

## LIITE 1

### Altistuksen raja-arvot ja toimenpidetasot sähkömagneettisille kentille

#### Staattiset magneettikentät taajuusalueella 0–1 Hz

##### Altistuksen raja-arvo

Altistuksen raja-arvo määritetään ulkoisen magneettivuon tiheytenä.

**Taulukko 1.1.** Altistuksen raja-arvo ulkoisen magneettivuon tiheytenä taajuusalueella 0–1 Hz.

| Taajuusalue | Magneettivuon tiheys<br>mT |
|-------------|----------------------------|
| 0–1 Hz      | 400                        |

##### Toimenpidetaso

**Taulukko 1.2.** Toimenpidetaso 0–1 Hz:n magneettivuon tiheydelle aktiivisten implantoitujen laitteiden, esimerkiksi sydämentahdistimien, häiriintymisen estämiseksi sekä magneettikentän aiheuttaman vetovoimavaikutuksen riskin rajoittamiseksi.

| Taajuusalue | Magneettivuon tiheys<br>mT |
|-------------|----------------------------|
| 0–1 Hz      | 0,5                        |

#### Sähkömagneettiset kentät taajuusalueella 1 Hz–300 GHz

##### Altistuksen raja-arvot

Altistuksen raja-arvot määritetään ulkoisen sähkömagneettisen kentän kehoon indusoiman sisäisen sähkökentän voimakkuutena taajuusalueella 1 Hz–10 MHz (taulukko 1.3) ja ulkoisesta sähkömagneettisesta kentästä kehoon painoyksikköä kohti imeytyvänä tehona eli ominaisabsorptionopeutena (SAR) taajuusalueella 100 kHz–6 GHz (taulukko 1.4) sekä sähkömagneettisen kentän tehotiheytenä taajuusalueella 6–300 GHz (taulukko 1.5).

**Taulukko 1.3.** Altistuksen raja-arvot sähkömagneettisen kentän kehoon indusoiman sähkökentän voimakkuuden huippuarvoina taajuusalueella 1 Hz–10 MHz.

| Taajuusalue  | Pää<br>V/m           | Muut kehon osat<br>V/m |
|--------------|----------------------|------------------------|
| 1–10 Hz      | 0,14/f               | 0,57                   |
| 10–25 Hz     | 0,014                | 0,57                   |
| 25–1000 Hz   | $5,7 \cdot 10^{-4}f$ | 0,57                   |
| 1–3 kHz      | 0,57                 | 0,57                   |
| 3 kHz–10 MHz | $1,9 \cdot 10^{-4}f$ | $1,9 \cdot 10^{-4}f$   |

Huomautus: Taulukossa 1.3 f on taajuus hertseinä.

**Taulukko 1.4.** Altistuksen raja-arvot sähkömagneettisen kentän kehoon aiheuttamana ominaisabsorptionopeutena (SAR) taajuusalueella 100 kHz–6 GHz.

| Taajuusalue   | Keskimääräinen koko kehon SAR W/kg | Paikallinen SAR päässä ja vartalossa W/kg | Paikallinen SAR raajoissa W/kg |
|---------------|------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|
| 100 kHz–6 GHz | 0,08                               | 2                                         | 4                              |

Huomautus 1: Taulukossa 1.4 SAR määritetään keskiarvona kuuden minuutin ajanjaksoilta.

Huomautus 2: Taulukossa 1.4 paikallinen SAR määritetään keskiarvona 10 g:n kudossmassassa.

Huomautus 3: Taulukossa 1.4 taajuusalueella 0,3–6 GHz pulssimaisen sähkömagneettisen kentän altistuksen raja-arvo alle 30 µs:n pituisen pulssin päähän aiheuttamana ominaisabsorptiona on 2 mJ/kg määritettynä keskiarvona 10 g:n kudossmassassa.

**Taulukko 1.5.** Altistuksen raja-arvo sähkömagneettisen kentän tehotiheytenä taajuusalueella 6–300 GHz.

| Taajuusalue | Tehotiheys W/m <sup>2</sup> |
|-------------|-----------------------------|
| 6–300 GHz   | 10                          |

Huomautus 1: Taulukossa 1.5 tehotiheys määritetään taajuusalueella 6–10 GHz keskiarvona kuuden minuutin ajanjaksoilta ja taajuusalueella 10–300 GHz keskiarvona  $68/f^{1,05}$  minuutin ajanjaksoilta, missä  $f$  on taajuus gigahertseinä.

Huomautus 2: Taulukossa 1.5 tehotiheys määritetään keskiarvona 20 cm<sup>2</sup>:n pinta-alalta.

Huomautus 3: Taulukossa 1.5 paikallinen tehotiheys, joka määritetään keskiarvona 1 cm<sup>2</sup>:n pinta-alalta, ei saa olla suurempi kuin 200 W/m<sup>2</sup>.

### Toimenpidetasot

Toimenpidetasot esitetään ulkoisen sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden sekä ulkoisen magneettivuon tiheyden tehollisarvoina taajuusalueella 1 Hz–10 MHz taulukossa 1.6 ja taajuusalueella 10 MHz–300 GHz taulukossa 1.7. Toimenpidetasot esitetään myös sähkö- ja magneettikentän ekvivalenttisina tehotiheyksinä taulukossa 1.8. Taulukoissa 1.6 ja 1.7 annetuista toimenpidetasoista sovelletaan 100 kHz–10 MHz taajuusalueella rajoittavampaa toimenpidetasoa.

**Taulukko 1.6.** Toimenpidetasot sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden ja magneettivuon tiheyden tehollisarvoina taajuusalueella 1 Hz–10 MHz.

| Taajuusalue  | Sähkökentän voimakkuus V/m | Magneettikentän voimakkuus A/m | Magneettivuon tiheys µT |
|--------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 1–8 Hz       | 5 000                      | $32\,000/f^2$                  | $40\,000/f^2$           |
| 8–25 Hz      | 5 000                      | $4\,000/f$                     | $5\,000/f$              |
| 25–50 Hz     | 5 000                      | 160                            | 200                     |
| 50–400 Hz    | $250\,000/f$               | 160                            | 200                     |
| 400 Hz–3 kHz | $250\,000/f$               | $64\,000/f$                    | $80\,000/f$             |
| 3 kHz–10 MHz | 83                         | 21                             | 27                      |

Huomautus 1: Taulukossa 1.6  $f$  on taajuus hertseinä.

Huomautus 2: Taulukossa 1.6 sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden ja magneettivuon tiheyden huippuarvo taajuusalueella 1 Hz–10 MHz saa olla korkeintaan  $k$  kertaa toimenpidetaso. Taajuusalueella 1 Hz–100 kHz  $k = \sqrt{2}$ . Taajuusalueella 0,1–10 MHz  $k = 3,05f + 1,11$ , missä  $f$  on taajuus megahertseinä.

**Taulukko 1.7.** Toimenpidetasot sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden, magneettivuon tiheyden tehollisarvoina ja ekvivalenttisina tehotiheyksinä taajuusalueella 100 kHz–300 GHz.

| Taajuusalue  | Sähkökentän voimakkuus V/m | Magneettikentän voimakkuus A/m | Magneettivuon tiheys $\mu\text{T}$ | Ekvivalenttinen tehotiheys $\text{W/m}^2$ |
|--------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|
| 0,1–0,15 MHz | 87                         | 5                              | 6,25                               | -                                         |
| 0,15–1 MHz   | 87                         | 0,73/f                         | 0,92/f                             | -                                         |
| 1–10 MHz     | $87/f^{1/2}$               | 0,73/f                         | 0,92/f                             | -                                         |
| 10–400 MHz   | 28                         | 0,073                          | 0,092                              | 2                                         |
| 400–2000 MHz | $1,38f^{1/2}$              | $0,0037f^{1/2}$                | $0,0046f^{1/2}$                    | f/200                                     |
| 2–300 GHz    | 61                         | 0,16                           | 0,20                               | 10                                        |

Huomautus 1: Taulukossa 1.7 f on taajuus megahertseinä.

Huomautus 2: Taulukossa 1.7 ekvivalenttinen tehotiheys on sähkökentän voimakkuuden neliö jaettuna vapaan tilan aaltoimpedanssilla ( $377 \Omega$ ) tai magneettikentän voimakkuuden neliö kerrottuna vapaan tilan aaltoimpedanssilla.

Huomautus 3: Taulukossa 1.7 sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden, magneettivuon tiheyden tehollisarvon neliö ja ekvivalenttinen tehotiheys määritetään keskiarvona kuuden minuutin ajanjaksoilta taajuusalueella 100 kHz–10 GHz.

Huomautus 4: Taulukossa 1.7 yli 10 GHz:n taajuuksilla ekvivalenttinen tehotiheys määritetään keskiarvona  $68/f^{1,05}$  minuutin ajanjaksoilta, missä f on taajuus gigahertseinä.

Huomautus 5: Taulukossa 1.7 ekvivalenttisen tehotiheyden huippuarvo saa olla enintään 1 000 kertaa ekvivalenttisen tehotiheyden toimenpidetaso ja sähkökentän tai magneettikentän voimakkuuden huippuarvo korkeintaan 32 kertaa sähkökentän tai magneettikentän voimakkuuden toimenpidetaso. Magneettivuon tiheyden huippuarvo saa olla enintään 32 kertaa magneettivuon tiheyden toimenpidetaso.

Huomautus 6: Taulukossa 1.7 ekvivalenttinen tehotiheys määritetään yli 6 GHz:n taajuuksilla keskiarvona  $20 \text{ cm}^2$ :n pinta-alalta.

Huomautus 7: Taulukossa 1.7 paikallinen tehotiheys, joka määritetään keskiarvona  $1 \text{ cm}^2$ :n pinta-alalta, ei saa olla yli 6 GHz:n taajuuksilla suurempi kuin  $200 \text{ W/m}^2$ .

Jatkuvan kontaktivirran ja raajaan indusoituvan virran tehollisarvojen toimenpidetasot esitetään taulukossa 1.8. Jatkuva kontaktivirta on virta, joka syntyy henkilön jatkuvasti koskettaessa sähkömagneettisessa kentässä olevaa kappaletta. Raajaan indusoituva virta on virta, jonka sähkömagneettinen kenttä synnyttää raajaan myös ilman kosketusta sähkömagneettisessa kentässä olevaan kappaleeseen.

**Taulukko 1.8.** Toimenpidetasot jatkuvan kontaktivirran ja raajaan indusoituvan virran tehollisarvoille enintään 110 MHz:n taajuuteen asti.

| Taajuusalue      | Jatkuva kontaktivirta mA | Raajaan indusoituva virta mA |
|------------------|--------------------------|------------------------------|
| Enintään 2,5 kHz | 0,5                      | -                            |
| 2,5–100 kHz      | 0,2f                     | -                            |
| 100 kHz–10 MHz   | 20                       | -                            |
| 10 MHz–110 MHz   | 20                       | 45                           |

Huomautus 1: Taulukossa 1.8 f on taajuus kilohertseinä.

Huomautus 2: Taulukossa 1.8 jatkuvan kontaktivirran tehollisarvon neliö määritetään keskiarvona sekunnin ajanjaksoilta.

Huomautus 3: Taulukossa 1.8 raajaan indusoituvan virran tehollisarvon neliö määritetään keskiarvona kuuden minuutin ajanjaksoilta.

## LIITE 2

### Altistuksen raja-arvot ja toimenpidetasot optiselle säteilylle

#### Epäkoherentti optinen säteily

Optisen säteilyn altistuksen raja-arvot määritellään alla esitettyjen kaavojen avulla. Tietyn kaavan käyttö riippuu kulloisestakin lähteestä tulevan säteilyn alueesta, ja tuloksia olisi verrattava vastaaviin altistuksen raja-arvoihin, jotka on esitetty taulukossa 2.1. Joihinkin optisen säteilyn lähteisiin voidaan soveltaa useampaa kuin yhtä altistuksen raja-arvoa.

Määritelmät:

|                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $E_{\lambda}(\lambda, t), E_{\lambda}$ | <i>spektrinen irradianssi tai spektrinen tehotiheys</i> : 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 |
| $E_{\text{eff}}$                       | <i>efektiivinen irradianssi (UV-alue)</i> : $S(\lambda)$ :lla spektrisesti painotettu laskettu irradianssi UV-aallonpituusalueella 180–400 nm, joka ilmaistaan watteina neliometriä kohti [ $\text{W m}^{-2}$ ]                                                                                                                                     |
| $H$                                    | <i>energiatiheys</i> : irradianssin aikaintegraali, joka ilmaistaan jouleina neliometriä kohti [ $\text{J m}^{-2}$ ]                                                                                                                                                                                                                                |
| $H_{\text{eff}}$                       | <i>efektiivinen energiatiheys</i> : $S(\lambda)$ :lla spektrisesti painotettu säteilyaltistuminen, joka ilmaistaan jouleina neliometriä kohti [ $\text{J m}^{-2}$ ]                                                                                                                                                                                 |
| $E_{\text{UVA}}$                       | <i>kokonaisirradianssi (UVA)</i> : laskettu irradianssi UVA-aallonpituusalueella 315–400 nm, joka ilmaistaan watteina neliometriä kohti [ $\text{W m}^{-2}$ ]                                                                                                                                                                                       |
| $H_{\text{UVA}}$                       | <i>energiatiheys (UVA)</i> : irradianssin integraali ajan ja aallonpituuden suhteen UVA-aallonpituusalueella 315–400 nm, joka ilmaistaan jouleina neliometriä kohti [ $\text{J m}^{-2}$ ]                                                                                                                                                           |
| $S(\lambda)$                           | <i>spektrinen painotus</i> , jossa otetaan huomioon UV-säteilyn silmiin ja ihoon kohdistuvien terveysvaikutusten aallonpituusriippuvuus, (taulukko 2.2) [dimensioton]                                                                                                                                                                               |
| $t, \Delta t$                          | <i>aika, altistumisen kesto</i> , joka ilmaistaan sekunteina [s]                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| $\lambda$                              | <i>aallonpituus</i> , joka ilmaistaan nanometreinä [nm]                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| $\Delta\lambda$                        | <i>kaistanleveys</i> , joka ilmaistaan nanometreinä [nm], laskelma- tai mittausväli                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| $L_{\lambda}(\lambda), L_{\lambda}$    | <i>lähteen spektrinen radianssi</i> , joka ilmaistaan watteina neliometriä, steradiaania ja nanometriä kohti [ $\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ nm}^{-1}$ ]                                                                                                                                                                                  |
| $B(\lambda)$                           | <i>spektrinen painotus</i> , jossa otetaan huomioon sinisen valon silmälle aiheuttaman fotokemiallisen vaurion aallonpituusriippuvuus (taulukko 2.3) [dimensioton]                                                                                                                                                                                  |
| $L_B$                                  | <i>efektiivinen radianssi (sininen valo)</i> : $B(\lambda)$ :lla spektrisesti painotettu laskettu radianssi, joka ilmaistaan watteina neliometriä ja steradiaania kohti [ $\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ ]                                                                                                                                       |

|               |                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $D_B$         | <i>efektiivinen radianssiannos (sininen valo):</i> $B(\lambda)$ :lla spektrisesti painotettu radianssin aikaintegraali, joka ilmaistaan jouleina neliometriä ja steradiaania kohti [ $\text{J m}^{-2} \text{sr}^{-1}$ ]             |
| $E_B$         | <i>efektiivinen irradianssi (sininen valo):</i> $B(\lambda)$ :lla spektrisesti painotettu laskettu irradianssi, joka ilmaistaan watteina neliometriä kohti [ $\text{W m}^{-2}$ ]                                                    |
| $H_B$         | <i>efektiivinen energiatiheys (sininen valo):</i> $B(\lambda)$ :lla spektrisesti painotettu säteilyaltistuminen, joka ilmaistaan jouleina neliometriä kohti [ $\text{J m}^{-2}$ ]                                                   |
| $R(\lambda)$  | <i>spektrinen painotus,</i> jossa otetaan huomioon näkyvän ja IRA-säteilyn silmälle aiheuttaman lämpöaurion aallonpituusriippuvuus (taulukko 2.3) [dimensioton]                                                                     |
| $L_R$         | <i>efektiivinen radianssi (lämpöaurio):</i> $R(\lambda)$ :lla spektrisesti painotettu laskettu radianssi, joka ilmaistaan watteina neliometriä ja steradiaania kohti [ $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$ ]                           |
| $D_R$         | <i>efektiivinen radianssiannos (lämpöaurio):</i> $R(\lambda)$ :lla spektrisesti painotettu radianssin aikaintegraali, joka ilmaistaan jouleina neliometriä ja steradiaania kohti [ $\text{J m}^{-2} \text{sr}^{-1}$ ]               |
| $E_{IR}$      | <i>kokonaisirradianssi (lämpöaurio):</i> laskettu infrapunasäteilyn irradianssi aallonpituusalueella 780 nm–3000 nm, joka ilmaistaan watteina neliometriä kohti [ $\text{W m}^{-2}$ ]                                               |
| $E_{iho}$     | <i>kokonaisirradianssi (näkyvä, IRA ja IRB):</i> laskettu näkyvän ja infrapunasäteilyn irradianssi aallonpituusalueella 380 nm–3 000 nm, joka ilmaistaan watteina neliometriä kohti [ $\text{W m}^{-2}$ ]                           |
| $H_{iho}$     | <i>energiatiheys:</i> irradianssin aika- ja aallonpituusintegraali näkyvän ja infrapunasäteilyn aallonpituusalueella 380–3000 nm, joka ilmaistaan jouleina neliometriä kohti [ $\text{J m}^{-2}$ ]                                  |
| $\alpha$      | <i>kulmakoko:</i> näkyvän lähteen tietyllä katseluetäisyydellä rajaama kulma, joka ilmaistaan milliradiaaneina (mrad). Näkyvä lähde on todellinen tai virtuaalinen kohde, joka muodostaa pienimmän mahdollisen kuvan verkkokalvolle |
| $\gamma_{ph}$ | <i>vastaanottokulma:</i> radianssin mittauksessa käytetty säteilykeilan rajaava kulma, joka riippuu altistumisajasta. Ilmaistaan milliradiaaneina [mrad].                                                                           |

Altistuksen raja-arvot seuraaville a–n kohdille esitetään taulukossa 2.1.

- a) 
$$H_{eff} = \int_0^t \int_{\lambda=180 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 ( $H_{eff}$  on merkityksellinen vain välillä 180–400 nm)
- b) 
$$H_{UVA} = \int_0^t \int_{\lambda=315 \text{ nm}}^{\lambda=400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 ( $H_{UVA}$  on merkityksellinen vain välillä 315–400 nm)
- c) 
$$D_B = \int_0^t \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 ( $D_B$  on merkityksellinen vain välillä 300–700 nm)
- 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) 
$$H_B = \int_0^t \int_{\lambda=300 \text{ nm}}^{\lambda=700 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 ( $H_B$  on merkityksellinen vain välillä 300–700 nm)
- 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)
- h, i) 
$$D_R = \int_0^t \int_{\lambda=380 \text{ nm}}^{\lambda=1400 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda, t) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 ( $D_R$  on merkityksellinen vain välillä 380–1400 nm)
- g, j, k) 
$$L_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda$$
 ( $\lambda_1$  ja  $\lambda_2$  : katso asianmukaiset arvot taulukosta 2.1)
- l, m) 
$$E_{IR} = \int_{\lambda=780 \text{ nm}}^{\lambda=1000 \text{ nm}} 0,3 \cdot E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda + \int_{\lambda=1000 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$$
 ( $E_{IR}$  on merkityksellinen vain välillä 780–3000 nm)
- n) 
$$H_{iho} = \int_0^t \int_{\lambda=380 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt$$
 ( $H_{iho}$  on merkityksellinen vain välillä 380–3000 nm)

Edellä esitettyjen kaavojen sijaan voidaan käyttää myös seuraavia summalausekkeitä ja taulukoissa 2.1–2.3 esitettyjä arvoja:

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

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

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

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

$$\text{g-k)} \quad L_R = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad \text{ja } D_R = L_R \cdot \Delta t$$

( $\lambda_1$  ja  $\lambda_2$  : katso asianmukaiset arvot taulukosta 2.1)

$$\text{l, m)} \quad E_{IR} = \sum_{\lambda=780 \text{ nm}}^{\lambda=1000 \text{ nm}} 0,3 \cdot E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda + \sum_{\lambda=1000 \text{ nm}}^{\lambda=3000 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$

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

**Taulukko 2.1.** Altistuksen raja-arvot epäkohherentille optiselle säteilylle.

| Kohta | Aallonpituus [nm]                    | Altistuksen raja-arvo                                                                | Yksiköt                                                        | Huomautus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Kehonosa                               | Vaurio                                                                          |
|-------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| a.    | 180–400 (UVA, UVB ja UVC)            | $H_{eff}=30$ päivittäinen arvo (8 h)                                                 | [J m <sup>-2</sup> ]                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | silmän sarveiskalvo sidekalvomykiö iho | sarveiskalvotulehdus sidekalvontulehdus harmaakaihi eryteema elastoosi ihosyöpä |
| b.    | 315–400 (UVA)                        | $H_{UVA}=10^4$ päivittäinen arvo (8 h)                                               | [J m <sup>-2</sup> ]                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | silmän mykiö                           | harmaakaihi                                                                     |
| c.    | 300–700 (sininen valo) <i>huom.1</i> | $D_B=10^6$ $t \leq 10\,000$ s                                                        | $D_B$ : [J m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]<br>t: [sekuntia] | kun $\alpha \geq \gamma_{ph}$ ,<br>$\gamma_{ph} = 11$ mrad, kun $t < 100$ s,<br>$\gamma_{ph} = 1,1 \cdot t^{0,5}$ mrad, kun $100 \leq t \leq 10\,000$ s,<br>$\gamma_{ph} = 110$ mrad, kun $t > 10\,000$ s,                                                                                                                                                                                                                              | silmän verkkokalvo                     | verkkokalvorappeuma                                                             |
| d.    | 300–700 (sininen valo) <i>huom.1</i> | $L_B=100$ $t > 10\,000$ s                                                            | [W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                        |                                                                                 |
| e.    | 300–700 (sininen valo) <i>huom.1</i> | $H_B=100$ $t < 100$ s                                                                | $H_B$ : [J m <sup>-2</sup> ]<br>t: [sekuntia]                  | kun $\alpha < \gamma_{ph}$ ,                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                        |                                                                                 |
| f.    | 300–700 (sininen valo) <i>huom.1</i> | $E_B=1$ $t \geq 100$ s                                                               | [W m <sup>-2</sup> ]                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                        |                                                                                 |
| g.    | 380–1 400 (Näkyvä ja IRA)            | $L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha}$ kun $t \geq 0,25$ s                          | [W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]                          | $C_\alpha = 1,5$ ,<br>kun $\alpha \leq 1,5$ mrad<br>$C_\alpha = \alpha$ ,<br>kun $1,5 < \alpha \leq \alpha_{max}$<br>$C_\alpha = \alpha_{max}$ ,<br>kun $\alpha > \alpha_{max}$<br>$\alpha_{max} = 5$ mrad,<br>kun $t < 625 \cdot 10^{-6}$ s<br>$\alpha_{max} = 200 \cdot t^{0,5}$ mrad,<br>kun $625 \cdot 10^{-6} \leq t < 0,25$ s<br>$\alpha_{max} = 100$ mrad,<br>kun $t \geq 0,25$ s<br>$\lambda_1 = 380$ nm, $\lambda_2 = 1400$ nm | silmän verkkokalvo                     | verkkokalvon palovamma                                                          |
| h.    | 380–1 400 (Näkyvä ja IRA)            | $D_R = \frac{2,0 \cdot 10^7 \cdot t^{0,75}}{C_\alpha}$ kun $10^{-6} \leq t < 0,25$ s | $D_R$ : [J m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]<br>t: [sekuntia] |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                        |                                                                                 |
| i.    | 380–1 400 (Näkyvä ja IRA)            | $D_R = \frac{630}{C_\alpha}$ kun $t < 10^{-6}$ s                                     | [J m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                        |                                                                                 |

| Kohta | Aallonpituus [nm]              | Altistuksen raja-arvo                                                           | Yksiköt                                                        | Huomautus                                                                                                                                                        | Kehonosa              | Vaurio                  |
|-------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| j.    | 780–1 400 (IRA)                | $L_R = \frac{2 \cdot 10^7 \cdot t^{-0,25}}{C_\alpha}$<br>kun $0,25 < t < 100$ s | $L_R$ : [W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]<br>t: [sekuntia] | $C_\alpha = 11$ ,<br>kun $\alpha \leq 11$ mrad<br>$C_\alpha = \alpha$ ,<br>kun $11 < \alpha \leq 100$<br>$C_\alpha = \alpha_{\max}$ ,<br>kun $\alpha > 100$ mrad | silmän verkkokalvo    | verkkokalvon palovamma  |
| k.    | 780–1 400 (IRA)                | $L_R = \frac{6,3 \cdot 10^6}{C_\alpha}$<br>kun $t \geq 100$ s                   | [W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> ]                          | vastaanottokulma $\gamma_{ph} = 11$ mrad<br>$\lambda_1 = 780$ nm, $\lambda_2 = 1\,400$ nm                                                                        |                       |                         |
| l.    | 780–3 000 (IRA ja IRB)         | $E_{IR} = 18\,000\, t^{0,75}$<br>kun $t < 1\,000$ s                             | $E_{IR}$ : [W m <sup>-2</sup> ]<br>t: [sekuntia]               |                                                                                                                                                                  | silmä                 | sarveiskalvon palovamma |
| m.    | 780–3 000 (IRA ja IRB)         | $E_{IR} = 100$<br>kun $t \geq 1\,000$ s                                         | [W m <sup>-2</sup> ]                                           |                                                                                                                                                                  | sarveiskalvo<br>mykiö | harmaakaihi             |
| n.    | 380–3 000 (Näkyvä, IRA ja IRB) | $H_{iho} = 20\,000\, t^{0,25}$<br>kun $t \leq 10$ s                             | $H_{iho}$ : [J m <sup>-2</sup> ]<br>t: [sekuntia]              |                                                                                                                                                                  | iho                   | palovamma               |

Huomautus 1: Taulukossa 2.1 alue 300–700 nm kattaa osan UVB-säteilystä, UVA-säteilyn kokonaan ja suurimman osan näkyvästä valosta. Näihin liittyvään riskiin viitataan kuitenkin yleisesti ilmauksella ”sininen valo”. Tarkasti ottaen sininen valo kattaa ainoastaan noin 400–490 nm:n alueen.

**Taulukko 2.2.** UV-säteilyn spektrinen painotus.

| $\lambda(\text{nm})$ | $S(\lambda)$ | $\lambda(\text{nm})$ | $S(\lambda)$ | $\lambda(\text{nm})$ | $S(\lambda)$ | $\lambda(\text{nm})$ | $S(\lambda)$ | $\lambda(\text{nm})$ | $S(\lambda)$ |
|----------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|
| 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 2.3.** Silmään kohdistuvan optisen säteilyn spektrinen painotus fotokemialliselle vaikutukselle ja lämpövauriolle.

| $\lambda$ (nm)                 | $B(\lambda)$                    | $R(\lambda)$                               |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|
| $300 \leq \lambda < 380$       | 0,01                            | -                                          |
| 380                            | 0,01                            | 0,01                                       |
| 385                            | 0,0125                          | 0,0125                                     |
| 390                            | 0,025                           | 0,025                                      |
| 395                            | 0,05                            | 0,05                                       |
| 400                            | 0,1                             | 0,1                                        |
| 405                            | 0,2                             | 0,2                                        |
| 410                            | 0,4                             | 0,4                                        |
| 415                            | 0,8                             | 0,8                                        |
| 420                            | 0,9                             | 0,9                                        |
| 425                            | 0,95                            | 0,95                                       |
| 430                            | 0,98                            | 0,98                                       |
| 435                            | 1                               | 1                                          |
| 440                            | 1                               | 1                                          |
| 445                            | 0,97                            | 1                                          |
| 450                            | 0,94                            | 1                                          |
| 455                            | 0,9                             | 1                                          |
| 460                            | 0,8                             | 1                                          |
| 465                            | 0,7                             | 1                                          |
| 470                            | 0,62                            | 1                                          |
| 475                            | 0,55                            | 1                                          |
| 480                            | 0,45                            | 1                                          |
| 485                            | 0,4                             | 1                                          |
| 490                            | 0,22                            | 1                                          |
| 495                            | 0,16                            | 1                                          |
| 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                                        |
| $1\,150 < \lambda \leq 1\,200$ | -                               | $0,2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1150-\lambda)}$ |
| $1\,200 < \lambda \leq 1\,400$ | -                               | 0,02                                       |

### Lasersäteily

Lasersäteilyn altistuksen raja-arvot määritellään jäljempänä esitettyjen kaavojen avulla. Käytettävän kaavan valintaan vaikuttavat lasersäteilyn lähteestä tulevan säteilyn aallonpituus ja altistusaika. Määrittämisen tuloksia on verrattava vastaaviin altistuksen raja-arvoihin, jotka on esitetty taulukoissa 2.4–2.5. Joitakin lasersäteilyn lähteitä koskee useampi kuin yksi altistuksen raja-arvo.

Taulukoissa 2.4–2.5 laskennassa käytettävät kertoimet esitetään taulukossa 2.6. Altistuksen arviointiin käytettävän mittausaukon koko esitetään taulukossa 2.7. Toistuvan altistuksen määrittämiseen käytettävät korjauskertoimet esitetään taulukossa 2.9.

Määritelmät:

$dP$       *teho*, joka ilmoitetaan watteina [W]

$dA$       *pinta-ala*, joka ilmaistaan neliömetreinä [ $m^2$ ]

$E(t)$ ,  $E$       *irradianssi* tai *tehotiheys*: tietylle pinnalle kohdistuva säteilyteho pinta-alayksikköä kohti, joka ilmaistaan watteina neliömetriä kohti [ $W\ m^{-2}$ ],  $E(t)$ :n ja  $E$ :n arvot tulevat mittauksista tai laitteiston valmistaja voi toimittaa ne

$H$       *energiatiheys*: irradianssin aikaintegraali, ilmaistaan jouleina neliömetriä kohti [ $J\ m^{-2}$ ]

$t$       *aika*, altistuksen kesto, joka ilmaistaan sekunteina [s]

$\lambda$       *aallonpituus*, joka ilmaistaan nanometreinä [nm]

$\gamma$       *mittausnäkökentän rajaava kartiokulma*, joka ilmaistaan milliradiaaneina [mrad]

$\gamma_m$       *mittausnäkökenttä*, joka ilmaistaan milliradiaaneina [mrad]

$\alpha$       *lähteen kulmakoko*, joka ilmaistaan milliradiaaneina [mrad]

*rajaava aukko*, ympyränmuotoinen alue, jolta irradianssin ja energiatheyden keskiarvot lasketaan.

Lasersäteilyn altistuksen raja-arvot määritellään seuraavasti:

$$E = \frac{dP}{dA}$$

$$H = \int_0^t E(t) \cdot dt$$



**Taulukko 2.5.** Ihoon kohdistuvan lasersäteilyn altistuksen raja-arvot.

| Aallonpituus [nm] |                       | Altistusaika [s]                                       |                                                                                                                                |                                                                             |                                            |                                         |  |
|-------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|--|
|                   |                       | < 10 <sup>-9</sup>                                     | 10 <sup>-9</sup> –10 <sup>-7</sup>                                                                                             | 10 <sup>-7</sup> –10 <sup>-3</sup>                                          | 10 <sup>-3</sup> –10                       | 10–3 · 10 <sup>4</sup>                  |  |
| UVC ja UVB        | 180–302,5             | 3 · 10 <sup>10</sup> Wm <sup>-2</sup>                  | 30 Jm <sup>-2</sup>                                                                                                            |                                                                             |                                            |                                         |  |
|                   | 302,5–315             |                                                        | jos t ≤ T <sub>1</sub> , niin C <sub>1</sub> Jm <sup>-2</sup><br>jos t > T <sub>1</sub> , niin C <sub>2</sub> Jm <sup>-2</sup> |                                                                             |                                            | C <sub>2</sub> Jm <sup>-2</sup>         |  |
| UVA               | 315–400               |                                                        | C <sub>1</sub> Jm <sup>-2</sup>                                                                                                |                                                                             |                                            | 10 <sup>4</sup> Jm <sup>-2</sup>        |  |
| Näkyvä            | 400–700               | 2 · 10 <sup>11</sup> Wm <sup>-2</sup>                  | 200 Jm <sup>-2</sup>                                                                                                           | 1,1 · 10 <sup>4</sup> · t <sup>0,25</sup> Jm <sup>-2</sup>                  |                                            | 2 000 Wm <sup>-2</sup>                  |  |
| IRA               | 700–1 400             | 2 · 10 <sup>11</sup> · C <sub>4</sub> Wm <sup>-2</sup> | 200 · C <sub>4</sub> Jm <sup>-2</sup>                                                                                          | 1,1 · 10 <sup>4</sup> · t <sup>0,25</sup> · C <sub>4</sub> Jm <sup>-2</sup> |                                            | 2 000 · C <sub>4</sub> Wm <sup>-2</sup> |  |
| IRB ja IRC        | 1 400–1 500           | 10 <sup>12</sup> Wm <sup>-2</sup>                      | 1 000 Jm <sup>-2</sup>                                                                                                         |                                                                             | 5 600 · t <sup>0,25</sup> Jm <sup>-2</sup> | 1 000 Wm <sup>-2</sup>                  |  |
|                   | 1 500–1 800           | 10 <sup>13</sup> Wm <sup>-2</sup>                      | 10 000 Jm <sup>-2</sup>                                                                                                        |                                                                             |                                            |                                         |  |
|                   | 1 800–2 600           | 10 <sup>12</sup> Wm <sup>-2</sup>                      | 1 000 Jm <sup>-2</sup>                                                                                                         |                                                                             | 5 600 · t <sup>0,25</sup> Jm <sup>-2</sup> |                                         |  |
|                   | 2 600–10 <sup>6</sup> | 10 <sup>11</sup> Wm <sup>-2</sup>                      | 100 Jm <sup>-2</sup>                                                                                                           | 5 600 · t <sup>0,25</sup> Jm <sup>-2</sup>                                  |                                            |                                         |  |

**Taulukko 2.6.** Altistuksen arvioinnissa käytettävät rajaavat aukot.

| Aallonpituusalue |                     | Rajoittavan aukon halkaisija                                                                                                              |        |
|------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|                  |                     | Silmä                                                                                                                                     | Iho    |
| UV               | 180 nm–400 nm       | 1 mm, kun $t \leq 0,35 \text{ s}$<br>$1,5 \cdot t^{0,375}$ , kun $0,35 \text{ s} < t \leq 10 \text{ s}$<br>3,5 mm kun $t > 10 \text{ s}$  | 3,5 mm |
| Näkyvä           | 400 nm–700 nm       | 7 mm                                                                                                                                      | 3,5 mm |
| IRA              | 700 nm–1 400 nm     | 7 mm                                                                                                                                      | 3,5 mm |
| IRB ja IRC       | 1 400 nm–100 000 nm | 1 mm, kun $t \leq 0,35 \text{ s}$<br>$1,5 \cdot t^{0,375}$ , kun $0,35 \text{ s} < t \leq 10 \text{ s}$<br>3,5 mm, kun $t > 10 \text{ s}$ | 3,5 mm |
|                  | 0,1 mm–1 mm         | 11 mm                                                                                                                                     | 11 mm  |

**Taulukko 2.7.** Sovellettavat korjauskertoimet ja muut laskentaparametrit.

| Korjauskerroin | Aallonpituusalue [nm] | Arvo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $C_1$          | 302,5–400             | $C_1 = 5,6 \cdot 10^3 \cdot t^{0,25}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| $C_2$          | 302,5–315             | $C_2 = 10^{0,2 \cdot (\lambda - 295)}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| $T_1$          | 302,5–315             | $T_1 = 10^{0,8 \cdot (\lambda - 295)} \cdot 10^{-15} \text{ s}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| $C_6$          | 400–1 400             | jos $\alpha \leq 1,5 \text{ mrad}$ , niin $C_6 = 1$<br>jos $1,5 \text{ mrad} < \alpha \leq \alpha_{\text{max}}$ , niin $C_6 = \alpha / 1,5 \text{ mrad}$<br>jos $\alpha > \alpha_{\text{max}}$ , niin $C_6 = \alpha_{\text{max}} / 1,5 \text{ mrad}$ ,<br>$\alpha_{\text{max}} = 5 \text{ mrad}$ , kun $t < 625 \mu\text{s}$<br>$\alpha_{\text{max}} = 200 \cdot t^{0,5} \text{ mrad}$ , kun $625 \mu\text{s} \leq t \leq 0,25 \text{ s}$<br>$\alpha_{\text{max}} = 100 \text{ mrad}$ , kun $t > 0,25 \text{ s}$ |
| $C_3$          | 400–600               | jos $400 \text{ nm} \leq \lambda < 450 \text{ nm}$ , niin $C_3 = 1$<br>jos $450 \text{ nm} \leq \lambda \leq 600 \text{ nm}$ , niin $C_3 = 10^{0,02(\lambda - 450)}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| $T_2$          | 400–1 400             | jos $\alpha < 1,5 \text{ mrad}$ , niin $T_2 = 10 \text{ s}$<br>jos $1,5 \text{ mrad} \leq \alpha \leq 100 \text{ mrad}$ , niin $T_2 = 10 \cdot 10^{[(\alpha - 1,5)/98,5]} \text{ s}$<br>jos $\alpha > 100 \text{ mrad}$ , niin $T_2 = 100 \text{ s}$                                                                                                                                                                                                                                                             |
| $C_4$          | 700–1 400             | jos $700 \leq \lambda < 1\,050 \text{ nm}$ , niin $C_4 = 10^{0,002(\lambda - 700)}$<br>jos $1\,050 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1\,400 \text{ nm}$ , niin $C_4 = 5$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| $C_7$          | 700–1 400             | jos $700 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,150 \text{ nm}$ , niin $C_7 = 1$<br>jos $1\,150 \text{ nm} \leq \lambda < 1\,200 \text{ nm}$ , niin $C_7 = 10^{0,018(\lambda - 1150)}$<br>jos $1\,200 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1\,400 \text{ nm}$ , niin $C_7 = 8 + 10^{0,04(\lambda - 1250)}$                                                                                                                                                                                                                         |

## Korjauskertoimet toistuvaa altistusta varten

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

1. Pulssijonon yksittäisestä pulssista aiheutuva altistus ei saa ylittää kyseisen pulssinpituisen yksittäisen pulssin altistuksen raja-arvoa.
2. Minkään ajan  $t$  kestoisen pulssijoukon (tai pulssijonon osan) aiheuttama altistus ei saa ylittää aikaa  $t$  vastaavaa altistuksen raja-arvoa.
3. Minkään pulssijoukon yksittäisen pulssin aiheuttama altistus ei saa ylittää yksittäisen pulssin altistuksen raja-arvoa kerrottuna kumulatiivisella lämpökorjauskertoimella  $C_p$ . Kerroin  $C_p$  riippuu pulssien lukumäärästä  $N$ . Tätä sääntöä sovelletaan ainoastaan lämpöaurioilta suojaaviin altistuksen raja-arvoihin, jolloin kaikkia alle  $T_{min}$  aikana tulevia pulsseja pidetään yksittäisenä pulssina. Pulssin kesto on tällöin  $T_{min}$  ja energia ajan  $T_{min}$  kuluessa kertyneiden pulssien energia.

**Taulukko 2.8.** Pulssin minimikesto  $T_{min}$  taulukossa 2.9 esitettyä kumulatiivista lämpökorjauskerrointa varten.

| Aallonpituus [nm]                                                                               | Pulssin minimikesto $T_{min}$ [s] | Pulssien kertymisaika [s] |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| $400 \leq \lambda < 700$                                                                        | $5 \cdot 10^{-6}$                 | 0,25 s tai $T_2$ *)       |
| $700 \leq \lambda < 1\,400$                                                                     | $5 \cdot 10^{-6}$                 | $T_2$                     |
| $1\,050 \leq \lambda < 1\,400$                                                                  | $13 \cdot 10^{-6}$                | $T_2$                     |
| $1\,400 \leq \lambda < 1\,500$                                                                  | $10^{-3}$                         | 10                        |
| $1\,500 \leq \lambda < 1\,800$                                                                  | 10                                | 10                        |
| $1\,800 \leq \lambda < 2\,600$                                                                  | $10^{-3}$                         | 10                        |
| $2\,600 \leq \lambda \leq 10^6$                                                                 | $10^{-7}$                         | 10                        |
| *) jos altistusta pitkitetään tietoisesti, niin käytetään pulssien kertymisaikana aikaa $T_2$ . |                                   |                           |

**Taulukko 2.9.** Kumulatiivinen lämpökorjauskerroin  $C_p$ .

| Pulssin kesto $t$ | Kumulatiivinen korjauskerroin $C_p$                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $t \leq T_{min}$  | jos pulssien kertymisaika $\leq 0,25$ s,<br>$C_p = 1$<br>jos pulssien kertymisaika $> 0,25$ s,<br>$N \leq 600$ , niin $C_p = 1$<br>$600 < N \leq 24414$ , niin $C_p = 5 \cdot N^{-0,25}$<br>$N > 24414$ , niin $C_p = 0,4$                                                                                              |
| $t > T_{min}$     | jos $\alpha \leq 5$ mrad, niin $C_p = 1$<br>jos $5 \text{ mrad} < \alpha \leq \alpha_{max}$ ,<br>$C_p = N^{-0,25}$ , kun $N \leq 40$<br>$C_p = 0,4$ , kun $N > 40$<br>jos $\alpha > \alpha_{max}$ , niin $C_p = N^{-0,25}$ , kun $N \leq 625$<br>$C_p = 0,2$ , kun $N > 625$<br>jos $\alpha > 100$ mrad, niin $C_p = 1$ |

Lasersäteily voi aiheuttaa taulukossa 2.10 esitettyjä säteilyvaurioita.

**Taulukko 2.10.** Lasersäteilyn aiheuttamat säteilyvauriot.

| <b>Aallonpituus<br/>[nm] <math>\lambda</math></b> | <b>Säteilyalue</b> | <b>Kohteena oleva<br/>elin</b> | <b>Vaurio</b>                         |
|---------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| 180–400                                           | UV                 | silmä                          | fotokemiallinen vaurio ja lämpövaurio |
| 180– 400                                          | UV                 | iho                            | eryteema                              |
| 400–700                                           | Näkyvä             | silmä                          | verkkokalvon vaurio                   |
| 400–600                                           | Näkyvä             | silmä                          | valokemiallinen vaurio                |
| 400–700                                           | Näkyvä             | iho                            | lämpövaurio                           |
| 700–1 400                                         | IRA                | silmä                          | lämpövaurio                           |
| 700–1 400                                         | IRA                | iho                            | lämpövaurio                           |
| 1 400–10 <sup>6</sup>                             | IRB, IRC           | silmä                          | lämpövaurio                           |
| 1 400–10 <sup>6</sup>                             | IRB, IRC           | iho                            | lämpövaurio                           |

## LIITE 3

### Altistuksen raja-arvot ultraäänelle

**Taulukko 3.1.** Altistuksen raja-arvot ilmapälitteisen ultraäänien äänenpaineen tasolle (SPL). Raja-arvot on ilmaistu desibeliskaalalla käyttäen referenssitasona äänenpainetta 20 µPa. Taajuudet on ilmaistu 1/3-oktaavin keskitaajuuksina.

| 1/3-oktaavin keskitaajuus [kHz] | Ultraäänien äänenpaineen taso (SPL) [dB] |
|---------------------------------|------------------------------------------|
| 20                              | 70                                       |
| 25                              | 100                                      |
| 31,5                            | 100                                      |
| 40                              | 100                                      |
| 50                              | 100                                      |
| 63                              | 100                                      |
| 80                              | 100                                      |
| 100                             | 100                                      |

**Taulukko 3.2.** Altistuksen raja-arvot, kun ultraääni johdetaan kehoon ihokontaktin tai ultraäänien energiaa kehoon tehokkaasti siirtävän väliaineen kautta. Raja-arvot on ilmoitettu ultraäänien intensiteetille sekä mekaaniselle (MI) ja termiselle (TI) indeksille.

| Kehon osa | Ultraäänien intensiteetti [W/cm <sup>2</sup> ] | Mekaaninen indeksi (MI) | Terminen indeksi (TI) |
|-----------|------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Silmät    | 0,05                                           | 0,2                     | 0,7                   |
| Muut osat | 0,1                                            | 0,4                     |                       |

Huomautus 1: Taulukossa 3.2 altistus ei saa olla altistuksen raja-arvoa suurempi minkään suureen osalta.

Huomautus 2: Taulukossa 3.2 standardin IEC 62359, "Ultrasonics - Field characterization - Test methods for the determination of thermal and mechanical indices related to medical diagnostic ultrasonic fields" mukaan mekaaninen indeksi (MI) määritellään kaavalla:

$$MI = \frac{\text{negatiivinen huippupaine (MPa)}}{\sqrt{\text{pulsstin keskitaajuus (MHz)}}}$$

ja terminen indeksi (TI) kaavalla:

$$TI = \frac{\text{lähettimen ulostuloteho (W)}}{\text{teho, joka vaaditaan aineen 1°C lämpötilan nousuun (W)}}$$