

Normatywne pomiary czynników szkodliwych na stanowisku pracy operatora obrabiarek sterowanych numerycznie

Streszczenie. Minimalizacja poziomu czynników szkodliwych na stanowisku pracy jest jednym z podstawowych zadań utrzymania bezpieczeństwa i higieny pracy, zarówno w zakresie ochrony zdrowia jak i komfortu pracy. Niezwykle istotne z tego punktu widzenia jest systematyczne monitorowanie poziomów czynników szkodliwych poprzez prowadzenie miarodajnych pomiarów na stanowisku pracy. Sposób przeprowadzania pomiaru hałasu i pola elektromagnetycznego PEM na stanowiskach pracy konkretnych maszyn i urządzeń jest znormalizowany, przez co pomiary różnych maszyn mogą być ze sobą porównywane. W pracy przedstawiono pomiary hałasu i PEM frezarki sterowanej numerycznie DMC 635. Wyniki pomiarów ujawniły jedynie przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu na stanowisku pracy operatora obrabiarki przy pewnych parametrach obróbki. Efektem badań środowiskowych są szczegółowe zalecenia stosowania przez operatora indywidualnych środków ochrony narządu słuchu podczas obsługi obrabiarki CNC.

Abstract. Minimizing the level of harmful factors in the workplace is one of the basic tasks in maintaining industrial safety, including health care and work comfort. In this view systematic monitoring of harmful factors level by performing reliable measurements in the workplace is crucial. The method of measuring noise and electromagnetic field (PEM) levels in the workplace of particular machines and devices is standardized so that the measurement results of different machines can be compared. This work presents the noise and PEM measurements of numerically operated DMC 635. The measurement results reveal that the permissible noise level has been exceeded in the workplace of a machine tool operator in case of certain machining parameters. Environmental tests served as the basis for a detailed set of recommendations concerning the use of personal hearing protective equipment by the operator while working with CNC machine tools. **Measurements of the level of harmful factors in the workplace of numerically operated milling machine**

Keywords: czynniki szkodliwe, pole elektromagnetyczne, hałas, obrabiarki CNC

Słowa kluczowe: harmful agents, electromagnetic fields, noise, CNC machine tools

Wprowadzenie

Czynniki szkodliwe działające na pracownika przez dłuższy okres mogą spowodować obniżenie sprawności fizycznej i psychicznej pracownika lub zmiany w stanie jego zdrowia a w konsekwencji doprowadzić do choroby zawodowej. Czynniki fizycznymi mającymi szczególnie szkodliwy wpływ na organizm człowieka są: pole elektromagnetyczne i hałas.

Obowiązująca w Polsce ochrona prawna ludzi przed promieniowaniem elektromagnetycznym (EM) została ustanowiona oddzielnie dla pracowników (osoby dorosłe, które z racji wykonywanego zawodu przebywają w zasięgu PEM i które są poinformowane o potencjalnych zagrożeniach wynikających z ekspozycji), a oddzielnie dla pozostałej części społeczeństwa zwanej populacją generalną (osoby w różnym wieku i o różnym stanie zdrowia, np.: dzieci, osoby chore, kobiety w ciąży), czyli dla środowiska. W otoczeniu źródeł PEM wyróżniono trzy strefy oddziaływania pola zw. strefami ochronnymi, w których ekspozycję pracowników charakteryzują odpowiednie dozy i wskaźnik ekspozycji: strefę ochronną niebezpieczną, zagrożenia, pośrednią i bezpieczną. Uregulowania prawne dotyczące ochrony środowiska pracy przed PEM przedstawiono w polskiej normie PN-T-06580-1: 2002. Określa ona terminy dotyczące zasad oceny ekspozycji, warunków i ochrony pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym o częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Pomiary przeprowadzono zgodnie z normą PN-T-06580-3: 2002 określającą metody pomiaru i ocenę PEM na stanowiskach pracy o częstotliwościach od 0 Hz do 300 GHz [7,10].

Aktualną sytuację formalno-prawną, dotyczącą ochrony ludności przed PEM w krajach Unii Europejskiej, przedstawia dyrektywa 2013/35/UE. Zgodnie z dyrektywą pomiarami PEM są objęte urządzenia posiadające znak bezpieczeństwa CE (frezarka sterowana numerycznie DMC 635). Oznaczenie to jest nadawane danemu produktowi przez jego producenta i stanowi deklarację, co do zgodności tego produktu z odpowiednimi dyrektywami Unii Europejskiej, które niekoniecznie mogą spełniać bardziej rygorystyczne przepisy krajowe [8].

Promieniowanie elektromagnetyczne powoduje różne dolegliwości u pracowników w zależności od natężenia pola oraz częstotliwości. W wyniku oddziaływania PEM możemy wyróżnić zarówno efekty termiczne jak i nietermiczne. Oddziaływanie pola magnetycznego na człowieka może wywołać zarówno dolegliwości obiektywne jak i subiektywne [1,7].

Hałas jest jednym z najbardziej uciążliwych czynników środowiskowych powodujących trudne do oszacowania straty w organizmie człowieka. W warunkach przemysłowych na stanowiskach roboczych każdy pracownik narażony jest na ekspozycję hałasu, niejednokrotnie przekraczającą dopuszczalne wartości. Długotrwałe przebywanie w otoczeniu wysokich poziomów dźwięku ma uciążliwy wpływ na człowieka i jego zdrowie. Wysokie poziomy dźwięku wpływają na złe samopoczucie, a w skrajnych przypadkach mogą powodować uszkodzenia słuchu. Jego ochrona jest obowiązkowa od 85dB [2,7,8]. Minimalizacja hałasu jest niezwykle istotna w przemyśle maszynowym, gdzie zapewnienie ciągłej pracy maszyn i urządzeń powoduje w wielu przypadkach potrzebę długotrwałego przebywania pracownika w warunkach narażenia na wysoki poziom hałasu. Przykładem tego są hale produkcyjne z obrabiarkami CNC. Miarodajny pomiar hałasu wywołał potrzebę opracowania procedury pomiaru emisji hałasu na stanowiskach obrabiarek CNC. Pełną procedurę pomiaru poziomu oraz mocy akustycznej hałasu emitowanego przez obrabiarki CNC przedstawiono w polskiej normie PN-ISO 230-5:2002 [4]. Norma ta zawiera podstawowe warunki przeprowadzenia pomiarów emisji oraz mocy akustycznej hałasu, sposób przeprowadzenia pomiarów, niezbędny sprzęt pomiarowy oraz procedurę opracowania wyników pomiarów.

Metodyka badań

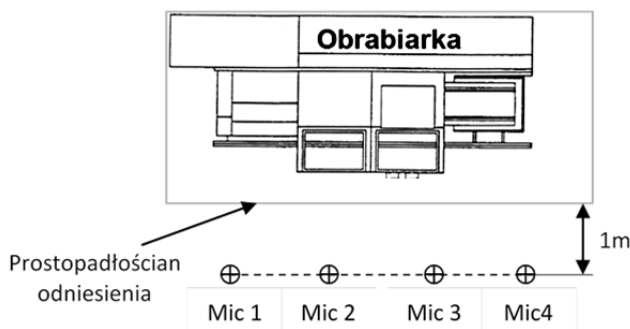
Pomiar poziomu ciśnienia akustycznego hałasu emitowanego przez obrabiarkę przeprowadzono w sposób określony w normie PN-ISO 230-5: 2002. Według tej normy podstawowymi wielkościami mierzonymi w każdym określonym położeniu mikrofonu dla każdego przedziału czasu pracy lub cyklu produkcyjnego badanej obrabiarki są:

L'_{pA} - uśredniony poziom ciśnienia akustycznego, skorygowany charakterystyką częstotliwościową A, podczas pracy badanej obrabiarki,

L_{pA} - uśredniony poziom ciśnienia akustycznego, skorygowany charakterystyką częstotliwościową A, wytworzone przez hałas tła,

L_{pCpeak} - szczytowy poziom ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową C.

Zakres badań obejmuje pomiar hałasu emitowanego przez frezarkę DMC 635eco wyposażoną w układ komputerowego sterowania numerycznego CNC.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego i rozmieszczenie punktów pomiarowych (mikrofonów)

Pomiary emisji akustycznej badanej obrabiarki przeprowadzono w pomieszczeniu o wymiarach 11,2x14,30x3,7 m z wykorzystaniem czterokanałowego miernika akustycznego Svantek 958 oraz czterech mikrofonów pomiarowych Svantek SV22 z przedwzmacniaczem Svantek SV12L. Pomiary prowadzono w czterech położeniach mikrofonu umieszczonego w odległości 1m od ścian tzw. prostopadłościanu odniesienia na wysokości 1,55m \pm 0,075m nad powierzchnią podłoża (rys. 1). Pomiary zrealizowano dla standardowego cyklu pracy badanej obrabiarki. Frezowano element aluminiowy ze zmiennymi parametrami obróbki przedstawionymi w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry obróbki zastosowane podczas pomiarów emisji hałasu przy stanowisku obrabiarki CNC

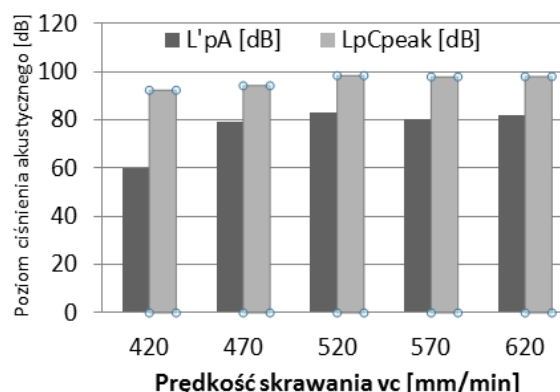
Parametry obróbki					
Głębokość skrawania a_p [mm]	1	1,5	2	2,5	3
Posuw f_z [mm/ząb]	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
Prędkość skrawania v_c [m/min]	420	470	520	570	620

Analizę wyników pomiaru przeprowadzono w aplikacji SvanPC++. Czas pomiaru wynosił 60s.

Przed pomiarami emisji hałasu obrabiarki dokonano kalibracji mikrofonów pomiarowych kalibratorem Svantek SV30A. W pierwszym etapie dokonano pomiaru poziomu hałasu tła L_{pA} . Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1. Średni poziom hałasu tła wyniósł $L_{pA}=32,76$ dB.

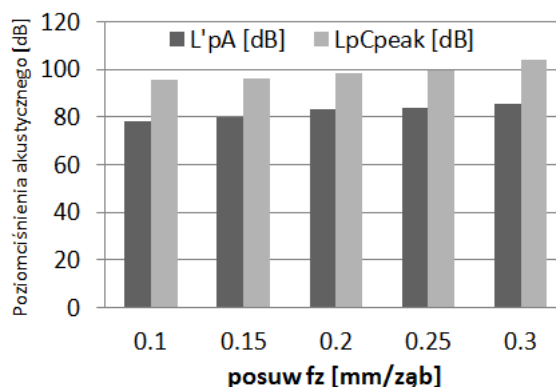
W pierwszej serii pomiarów dokonywano zmiany prędkości skrawania w zakresie $v_c = 420-620$ m/min. Posuw i głębokość skrawania była stała i wynosiła odpowiednio $f_z=0,2$ mm/ząb i $a_p=2$ mm. Maksymalne wartości poziomu hałasu wystąpiły w punkcie pomiarowym nr. 1 przy prędkości skrawania $v_c=520$ m/min.

W drugiej serii pomiarów ustalono prędkość skrawania ($v_c=520$ m/min) oraz głębokość skrawania $a_p=2$ mm. Zmianie ulegał posuw w zakresie $f_z=0,1 \div 0,3$ mm/ząb. Maksymalne wartości poziomów hałasu zanotowano w punkcie pomiarowym nr. 1 przy maksymalnej wartości posuwu $f_z=0,3$ mm/ząb.



Rys. 2. Wyniki pierwszej serii pomiarów hałasu emitowanego przez obrabiarkę jako funkcja prędkości skrawania v_c przy $f_z=0,2$ mm/ząb i $a_p=2$ mm

W trzeciej serii pomiarów ustalono prędkość skrawania $V=520$ m/min oraz posuw $f_z=0,3$ mm/ząb. Zmianie ulegała natomiast głębokość skrawania w zakresie $a_p=1 \div 3$ mm. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 4 oraz na rys. 4. Maksymalne wartości poziomów hałasu zanotowano w punkcie pomiarowym nr. 1 przy maksymalnej głębokości skrawania $a_p=3$ mm.



Rys. 3. Wyniki drugiej serii pomiarów hałasu emitowanego przez obrabiarkę, jako funkcja posuwu f przy $v_c=520$ m/min i $a_p=2$ mm

Maksymalny uśredniony poziom ciśnienia akustycznego L'_{pA} zmierzono w punkcie pomiarowym 1 dla parametrów skrawania $v_c=520$ m/min, $f_z=0,3$ mm/ząb, $a_p=3$ mm:

$$L'_{pA}=88,33 \text{ dB}$$

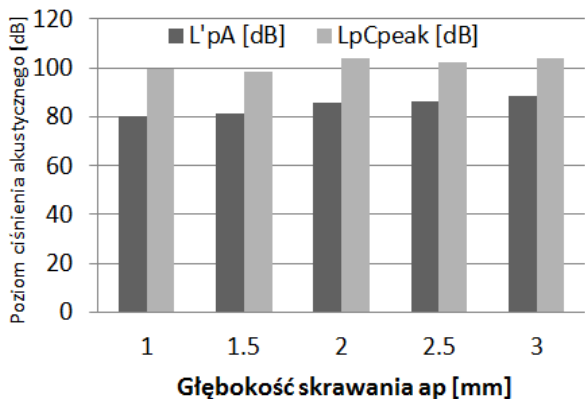
Wynik ten, zgodnie z zaleceniami normy potraktowano, jako uśredniony poziom ciśnienia akustycznego badanej obrabiarki.

W celu wyznaczenia lokalnej poprawki środowiskowej K_A dokonano pomiaru równoważnej chłonności akustycznej A metodą pogłosową. W tym celu wykorzystano dookólne źródło dźwięku i generator hałasu szerokopasmowego. Pomiar odpowiedzi pomieszczenia przeprowadzono z wykorzystaniem miernika hałasu Norsonic NOR140. Czas pogłosu pomieszczenia badawczego wyniósł $T=1,83$ s. Stąd na podstawie wzoru Sabine'a równoważna chłonność akustyczna A wyniosła (dla objętości pomieszczenia badawczego $V=592,6$ m³):

$$(1) \quad A = 0,16 \left(\frac{V}{T} \right) = 51,8 \text{ m}^2$$

Przyjmując, że $a=1$ m lokalna poprawka środowiskowa K_A dla pomieszczenia badawczego wyniosła:

$$(2) \quad K_A = 10 \log[1 + 4(2\pi a)^2 / A] = 1,72 \text{ dB}$$



Rys. 4. Wyniki trzeciej serii pomiarów hałasu emitowanego przez obrabiarkę jako funkcja głębokości skrawania a_p przy $v_c=520\text{m/min}$ i $f_z=0.3\text{mm/ząb}$

Różnica ΔL_A między zmierzonym poziomem ciśnienia akustycznego L_{pA} skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A, emitowanego przez „badaną obrabiarkę, a poziomem ciśnienia akustycznego L_{pA} hałasu tła skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A w trakcie pomiarów była większa niż 10 dB. W związku z tym poziom ciśnienia akustycznego emisji badanej obrabiarki wyniósł:

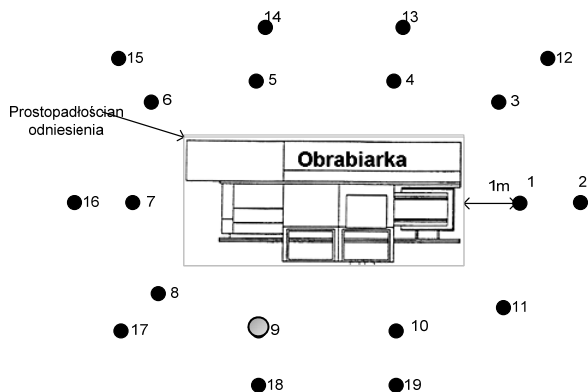
$$(3) L_{pA} = L'_{pA} - K_A = 88,33 - 1,72 = 86,61 \text{ dB}$$

Maksymalny poziom szczytowy ciśnienia akustycznego skorygowany charakterystyką częstotliwościową typu C odnotowano również w punkcie pomiarowym 1:

$$L_{pCpeak} = 103,97 \text{ dB}$$

Zgodnie z zaleceniami normy powyżej otrzymane wartości poziomów ciśnienia zaokrąglone do najbliższej całkowitej wartości traktujemy, jako wynik pomiaru $L_{pA}=87\text{dB}$, $L_{pCpeak}=104\text{dB}$.

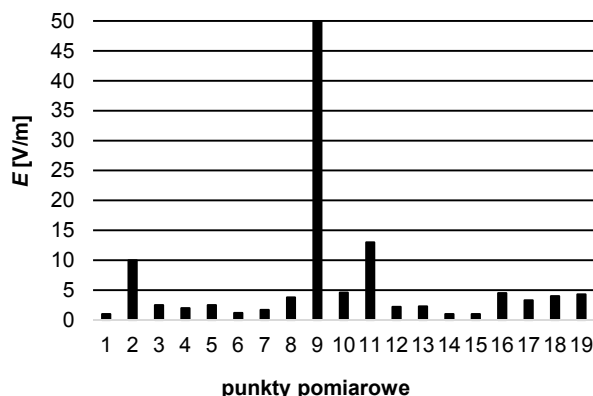
Pomiar natężenia pola elektrycznego i magnetycznego emitowanego przez obrabiarkę przeprowadzono zgodnie z normą PN-T-06580-3: 2002. Schemat stanowiska pomiarowego wraz z punktami pomiarowymi (rozstawienie miernika ESM – 100) przedstawiono na rys. 5. Pomiary wykonano miernikiem do pomiaru pola elektrycznego i magnetycznego ESM-100 firmy Maschek. Pomiary prowadzono w dwóch położeniach miernika umieszczonego w dwóch odległościach 1m oraz 2m od ścian tzw. prostopadłościanu odniesienia. Miernik był usytuowany w pionach pomiarowych na wysokościach 0,7m oraz 1,4m. tj. na wysokościach odpowiadających położeniu kończyn dolnych i klatki piersiowej dorosłej osoby.



Rys. 5. Schemat poglądowy stanowiska pomiarowego i rozmieszczenie punktów (miernika)

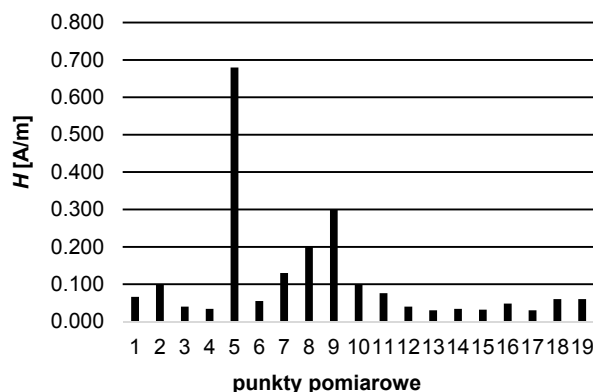
Pion pomiarowy odpowiada osi człowieka znajdującego się w danym miejscu i rozmieszczenie punktów (miernika) [3].

Zwykle w pomiarach pion stanowi linię prostopadłą do podłoża. Pion zlokalizowany w punkcie 9 znajduje się na stanowisku pracy operatora. Pozostałe pion (1-19) są pomocnicze i określają miejsca gdzie może pojawić się człowiek podczas wykonywanej pracy.



Rys.6 Wyniki pomiarów natężenia pola elektrycznego w poszczególnych punktach pomiarowych

Pomiary natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wykonano w standardowym cyklu pracy obrabiarki. Przedstawione wyniki dotyczą usytuowania miernika na wysokości 1,4m (rys.6, rys.7).



Rys.7 Wyniki pomiarów natężenia pola magnetycznego w poszczególnych punktach pomiarowych

Wartości pola elektrycznego i magnetycznego zmierzonych na wysokości 0,7m osiągają mniejsze wartości niż na wysokości 1,4m.

Maksymalna wartość natężenia pola elektrycznego wyniosła $E=50 \text{ V/m}$ a magnetycznego $H=0,68 \text{ A/m}$. Niepewność graniczna przyrządu pomiarowego w badanym zakresie wartości wynosi według instrukcji $\Delta_g E=2,5 \text{ V/m}$ oraz $\Delta_g H=0,034 \text{ A/m}$ stąd niepewności standardowe typu B wynoszą odpowiednio $U_E=1,4 \text{ V/m}$ oraz $U_H=0,02 \text{ A/m}$ [12]. Maksymalne wartości pomiarów pola elektrycznego i magnetycznego z uwzględnieniem niepewności standardowej wynosiły $E=50 (1,4)\text{V/m}$ a magnetycznego $H=0,68(0,02) \text{ A/m}$. Dopuszczalne wartości natężenia pola nie zostały przekroczone w całym pionie pomiarowym.

Wnioski

Z przeprowadzonych pomiarów emisji akustycznej badanej obrabiarki wynika, iż przy pewnych parametrach obróbki (opisanych technologicznymi parametrami skrawania) przekraczana jest norma dziennego poziomu ekspozycji na hałas na stanowisku pracy wynosząca

85dBA. Ten najwyższy poziom hałasu zarejestrowany został podczas trzeciego etapu pomiarów. Maksymalne wartości emitowanego hałasu wystąpiły przy parametrach skrawania: $a_p=3\text{mm}$, $f_z=0.3\text{mm/ząb}$ i $v_c=520\text{m/min}$ i osiągnęły wartości $L_{pA}=87\text{dB}$, $L_{pCpeak}=104\text{dB}$. Przekroczenia wartości dopuszczalnego poziomu hałasu wystąpiły w miejscu potencjalnego przebywania pracownika. W związku z tym w przypadku długotrwałego przebywania pracownika na stanowisku tego typu obrabiarki występuje potrzeba zastosowania różnego rodzaju środków redukcji hałasu np. środków ochrony indywidualnej tj. ochronników słuchu w tym nauszników lub wkładek przeciwhałasowych [2,6,7].

Natomiast poziom ekspozycji w odniesieniu do 8-godzinowego dobowego wymiaru czasu pracy obrabiarki dla częstotliwości 50Hz natężenia pola elektrycznego i magnetycznego nie przekroczył wartości normatywnych. Podczas pracy operator znajduje się poza obszarem stref ochronnych. W tym obszarze przebywanie ludzi nie podlega ograniczeniom. Wyniki pomiarów porównano również z wartościami IPN (interwencyjne poziomy narażenia) zawartymi w najnowszej dyrektywie 2013/35/UE. Wartości IPN (E) oraz IPN (H) nie są przekroczone w całym pionie pomiarowy dla częstotliwości pracy obrabiarki.

Autorzy: dr inż. Dariusz Mika, The State School of Higher Education, The Institute of Technical Sciences and Aviation, 54Pocztowa Street, 22-100 Chełm, Poland, e-mail: dmika@pwsz.chelm.pl, dr inż. Joanna Michałowska, The State School of Higher Education, The Institute of Technical Sciences and Aviation, 54Pocztowa Street, 22-100 Chełm, Poland, e-mail: jmichalowska@pwsz.chelm.pl

LITERATURA

- [1] Bieńkowski P., Zubrzak B., Wybrane aspekty oceny ekspozycji na PEM dla celów bezpieczeństwa i higieny pracy, *Medycyna Pracy*, 61(2), s. 169–172, 2010

- [2] Bryła R., Ocena ryzyka zawodowego na stanowisku obróbki skrawaniem metali, *Stal - Metale & Nowe Technologie*, 5-6/2007
- [3] Gonszc D., Analiza i pomiary pól magnetycznych w otoczeniu elektrycznych urządzeń dużej mocy, *PAK*, tom. 53 nr 12/2007,
- [4] PN-ISO 230-5:2002, Przepisy badania obrabiarek, część 5, Wyznaczenie emisji hałasu
- [5] ISO 8525:2008, Warunki pomiarów akustycznych obrabiarek
- [6] Józwiak J., Identification And Monitoring Of Noise Sources Of CNC Machine Tools By Acoustic Holography Method, *Advances in Science and Technology Research Journal*, tom 10, nr. 30, s. 127–137, 2016
- [7] Kurgan E., Gas P., Comparison of Polish and European Union Legislation On Protection Against Non-Ionizing Electromagnetic Fields, *Poznan University Of Technology Academic Journals*, nr 60, Electrical Engineering, 2009
- [8] PN-80/Z-08052, Ochrona pracy
- [9] PN-N-01307: 1994, Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów. Metody pomiaru wielkości charakteryzujących hałas w środowisku pracy.
- [9] Dyrektywa 2013/35/UE Parlamentu Europejskiego i Rady 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) (dwudziesta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG) i uchylająca dyrektywę 2004/40/WE,
- [10] PN-T-06580:2002, Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Arkusze 01. Terminologia. Arkusz 03. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy
- [11] www.ciop.pl/EMF
- [12] Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik, Warszawa, Główny Urząd Miar, 1999