

Bilag II**IKKE-KOHÆRENT OPTISK STRÅLING**

De biofysiske relevante eksponeringsværdier for optisk stråling kan fastlægges ved hjælp af nedenstående formler. De formler, der skal anvendes, afhænger af den stråling, der udsendes af kilden, og resultaterne sammenlignes med de tilsvarende eksponeringsgrænseværdier (ELV), der er nævnt i tabel 2.1. Der kan være mere end en eksponeringsværdi og tilsvarende eksponeringsgrænse, der er relevant for en given kilde til optisk stråling.

a) - o) henviser til de tilsvarende rækker i tabel 2.1.

$$a) \quad H_{\text{eff}} = \int_0^t \int_{\lambda = 180 \text{ nm}}^{\lambda = 400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt \quad (H_{\text{eff}} \text{ er kun relevant i området } 180\text{-}400 \text{ nm})$$

$$b) \quad H_{\text{UV\AA}} = \int_0^t \int_{\lambda = 315 \text{ nm}}^{\lambda = 400 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt \quad (H_{\text{UV\AA}} \text{ er kun relevant i området } 315\text{-}400 \text{ nm})$$

$$c), d) \quad L_B = \int_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{\lambda = 700 \text{ nm}} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda \quad (L_B \text{ er kun relevant i området } 300\text{-}700 \text{ nm})$$

$$e), f) \quad E_B = \int_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{\lambda = 700 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda \quad (E_B \text{ er kun relevant i området } 300\text{-}700 \text{ nm})$$

$$g)\text{-}l) \quad L_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda}(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot d\lambda \quad (\text{Se tabel 2.1 for relevante værdier for } \lambda_1 \text{ og } \lambda_2)$$

$$m), n) \quad E_{\text{IR}} = \int_{\lambda = 780 \text{ nm}}^{\lambda = 3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda \quad (E_{\text{IR}} \text{ er kun relevant i området } 780\text{-}3\,000 \text{ nm})$$

$$o) \quad H_{\text{skin}} = \int_0^t \int_{\lambda = 380 \text{ nm}}^{\lambda = 3000 \text{ nm}} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot d\lambda \cdot dt \quad (H_{\text{skin}} \text{ er kun relevant i området } 380\text{-}3\,000 \text{ nm})$$

Hvad angår dette direktiv, kan de ovennævnte formler erstattes af følgende udtryk og anvendelsen af diskrete værdier som fastsat i de følgende tabeller:

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

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

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

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

g)-l)
$$L_{\text{R}} = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$
 (Se tabel 2.1 for relevante værdier for λ_1 and λ_2)

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

o)
$$E_{\text{skin}} = \sum_{\lambda = 380 \text{ nm}}^{\lambda = 3000 \text{ nm}} E_{\lambda} \cdot \Delta\lambda$$
 og $H_{\text{skin}} = E_{\text{skin}} \cdot \Delta t$

Noter:

| | |
|--|---|
| $E_{\lambda}(\lambda, t), E_{\lambda}$ | <i>spektral irradians eller spektral effekttæthed</i> : Effekten af den indfaldende stråling på en flade pr. arealenhed udtrykt i watt pr. kvadratmeter pr. nanometer [$\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$]; værdierne $E_{\lambda}(\lambda, t)$ og E_{λ} kommer fra målinger eller kan oplyses af fabrikanten af udstyret |
| E_{eff} | <i>effektiv irradians (UV område)</i> : Beregnet irradians inden for UV bølglængdeområdet 180-400 nm spektralt vægtet med $S(\lambda)$, udtrykt i watt pr. kvadratmeter [W m^{-2}] |
| H | <i>strålingseksponering</i> , integralet af irradiansen over tiden udtrykt i joule pr. kvadratmeter [J m^{-2}] |
| H_{eff} | <i>effektiv strålingseksponering</i> : Strålingseksponering spektralt vægtet med $S(\lambda)$, udtrykt i joule pr. kvadratmeter [J m^{-2}] |
| E_{UVA} | <i>total irradians (UV-A)</i> : Beregnet irradians inden for UV-A bølglængdeområdet 315-400 nm, udtrykt i watt pr. kvadratmeter [W m^{-2}] |
| H_{UVA} | <i>strålingseksponering</i> , integralet eller summen af irradiansen over tid og bølglængde for UV-A stråling indenfor bølglængdeområdet 315-400 nm, udtrykt i joule pr. kvadratmeter [J m^{-2}] |
| $S(\lambda)$ | <i>spektral vægtning</i> , der tager hensyn til, at sundhedsvirkningen af UV-stråling på øjne og hud afhænger af bølglængden (Tabel 2.2) [dimensionsløs] |
| $t, \Delta t$ | <i>tid, varighed af eksponeringen</i> udtrykt i sekunder [s] |
| λ | <i>bølglængde</i> udtrykt i nanometer [nm] |
| $\Delta \lambda$ | <i>båndbredde</i> udtrykt i nanometer [nm], intervaller benyttet til beregning eller måling |
| $L_{\lambda}(\lambda), L_{\lambda}$ | <i>spektral radians</i> fra kilden udtrykt i watt pr. kvadratmeter pr. steradian pr. nanometer [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{nm}^{-1}$] |
| $R(\lambda)$ | <i>spektral vægtning</i> , der tager hensyn til, at skaden på øjet forårsaget af synlig stråling og IR-A-stråling afhænger af bølglængden (Tabel 2.3) [dimensionsløs] |
| L_{R} | <i>effektiv radians</i> (termisk skade) beregnet stråling spektralt vægtet med $R(\lambda)$ udtrykt i watt pr. kvadratmeter pr. steradian [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$] |

| | |
|-------------------|--|
| $B(\lambda)$ | <i>spektral vægtning</i> , der tager hensyn til, at den fotokemiske skade på øjet forårsaget af blå-lys-stråling afhænger af bølgelængden (Tabel 2.3) [dimensionsløs] |
| L_B | <i>effektiv radians (blåt-lys)</i> : Beregnet radians spektralt vægtet med $B(\lambda)$, udtrykt i watt pr. kvadratmeter pr. steradian [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$] |
| E_B | <i>effektiv irradians (blåt-lys)</i> : Beregnet irradians spektralt vægtet med $B(\lambda)$, udtrykt i watt pr. kvadratmeter [W m^{-2}] |
| E_{IR} | <i>total irradians (termisk skade)</i> : Beregnet irradians indenfor det infrarøde bølgelængdeområde på 780 nm-3 000 nm, udtrykt i watt pr. kvadratmeter [W m^{-2}] |
| E_{skin} | <i>total irradians (synlig, IR-A og IR-B)</i> : Beregnet irradians indenfor det synlige og infrarøde bølgelængdeområde på 380 nm-3 000 nm, udtrykt i watt pr. kvadratmeter [W m^{-2}] |
| H_{skin} | <i>strålingseksposering</i> , integralet eller summen over tid og bølgelængde af irradiansen indenfor det synlige og infrarøde bølgelængdeområde på 380 nm-3 000 nm, udtrykt i joule pr. kvadratmeter (J m^{-2}) |
| α | <i>vinkelmæssig udstrækning</i> : Den vinkelmæssige udstrækning af en tilsyneladende kilde set fra et givet sted i rummet, udtrykt i milliradianer (mrad). Den tilsyneladende kilde er den reelle eller virtuelle genstand, der danner det mindst mulige billede på nethinden. |

Tabel 2.1: Eksposeringsgrænseværdier for ikke-kohærent optisk stråling

| Index. | Bølgelængde nm | Eksposeringsgrænseværdi | Enheder | Bemærkning | Legemsdel | Risiko |
|--------|--|---|---|--|---|--|
| a. | 180-400 (UV-A, UV-B og UV-C) | $H_{\text{eff}} = 30$ Pr. dag 8 timer | [J m^{-2}] | | øje hornhinde bindehinde linser hud | fotokeratitis konjunktivitis katarakt erytem elastosis hudkræft |
| b. | 315-400 (UV-A) | $H_{\text{UVA}} = 10^4$ Pr. dag 8 timer | [J m^{-2}] | | øje linser | katarakt |
| c. | 300-700 (blåt-lys) <i>se note 1</i> | $L_B = \frac{10^6}{t}$ for $t \leq 10\,000$ s | L_B : [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$] t: [sekunder] | for $\alpha \geq 11$ mrad | øje nethinde | fotoretinitis |
| d. | 300-700 (blåt-lys) <i>se note 1</i> | $L_B = 100$ for $t > 10\,000$ s | [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$] | | | |
| e. | 300-700 (blåt-lys) <i>se note 1</i> | $E_B = \frac{100}{t}$ for $t \leq 10\,000$ s | E_B : [W m^{-2}] t: [sekunder] | for $\alpha < 11$ mrad <i>se note 2</i> | | |
| f. | 300-700 (blåt-lys) <i>se note 1</i> | $E_B = 0.01$ $t > 10\,000$ s | [W m^{-2}] | | | |
| g. | 380-1 400 (Synlig og IR-A) | $L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha}$ for $t > 10$ s | [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$] | $C_\alpha = 1,7$ for $\alpha \leq 1,7$ mrad $C_\alpha = \alpha$ for | øje nethinde | forbrænding af nethinden |
| h. | 380-1 400 (Synlig og IR-A) | $L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}}$ for $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10$ s | L_R : [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1}$] t: [sekunder] | $1,7 \leq \alpha \leq 100$ mrad $C_\alpha = 100$ for $\alpha > 100$ mrad | | |

| Index. | Bølgelængde nm | Eksponeeringsgrænseværdi | Enheder | Bemærkning | Legemsdel | Risiko |
|--------|-------------------------------------|---|--|---|---------------------------|---------------------------------------|
| i. | 380-1 400 (Synlig og IR-A) | $L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ for $t < 10 \mu\text{s}$ | [W m ⁻² sr ⁻¹] | $\lambda_1 = 380; \lambda_2 = 1\ 400$ | | |
| j. | 780-1 400 (IR-A) | $L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_\alpha}$ for $t > 10 \text{ s}$ | [W m ⁻² sr ⁻¹] | $C_\alpha = 11$ for $\alpha \leq 11 \text{ mrad}$ $C_\alpha = \alpha$ for $11 \leq \alpha \leq 100 \text{ mrad}$ $C_\alpha = 100$ for $\alpha > 100 \text{ mrad}$ (målefelt: 11 mrad) | øje nethinde | forbrænding af nethinden |
| k. | 780-1 400 (IR-A) | $L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}}$ for $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10 \text{ s}$ | L_R : [W m ⁻² sr ⁻¹] t: [sekunder] | | | |
| l. | 780-1 400 (IR-A) | $L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ for $t < 10 \mu\text{s}$ | [W m ⁻² sr ⁻¹] | | | |
| m. | 780-3 000 (IR-A og IR-B) | $E_{IR} = 18\ 000 t^{-0,75}$ for $t \leq 1\ 000 \text{ s}$ | E: [W m ⁻²] t: [sekunder] | | øje hornhinde linse | forbrænding af hornhinden katarakt |
| n. | 780-3 000 (IR-A og IR-B) | $E_{IR} = 100$ for $t > 1\ 000 \text{ s}$ | [W m ⁻²] | | | |
| o. | 380-3 000 (Synlig, IR-A og IR-B) | $H_{\text{skin}} = 20\ 000 t^{0,25}$ for $t < 10 \text{ s}$ | H: [J m ⁻²] t: [sekunder] | | hud | forbrænding |

Note 1: Området 300 til 700 nm omfatter dele af UV-B, alle UV-A og det meste af synlig stråling; den dermed forbundne risiko omtales normalt som "blåt-lys", selv om blåt-lys i snæver forstand kun omfatter området fra ca. 400 til 490 nm.

Note 2: Med henblik på vedholdende fiksering af meget små kilder med en sigtevinkel < 11 mrad, kan L_B konverteres til E_B . Dette gælder normalt kun for instrumenter til øjenundersøgelse eller et stabiliseret øje under bedøvelse. Den maksimale "stirretid" findes således: $t_{\text{max}} = 100/E_B$ med E_B udtrykt i W m⁻². Øjenbevægelserne under normale visuelle opgaver gør, at denne ikke overstiger 100 sekunder.

Tabel 2.2: S (λ) [dimensionsløs], 180 nm til 400 nm

| λ i nm | S (λ) | λ i nm | S (λ) | λ i nm | S (λ) | λ i nm | S (λ) | λ i 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 | | |

Tabel 2.3: B (λ), R (λ) [dimensionsløs], 380 nm til 1 400 nm

| λ i nm | B (λ) | R (λ) |
|--------------------------|-----------------|-----------------|
| $300 \leq \lambda < 380$ | 0,01 | — |
| 380 | 0,01 | 0,1 |
| 385 | 0,013 | 0,13 |
| 390 | 0,025 | 0,25 |
| 395 | 0,05 | 0,5 |
| 400 | 0,1 | 1 |
| 405 | 0,2 | 2 |
| 410 | 0,4 | 4 |
| 415 | 0,8 | 8 |
| 420 | 0,9 | 9 |

| | | |
|----------------------------|-----------------------------------|--|
| 425 | 0,95 | 9,5 |
| 430 | 0,98 | 9,8 |
| 435 | 1 | 10 |
| 440 | 1 | 10 |
| 445 | 0,97 | 9,7 |
| 450 | 0,94 | 9,4 |
| 455 | 0,9 | 9 |
| 460 | 0,8 | 8 |
| 465 | 0,7 | 7 |
| 470 | 0,62 | 6,2 |
| 475 | 0,55 | 5,5 |
| 480 | 0,45 | 4,5 |
| 485 | 0,32 | 3,2 |
| 490 | 0,22 | 2,2 |
| 495 | 0,16 | 1,6 |
| 500 | 0,1 | 1 |
| $500 < \lambda \leq 600$ | $10^{0,02 \cdot (450 - \lambda)}$ | 1 |
| $600 < \lambda \leq 700$ | 0.001 | 1 |
| $700 < \lambda \leq 1050$ | — | $10^{0,002 \cdot (700 - \lambda)}$ |
| $1050 < \lambda \leq 1150$ | — | 0,2 |
| $1150 < \lambda \leq 1200$ | — | $0,2 \cdot 10^{0,02 \cdot (1150 - \lambda)}$ |
| $1200 < \lambda \leq 1400$ | — | 0,02 |
