

## LIITE I

## Epäkoherentti optinen säteily

Biofysikaalisesti merkittävät optisen säteilyn altistumisarvot voidaan määrittää alla esitettyjen kaavojen avulla. Tietyn kaavan käyttö riippuu kulloisestakin lähteestä tulevan säteilyn alueesta, ja tuloksia olisi verrattava vastaaviin altistumisen raja-arvoihin, jotka on esitetty taulukossa 1.1. Joihinkin optisen säteilyn lähteisiin voidaan soveltaa useampaa kuin yhtä altistumisarvoa ja sitä vastaavaa altistumisrajaa.

Jäljempänä olevat a–o alakohdat viittaavat vastaaviin riveihin taulukossa 1.1.

a) 
$$H_{\text{eff}} = \int_0^t \int_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 ( $H_{\text{eff}}$  on merkityksellinen vain välillä 180–400 nm)

b) 
$$H_{\text{UVA}} = \int_0^t \int_{\lambda=315 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 ( $H_{\text{UVA}}$  on merkityksellinen vain välillä 315–400 nm)

c, d) 
$$L_B = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$$
 ( $L_B$  on merkityksellinen vain välillä 300–700 nm)

e, f) 
$$E_B = \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda$$
 ( $E_B$  on merkityksellinen vain välillä 300–700 nm)

g–l) 
$$L_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$$
 ( $\lambda_1$  ja  $\lambda_2$  : ks. asianmukaiset arvot taulukosta 1.1)

m, n) 
$$E_{\text{IR}} = \int_{\lambda=780 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$$
 ( $E_{\text{IR}}$  on merkityksellinen vain välillä 780–3 000 nm)

o) 
$$H_{\text{Ih0}} = \int_0^t \int_{\lambda=380 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 ( $H_{\text{Ih0}}$  on merkityksellinen vain välillä 380–3 000 nm)

Tässä asetuksessa yllä esitetyt kaavat voidaan korvata seuraavilla lausekkeilla ja käyttämällä taulukoissa esitettyjä erillisiä arvoja:

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

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

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–l) 
$$L_R = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$
 ( $\lambda_1$  ja  $\lambda_2$  : ks. asianmukaiset arvot taulukosta 1.1)

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

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

Selitykset:

- $E_{\lambda}(\lambda, t), E_{\lambda}$  *spektrinen irradianssi tai spektrinen tehotiheys*: tietylle pinnalle kohdistuva säteilyteho pinta-alayksikköä kohti, joka ilmaistaan watteina neliometriä ja nanometriä kohti [ $\text{W m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$ ];  $E_{\lambda}(\lambda, t)$ :n ja  $E_{\lambda}$ :n arvot tulevat mittauksista tai laitteiston valmistaja voi toimittaa ne;
- $E_{\text{eff}}$  *efektiivinen irradianssi (UV-alue)*:  $S(\lambda)$ :lla spektrisesti painotettu laskettu irradianssi UV-aallonpituusalueella 180–400 nm, joka ilmaistaan watteina neliometriä kohti [ $\text{W m}^{-2}$ ];
- $H$  *energiatiheys*: irradianssin aikaintegraali, ilmaistaan jouleina neliometriä kohti [ $\text{J m}^{-2}$ ];
- $H_{\text{eff}}$  *efektiivinen energiatiheys*:  $S(\lambda)$ :lla spektrisesti painotettu säteilyaltistuminen, joka ilmaistaan jouleina neliometriä kohti [ $\text{J m}^{-2}$ ];
- $E_{\text{UVA}}$  *kokonaisirradianssi (UVA)*: laskettu irradianssi UVA-aallonpituusalueella 315 — 400 nm, joka ilmaistaan watteina neliometriä kohti [ $\text{W m}^{-2}$ ];
- $H_{\text{UVA}}$  *energiatiheys (UVA)*: irradianssin integraali ajan ja aallonpituuden suhteen UVA-aallonpituusalueella 315–400 nm, joka ilmaistaan jouleina neliometriä kohti [ $\text{J m}^{-2}$ ];
- $S(\lambda)$  *spektrinen painotus*, jossa otetaan huomioon UV-säteilyn silmiin ja ihoon kohdistuvien terveysvaikutusten aallonpituusriippuvuus, (taulukko 1.2) [dimensioton];
- $t, \Delta t$  *aika, altistumisen kesto*, joka ilmaistaan sekunteina [s];
- $\lambda$  *aallonpituus*, joka ilmaistaan nanometreinä [nm];
- $\Delta \lambda$  *kaistanleveys*, joka ilmaistaan nanometreinä [nm], laskelma- tai mittaussväli;
- $L_{\lambda}(\lambda), L_{\lambda}$  *lähteen spektrinen radianssi*, joka ilmaistaan watteina neliometriä, steradiaania ja nanometriä kohti [ $\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ nm}^{-1}$ ];
- $R(\lambda)$  *spektrinen painotus*, jossa otetaan huomioon näkyvän ja IRA-säteilyn silmälle aiheuttaman lämpövaurion aallonpituusriippuvuus (taulukko 1.3) [dimensioton];
- $L_{\text{R}}$  *efektiivinen radianssi (lämpövaurio)*:  $R(\lambda)$ :lla spektrisesti painotettu laskettu radianssi, joka ilmaistaan watteina neliometriä ja steradiaania kohti [ $\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ ];
- $B(\lambda)$  *spektrinen painotus*, jossa otetaan huomioon sinisen valon silmälle aiheuttaman fotokemiallisen vaurion aallonpituusriippuvuus (taulukko 1.3) [dimensioton];
- $L_{\text{B}}$  *efektiivinen radianssi (sininen valo)*:  $B(\lambda)$ :lla spektrisesti painotettu laskettu radianssi, joka ilmaistaan watteina neliometriä ja steradiaania kohti [ $\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ ];
- $E_{\text{B}}$  *efektiivinen irradianssi (sininen valo)*:  $B(\lambda)$ :lla spektrisesti painotettu laskettu irradianssi, joka ilmaistaan watteina neliometriä kohti [ $\text{W m}^{-2}$ ];
- $E_{\text{IR}}$  *kokonaisirradianssi (lämpövaurio)*: laskettu infrapunasäteilyn irradianssi aallonpituusalueella 780 nm–3 000 nm, joka ilmaistaan watteina neliometriä kohti [ $\text{W m}^{-2}$ ];
- $E_{\text{ihö}}$  *kokonaisirradianssi (näkyvä, IRA ja IRB)*: laskettu näkyvän ja infrapunasäteilyn irradianssi aallonpituusalueella 380 nm–3 000 nm, joka ilmaistaan watteina neliometriä kohti [ $\text{W m}^{-2}$ ];
- $H_{\text{ihö}}$  *energiatiheys*: irradianssin aika- ja aallonpituusintegraali näkyvän ja infrapunasäteilyn aallonpituusalueella 380–3 000 nm, joka ilmaistaan jouleina neliometriä kohti [ $\text{J m}^{-2}$ ];
- $\alpha$  *kulmakoko*: näkyvän lähteen tietyllä katseluetäisyydellä rajaama kulma, joka ilmaistaan milliradiaaneina (mrad). Näkyvä lähde on todellinen tai virtuaalinen kohde, joka muodostaa pienimmän mahdollisen kuvan verkkokalvolle.

Taulukko 1.1  
**Altistumisen raja-arvot epäkohorentille optiselle säteilylle**

Kohtra	Aallonpituus nm	Altistumisen raja-arvo	Yksiköt	Huomautus	Kehonosa	Vaurio
a.	180–400 (UVA, UVB ja UVC)	$H_{UVA} = 30$ päivittäinen arvo (8 h)	$[J\ m^{-2}]$		silmä sarvekskalvo sidekalvo mykiö iho	sarvekskalvovaurio sidekalvovaurio harmaakaihi eryteema elastoosi ihosyöpä
b.	315–400 (UVA)	$H_{UVA} = 10^4$ päivittäinen arvo (8 h)	$[J\ m^{-2}]$		silmä mykiö	harmaakaihi
c.	300–700 (sininen valo) ks. huom. 1	$L_B = \frac{10^6}{t}$ kun $t \leq 10\ 000\ s$	$L_B: [W\ m^{-2}\ sr^{-1}]$ t: [sekuntia]	kun $\alpha \geq 11\ mrad$		
d.	300–700 (sininen valo) ks. huom. 1	$L_B = 100$ kun $t > 10\ 000\ s$	$[W\ m^{-2}\ sr^{-1}]$			
e.	300–700 (sininen valo) ks. huom. 1	$E_B = \frac{100}{t}$ kun $t \leq 10\ 000\ s$	$E_B: [W\ m^{-2}]$ t: [sekuntia]	kun $\alpha < 11\ mrad$ ks. huom. 2	silmä verkkokalvo	verkkokalvovaurio
f.	300–700 (sininen valo) ks. huom. 1	$E_B = 0,01$ t > 10 000 s	$[W\ m^{-2}]$			

Kohta	Aallonpituus nm	Alitumisen raja-arvo	Yksiköt	Huomautus	Kehonosa	Vaurio
g.	380-1 400 (näkyvä ja IRA)	$L_R = \frac{2,8 \times 10^7}{C_a}$ kun $t > 10$ s	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]	$C_a = 1,7$ , kun $\alpha \leq 1,7$ mrad $C_a = \alpha$ , kun $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_a = 100$ , kun $\alpha > 100$ mrad $\lambda_1 = 380$ ; $\lambda_2 = 1 400$	silmä verkkokalvo	verkkokalvon palovamma
h.	380-1 400 (näkyvä ja IRA)	$L_R = \frac{5 \times 10^7}{C_a^{0,25}}$ kun $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10$ s	$L_R$ : [W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ] t: [sekuntia]			
i.	380-1 400 (näkyvä ja IRA)	$L_R = \frac{8,89 \times 10^8}{C_a}$ kun $t < 10 \mu\text{s}$	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]			
j.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{6 \times 10^6}{C_a}$ kun $t > 10$ s	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]	$C_a = 11$ , kun $\alpha \leq 11$ mrad $C_a = \alpha$ , kun $11 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_a = 100$ , kun $\alpha > 100$ mrad (mittausnäkökenttä: 11 mrad) $\lambda_1 = 780$ ; $\lambda_2 = 1 400$	silmä verkkokalvo	verkkokalvon palovamma
k.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{5 \times 10^7}{C_a^{0,25}}$ kun $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10$ s	$L_R$ : [W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ] t: [sekuntia]			
l.	780-1 400 (IRA)	$L_R = \frac{8,89 \times 10^8}{C_a}$ kun $t < 10 \mu\text{s}$	[W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]			
m.	780-3 000 (IRA ja IRE)	$E_{IR} = 18 000 t^{0,25}$ kun $t \leq 1 000$ s	E: [W m <sup>-2</sup> ] t: [sekuntia]			
n.	780-3 000 (IRA ja IRE)	$E_{IR} = 100$ kun $t > 1 000$ s	[W m <sup>-2</sup> ]		silmä sarveiskalvo mykiö	sarveiskalvon palovamma harmaakaihi

Kohta	Aallonpituus nm	Altistumisen raja-arvo	Yksiköt	Huomautus	Kehonosa	Vaurio
o.	380–3 000 (näkyvä, IRA ja IRB)	$H_{lim} = 20\,000 t^{0,25}$ kun $t < 10$ s	H: $J m^{-2}$ t: [sekuntia]		iho	palovamma

**Huom 1:** Alue 300–700 nm kattaa osan UVB-säteilyä, UVA-säteilyn kokonaan ja suurimman osan näkyvästä säteilystä. Näihin liittyyään kuitenkin riskin viitataan kuitenkin yleisesti ilmauksella "sininen valo". Tarkasti ottaen sininen valo kattaa ainoastaan suunnilleen 400–490 nm:n välisen alueen.

**Huom 2:** Paikallaan pysyvien erittäin pieneen (kulmakoko on < 11 mrad) lähteiden osalta  $L_{10}$  voidaan korvata  $E_{p,fl}$ . Tätä sovelletaan tavallisesti vain oftalmologisiin laitteisiin tai liikkumattomaan silmään anestesian aikana. Suurin mahdollinen "tuojuotusaika" saadaan seuraavasti:  $t_{max} = 100/E_p$ , jossa  $E_p$  on ilmaistu watteina neliometriä kohti ( $W m^{-2}$ ). Tavallisten näkötehtävien aikana tämä ei silmälilkeistä johtuen ylitä 100 s.

Taulukko 1.2

S (λ) [dimensioton], 180 nm–400 nm

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

Taulukko 1.3

B (λ), R (λ) [dimensioton], 380 nm–1 400 nm

λ (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
$500 < \lambda \leq 600$	$10^{0,02(450-\lambda)}$	1
$600 < \lambda \leq 700$	0,001	1
$700 < \lambda \leq 1\ 050$	—	$10^{0,002(700-\lambda)}$
$1\ 050 < \lambda \leq 1\ 150$	—	0,2
$1\ 150 < \lambda \leq 1\ 200$	—	$0,2 \cdot 10^{0,02(1\ 150-\lambda)}$
$1\ 200 < \lambda \leq 1\ 400$	—	0,02

## LIITE II

## Optinen lasersäteily

Biofysikaalisesti merkittävät optisen säteilyn altistumisarvot voidaan määrittää alla esitettyjen kaavojen avulla. Tietyn kaavan käyttö riippuu kulloisestakin lähteestä tulevan säteilyn aallonpituudesta ja kestosta, ja tuloksia olisi verrattava vastaaviin altistumisen raja-arvoihin, jotka on esitetty taulukoissa 2.2–2.4. Joihinkin optisen lasersäteilyn lähteisiin voidaan soveltaa useampaa kuin yhtä altistumisarvoa ja sitä vastaavaa altistusrajaa.

Taulukoissa 2.2–2.4 laskentaparametreinä käytettävät kertoimet on lueteltu taulukossa 2.5 ja toistuvan altistumisen osalta käytettävät korjauskertoimet taulukossa 2.6.

$$E = \frac{dP}{dA} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$$

$$H = \int_0^t E(t) \cdot dt \text{ [J m}^{-2}\text{]}$$

Selitykset:

dP *teho*, joka ilmaistaan watteina [W];

dA *pinta-ala*, joka ilmaistaan neliömetreinä [m<sup>2</sup>];

E (t), E *irradianssi tai tehotiheys*: tietylle pinnalle kohdistuva säteilyteho pinta-alayksikköä kohti, joka ilmaistaan yleensä watteina neliometriä kohti [W m<sup>-2</sup>]; E (t):n ja E:n arvot tulevat mittauksista tai laitteiston valmistaja voi toimittaa ne;

H *energiatiheys*: irradianssin aikaintegraali, ilmaistaan jouleina neliometriä kohti [J m<sup>-2</sup>];

t *aika, altistumisen kesto*, joka ilmaistaan sekunteina [s];

λ *aallonpituus*, joka ilmaistaan nanometreinä [nm];

γ *mittausnäkökentän rajaava kartiokulma*, joka ilmaistaan milliradiaaneina [mrad];

γ<sub>m</sub> *mittausnäkökenttä*, joka ilmaistaan milliradiaaneina [mrad];

α *lähteen kulmakoko*, joka ilmaistaan milliradiaaneina [mrad];

*rajaava aukko*: ympyränmuotoinen alue, jolta irradianssin ja energiatiheyden keskiarvot lasketaan;

G *integroitu radianssi*: irradianssin integraali tiettyä altistumisaikana, joka ilmaistaan säteilyenergiana säteilevän pinnan pinta-alayksikköä kohti ja säteilyn avaruuskulmayksikköä kohti, jouleina neliometriä ja steradiaania kohti [J m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup>].

Taulukko 2.1

## Säteilyvauriot

Aallonpituus [nm] $\lambda$	Säteilyalue	Kohteena oleva elin	Vaurio	Altistumisen raja-arvoa koskeva taulukko
180–400	UV	silmä	fotokemiallinen vaurio ja lämpövaurio	2.2, 2.3
180–400	UV	iho	eryteema	2.4
400–700	näkyvä	silmä	verkkokalvon vaurio	2.2
400–600	näkyvä	silmä	valokemiallinen vaurio	2.3
400–700	näkyvä	iho	lämpövaurio	2.4
700–1 400	IRA	silmä	lämpövaurio	2.2, 2.3
700–1 400	IRA	iho	lämpövaurio	2.4
1 400–2 600	IRB	silmä	lämpövaurio	2.2
2 600–10 <sup>6</sup>	IRC	silmä	lämpövaurio	2.2
1 400–10 <sup>6</sup>	IRB, IRC	silmä	lämpövaurio	2.3
1 400 –10 <sup>6</sup>	IRB, IRC	iho	lämpövaurio	2.4

Taulukko 2.2

Silmään kohdistuvan laseraltistumisen raja-arvot — Lyhykestoinen altistuminen < 10 s

Aalloppituus <sup>a</sup> [nm]	Aukko	Kesto [s]						
		$10^{-13} - 10^{-11}$	$10^{-11} - 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^{-7} - 1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3} - 10^3$	
UVC	180–280							
	280–302							
	303							
	304							
	305							
	306							
	307							
	308							
	309							
	310							
	311							
	312							
	313							
	314							
UVA	315–400							
	400–700							
	700–1 050							
	1 050–1 400							
IRB & IRC	1 400–1 500							
	1 500–1 800							
	1 800–2 600							
2 600–10 <sup>6</sup>								

a Jos laserin aalloppituudella on kaksi rajaa, sovelletaan niistä tiukempaa.  
 Kun  $1\ 400 \leq \lambda < 10^6$  nm: aukon läpimitta = 1 mm, kun  $t \leq 0,3$  s; ja  $1,5 \cdot 10^{0,75}$  mm, kun  $0,3 < t \leq 10$  s; kun  $10^5 \leq \lambda < 10^6$  nm: aukon läpimitta = 11 mm.  
 b Koska näillä pulssipituuksilla tiedot ovat puutteelliset, ICNIRP suosittelee 1 n:n irradianssin rajan käyttöä.  
 c Taulukossa on yksittäisten laserpulsseiden arvot. Silloin kun on kyse monista laserpulsseista, välille  $T_{min}$  (lueteltu taulukossa 2.6) sijoituvien laserpulsseiden kestot on laskettava yhteen ja tulokseksi saatua aika-arvoa on käytettävä tmi kaavassa:  $5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$ .  
 d

Taulukko 2.3

Silmään kohdistuvan laseraltistuksen raja-arvot — Pitkäkestoinen altistuminen ≥ 10 s

Aallonpituus <sup>a</sup> [nm]		Aukko	Kesto [s]	
UVC	180–280 280–302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315–400		10 <sup>1</sup> –10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> –10 <sup>4</sup>  H = 30 [J m <sup>-2</sup> ] H = 40 [J m <sup>-2</sup> ] H = 60 [J m <sup>-2</sup> ] H = 100 [J m <sup>-2</sup> ] H = 160 [J m <sup>-2</sup> ] H = 250 [J m <sup>-2</sup> ] H = 400 [J m <sup>-2</sup> ] H = 630 [J m <sup>-2</sup> ] H = 1,0 · 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ] H = 1,6 · 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ] H = 2,5 · 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ] H = 4,0 · 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ] H = 6,3 · 10 <sup>3</sup> [J m <sup>-2</sup> ] H = 10 <sup>4</sup> [J m <sup>-2</sup> ]
Näkyyä 400–700	400–600 Fotokemiallinen <sup>b</sup> Verkkokalvon vaurio	7 mm	H = 100 C <sub>B</sub> [J m <sup>-2</sup> ] (γ = 1,1 mrad) <sup>d</sup>	E = 1 C <sub>B</sub> [W m <sup>-2</sup> ]; (γ = 1,1 t <sup>0,5</sup> mrad) <sup>d</sup>  E = 1 C <sub>B</sub> [W · m <sup>-2</sup> ] (γ = 1,10 mrad) <sup>d</sup>
	400–700 Terminen <sup>b</sup> Verkkokalvon vaurio		jos α < 1,5 mrad, jos α > 1,5 mrad ja t ≤ T <sub>2</sub> , jos α > 1,5 mrad ja t > T <sub>2</sub> ,	niin E = 10 [W m <sup>-2</sup> ] niin H = 18 C <sub>F</sub> t <sup>0,75</sup> [J m <sup>-2</sup> ] niin E = 18 C <sub>F</sub> T <sub>2</sub> <sup>-0,25</sup> [W m <sup>-2</sup> ]  niin E = 10 C <sub>A</sub> C <sub>C</sub> [W m <sup>-2</sup> ] niin H = 18 C <sub>A</sub> C <sub>C</sub> t <sup>0,25</sup> [J m <sup>-2</sup> ] niin E = 18 C <sub>A</sub> C <sub>C</sub> T <sub>2</sub> <sup>-0,25</sup> [W m <sup>-2</sup> ] (ei saa ylittää 1 000 W m <sup>-2</sup> )
IRA	700–1 400	7 mm	jos α < 1,5 mrad, jos α > 1,5 mrad ja t ≤ T <sub>2</sub> jos α > 1,5 mrad ja t > T <sub>2</sub>	
IRB & IRC	1 400–10 <sup>6</sup>	k <sub>2</sub>		E = 1 000 [W m <sup>-2</sup> ]

<sup>a</sup> Jos laserin aallonpituudella tai muulla ominaisuudella on kaksi rajaa, sovelletaan niistä tiukempaa.  
<sup>b</sup> Pienten lähteiden osalta, joiden kulmakoko on 1,5 mrad tai pienempi, näkyvän säteilyn kaksinkertainen raja-arvo E alueella 400 nm–600 nm pelkistyvät termisen vaurion rajaksi, kun 10 s ≤ t < T<sub>2</sub>, ja fotokemiallisen vaurion rajaksi altistumisaajan ollessa t > 10 000 s. G<sub>n</sub> ja L<sub>n</sub> mittaamisessa keskiarvon määrittävänä näkökenttänä on käytettävä γ<sub>0,5</sub>-ää. C<sub>IE</sub>:n määrittämä virallinen raja näkyvän säteilyn ja infrapunasäteilyn välillä on 780 nm. Aallonpituuskaitojen nimet sisältävä sarakke on tarkoitettu ainoastaan antamaan käytäjälle parempi kuva asiasta. (CEN käyttää merkintää G, CIE merkintää L<sub>n</sub> ja IEC ja CENELEC käyttävät merkintää L<sub>p</sub>).  
<sup>c</sup> Aallonpituus 1 400–10<sup>6</sup> nm: aukon halkaisija = 3,5 mm; aallonpituus 10<sup>3</sup>–10<sup>6</sup> nm: aukon halkaisija = 11 mm.  
<sup>d</sup> Altistumisarvon mittausta varten y määritetään seuraavasti: jos α (lähteen kulmakoko) > γ (rajaava kartiokulma, vastaavassa sarakkeessa suhteissa), niin mittaustuokentian (γ<sub>m</sub>) tulee olla annettu y:n arvo. (Jos käytetään laajempaa mittaustuokentiaa, vaara yllärioidaan.) Jos α < γ, niin mittaustuokentian (γ<sub>m</sub>) on oltava riittävän laaja kattamaan lähteen kokonaan, mutta sitä ei muuteta rajata ja se voi olla laajempi kuin γ.

Taulukko 2.4

## Ihoon kohdistuvan laseraltistumisen raja-arvot

Aalloppituus <sup>a</sup> [nm]	Aukko	Kesto [s]				
		$< 10^0$	$10^0 - 10^2$	$10^2 - 10^3$	$10^3 - 10^4$	$10^4 - 3 \cdot 10^6$
UV (A, B, C)	3,5 mm	$E = 3 \cdot 10^{10} [\text{W m}^{-2}]$	Samat kuin silmän altistumisraajat			
Näkyvä & IRA	400-700	$E = 2 \cdot 10^{11} [\text{W m}^{-2}]$	$H = 200 C_A$ $[\text{J m}^{-2}]$	$H = 1,1 \cdot 10^8 C_A t^{0,27} [\text{J m}^{-2}]$	$E = 2 \cdot 10^7 C_A [\text{W m}^{-2}]$	
	700-1 400	$E = 2 \cdot 10^{11} C_A [\text{W m}^{-2}]$				
IRB & IRC	1 400-1 500	$E = 10^{12} [\text{W m}^{-2}]$	Samat kuin silmän altistumisraajat			
	1 500-1 800	$E = 10^{13} [\text{W m}^{-2}]$				
	1 800-2 600	$E = 10^{12} [\text{W m}^{-2}]$				
	2 600-10 <sup>6</sup>	$E = 10^{11} [\text{W m}^{-2}]$				

a Jos laserin aalloppituudella tai muulla ominaisuudella on kaksi rajaa, sovelletaan niistä tiukempaa.

Taulukko 2.5

## Sovellettavat korjauskertoimet ja muut laskentaparametrit

ICNIRP:n esittämä parametri	Aallonpituusalue (nm)	Arvo
$C_A$	$\lambda < 700$	$C_A = 1,0$
	700 — 1 050	$C_A = 10^{0,002(\lambda - 700)}$
	1 050 — 1 400	$C_A = 5,0$
$C_B$	400 — 450	$C_B = 1,0$
	450 — 700	$C_B = 10^{0,02(\lambda - 450)}$
$C_C$	700 — 1 150	$C_C = 1,0$
	1 150 — 1 200	$C_C = 10^{0,018(\lambda - 1 150)}$
	1 200 — 1 400	$C_C = 8,0$
$T_1$	$\lambda < 450$	$T_1 = 10 \text{ s}$
	450 — 500	$T_1 = 10 \cdot [10^{0,02(\lambda - 450)}] \text{ s}$
	$\lambda > 500$	$T_1 = 100 \text{ s}$
ICNIRP:n esittämä parametri	Biologinen vaikutus	Arvo
$\alpha_{\min}$	Kaikki lämpövaikutukset	$\alpha_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$
ICNIRP:n esittämä parametri	Kulmakoko (mrad)	Arvo
$C_E$	$\alpha < \alpha_{\min}$	$C_E = 1,0$
	$\alpha_{\min} < \alpha < 100$	$C_E = \alpha/\alpha_{\min}$
	$\alpha > 100$	$C_E = \alpha^2/(\alpha_{\min} \cdot \alpha_{\max}) \text{ mrad}$ missä $\alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$
$T_2$	$\alpha < 1,5$	$T_2 = 10 \text{ s}$
	$1,5 < \alpha < 100$	$T_2 = 10 \cdot [10^{(\alpha - 1,5) / 98,5}] \text{ s}$
	$\alpha > 100$	$T_2 = 100 \text{ s}$

ICNIRP:n esittämä parametri	Altistumisaika (s)	Arvo
γ	$t \leq 100$	$\gamma = 11$ [mrad]
	$100 < t < 10^4$	$\gamma = 1,1 t^{0,5}$ [mrad]
	$t > 10^4$	$\gamma = 110$ [mrad]

Taulukko 2.6

**Korjauskertoimet toistuvaa altistumista varten**

Kaikkia kolmea alla olevaa yleissääntöä tulee soveltaa peräkkäisiä pulsseja lähettävien tai skannaavien laserjärjestelmien aiheuttamaan toistuvaan altistumiseen:

1. Pulsсионon yksittäisestä pulssista aiheutuva altistuminen ei saa ylittää kyseisen pulssinpituisen yksittäisen pulssin altistumisen raja-arvoa.
2. Minkään ajan  $t$  kestoisen pulssijoukon (tai pulssijoukon osan) aiheuttama altistuminen ei saa ylittää aikaa  $t$  vastaavaa altistumisen raja-arvoa.
3. Minkään pulssijoukon yksittäisen pulssin aiheuttama altistuminen ei saa ylittää yksittäisen pulssin altistumisen raja-arvoa kerrottuna kumulatiivisella lämpökorjauskertoimella  $C_p = N^{-0,25}$ , jossa  $N$  on pulssien lukumäärä. Tätä sääntöä sovelletaan ainoastaan lämpövaurioilta suojaaviin altistumisrajoihin, jolloin kaikkia alle  $T_{\min}$  aikana tulevia pulsseja pidetään yksittäisenä pulssina.

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

JULKAISIJA: OIKEUSMINISTERIÖ

N:o 145—146, 2 ½ arkkia