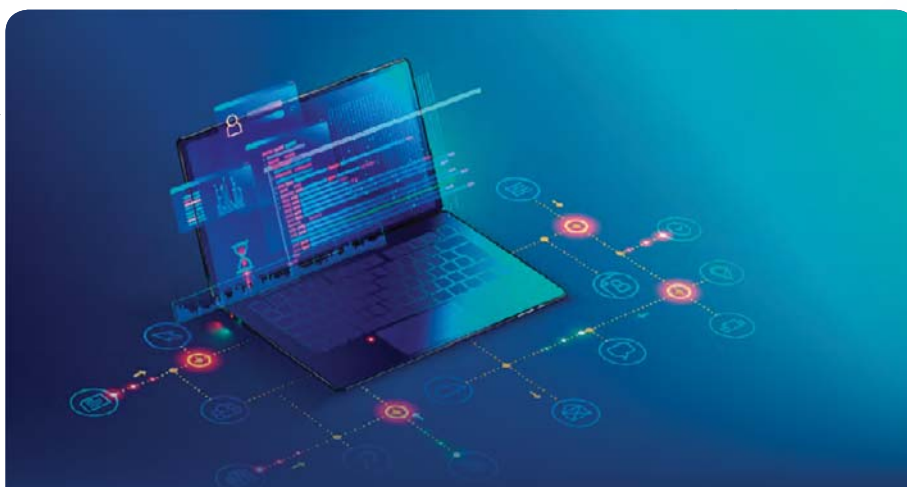


dr inż. KRZYSZTOF GRYZ
 dr inż. JOLANTA KARPOWICZ
 dr inż. PATRYK ZRADZIŃSKI
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: krgry@ciop.pl
 DOI: 10.5604/01.3001.0013.0257

Przenośne urządzenia komputerowe (laptopy) – charakterystyka pola elektromagnetycznego w ich otoczeniu

Fot. Andrey Suslov/Bigstockphoto



W artykule scharakteryzowano pole elektromagnetyczne wytwarzane przez przenośne urządzenia komputerowe. Emitują one złożone pole elektromagnetyczne, o częstotliwościach do pojedynczych GHz. Wykazano, że zagrożenia elektromagnetyczne w przestrzeni pracy podczas użytkowania urządzeń oddalonych co najmniej 20 cm od ciała operatora, nie wymagają indywidualnej oceny, aby potwierdzić zgodność poziomu ekspozycji użytkowników z wymaganiami prawa pracy. Wyniki obliczeń współczynnika SAR w modelu ciała kobiety wskazują istotnie większy poziom zagrożenia dla użytkownika laptopa trzymanego bezpośrednio przy ciele, w porównaniu z korzystaniem z urządzenia oddalonego od ciała. W ramach stosowania środków ochronnych dla ograniczenia potencjalnych zagrożeń elektromagnetycznych należy zapewnić warunki użytkowania przenośnych urządzeń komputerowych zgodnie z zaleceniami ergonomicznymi.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo i higiena pracy, urządzenia komputerowe, pole elektromagnetyczne, zagrożenia elektromagnetyczne, współczynnik SAR, zdrowie publiczne, inżynieria środowiska

Portable computer devices (laptops) – characteristic of electromagnetic field in their vicinity

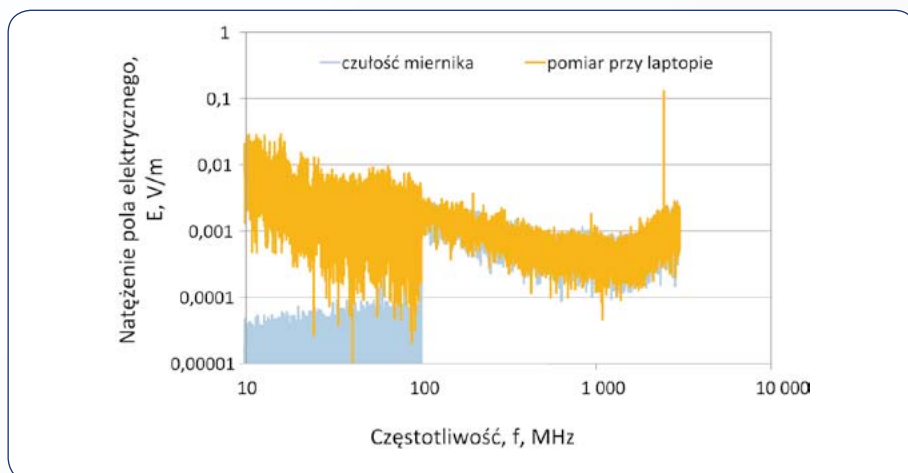
Electromagnetic field emitted by laptops, were characterised. Computer devices are sources of complex electromagnetic field of frequency till several GHz. Assessment of electromagnetic hazards in working space near above mentioned computer devices do not need individual compliance of the level of electromagnetic exposure level with the limits provided with respect to protection of workers against electromagnetic hazards – in the case of the use of devices removed at less 20 cm from body's operator. Results of numerical calculation of SAR ratio in virtual women model's shown in fact higher level of electromagnetic risk while using laptop close to the body than while using laptop in longer distance. During the use of preventive measures for limitation of possible electromagnetic risks also conditions of the use of portable computer device according to ergonomic requirements should be assured.

Keywords: occupational safety and health, computer devices, electromagnetic field, electromagnetic hazards, SAR ratio, public health, environmental engineering

Wstęp

Pole elektromagnetyczne (pole-EM) emitowane przez komputerowe urządzenia stacjonarne, takie jak monitory CRT i LCD, komputery stacjonarne (jednostki centralne – desktopy, osobiste lub serwery), komputery *All-In-One* (monitory połączone z jednostkami centralnymi) oraz współpracujące z nimi urządzenia peryferyjne, takie jak klawiatury i myszki bezprzewodowe oraz ich okablowanie sieciowe i zasilające, a także zasilacze (adapтеры AC/DC do stałoprądowego ładowania akumulatorów, zasilacze sieciowe obniżające zasilanie dla urządzeń elektronicznych, np. do 9 lub 19 V, zasilacze awaryjne – UPS), scharakteryzowano w poprzedniej publikacji [1].

Omówiono w niej wyniki przeprowadzonych badań parametrów pola-EM, emitowanego przez wspomniane urządzenia, potwierdzające, że podczas ich użytkowania poziom ekspozycji pracowników nie przekracza dolnych limitów pola-EM stref ochronnych (czyli odpowiednich do rodzaju pola-EM limitów interwencyjnych poziomów narażenia pomocniczych – IPNp). Oznacza to, że pracodawca nie jest obowiązany do wprowadzenia przy takich źródłach pola-EM środków ochronnych ze względu na zagrożenia elektromagnetyczne [2-4]. Najsilniejsze pole-EM przy wspomnianych urządzeniach stwierdzono przy zasilaczach. Pomimo tego, że jest to z reguły pole-EM strefy bezpiecznej (nieprzekraczające wspomnianych limitów IPNp, nawet bezpośrednio przy urządzeniach), dobrą praktyką jest odsuwanie zasilaczy od pracowników (lub vice-versa) o co najmniej kilkadziesiąt centymetrów. Takie postępowanie spowoduje, że wielogodzinne oddziaływanie pola-EM w miejscu pracy zostanie ograniczone możliwie maksymalnie i na stanowiskach pracy przy komputerach nie będzie odbiegało od poziomu tła, występującego w budynkach ze względu na użytkowanie tam instalacji i urządzeń elektrycznych.



Rys. 1. Widmo pola elektrycznego, z pasma częstotliwości 10 MHz – 3 GHz, zarejestrowane przy laptopie pracującym z modemem WiFi – pomiary w komorze ekranującej o skuteczności ekranowania co najmniej 70 dB (zestawienie wyników pomiarów sondami izotropowymi w pasmach częstotliwości 10-100 MHz i 100-3000 MHz, w odległości 10 cm od obudowy laptopa)

Fig. 1. Spectrum of electric field 10 MHz – 3 GHz registered near laptop with active WiFi modem – measurement in shielding room with shielding efficiency at least 70 dB (composition of isotropic measurements results in frequencies ranges 10-100 MHz and 100-3000 MHz, at distance 10 cm from laptop's housing)

Komputery stacjonarne od kilku lat są wypierane z rynku przez komputery mobilne – standardowo wyposażane w funkcję bezprzewodowego dostępu do Internetu i łączności z innymi urządzeniami. Komputery przenośne użytkowane są w znacznie bardziej zróżnicowanych warunkach niż komputery stacjonarne, m.in. użytkownik może opierać urządzenie bezpośrednio o swoje ciało lub dotykać pracujących urządzeń (nazwa „laptop” wywodzi się od określenia w języku angielskim oznaczającego komputer trzymany na kolanach/udach). Ciało użytkownika znajduje się wtedy w bardzo małej odległości od zainstalowanych w przenośnym komputerze anten łączności bezprzewodowej i innych elementów konstrukcyjnych, będących źródłami pola-EM. W przypadku profesjonalnego użytkownika przenośnego sprzętu komputerowego, oddziaływanie emitowanego przez niego pola-EM może być długotrwałe – codziennie podczas wielogodzinnego ich wykorzystania w czasie dnia pracy.

Problematyka oceny bezpieczeństwa użytkowników tego rodzaju sprzętu komputerowego jest więc aktualna, zarówno w kontekście doniesień naukowych o możliwym negatywnym oddziaływaniu na zdrowie ludzi przewlekłej ekspozycji na pole-EM, jak i wymagań prawa pracy dotyczących ochrony pracujących przed bezpośrednimi i pośrednimi zagrożeniami elektromagnetycznymi [2,4]. Ocena wspomnianych zagrożeń jest szczególnie istotna w odniesieniu do urządzeń wyposażonych w modemy łączności bezprzewodowej WiFi (*Wireless Fidelity*), emitujące pole-EM z nielicencjonowanego pasma częstotliwości ISM (*Industrial, Scientific, Medical*): najczęściej (2,40-2,48 GHz), a w nowszych urządzeniach również (5,15-5,35) GHz lub (5,47-5,73) GHz [5].

Celem artykułu jest zaprezentowanie wyników rozpoznania i oceny potencjalnych

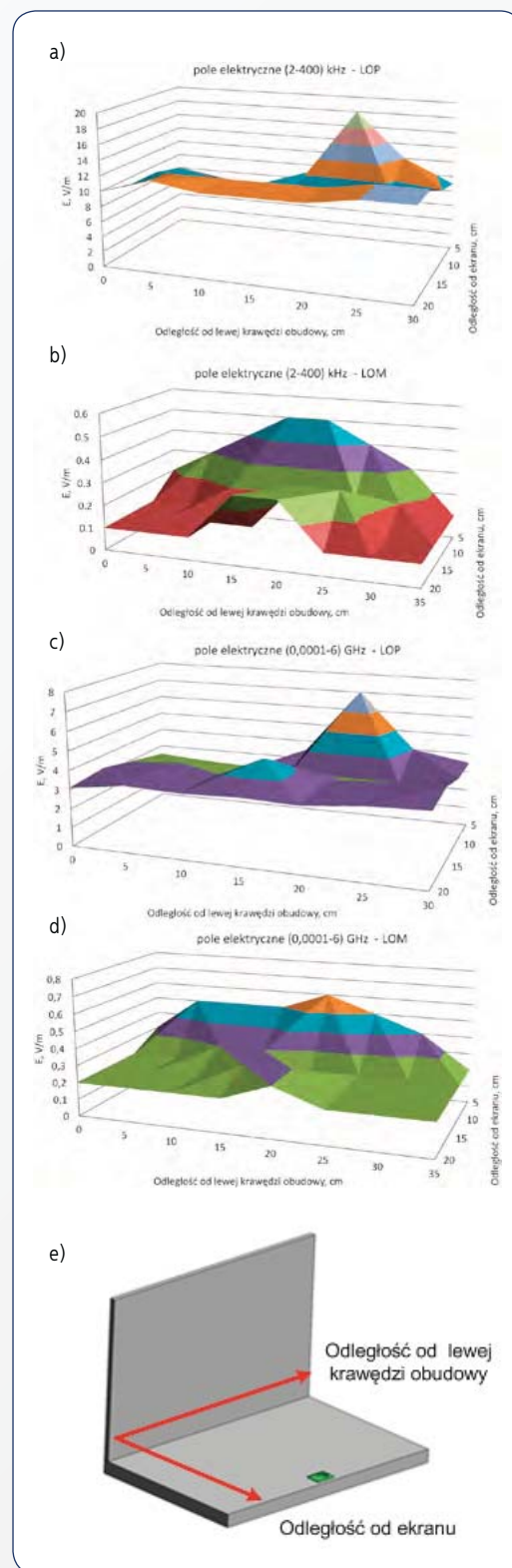
zagrożeń elektromagnetycznych związanych z użytkowaniem komputerów przenośnych (laptopy/tablety) w kontekście wymagań krajowego prawa pracy.

Pole elektromagnetyczne komputerów przenośnych

Komponenty elektroniczne przenośnego sprzętu komputerowego, ze względu na swoją różnorodność i przeznaczenie, emitują pole-EM o bardzo zróżnicowanych częstotliwościach – od pola statycznego i małych częstotliwości (związanego m.in. z funkcjonowaniem akumulatorów i zasilaczy), do kilku GHz (związanego z funkcjonowaniem procesora i wykorzystywaniem łączności bezprzewodowej przez modemy WiFi). W widmie emitowanego przez laptop pola-EM dominujące są składowe o częstotliwościach pracy modemów WiFi, a zwiększone poziomy pola-EM, występują także w pasmie częstotliwości ok. 10-100 MHz, w którym pracują układy wewnętrzne komputera i ekranu (np. interfejsy sprzętowe USB, HDMI), (rys. 1.).

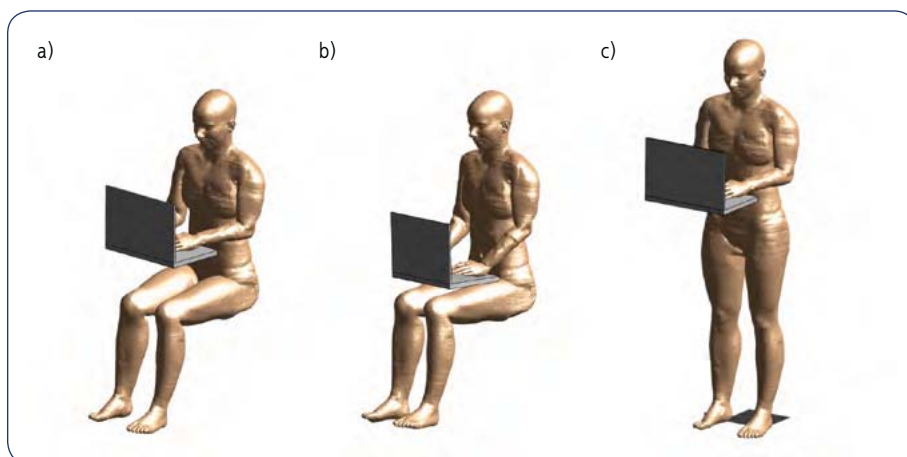
Na poziom pola-EM rozproszonego, występującego na zewnątrz obudowy urządzenia, i jego istotność przy analizowaniu poziomów ekspozycji użytkowników przenośnego sprzętu komputerowego, istotnie wpływają cechy konstrukcyjne (m.in. właściwości ekranujące obudowy i konstrukcja matrycy ekranu). W przeprowadzonych pomiarach uzyskano, sięgające 100 razy, różnice parametrów charakteryzujących poziom ekspozycji na pole-EM przy laptopie/tablecie. Pole-EM o najniższych poziomach zmierzono wokół urządzeń z metalową (bądź metalizowaną, czyli przewodzącą elektrycznie) obudową, w porównaniu z otoczeniem urządzenia w obudowie plastikowej.

Na rys. 2. przedstawiono porównanie wyników pomiarów składowej elektrycznej pola-EM



Rys. 2. Porównanie wyników pomiarów szerokopasmowych rozkładu przestrzennego natężenia pola elektrycznego z pasm częstotliwości (2-400) kHz i (0,0001-6) GHz na wysokości 5 cm nad klawiaturą laptopa i 5 cm pod obudową: a) i c) laptopa z plastikową obudową (LOP); b) i d) laptopa z metalową obudową (LOM); e) schemat kierunków pomiarowych (pomiar przy wyłączonych modułach WiFi w urządzeniach, na rysunku przedstawiano wartości maksymalne wyników pomiarów nad klawiaturą i pod obudową)

Fig. 2. Comparison of wideband measurements results of spatial distribution of electric field strength (2-400) kHz and (0,0001-6) GHz at distance 5 cm above laptop's keyboard and under housing: a) and c) laptop with plastic housing (LOP); b) and d) laptop with metallic housing (LOM); e) scheme of measurement directions (measurement with switched off WiFi modems, maximum measured values above keyboard and under housing are presented)



Rys. 3. Warunki użytkowania laptopa w modelach numerycznych scenariusza ekspozycyjnego z modelem dorosłej kobiety: a) w pozycji siedzącej, laptop na blacie, na wysokości zgięcia ręki w łokciu; b) w pozycji siedzącej, laptop na udach; c) w pozycji stojącej, laptop na blacie, na wysokości zgięcia ręki w łokciu

Fig. 3. Conditions of laptop's use in numerical models of exposure scenario with adult women body model: a) sitting position, laptop on table, at height elbow; b) sitting position, laptop on thighs; c) standing position, laptop on table, at height elbow

z pasm częstotliwości (2-400) kHz oraz (0,0001-6) GHz, zmierzonych przy laptopach o zróżnicowanej konstrukcji – obudowa plastikowa i metalizowana. Co najmniej kilkukrotne obniżenie poziomu ekspozycji użytkownika na pole-EM (zależnie od częstotliwości tego pola) uzyskuje się, dobierając urządzenie o odpowiednich rozwiązaniach konstrukcyjnych.

Prezentowane na rys. 2. wyniki pomiarów wskazują, że w trybie pracy bez aktywnych (włączonych) modułów WiFi, w otoczeniu urządzeń nie występuje ekspozycja pracujących na pole-EM, przekraczająca poziom IPNp (20 V/m w paśmie częstotliwości (2-400) kHz lub 7 V/m w paśmie częstotliwości (0,0001-6) GHz), co oznacza, że nie jest wtedy wymagane stosowanie środków ochronnych, dotyczących zagrożeń elektromagnetycznych.

Ze względu na konieczność zapewnienia jak najlepszych warunków łączności pomiędzy modelem WiFi wbudowanym w urządzenie a zewnętrznym routerem WiFi, niemożliwe jest zastosowanie ekranów elektromagnetycznych do anten modemów WiFi. Często w laptopach modemy lokalizowane są przy zewnętrznej krawędzi obudowy, obok klawiatury, w okolicach touchpada, a więc w niewielkiej odległości od użytkownika. Wyniki badań rozkładu przestrzennego pola-EM wykazały, że pole-EM (o częstotliwościach wykorzystywanych przez modemy) przekraczające limit IPNp może występować w odległości do 20 cm od umieszczonego w laptopie modemu WiFi.

W otoczeniu komputerów przenośnych zmierzono również pole-EM, emitowane przez modemy WiFi, o poziomach przekraczających poziom, przy którym przeprowadzane są badania odporności elektromagnetycznej urządzeń medycznych (tj. 3 V/m dla urządzeń funkcjonujących w środowisku profesjonalnej opieki medycznej w odległości do 30 cm od obudowy lub 10 Vm dla urządzeń funkcjonujących w śro-

dowisku domowej opieki medycznej w odległości do 10 cm, w paśmie częstotliwości (0,08-2,7 GHz), takich jak implanty aktywne (stymulatory serca, kardiowertery, implanty słuchu, pompy insulinowe itp.), [6]. W polach-EM przekraczających podane limity nie można więc wykluczyć występowania zakłóceń w funkcjonowaniu tych urządzeń.

Ocena skutków termicznych oddziaływania pola elektromagnetycznego

Ocena zagrożeń wynikających ze skutków oddziaływania pola-EM, emitowanego przez układy łączności bezprzewodowej w laptopach, może być prowadzona z wykorzystaniem wyników badań wartości współczynnika SAR, który jest miarą skutków termicznych oddziaływania pola-EM na ludzi (ogrzewania tkanek przez pochłoniętą przez nie energię pola-EM i w konsekwencji w skrajnych przypadkach możliwego ich uszkodzenia). Współczynnik SAR (określający szybkość pochłaniania energii pola-EM w jednostce masy tkanki ciała, wyrażany w W/kg) obliczany jest w symulacjach numerycznych, prowadzonych z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania i cyfrowych modeli ciała użytkownika oraz źródeł pola-EM w urządzeniach komputerowych, w stosunku do różne umiejscowionych względem ciała anten systemu łączności bezprzewodowej i samego laptopa. Taką ocenę zagrożeń elektromagnetycznych zaleca się wtedy, gdy człowiek przebywa w odległości mniejszej niż 20 cm od źródła pola-EM.

W dalszej części artykułu zaprezentowano wyniki badań własnych, charakteryzujące wpływ warunków użytkowania laptopa z włączonym modelem WiFi na poziom skutków termicznych oddziaływania pola-EM w ciele użytkownika. W badaniach wykorzystano modele komputerowe użytkownika laptopa przez kobietę (parametry antropometryczne użytego modelu ko-

biety odpowiadają parametrom 50-centylowym populacji dorosłych Polek) w 3 zróżnicowanych pozycjach (rys. 3.), [7]:

1) w pozycji siedzącej – laptop ustawiony na blacie, przed użytkowniczką, środek dłoni nad środkiem klawiatury, na wysokości zgięcia ręki w łokciu (wysokość łokciowa), tak aby możliwe było wygodne korzystanie z klawiatury – minimalna odległość laptopa od tułowia: 12 cm (wynikająca z minimalnego zasięgu dłoni (środku uchwytu) od płaszczyzny pionowej ciała, na poziomie łokcia),

2) w pozycji siedzącej – laptop oparty na udach użytkowniczki i zbliżony do tułowia, środek dłoni nad środkiem klawiatury – minimalna odległość laptopa od tułowia: 6 cm,

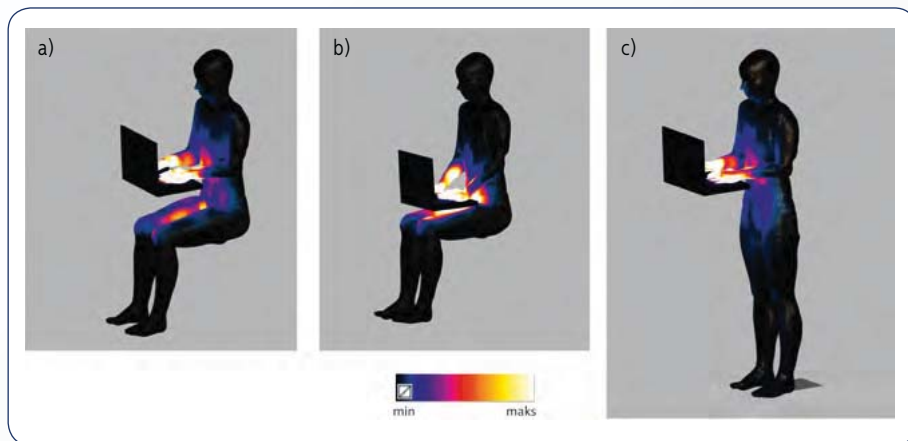
3) w pozycji stojącej – laptop ustawiony na blacie, na wysokości zgięcia ręki w łokciu (wysokość łokciowa), identycznie jak w pozycji siedzącej, scharakteryzowanej w p. 1.

Modele scenariuszy ekspozycji z p. 1 i 3 są zgodne z zaleceniami ergonomicznymi, dotyczącymi pracy z komputerami [8].

Źródłem pola-EM w laptopie była antena typu „odwrócone F” (standardowe rozwiązanie konstrukcyjne stosowane w modemach WiFi), umieszczona na środku górnej powierzchni jego obudowy, przy krawędzi najbliższej względem ciała użytkownika – typowa lokalizacja modemów WiFi w przenośnych urządzeniach komputerowych, przy której ekspozycja na pole-EM emitowane przez modem WiFi jest silniejsza niż w przypadku jego umieszczenia w innych miejscach laptopa.

Na rys. 4. przedstawiono rozkłady współczynnika SAR w modelach numerycznych scenariusza ekspozycyjnego z modelem kobiety, charakteryzującego bezpośrednie skutki oddziaływania pola-EM o częstotliwości 2,4 GHz, emitowanego przez modem WiFi, na użytkownika przenośnego sprzętu komputerowego. Największe wartości współczynnika SAR występują w częściach ciała zlokalizowanych najbliżej modemu WiFi (zależnie od warunków użytkowania w dłoniach lub udach). Na rys. 5. zestawiono wyniki obliczeń współczynnika SAR w modelu ciała kobiety. Oceniono parametry określone przez wymagania prawa pracy: SARcc – wartości uśrednione względem całego ciała; SARgt – wartości miejscowe w głowie i tułowiu, uśredniane w 10 g tkanki; SARk – wartości miejscowe w kończynach, uśredniane w 10 g, tkanki, podane oddzielnie w stosunku do nóg i rąk (ze względu na specyfikę obsługi urządzeń), w odniesieniu do których określono limity GPO (granicznych poziomów oddziaływania), [4].

Wyniki obliczeń wskazują na zdecydowanie większy poziom skutków termicznych oddziaływania pola-EM dla użytkownika laptopa trzymanego bezpośrednio przy ciele, w porównaniu do korzystania z urządzenia oddalonego od ciała (szczególnie w częściach ciała usytuowanych najbliżej modemu WiFi – ponad 10 razy większe wartości miejscowego SAR (10 g) w tułowiu, a ponad 100 razy większe w udzie).



Rys. 4. Wyniki symulacji numerycznych rozkładu współczynnika SAR w modelu dorosłej kobiety w modelach numerycznych scenariusza ekspozycyjnego: a) w pozycji siedzącej, laptop na blacie, na wysokości zgięcia ręki w łokciu; b) w pozycji siedzącej, laptop na udach; c) w pozycji stojącej, laptop na blacie, na wysokości zgięcia ręki w łokciu (największa wartość współczynnika SAR jest reprezentowana w modelu przez kolor biały)

Fig. 4. Results of numerical simulation of SAR ratio distribution in adult women body model in numerical models of exposure scenario: a) sitting position, laptop on table, at height of elbow; b) sitting position, laptop on thighs; c) standing position, laptop on table, at height of elbow (maximum SAR value is represented by white colour)

Ocena narażenia użytkowników przenośnych urządzeń komputerowych powinna uwzględniać warunki ich eksploatacji dające się racjonalnie przewidzieć, w tym umiejscowienie urządzeń bezpośrednio przy ciele, a zatem warunki odpowiadające najsilniejszym narażeniom (tzn. najgorszego przypadku ekspozycji), [9].

Kryteria oceny ekspozycji na pole-EM dla urządzeń dostępnych do publicznego użytkowania, przyjmowane są z rekomendacji europejskiej, w której podano np. limity SAR, dotyczące narażenia ogółu ludności, różniące się od limitów SAR dotyczących pracowników jedynie niższymi wartościami (dla ludności: SAR_{cc} = 0,08 W/kg, SAR_{gt} = 2 W/kg, SAR_k = 4 W/kg; dla pracowników wszystkie limity SAR zwiększone 5 razy), [10].

Ponieważ pracownicy obsługujący przenośne urządzenia komputerowe nie są objęci działaniami formalnoprawnymi, mającymi na celu indywidualną ocenę i ograniczenie zagrożeń bezpieczeństwa i zdrowia wskutek oddziaływania pola-EM, które wymagane są w stosunku do pracowników narażonych na silne pole-EM (kiedy do oceny zagrożeń stosuje się wspomniane limity GPO), w ocenie narażenia użytkowników laptopów w środowisku pracy właściwe jest użycie kryteriów dotyczących ludności (rekomendacja europejska [10]), a nie GPO określonych w rozporządzeniu Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej [4].

Przy warunkach użytkowania laptopa zgodnych z zaleceniami ergonomicznymi (ustawionym na blacie, na wysokości zgięcia ręki w łokciu i oddalonym 20 cm od tułowia), można przyjąć, że skutki termiczne oddziaływania pola-EM spełniają wymagania dotyczące limitów współczynnika SAR w odniesieniu do narażenia pracowników. Jednakże zróżnicowanie warunków użytkowania urządzeń, odbiegających od zaleceń ergonomicznych w tym zakresie, sprawia, że w innych przypadkach nie można wykluczyć przekroczenia

limitów lokalnego SAR dotyczącego narażenia ogółu ludności (przy bezpośrednim kontakcie laptopa z ciałem użytkownika), [11,12].

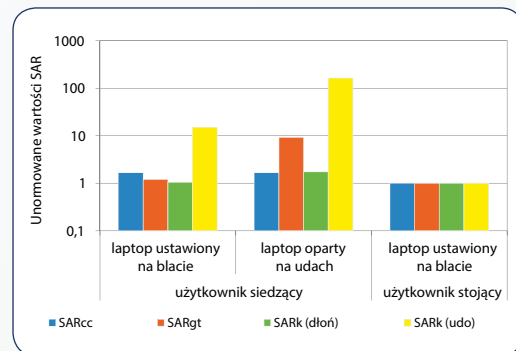
Podsumowanie

W laptopach (podobnie jak w tabletach) dominującym źródłem ekspozycji są modemy WiFi emitujące pole-EM z pasm częstotliwości: 2G (2,40-2,48 GHz) lub 5G (5,15-5,35 GHz lub 5,47-5,73 GHz) – w odległości do 20 cm od urządzeń zmierzono pole-EM przekraczającego poziom IPNp, tj. możliwe jest tam występowanie przestrzeni pola elektromagnetycznego, w której, zgodnie z prawem pracy, wymagane jest stosowanie środków ochronnych, odpowiednich do potencjalnych zagrożeń elektromagnetycznych. Pozostałe komponenty elektroniczne urządzeń emitują pole-EM słabsze (mniej istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy), a jego poziom uzależniony jest od cech konstrukcyjnych urządzeń.

Wyniki obliczeń współczynnika SAR w modelu ciała wskazują na znacznie większy poziom potencjalnych zagrożeń dla użytkownika laptopa trzymanego bezpośrednio przy ciele, niż w przypadku korzystania z urządzenia oddalonego od ciała. W ramach stosowania środków ochronnych w celu ograniczenia skutków termicznych oddziaływania pola-EM i wystąpienia potencjalnych zagrożeń elektromagnetycznych, należy zapewnić warunki użytkowania przenośnych urządzeń komputerowych zgodnie z zaleceniami ergonomicznymi w tym zakresie.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Gryz K., Karpowicz J. *Stacjonarne urządzenia komputerowe – rozpoznanie i ocena pola elektromagnetycznego w przestrzeni pracy*. „Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka” 2018, 8, 563:21-23
- [2] Karpowicz J., Gryz K. *Dostosowanie środków ochrony przed zagrożeniami elektromagnetycznymi do wymagań prawa pracy*. Poradnik. CIOP-PIB, Warszawa 2018



Rys. 5. Wyniki obliczeń wartości współczynnika SAR w modelu dorosłej kobiety w zróżnicowanych warunkach użytkowania laptopa w pozycji siedzącej i stojącej (wartości względnie odniesione do określonego współczynnika SAR obliczonego dla pozycji stojącej)

Fig. 5. Results of numerical simulation of SAR ratio distribution in adult women body model for different condition of laptop's use in sitting and standing position (normalized values related to specific SAR ratio calculated in standing position)

[3] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Załącznik 2. Część E „Pole elektromagnetyczne”. Dz.U. 2018, poz.1286

[4] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 czerwca 2016 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pola elektromagnetyczne, tj. Dz.U. 2018, poz. 331

[5] Karpowicz J., Simunic D., Gryz K. *Can electromagnetic field exposure caused by mobile communication systems in a public environment be counted as dominant?* [w:] „Mobile Communications and Public Health” pod. red. Markov M., CRC Press Taylor & Francis Group, 2018

[6] PN-EN 60601-1-2:2015 Medyczne urządzenia elektryczne – Część 1-2: Wymagania ogólne dotyczące bezpieczeństwa podstawowego oraz funkcjonowania zasadniczego – Norma uzupełniająca: Zakłócenia elektromagnetyczne – Wymagania i badania

[7] Gedliczka A. *Atlas miar człowieka. Dane do projektowania i oceny ergonomicznej*. CIOP, Warszawa 2001

[8] Kamińska J., Tokarski T. *Ergonomia pracy z komputerem – od tabletu do stanowisk z wieloma monitorami*. CIOP-PIB, Warszawa 2016

[9] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/53/UE z dnia 16 kwietnia 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich dotyczących udostępniania na rynku urządzeń radiowych i uchylająca dyrektywę 1999/5/WE Dz.Urz. Unii Europejskiej L 153/62

[10] Council of the European Union Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz), 1999/519/EC, Official Journal of the European Communities, L 199/59

[11] Guterman J., Moreira A.A., Peixero C., Rahmat-Samii Y. *Wrapped Microstrip Antennas for Laptop Computers*. „IEEE Antennas and Propagation Magazine” 2009, 4, 51:12-25

[12] Racini S.M., de Salles A., Severo S., Garzon J., Morris R., Davis D. *Simulation of psSAR associated with the use of laptop computers as a function of position in relation to the adult body*. Bioelectromagnetics Society and European Bioelectromagnetics Association. Joint Meeting, (BIOEM'2015) Abstract Collection, 14-19.06.2015, Pacific Grove, USA

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.