

2195.

Na osnovu člana 25 stav 2 Zakona o zaštiti od nejonizujućih zračenja ("Službeni list CG", br. 35/13 i 117/26) Ministarstvo ekologije, održivog razvoja i razvoja sjevera, donijelo je

PRAVILNIK

O NAČINU ODREĐIVANJA, PROCJENE, MJERENJA I/ILI PRORAČUNA NIVOA IZLOŽENOSTI VJEŠTAČKOM OPTIČKOM ZRAČENJU I GRANIČNIM VRIJEDNOSTIMA IZLOŽENOSTI VJEŠTAČKOM OPTIČKOM ZRAČENJU*

("Službeni list Crne Gore", br. 124/26 od 21.08.2026)

Član 1

Ovim pravilnikom propisuje se način određivanja, procjene, mjerenja i/ili proračuna izloženosti vještačkom optičkom zračenju, kao i granice izloženosti vještačkom optičkom zračenju, radi zaštite zdravlja i sigurnosti izloženih lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja, naročito od štetnih uticaja vještačkog optičkog zračenja na oči i kožu.

Član 2

Izrazi upotrijebljeni u ovom pravilniku imaju sljedeća značenja:

- 1) efektivna ozračenost (E_{eff}) je izračunata ozračenost u rasponu UV talasnih dužina 180-400 nm pomnožena spektralnom funkcijom $S(\lambda)$, izražena u vatima po kvadratnom metru (jedinica: $W\ m^{-2}$);
- 2) efektivna izloženost izvoru zračenja (H_{eff}) je izloženost izvoru zračenja pomnožena spektralnom funkcijom $S(\lambda)$, izražena u džulima po kvadratnom metru (jedinica: $J\ m^{-2}$);
- 3) infracrveno zračenje je optičko zračenje u rasponu talasnih dužina 780 nm - 1 mm i dijeli se na IRA (780-1400 nm), IRB (1400-3000 nm) i IRC (3000 nm-1 mm);
- 4) izlaganje izvoru zračenja (H) je vremenski integral ozračivanja izražen u džulima po kvadratnom metru (jedinica: $J\ m^{-2}$);
- 5) nivo je kombinacija ozračenja, izloženosti izvoru zračenja i radijancije kojoj je izloženo izloženo lice i/ili lice odgovorno za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja;
- 6) optičko zračenje je bilo koje elektromagnetno zračenje u rasponu talasnih dužina 100 nm - 1 mm i čiji spektar se dijeli na ultraljubičasto, vidljivo i infracrveno zračenje;
- 7) ozračenje (E) je snaga optičkog zračenja koja pada na jedinicu površine ozračenog objekta (jedinica: $W\ m^{-2}$);
- 8) radijancija (L) je gustina snage zračenja koju emituje izvor optičkog zračenja u jedinični prostorni ugao u smjeru prostiranja zračenja (jedinica: $W\ m^{-2}\ sr^{-1}$);
- 9) ultraljubičasto zračenje je optičko zračenje u rasponu talasnih dužina 100 nm - 400 nm i dijeli se na UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) i UVC (100-280 nm);
- 10) vidljivo zračenje je optičko zračenje u rasponu talasnih dužina 380 nm - 780 nm.

Član 3

Određivanje, procjena, mjerenje i/ili proračun nivoa izlaganja vještačkom optičkom zračenju vrši se u skladu sa važećim međunarodnim naučnim standardima i preporukama, i to:

- IEC standardima, za lasersko zračenje;
- preporukama Međunarodne komisije za osvjetljenje (CIE) i standardima Evropskog komiteta za standardizaciju (CEN), za nekoherentno optičko zračenje;
- dostupnim nacionalnim ili međunarodnim naučno zasnovanim smjernicama, kada određene situacije izlaganja nijesu obuhvaćene standardima i preporukama iz tač. 1 i 2 ovog člana.

Prilikom određivanja, procjene, mjerenja i/ili proračuna nivoa izlaganja optičkom zračenju mogu se koristiti i podaci koje obezbjeđuje proizvođač opreme, kada su ti podaci dati u skladu sa propisima kojima se uređuju tehnički zahtjevi za proizvode i ocjenjivanje usaglašenosti proizvoda.

Član 4

Granice izloženosti vještačkom nekoherentnom optičkom zračenju, koje ne potiče od prirodnih izvora optičkog zračenja, kao i način određivanja tih granica, dati su u Prilogu 1.

Član 5

Granice izloženosti laserskom zračenju, kao i način određivanja tih granica, dati su u Prilogu 2.

Član 6

Prilozi 1 i 2 čine sastavni dio ovog pravilnika.

Član 7

Danom stupanja na snagu ovog pravilnika prestaje da važi Pravilnik o načinu određivanja i granicama najvećeg dopuštenog nivoa izlaganja optičkom zračenju ("Službeni list CG", broj 2/14).

Član 8

Ovaj pravilnik stupa na snagu osmog dana od dana objavljivanja u "Službenom listu Crne Gore".

Broj: 0412-322/26-1430/18

Podgorica, 14. avgusta 2026. godine

Ministar,

Damjan Ćulafić, s.r.

*U ovaj pravilnik prenijeta je Direktiva 2006/25/EZ Evropskog parlamenta i Savjeta od 5. aprila 2006. godine o minimalnim zahtjevima za zaštitu zdravlja i sigurnost radnika od rizika koji nastaju usljed izloženosti fizičkim agensima (vještačko optičko zračenje) (19. pojedinačna direktiva u smislu člana 16 stav 1 Direktive 89/391/EEZ) zaključno sa izmjenama Regulative (EU) 2019/1243 Evropskog parlamenta i Savjeta od 20. juna 2019. o prilagođavanju članovima 290. i 291. Ugovora o funkcionisanju Evropske unije niza pravnih akata kojima se predviđa primjena regulatornog postupka s kontrolom PE/65/2019/REV/1 (02006L0025-20190726)/-32006L0025.

NAPOMENA IZDAVAČA:

Priloge koji su sastavni dio ovog propisa možete pogledati ovdje.

Nekoherentna optička zračenja

Biofizički relevantni nivoi izloženosti optičkom zračenju određuju se pomoću formula izabranih u zavisnosti od spektralnog opsega zračenja koje emituje izvor. Formule koje se primjenjuju zavise od opsega zračenja koje emituje izvor, a rezultati se upoređuju sa odgovarajućim graničnim vrijednostima izloženosti utvrđenim u Tabeli 1 ovog priloga. Za dati izvor optičkog zračenja može biti relevantno više od jedne vrijednosti izloženosti i odgovarajuće granične vrijednosti izloženosti.

Numeracija od (a) do (n) odnosi se na odgovarajuće vrste u Tabeli 1.

(a)	$H_{\text{eff}} = \int_0^t \int_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$	(H_{eff} se koristi samo u opsegu od 180 do 400 nm)
(b)	$H_{\text{UVA}} = \int_0^t \int_{\lambda=315 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$	(H_{UVA} se koristi samo u opsegu od 315 do 400 nm)
(c), (d)	$L_B = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$	(L_B se koristi samo u opsegu od 300 do 700 nm)
(e), (f)	$E_B = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$	(E_B se koristi samo u opsegu od 300 do 700 nm)
(g) do (l)	$L_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$	(Za odgovarajuće vrijednosti λ_1 i λ_2 pogledaj Tabelu 1.)
(m), (n)	$E_{\text{IR}} = \int_{\lambda=780 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$	(E_{IR} se koristi samo u opsegu od 780 do 3000 nm)

(o)	$H_{\text{koža}} = \int_0^t \int_{\lambda = 380 \text{ nm}}^{\lambda = 3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$	(H _{koža} se koristi samo u opsegu od 380 do 3000 nm)
-----	--	--

Za potrebe ovog priloga, prethodno navedene formule mogu se zamijeniti formulama navedenim u nastavku i koristiti diskretne vrijednosti iz sljedećih tabela:

(a)	$E_{\text{eff}} = \sum_{\lambda = 380 \text{ nm}}^{\lambda = 400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	i $H_{\text{eff}} = E_{\text{eff}} \cdot \Delta t$
(b)	$E_{\text{UVA}} = \sum_{\lambda = 315 \text{ nm}}^{\lambda = 400 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	i $H_{\text{UVA}} = E_{\text{UVA}} \cdot \Delta t$
(c), (d)	$L_B = \sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{\lambda = 700 \text{ nm}} L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	
(e), (f)	$E_B = \sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{\lambda = 700 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	
(g) do (l)	$L_R = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	(Za odgovarajuće vrijednosti λ_1 i λ_2 pogledaj Tabelu 1)
(m), (n)	$E_{\text{IR}} = \sum_{\lambda = 780 \text{ nm}}^{\lambda = 3000 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	
(o)	$E_{\text{koža}} = \sum_{\lambda = 380 \text{ nm}}^{\lambda = 3000 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$	i $H_{\text{skin}} = E_{\text{skin}} \cdot \Delta t$

Pri čemu je:

1. $E_{\lambda}(\lambda, t)$, E_{λ} *spektralna ozračenost ili spektralna gustina toka snage*: zračeći tok koji pada na jedinicu površine, izražen u vatima po kvadratnom metru po nanometru [$\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$]; vrijednosti $E_{\lambda}(\lambda, t)$ i E_{λ} dobijene su mjerenjima ili ih obezbjeđuje proizvođač opreme;
2. E_{eff} *efektivna ozračenost (UV opseg)*: izračunata ozračenost u opsegu talasnih dužina od 180 do 400 nm, spektralno ponderisana sa $S(\lambda)$, izražena u vatima po kvadratnom metru [W m^{-2}];
3. H *izloženost zračenju*: vremenski integral ozračenosti, izražen u džulima po kvadratnom metru [J m^{-2}];
4. H_{eff} *efektivna izloženost zračenju*: izloženost zračenju spektralno ponderisana sa $S(\lambda)$, izražena u džulima po kvadratnom metru [J m^{-2}];
5. E_{UVA} *ukupna ozračenost (UVA)*: izračunata ozračenost u području UVA talasnih dužina u opsegu od 315 do 400 nm, izražena u vatima po kvadratnom metru [W m^{-2}];
6. H_{UVA} *izloženost zračenju*: integral vremena i talasne dužine ili zbir ozračenosti u području UVA talasnih dužina u opsegu od 315 do 400 nm, izražena u džulima po kvadratnom metru [J m^{-2}];
7. $S(\lambda)$ *spektralno ponderisanje* koje uzima u obzir zdravstvene uticaje UV zračenja na oči i kožu u zavisnosti od talasne dužine (Tabela 2) [bezdimenziono];
8. t , Δt *vrijeme, trajanje izloženosti*, izraženo u sekundama [s];
9. λ *talasna dužina*, izražena u nanometrima [nm];
10. $\Delta \lambda$ *širina pojasa* intervala dobijenih proračunima ili mjerenjima, izražena u nanometrima [nm];
11. $L_{\lambda}(\lambda)$, L_{λ} *spektralna radijansa izvora*, izražena u vatima po kvadratnom metru po steradianu po nanometru [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{nm}^{-1}$];
12. $R(\lambda)$ *spektralno ponderisanje* koje uzima u obzir zavisnost oštećenja oka usljed termičkih uticaja vidljivog i IRA zračenja od talasne dužine (Tabela 3) [bezdimenziono];
13. L_R *efektivna radijansa (termička oštećenja)*: izračunata radijansa, spektralno ponderisana sa $R(\lambda)$, izražena u vatima po kvadratnom metru po steradianu [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$];
14. $B(\lambda)$ *spektralno ponderisanje* koje uzima u obzir zavisnost fotohemijjskih oštećenja oka usljed zračenja plave svjetlosti od talasne dužine (Tabela 3) [bezdimenziono];
15. L_B *efektivna radijansa (plava svjetlost)*: izračunata radijansa, spektralno ponderisana sa $B(\lambda)$, izražena u vatima po kvadratnom metru po steradianu [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$];
16. E_B *efektivna ozračenost (plava svjetlost)*: izračunata ozračenost, spektralno ponderisana sa $B(\lambda)$, izražena u vatima po kvadratnom metru [W m^{-2}];
17. E_{IR} *ukupna ozračenost (termička oštećenja)*: izračunata ozračenost u području infracrvenih talasnih dužina u opsegu od 780 do 3 000 nm, izražena u vatima po kvadratnom metru [W m^{-2}];

18. $E_{koža}$ *ukupna ozračenost (vidljivo zračenje, IRA i IRB)*: izračunata ozračenost u području vidljivih i infracrvenih talasnih dužina u opsegu od 380 do 3 000 nm, izražena u vatima po kvadratnom metru [$W m^{-2}$];
19. $H_{koža}$ *izloženost zračenju*: integral vremena i talasne dužine ili zbir ozračenosti u području vidljivih i infracrvenih talasnih dužina u opsegu od 380 do 3 000 nm, izražena u džulima po kvadratnom metru [$J m^{-2}$];
20. α *ugao gledanja*: ugao pod kojim je vidljiv prividni izvor iz određene tačke u prostoru, izražen u miliradianima [mrad]. Prividni izvor je realni ili virtuelni objekat koji stvara najmanju moguću sliku na mrežnjači oka.

Tabela 1
Granične vrijednosti izloženosti za nekoherentno optičko zračenje

Indeks	Talasna dužina (nm)	Granična vrijednost izloženosti	Jedinice	Komentar	Dio tijela	Štetnost
a.	180–400 (UVA, UVB i UVC)	$H_{eff} = 30$ dnevni nivo 8 sati	[$J m^{-2}$]		oko: rožnjača, konjunktiva, sočivo koža	fotokeratitis konjunktivitis kataraktogene za eritem elastoza karcinom kože
b.	315–400 (UVA)	$H_{UVA} = 10^4$ dnevni nivo 8 sati	[$J m^{-2}$]		sočivo oka	kataraktogene za
c.	300–700 (plavo svijetlo) vidjeti napomenu 1	$L_B = 10^6 / t$ za $t \leq 10\,000$ s	L_B : [$W m^{-2} sr^{-1}$] t : [sekunde]	za $\alpha \geq 11$ mrad	mrežnjača oka	fotoretinitis
d.	300–700 (plavo svijetlo) vidjeti napomenu 1	$L_B = 100$ za $t > 10\,000$ s	[$W m^{-2} sr^{-1}$]		mrežnjača oka	fotoretinitis

e.	300–700 (plavo svijetlo) vidjeti napomenu 1	$E_B = 100 / t$ za $t \leq 10\,000\text{ s}$	E_B : [W m ⁻²] t: [sekunde]	za $\alpha < 11\text{ mrad}$ vidjeti napomenu 2	mrežnjača oka	fotoretinitis
f.	300–700 (plavo svijetlo) vidjeti napomenu 1	$E_B = 0,01$ za $t > 10\,000\text{ s}$	[W m ⁻²]		mrežnjača oka	fotoretinitis
g.	380–1 400 (vidljivo i IRA)	$L_R = (2,8 \times 10^7) / C\alpha$ za $t > 10\text{ s}$	[W m ⁻² sr ⁻¹]	$C\alpha = 1,7$ za $\alpha \leq 1,7\text{ mrad}$ $C\alpha = \alpha$ za $1,7 \leq \alpha \leq 100\text{ mrad}$ $C\alpha = 100$ za $\alpha > 100\text{ mrad}$ $\lambda_1 = 380$; $\lambda_2 = 1\,400$	mrežnjača oka	opekotina mrežnjače
h.	380–1 400 (vidljivo i IRA)	$L_R = (5 \times 10^7) / (C\alpha < t^{0.25})$ za $10\text{ }\mu\text{s} \leq t \leq 10\text{ s}$	L_R : [W m ⁻² sr ⁻¹] t: [sekunde]	$C\alpha = 1,7$ za $\alpha \leq 1,7\text{ mrad}$ $C\alpha = \alpha$ za $1,7 \leq \alpha \leq 100\text{ mrad}$ $C\alpha = 100$ za $\alpha > 100\text{ mrad}$ $\lambda_1 = 380$; $\lambda_2 = 1\,400$	mrežnjača oka	opekotina mrežnjače
i.	380–1 400 (vidljivo i IRA)	$L_R = (8,89 \times 10^8) / C\alpha$ za $t < 10\text{ }\mu\text{s}$	[W m ⁻² sr ⁻¹]	$C\alpha = 1,7$ za $\alpha \leq 1,7\text{ mrad}$ $C\alpha = \alpha$ za $1,7 \leq \alpha \leq 100\text{ mrad}$ $C\alpha = 100$ za $\alpha > 100\text{ mrad}$ $\lambda_1 = 380$; $\lambda_2 = 1\,400$	mrežnjača oka	opekotina mrežnjače

j.	780–1 400 (IRA)	$L_R = (6 \times 10^6) / C\alpha$ za $t > 10$ s	$[W\ m^{-2}\ sr^{-1}]$	$C\alpha = 11$ za $\alpha \leq 11$ mrad $C\alpha = \alpha$ za $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C\alpha = 100$ za $\alpha > 100$ mrad mjerno vidno polje: 11 mrad $\lambda_1 = 780$; $\lambda_2 = 1\ 400$	mrežnjača oka	opekotina mrežnjače
k.	780–1 400 (IRA)	$L_R = (5 \times 10^7) / (C\alpha < t^{0.25})$ za $10\ \mu s \leq t \leq 10$ s	$L_R: [W\ m^{-2}\ sr^{-1}]$ t: [sekunde]	$C\alpha = 11$ za $\alpha \leq 11$ mrad $C\alpha = \alpha$ za $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C\alpha = 100$ za $\alpha > 100$ mrad mjerno vidno polje: 11 mrad $\lambda_1 = 780$; $\lambda_2 = 1\ 400$	mrežnjača oka	opekotina mrežnjače
l.	780–1 400 (IRA)	$L_R = (8,89 \times 10^8) / C\alpha$ za $t < 10\ \mu s$	$[W\ m^{-2}\ sr^{-1}]$	$C\alpha = 11$ za $\alpha \leq 11$ mrad $C\alpha = \alpha$ za $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C\alpha = 100$ za $\alpha > 100$ mrad mjerno vidno polje: 11 mrad $\lambda_1 = 780$; $\lambda_2 = 1\ 400$	mrežnjača oka	opekotina mrežnjače

m.	780–3 000 (IRA i IRB)	$E_{IR} = 18\,000\, t^{-0.75}$ za $t \leq 1\,000\, s$	$E: [W\, m^{-2}]$ $t: [sekunde]$		oko: rožnjača, sočivo	opekotina rožnjače kataraktogene za
n.	780–3 000 (IRA i IRB)	$E_{IR} = 100$ za $t > 1\,000\, s$	$[W\, m^{-2}]$		oko: rožnjača, sočivo	opekotina rožnjače kataraktogene za
o.	380–3 000 (vidljivo, IRA i IRB)	$H_{skin} = 20\,000\, t^{0.25}$ za $t < 10\, s$	$H: [J\, m^{-2}]$ $t: [sekunde]$		koža	opekotina

Napomena 1: Opseg od 300 do 700 nm obuhvata djelove UVB zračenja, cjelokupno UVA zračenje i najveći dio vidljivog zračenja; međutim, povezana štetnost se uobičajeno označava kao štetnost od „plavog svijetla”. Plavo svijetlo, strogo posmatrano, obuhvata samo opseg od približno 400 do 490 nm.

Napomena 2: Za stabilno posmatranje veoma malih izvora sa uglom posmatranja izvora manjim od 11 mrad, L_β se može konvertovati u E_β . Ovo se obično primjenjuje samo na oftalmološke instrumente ili na stabilizovano oko tokom anestezije. Maksimalno „vrijeme zurenja” određuje se formulom: $t_{max} = 100/E_\beta$, pri čemu je E_β izraženo u $W\, m^{-2}$. Zbog pokreta oka tokom uobičajenih vizuelnih zadataka, ovo vrijeme ne prelazi 100 s.

Tabela 2
S (λ) [bezdimeziono], od 180 nm do 400 nm

λ u nm	S(λ)	λ u nm	S(λ)	λ u nm	S(λ)	λ u nm	S(λ)	λ u nm	S(λ)
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		

Tabela 3
B(λ), R(λ) [bez dimenzije], od 380 nm do 1 400 nm

λ u nm	B(λ)	R(λ)
$300 \leq \lambda < 380$	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
$700 < \lambda \leq 1\ 050$	—	$10^{0,002 \cdot (700 - \lambda)}$
$1\ 050 < \lambda \leq 1\ 150$	—	0,2
$1\ 150 < \lambda \leq 1\ 200$	—	$0,2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1\ 150 - \lambda)}$
$1\ 200 < \lambda \leq 1\ 400$	—	0,02

Lasersko optičko zračenje

Biofizički relevantne vrijednosti izloženosti optičkom zračenju mogu se odrediti pomoću formula datih u nastavku. Formule koje se koriste zavise od talasne dužine i trajanja zračenja koje emituje izvor, a rezultati se upoređuju sa odgovarajućim graničnim vrijednostima izloženosti navedenim u Tabelama 2 do 4.

Za dati izvor laserskog optičkog zračenja može biti relevantno više od jedne vrijednosti izloženosti i odgovarajuće granične vrijednosti izloženosti.

Koeficijenti koji se koriste kao pomoćna sredstva za proračun u Tabelama 2 do 4 navedeni su u Tabeli 5, a korekcije za ponovljenu izloženost navedene su u Tabeli 6 ovog priloga.

$$E = \frac{dP}{dA} [Wm^{-2}]$$

$$H = \int_0^t E(t) dt [Jm^{-2}]$$

gdje je:

dP — snaga izražena u vatima [W];

dA — površina izražena u kvadratnim metrima [m²];

E(t), E — ozračenje ili gustina snage: snaga zračenja koja pada na jedinicu površine, uopšteno izražena u vatima po kvadratnom metru [W m⁻²]. Vrijednosti E(t), E dobijaju se mjerenjem ili ih može obezbijediti proizvođač opreme;

H — izloženost zračenju: vremenski integral ozračenja, izražen u džulima po kvadratnom metru [J m⁻²];

t — vrijeme, trajanje izloženosti, izraženo u sekundama [s];

λ — talasna dužina, izražena u nanometrima [nm];

γ — granični ugao konusa mjernog vidnog polja, izražen u miliradijanim [mrad];

γ_m — mjerno vidno polje, izraženo u miliradijanim [mrad];

α — ugao posmatranja izvora, izražen u miliradijanim [mrad];

G — granični otvor: kružna površina preko koje se usrednjavaju ozračenje i izloženost zračenju;

integrisana radijancija — integral radijancije tokom datog vremena izloženosti, izražen kao energija zračenja po jedinici površine zračeće površine po jedinici prostornog ugla emisije, u džulima po kvadratnom metru po steradianu [J m⁻² sr⁻¹].

Tabela 1
Štetnost zračenja

Talasna dužina [nm] λ	Raspon zračenja	Izloženi organ	Štetnost	Tabela graničnih vrijednosti izloženosti
180 do 400	UV	oko	fotohemijsko oštećenje i toplotno oštećenje	2, 3
180 do 400	UV	koža	eritema	4
400 do 700	vidljivo	oko	oštećenje mrežnjače	2
400 do 600	vidljivo	oko	fotohemijsko oštećenje	3
400 do 700	vidljivo	koža	toplotno oštećenje	4
700 do 1400	IRA	oko	toplotno oštećenje	2, 3
700 do 1400	IRA	koža	toplotno oštećenje	4
1400 do 2600	IRB	oko	toplotno oštećenje	2
2600 do 10^6	IRC	oko	toplotno oštećenje	2
1400 do 10^6	IRB, IRC	oko	toplotno oštećenje	3
1400 do 10^6	IRB, IRC	koža	toplotno oštećenje	4

Tabela 2
Granične vrijednosti za izloženost očiju laserskom zračenju – kratka izloženost u trajanju < 10 s

Talasna dužina ^a [nm]		Otvor	Trajanje [s]					
			$10^{-13} \text{ — } 10^{-11}$	$10^{-11} \text{ — } 10^{-9}$	$10^{-9} \text{ — } 10^{-7}$	$10^{-7} \text{ — } 1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5} \text{ — } 5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5} \text{ — } 10^{-3}$
UVC	180 — 280	$\tau \leq 1$	$E = 3 \cdot 10^{10} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$		$H = 30 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$			

UVB	280 — 302	vidi napomenu ^c	
	303		$H = 40 \text{ [J m}^{-2}\text{]}; \text{ ako je } t < 2,6 \cdot 10^{-9}, \text{ tada je } H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} \text{ [J m}^{-2}\text{] vidi napomenu } ^d$
	304		$H = 60 \text{ [J m}^{-2}\text{]}; \text{ ako je } t < 1,3 \cdot 10^{-8}, \text{ tada je } H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} \text{ [J m}^{-2}\text{] vidi napomenu } ^d$
	305		$H = 100 \text{ [J m}^{-2}\text{]}; \text{ ako je } t < 1,0 \cdot 10^{-7}, \text{ tada je } H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} \text{ [J m}^{-2}\text{] vidi napomenu } ^d$
	306		$H = 160 \text{ [J m}^{-2}\text{]}; \text{ ako je } t < 6,7 \cdot 10^{-7}, \text{ tada je } H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} \text{ [J m}^{-2}\text{] vidi napomenu } ^d$
	307		$H = 250 \text{ [J m}^{-2}\text{]}; \text{ ako je } t < 4,0 \cdot 10^{-6}, \text{ tada je } H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} \text{ [J m}^{-2}\text{] vidi napomenu } ^d$
	308		$H = 400 \text{ [J m}^{-2}\text{]}; \text{ ako je } t < 2,6 \cdot 10^{-5}, \text{ tada je } H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} \text{ [J m}^{-2}\text{] vidi napomenu } ^d$
	309		$H = 630 \text{ [J m}^{-2}\text{]}; \text{ ako je } t < 1,6 \cdot 10^{-4}, \text{ tada je } H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} \text{ [J m}^{-2}\text{] vidi napomenu } ^d$
	310		$H = 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}; \text{ ako je } t < 1,0 \cdot 10^{-3}, \text{ tada je } H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} \text{ [J m}^{-2}\text{] vidi napomenu } ^d$
	311		$H = 1,6 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}; \text{ ako je } t < 6,7 \cdot 10^{-3}, \text{ tada je } H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} \text{ [J m}^{-2}\text{] vidi napomenu } ^d$
	312		$H = 2,5 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}; \text{ ako je } t < 4,0 \cdot 10^{-2}, \text{ tada je } H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} \text{ [J m}^{-2}\text{] vidi napomenu } ^d$
	313		$H = 4,0 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}; \text{ ako je } t < 2,6 \cdot 10^{-1}, \text{ tada je } H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} \text{ [J m}^{-2}\text{] vidi napomenu } ^d$
	314		$H = 6,3 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}; \text{ ako je } t < 1,6 \cdot 10^0, \text{ tada je } H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} \text{ [J m}^{-2}\text{] vidi napomenu } ^d$
UVA	315 — 400		$H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$

Vidljivo zračenje i IRA	400 — 700	7 mm	$H = 1,5 \cdot 10^{-4} C_E [J m^{-2}]$	$H = 2,7 \cdot 10^4 t^{0.75} C_E [J m^{-2}]$	$H = 5 \cdot 10^{-3} C_E [J m^{-2}]$	$H = 18 t^{0.75} C_E [J m^{-2}]$	
	700 — 1 050		$H = 1,5 \cdot 10^{-4} C_A C_E [J m^{-2}]$	$H = 2,7 \cdot 10^4 t^{0.75} C_A C_E [J m^{-2}]$	$H = 5 \cdot 10^{-3} C_A C_E [J m^{-2}]$	$H = 18 t^{0.75} C_A C_E [J m^{-2}]$	
	1 050 — 1 400		$H = 1,5 \cdot 10^{-3} C_C C_E [J m^{-2}]$	$H = 2,7 \cdot 10^5 t^{0.75} C_C C_E [J m^{-2}]$	$H = 5 \cdot 10^{-2} C_C C_E [J m^{-2}]$		$H = 90 t^{0.75} C_C C_E [J m^{-2}]$
IRB i IRC	1 400 — 1 500	vidi napomenu ^b	$E = 10^{12} [W m^{-2}]$ vidi napomenu ^c		$H = 10^3 [J m^{-2}]$		$H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} [J m^{-2}]$
	1 500 — 1 800		$E = 10^{13} [W m^{-2}]$ vidi napomenu ^c		$H = 10^4 [J m^{-2}]$		
	1 800 — 2 600		$E = 10^{12} [W m^{-2}]$ vidi napomenu ^c		$H = 10^3 [J m^{-2}]$		$H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} [J m^{-2}]$
	2 600 — 10^6		$E = 10^{11} [W m^{-2}]$ vidi napomenu ^c		$H = 10^2 [J m^{-2}]$	$H = 5,6 \cdot 10^3 t^{0.25} [J m^{-2}]$	

- ^a Ako se na talasnu dužinu lasera odnose dvije granične vrijednosti, primjenjuje se restriktivnija.
- ^b Kada je $1\,400 \leq \lambda < 10^5$ nm: prečnik otvora = 1 mm za $t \leq 0,3$ s i $1,5 t^{0.375}$ mm za $0,3 \text{ s} < t < 10$ s; kada je $10^5 \leq \lambda < 10^6$ nm: prečnik otvora = 11 mm.
- ^c Zbog nedovoljnih podataka za ove dužine impulsa ICNIRP preporučuje primjenu granične vrijednosti ozračenosti za 1 ns.
- ^d Tabela daje vrijednosti za pojedinačne laserske impulse. U slučaju višestrukih impulsa potrebno je sabrati trajanja impulsa unutar intervala T_{min} (navedenog u Tabeli 6) i dobijenu vrijednost vremena unijeti kao t u formulu: $5,6 \cdot 10^3 t^{0.25}$.

Tabela 3
Granične vrijednosti za izloženost očiju laserskom zračenju – duža izloženost u trajanju ≥ 10 s

Talasna dužina ^a [nm]		Otvor	Trajanje [s]		
			$10^1 - 10^2$	$10^2 - 10^4$	$10^4 - 3 \cdot 10^4$
UVC	180 — 280	3,5 mm	$H = 30 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
UVB	280 — 302		$H = 40 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
	303		$H = 60 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
	304		$H = 100 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
	305		$H = 160 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
	306		$H = 250 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
	307		$H = 400 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
	308		$H = 630 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
	309		$H = 1,0 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
	310		$H = 1,6 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
	311		$H = 2,5 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
	312		$H = 4,0 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
	313		$H = 6,3 \cdot 10^3 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
	314		$H = 10^4 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
UVA	315 — 400		$H = 10^4 \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		
Vidljivo zračenje 400 — 700	400 — 600 Fotohemijska ^b oštećenja mrežnjače	7 mm	$H = 100 C_B \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ ($\gamma = 11 \text{ mrad}$) ^d	$E = 1 C_B \text{ [W m}^{-2}\text{]}$; ($\gamma = 1,1$ $t^{0,5} \text{ mrad}$) ^d	$E = 1 C_B \text{ [W m}^{-2}\text{]}$
	400 — 700 Termička ^b oštećenja mrežnjače		ako je $\alpha < 1,5 \text{ mrad} \rightarrow E = 10 \text{ [W m}^{-2}\text{]}$ ako je $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ i $t \leq T_2 \rightarrow H = 18 C_E t^{0,75} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$ ako je $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ i $t > T_2 \rightarrow E = 18 C_E T_2^{-0,25} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$		

IRA	700 — 1 400	7 mm	ako je $\alpha < 1,5 \text{ mrad} \rightarrow E = 10 C_A C_C [\text{W m}^{-2}]$ ako je $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ i $t \leq T_2 \rightarrow H = 18 C_A C_C C_E t^{0.75} [\text{J m}^{-2}]$ ako je $\alpha > 1,5 \text{ mrad}$ i $t > T_2 \rightarrow E = 18 C_A C_C C_E T_2^{-0.25} [\text{W m}^{-2}]$ (ne smije prelaziti $1\,000 \text{ W m}^{-2}$)
IRB i IRC	$1\,400 — 10^6$	vidi napome	$E = 1\,000 [\text{W m}^{-2}]$

- a Ako se na talasnu dužinu ili druge uslove lasera odnose dvije granične vrijednosti, primjenjuje se restriktivnija.
- b Za male izvore pod uglom $\leq 1,5 \text{ mrad}$, granične vrijednosti E za $400 — 600 \text{ nm}$ smanjuju se na termičke za $10 \text{ s} \leq t < T_1$ i na fotohemijske za duže trajanje. Za T_1 i T_2 vidi Tabelu 5. Granična vrijednost za fotohemijske opasnosti mrežnjače može se izraziti i kao vremenski integrisana radijansa $G = 10^6 C_B [\text{J m}^{-2} \text{ sr}^{-1}]$ za $t > 10 \text{ s}$ do $t = 10\,000 \text{ s}$ i $L = 100 C_B [\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}]$ za $t > 10\,000 \text{ s}$. Pri mjerenju G i L koristi se γ_m kao prosječno vidno polje. Zvanična granica između vidljivog i infracrvenog zračenja (CIE) je 780 nm . Kolona sa nazivima pojedinih oblasti talasnih dužina služi samo za bolju preglednost korisniku. (Oznaku G koristi CEN; oznaku Lt koristi CIE; oznaku LP koriste IEC i CENELEC.)
- c Za talasne dužine $1\,400 — 10^5 \text{ nm}$: prečnik otvora = $3,5 \text{ mm}$; za $10^5 — 10^6 \text{ nm}$: prečnik otvora = 11 mm .
- d Pri mjerenju izloženosti γ se uzima u obzir: ako je α (ugao izvora) $> \gamma$ (granični ugao stošca, u zagradi), veličina vidnog polja γ_m se uzima jednaka γ . Ako je $\alpha < \gamma$, γ_m mora biti dovoljno veliko da obuhvati izvor, inače nije ograničeno.

Tabela 4
Granične vrijednosti za izloženost kože laserskom zračenju

Talasna dužina λ [nm]	Otvor	Trajanje [s]					
		$< 10^{-9}$	$10^{-9} — 10^{-7}$	$10^{-7} — 10^{-3}$	$10^{-3} — 10^1$	$10^1 — 10^3$	$10^3 — 3 \cdot 10^4$

UV (A, B, C)	180 — 400	3,5 mm	$E = 3 \cdot 10^{10} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	Iste granične vrijednosti izloženosti kao za oči		
Vidljivo zračenje i IRA	400 — 700	3,5 mm	$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	$H = 200 C_A$	$H = 1,1 \cdot 10^4 C_A t^{0.25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	$E = 2 \cdot 10^3 C_A \text{ [W m}^{-2}\text{]}$
	700 — 1 400		$E = 2 \cdot 10^{11} C_A \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	$\text{[J m}^{-2}\text{]}$		
IRB i IRC	1 400 — 1 500		$E = 10^{12} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$	Iste granične vrijednosti izloženosti kao za oči		
	1 500 — 1 800		$E = 10^{13} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$			
	1 800 — 2 600	$E = 10^{12} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$				
	2 600 — 10^6	$E = 10^{11} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$				

^a Ako se na talasnu dužinu ili druge uslove lasera odnose dvije granične vrijednosti, primjenjuje se restriktivnija.

Tabela 5
Primijenjeni faktori korekcije i drugi parametri proračuna

Parametri kako su popisani u ICNIRP	Važeći spektralni raspon (nm)	Vrijednost
C_A	$\lambda < 700$	$C_A = 1,0$
	700–1050	$C_A = 10^{0,002(\lambda-700)}$
	1050–1400	$C_A = 5,0$
C_B	400-450	$C_B = 1,0$
	450 - 700	$C_B = 10^{0,02(\lambda-450)}$
C_C	700 - 1150	$C_C = 1,0$

	1150 - 1200	$C_C = 10^{0,018(\lambda-1150)}$
	1200 - 1400	$C_C = 8,0$
T_1	$\lambda < 450$	$T_1 = 10 \text{ s}$
	450 - 500	$T_1 = 10 \cdot 10^{0,02(\lambda-450)} \text{ s}$
	$\lambda > 500$	$T_1 = 100 \text{ s}$
Parametar iz ICNIRP	za važeći biološki efekat	vrijednost
$\alpha_{\min}$	svi termički efekti	$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$
Parametar iz ICNIRP	važeći raspon ugla (mrad)	vrijednost
C_E	$\alpha < \alpha_{\min}$	$C_E = 1,0$
	$\alpha_{\min} < \alpha < 100$	$C_E = \alpha / \alpha_{\min}$
	$\alpha > 100$	$C_E = \alpha^2 / (\alpha_{\min} \cdot \alpha_{\max}) \text{ mrad s}$ $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$
T_2	$\alpha < 1,5$	$T_2 = 10 \text{ s}$
	$1,5 < \alpha < 100$	$T_2 = 10 \cdot 10^{(\alpha-1,5)/98,5} \text{ s}$
	$\alpha > 100$	$T_2 = 100 \text{ s}$
Parametar iz ICNIRP	važeći opseg trajanja izloženosti (s)	vrijednost
Γ	$t \leq 100$	$\gamma = 11 \text{ [mrad]}$
	$100 < t < 10^4$	$\gamma = 1,1 t^{0,5} \text{ [mrad]}$
	$t > 10^4$	$\gamma = 110 \text{ [mrad]}$

Tabela 6
Korekcije za ponovljenu izloženost

Parametar	Važeći spektralni raspon (nm)	Vrijednost
T_{min}	$315 < \lambda \leq 400$	$T_{min} = 10^{-9} \text{ s } (= 1 \text{ ns})$
	$400 < \lambda \leq 1050$	$T_{min} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ s } (= 18 \text{ } \mu\text{s})$
	$1050 < \lambda \leq 1400$	$T_{min} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ s } (= 50 \text{ } \mu\text{s})$
	$1400 < \lambda \leq 1500$	$T_{min} = 10^{-3} \text{ s } (= 1 \text{ ms})$
	$1500 < \lambda \leq 1800$	$T_{min} = 10 \text{ s}$
	$1800 < \lambda \leq 2600$	$T_{min} = 10^{-3} \text{ s } (= 1 \text{ ms})$
	$2600 < \lambda \leq 10^6$	$T_{min} = 10^{-7} \text{ s } (= 100 \text{ ns})$

Napomena: Svako od tri pravila primjenjuje se na ponovljenu izloženost zračenju iz laserskih sistema ponavljajućeg impulsa ili skeniranja.

1. Izloženost svakom pojedinačnom impulsu zračenja u nizu emisija ne smije prelaziti najviši granični nivo za pojedinačan impuls takvog trajanja impulsa.
2. Izloženost svakoj grupi impulsa (ili podgrupi impulsa u nizu) izvršenom u vremenu t ne smije prelaziti granične vrijednosti izloženosti za vrijeme t .
3. Izloženost svakom pojedinačnom impulsu u grupi impulsa ne smije prelaziti granične vrijednosti za pojedinačan impuls pomnožen faktorom kumulativno-toplotne korekcije $C_p = N^{-0.25}$, gdje je N broj impulsa. Ovo se pravilo primjenjuje samo na granične vrijednosti izloženosti za zaštitu od toplotnih povreda, kada se svi impulsi u manje od T_{min} smatraju jednim pojedinačnim impulsom.