

LIMITNÉ HODNOTY EXPOZÍCIE NEKOHERENTNÉMU ŽIARENIU

1. Biofyzikálne významné hodnoty expozície nekoherentnému žiareniu možno stanoviť pomocou nasledujúcich vzorcov. Výber vzorcov, ktoré sa majú použiť, závisí od rozsahu žiarenia vyžiareného zdrojom a výsledky sa porovnávajú so zodpovedajúcimi limitnými hodnotami expozície uvedenými v tabuľke č. 1.1. Danému zdroju nekoherentného žiarenia môže zodpovedať viacero hodnôt expozície a zodpovedajúcich limitných hodnôt expozície.

Poznámka: číslovanie a) až o) sa týka zodpovedajúcich riadkov tabuľky 1.1.

$$\text{a)} \quad H_{\text{eff}} = \int_0^t \int_{\lambda=180\text{nm}}^{\lambda=400\text{nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt \quad (H_{\text{eff}} \text{ platí len v rozsahu } 180 \text{ nm až } 400 \text{ nm})$$

$$\text{b)} \quad H_{\text{UVA}} = \int_0^t \int_{\lambda=315\text{nm}}^{\lambda=400\text{nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt \quad (H_{\text{UVA}} \text{ platí len v rozsahu } 315 \text{ nm až } 400 \text{ nm})$$

$$\text{c), d)} \quad L_B = \int_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=700\text{nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda \quad (L_B \text{ platí len v rozsahu } 300 \text{ nm až } 700 \text{ nm})$$

$$\text{e), f)} \quad E_B = \int_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=700\text{nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda \quad (E_B \text{ platí len v rozsahu } 300 \text{ nm až } 700 \text{ nm})$$

$$\text{g) až l)} \quad L_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda \quad (\text{Príslušné hodnoty } \lambda_1 \text{ a } \lambda_2 \text{ sú uvedené v tabuľke 1.1})$$

$$\text{m), n)} \quad E_{\text{IR}} = \int_{\lambda=780\text{nm}}^{\lambda=3000\text{nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda \quad (E_{\text{IR}} \text{ platí len v rozsahu } 780 \text{ nm až } 3000 \text{ nm})$$

$$\text{o)} \quad H_{\text{sk}} = \int_0^t \int_{\lambda=380\text{nm}}^{\lambda=3000\text{nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt \quad (H_{\text{sk}} \text{ platí len v rozsahu } 380 \text{ nm až } 3000 \text{ nm})$$

2. Na účely tohto nariadenia vlády vzorce uvedené v bode 1 môžu byť nahradené nasledujúcimi výrazmi a môžu sa používať diskkrétne hodnoty uvedené v týchto tabuľkách:

$$\text{a)} \quad E_{\text{eff}} = \sum_{\lambda=180\text{nm}}^{\lambda=400\text{nm}} E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad \text{a)} \quad H_{\text{eff}} = E_{\text{eff}} \cdot \Delta t$$

$$\text{b)} \quad E_{\text{UVA}} = \sum_{\lambda=315\text{nm}}^{\lambda=400\text{nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad \text{a)} \quad H_{\text{UVA}} = E_{\text{UVA}} \cdot \Delta t$$

$$\text{c), d)} \quad L_B = \sum_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=700\text{nm}} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$\text{e), f)} \quad E_B = \sum_{\lambda=300\text{nm}}^{\lambda=700\text{nm}} E_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$$\text{g) až l)} \quad L_R = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad (\text{Príslušné hodnoty } \lambda_1 \text{ a } \lambda_2 \text{ sú uvedené v tabuľke 1.1})$$

$$\text{m), n)} \quad E_{\text{IR}} = \sum_{\lambda=780\text{nm}}^{\lambda=3000\text{nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$

$$\text{o)} \quad E_{\text{sk}} = \sum_{\lambda=380\text{nm}}^{\lambda=3000\text{nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad \text{a)} \quad H_{\text{sk}} = E_{\text{sk}} \cdot \Delta t$$

kde

$E_{\lambda}(\lambda, t)$, E_{λ} je *spektrálna ožiarenosť (spektrálna hustota žiarivého toku)*: je to žiarivý tok dopadajúci na jednotku povrchu vyjadrený vo wattoch na meter štvorcový na nanometer [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$]; hodnoty $E_{\lambda}(\lambda, t)$ a E_{λ} sú z meraní alebo ich môže poskytnúť výrobca zariadenia;

E_{eff}	efektívna ožiarenosť (UV časť spektra): vypočítaná ožiarenosť v rozsahu UV vlnových dĺžok 180 nm až 400 nm, spektrálne vážená pomocou $S(\lambda)$, vyjadrená vo wattoch na meter štvorcový [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$];
H	dávka ožiarenia: integrál ožiarenosti v čase vyjadrený v jouloch na meter štvorcový ($\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$);
H_{eff}	efektívna dávka ožiarenia: dávka ožiarenia, spektrálne vážená pomocou $S(\lambda)$ vyjadrená v jouloch na meter štvorcový [$\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$];
E_{UVA}	celková ožiarenosť (UVA): vypočítaná ožiarenosť v rozsahu UVA vlnových dĺžok 315 nm až 400 nm vyjadrená vo wattoch na meter štvorcový [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$];
H_{UVA}	dávka ožiarenia: integrál alebo suma ožiarenosti v čase a vlnovej dĺžke v rozsahu UVA vlnových dĺžok 315 nm až 400 nm vyjadrená v jouloch na meter štvorcový [$\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$];
$S(\lambda)$	spektrálna váhová funkcia, ktorá zohľadňuje zdravotné účinky UV žiarenia na oči a kožu v závislosti od vlnovej dĺžky (tabuľka 1.2) [1];
$t, \Delta t$	čas, doba expozície vyjadrené v sekundách [s];
λ	vlnová dĺžka vyjadrená v nanometroch [nm];
$\Delta \lambda$	šírka pásma intervalov vo výpočte alebo pri meraní vyjadrená v nanometroch [nm];
$L_{\lambda}(\lambda), L_{\lambda}$	spektrálna žiara zdroja vyjadrená vo wattoch na meter štvorcový na steradián na nanometer [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{nm}^{-1}$];
$R(\lambda)$	spektrálna váhová funkcia, ktorá zohľadňuje účinky viditeľného a IRA žiarenia na tepelné poškodenie očí v závislosti od vlnovej dĺžky (tabuľka 1.3) [1];
L_{R}	efektívna žiara (tepelné poškodenie): vypočítaná žiara spektrálne vážená pomocou $R(\lambda)$ vyjadrená vo wattoch na meter štvorcový na steradián [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$];
$B(\lambda)$	spektrálna váhová funkcia, ktorá zohľadňuje závislosť fotochemického poškodenia očí od vlnovej dĺžky žiarenia modrého svetla (tabuľka 1.3) [1];
L_{B}	efektívna žiara (modré svetlo): vypočítaná žiara spektrálne vážená pomocou $B(\lambda)$ vyjadrená vo wattoch na meter štvorcový na steradián [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$];
E_{B}	efektívna ožiarenosť (modré svetlo): vypočítaná ožiarenosť spektrálne vážená pomocou $B(\lambda)$ vyjadrená vo wattoch na meter štvorcový [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$];
E_{IR}	celková ožiarenosť (tepelné poškodenie): vypočítaná ožiarenosť v rozsahu infračervených vlnových dĺžok 780 nm až 3000 nm vyjadrená vo wattoch na meter štvorcový [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$];
E_{sk}	celková ožiarenosť kože (viditeľné, IRA a IRB): vypočítaná ožiarenosť v rozsahu viditeľných a infračervených vlnových dĺžok 380 nm až 3000 nm vyjadrená vo wattoch na meter štvorcový [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$];
H_{sk}	dávka ožiarenia kože: integrál v čase a vlnovej dĺžke alebo súčet ožiarenosti v rozsahu viditeľných a infračervených vlnových dĺžok 380 nm až 3000 nm vyjadrená v jouloch na meter štvorcový [$\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$];
α	zorný uhol: uhol, pod ktorým vidieť zjavný zdroj, vnímaný z bodu v priestore, vyjadrený v miliradiánoch (mrad). Zjavný zdroj je skutočný alebo virtuálny predmet, ktorý vytvára najmenší možný obraz na sietnici.

Tabuľka č. 1.1 Limitné hodnoty expozície pre nekoherentné optické žiarenie

Index	Vlnová dĺžka nm	Limitné hodnoty expozície	Jednotky	Poznámka	Časť tela	Riziko
a.	180-400 (UVA, UVB a UVC)	$H_{\text{eff}} = 30$ Denná hodnota 8 hodín	[$\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$]		očná rohovka očná spojivka očná šošovka koža	photokeratitis conjunctivitis cataractogenesis erythema elastosis rakovina kože
b.	315-400 (UVA)	$H_{\text{UVA}} = 10^4$ Denná hodnota 8 hodín	[$\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$]		očná šošovka	cataractogenesis
c.	300-700 (Modré svetlo) pozri poznámku 1	$L_{\text{B}} = \frac{10^6}{t}$ pre $t \leq 10000$ s	L_{B} : [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$] t : [s]			
d.	300-700 (Modré svetlo) pozri poznámku 1	$L_{\text{B}} = 100$ pre $t \leq 10000$ s	[$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$]	pre $\alpha \geq 11$ mrad		
e.	300-700 (Modré svetlo) pozri poznámku 1	$E_{\text{B}} = \frac{100}{t}$ pre $t \leq 10000$ s	E_{B} : [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$] t : [s]		očná sietnica	photoretinitis
f.	300-700 (Modré svetlo) pozri poznámku 1	$E_{\text{B}} = 0.01$ $t > 10000$ s	[$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]	pre $\alpha \geq 11$ mrad pozri poznámku 2		

g.	380-1400 (Viditeľné a IRA)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha}$ pre $t > 10$ s	[W.m ⁻² .sr ⁻¹]	$C_\alpha = 1.7$ pre $\alpha \leq 1.7$ mrad	očná sieťnica	popálenie očnej sietnice
h.	380-1400 (Viditeľné a IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0.25}}$ pre $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10$ s	L_R : [W.m ⁻² .sr ⁻¹] t: [s]	$C_\alpha = \alpha$ pre $1.7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_\alpha = 100$ pre $\alpha > 100$ mrad		
i.	380-1400 (Viditeľné a IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ pre $t < 10 \mu\text{s}$	[W.m ⁻² .sr ⁻¹]	$\lambda_1 = 380$; $\lambda_2 = 1400$		
j.	780-1400 (IRA)	$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_\alpha}$ pre $t > 10$ s	[W.m ⁻² .sr ⁻¹]	$C_\alpha = 11$ pre $\alpha \leq 11$ mrad $C_\alpha = \alpha$ pre $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_\alpha = 100$ pre $\alpha > 100$ mrad (meracie pole pohľadu: 11 mrad)	očná sieťnica	popálenie očnej sietnice
k.	780-1400 (IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0.25}}$ pre $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10$ s	L_R : [W.m ⁻² .sr ⁻¹] t: [s]			
l.	780-1400 (IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ pre $t < 10 \mu\text{s}$	[W.m ⁻² .sr ⁻¹]	$\lambda_1 = 780$; $\lambda_2 = 1400$		
m.	780-3000 (IRA a IRB)	$E_{IR} = 18000 t^{-0.75}$ pre $t \leq 1000$ s	E: [W.m ⁻²] t: [s]		očná rohovka očná šošovka	popálenie rohovky cataractogenesis
n.	780-3000 (IRA a IRB)	$E_{IR} = 100$ pre $t > 1000$ s	[W.m ⁻²]			
o.	380-3000 (Viditeľné, IRA a IRB)	$H_{sk} = 20000 t^{0.25}$ pre $t < 10$ s	H: [J.m ⁻²] t: [s]		koža	popálenie

Poznámka 1 Rozsah 300 nm až 700 nm zahŕňa časť UVB, celé UVA a väčšinu viditeľného žiarenia; avšak súvisiace riziko sa obvyčajne nazýva riziko „modrého svetla“. Presne povedané, modré svetlo zahŕňa len interval približne 400 nm až 490 nm.

Poznámka 2 V prípade pevného zafixovania veľmi malých zdrojov so zorným uhlom < 1 mrad, L_B sa môže zmeniť na E_B . Toto zvyčajne platí len pre prístroje na meranie zraku alebo stabilizované oko počas anestézie. Maximálny „čas upreného pohľadu“ na zdroj sa určí podľa vzťahu: $t_{\max} = 100/E_B$, kde E_B je vyjadrená vo W.m⁻². V dôsledku pohybov oka počas normálneho videnia toto nepresiahne 100 s.

Tabuľka č. 1.2 Spektrálna váhová funkcia $S(\lambda)$ pre vlnovú dĺžku 180 nm až 400 nm

λ [nm]	$S(\lambda)$ [1]	λ [nm]	$S(\lambda)$ [1]	λ [nm]	$S(\lambda)$ [1]	λ [nm]	$S(\lambda)$ [1]	λ [nm]	$S(\lambda)$ [1]
180	0,0120	228	0,1737	276	0,9434	324	0,000520	372	0,000086
181	0,0126	229	0,1819	277	0,9272	325	0,000500	373	0,000083
182	0,0132	230	0,1900	278	0,9112	326	0,000479	374	0,000080
183	0,0138	231	0,1995	279	0,8954	327	0,000459	375	0,000077
184	0,0144	232	0,2089	280	0,8800	328	0,000440	376	0,000074
185	0,0151	233	0,2188	281	0,8568	329	0,000425	377	0,000072
186	0,0158	234	0,2292	282	0,8342	330	0,000410	378	0,000069
187	0,0166	235	0,2400	283	0,8122	331	0,000396	379	0,000066
188	0,0173	236	0,2510	284	0,7908	332	0,000383	380	0,000064
189	0,0181	237	0,2624	285	0,7700	333	0,000370	381	0,000062
190	0,0190	238	0,2744	286	0,7420	334	0,000355	382	0,000059
191	0,0199	239	0,2869	287	0,7151	335	0,000340	383	0,000057
192	0,0208	240	0,3000	288	0,6891	336	0,000327	384	0,000055

193	0,0218	241	0,3111	289	0,6641	337	0,000315	385	0,000053
194	0,0228	242	0,3227	290	0,6400	338	0,000303	386	0,000051
195	0,0239	243	0,3347	291	0,6186	339	0,000291	387	0,000049
196	0,0250	244	0,3471	292	0,5980	340	0,000280	388	0,000047
197	0,0262	245	0,3600	293	0,5780	341	0,000271	389	0,000046
198	0,0274	246	0,3730	294	0,5587	342	0,000263	390	0,000044
199	0,0287	247	0,3865	295	0,5400	343	0,000255	391	0,000042
200	0,0300	248	0,4005	296	0,4984	344	0,000248	392	0,000041
201	0,0334	249	0,4150	297	0,4600	345	0,000240	393	0,000039
202	0,0371	250	0,4300	298	0,3989	346	0,000231	394	0,000037
203	0,0412	251	0,4465	299	0,3459	347	0,000223	395	0,000036
204	0,0459	252	0,4637	300	0,3000	348	0,000215	396	0,000035
205	0,0510	253	0,4815	301	0,2210	349	0,000207	397	0,000033
206	0,0551	254	0,5000	302	0,1629	350	0,000200	398	0,000032
207	0,0595	255	0,5200	303	0,1200	351	0,000191	399	0,000031
208	0,0643	256	0,5437	304	0,0849	352	0,000183	400	0,000030
209	0,0694	257	0,5685	305	0,0600	353	0,000175		
210	0,0750	258	0,5945	306	0,0454	354	0,000167		
211	0,0786	259	0,6216	307	0,0344	355	0,000160		
212	0,0824	260	0,6500	308	0,0260	356	0,000153		
213	0,0864	261	0,6792	309	0,0197	357	0,000147		
214	0,0906	262	0,7098	310	0,0150	358	0,000141		
215	0,0950	263	0,7417	311	0,0111	359	0,000136		
216	0,0995	264	0,7751	312	0,0081	360	0,000130		
217	0,1043	265	0,8100	313	0,0060	361	0,000126		
218	0,1093	266	0,8449	314	0,0042	362	0,000122		
219	0,1145	267	0,8812	315	0,0030	363	0,000118		
220	0,1200	268	0,9192	316	0,0024	364	0,000114		
221	0,1257	269	0,9587	317	0,0020	365	0,000110		
222	0,1316	270	1,0000	318	0,0016	366	0,000106		
223	0,1378	271	0,9919	319	0,0012	367	0,000103		
224	0,1444	272	0,9838	320	0,0010	368	0,000099		
225	0,1500	273	0,9758	321	0,000819	369	0,000096		
226	0,1583	274	0,9679	322	0,000670	370	0,000093		
227	0,1658	275	0,9600	323	0,000540	371	0,000090		

Tabuľka č. 1.3 Spektrálne váhové funkcie $B(\lambda)$, $R(\lambda)$ pre vlnovú dĺžku 380 nm až 1400 nm

λ [nm]	$B(\lambda)$ [1]	$R(\lambda)$ [1]
$300 \leq \lambda < 380$	0,01	–
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,1	1
405	0,2	2
410	0,4	4
415	0,8	8
420	0,9	9
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1	10
440	1	10
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,9	9
460	0,8	8
465	0,7	7
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,32	3,2
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500	0,1	1
$500 < \lambda \leq 600$	$10^{0,02 \cdot (450 - \lambda)}$	1
$600 < \lambda \leq 700$	0,001	1
$700 < \lambda \leq 1050$	–	$10^{0,002 \cdot (700 - \lambda)}$
$1050 < \lambda \leq 1150$	–	0,2
$1150 < \lambda \leq 1200$	–	$0,2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1150 - \lambda)}$
$1200 < \lambda \leq 1400$	–	0,02