

**WYKAZ WARTOŚCI NAJWYŻSZYCH DOPUSZCZALNYCH NATĘŻEŃ FIZYCZNYCH
CZYNNIKÓW SZKODLIWYCH DLA ZDROWIA W ŚRODOWISKU PRACY**

A. Hałas i hałas ultradźwiękowy

1. Hałas

- 1.1. Hałas w środowisku pracy jest charakteryzowany przez:
- a) poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy i odpowiadającą mu ekspozycję dzienną lub poziom ekspozycji na hałas odniesiony do przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w ustawie z dnia 26 czerwca 1974 r. – Kodeks pracy i odpowiadającą mu ekspozycję tygodniową (wyjątkowo w przypadku hałasu oddziałującego na organizm człowieka w sposób nierównomierny w poszczególnych dniach w tygodniu),
 - b) maksymalny poziom dźwięku A,
 - c) szczytowy poziom dźwięku C.
- 1.2. Dopuszczalne ze względu na ochronę słuchu wartości hałasu obowiązują jednocześnie i nie mogą przekraczać wartości podanych w pkt 1.3–1.5.
- 1.3. Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy nie może przekraczać 85 dB, a odpowiadająca mu ekspozycja dzienna nie może przekraczać wartości $3,64 \times 10^3 \text{ Pa}^2 \times \text{s}$ lub poziom ekspozycji na hałas odniesiony do przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w ustawie z dnia 26 czerwca 1974 r. – Kodeks pracy, nie może przekraczać wartości 85 dB, a odpowiadająca mu ekspozycja tygodniowa nie może przekraczać wartości $18,2 \times 10^3 \text{ Pa}^2 \times \text{s}$.
- 1.4. Maksymalny poziom dźwięku A nie może przekraczać wartości 115 dB.
- 1.5. Szczytowy poziom dźwięku C nie może przekraczać wartości 135 dB.
- 1.6. Wartości podane w pkt 1.3–1.5 stosuje się, jeżeli inne szczegółowe przepisy nie określają wartości niższych.
- 1.7. Definicje pojęć i metody pomiaru hałasu określają Polskie Normy.

2. Hałas ultradźwiękowy

- 2.1. Hałas ultradźwiękowy na stanowiskach pracy jest charakteryzowany przez:
- a) równoważne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych od 10 do 40 kHz odniesione do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub równoważne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych od 10 do 40 kHz odniesione do przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w ustawie z dnia 26 czerwca 1974 r. – Kodeks pracy (wyjątkowo w przypadku oddziaływania hałasu ultradźwiękowego na organizm człowieka w sposób nierównomierny w poszczególnych dniach w tygodniu),
 - b) maksymalne poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych od 10 do 40 kHz.
- 2.2. Równoważne poziomy ciśnienia akustycznego na stanowiskach pracy, odniesione do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w ustawie z dnia 26 czerwca 1974 r. – Kodeks pracy oraz maksymalny poziom ciśnienia akustycznego nie mogą przekraczać wartości podanych w tabeli 1.

Tabela 1

Częstotliwość środkowa pasm tercjowych kHz	Równoważny poziom ciśnienia akustycznego odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w ustawie z dnia 26 czerwca 1974 r. - Kodeks pracy dB	Maksymalny poziom ciśnienia akustycznego dB
10; 12,5; 16	80	100
20	90	110
25	105	125
31,5; 40	110	130

- 2.3. Wartości podane w tabeli 1 obowiązują jednocześnie.
- 2.4. Wartości podane w tabeli 1 stosuje się, jeżeli inne szczegółowe przepisy nie określają wartości niższych.
- 2.5. Definicje pojęć i metody pomiaru hałasu ultradźwiękowego określają Polskie Normy.

B. Drgania działające na organizm człowieka przez kończyny górne i drgania o ogólnym działaniu na organizm człowieka

1. Drgania działające na organizm człowieka przez kończyny górne

1.1. Drgania na stanowisku pracy działające na organizm człowieka przez kończyny górne są charakteryzowane przez:

- ekspozycję dzienną, wyrażoną w postaci równoważnej energetycznie dla 8 godzin działania sumy wektorowej skutecznych, skorygowanych częstotliwościowo przyspieszeń drgań, wyznaczonych dla trzech składowych kierunkowych (a_{hwx} , a_{hwy} , a_{hwz}),
- ekspozycję trwającą 30 minut i krócej, wyrażoną w postaci sumy wektorowej skutecznych, ważonych częstotliwościowo przyspieszeń drgań wyznaczonych dla trzech składowych kierunkowych (a_{hwx} , a_{hwy} , a_{hwz}).

1.2. Wartość ekspozycji dziennej nie może przekraczać $2,8 \text{ m/s}^2$.

1.3. Wartość ekspozycji trwającej 30 minut i krócej nie może przekraczać $11,2 \text{ m/s}^2$.

1.4. Wartości podane w pkt 1.2 i 1.3 stosuje się, jeżeli inne szczegółowe przepisy nie określają wartości niższych.

1.5. Definicje pojęć i metody pomiaru drgań działających na organizm człowieka przez kończyny górne określają Polskie Normy.

2. Drgania o ogólnym działaniu na organizm człowieka

2.1. Drgania na stanowisku pracy o ogólnym działaniu na organizm człowieka są charakteryzowane przez:

- ekspozycję dzienną, wyrażoną w postaci równoważnego energetycznie dla 8 godzin działania skutecznego, skorygowanego częstotliwościowo przyspieszenia drgań, dominującego wśród przyspieszeń drgań, wyznaczonych dla trzech składowych kierunkowych z uwzględnieniem właściwych współczynników ($1,4a_{wx}$, $1,4a_{wy}$, a_{wz}),
- ekspozycję trwającą 30 minut i krócej, wyrażoną w postaci skutecznego, ważonego częstotliwościowo przyspieszenia drgań, dominującego wśród przyspieszeń drgań, wyznaczonych dla trzech składowych kierunkowych z uwzględnieniem właściwych współczynników ($1,4a_{wx}$, $1,4a_{wy}$, a_{wz}).

2.2. Wartość ekspozycji dziennej nie może przekraczać $0,8 \text{ m/s}^2$.

2.3. Wartość ekspozycji trwającej 30 minut i krócej nie może przekraczać $3,2 \text{ m/s}^2$.

2.4. Wartości podane w pkt 2.2 i 2.3 stosuje się, jeżeli inne szczegółowe przepisy nie określają wartości niższych.

2.5. Definicje pojęć i metody pomiaru drgań o ogólnym działaniu na organizm człowieka określają Polskie Normy.

C. Mikroklimat

1. Mikroklimat gorący

1.1. Kryterium klasyfikacji środowiska termicznego do obszaru mikroklimatu gorącego jest wartość wskaźnika PMV (przewidywana ocena średnia) w zakresie powyżej $+2,0$.

1.2. Obciążenie termiczne w mikroklimacie gorącym określa się za pomocą wskaźnika WBGT wyrażonego w stopniach Celsjusza ($^{\circ}\text{C}$).

1.3. Wartości WBGT nie mogą przekraczać w ciągu 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy wartości dopuszczalnych podanych w tabeli 2.

Tabela 2

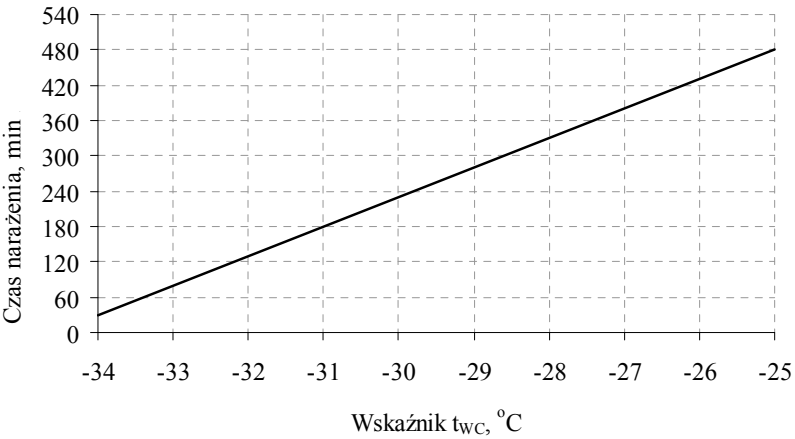
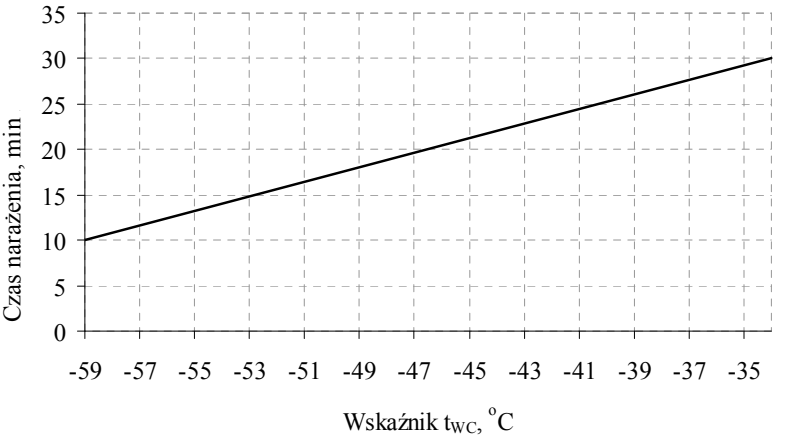
Klasa tempa metabolizmu	Tempo metabolizmu		Wartości dopuszczalne WBGT			
	Odniesienie do jednostki powierzchni skóry, W/m^2	Całkowite (przy średniej powierzchni skóry $1,8\text{m}^2$), W	Osoba zaaklimatyzowana w środowisku gorącym $^{\circ}\text{C}$		Osoba niezaaklimatyzowana w środowisku gorącym $^{\circ}\text{C}$	
0 (spoczynek)	$M \leq 65$	$M \leq 117$	33		32	
1 (praca lekka)	$65 < M \leq 130$	$117 < M \leq 234$	30		29	
2 (praca średnio ciężka)	$130 < M \leq 200$	$234 < M \leq 360$	28		26	
3 (praca ciężka)	$200 < M \leq 260$	$360 < M \leq 468$	nieodczuwalny ruch powietrza	odczuwalny ruch powietrza	nieodczuwalny ruch powietrza	odczuwalny ruch powietrza
			25	26	22	23
4 (praca bardzo ciężka)	$M > 260$	$M > 468$	23	25	18	20

1.4. Definicje pojęć i metody pomiaru mikroklimatu gorącego określają Polskie Normy.

2. Mikroklimat zimny

- 2.1. Mikroklimat zimny odnosi się do warunków środowiska termicznego, dla których wartość wskaźnika *PMV* (przewidywana ocena średnia) wynosi -2,0 lub mniej.
- 2.2. Dopuszczalne wychłodzenie ogólne organizmu określa wartość wskaźnika $IREQ_{min}$ ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$), która zależy od warunków środowiska termicznego, metabolizmu (wydatku energetycznego) oraz parametrów odzieży (izolacyjności i przepuszczalności powietrza).
- 2.3. Dopuszczalne wychłodzenie miejscowe organizmu określa wskaźnik t_{WC} ($^{\circ}C$). Wartości dopuszczalne czasu narażenia w zależności od wskaźnika t_{WC} określono w tabeli 3.

Tabela 3. Wartości dopuszczalne wskaźnika t_{WC} w zależności od czasu narażenia

Temperatura chłodzenia powietrzem t_{WC} w $^{\circ}C$	Dozwolony czas narażenia
$t_{WC} > -24$	Ekspozycja ciągła
$-24 \geq t_{WC} > -34$	Ekspozycja skrócona 
$-34 \geq t_{WC} > -59$	Ekspozycja skrócona 
$t_{WC} \leq -59$	Ekspozycja zabroniona

2.4. Definicje pojęć oraz metody pomiaru i oceny mikroklimatu zimnego określają Polskie Normy.

D. Promieniowanie optyczne

1. Promieniowanie nielaserowe

- 1.1. Maksymalna dopuszczalna ekspozycja (MDE) – poziom promieniowania, na który w normalnych warunkach pracy mogą być ekspozycjonowane osoby bez doznawania szkodliwych skutków dla zdrowia; wartości MDE wyrażane są wielkościami wymienionymi w pkt 1.4.

1.2. Wartości MDE zależą od:

- długości fali promieniowania,
- czasu trwania ekspozycji,
- rodzaju narażonego narządu (oko lub skóra),
- kąta widzenia źródła promieniowania (w przypadku MDE dla oka i promieniowania z zakresu 300-1400 nm).

1.3. Wartości MDE na nielaserowe promieniowanie optyczne określa tabela 4.

1.4. Wielkości przyjęte do określania wartości MDE:

- H_s – skuteczne napromienienie (dla oka i skóry w zakresie długości fali 180-400 nm);
 H_{UVA} – napromienienie (dla oka w zakresie długości fali 315-400 nm);
 L_B – skuteczna luminancja energetyczna (dla oka w zakresie długości fali 300-700 nm);
 E_B – skuteczne natężenie napromienienia (dla oka w zakresie długości fali 300-700 nm);
 L_R – skuteczna luminancja energetyczna (dla oka w zakresie długości fali 380-1400 nm);
 E_{IR} – natężenie napromienienia (dla oka w zakresie długości fali 780-3000 nm);
 $H_{skóra}$ – napromienienie (dla skóry w zakresie długości fali 380-3000 nm).

Definicje wyżej wymienionych pojęć oraz wzory przeliczeniowe wielkości występujących w tabeli 4 określają przepisy rozporządzenia w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne.

1.5. Określenie czasu trwania ekspozycji:

- w przypadku zagrożenia fotochemicznego (lp. 1-6 w tabeli 4) należy określić całkowity czas ekspozycji w ciągu zmiany roboczej, bez względu na długość jej trwania,
- w przypadku zagrożenia termicznego (lp. 7-15 w tabeli 4) należy określić czas jednorazowej ekspozycji.

Definicje pojęć i metody wyznaczania czasu trwania ekspozycji na promieniowanie nielaserowe określają przepisy rozporządzenia w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z ekspozycją na promieniowanie optyczne.

Tabela 4. Wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (MDE) na nielaserowe promieniowanie optyczne

Lp.	Długość fali λ [nm]	Wartości MDE	Czas ekspozycji do wyznaczenia wartości MDE t[s]	Kąt widzenia α [mrad] albo współcz. C_α [bezwymiarowy]	Narząd	Rozpatrywane zagrożenie
1	180÷400 (UVA, UVB i UVC)	$H_s = 30 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	całkowity czas ekspozycji	–	Oko (rogówka, spojówka, soczewka) Skóra	Oddziaływanie fotochemiczne
2	315 ÷ 400 (UVA)	$H_{UVA} = 10^4 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		–	Oko (soczewka)	
3	300÷700 (Światło niebieskie) ¹⁾	$L_B = \frac{10^6}{t} \text{ [W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}\text{]}$	dla $t \leq 10\ 000$ t - całkowity czas ekspozycji	$\alpha \geq 11$	Oko (siatkówka)	
4		$L_B = 100 \text{ [W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}\text{]}$	dla $t > 10\ 000$ t - całkowity czas ekspozycji			
5		$E_B = \frac{100}{t} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	dla $t \leq 10\ 000$ t - całkowity czas ekspozycji	$\alpha < 11^{2)}$		
6		$E_B = 0,01 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	dla $t > 10\ 000$ t - całkowity czas ekspozycji			

Lp.	Długość fali λ [nm]	Wartości MDE	Czas ekspozycji do wyznaczenia wartości MDE t[s]	Kąt widzenia α [mrad] albo współcz. C_α [bezwymiarowy]	Narząd	Rozpatrywane zagrożenie
7	380÷1 400 (VIS i IRA)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha} [\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}]$	dla $t > 10$ t-jednorazowy czas ekspozycji	$C_\alpha = 1,7$ dla $\alpha \leq 1,7$ $C_\alpha = \alpha$ dla $1,7 \leq \alpha \leq 100$ $C_\alpha = 100$ dla $\alpha > 100$	Oko (siatkówka)	Oddziaływanie termiczne
8		$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}} [\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}]$	dla $10^{-6} \leq t \leq 10$ t-jednorazowy czas ekspozycji			
9		$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha} [\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}]$	dla $t < 10^{-6}$ t-jednorazowy czas ekspozycji			
10	$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_\alpha} [\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}]$	dla $t > 10$ s t-jednorazowy czas ekspozycji	$C_\alpha = 11$ dla $\alpha \leq 11$ $C_\alpha = \alpha$ dla $11 \leq \alpha \leq 100$ $C_\alpha = 100$ dla $\alpha > 100$			
11	780÷1 400 (IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}} [\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}]$	dla $10^{-6} \leq t \leq 10$ t-jednorazowy czas ekspozycji	(pomiarowe pole widzenia: 11 mrad ³⁾		
12		$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha} [\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}]$	dla $t < 10^{-6}$ t-jednorazowy czas ekspozycji			
13	780÷3 000 (IRA i IRB)	$E_{IR} = 18\,000 t^{-0,75} [\text{W m}^{-2}]$	dla $t \leq 1\,000$ t-jednorazowy czas ekspozycji	-	Oko (rogówka, soczewka)	
14		$E_{IR} = 100 [\text{W m}^{-2}]$	dla $t > 1\,000$ t-jednorazowy czas ekspozycji			
15	380÷3 000 (VIS, IRA i IRB)	$H_{skóra} = 20\,000 t^{0,25} [\text{J m}^{-2}]$	dla $t < 10$ t-jednorazowy czas ekspozycji	-	Skóra	

- ¹⁾ Zakres od 300 do 700 nm obejmuje część promieniowania UVB, całe promieniowanie UVA i większość promieniowania widzialnego, jednakże związane z nim zagrożenie określa się powszechnie mianem zagrożenia „światłem niebieskim”. Światło niebieskie w wąskim znaczeniu obejmuje jedynie zakres w przybliżeniu od 400 do 490 nm.
- ²⁾ W odniesieniu do stałej obserwacji bardzo małych źródeł, których kąt widzenia < 11 mrad, można przekształcić skuteczną luminację energetyczną L_B na skuteczne natężenie napromienienia E_B . Zwykle dotyczy to jedynie sytuacji stosowania narzędzi okulistycznych lub unieruchomienia oka podczas znieczulenia. Maksymalny „czas patrzenia” oblicza się za pomocą wzoru: $t_{\max} = 100 / E_B$, gdzie E_B wyrażone jest w W m^{-2} . Ze względu na ruch oczu podczas wykonywania zwykłych zadań wzrokowych, wartość ta nie przekracza 100 s.
- ³⁾ Pomiarowe pole widzenia - kąt przestrzenny widziany przez detektor (kąt odbioru), taki jak radiometr/spektrometr, z którego detektor odbiera promieniowanie, wyrażany w steradianach [sr], którego nie należy mylić z kątem widzenia α (rozmiarem kątowym źródła obserwowanego). Do opisu kąta przestrzennego pola widzenia o symetrii kołowej stosuje się nieraz kąt płaski [mrad].

2. Promieniowanie laserowe

2.1. Maksymalna dopuszczalna ekspozycja (MDE) - poziom promieniowania laserowego, na który w normalnych warunkach pracy urządzenia laserowego mogą być ekspozycjonowane osoby bez doznawania szkodliwych skutków; wartości MDE wyrażane są jako natężenie napromienienia (E) albo napromienienie (H).

2.2. Wartości MDE zależą od:

- długości fali promieniowania laserowego,
- czasu trwania ekspozycji lub impulsu,
- rodzaju narażonego narządu (oko, skóra),
- kąta widzenia źródła promieniowania (w przypadku MDE dla oka i promieniowania z zakresu 400-1400 nm).

- 2.3. Wartości MDE dla:
- oka i skóry na promieniowanie laserowe z zakresu $180 \div 400$ nm określa tabela 5,
 - oka na promieniowanie laserowe z zakresu $400 \div 1400$ nm dla czasów trwania ekspozycji < 10 s określa tabela 6,
 - oka na promieniowanie laserowe z zakresu $400 \div 1400$ nm dla czasów trwania ekspozycji ≥ 10 s określa tabela 7,
 - skóry na promieniowanie laserowe z zakresu $400 \div 1400$ nm określa tabela 8,
 - oka i skóry na promieniowanie laserowe z zakresu $1400 \div 10^6$ nm określa tabela 9.
- 2.4. Jeżeli dla danej długości fali promieniowania laserowego istnieje więcej niż jedna wartość MDE, stosuje się wartość bardziej restrykcyjną.
- 2.5. Określenie czasu trwania ekspozycji. W zależności od analizowanego zagrożenia i trybu pracy lasera jest to: czas trwania impulsu, czas jednorazowej ekspozycji (dla zagrożenia termicznego) lub całkowity czas ekspozycji w ciągu zmiany roboczej (dla zagrożenia fotochemicznego).
- 2.6. Mierzone wartości napromienienia lub natężenia napromienienia powinny być uśredniane w kołowej aperturze ograniczającej zgodnie z aperturami ograniczającymi określonymi w tabeli 10. Definicje pojęć i metody pomiaru określają odpowiednie Polskie Normy.
- 2.7. Wartości stosowanych współczynników korekcyjnych i innych parametrów obliczeniowych określa tabela 11.
- 2.8. W przypadku źródeł laserowych emitujących promieniowanie impulsowe powtarzalne niezależnie od długości fali, należy określić wartości MDE oka i skóry dla każdego z poniższych warunków:
- zagrożenie pojedynczym impulsem: należy określić MDE na pojedynczy impuls promieniowania (MDE_{poj}). Ekspozycja na dowolny pojedynczy impuls w ciągu impulsów nie może przekraczać MDE_{poj} o tym czasie trwania impulsu,
 - zagrożenie ciągiem impulsów w czasie trwania ekspozycji: należy określić MDE na ciąg impulsów w czasie trwania ekspozycji. Ekspozycja na dowolną grupę (lub podgrupę impulsów w ciągu impulsów) dostarczonych w czasie trwania ekspozycji nie może przekraczać MDE dla tego czasu trwania ekspozycji,
 - zagrożenie termiczne ciągiem impulsów, których oddziaływanie ma charakter addytywny:
 - należy określić wartość skumulowanego termicznego współczynnika korekcyjnego $C_p = N^{-0,25}$, gdzie N oznacza liczbę impulsów w czasie trwania ekspozycji, a następnie przemnożyć przez wyznaczoną wartość MDE dla pojedynczego impulsu MDE_{poj} i do analizy przyjąć wartość wynikową nowego MDE_T
 $MDE_T = C_p \cdot MDE_{poj}$,
 - dla danej długości fali rozpatrywanego promieniowania laserowego, gdy czas trwania pojedynczego impulsu jest krótszy od czasu T_{min} określonego w tabeli 12, należy do obliczeń MDE przyjąć czas trwania impulsu równy T_{min} , natomiast gdy czas trwania pojedynczego impulsu jest dłuższy od T_{min} , należy do obliczeń przyjąć rzeczywisty czas trwania impulsu.

Tabela 5. Wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (natężenia napromienienia E lub napromienienia H) oka oraz skóry na promieniowanie laserowe z zakresu 180÷400 nm

Długość fali [nm]	Czas trwania ekspozycji t [s]													
	$10^{-13} \div 10^{-9}$	$< 2,6 \cdot 10^{-9}$	$< 1,3 \cdot 10^{-8}$	$< 1,0 \cdot 10^{-7}$	$< 6,7 \cdot 10^{-7}$	$< 4,0 \cdot 10^{-6}$	$< 2,6 \cdot 10^{-5}$	$< 1,6 \cdot 10^{-4}$	$< 1,0 \cdot 10^{-3}$	$< 4,0 \cdot 10^{-2}$	$< 2,6 \cdot 10^{-1}$	$< 1,6 \cdot 10^0$	≤ 10	$10 \div 3 \cdot 10^4$
UVC	180 ÷ 280	H = 30 [J m ⁻²]												
	280 ÷ 302													
	303													
	304													
	305													
	306													
	307													
UVB	308	E = 3 · 10 ¹⁰ [Wm ⁻²]												
	309													
	310													
	311													
	312													
	313													
	314													
315 ÷ 400	H = 5,6 · 10 ³ t ^{0,25} [J m ⁻²]													
UVA	H = 10 ⁴ [J m ⁻²]													

*) Wartości napromienienia określone dla pojedynczych impulsów laserowych. W przypadku ciągu impulsów, z których każdy charakteryzuje się czasem trwania impulsu mniejszym od T_{min} (wymienione w tabeli 12), przy wyznaczeniu MDE należy dodać wartości czasów trwania impulsów, a będącą wynikiem wartość czasu należy podstawić w miejsce t we wzorze: $5,6 \cdot 10^3 t^{0,25}$.

Tabela 6. Wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (napromienienia H) oka na promieniowanie laserowe - czas trwania ekspozycji < 10 s

Długość fali [nm]		Czas trwania ekspozycji t [s]		
		$10^{-13} \div 10^{-11}$	$10^{-9} \div 1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-5}$
Widzialne i IRA	400 ÷ 1 050	$H = 1,5 \cdot 10^{-4} C_A C_E [J m^{-2}]$	$H = 2,7 \cdot 10^4 t^{0,75} C_A C_E [J m^{-2}]$	$H = 18 \cdot t^{0,75} C_A C_E [J m^{-2}]$
	1 050 ÷ 1 400	$H = 1,5 \cdot 10^{-3} C_C C_E [J m^{-2}]$	$H = 2,7 \cdot 10^5 t^{0,75} C_C C_E [J m^{-2}]$	$H = 90 \cdot t^{0,75} C_C C_E [J m^{-2}]$
Wartości współczynników korekcyjnych C_A, C_C, C_E podano w tabeli 11.				

Tabela 7. Wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (natężenia napromienienia E lub napromienienia H) oka na promieniowanie laserowe - czas trwania ekspozycji ≥ 10 s

Długość fali [nm]		Czas trwania ekspozycji t [s]	
		$10^1 \div 10^2$	$10^2 \div 10^4$
Widzialne 400 ÷ 700 ¹⁾	400 ÷ 600 Fotochemiczne uszkodzenie siatkówki ³⁾	$H = 100 C_B [J m^{-2}]$ ($\gamma = 11$ mrad) ³⁾	$E = 1 C_B [W m^{-2}]$; ($\gamma = 4,1 t^{0,5}$ mrad) ³⁾
	400 ÷ 700 Termiczne uszkodzenie siatkówki	jeżeli $\alpha < 1,5$ mrad, to $E = 10 [W m^{-2}]$ jeżeli $\alpha > 1,5$ mrad i $t \leq T_2$, to $H = 18 C_E t^{0,75} [J m^{-2}]$ jeżeli $\alpha > 1,5$ mrad i $t > T_2$, to $E = 18 C_E T_2^{-0,25} [W m^{-2}]$	$E = 1 C_B [W m^{-2}]$ ($\gamma = 110$ mrad) ³⁾
IRA ²⁾	700 ÷ 1 400	jeżeli $\alpha < 1,5$ mrad, to $E = 10 C_A C_C [W m^{-2}]$ jeżeli $\alpha > 1,5$ mrad i $t \leq T_2$, to $H = 18 C_A C_C C_E t^{0,75} [J m^{-2}]$ jeżeli $\alpha > 1,5$ mrad i $t > T_2$, to $E = 18 C_A C_C T_2^{-0,25} [W m^{-2}]$ (maksymalnie 1 000 $W m^{-2}$)	
Wartości współczynników korekcyjnych C_A, C_B, C_C, C_E , parametru T_2 , kąta widzenia źródła promieniowania α oraz kąta odbioru γ podano w tabeli 11. <u>Uwaga:</u>			
MDE dla zagrożenia fotochemicznego siatkówki oka może być wyrażone również poprzez zintegrowaną luminancję energetyczną $G = 10^6 C_B [J m^2 sr^{-1}]$ dla $t > 10$ s do $t = 10000$ s oraz poprzez luminancję energetyczną $L = 100 C_B [W m^2 sr^{-1}]$ dla $t > 10000$ s.			

- 1) Dla małych źródeł, których kąt widzenia wynosi co najwyżej 1,5 mrad, podwójne wartości MDE od 400 nm do 600 nm ograniczają się do termicznych wartości granicznych dla $10 \text{ s} \leq t < T_1$ oraz do fotochemicznych wartości granicznych dla dłuższych czasów.
- 2) Oficjalna granica między promieniowaniem widzialnym a podczerwonym wynosi 780 nm, jak określa CIE (Międzynarodowy Komitet Oświetleniowy). Kolumna zawierająca nazwy zakresów długości fali ma jedynie zapewnić użytkownikowi lepszy ogólny przegląd.
- 3) Dla pomiaru wartości ekspozycji, uwzględnienie γ określone jest w następujący sposób: jeżeli α (kąt widzenia źródła) $> \gamma$ (stożkowy kąt ograniczający pomiarowe pole widzenia, wskazany w nawiasie w odpowiedniej kolumnie), to pomiarowe pole widzenia γ_m powinno przyjmować wartość γ . Przy użyciu większego pomiarowego pola widzenia zagrożenie byłoby przeszacowane. Jeżeli $\alpha < \gamma$, to pomiarowe pole widzenia γ_m musi być wystarczająco duże, by całkowicie obejmować źródło, ale nie jest ograniczone w żaden inny sposób i może być większe niż γ .

Tabela 8. Wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (natężenia napromienienia E lub napromienienia H) skóry na promieniowanie laserowe z zakresu 400–1400 nm

Długość fali [nm]		Czas trwania ekspozycji t [s]			
		$10^{-13} \div 10^{-9}$	$10^{-9} \div 10^{-7}$	$10^{-7} \div 10^1$	$10^1 \div 3 \cdot 10^4$
Widzialne i IRA	400 ÷ 1 400	$E = 2 \cdot 10^{11} C_A$ [W m ⁻²]	$H = 200 C_A$ [J m ⁻²]	$H = 1,1 \cdot 10^4 C_A$ $t^{0,25}$ [J m ⁻²]	$E = 2 \cdot 10^3 C_A$ [W m ⁻²]
Wartości współczynnika korekcyjnego C_A podano w tabeli 11.					

Tabela 9. Wartości maksymalnych dopuszczalnych ekspozycji (natężenia napromienienia E lub napromienienia H) oka i skóry na promieniowanie laserowe z zakresu 1400–10⁶ nm

Długość fali [nm]		Czas trwania ekspozycji t [s]				
		$10^{-13} \div 10^{-9}$	$10^{-9} \div 10^{-7}$	$10^{-7} \div 10^{-3}$	$10^{-3} \div 10^1$	$10^1 \div 3 \cdot 10^4$
IRB i IRC	1 400 ÷ 1 500	$E = 10^{12}$ [W m ⁻²]	$H = 10^3$ [J m ⁻²]		$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²]	$E = 1\,000$ [W m ⁻²]
	1 500 ÷ 1 800	$E = 10^{13}$ [W m ⁻²]	$H = 10^4$ [J m ⁻²]			
	1 800 ÷ 2 600	$E = 10^{12}$ [W m ⁻²]	$H = 10^3$ [J m ⁻²]		$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²]	
	2 600 ÷ 10 ⁶	$E = 10^{11}$ [W m ⁻²]	$H = 100$ [J m ⁻²]	$H = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ [J m ⁻²]		

Tabela 10. Wartości średnicy apertury ograniczającej w poszczególnych zakresach widmowych dla zagrożenia oka oraz skóry

Długość fali	Średnica apertury ograniczającej przy pomiarze	
	Oko	Skóra
180 ÷ 400 nm	1 mm dla $t \leq 0,3$ s 1,5 · $t^{0,375}$ mm dla $0,3$ s < t < 10 s 3,5 mm dla $t \geq 10$ s	3,5 mm
400 ÷ 1400 nm	7 mm	3,5 mm
1400 ÷ 10 ⁵ nm	1 mm dla $t \leq 0,3$ s 1,5 · $t^{0,375}$ mm dla $0,3$ s < t < 10 s 3,5 mm dla $t \geq 10$ s	3,5 mm
10 ⁵ ÷ 10 ⁶ nm	11 mm	3,5 mm

Tabela 11. Wartości stosowanych współczynników korekcyjnych i innych parametrów obliczeniowych

Parametr	Obowiązujący zakres widmowy (nm)	Wartość
C _A	$\lambda < 700$	C _A = 1,0
	700 ÷ 1 050	C _A = 10 ^{0,002(λ - 700)}
	1 050 ÷ 1 400	C _A = 5,0
C _B	400 ÷ 450	C _B = 1,0
	450 ÷ 700	C _B = 10 ^{0,02(λ - 450)}
C _C	700 ÷ 1 150	C _C = 1,0
	1 150 ÷ 1 200	C _C = 10 ^{0,018(λ - 1 150)}
	1 200 ÷ 1 400	C _C = 8,0
T ₁	$\lambda < 450$	T ₁ = 10 s
	450 ÷ 500	T ₁ = 10 · [10 ^{0,02(λ - 450)}] s
	$\lambda > 500$	T ₁ = 100 s
Parametr	Obowiązujący zakres kątowy (mrad)	Wartość
C _E	$\alpha < 1,5$	C _E = 1,0
	1,5 < α < 100	C _E = $\alpha / 1,5$
	$\alpha > 100$	C _E = $\alpha^2 / 150$ mrad,
T ₂	$\alpha < 1,5$	T ₂ = 10 s
	1,5 < α < 100	T ₂ = 10 · [10 ^{(α - 1,5) / 98,5}] s
	$\alpha > 100$	T ₂ = 100 s
Parametr	Obowiązujący zakres czasu trwania ekspozycji (s)	Wartość
γ	$t \leq 100$	γ = 11 [mrad]
	100 < t < 10 ⁴	γ = 1,1 t ^{0,5} [mrad]
	$t > 10^4$	γ = 110 [mrad]

gdzie:

- C_A – współczynnik korekcyjny ze względu na absorpcję promieniowania w melaninie (uwzględnia zmianę wartości widmowego współczynnika absorpcji promieniowania z zakresu 400 ÷ 1400 nm w melaninie) – zwiększa wartość MDE oka i skóry wraz ze wzrostem długości fali,
- C_B – współczynnik korekcyjny ze względu na zagrożenie fotochemiczne siatkówki oka światłem niebieskim – zwiększa wartość MDE oka na promieniowanie z zakresu 400 ÷ 700 nm. W praktyce współczynnik C_B stosowany jest w zakresie 400 ÷ 600 nm,
- C_C – współczynnik korekcyjny ze względu na absorpcję promieniowania z zakresu długości fal 700 ÷ 1400 nm w rogówce – zwiększa wartość MDE oka na promieniowanie o długości fali powyżej 1150 nm,
- C_E – współczynnik korekcyjny dla źródeł rozciągniętych emitujących promieniowanie z zakresu długości fal 400 ÷ 1400 nm – zwiększa wartość MDE oka dla kątów widzenia źródła promieniowania $\alpha > 1,5$ mrad,
- T_1 – parametr określający wartości czasów trwania ekspozycji powyżej których MDE dla zagrożenia fotochemicznego oka jest bardziej restrykcyjne (mniejsze wartości MDE) od MDE dla zagrożenia termicznego oka, stosowany jest w zakresie długości fal 400 ÷ 600 nm. Dotyczy czasów trwania ekspozycji $t \geq 10$ s i punktowych źródeł promieniowania laserowego,
- T_2 – parametr decydujący o wyborze MDE oka dla źródeł rozciągniętych (stosowany dla zakresu długości fal 400 ÷ 1400 nm) w zależności od spełnienia warunku $t > T_2$; w przypadku spełnienia warunku należy przy wyznaczaniu MDE korzystać z wartości czasu T_2 , natomiast w przypadku niespełnienia ($t \leq T_2$) należy korzystać z czasu trwania ekspozycji t ,
- γ – kąt płaski, zazwyczaj liczony w radianach, w obrębie którego detektor odbiera promieniowanie optyczne.

Tabela 12. Wartości czasu T_{\min} dla poszczególnych zakresów widmowych

Zakres widmowy (nm)	Wartość T_{\min}
$315 < \lambda \leq 400$	10^{-9} s (= 1 ns)
$400 < \lambda \leq 1\ 050$	$18 \cdot 10^{-6}$ s (= 18 μ s)
$1\ 050 < \lambda \leq 1\ 400$	$50 \cdot 10^{-6}$ s (= 50 μ s)
$1\ 400 < \lambda \leq 1\ 500$	10^{-3} s (= 1 ms)
$1\ 500 < \lambda \leq 1\ 800$	10 s
$1\ 800 < \lambda \leq 2\ 600$	10^{-3} s (= 1 ms)
$2\ 600 < \lambda \leq 10^6$	10^{-7} s (= 100 ns)

T_{\min} – minimalny czas trwania impulsu przyjmowany do obliczeń.

E. Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz – 300 GHz

1. Pola i promieniowanie elektromagnetyczne na stanowiskach pracy charakteryzowane są jednocześnie przez następujące wielkości normatywne:

- a) częstotliwości, f w Hz,
- b) natężenie pola magnetycznego o ogólnym działaniu na organizm człowieka (w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 3 GHz), H w A/m,
- c) natężenie pola elektrycznego o ogólnym działaniu na organizm człowieka (w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz), E w V/m,
- d) natężenie pola magnetycznego o działaniu miejscowym na kończyny pracownika – ręce do łokci i nogi do kolan (w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 800 kHz), H w A/m,
- e) doza rzeczywista pola magnetycznego strefy zagrożenia, o ogólnym działaniu na organizm człowieka, D_H w $(A/m)^2h$,
- f) doza rzeczywista pola elektrycznego strefy zagrożenia, o ogólnym działaniu na organizm człowieka, D_E w $(V/m)^2h$,

- g) wskaźnik ekspozycji dla dozy rzeczywistej pola elektrycznego i dozy rzeczywistej pola magnetycznego w strefie zagrożenia, W .
- 2.1. W otoczeniu źródeł pól elektromagnetycznych należy wyznaczyć i oznakować, zgodnie z Polską Normą, obszary występowania silnych pól elektromagnetycznych jako zasięg trzech stref ochronnych:
- niebezpiecznej – rozumianej jako obszar, w którym przebywanie pracowników jest zabronione,
 - zagrożenia – rozumianej jako obszar, w którym dopuszczone jest przebywanie pracowników zatrudnionych przy źródłach przez czas ograniczony zgodnie z zasadami podanymi w pkt 4,
 - pośredniej – rozumianej jako obszar, w którym dopuszczone jest przebywanie pracowników zatrudnionych przy źródłach w ciągu całej zmiany roboczej.
- 2.2. Obszar poza zasięgiem stref ochronnych jest obszarem strefy bezpiecznej.
- 3.1. Wyróżnia się trzy graniczne wartości natężenia pola elektrycznego $E_0(f)$, $E_1(f)$, $E_2(f)$ i magnetycznego $H_0(f)$, $H_1(f)$, $H_2(f)$, o ogólnym działaniu na organizm człowieka, określone w poszczególnych zakresach częstotliwości (tabele 13 i 14):
- $E_0(f)$ i $H_0(f)$ – natężenia pól o częstotliwości f , rozgraniczające strefę pośrednią od strefy bezpiecznej,
 - $E_1(f)$ i $H_1(f)$ – natężenia pól o częstotliwości f , rozgraniczające strefę zagrożenia od strefy pośredniej,
 - $E_2(f)$ i $H_2(f)$ – natężenia pól o częstotliwości f , rozgraniczające strefę niebezpieczną od strefy zagrożenia.
- 3.2. Pomiędzy wartościami granicznymi obowiązują następujące zależności:
- $$E_2(f) = 10 E_1(f); E_0(f) = E_1(f)/3; H_2(f) = 10 H_1(f); H_0(f) = H_1(f)/3,$$
- z wyjątkiem pól elektrycznych o częstotliwościach od 0 Hz do 300 Hz, dla których:
- $$E_2 = 2 E_1(f), \text{ a } E_0(f) = E_1(f)/2.$$

4. W strefie zagrożenia ekspozycja ma spełniać jednocześnie następujące warunki:

$$D_E(f) < Dd_E(f), D_H(f) < Dd_H(f) \text{ oraz } W < 1,$$

gdzie:

- $D_E(f)$ – doza rzeczywista pola elektrycznego o częstotliwości f , w przypadku ekspozycji quasi-stacjonarnej na pole elektryczne o częstotliwości f i natężeniu $E(f)$, które występuje w czasie t , wyrażona wzorem: $D_E(f) = [E(f)]^2 t$;
- $D_H(f)$ – doza rzeczywista pola magnetycznego o częstotliwości f , w przypadku ekspozycji stacjonarnej na pole magnetyczne o częstotliwości f i natężeniu $H(f)$, które występuje w czasie t , wyrażona wzorem: $D_H(f) = [H(f)]^2 t$;
- $Dd_E(f)$ i $Dd_H(f)$ – doza dopuszczalna pola elektrycznego i magnetycznego o częstotliwości f (tabele 13 i 14);
- W – wskaźnik ekspozycji dla dozy rzeczywistej pola elektrycznego i dozy rzeczywistej pola magnetycznego (doza pola magnetycznego dotyczy tylko zakresu częstotliwości od 0 Hz do 3 GHz), w przypadku ekspozycji quasi-stacjonarnej, która występuje w czasie t na pole elektryczne o częstotliwości f i natężeniu $E(f)$ oraz pole magnetyczne o częstotliwości f i natężeniu $H(f)$, wyrażony wzorem:

$$W = [D_E(f)/Dd_E(f)] + [D_H(f)/Dd_H(f)].$$

- Gdy ekspozycja o działaniu miejscowym dotyczy wyłącznie kończyn, dopuszcza się zwiększone ich narażenie na pola magnetyczne o natężeniach 5 razy większych od dopuszczalnych dla całego ciała, z równoczesnym dopuszczeniem dozy dla kończyn 25 razy większej od dozy dla całego ciała (dopuszczalne zwiększenie narażenia kończyn na pole magnetyczne dotyczy tylko pola magnetycznego z zakresu częstotliwości 800 kHz).
- Przebywanie pracowników w strefie niebezpiecznej jest dopuszczalne pod warunkiem stosowania odpowiednich środków ochrony indywidualnej.
- Graniczne wartości natężenia pola elektrycznego $E_1(f)$ dotyczące granicy strefy zagrożenia i pośredniej oraz doza dopuszczalna pola elektrycznego $Dd_E(f)$ określone są w tabeli 13.

Tabela 13

Lp.	Zakres częstotliwości f	$E_1(f) = NDN_E$ [V/m]	$Dd_E(f)$
1	$0 \text{ Hz} \leq f \leq 1 \text{ Hz}$ (w tym pola elektrostatyczne)	20000	$3200 \text{ (kV/m)}^2 \times \text{h}$
2	$1 \text{ Hz} < f \leq 300 \text{ Hz}$	10000	$800 \text{ (kV/m)}^2 \times \text{h}$
3	$0,3 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ kHz}$	$100/f$	$0,08/f^2 \text{ (kV/m)}^2 \times \text{h}$
4	$1 \text{ kHz} < f \leq 3 \text{ MHz}$	100	$0,08 \text{ (kV/m)}^2 \times \text{h}$
5	$3 \text{ MHz} < f \leq 15 \text{ MHz}$	$300/f$	$0,72/f^2 \text{ (kV/m)}^2 \times \text{h}$
6	$15 \text{ MHz} < f \leq 3 \text{ GHz}$	20	$3200 \text{ (V/m)}^2 \times \text{h}$
7	$3 \text{ GHz} < f \leq 300 \text{ GHz}$	$0,16 f + 19,5$	$(f/2 + 55)^2 \text{ (V/m)}^2 \times \text{h}$

gdzie:

- a) f – częstotliwość w jednostkach podanych w kolumnie „zakres częstotliwości”;
 - b) wartości $E_1(f)$ oznaczają natężenia pól elektrycznych charakteryzowane wielkościami:
 - wartością skuteczną natężenia pola – dla częstotliwości od 0 Hz do 1 kHz oraz powyżej 3 MHz,
 - wartością równoważną natężenia pola – dla częstotliwości od 1 kHz do 3 MHz,
 - wartością uśrednioną w okresie repetycji impulsów i kącie, w którym emitowane jest promieniowanie, w przypadku promieniowania elektromagnetycznego o zmiennym okresowo rozkładzie przestrzennym natężenia pola;
 - c) $Dd_E(f)$ – doza dopuszczalna pola elektrycznego o częstotliwości f, dla ekspozycji w ciągu 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy.
- 5.4. Gdy ekspozycja dotyczy pól impulsowych, dodatkowo powinien być spełniony warunek:
 $E_{\max \text{ imp}} < 4,5 \text{ kV/m}$ w zakresie częstotliwości $0,1 \text{ GHz} < f < 3 \text{ GHz}$;
 $E_{\max \text{ imp}} < (0,43f + 3,2) \text{ kV/m}$ w zakresie częstotliwości $3 \text{ GHz} < f < 10 \text{ GHz}$
 oraz $E_{\max \text{ imp}} < 7,5 \text{ kV/m}$ w zakresie częstotliwości $10 \text{ GHz} < f < 300 \text{ GHz}$,
 gdzie $E_{\max \text{ imp}}$ – maksymalna wartość natężenia pola w impulsie; f w GHz.
- 5.5. Dopuszczalne wartości natężenia pola magnetycznego $H_1(f)$ na granicy strefy zagrożenia i pośredniej oraz doza dopuszczalna pola magnetycznego $Dd_H(f)$ określone są w tabeli 14.

Tabela 14

Lp.	Zakres częstotliwości f	$H_1(f) = NDN_H$ [A/m]	$Dd_H(f)$
1	$0 \text{ Hz} \leq f \leq 1 \text{ Hz}$ (w tym pola magnetostatyczne)	8000	$512 \text{ (kA/m)}^2 \times \text{h}$
2	$1 \text{ Hz} < f \leq 50 \text{ Hz}$	200	$0,32 \text{ (kA/m)}^2 \times \text{h}$
3	$0,05 \text{ kHz} < f \leq 1 \text{ kHz}$	$10/f$	$800/f^2 \text{ (A/m)}^2 \times \text{h}$
4	$1 \text{ kHz} < f \leq 800 \text{ kHz}$	10	$800 \text{ (A/m)}^2 \times \text{h}$
5	$0,8 \text{ MHz} < f \leq 150 \text{ MHz}$	$8/f$	$512/f^2 \text{ (A/m)}^2 \times \text{h}$
6	$0,15 \text{ GHz} < f \leq 3 \text{ GHz}$	0,053	$0,022 \text{ (A/m)}^2 \times \text{h}$

gdzie:

- a) f – częstotliwość w jednostkach podanych w kolumnie „zakres częstotliwości”;
- b) wartości $H_1(f)$ oznaczają natężenia pól magnetycznych charakteryzowane wielkościami:
 - wartością skuteczną natężenia pola – dla częstotliwości od 0 Hz do 1 kHz oraz powyżej 800 kHz,
 - wartością równoważną natężenia pola – w zakresie częstotliwości od 1 kHz do 800 kHz,

- wartością uśrednioną w okresie repetycji impulsów i kącie bryłowym, w którym emitowane jest promieniowanie, w przypadku promieniowania elektromagnetycznego o zmiennym okresowo rozkładzie przestrzennym natężenia pola;
 - c) $Dd_H(f)$ – doza dopuszczalna pola magnetycznego o częstotliwości f , dla ekspozycji w ciągu 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy.
6. Definicje pojęć i metody pomiaru pól i promieniowania elektromagnetycznego określają Polskie Normy.