2 GHz do 300 GHz	61	0,16

Rys.2. Dopuszczalne poziomy PEM w środowisku – rok 2020 [2]

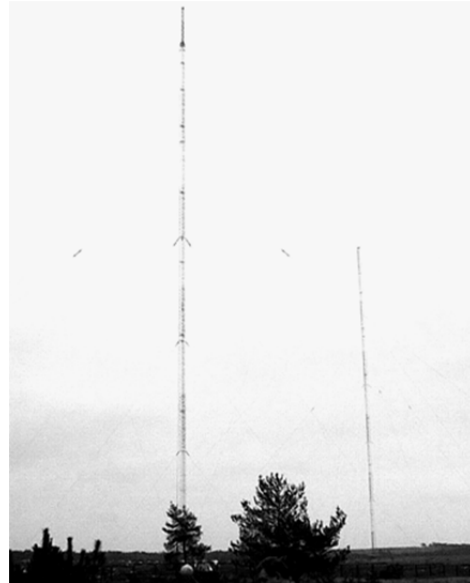
Radiofonia

Transatlantyczną Radiotelegraficzną Centralę Nadawczą trudno określić mianem radiofonii – ale nie można o niej nie wspomnieć. Była to jedna z pierwszych instalacji radiokomunikacyjnych w Polsce po odzyskaniu niepodległości. Stacja pracująca na falach bardzo długich o częstotliwościach z zakresu między 14kHz a 18kHz przy mocy 2x200kW z systemem antenowym rozciągniętym na 10 wieżach o wysokości 126 m każda pozwalała na całodobową łączność telegraficzną z Ameryką Północną. Ciekawostką jest, że sygnał zasilający antenę generowany był bezpośrednio przez generator prądu przemiennego o

częstotliwości fali nośnej, a generator ten napędzany był silnikiem diesla. Takie rozwiązanie miało wtedy większą sprawność energetyczną niż układy lampowe. Część odbiorcza systemu zlokalizowana była w Grodzisku Mazowieckim. Niestety historia TRCN Babice zakończyła się 16 stycznia 1945 roku wysadzeniem w powietrze przez wycofujące się wojska niemieckie [8]. Początki radiofonii to wykorzystywanie modulacji amplitudy (AM) i fal długich i średnich. Fale krótkie początkowo wykorzystywane było w ograniczonym zakresie ze względu na bardzo kapryśną propagację. Modulacja amplitudy to modulacja wyjątkowo mało sprawna energetycznie – najwyżej niewiele ponad 30% emitowanej mocy służyło transmisji informacji – reszta energii „marnowała” się w bezużytecznej z punktu widzenia transmisji informacji fali nośnej. Z drugiej strony odbiór i detekcja sygnałów zmodulowanych w AM była stosunkowo prosta – jako detektor wystarczyła dowolna dioda, a nawet detektor „kryształkowy”. Bez wątpliwości najpopularniejszym w Polsce odbiornikiem detektorowym był DETEFON opracowany przez zespół pod kierunkiem prof. Wilhelma Rotkiewicza [9] i produkowany od 1929r. do czasów powojennych. Sprawność energetyczna była lepsza w modyfikowanych AM – największą sprawność osiągała jednowstęgowa modulacja w wytłumioną falą nośną – SSB – ale trudności techniczne w jej odbiorze praktycznie uniemożliwiły jej stosowanie w radiofonii – stosowano ją głównie w łącznościach profesjonalnych. W systemach nadawczych na falach długich i średnich stosowano nadajniki stosunkowo dużej mocy – od kilkudziesięciu kW do nawet 2 MW. Tak dużą moc miały nadajniki centrum nadawczego Pierwszego Programu Polskiego Radia w Konstancynie. Nadajniki zasilaly antenę – pionowy dipol półfalowy o wysokości 646m – przez długie lata najwyższą konstrukcją na świecie. Duża moc i efektywna antena pozwalały na pokrycie zasięgiem radiowym całej Europy a nawet północnych fragmentów Afryki [10]. Z tak dużą mocą wiązało się też stosunkowo duże natężenie pola elektromagnetycznego w otoczeniu anteny. Można powiedzieć, że to właśnie ten nadajnik był przyczyną intensywniejszego zainteresowania ludności polem elektromagnetycznym i z pewnością przyczyniło się to do ustanowienia środowiskowych przepisów ochronnych w Polsce. Zainteresowanie to mogło wynikać niekoniecznie ze względu na rzeczywiste natężenie pola, ale z powodu stosowanej modulacji AM, której demodulacja następowała praktycznie w każdym układzie elektronicznym, mówiło się wtedy, że „nawet plomby w zębach grają Warszawą I”. W sierpniu 1991r. w trakcie remontu konstrukcja antenowa runęła i, między innymi z powodu protestów ludności dotyczących oddziaływania pola elektromagnetycznego, nie została odbudowana. Funkcjonalnym następcą Konstancynowa jest Centrum Nadawcze Polskiego Radia w Solcu Kujawskim uruchomione w 1999 roku i działające do dzisiaj. Ciekawostką w tamtych czasach była budowa nadajnika – konstrukcja tranzystorowa o mocy 1MW. System antenowy w Solcu Kujawskim to układ dwóch dipoli ćwierćfalowych (Rys.3) zlokalizowanych na terenie byłego poligonu wojskowego w stosunkowo dużym oddaleniu od obszarów zamieszkałych i tym samym problem potencjalnego oddziaływania PEM został wyeliminowany.

Do lat 80-tych XX wieku w Polsce istniała sieć radiofonicznych nadajników średniofalowych również nadających z modulacją AM. W większości przypadków systemy nadawcze lokalizowane były w pobliżu dużych miast – np. Wrocław obsługiwało centrum nadawcze w Żórawinie. Nadajniki fal średnich wymagały stosunkowo dużej mocy oferując w zamian ograniczony zasięg – zwłaszcza w dzień. Propagacja w nocy była znacznie lepsza, co pozwalało uzyskać zasięgi obejmujące całą

Europę. Wykorzystywano to dla emisji audycji radiowych dla Polonii czy to na wschodzie, czy zachodzie Europy. Oczywiście działało to również w drugą stronę – to znaczy były rozgłośnie radiowe nadające audycje z zagranicy dla słuchaczy w Polsce – najpopularniejsze to Radio Wolna Europa, Głos Ameryki czy Radio Watykan. Wypada tu również przywołać Radio Luksemburg – co prawda programy nie były kierowane bezpośrednio do Polaków – ale w latach 60-tych i 70-tych XX wieku bez wątpliwości Radio Luksemburg było „oknem na świat muzyki z za żelaznej kurtyny”. Obecnie nadajniki średniofalowe w Polsce nie działają, a w większości przypadków konstrukcje antenowe stały się masztami nośnymi dla anten nadajników UKF FM lub telewizyjnych. Podobny los spotkał systemy krótkofalowe.



Rys.3. System antenowy RCN Solec Kujawski

Z punktu widzenia oddziaływania PEM na środowisko systemy średnio i krótkofalowe były dosyć uciążliwe. Nadajniki miały moce rzędu kilkudziesięciu-kilkuset kW przy antenach posadowionych bezpośrednio nad powierzchnią terenu, co skutkowało występowaniem stosunkowo dużego natężenia pola elektromagnetycznego w otoczeniu stacji nadawczych i nawet jeżeli nie występowały przekroczenia dopuszczalnych poziomów PEM – to podobnie jak dla fal długich – modulacja AM była uciążliwym źródłem zakłóceń dla systemów elektronicznych. Mała sprawność energetyczna, słaba jakość dźwięku i duże koszty systemów nadawczych doprowadziły do tego, że obecnie radiofonia analogowa opiera się na falach ultrakrótkich – UKF – obecnie pasmo 87-108MHz. Ze względu na charakter propagacji – falę troposferyczną – anteny, a właściwie zwykle układy antenowe z kształtowana charakterystyką promieniowania umieszcza się możliwie wysoko – na szczycie masztów antenowych – ale także np. na dachach wieżowców czy kominach. Sygnał z nadajników o mocach od kilkudziesięciu watów do kilku kW nadawany jest z modulacją częstotliwości (FM) – modulacją znacznie sprawniejszą energetycznie i pozwalającą uzyskać znacznie lepszą jakość dźwięku. Wyniesienie układów antenowych znacznie powyżej terenu, kształtowanie charakterystyk promieniowania anten i stosowanie zdecydowanie mniejszych mocy nadajników niż w systemach AM poskutkowało znacznie mniejszym oddziaływaniem PEM systemów UKF FM na środowisko. W małych instalacjach stosuje się zwykle kilka pięter dipoli półfalowych dla zawężenia charakterystyki promieniowania w pionie (Rys. 4).



Rys.4. Systemy antenowe: po lewej - UKF FM studenckiego Radia LUZ (dach budynku C-5 Politechniki Wrocławskiej), po prawej -DAB+ LokalDAB (dach budynku Radia Wrocław)

W dużych centrach nadawczych – pięter takich bywa kilkanaście ułożonych w ściany pozwalające uzyskać charakterystykę dookólną w płaszczyźnie poziomej. Ewentualne obszary PEM o podwyższonym poziomie – ale zwykle i tak znacznie poniżej obecnie obowiązujących wartości dopuszczalnych (28V/m) – a zwykle nawet poniżej wartości obowiązujących do końca 2019r. – 7V/m – występować mogą na dachach budynków, na których posadowiono anteny bądź budynków w najbliższej okolicy oraz w otoczeniu dużych radiowo-telewizyjnych centrów nadawczych, gdzie zwykle anteny UKF FM montowane są najniżej (Rys. 5) i zwykle na poziomie terenu mierzone PEM pochodzi od listków bocznych charakterystyki promieniowania układów antenowych UKF.



Rys.5. System antenowy RTCN Sucha Góra k/Krosna

Dobre parametry dźwięku nadawanego na UKF FM stały się pokusą do transmisji dźwięku stereofonicznego. To co dzisiaj wydaje się oczywistością, w latach 70-tych zeszłego wieku było luksusem technicznym. Dość powiedzieć, że do końca lat 80-tych XX wieku w Polsce jedynym programem z audycjami nadawanymi w stereo był 2 program Polskiego Radia z ogromną przewagą muzyki klasycznej. Z nadawaniem stereo nie ma żadnego

problemu w radiu cyfrowym – standardzie DAB+ wykorzystywanym w Polsce. Cyfrowa radiofonia naziemna zaczęła swoją historię w naszym kraju już w XXI wieku – pierwsze testy prowadzono w roku 2009 - regularne transmisje są realizowane od 2012 roku. Radio cyfrowe dostało do dyspozycji częstotliwości kanałów telewizyjnych od 5 do 12 – czyli zakres częstotliwości między 174 a 230MHz. Dzięki wykorzystaniu technik cyfrowych nadajniki DAB+ mogą mieć mniejsze moce w stosunku do UKF FM – a tym samym emitować do środowiska mniej energii elektromagnetycznej. Dodatkowo cyfryzacja sygnału i powiązana z nią kompresja pozwoliły na znacznie lepsze wykorzystanie widma – dostępnych zasobów radiowych. Stosując różne poziomy kompresji jednocześnie wymagając do transmisji przepustowość kanału. Niezależnie od znacznie zredukowanej przepływności, w jednym kanale radiowym nadawany jest tak zwany multipleks – kilka lub nawet kilkanaście programów radiowych. Pozwoliło to zdecydowanie zmniejszyć „emisję PEM na jeden program radiowy” – albo inaczej – zwiększyć liczbę dostępnych programów bez zwiększania emisji PEM do środowiska. Identyczna sytuacja występuje w naziemnej telewizji cyfrowej – o czym w następnym rozdziale.

Telewizja

Telewizja – czyli „okienko Pana Bairda” swoją historią sięga roku 1926. W Polsce prace nad telewizją rozpoczęto w połowie lat 30-tych XX-tego wieku. Pierwszy nadajnik telewizyjny w Warszawie zainstalowano na wieżowcu Prudential i w sierpniu 1939 roku rozpoczęto pierwsze oficjalne transmisje Telewizji Polskiej. Po wojnie regularne nadawanie programu telewizyjnego rozpoczęto w 1952 roku – ale telewizja była dostępna tylko w największych miastach i to nie od razu we wszystkich – np. do Wrocławia TVP dotarła dopiero w 1958 roku. Na telewizję kolorową przyszło poczekać do 1972 roku. W telewizji analogowej stosowano modulację amplitudy z częściowo wytłumioną dolną wstęgą boczną. Mimo tego zabiegu i tak na jeden kanał telewizyjny musiano przeznaczyć pasmo 8MHz. Tak szerokie pasmo sygnału modulującego wymusiło wykorzystanie do transmisji częstotliwości znacznie wyższych niż dla radia W praktyce kanały telewizyjne zajmowały początkowo pasmo tzw. VHF- między 70 a 230MHz (kanały 1-12), w latach 70-tych rozpoczęto transmisje w kanałach UHF – częstotliwości od ok. 470 do 860MHz (kanały 20-68). Obecnie pasmo telewizyjne zostało okrojone od dołu przez DAB+, od góry przez systemy telefonii komórkowej – najpierw LTE 800MHz a teraz pasmo między 700 a 800MHz jest zwalniane dla 5G. Od 2013 roku w Polsce nadawana jest tylko telewizja cyfrowa w tzw. multipleksach – podobnie jak w DAB+ - obejmujących kilka do kilkunastu programów telewizyjnych w jednym kanale fizycznym – do 2022 roku w standardzie DVBT - MPEG-4 – obecnie DVB-T2 z kodowaniem HEVC – ale nie wszystkie multipleksy. Zmiana sposobu nadawania z analogowego na cyfrowy pozwoliła na zmniejszenie mocy nadajników a tym samym zmniejszyła się efektywna emisja energii elektromagnetycznej do środowiska. Ze względu na właściwości propagacji fal metrowych i decymetrowych dla zapewnienia odpowiedniego zasięgu niezbędne jest instalowanie anten możliwie jak najwyżej i stosowanie układów antenowych o dużym zysku kierunkowym. W dużych centrach nadawczych anteny DVBT montowane są często na wysokości ponad 200m nad otaczającym terenem. Oczywiście poza dużymi centrami nadawczymi są też nadajniki małej mocy – albo transmitujące programy lokalne – albo służące „doświetleniu” obszarów, które są „w cieniu” nadajników głównych – np. kotliny górskie. Moce

nadajników to od kilkunastu watów w nadajnikach retransmisyjnych do kilku kilowatów w dużych RTCN-ach, ale dzięki dużym zyskom energetycznym układów antenowych efektywna moc promieniowana (ERP) wynosi nawet 100 kW na jeden multipleks [11]. Wysokie posadowienie anten oraz kształtowanie charakterystyki promieniowania powoduje, że dobrze zaprojektowana instalacja nie stanowi problemu z punktu widzenia ochrony środowiska elektromagnetycznego –nawet w przypadku umieszczenia systemu antenowego w centrum miasta – jak w Warszawie na szczycie Pałacu Kultury i Nauki (Rys.6)



Rys.6. Anteny RTV na szczycie Pałacu Kultury i Nauki - Warszawa



Rys.6. System antenowy na dachu akademika – Wrocław

Oczywiście są, podobnie jak w przypadku radia UKF FM, czy coraz częściej również DAB+, małe nadajniki lokalizowane np. na dachach budynków (Rys.7) – ale i one przy właściwym projekcie nie powinny stanowić problemu z punktu widzenia oddziaływania PEM na środowisko.

Podsumowanie

Historia radiodifuzji to tylko 100 lat. W tym czasie nastąpił rewolucyjny rozwój systemów i zmiany technologii, ale idea pozostała ta sama – transmisja fonii i wizji „w eter” do nieznannej liczby odbiorców bez żadnych ograniczeń (oczywiście poza programami kodowanymi). Przed erą telefonii komórkowej nadajniki radiofoniczne i telewizyjne miały największy wkład w energię elektromagnetyczną emitowaną do środowiska. Jednocześnie systemy te były lokalizowane zwykle na wydzielonych obszarach i nie stanowiły znaczącego obciążenia polem elektromagnetycznym dla ludności – no może poza małymi lokalnymi nadajnikami na dachach budynków. Należy też zauważyć różnice w charakterze emitowanego PEM – o ile w systemach komórkowych natężenia pola jest zmienne i zależy od chwilowego ruchu telekomunikacyjnego [12] – to w systemach radiodifuzyjnych emitowane PEM ma praktycznie stałe parametry w czasie. Można się zastanawiać, czy radiodifuzja w obecnej postaci ma rację bytu w dobie internetu – zwłaszcza dostępnego bezprzewodowo z sieci komórkowych. Na to pytanie trudno odpowiedzieć ale faktem jest, że większość stacji radiowych wykorzystuje już internet do „radia internetowego” – transmisji on-line programu w sieci. Wydaje się również że telewizja jest wypierana przez serwisy oferujące programy i filmy na żądanie – ale zdaniem autora typowa radiodifuzja jeszcze długo będzie się broniła – zwłaszcza dotyczy to radiofonii.

Autor: dr hab. inż. Paweł Bieńkowski prof. uczelni, Politechnika Wrocławska, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: pawel.bienkowski@pwr.edu.pl;

LITERATURA

- [1] P. Czerski, J Hornowski, J Szewczykowski: Przypadek "choroby mikrofalowej", *Medycyna Pracy*, 1964, 15(4): 251-253
- [2] S. Manczarski: Teoria Plazmy elektronowej w środowisku biologicznym, *Postępy fizyki* 1969, 20(3): 381-384
- [3] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 5 listopada 1980 r. w sprawie szczególnych zasad ochrony przed elektromagnetycznym promieniowaniem niejonizującym szkodliwym dla ludzi i środowiska (Dz.U. nr 25 z 1980r. poz. 101)
- [4] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 grudnia 2019 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku (Dz.U. 2019 poz. 2448)
- [5] Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 17 lutego 2020 r. w sprawie sposobów sprawdzania dotrzymania dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku (tekst jednolity (Dz. U. 2022 poz. 2630))
- [6] Rozporządzeniu Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 15 grudnia 2020 r. w sprawie zakresu i sposobu prowadzenia okresowych badań poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku (Dz.U. 2020 poz. 2311)
- [7] <https://www.gov.pl/web/gios/opracowania-wyniki-pomiarow>
- [8] <https://trcn.pl/historia-trcn/>
- [6] W. Rotkiewicz: DETEFON, *Przegląd Teletechniczny* 1931, Zeszyt 1, 17-22
- [10] <https://www.rcn.tlx.pl/>
- [11] <https://www.emitel.pl/strefa-klienta/odbior-rtv/sprawdz-parametry-emisji/>
- [12] P. Bieńkowski: Środowisko elektromagnetyczne w przededniu wdrożenia 5G. *Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne*. 2020, R. 2020, nr 7-8, s. 129-136,. ISSN: 1230-3496;