HODNOCENÍ EXPOZICE V OKOLÍ PŘÍSTROJŮ IPL

Pavel Buchar
elmag@szu.cz

OSNOVA

- Veličiny a limity
- Výpočty
- Závěr

VELIČINY

ZÁŘ

L [W/m^{2}sr]

HUSTOTA ZÁŘIVÉHO TOKU

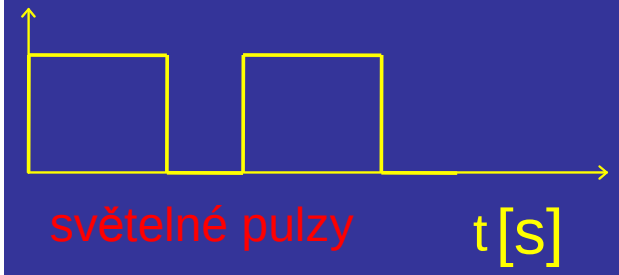
E [W/m^2]

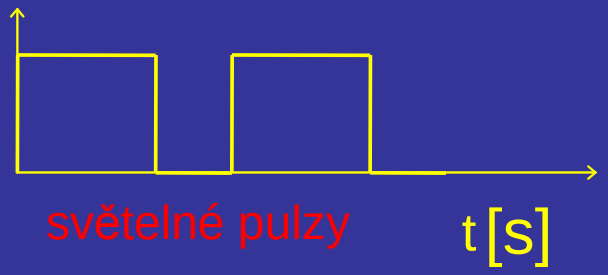
$$E = \pi L$$

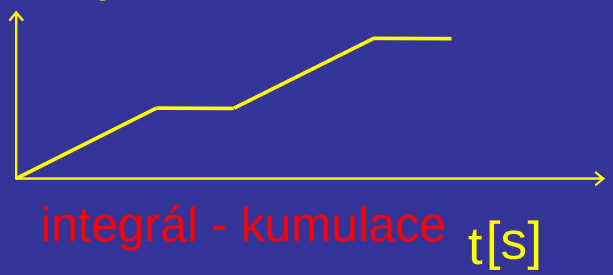
EXPOZICE ZÁŘENÍ („dávka“, „fluence“)

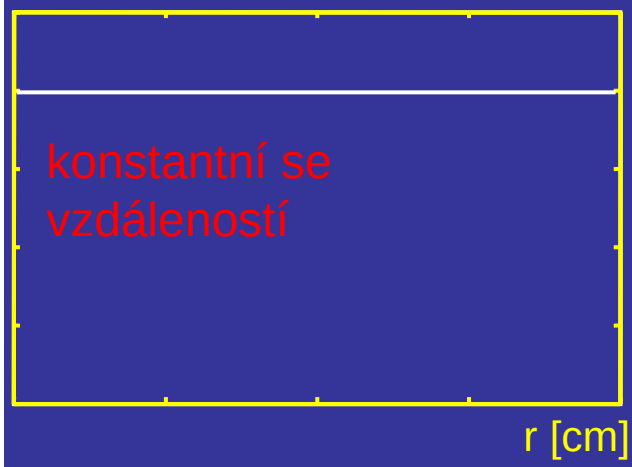
H [J/m^2]

$$H = \int_0^t E d\tau$$









VELIČINY A LIMITY

L, *E*, *H* – obecná označení

avšak v nařízení vlády č. 1/2008 Sb.: limity pro různé rozsahy vlnových délek:

(1) $L_B(t) = \sum_{\lambda=300\,nm}^{\lambda=700\,nm} L_\lambda(\lambda,t)B(\lambda)\Delta\lambda$ 300-700 nm (fotochemické poškození oka modrým světlem)

(2) $L_R(t) = \sum_{\lambda=380\,nm}^{\lambda=1400\,nm} L_\lambda(\lambda,t)R(\lambda)\Delta\lambda$ 380-1400 nm (tepelné poškození oka viditelným a infračerveným světlem)

(3) $L_R(t) = \sum_{\lambda=780\,nm}^{\lambda=1400\,nm} L_\lambda(\lambda,t)R(\lambda)\Delta\lambda$ 780-1400 nm (tepelné poškození oka infračerveným světlem)

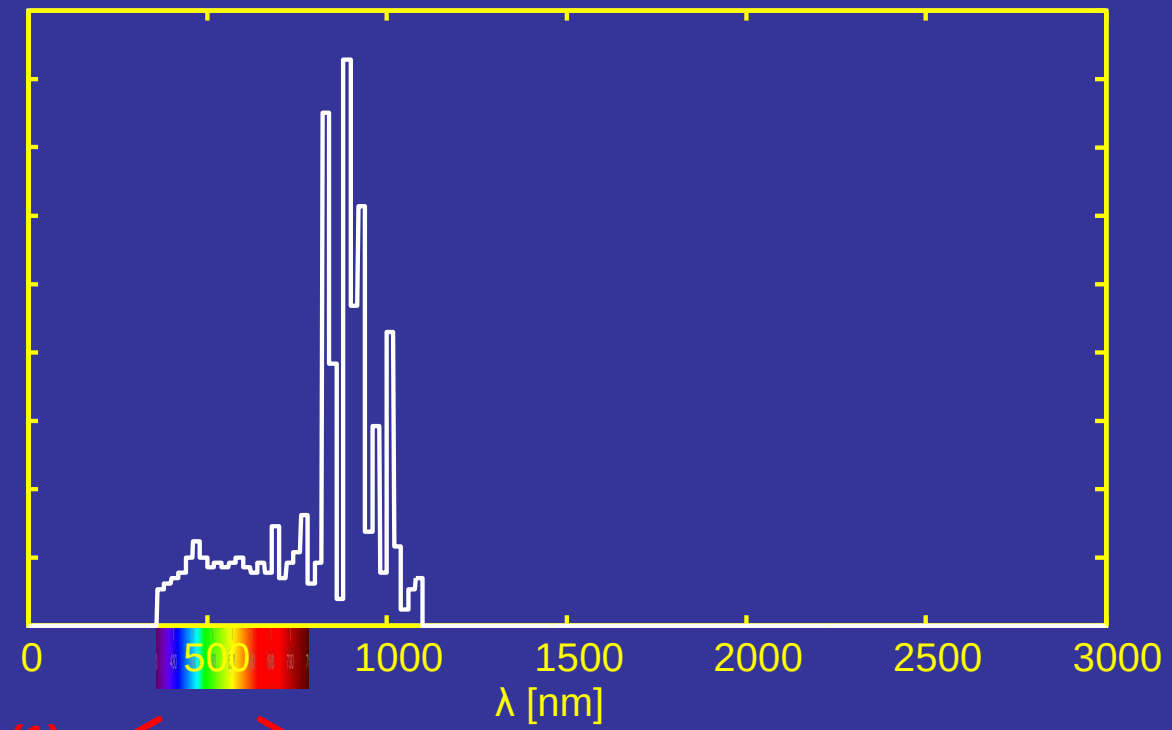
(4) $E_{IR}(t) = \sum_{\lambda=780\,nm}^{\lambda=3000\,nm} E_\lambda(\lambda,t)\Delta\lambda$ 780-3000 nm (tepelné poškození oka infračerveným světlem)

(5) $E_{kuze}(t) = \sum_{\lambda=380\,nm}^{\lambda=3000\,nm} E_\lambda(\lambda,t)\Delta\lambda$ 380-3000 nm (popálení kůže)

- jednotlivé veličiny na levé straně nazýváme „efektivní“ – již v sobě mají zahrnuty působení na organizmus
- jednotlivé veličiny na pravé straně nazýváme „spektrální“
- dále se ve výpočtech vyskytují veličiny „časově střední“

VELIČINY A LIMITY

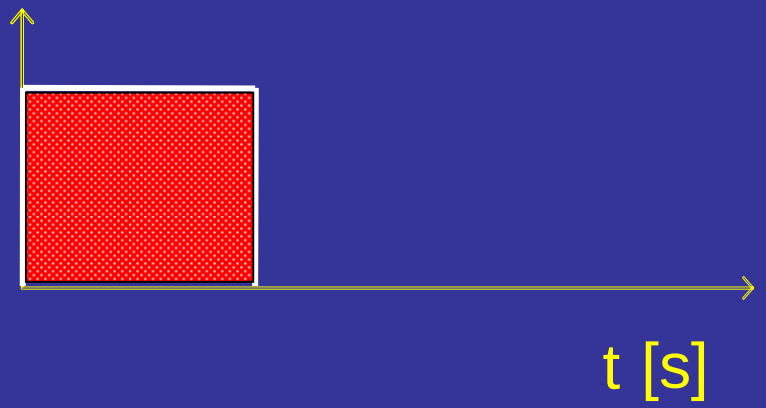
SPEKTRUM XENONOVÉ LAMPY



ROZSAH LIMITŮ:

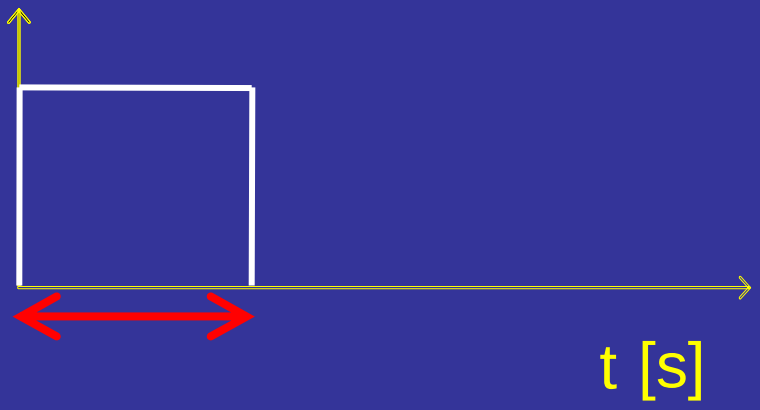
CO JE ZADÁNO

„DÁVKA“ V ÚSTÍ APLIKÁTORU (nejhorší případ – nejvyšší možná)
- např. 30 J/cm^2



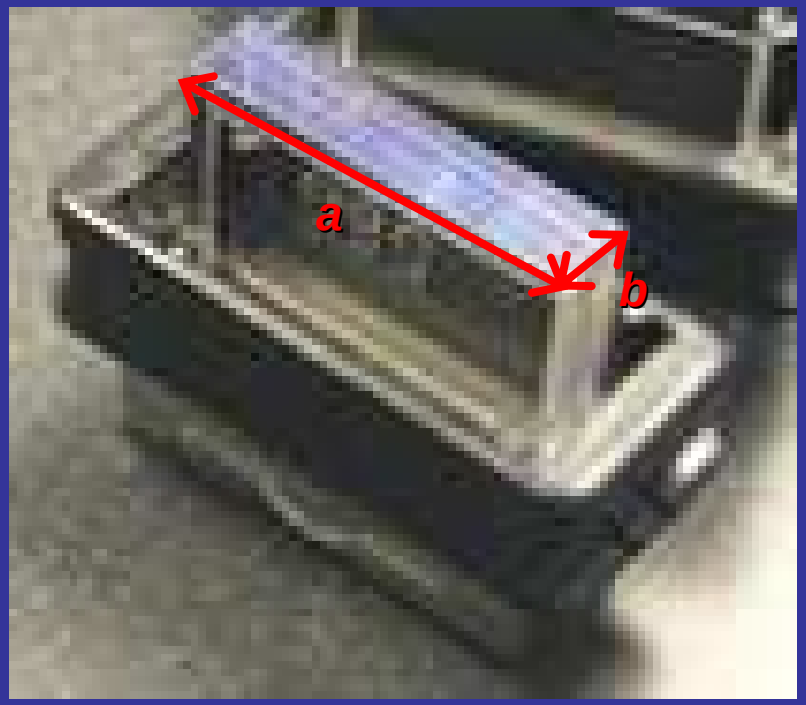
CO JE ZADÁNO

DOBA APLIKACE „DÁVKY“ (nejhorší případ – nejkratší možný pulz)
- např. 3 ms



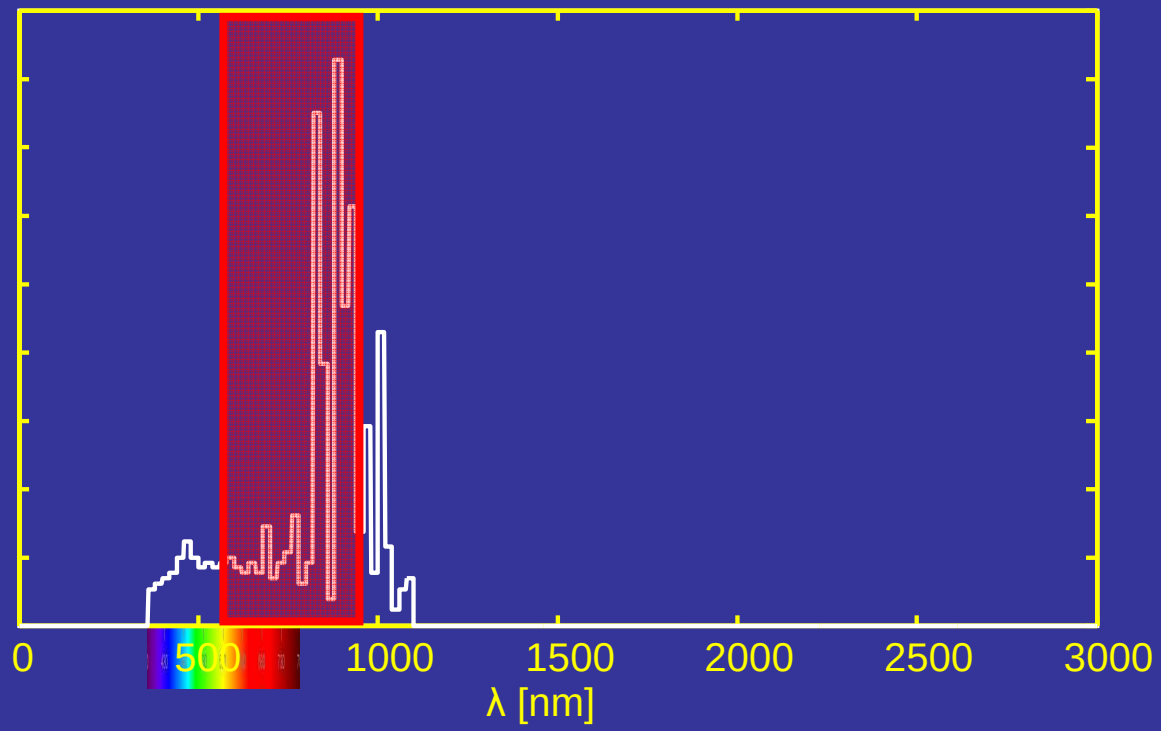
CO JE ZADÁNO

ROZMĚRY APLIKÁTORU
- např. *a* x *b* = **48 x 13 mm²**



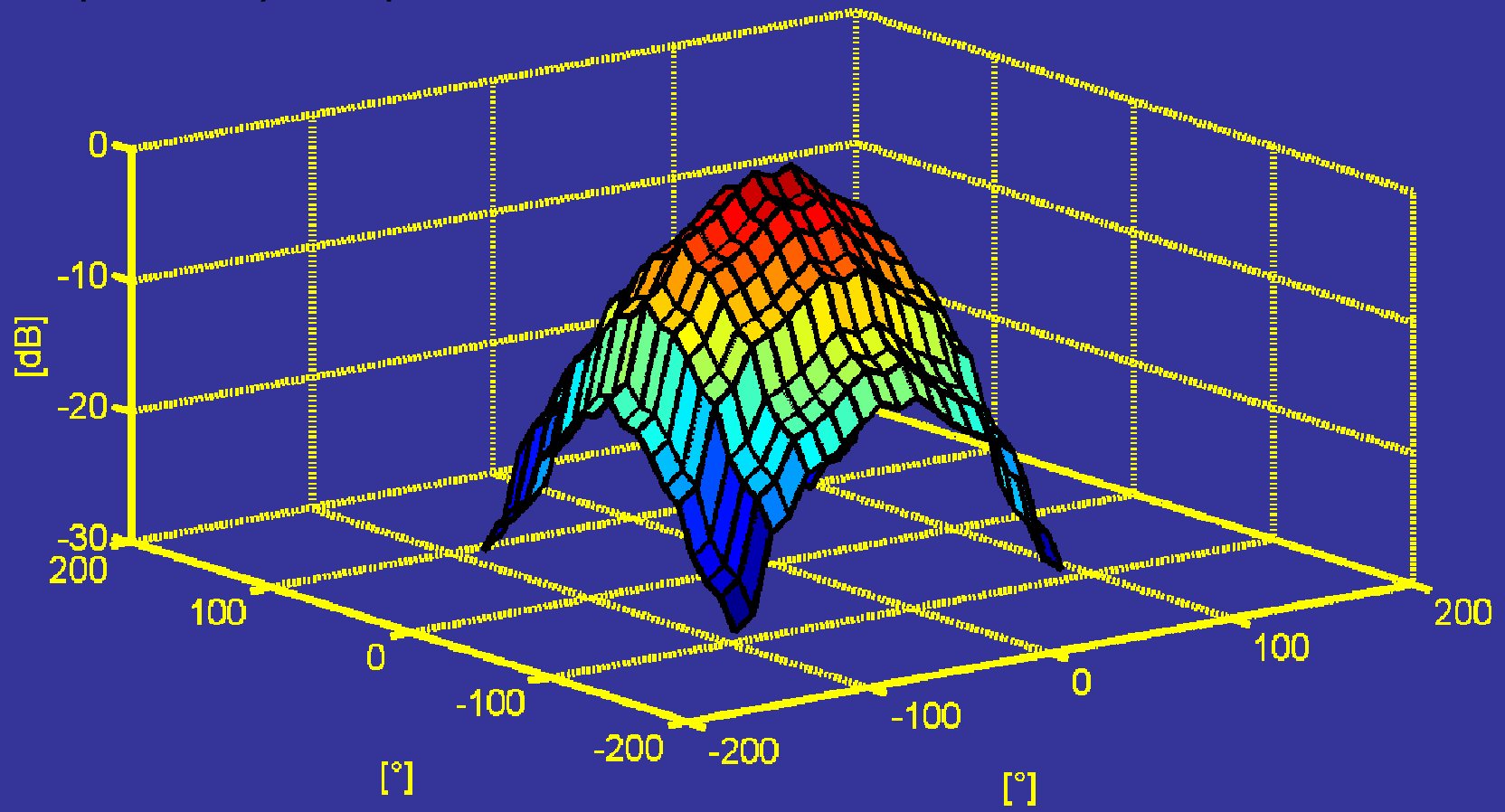
CO JE ZADÁNO

SPEKTRUM VLNOVÝCH DÉLEK
- např. **550-950 nm**

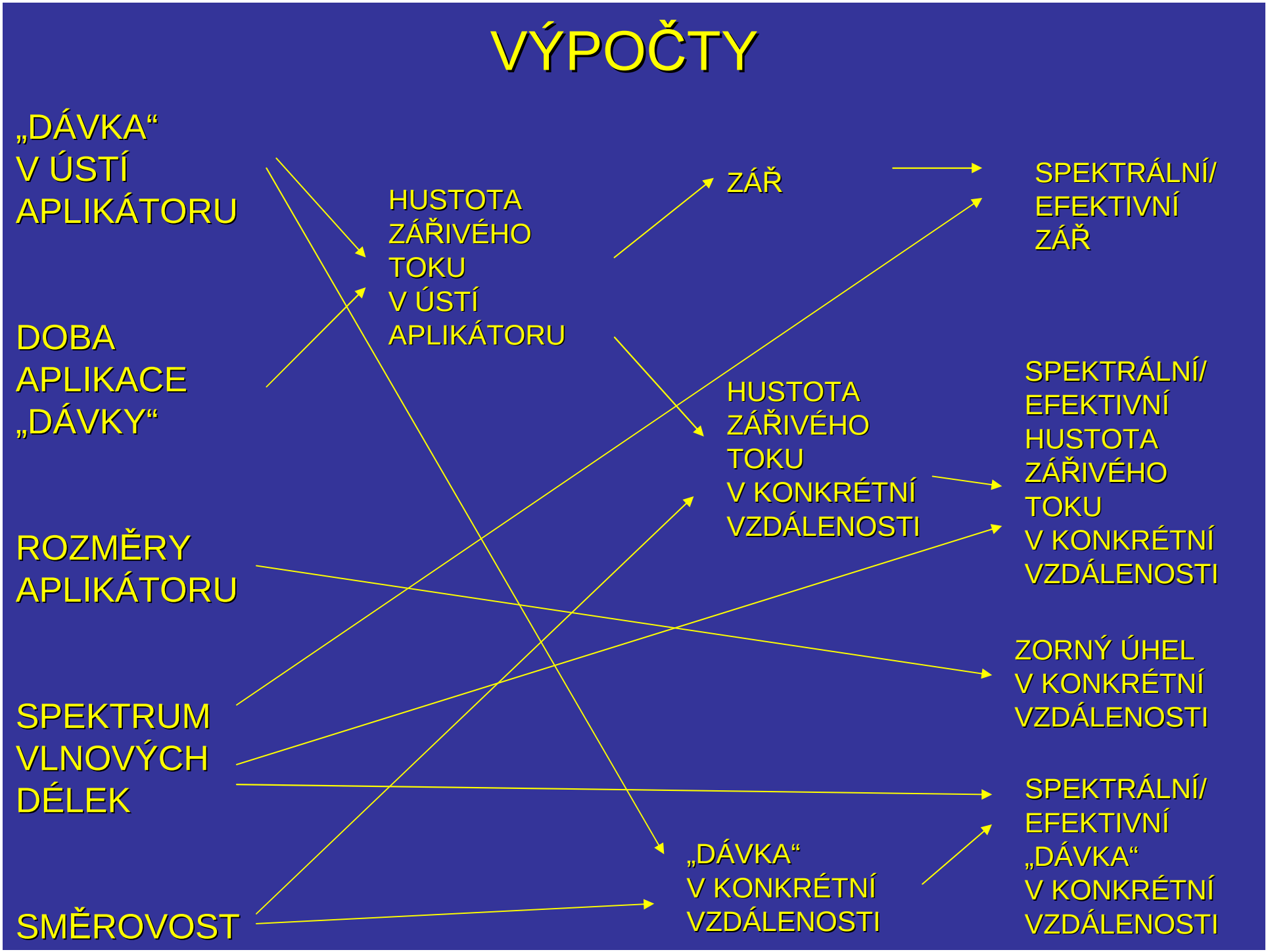


CO JE ZMĚŘENO

VYZAŘOVACÍ DIAGRAM APLIKÁTORU
→ směrovost v přímém směru (pro případ nechtěného spuštění) – např. 47
→ směrovost v bočním směru (parazitní vyzařování v bočním směru či odrazy od kůže pacienta) – např. 5



VÝPOČTY


„DÁVKA“
V ÚSTÍ
APLIKÁTORU
DOBA
APLIKACE
„DÁVKY“
ROZMĚRY
APLIKÁTORU
SPEKTRUM
VLNOVÝCH
DÉLEK
SMĚROVOST
HUSTOTA
ZÁŘIVÉHO
TOKU
V ÚSTÍ
APLIKÁTORU
ZÁŘ
HUSTOTA
ZÁŘIVÉHO
TOKU
V KONKRÉTNÍ
VZDÁLENOSTI
„DÁVKA“
V KONKRÉTNÍ
VZDÁLENOSTI
SPEKTRÁLNÍ/
EFEKTIVNÍ
ZÁŘ
SPEKTRÁLNÍ/
EFEKTIVNÍ
HUSTOTA
ZÁŘIVÉHO
TOKU
V KONKRÉTNÍ
VZDÁLENOSTI
ZORNÝ ÚHEL
V KONKRÉTNÍ
VZDÁLENOSTI
SPEKTRÁLNÍ/
EFEKTIVNÍ
„DÁVKA“
V KONKRÉTNÍ
VZDÁLENOSTI

VÝPOČTY

POŽADAVEK (1)

nejvyšší přípustná hodnota pro časově střední hodnotu L_B efektivní záře pro modré světlo

$$L_B = \frac{10^6}{t}$$

$$L_B = \frac{1}{t}\int_0^t L_B(\tau)d\tau = \frac{1}{t}\int_0^t \sum_{\lambda=300nm}^{\lambda=700nm} L_\lambda(\lambda,\tau)B(\lambda)\Delta\lambda d\tau$$

…

$$10^6 = \frac{1}{\pi}\sum_{\lambda=300nm}^{\lambda=700nm} H_\lambda(\lambda,t)|_{r=0}\ B(\lambda)\Delta\lambda$$

$L_B(t)$	efektivní zář pro modré světlo (okamžitá hodnota)
$L_\lambda(\lambda,t)$	spektrální zář (okamžitá hodnota)
$H_\lambda(\lambda,t)\|_{r=0}$	spektrální expozice záření v ústí aplikátoru
$B(\lambda)$	spektrální váhový koeficient

λ	vlnová délka
r	vzdálenost od aplikátoru
t	čas

Výsledek výpočtu: nejvyšší dovolený počet dávek

Pro náš příklad: 33000 v přímém směru, 150000 v bočním směru

VÝPOČTY

POŽADAVEK (2)

nejvyšší přípustná hodnota pro časově střední hodnotu L_R efektivní záře pro tepelné poškození oka

$$L_R = \frac{5\,10^7}{C_\alpha t^{0,25}}$$

$$L_R = \frac{1}{t}\int_0^t L_R(\tau)d\tau = \frac{1}{t}\int_0^t \sum_{\lambda=380nm}^{\lambda=1400nm} L_\lambda(\lambda,t)R(\lambda)\Delta\lambda d\tau$$

…

$$t = \left(\frac{C_\alpha}{\pi 5\,10^7} \sum_{\lambda=380nm}^{\lambda=1400nm} H_\lambda(\lambda,t)|_{r=0}\ R(\lambda)\Delta\lambda \right)^{\frac{4}{3}}$$

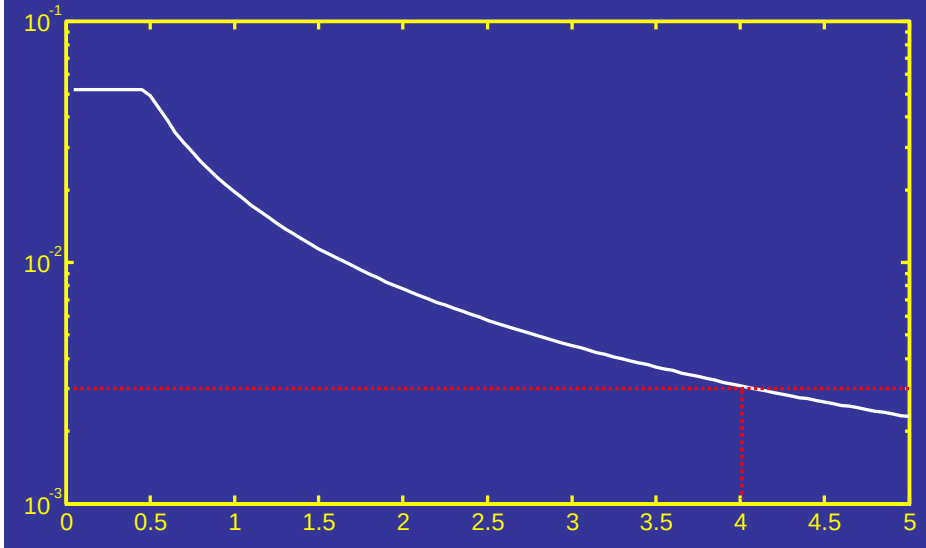
$L_R(t)$	ef. zář pro tep. poškození oka (okamžitá hodnota)	C_α	koeficient závisející na vzdálenosti
$L_\lambda(\lambda,t)$	spektrální zář (okamžitá hodnota)	λ	vlnová délka
$H_\lambda(\lambda,t)\|_{r=0}$	spektrální expozice záření v ústí aplikátoru	r	vzdálenost od aplikátoru
$R(\lambda)$	spektrální váhový koeficient	t	čas

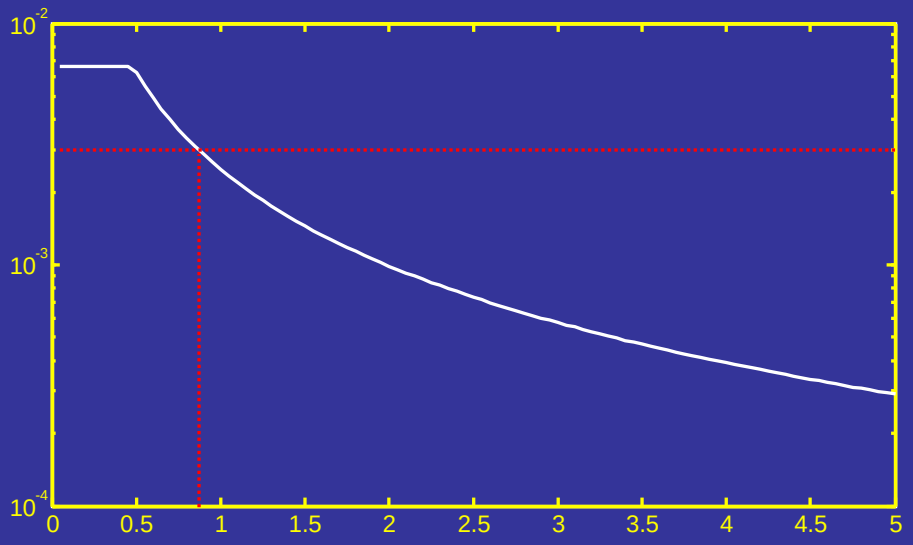
Výsledek výpočtu: nejkratší dovolená doba, za níž je aplikována „dávka“, v závislosti na vzdálenosti → vzdálenost, v níž se tato doba rovná době aplikace jedné „dávky“

VÝPOČTY

POŽADAVEK (2)

Pro náš příklad: 4 m v přímém směru, 0,90 m v bočním směru





VÝPOČTY

POŽADAVEK (3)

nejvyšší přípustná hodnota pro časově střední hodnotu L_R efektivní záře pro tepelné poškození oka

$$L_R = \frac{5\,10^7}{C_\alpha t^{0,25}}$$

$$L_R = \frac{1}{t}\int_0^t L_R(\tau)d\tau = \frac{1}{t}\int_0^t \sum_{\lambda=780nm}^{\lambda=1400nm} L_\lambda(\lambda,t)R(\lambda)\Delta\lambda d\tau$$

…

$$t = \left(\frac{C_\alpha}{\pi 5\,10^7} \sum_{\lambda=780nm}^{\lambda=1400nm} H_\lambda(\lambda,t)|_{r=0}\ R(\lambda)\Delta\lambda \right)^{\frac{4}{3}}$$

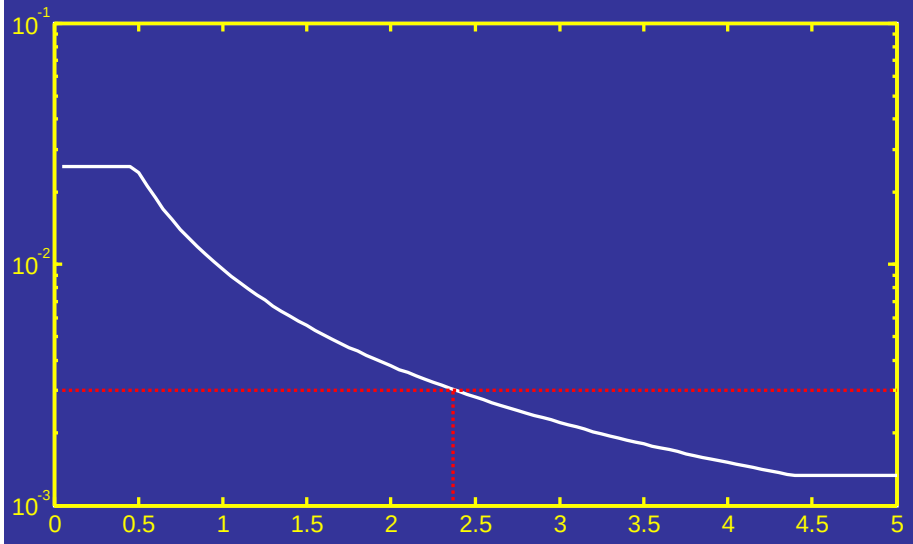
$L_R(t)$	ef. zář pro tep. poškození oka (okamžitá hodnota)	C_α	koeficient závisející na vzdálenosti
$L_\lambda(\lambda,t)$	spektrální zář (okamžitá hodnota)	λ	vlnová délka
$H_\lambda(\lambda,t)\|_{r=0}$	spektrální expozice záření v ústí aplikátoru	r	vzdálenost od aplikátoru
$R(\lambda)$	spektrální váhový koeficient	t	čas

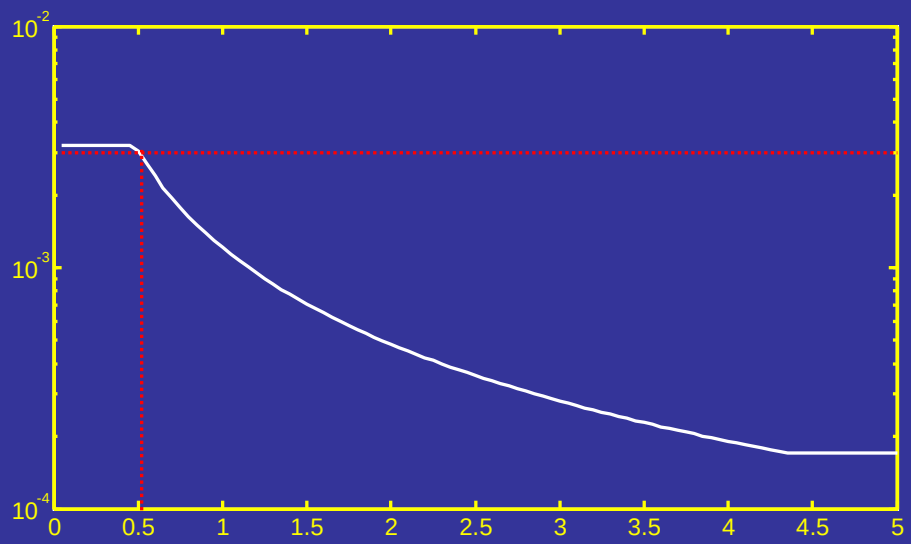
Výsledek výpočtu: nejkratší dovolená doba, za níž je aplikována „dávka“, v závislosti na vzdálenosti → vzdálenost, v níž se tato doba rovná době aplikace jedné „dávky“

VÝPOČTY

POŽADAVEK (3)

Pro náš příklad: 2,4 m v přímém směru, 0,50 m v bočním směru





VÝPOČTY

POŽADAVEK (4)

nejvyšší přípustná hodnota pro časově střední hodnotu E_{IR} celkové hustoty zářivého toku pro tepelné poškození oka v rozsahu infračerveného záření

$$E_{IR} = 18000\, t^{-0,75}$$

$$E_{IR} = \frac{1}{t}\int_0^t E_{IR}(\tau)d\tau = \frac{1}{t}\int_0^t \sum_{\lambda=780nm}^{\lambda=3000nm} E_\lambda(\lambda,\tau)\Delta\lambda d\tau$$

…

$$t = \left(\frac{1}{18000}\int_0^t \sum_{\lambda=780nm}^{\lambda=3000nm} \frac{d}{d\tau} H_\lambda(\lambda,\tau)\Delta\lambda d\tau\right)^4$$

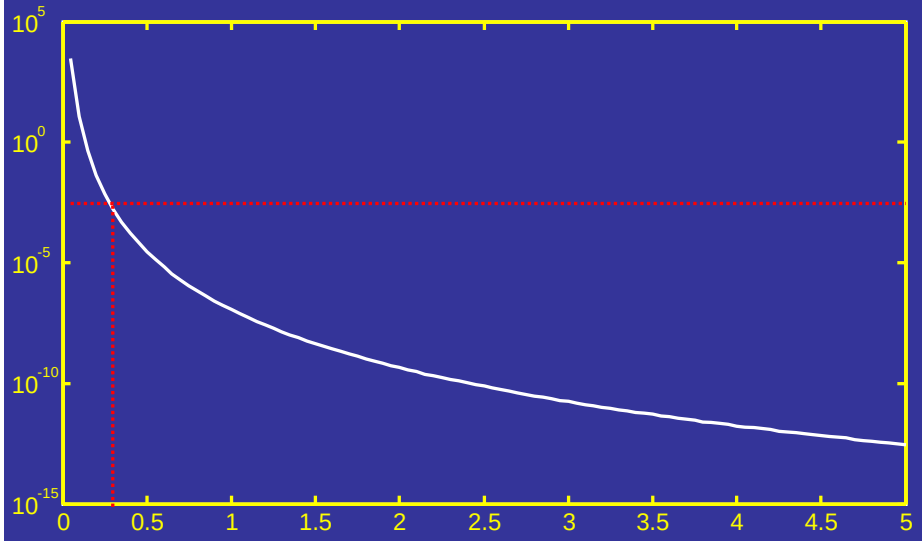
$E_{IR}(t)$	celk. hust. zář. toku pro tep. poškození oka (okamžitá hodnota)	λ	vlnová délka
$E_\lambda(\lambda,t)$	spektrální hustota zářivého toku (okamžitá hodnota)	t	čas
$H_\lambda(\lambda,t)$	spektrální expozice záření (závisí na vzdálenosti)		

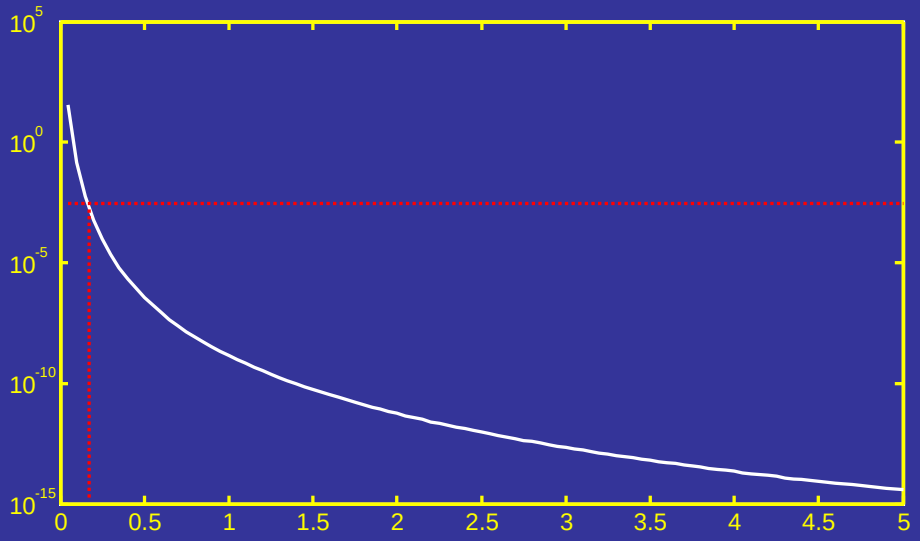
Výsledek výpočtu: nejkratší dovolená doba, za níž je aplikována „dávka“, v závislosti na vzdálenosti → vzdálenost, v níž se tato doba rovná době aplikace jedné „dávky“

VÝPOČTY

POŽADAVEK (4)

Pro náš příklad: 0,35 m v přímém směru, 0,20 m v bočním směru





VÝPOČTY

POŽADAVEK (5)

nejvyšší přípustná hodnota pro expozici záření $H_{kůže}(t)$ pro popálení kůže

$$H_{kuze}(t) = 20000\, t^{0,25}$$

…

$$t = \left(\frac{1}{20000} \sum_{\lambda=380nm}^{\lambda=3000nm} H_{\lambda}(\lambda, t)\Delta\lambda \right)^{4}$$

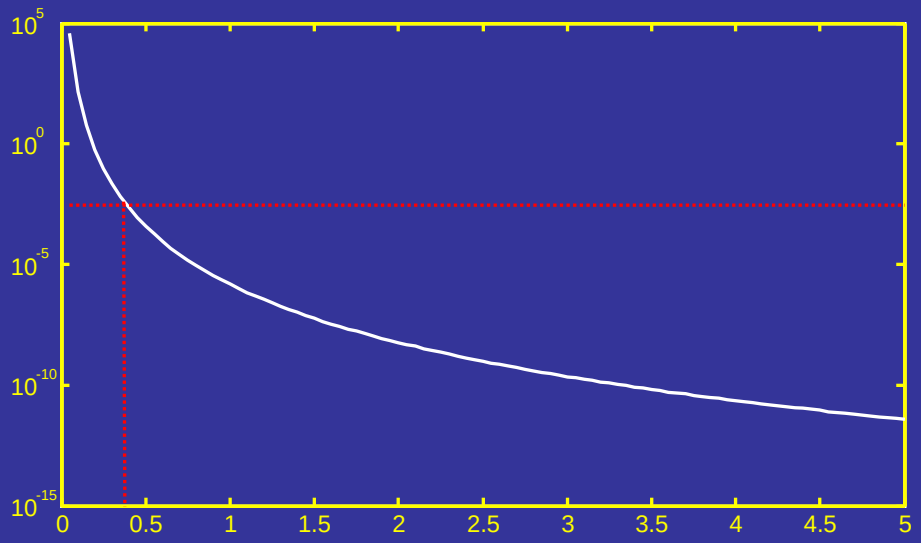
$H_{\lambda}(\lambda, t)$	spektrální expozice záření (závisí na vzdálenosti)
λ	vlnová délka
t	čas

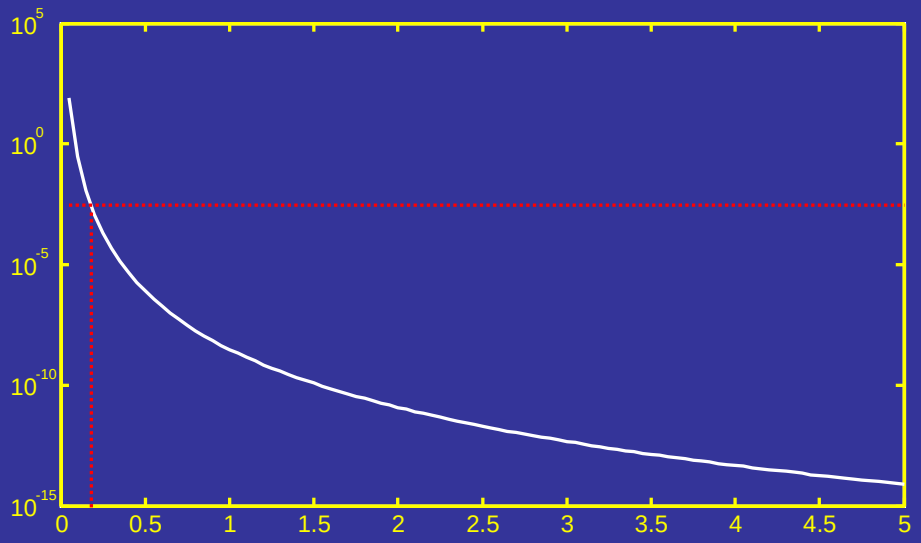
Výsledek výpočtu: nejkratší dovolená doba, za níž je aplikována „dávka“, v závislosti na vzdálenosti → vzdálenost, v níž se tato doba rovná době aplikace jedné „dávky“

VÝPOČTY

POŽADAVEK (5)

Pro náš příklad: 0,40 m v přímém směru, 0,20 m v bočním směru





ZÁVĚR

Jak naznačují výsledky ukázkového výpočtu:

Nejvyšší přípustné hodnoty týkající se očí mohou být překročeny:
- V přímém směru do vzdálenosti několika metrů od aplikátoru
- V bočním směru do vzdálenosti desítek centimetrů od aplikátoru

Nejvyšší přípustné hodnoty týkající se kůže mohou být překročeny:
- Do vzdálenosti desítek centimetrů jak v přímém, tak i v bočním směru.

DĚKUJI ZA POZORNOST