

Krzysztof Gryz
Patryk Zradziński
Jolanta Karpowicz
Wiesław Leszko

POMIARY I OCENA POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO PRZY RADIOTELEFONACH PRZENOŚNYCH W KONTEKŚCIE WYMAGAŃ DYREKTYWY EUROPEJSKIEJ 2013/35/UE I POLSKIEGO PRAWA PRACY

MEASUREMENT AND ASSESSMENT OF ELECTROMAGNETIC FIELDS NEAR RADIOPHONES IN LINE
WITH PROVISIONS OF EUROPEAN DIRECTIVE 2013/35/EU AND POLISH LABOUR LAW

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy / Central Institute for Labour Protection –
National Research Institute, Warszawa, Poland
Pracownia Zagrożeń Elektromagnetycznych / Laboratory of Electromagnetic Hazards

STRESZCZENIE

Wprowadzenie: Funkcjonowanie służb ratunkowych i mundurowych wymaga wykorzystania urządzeń łączności bezprzewodowej, takich jak radiotelefony. Ocena narażenia pracowników na wytwarzane przez nie pola elektromagnetyczne jest istotna ze względu na wymagania prawa pracy, a także doniesienia literaturowe dotyczące możliwych zagrożeń zdrowia użytkowników urządzeń, które emitują pole elektromagnetyczne o częstotliwościach radiowych. **Materiały i metody:** Badaniem objęto 50 radiotelefonów przenośnych konwencjonalnego i trunkingowego systemu łączności. Zagrożenia elektromagnetyczne dla użytkowników oceniono z wykorzystaniem wyników pomiarów pierwotnego pola elektromagnetycznego, przeprowadzonych w otoczeniu anten radiotelefonów. **Wyniki:** Pole elektryczne o natężeniu odpowiadającym ekspozycji zawodowej (tj. według wymagań polskiego prawa pracy – ekspozycji na pola tzw. stref ochronnych) zmierzono w odległości dochodzącej do: 45–65 cm od anten radiotelefonów pracujących w systemie konwencjonalnym i 75–95 cm od radiotelefonów systemu trunkingowego, zależnie od ich typu i trybu pracy – ocena na podstawie średnich wyników wykonanych serii badań. Pole elektryczne o natężeniach przekraczających tzw. interwencyjny poziom narażenia, określony w Dyrektywie 2013/35/UE, stwierdzono w odległości do ok. 15 cm od anteny radiotelefonów systemu konwencjonalnego i do ok. 10 cm od radiotelefonów systemu trunkingowego. **Wnioski:** Z uwagi na zasięg stref ochronnych i użytkowanie radiotelefonów przenośnych bezpośrednio przy ciele ich użytkownicy powinni być zaliczani do grupy pracowników, którzy podlegają ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne. Wyniki wykonanych pomiarów pola elektromagnetycznego oraz typowe warunki użytkowania radiotelefonów uzasadniają konieczność przeprowadzenia dodatkowej oceny zagrożeń elektromagnetycznych – zbadania zgodności z tzw. granicznym poziomem oddziaływania określonym Dyrektywą 2013/35/EU. Med. Pr. 2013;64(5):671–680

Słowa kluczowe: łączność konwencjonalna, łączność trunkingowa, ekspozycja zawodowa, natężenie pola elektrycznego, natężenie pola magnetycznego, częstotliwości radiowe

ABSTRACT

Background: The activities of rescue and uniformed services require the use of wireless communication devices, such as portable radiophones. Assessment of workers' exposure to electromagnetic fields emitted by radiophones is important in view of occupational safety and health (OSH), legislation requirements and reports on possible adverse health effects in users of devices emitting radiofrequency electromagnetic field. **Materials and Methods:** In this study 50 portable radiophones of conventional and trunked communication systems were investigated. The assessment of electromagnetic hazards to users involved unperturbed electromagnetic field measurements near radiophones' antennas. **Results:** The electric field strength corresponding to the occupational exposure level (fields of so-called safety zones established by OSH legislation in Poland) was measured at a distance of 45–65 cm from the portable radiophones antennas of conventional system and 75–95 cm from antennas of trunked system radiophones, depending on their type and mode of work. The assessment was based on the averaged results of series of measurements. The electric field strength exceeding action levels defined by Directive 2013/35/EU was found up to 15 cm from radiophone antennas of conventional system and up to 10 cm from the antennas of trunked system radiophones. **Conclusions:** Taking into account the range of safety zones and the use of portable radiophones near the body, their users should be classified into the group of workers occupationally exposed to electromagnetic fields. Electromagnetic field measurement results and typical conditions of using portable radiophones justify the

Praca zrealizowana w ramach zadania 04.A.02 – „Ocena zagrożeń elektromagnetycznych związanych z wykorzystaniem mobilnych urządzeń łączności bezprzewodowej przez pracowników wybranych służb ratunkowych i mundurowych, na podstawie badań modelowych”, w ramach programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011–2013 w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Pracy i Polityki Społecznej. Kierownik zadania: dr inż. Patryk Zradziński.

need for additional assessment of electromagnetic hazards – the analysis of compliance with relevant exposure limit values provided by Directive 2013/35/EU. *Med Pr* 2013;64(5):671–680

Key words: conventional communication, trunked communication, occupational exposure, electric field strength, magnetic field strength, radiofrequency

Autor do korespondencji / Corresponding author: Krzysztof Gryz, Pracownia Zagrożeń Elektromagnetycznych, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, Poland, e-mail: krgrzy@ciop.pl
Nadesłano: 17 września 2013, zatwierdzono: 26 listopada 2013

WPROWADZENIE

Urządzenia mobilnej łączności bezprzewodowej (popularnie nazywane radiotelefonami) są szeroko stosowane przez wiele grup zawodowych, których działania wymagają ciągłej koordynacji i przekazywania informacji między koordynatorem a jednostkami realizującymi zadania w terenie. Z radiotelefonów korzystają np. kolejarze, kierowcy czy pracownicy ochrony, jednak największa liczba zawodowych użytkowników mobilnego sprzętu łącznościowego dotyczy funkcjonariuszy służb ratunkowych i mundurowych (straży pożarnej, pogotowia ratunkowego, policji). Wynika to m.in. z tego, że wymagania prawne dotyczące zabezpieczania imprez masowych coraz częściej obejmują konieczność posiadania przez służby ratunkowe i mundurowe środków łączności bezprzewodowej (1–3). Radiotelefony – dzięki transmisji emitowanego z anteny pola elektromagnetycznego o częstotliwościach radiowych (tzw. promieniowania radiofalowego, najczęściej o częstotliwościach z pasma 150–450 MHz) – zapewniają taką łączność podczas imprez masowych i innych działań rutynowych.

Systemami łączności bezprzewodowej najczęściej wykorzystywanymi przez służby ratunkowe i mundurowe w Polsce są system łączności konwencjonalnej i system łączności trunkingowej. Odróżniającym je czynnikiem jest przede wszystkim modulacja sygnału i pasmo częstotliwości emitowanego pola elektromagnetycznego. Analogowy system konwencjonalny wykorzystuje pasmo 147–174 MHz i spotykany jest praktycznie w każdej jednostce organizacyjnej służb, bez względu na obszar działania. Jest to system umożliwiający tylko nawiązywanie połączeń głosowych. Z kolei system trunkingowy, pracujący w paśmie 380–450 MHz, jest systemem cyfrowym, który oprócz połączeń głosowych umożliwia również przesyłanie danych, np. wiadomości tekstowych. Jest to system spotykany głównie w dużych aglomeracjach miejskich, w których konieczna jest większa liczba interwencji.

Ponadto służby ratunkowe i mundurowe wykorzystują cyfrowe systemy telefonii komórkowej, takie jak

GSM 900 (global system for mobile communications) pracujący w paśmie 880–960 MHz, DCS 1800 (digital communication system) pracujący w paśmie 1710–1880 MHz oraz UMTS (universal mobile telecommunications system), który obejmuje pasmo częstotliwości 1920–2170 MHz. Systemy te są ogólnodostępne, a za ich funkcjonowanie odpowiadają komercyjni operatorzy.

W systemach łączności trunkingowej oraz GSM 900 i DCS 1800 do połączeń głosowych wykorzystywana jest cyfrowa technika transmisji, która polega na korzystaniu ze wspólnej częstotliwości przy wielodostępie do kanału łączności z podziałem czasowym (time division multiple access – TDMA), tzn. podział czasu łączności na przedziały (szczeliny) czasowe, które przypisane są różnym użytkownikom i dostęp do nich przekazywany jest cyklicznie między kolejnymi użytkownikami. W rezultacie emitowane pola elektromagnetyczne jest kluczowane (modulowane) – emisja cykliczna możliwa jest tylko w przydzielonych danemu użytkownikowi przedziałach czasu. Uśredniona w czasie moc emitowana przez cyfrowe urządzenie nadawcze stanowi więc odpowiednio 1/4 (system trunkingowy) i 1/8 (GSM, DCS) maksymalnej emitowanej mocy.

Radiotelefony dzielą się na 3 podstawowe grupy – przenośne, przewoźne i stacjonarne. W przypadku radiotelefonów przenośnych trunkingowych maksymalna emitowana moc wynosi 1 W dla trybu LOW (tj. o niskiej emitowanej mocy wyjściowej) oraz 4 W dla trybu HIGH (tj. o wysokiej emitowanej mocy wyjściowej). Z kolei dla urządzeń GSM 900 wynosi ona najczęściej 2 W (4. klasa emitowanej mocy), a dla DCS 1800 – najczęściej 1 W (1. klasa emitowanej mocy). W systemie UMTS stosuje się sygnał ciągły, najczęściej o mocy 0,25 W lub 0,125 W (3. lub 4. klasa emitowanej mocy). W analogowym systemie konwencjonalnym stosowana jest ciągła emisja mocy, o poziomie 1 W dla trybu LOW i 4 W dla trybu HIGH. Użytkownik radiotelefonu przenośnego może mieć możliwość ręcznej zmiany trybu emitowanej mocy, jeśli nie została ona zablokowana przez obsługę techniczną systemu łączności w jednostce.

Radiotelefony są więc urządzeniami znacznie różniącymi się od urządzeń ogólnodostępnych systemów telefonii komórkowej (GSM 900, DCS 1800 i UMTS). Różni je modulacja i częstotliwość emitowanego pola elektromagnetycznego, poziom emitowanej mocy, miejsce montowania anteny w terminalu (antena zewnętrzna w radiotelefonie, wewnętrzna w telefonie komórkowym) i jej typ (spiralna lub prętowa w radiotelefonie, antena paskowa w telefonie komórkowym), a ponadto bardziej zróżnicowany sposób eksploatacji niż telefonów komórkowych.

Z omówionych parametrów technicznych wynika, że radiotelefony przenośne mogą powodować znacznie silniejsze narażenie użytkowników na pola elektromagnetyczne niż ogólnodostępne telefony komórkowe. W badaniach ankietowych przeprowadzonych wśród pracowników służb ratunkowych i mundurowych jako najczęstszą (79% odpowiedzi) podano lokalizację anteny radiotelefonu przenośnego przy uchu (lokalizacja typowa również dla telefonów komórkowych). Inne to: przed twarzą, przy klatce piersiowej, ramieniu lub biodrze (2).

Opublikowane w ostatnich latach wyniki badań naukowych – szczególnie dotyczących konsekwencji wieloletniego używania telefonów komórkowych – wskazują na związek między oddziaływaniem na człowieka pól radiofalowych a występowaniem chorób nowotworowych w obrębie głowy (4,5), białaczki (6) i chłonia (7). Wskazują też na genotoksyczność takich pól oraz ich wpływ na ekspresję genów i białek w organizmie (8). Zasadne jest więc analizowanie charakterystyki zagrożeń elektromagnetycznych dotyczących użytkowników radiotelefonów. Konieczność oceny ich narażenia na pole elektromagnetyczne wynika także z wymagań prawa pracy (9–16). Poza tym anteny urządzeń łączności są zaliczane do źródeł możliwego silnego narażenia pracowników również w opracowaniach przeglądowych i normach międzynarodowych (17–19).

CEL BADAŃ

Celem prezentowanych badań była ocena zagrożeń elektromagnetycznych podczas typowego korzystania z radiotelefonów przenośnych przez pracowników służb ratunkowych i mundurowych.

MATERIAŁ I METODY

W niniejszej pracy poddano analizie tylko narażenie na pola elektromagnetyczne emitowane przez radiotelefony przenośne, ponieważ w tym przypadku podczas

połączenia wychodzącego (transmisji połączenia głosowego lub informacji cyfrowych od użytkownika radiotelefonu do odbiorców) antena urządzenia znajduje się najbliżej ciała użytkownika. Uwzględniono zróżnicowanie parametrów narażenia na pola elektromagnetyczne wynikające z korzystania z radiotelefonów różnych systemów i w różny sposób. Do oceny parametrów narażenia wykorzystano wymagania polskiego prawa pracy i opublikowanej w 2013 r. Dyrektywy Europejskiej 2013/35/UE, która dotyczy ochrony pracowników przed niepożądanym oddziaływaniem pól elektromagnetycznych (9,15).

Zagrożenia elektromagnetyczne charakteryzowane są przez natężenie pola elektrycznego (E), wyrażane w V/m, oraz natężenie pola magnetycznego (H), wyrażane w A/m. Ocenę zagrożeń w otoczeniu anten radiotelefonów przenośnych wykonano, zgodnie z wymaganiami polskiego prawa pracy i zaleceniami międzynarodowymi, wykorzystując wyniki pomiarów wartości skutecznej (root mean square – RMS) natężenia pierwotnych pól¹ elektrycznych i magnetycznych (9,13–15). Pomiary wykonano w otoczeniu anten sprawnych technicznie radiotelefonów przenośnych pracujących w różnych systemach łączności bezprzewodowej:

- w systemie konwencjonalnym:
 - 14 radiotelefonów pracujących w trybie LOW – oznaczenie trybu pracy z niską mocą wyjściową, równą 1 W (maksymalna moc chwilowa),
 - 30 radiotelefonów pracujących w trybie HIGH – oznaczenie trybu pracy z wysoką mocą wyjściową, równą 4 W (maksymalna moc chwilowa);
- w systemie trunkingowym – 6 radiotelefonów standardu EDACS (enhanced digital access communication system), które pracowały w trybie LOW lub HIGH.

Oba rodzaje urządzeń charakteryzuje brak adaptacyjnego dostosowania poziomu emitowanej mocy do warunków transmisji sygnału, stosowanego np. w telefonach komórkowych i niektórych systemach radiotelefonów. Radiotelefony pracujące w systemie konwencjonalnym emitują ciągle pola elektromagnetyczne o częstotliwości ok. 150 MHz, natomiast w systemie trunkingowym – pola kluczkowane (modulowane) o częstotliwości ok. 450 MHz.

¹ Pierwotne pole elektromagnetyczne to pole występujące na stanowisku pracownika podczas jego nieobecności w pobliżu źródła pola, w omawianym przypadku – anten radiotelefonów.

Badania i ocena pola elektromagnetycznego

Wymagania polskiego prawa pracy

Do oceny zagrożeń elektromagnetycznych stosuje się wymagania prawa pracy określone Rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy i postanowieniami PN-T-06580:2002 (9,13,14). Ekspozycja pracownika na pole elektromagnetyczne jest klasyfikowana zgodnie z tymi wymaganiami jako zawodowa, zabroniona lub pozazawodowa.

Ekspozycja zawodowa w polach emitowanych przez radiotelefony występuje wtedy, gdy pracownicy o potwierdzonym przez lekarza braku przeciwwskazań zdrowotnych do narażenia na pola elektromagnetyczne wykonują obowiązki w polach stref ochronnych (pośredniej lub zagrożenia), tj. w polach elektrycznych o natężeniu z zakresu 6,7–200 V/m, oraz polach magnetycznych o natężeniu z zakresu 0,018–0,53 A/m – przy ich częstotliwości 150 MHz lub 450 MHz. Parametrem narażenia, dotyczącym ekspozycji zawodowej, jest również wskaźnik ekspozycji – uzależniony zarówno od poziomu narażenia, jak i czasu jego trwania w ciągu dnia pracy (9,13).

W silniejszych polach mamy do czynienia z ekspozycją zabronioną ($E > 200$ V/m lub $H > 0,53$ A/m – pola strefy niebezpiecznej), a wykonywanie obowiązków w takich polach wymaga stosowania środków ochrony indywidualnej (np. kombinezonów chroniących przed oddziaływaniem pola elektromagnetycznego) (9). Zabroniona jest również ekspozycja powodująca wskaźnik ekspozycji przekraczający wartość dopuszczalną. Ekspozycja pozazawodowa to przebywanie pracownika w polach strefy bezpiecznej ($E < 6,7$ V/m i $H < 0,018$ A/m) (9,11). Zgodnie z postanowieniami PN-T-06580:2002 narażenie scharakteryzowano przez maksymalne w czasie wartości RMS natężenia pola pierwotnego, które występuje w miejscu odpowiadającym położeniu osi tułowia i głowy pracownika (13,14).

Ograniczenia narażenia pracowników na pola elektromagnetyczne, ustanowione ww. rozporządzeniem (9), mają na celu ochronę zdrowia pracowników i ich przyszłych pokoleń przed niepożądanymi skutkami występującymi w czasie oddziaływania pól, a także przed skutkami ich oddziaływania przewlekłego po wielu latach pracy.

Wymagania Dyrektywy 2013/35/UE

W Dyrektywie 2013/35/UE (15) określono tzw. interwencyjne poziomy narażenia (IPN) na pole elektryczne i magnetyczne w celu ochrony przed niepożądanymi

skutkami termicznymi w czasie oddziaływania pola. Wartości IPN dla analizowanych w niniejszej publikacji pól elektromagnetycznych o częstotliwości 150 MHz lub 450 MHz wynoszą odpowiednio²: $E = 61$ V/m i $E = 63$ V/m oraz $H = 0,16$ A/m i $H = 0,17$ A/m.

Wartości E lub H wyznaczane w celu określenia zgodności z IPN powinny być uśrednionymi w czasie 6 min wartościami RMS natężenia pierwotnego pola elektrycznego lub magnetycznego – maksymalnymi w miejscu odpowiadającym położeniu ciała pracownika (15).

Pomiary pól elektromagnetycznych

W ramach relacjonowanych badań w celu oceny narażenia pracowników na pole elektromagnetyczne w otoczeniu wspomnianych radiotelefonów przenośnych wykonano pomiary rozkładu przestrzennego natężenia pierwotnego pola elektrycznego i magnetycznego. Zastosowano szerokopasmowy miernik EMR-300 Radiation Meter (prod. Wandel & Goltermann, Niemcy) z:

- izotropową sondą pola elektrycznego typu 9.2 (zakres pomiarowy wartości RMS: 0,4–800 (1300) V/m, częstotliwość: 100 kHz – 3 GHz, niepewność standardowa: do $\pm 14\%$);
- izotropową sondą pola magnetycznego typu 10.2 (zakres pomiarowy wartości RMS: 0,02–16 A/m, częstotliwość: 27 MHz – 1 GHz, niepewność standardowa: do $\pm 14\%$).

W celu zachowania dokładności pomiarów w zakresie wynikającym z parametrów metrologicznych miernika pomiary wykonano w odległości od anten radiotelefonów nie mniejszej niż 10 cm (ze względu na konieczność zachowania odległości sondy pomiarowej od źródła pola nie mniejszej od średnicy anteny) (14).

Poprawność wskazań miernika i jego wskazania w modulowanym amplitudowo polu elektromagnetycznym zostały zbadane z wykorzystaniem laboratoryjnego źródła referencyjnego pola elektromagnetycznego (komora TEM, prod. CIOP-PIB, Polska, certyfikat akredytacji Polskiego Centrum Akredytacji AP 061). Badania wykazały, że miernik wskazuje wartość RMS pola modulowanego w polach o natężeniu $E < 100$ V/m i $H < 0,27$ A/m. W związku z tym oszacowanie wartości RMS maksymalnej w czasie trwania impulsów kluczowanego pola elektromagnetycznego, wytwarzanego przez radiotelefony systemu trunkingowego, przeprowadzono z wykorzysta-

² Wartości natężenia pola magnetycznego odpowiadające limitom IPN(B), podanym w dyrektywie 2013/35/UE odnośnie do indukcji magnetycznej odpowiednio 0,2 i 0,21 μ T, ponieważ pole magnetyczne o indukcji magnetycznej 1 μ T charakteryzuje również natężenie pola magnetycznego 0,8 A/m.

niem współczynników korekcyjnych, reprezentujących współczynnik wypełnienia³ w czasie przebiegu mierzonego pola $D = 0,25$ (ze względu na omówiony we wprowadzeniu podział czasowy emisji) (20,21).

WYNIKI

W otoczeniu anten radiotelefonów stwierdzono porównywalne rozkłady stref ochronnych pola elektrycznego i magnetycznego (określone zgodnie z wymaganiami polskiego prawa pracy), a także zasięgi pól o poziomie IPN dla pola elektrycznego i magnetycznego – określone zgodnie z wymaganiami Dyrektywy 2013/35/UE (15). Zasięgi stref ochronnych i zasięgi IPN pola

magnetycznego są mniejsze o ok. 20–40% od zasięgów pola elektrycznego. Z tego względu w dalszej części artykułu skoncentrowano się jedynie na analizie wyników pomiarów dominującego pola elektrycznego.

W tabelach 1. i 2. przedstawiono wyniki pomiarów rozkładu natężenia pola elektrycznego w funkcji odległości od zewnętrznych anten radiotelefonów (dla systemu konwencjonalnego – spiralnych, dla systemu trunkingowego – prętowych lub spiralnych). Wyniki zaprezentowano zgodnie z wymaganiami polskiego prawa pracy (tab. 1) i Dyrektywy 2013/35/UE (tab. 2).

Oceniane zgodnie z wymaganiami polskiego prawa pracy maksymalne wartości skuteczne natężenia pola elektrycznego – zmierzonego w odległości 10 cm od anten – wynosiły w przypadku systemu konwencjonalnego 106 ± 30 V/m w trybie pracy HIGH oraz 51 ± 21 V/m dla trybu pracy LOW (tab. 1). W przypadku systemu

³ Współczynnik wypełnienia sygnału D – stosunek czasu trwania impulsu do okresu jego powtarzania.

Tabela 1. Wyniki pomiarów natężenia pierwotnego pola elektrycznego w otoczeniu anten radiotelefonów przenośnych konwencjonalnego i trunkingowego systemu łączności, zaprezentowane zgodnie z wymaganiami polskiego prawa pracy (9,13,14)

Table 1. Results of measurements of unperturbed electric field strength in the vicinity of antennas of portable radiophones of conventional and trunked communication system, presented according to the Polish labor law (9,13,14)

Odległość od anteny Distance from the antenna [cm]	Natężenie pola elektrycznego w otoczeniu anteny (RMS-M) Electric field strength in the vicinity of antenna (RMS-M) (M±SD) [V/m]			
	SK-L	SK-H	ST-L	ST-H
10	51,0±21,0	106,0±30,0	74±6	136±18
20	17,0±6,0	33,0±8,0	34±6	66±10
30	9,0±3,0	17,0±5,0	22±4	42±14
40	7,0±2,0	13,0±4,0	14±2	28±8
50	5,0±2,0	10,0±3,0	12±2	24±6
60	4,0±2,0	8,0±2,0	10±2	18±6
70	3,5±1,0	6,0±2,0	8±2	12±4
80	3,0±1,0	5,0±2,0	6±2	8±2
90	2,5±0,5	4,5±1,0	5±1	7±1
100	2,0±0,5	4,0±1,0	4±1	6±1

Limity narażenia / Exposure limits:

– ekspozycja pozazawodowa / general public permissible exposure: $E < 6,7$ V/m;

– ekspozycja zawodowa / permissible occupational exposure: $6,7 < E < 200$ V/m;

– ekspozycja zabroniona / prohibited exposure: $E > 200$ V/m.

RMS-M – wartość skuteczna maksymalna w czasie / maximum in time root-mean-square value.

SK-L – system konwencjonalny, tryb pracy oznaczony LOW, tj. z maksymalną mocą wyjściową 1 W / conventional system, the mode of work labeled LOW, i.e. with maximum output power 1 W.

SK-H – system konwencjonalny, tryb pracy oznaczony HIGH, tj. z maksymalną mocą wyjściową 4 W / conventional system, the mode of work labeled HIGH, i.e. with maximum output power 4 W.

ST-L – system trunkingowy, tryb pracy oznaczony LOW, tj. z maksymalną mocą wyjściową 1 W / trunked system, the mode of work labeled LOW, i.e. with maximum output power 1 W.

ST-H – system trunkingowy, tryb pracy oznaczony HIGH, tj. z maksymalną mocą wyjściową 4 W / trunked system, the mode of work labeled HIGH, i.e. with maximum output power 4 W.

M – wartość średnia arytmetyczna wyników pomiarów wykonanych w określonej odległości od anten wszystkich radiotelefonów danego systemu i podczas określonego trybu ich pracy / mean arithmetic value in specified distance from antennas for all radiophones of particular system and mode of work.

SD – odchylenie standardowe wyników pomiarów wykonanych w określonej odległości od anten wszystkich radiotelefonów danego systemu i podczas określonego trybu ich pracy / standard deviation in specified distance from antennas for all radiophones of particular system and mode of work.

Tabela 2. Wyniki pomiarów natężenia pierwotnego pola elektrycznego w otoczeniu anteny radiotelefonów przenośnych konwencjonalnego i trunkingowego systemu łączności, zaprezentowane zgodnie z wymaganiami Dyrektywy 2013/35/UE (15)
Table 2. Results of measurements of unperturbed electric field strength in the vicinity of antenna of portable radiophones of conventional and trunked communication system, presented according to Directive 2013/35/EU (15)

Odległość od anteny Distance from the antenna [cm]	Natężenie pola elektrycznego w otoczeniu anteny (RMS-6 min) Electric field strength in the vicinity of antenna (RMS-6 min) (M±SD) [V/m]			
	SK-L**	SK-H**	ST-L**	ST-H**
5*	100	210	53	95
10	51±21	106±30	37±3	68±9
20	17±6	33±8	17±3	33±5
30	9±3	17±5	11±2	21±7
40	7±2	13±4	7±1	14±4
50	5±2	10±3	6±1	12±3

RMS-6 min – wartość skuteczna uśredniona w dowolnych 6 min, przy założeniu nieprzerwanej emisji pola elektromagnetycznego w tym czasie / root-mean-square value averaged over any 6 min, provided that electromagnetic field emission was continuing over that period.

* Dane dotyczące wartości średniej na podstawie ekstrapolacji wyników serii pomiarów w odległości 10–50 cm od anteny / Data regarding the averaged value based on extrapolation of measurement results performed in the distance of 10–50 cm from antenna.

** Interwencyjne poziomy narażenia (IPN) / Action Levels (ALs) – SK-L, SK-H = 61 V/m; ST-L, ST-H = 63 V/m.

Inne skróty jak w tabeli 1 / Other abbreviations as in Table 1.

trunkingowego maksymalne wartości skuteczne natężenia pola elektrycznego, wyznaczone w oparciu o wyniki pomiaru przy uwzględnieniu współczynnika wypełnienia sygnału ($D = 0,25$), są o ok. 45% większe od prezentowanych powyżej wartości dla systemu konwencjonalnego.

We wszystkich przypadkach w pobliżu anten występuje pole elektryczne o natężeniach odpowiadających ekspozycji zawodowej (oceniając zasięg stref na podstawie wartości średnich z prezentowanych w tabeli 1. serii pomiarów – w odległości od anten dochodzącej do ok. 45–95 cm, zależnie od trybu pracy i systemu, w jakim pracuje radiotelefon). Podkreślenia wymaga jednak, że prezentowane dane charakteryzują sprawne technicznie radiotelefony. Wyniki jednostkowych badań pól emitowanych przez uszkodzone mechanicznie radiotelefony wskazują, że przy takich urządzeniach poziom narażenia na pola elektromagnetyczne może być znacznie wyższy – nawet kilkukrotnie (16).

Ocena w oparciu o kryteria podane w Dyrektywie 2013/35/UE wskazuje na możliwość przekroczenia wartości IPN w odległości do ok. 15 cm od anten radiotelefonów, które pracują w systemie konwencjonalnym, a do ok. 10 cm od anten radiotelefonów systemu trunkingowego – w obu przypadkach pracujących w trybie pracy HIGH. Podczas pracy radiotelefonów w trybie LOW pole elektryczne przekracza poziom IPN jedynie w przypadku radiotelefonów działających w systemie konwencjonalnym – w odległości do ok. 10 cm od anten. Przy antenach

radiotelefonów pracujących w trybie LOW w systemie trunkingowym nie stwierdzono występowania pola elektrycznego przekraczającego poziom IPN – w odległości 5 cm od anten: $E < 0,85$ IPN (tab. 2).

OMÓWIENIE

Zarówno ocena wyników pomiarów zgodnie z wymaganiami polskiego prawa pracy (9,13,14), jak i Dyrektywy 2013/35/UE (15) wymaga przeanalizowania uzyskanych w wyniku pomiarów danych, które dotyczą rozkładu przestrzennego natężenia pierwotnego pola elektrycznego i magnetycznego w kontekście danych charakteryzujących odległość anteny radiotelefonu od ciała użytkownika. W oparciu o dane antropometryczne populacji dorosłych Polaków (dane odpowiadające 5-, 50- i 95-centylowemu ciału dorosłego mężczyzny lub kobiety), wyznaczono odległości anteny radiotelefonu od osi tułowia użytkownika przy różnych położeniach radiotelefonu przy ciele (22). Przy założeniu, że podczas użytkowania radiotelefonu w okolicy ucha, twarzy, biodra, klatki piersiowej lub ramienia zachowana jest stała odległość (5 cm) między anteną a powierzchnią ciała, odległość anteny od osi tułowia wynosi 12–29,5 cm.

Wykorzystując rozkłady przestrzenne natężenia pierwotnego pola elektrycznego w otoczeniu anten radiotelefonów (wartości średnie serii pomiarów ze-

stawione w tab. 1), wyznaczono natężenie pola elektrycznego w miejscu odpowiadającym położeniu osi tułowia użytkownika. Nie stwierdzono występowania pól ekspozycji zabronionej według polskich kryteriów oceny (w miejscu odpowiadającym położeniu osi ciała użytkownika radiotelefonu stwierdzono $E < 200$ V/m).

Wyniki pomiarów wskazują, że pracownicy podlegają ekspozycji zawodowej na pola strefy pośredniej lub zagrożenia – zależnie od lokalizacji radiotelefonu i trybu jego pracy. Podczas trybu pracy LOW na pracownika oddziałuje pole elektryczne o natężeniu ok. 10–65 V/m (natężenie pola pierwotnego). Podczas eksploatacji radiotelefonów w trybie pracy HIGH poziom narażenia jest ok. 2-krotnie wyższy.

Zgodnie z postanowieniami polskiego prawa pracy narażenie na pole elektryczne o natężeniu 6,7–200 V/m jest warunkowo dopuszczalne dla pracowników, u których badania lekarskie potwierdziły brak przeciwwskazań zdrowotnych do przebywania w polach elektromagnetycznych, a w ciągu dnia pracy narażenie nie spowoduje przekroczenia dopuszczalnej wartości wskaźnika ekspozycji $W = 1$ (9,13,14). Wskaźnik ekspozycji W jest definiowany jako suma wskaźników ekspozycji dla pola elektrycznego (W_E) i pola magnetycznego (W_H), wyznaczona dla jednego dnia pracy:

$$W = W_E + W_H \quad [1]$$

Sposób wyznaczania wskaźników ekspozycji na podstawie doz rzeczywistych ekspozycji pracownika jest określony w PN-T-06580-1:2002 (13).

W związku z brakiem precyzyjnych danych dotyczących rzeczywistego czasu ekspozycji pracowników nie było możliwe określenie wskaźników ekspozycji W dla warunków eksploatacji radiotelefonów objętych niniejszym badaniem. W celu rozpoznania wartości tego parametru – charakteryzującego poziom narażenia użytkowników radiotelefonów – oszacowano łączny czas połączeń wychodzących (kiedy odbywa się emisja pola elektromagnetycznego z anteny radiotelefonu) w ciągu dnia pracy, przy którym wskaźnik ekspozycji W osiąga wartość dopuszczalną.

Poziom narażenia pracownika, oceniany zgodnie z wymaganiami polskiego prawa pracy (9,13,14), w tym wskaźnik ekspozycji W , zależy od odległości osi tułowia od anteny radiotelefonu. Z tego powodu w niniejszym badaniu uwzględniono następujące – najczęściej wskazywane przez ankietowanych pracowników służb ratunkowych i mundurowych – sposoby użytkowania radiotelefonów (2):

- w okolicy ucha pracownika – 5 cm odległości anteny od ucha;
- w okolicy klatki piersiowej pracownika – 5 cm odległości anteny od najbliższej części klatki piersiowej;
- z boku tułowia na wysokości kości biodrowej – 5 cm odległości anteny od najbliższej części ciała na wysokości kości biodrowej;
- w okolicy ramienia – 5 cm odległości anteny od najbliższej części ramienia;
- przed twarzą na wysokości szczęki – 5 cm odległości anteny od najbliższej części twarzy.

W tabeli 3. zestawiono czas połączeń wychodzących w ciągu dnia pracy, przy którym wskaźnik ekspozycji pracownika (W) osiąga wartość dopuszczalną wskutek używania radiotelefonów przenośnych pracujących w trybie LOW. Przy szacowaniu W uwzględniono jednocześnie narażenie na pole elektryczne i magnetyczne, które występują przy antenie radiotelefonu. Ze względu na zbliżone zasięgi stref ochronnych obu rodzajów pól przyjęto, że wskaźnik ekspozycji dla pola magnetycznego jest równy wskaźnikowi dla pola elektrycznego.

W przypadku używania radiotelefonu w trybie pracy HIGH łączne czasy narażenia w ciągu dnia pracy (tj. łączne czasy trwania połączeń wychodzących), przy których wskaźnik ekspozycji osiąga wartość dopuszczalną, są ok. 4-krotnie krótsze od podanych w tabeli 3.

Wyniki szacunkowych obliczeń potwierdzają przekonanie autorów, że najgorsze warunki narażenia mają miejsce, kiedy radiotelefon jest trzymany w okolicy głowy (najmniejsza odległość anteny od osi ciała użytkownika). Łączny czas połączeń wychodzących w trybie LOW w ciągu dnia pracy w tych warunkach narażenia nie powinien przekraczać 28–40 min w zależności od systemu łączności, a w trybie pracy HIGH – 7–10 min. Nie stwierdzono istotnych różnic w wynikach oceny narażenia kobiet i mężczyzn użytkujących radiotelefony (spowodowanych różnicami wymiarów ciała). Inne niż przy głowie położenie radiotelefonów przy ciele użytkowników nie powinno powodować nadmiernej ekspozycji i przekroczenia wymagań przepisów krajowych.

Ze względu na omówiony zasięg pól elektromagnetycznych stref ochronnych oraz zlokalizowanie lub noszenie radiotelefonów przenośnych blisko ciała, osoby korzystające z nich służbowo powinny być zaliczane do grupy pracowników, którzy podlegają ekspozycji zawodowej na pola elektromagnetyczne. Podczas obowiązkowych wstępnych i okresowych profilaktycznych badań lekarskich takich osób powinno zostać przeprowadzone rozpoznanie, czy nie ma przeciwwskazań zdrowotnych do ich pracy w narażeniu na pola elektro-

Tabela 3. Czas połączeń wychodzących w ciągu dnia pracy, przy którym wskaźnik ekspozycji pracownika osiąga wartość dopuszczalną wskutek używania radiotelefonów przenośnych, które pracują w trybie LOW
Table 3. Duration of uplink transmission during working day, in which worker's exposure factor approaches the permissible value because of the use of portable radiophones working in LOW mode

Lokalizacja radiotelefonu – centyl ciała ludzkiego (odległość antena – oś ciała) Location of radiophone – human body percentile (distance antenna – body axis) [cm]	Łączny czas połączeń wychodzących Total duration of uplink transmission (W = 1) [min]	
	system konwencjonalny conventional communication (K / M)	system trunkingowy trunked communication (K / M)
W okolicy ucha / In the vicinity of the ear*		
5. (K: 12 / M: 12,5)	52 / 56	28 / 28
50. (K: 12,6 / M: 13)	56 / 64	28 / 32
95. (K: 13 / M: 13,5)	64 / 68	32 / 32
W okolicy twarzy / In the vicinity of the face*		
5. (K: 13,5 / M: 14)	68 / 76	32 / 32
50. (K: 14 / M: 14,5)	76 / 84	36 / 40
95. (K: 14,5 / M: 15)	84 / 96	40 / 40
W okolicy biodra / In the vicinity of the hip*		
5. (K: 20 / M: 20,5)	360 / 420	88 / 92
50. (K: 21,5 / M: 21,5)	520 / 520	108 / 108
95. (K: 23 / M: 23)	660 / 660	128 / 128
W okolicy klatki piersiowej / In the vicinity of the chest*		
5. (K: 23,5 / M: 22)	720 / 560	132 / 116
50. (K: 25 / M: 24)	880 / 800	148 / 136
95. (K: 28 / M: 28)	1180 / 1 180	180 / 180
W okolicy ramienia / In the vicinity of the arm*		
5. (K: 23 / M: 26)	660 / 960	128 / 160
50. (K: 24,5 / M: 28)	840 / 1 180	140 / 180
95. (K: 26 / M: 29,5)	960 / 1320	160 / 216

* Odległość anteny od powierzchni ciała: 5 cm / Distance between antenna and the body surface: 5 cm.

W – wskaźnik ekspozycji / exposure index.

K – kobieta / female; M – mężczyzna / male.

gnetyczne (23). Pracownicy tacy są również niewątpliwie grupą zawodową, która powinna być uwzględniona w ramach zalecanego przez Dyrektywę 2013/35/UE monitoringu odległych skutków narażenia na pola elektromagnetyczne (15).

Zgodnie z postanowieniami ww. dyrektywy i przepisów polskiego prawa pracy należy stosować profilaktyczne środki organizacyjne i techniczne, żeby ograniczać poziom i czas narażenia pracowników na pola elektromagnetyczne. Można to osiągnąć przez wykorzystywanie trybu pracy LOW radiotelefonów i skracanie rozmów. Ważny jest także nadzór nad stanem technicznym radiotelefonów, żeby uniknąć korzystania

z uszkodzonych urządzeń, w trakcie którego dochodzi do znacznie silniejszego narażenia niż omawiane w niniejszym artykule (16).

Należy wspomnieć, że zgodnie z postanowieniami artykułu 210 Kodeksu pracy pracownicy, których obowiązkiem pracowniczym jest ratowanie życia lub zdrowia ludzkiego, mogą wykonywać pracę w warunkach niespełniających wymagań prawa pracy (24). W przypadku służb mundurowych zasady bezpieczeństwa i higieny pracy są regulowane przez dotyczące ich przepisy. Na przykład w odniesieniu do funkcjonariuszy Państwowej Straży Pożarnej w zakresie nieuregulowanym przepisami szczegółowymi stosuje się Kodeks pra-

cy (25). W związku z tym, w czasie interwencji takich jak akcje ratowniczo-gaśnicze – kiedy nawet w trudnych warunkach terenowych ważny jest niezakłócony kontakt między pracownikami – korzystanie z radiotelefonu w trybie pracy HIGH (przy którym występują najsilniejsze narażenia użytkowników, a wskaźnik ekspozycji osiąga wartość dopuszczalną w stosunkowo krótkim okresie czasu) ze względu na specyfikę takich działań nie podlega ograniczeniom wynikającym z wymagań prawa pracy. Z kolei podczas wykonywania innych obowiązków należałoby zalecić ww. służbom korzystanie jedynie z trybu pracy LOW, przy którym poziom narażenia jest znacznie mniejszy. Prezentowane wyniki badań wskazują bowiem, że możliwe jest wtedy spełnienie wymagań prawa pracy dotyczących ochrony przed zagrożeniami elektromagnetycznymi (9).

Zgodnie z postanowieniami PN-T-06580-3:2002 (14), jeżeli obsługa urządzenia wymaga dotykania elementów źródła pola w strefie zagrożenia lub niebezpiecznej (dla ocenianych pól oznacza to $E > 20 \text{ V/m}$ lub $H > 0,053 \text{ A/m}$), pomiary natężenia pól elektrycznych i magnetycznych nie wystarczają do pełnej oceny ekspozycji. Uzupełniająca ocena powinna być wykonana na podstawie udokumentowanych wyników badań, obliczeń lub ekspertyz (14). Podobnie zgodnie z wymaganiami Dyrektywy 2013/35/UE (15) w razie narażenia przekraczającego poziom IPN konieczna jest bardziej szczegółowa ocena narażenia. W takim przypadku należy sprawdzić zgodność warunków narażenia z granicznymi poziomami oddziaływania (GPO).

Dla pól elektromagnetycznych o częstotliwości z omawianego zakresu limity GPO dotyczą wartości tzw. współczynnika SAR (specific energy absorption rate – współczynnik szybkości pochłaniania właściwego energii, wyrażany w W/kg). Współczynnik SAR jest parametrem charakteryzującym biofizyczne skutki ekspozycji występujące w organizmie, które mogą prowadzić do groźnych skutków zagrażających zarówno uszkodzeniem termicznym tkanek w czasie narażenia, jak i możliwymi procesami patogenezy w razie narażenia przewlekłego (4).

WNIOSKI

W otoczeniu radiotelefonów stwierdzono występowanie pola elektrycznego i magnetycznego o natężeniach ekspozycji zawodowej, czyli pola stref ochronnych (9). Maksymalny stwierdzony zasięg ekspozycji zawodowej (na podstawie wartości średnich natężenia

pola elektrycznego zmierzonego w prezentowanej serii badań) w przypadku radiotelefonów pracujących w systemie konwencjonalnym wynosił 45–65 cm od anteny, a w systemie trunkingowym – 75–95 cm. Narażenie przekraczające limity IPN podane w Dyrektywie 2013/35/UE (15) stwierdzono w odległości do ok. 15 cm od anteny radiotelefonów systemu konwencjonalnego i do ok. 10 cm od radiotelefonów systemu trunkingowego.

W celu ochrony użytkowników przed niekoniecznym podczas wykonywania obowiązków pracowniczych narażeniem na pola elektromagnetyczne, emitowane przez radiotelefony, należy zalecać korzystanie z trybu pracy LOW oraz ograniczenie użycia trybu HIGH do niezbędnego minimum w czasie interwencji prowadzonych w trudnych warunkach komunikacji radiowej. Należy też zwracać uwagę na stan techniczny urządzeń, ponieważ podczas używania uszkodzonego radiotelefonu (np. z uszkodzoną mechanicznie anteną) poziom narażenia pracowników może znacznie przekraczać poziom omawiany w niniejszej publikacji.

Niezależnie od kryterium oceny pola elektromagnetycznego w otoczeniu anteny radiotelefonu (zgodnego z wymaganiami polskiego prawa pracy lub Dyrektywy 2013/35/UE, (9,15)) konieczne jest przeprowadzenie, uzupełniającej analizę danych pomiarowych, oceny zagrożeń elektromagnetycznych z wykorzystaniem danych dotyczących współczynnika SAR w wirtualnych modelach ciała użytkowników radiotelefonów. Wyniki badań dotyczących modelowania numerycznego współczynnika SAR, które są konieczne do przeprowadzenia takiej oceny, zostaną zaprezentowane w kolejnym artykule autorów niniejszej publikacji (26).

PODZIĘKOWANIA

Autorzy dziękują pracownikom służb ratunkowych i mundurowych za pomoc przy wykonaniu relacjonowanych badań.

PIŚMIENNICTWO

1. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 6 lutego 2012 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących zabezpieczenia pod względem medycznym imprezy masowej. DzU z 2012 r. nr 0, poz. 181
2. Leszko W., Zradziński P.: Profesjonalna łączność mobilna i związane z nią zagrożenia elektromagnetyczne. Bezp. Pr. 2012;4(487):15–17
3. Wesołowski K.: Systemy radiokomunikacji ruchomej. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006

4. International Agency for Research on Cancer (IARC): Non-ionizing radiation, part 2: Radiofrequency electromagnetic fields. Volume 102. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. IARC, Lyon 2013
5. Szmigielski S., Sobiczewska E.: Ryzyko chorób nowotworowych w warunkach narażenia na pola radio- i mikrofalowe – badania epidemiologiczne. *Med. Pr.* 2009;60(5):389–398
6. Cooke R., Laing S., Swerdlow A.J.: A case-control study of risk of leukemia in relation to mobile phone use. *Br. J. Cancer* 2010;103:1729–1735, <http://dx.doi.org/10.1038/sj.bjc.6605948>
7. Hardell L., Eriksson M., Carlberg M., Sundström C., Hansson Mild K.: Use of cellular or cordless telephones and the risk for non-Hodgkin's lymphoma. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 2005;78(8):625–632, <http://dx.doi.org/10.1007/s00420-005-0003-5>
8. Gandhi G., Singh P.: Cytogenetic damage in mobile phone users: Preliminary data. *Int. J. Human Genet.* 2005;5(4):259–265
9. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Załącznik 2, Część E. Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz – 300 GHz. *DzU* z 2002 nr 217, poz. 1833
10. Karpowicz J., Gryz K.: Ograniczanie ryzyka zawodowego przy źródłach pól elektromagnetycznych – wybrane źródła pól i charakterystyka odzieży ochronnej. *Bezp. Pr.* 2009;2(449):2–5
11. Karpowicz J., Gryz K.: Pola i promieniowanie elektromagnetyczne. W: Augustyńska D., Pośniak M. [red.]. Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne 2012. CIOP-PIB, Warszawa 2012
12. Leszko W., Zradziński P.: Narażenie Funkcjonariuszy Państwowej Straży Pożarnej na pole elektromagnetyczne związane z wykorzystaniem profesjonalnych urządzeń łączności bezprzewodowej. *Bezp. Tech. Pożar.* 2013;31(3):87–96
13. PN-T-06580-1:2002. Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Część 1. Terminologia. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002
14. PN-T-06580-3:2002. Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Część 3. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2002
15. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE z dnia 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi). *DzU UE L* 179/1
16. Zradziński P., Leszko W., Karpowicz J., Gryz K.: Profilaktyka zagrożeń elektromagnetycznych związanych z użytkowaniem radiotelefonów. *Bezp. Pr.* 2013;10(505):20–23
17. Karpowicz J., Gryz K.: Ograniczanie ryzyka zawodowego przy źródłach pól elektromagnetycznych (1) – środki ochrony zbiorowej i indywidualnej. *Bezp. Pr.* 2009;1(448):6–9
18. Hansson Mild K., Alanko T., Gryz K., Hietanen M., Karpowicz J., Decat G. i wsp.: Exposure of workers to electromagnetic fields. A Review of open questions on exposure assessment techniques. *Int. J. Occup. Safety Ergon. (JOSE)* 2009;15(1):3–33
19. PN-EN 50499:2009E. Metoda oszacowania ekspozycji pracowników na pola elektromagnetyczne. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009
20. Bienkowski P., Zubrzak B.: Wytwarzanie i pomiar impulsowego i modulowanego pola elektromagnetycznego. *Przełg. Elektrotech.* 2010;86(12):17–20
21. Kubacki R., Kieliszek J., Sobiech J., Puta R.: Metrologia pól elektromagnetycznych modulowanych impulsowo miernikami diodowymi. *Med. Pr.* 2007;58(1):57–62
22. Gedliczka A.: Atlas miar człowieka. Dane do projektowania i oceny ergonomicznej. CIOP, Warszawa 2001
23. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy. *DzU* z 1996 r. nr 69, poz. 332; *DzU* z 1997 r. nr 60, poz. 375
24. Ustawa z dnia 26 czerwca 1974 r. Kodeks pracy. *DzU* z 1998 r. nr 21, poz. 94 ze zm.
25. Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o Państwowej Straży Pożarnej. *DzU* z 2009 r. nr 12, poz. 68 ze zm.
26. Zradziński P., Leszko W., Karpowicz J., Gryz K.: Ocena narażenia na pola elektromagnetyczne użytkowników przenośnych radiotelefonów, z wykorzystaniem symulacji numerycznych i w kontekście wymagań Dyrektywy 2013/35/UE. *Med. Pr.* w druku 2013;64(6)