

dr inż. KRZYSZTOF GRYZ
 dr inż. JOLANTA KARPOWICZ
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: krgry@ciop.pl

Znaczenie pozapasmowej czułości aparatury pomiarowej przy ocenie narażenia na radiofalowe pola elektromagnetyczne w sąsiedztwie linii energetycznych wysokiego napięcia

Wstęp

Na świecie od lat prowadzone są badania naukowe, w tym epidemiologiczne, mające na celu poszerzenie wiedzy na temat mechanizmów i skutków oddziaływania pól elektromagnetycznych na organizm człowieka, a także określenie, czy urządzenia i instalacje powszechnie wykorzystywane w życiu codziennym, takie jak telefony komórkowe, elektryczne instalacje zasilające w budynkach czy elektroenergetyczne napowietrzne urządzenia przesyłowo-rozdzielcze powodują zagrożenie bezpieczeństwa i zdrowia społeczeństwa [1-3]. Z uwagi na wykazane tymi badaniami zagrożenia ludzi, wynikające z niepożądanego oddziaływania pól elektromagnetycznych na urządzenia elektroniczne i organizmy żywe, określono wymagania prawne i zalecenia dotyczące ograniczania takiego narażenia pracowników i ogółu ludności [4,5].

Począwszy od 1972 r. została w Polsce wprowadzona prawna ochrona pracowników i środowiska przed zagrożeniami elektromagnetycznymi, stopniowo dla pól z różnych zakresów częstotliwości. System identyfikacji i oceny zagrożeń, będący zasadniczym elementem tej ochrony, bazuje m.in. na badaniach pól elektromagnetycznych wykonywanych w terenie i na ocenie wyników na podstawie kryteriów zdefiniowanych wymaganiami prawnymi [4-6].

Określono również metodykę wykonywania pomiarów i oceny pól elektromagnetycznych w celu ujednolicenia sposobu ich prowadzenia i zapewnienia wymaganej miarodajności wyników: środowiska pracy dotyczącej wymagania Polskiej Normy (PN-T-06580:2002), a środowiska ogólnego – wymagania rozporządzenia Ministra Środowiska [5-7].

Miarodajność wyników wspomnianych pomiarów jest ważna, bowiem w przypadku środowiska pracy mogą one decydować np. o częstotliwości wykonywania badań okresowych czynników środowiska pracy, konieczności i zakresie modyfikacji organizacji pracy, czy o podjęciu działań technicznych w celu zmniejszenia poziomu pól działających na pracownika. W przypadku środowiska ogólnego mogą natomiast wpływać np. na decyzje administracyjne dotyczące lokalizacji instalacji emitujących pola elektromagnetyczne lub budynków mieszkalnych w ich otoczeniu [5]. Wyniki pomiarów mogą mieć zatem zarówno poważne skutki finansowe

Fot. Diro/Bigstockphoto

W artykule zaprezentowano wyniki laboratoryjnych badań pozapasmowej czułości mierników elektromagnetycznego promieniowania radiofalowego, o pasmach pomiarowych z zakresu częstotliwości 1 kHz – 38 GHz, na oddziaływanie sinusoidalnie zmiennego pola elektrycznego o częstotliwości przemysłowej 50 Hz i natężeniu z zakresu 5 – 30 kV/m. Wyniki badań przeanalizowano w kontekście wymagań ochrony pracowników i ludności przed oddziaływaniem pól elektromagnetycznych oraz charakterystyki złożonych środowiskowych pól, jakie mogą występować w otoczeniu elektroenergetycznych linii przesyłowych wysokiego napięcia.

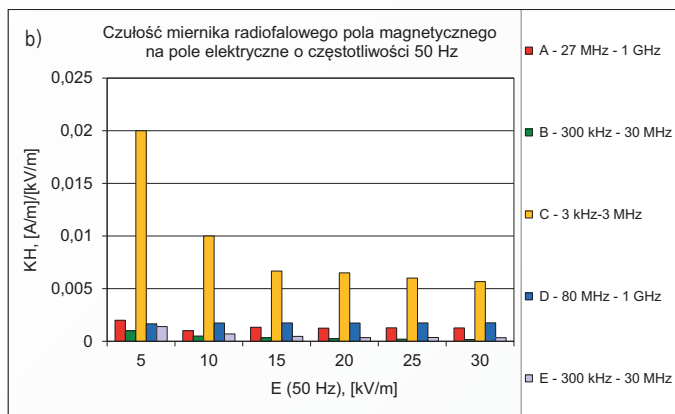
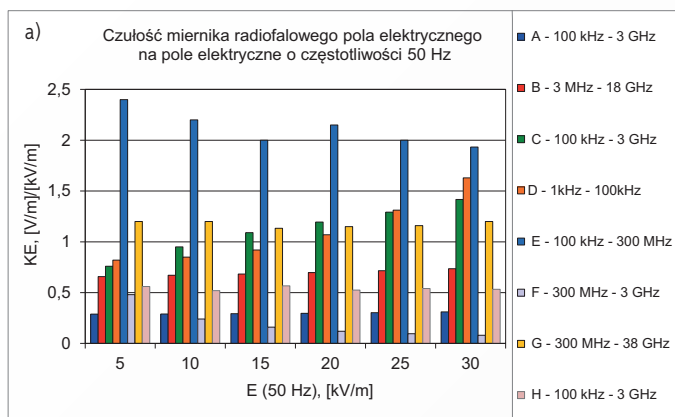
Stwierdzono, że oddziaływanie pól elektrycznych 50 Hz na mierniki radiofalowego pola elektromagnetycznego może w otoczeniu linii wysokiego napięcia spowodować nieuprawnione zidentyfikowanie radiofalowych pól elektrycznych i magnetycznych o natężeniach przekraczających dopuszczalne dla narażenia ludności. W pobliżu linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia, lub w innych miejscach narażonych na silne pola elektryczne częstotliwości przemysłowej, konieczne jest używanie tylko mierników radiofalowych o ustalonej czułości na pole elektryczne 50 Hz i rozważenie jej wpływu na wyniki pomiarów, biorąc pod uwagę poziom pola elektrycznego 50 Hz w poszczególnych miejscach.

Słowa kluczowe: miernictwo, pole elektromagnetyczne, ocena ekspozycji, pracownicy, środowisko

The role of out-of-band sensitivity of measurement devices in the assessment of exposure to radiofrequency electromagnetic fields near high voltage power lines

The following article presents results of laboratory studies of out-of-band sensitivity of radiofrequency electromagnetic radiation measurement devices, of measurement ranges from the 1 kHz – 38 GHz range, to the influence of sinusoidal time varying electric field of power frequency 50 Hz and strength 5 – 30 kV/m. Results of studies were analyzed in the context of requirements on the workers and general public protection against the influence of the electromagnetic fields and the characteristic of environmental complex fields, which may exist in the vicinity of high voltage electric power lines. It was found, that in the vicinity of high voltage electric power lines, the influence of 50 Hz electric fields on the radiofrequency electromagnetic field measurement devices may caused unjustified identification of radiofrequency electric and magnetic fields of the strength exceeding general public exposure limits. Near high voltage power lines, and in other place highly exposed to power frequency electric field, it is required to use only radiofrequency measurement devices of known response to 50 Hz electric field and to consider its influence on the measurement results based on the level of 50 Hz electric field in particular location.

Keywords: metrology, electromagnetic fields, exposure assessment, workers, environment



Rys. 1. Czułość na pole elektryczne o częstotliwości 50 Hz mierników radiofalowego pola elektrycznego (a) i magnetycznego (b)

Fig. 1. The sensitivity to the 50 Hz frequency electric field of measurement devices of radiofrequency electric (a) and magnetic (b) fields

(kiedy konieczne są działania profilaktyczne lub modyfikacja planów inwestycyjnych), jak i zdrowotne (w przypadku błędnej oceny poziomu oddziaływania pól elektromagnetycznych w ocenianym środowisku i nierozpoznanie istniejących zagrożeń elektromagnetycznych).

Do prawidłowej oceny ekspozycji konieczna jest powtarzalność, jednoznaczność i wiarygodność wyników pomiarów pól elektromagnetycznych, dotyczących wielkości reprezentujące takie cechy pól elektromagnetycznych występujących w środowisku, dla których ustalono wymagania prawne. Szczególnie niepożądane jest, aby we wspomnianym procesie oceny pól elektromagnetycznych w środowisku dochodziło, wskutek błędnej metody pomiarów lub ich niewłaściwej interpretacji, do nieujawnienia nadmiernej ekspozycji, która może być niebezpieczna dla ludzi. Jednak niewskazane jest również identyfikowanie narażeń znacznie przekraczających rzeczywisty poziom, co może prowadzić do wywołania nieuzasadnionych obaw ludzi przebywających w ocenianym środowisku i kosztów zbyt głębokich działań profilaktycznych, podjętych celem redukcji nieistniejących narażeń (tj. wykrytych wskutek błędnej interpretacji wskazań przyrządów pomiarowych lub niewłaściwego wykonania pomiarów). Kluczowe zagadnienia metrologii pól elektromagnetycznych omówiono w załączniku 1.

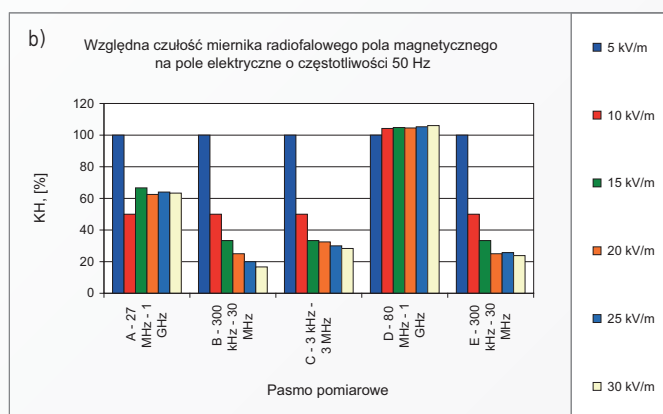
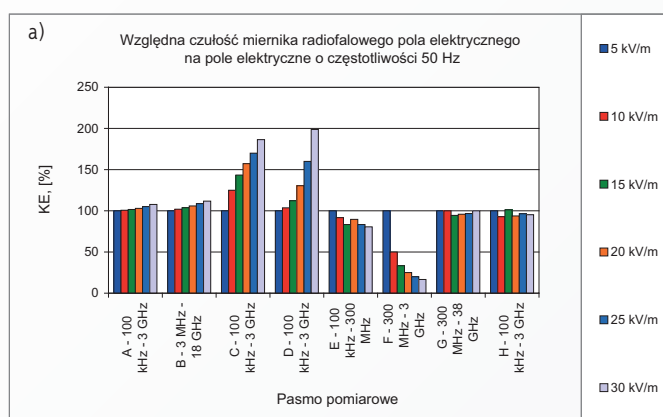
Celem prezentowanej pracy była analiza znaczenia dla procesu oceny narażeń środowiskowych, jakie ma pozapasmowa czułość mierników, przeznaczonych do pomiaru pól elektromagnetycznych o częstotliwościach radiofalowych, na oddziałujących

na nie pole elektryczne o częstotliwości przemysłowej 50 Hz. Na podstawie wyników laboratoryjnych badań metrologicznych właściwości takiej aparatury pomiarowej przeanalizowano praktyczne skutki stwierdzonej czułości pozapasmowej – przy założeniu spełnienia wymagań dotyczących ochrony ludności lub pracowników przed nadmiernym oddziaływaniem pól elektromagnetycznych.

Metoda badań

Za pasmo pomiarowe miernika przyjmuje się zwykle zakres częstotliwości, w którym względna czułość miernika zawiera się w przedziale 0,7-1,4 (czyli w skali logarytmicznej fluktuacje wskazań miernika wynoszą -/+ 3 dB). Czułość mierników pola elektromagnetycznego jest parametrem wyznaczanym we wzorcach odniesienia (odtworzone natężenie pola elektrycznego lub magnetycznego) jako stosunek wskazań miernika do natężenia oddziałującego na sondę pomiarową pola wzorcowego.

Niedostateczne zmniejszenie czułości miernika poza deklarowanym przez producenta pasmem pomiarowym może być przyczyną uzyskania dużych wskazań miernika poddanego oddziaływaniu pola o częstotliwości spoza pasma pomiarowego, nawet wtedy, gdy brak oddziaływania pól z pasma pomiarowego. Może to być źródłem poważnych błędów w ocenie poziomu narażenia, szczególnie kiedy identyfikacja charakterystyki widmowej pól elektromagnetycznych oddziałujących na ludzi jest niekompletna.



Rys. 2. Względna czułość na pole elektryczne o częstotliwości 50 Hz mierników radiofalowego pola elektrycznego (a) i magnetycznego (b)

Fig. 2. The relative sensitivity to the 50 Hz frequency electric field of measurement devices of radiofrequency electric (a) and magnetic (b) fields

Opisywane badania dotyczyły wyznaczenia czułości mierników pola elektrycznego i magnetycznego z zakresu częstotliwości radiofalowych na pola elektryczne częstotliwości przemysłowej 50 Hz, które są istotnym czynnikiem środowiskowym, występującym np. w pobliżu linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia. Badane parametry metrologiczne mierników zostały zdefiniowane następująco:

$$KE = E(RF)/E(50Hz) \quad (1)$$

$$KH = H(RF)/E(50Hz) \quad (2)$$

gdzie: KE – czułość miernika radiofalowego pola elektrycznego na pole elektryczne częstotliwości przemysłowej, KH – czułość miernika radiofalowego pola magnetycznego na pole elektryczne częstotliwości przemysłowej, E(RF) – wskazania miernika radiofalowego pola elektrycznego, H(RF) – wskazania miernika radiofalowego pola magnetycznego, E(50Hz) – natężenie pola elektrycznego o częstotliwości 50 Hz, w którym umieszczono badane mierniki.

Badania wykonano z użyciem laboratoryjnego stanowiska wytwarzającego referencyjne pole elektryczne (certyfikat akredytacji Polskiego Centrum Akredytacji nr AP 061). Sondy mierników wraz z monitorami umieszczane były w środku kondensatora powietrznego, zasilanego sinusoidalnie zmiennym napięciem o częstotliwości 50 Hz, o stabilnym i kontrolowanym napięciu. Wewnątrz kondensatora wytwarzano pole elektryczne o natężeniu 5, 10, 15, 20, 25 lub 30 kV/m. Niepewność standardowa wyznaczenia wartości natężenia pola elektrycznego w źródle wynosi 1,1%. Przy zadanych natężeniach

pola elektrycznego odczytywano wskazania badanych mierników radiofalowych pól elektrycznych lub magnetycznych.

Wykorzystane laboratoryjne warunki ekspozycji badanych mierników radiofalowych pól elektrycznych i magnetycznych odpowiadają warunkom rzeczywistym, jakie występują w sąsiedztwie linii wysokiego napięcia (WN), zarówno pod względem przebiegu zmienności pola elektrycznego w czasie, jak i zakresu jego natężeń.

Wyniki badań

Wyznaczone czułości mierników pola elektrycznego i magnetycznego na pole elektryczne o częstotliwości 50 Hz (KE i KH) zestawiono na rys. 1. W badaniach wykorzystano analogowe i cyfrowe mierniki radiofalowego pola elektromagnetycznego, z sondami o różnych zakresach częstotliwości z pasma od 1 kHz do 38 GHz. Czułość pozapasmowa zbadanych mierników znacznie się różni. Mierniki pola elektrycznego charakteryzuje czułość z przedziału $KE = 0,08 \div 2,4$ [V/m]/[kV/m], a mierników pola magnetycznego $KH = 0,0002 \div 0,02$ [A/m]/[kV/m].

Natomiast zależność wartości czułości KE i KH poszczególnych mierników od natężenia pola elektrycznego oddziałującego na nie jest znacznie mniejsza. Przyjmując za 100% czułość poszczególnych mierników zmierzoną w polu elektrycznym o natężeniu 5 kV/m, w całym zakresie pola elektrycznego 5÷30 kV/m otrzymujemy zakres względnej czułości poszczególnych mierników wynoszący: dla mierników pola elektrycznego 17÷200%, a dla mierników pola magnetycznego 17÷110% (rys. 2.).

Dyskusja

Przedmiotem dyskusji są praktyczne konsekwencje czułości mierników radiofalowego promieniowania elektromagnetycznego na pole elektryczne 50 Hz, występujące przy ocenie narażenia na pola radiofalowe w otoczeniu linii elektroenergetycznych.

Zaprezentowane wyniki badań laboratoryjnych czułości mierników radiofalowego promieniowania elektromagnetycznego na oddziałujące na nie pole elektryczne o częstotliwości przemysłowej 50 Hz, przeanalizowano w kontekście zagrożeń elektromagnetycznych, jakie występują w pobliżu linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia (WN). Analizowano też konsekwencje, jakie mogą wynikać przy ocenie narażenia ludności lub pracowników na radiofalowe promieniowanie elektromagnetyczne występujące zwykle również w otoczeniu takich linii.

W związku z zaprezentowaną w załączniku 2. charakterystyką pól elektromagnetycznych, jakie mogą występować w Polsce w otoczeniu elektroenergetycznych linii przesyłowych WN, może zachodzić konieczność zmierzenia w ich pobliżu zarówno radiofalowego pola elektrycznego, jak i pola magnetycznego. W usytuowanym na poziomie ziemi miejscu takich pomiarów może występować pole elektryczne o częstotliwości 50 Hz i natężeniu z zakresu 1÷10 kV/m. Na dachach budynków, balkonach, rusztowaniach znajdujących się w sąsiedztwie linii lub na słupach wsporczych linii pole elektryczne może być znacznie silniejsze. Mierniki promieniowania radiofalowego, o pozapasmowej czułości na pole elektryczne 50 Hz, jaką uzyskano w opisywanych badaniach, mogą wskazywać natężenia pola odpowiadające wartościom granicznym, dotyczącym narażenia ludności lub pracowników na pola radiofalowe, jeśli

Tabela. Pole elektryczne o częstotliwości 50 Hz, w którym przyrządy do pomiaru radiofalowych pól elektrycznych i magnetycznych, o pozapasmowej czułości KE i KH, jakie stwierdzono w prezentowanych badaniach, wskazują pola o wartościach granicznych dla częstotliwości radiofalowych

Table. Electric field of 50 Hz frequency, in which devices for radiofrequency electric and magnetic fields measurements, of the out-of-band sensitivity KE and KH as in presented investigations, indicate fields of the values of limits for radiofrequencies

Wartości graniczne dla poszczególnych stref ochronnych radiofalowych pól elektrycznych i magnetycznych o częstotliwości z zakresu 150 MHz – 3 GHz [4]	Natężenie pola elektrycznego o częstotliwości 50 Hz, w którym przyrządy do pomiaru pól radiofalowych wskazują wartości graniczne stref ochronnych, przy podanych wartościach czułości KE i KH $E_{50\text{Hz}}$ [kV/m]			
	KE [V/m]/[kV/m]		KH [A/m]/[kV/m]	
	Min: 0,08	Max: 2,4	Min: 0,0002	Max: 0,02
Granica między strefą bezpieczną i pośrednią: 7 V/m; 0,02 A/m	88	2,9	100	1
Granica między strefą pośrednią i zagrożenia: 20 V/m; 0,05 A/m	250	8,3	250	2,5
Granica między strefą zagrożenia i niebezpieczną: 200 V/m; 0,5 A/m	2500	83	2500	25
Rzeczywiste pole elektromagnetyczne radiofalowe z dala od źródeł pól zwykle charakteryzuje poziom: $E < 1$ V/m i $H < 0,003$ A/m W tabeli wyłuszczone wartości natężenia pola elektrycznego odpowiadające poziomom narażenia jakie mogą wystąpić w otoczeniu linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia				

w miejscu pomiarów występują pola o częstotliwości przemysłowej o natężeniach podanych w tabeli.

Przyjmując, że pomiary wykonano w miejscu, w którym natężenie radiofalowego pola elektrycznego nie przekracza 1 V/m, a natężenie radiofalowego pola magnetycznego 0,003 A/m, tj. w polach wielokrotnie poniżej granicy między strefą bezpieczną i pośrednią, wskazania mierników promieniowania radiofalowego (zafałszowane wskutek pozapasmowej czułości na pola o częstotliwości przemysłowej) mogą osiągać poziom strefy zagrożenia pola elektrycznego i nawet strefy niebezpiecznej pola magnetycznego – znacznie odbiegając od rzeczywistych poziomów pól radiofalowych (tabela).

Podsumowanie

Przeprowadzone badania laboratoryjne pozapasmowej czułości mierników elektromagnetycznego promieniowania radiofalowego, wykazały, że – w otoczeniu linii wysokiego napięcia – oddziaływanie to może spowodować błędną identyfikację radiofalowych pól elektrycznych (o natężeniach przekraczających wartości dopuszczalne dla ludności) i wskazać na nieprawdziwe występowanie tam pól radiofalowych stref ochronnych. Z tego powodu, w przypadku oceny narażenia na radiofalowe promieniowanie elektromagnetyczne w otoczeniu linii elektroenergetycznych WN (lub innych źródeł silnego pola elektrycznego małych częstotliwości, w tym przemysłowej 50 Hz) konieczne jest wykorzystywanie jedynie takich przyrządów pomiarowych, których czułość poza pasmem pomiarowym na oddziaływanie pola elektrycznego małych częstotliwości jest ustalona. W miejscach takich konieczną jest ocena obu składowych złożonego pola elektromagnetycznego (częstotliwości przemysłowej i radiofalowej) i ocena skutków oddziaływania pola elektrycznego częstotliwości przemysłowej na wskazania użytego miernika radiofalowego.

Prezentowane wyniki badań laboratoryjnych sygnalizują skalę możliwych zafałszowań w ocenie narażenia na pola radiofalowe, występujące w pobliżu linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia. Jednakże ograniczona skala przeprowadzonych badań aparatury pomiarowej nie pozwala na wnioskowanie, czy stwierdzona czułość pozapasmowa jest cechą indywidualną poszczególnych mierników, czy też cechą mierników określonego typu, a także,

czy ulega zmianom podczas wieloletniej eksploatacji mierników. W związku z tym laboratoria prowadzące badania środowiskowe w złożonych polach elektromagnetycznych, takich jak pola radiofalowe w otoczeniu linii elektroenergetycznych WN, powinny dysponować okresowo aktualizowanymi danymi na temat pozapasmowej czułości wykorzystywanych mierników. Badania takich parametrów metrologicznych powinny stanowić obowiązkowy element okresowych wzorowań aparatury pomiarowej, w ramach zapewnienia kompetencji technicznych laboratoriów badawczych.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Ahlbom A., Feychting M., Green A., Kheifets L., Savitz D., Swerdlow A. I. *ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) Standing Committee on Epidemiology. Epidemiology evidence on mobile phones and tumor risk: a review.* "Epidemiology" 2009,20,5:639-652
- [2] *Report of Executive Agency for Health and Consumers (EAHC) – Promoting Healthy Environments with a Focus on the Impact of Action on Electromagnetic Fields.* August 2010
- [3] *WHO Environmental Health Criteria 238, Extremely Low Frequency Fields (ELF).* http://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en/index.html, 2007
- [4] 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. DzU nr 217, poz. 1833 z późn. zm.
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów. DzU nr 192 poz. 1883
- [6] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 listopada 2007 r. w sprawie zakresu i sposobu prowadzenia okresowych badań poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku. DzU nr 221 poz. 1645
- [7] PN-T-06580-1:2002 Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Ark. 1. Terminologia. Ark. 3. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy (projekt II.B.15).