

*Motto: Základem životních funkcí je příjem kyslíku, vody
a sluneční energie ... dr. J. Budwig*

Hygienická problematika optického záření

Petr Vrbík

emeritní autorizovaná osoba pro HZR

VrbikPetr@seznam.cz



říjen 2024

Obsah

- ▶ Optické záření
- ▶ Biologické účinky optického záření
- ▶ Infračervené záření
- ▶ Světelné záření
- ▶ Ultrafialové záření
- ▶ Zdravotní rizika UV záření
- ▶ Technologické zdroje UV záření vč. solárií
- ▶ Koherentní záření
- ▶ Bezpečnostní třídy a používání laserů
- ▶ Rekapitulace

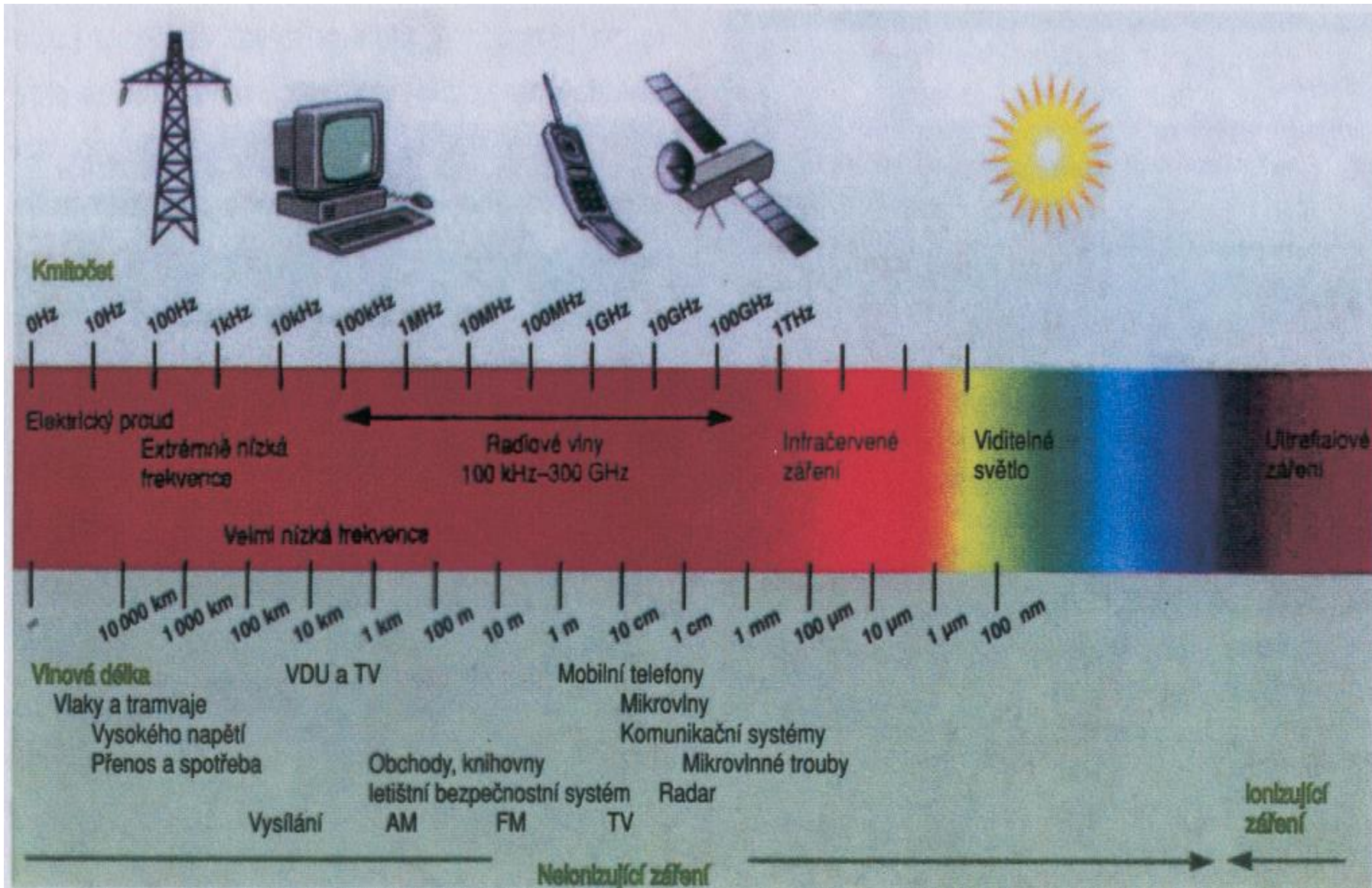
Optické záření

Mezi hygienicky významné fyzikální faktory našeho prostředí patří i **elektromagnetické záření**. Jedná se o **přenos elmag. energie** ve formě vlnění.

Záření popisujeme jeho frekvencí a platí, že čím vyšší je **frekvence záření** (*kratší vlnová délka*), tím větší energie je přenášena elementárním kvantem, a tím se zvyšuje možné **zdravotní riziko**.

Při zvyšující se frekvenci mohou jednotlivá kvanta dosáhnout takové energie, že způsobí ionizaci (*rozpad*) buněk, takže mluvíme o **ionizujícím záření** a potom záření s nižší frekvencí označujeme jako **neionizující**. A právě hranici mezi neionizujícím a ionizujícím záření tvoří **optické záření** (infrachervené, světelné a ultrafialové záření).

Spektrum elektromagnetického záření



Optické záření

Právě Slunce je přirozeným zdrojem **optického záření**, ze kterého čerpáme energii pro řízení našich vnitřních procesů a mj. příznivě působí i na naši psychiku.

Optické záření popisujeme **fyzikálními veličinami**:

- **zářivým tokem** [Φ_e ; W], což je vyzářená energie [J] za jednotku času;
- **intenzitou vyzařování** [M_e ; $W \cdot m^{-2}$], veličinou určující plošnou hustotu zářivého toku, vyzařovanou z elementární plochy zdroje;
- **září** [L_e ; $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$], veličinou, určující současně prostorovou i plošnou hustotu zářivého toku.

Pásma optického záření

Spektrum optického záření rozdělujeme na různá pásma, kterým odpovídají příslušné frekvenční rozsahy (vlnové délky) – viz tabulka:

Pásma záření	Druh záření	e [eV]	λ [nm]	f [Hz].10 ¹⁴
	IR - C	0,12 - 0,41	10 ⁴ - 3000	0,3 - 1,0
Infračervené	IR - B	0,41 - 0,89	3000 - 1400	1,0 - 2,14
	IR - A	0,89 - 1,59	1400 - 780	2,14 - 3,84
	VIS červené	1,59 - 1,96	780 - 630	3,84 - 4,76
	VIS oranžové	1,96 - 2,07	630 - 600	4,76 - 5,0
Světelné	VIS žluté	2,07 - 2,17	600 - 570	5,0 - 5,26
	VIS zelené	2,17 - 2,53	570 - 490	5,26 - 6,12
	VIS modré	2,53 - 2,88	490 - 430	6,12 - 6,89
	VIS fialové	2,88 - 3,26	430 - 380	6,89 - 7,89
	UV - A	3,26 - 3,93	380 - 315	7,89 - 9,5
Ultrafialové	UV - B	3,93 - 4,43	315 - 280	9,5 - 17,0
	UV - C	4,43 - 12,4	280 - 100	17,0 - 30

Uvedená pásma se odlišují účinky na lidský organismus ...

Biologické účinky optického záření

Samozřejmě působení optického záření na člověka není závislé jen na **frekvenci**, ale i na **hustotě zářivého toku**. Rozhodující pro účinek je **dávka ozáření** konkrétní tkáně (*množství absorbované energie za dobu expozice; riziko závisí i na biologických vlastnostech zasažené tkáně*).

Zjednodušeně můžeme biologické účinky označit jako **tepelné** a **netepelné**, které probíhají současně a oproti neionizujícímu záření se předpokládá **bezprahové působení*** (*hygienicky významný rozdíl*)!

Charakteristická je absorpce především **na povrchu těla**; či-li v **oku** (rohovka, čočka, sítnice) a v **pokožce**.

*** Účinky se mohou kumulovat !**

Účinky nadměrné absorpce optického záření

CIE	UV-C	UV-B	UV-A	VIS	IR-A	IR-B	IR-C	
λ [nm] →	100	280	315	400	760	1400	3000	10^6
OKO	zánět rohovky			degradace barev. vidění				
			zákal čočky			zákal rohovky		
				popálení sítnice		popálení rohovky		
POKOŽKA	erytém		popálení pokožky					

Infračervené záření

Je součástí optického záření a bývá faktorem, které spoluvytváří i mikroklima. V pracovním prostředí bývají zdrojem IR záření práce s rozžhaveným materiálem (*hutě, slévárny, sklárny*), v komunálním prostředí to jsou např. elektrické přímotopy (*sálavé teplo*).

Převážně se jedná o tepelné působení **na oko** popř. i na **pokožku**. Projevem může být např. sklářská katarakta!

Při posuzování používáme zářivou veličinu **zář** (**Le**; [W.sr⁻¹.m⁻²]) nebo **hustotu zářivého toku** [W.m⁻²] (*riziko se v praxi většinou odhaduje výpočtem a porovnává se s hygienickými limity*).

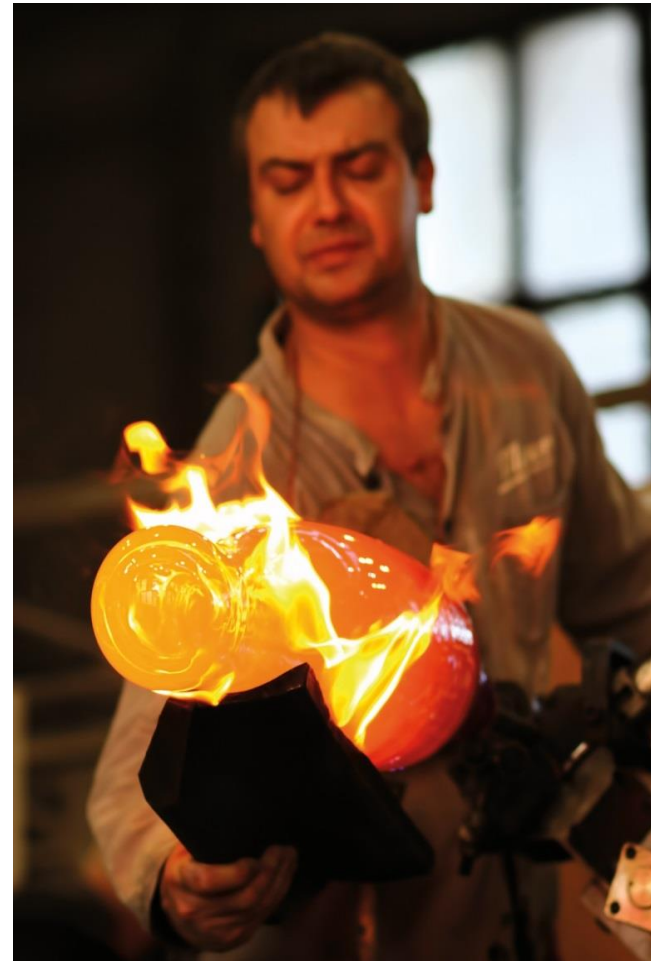
Ochrana – brýle, clony popř. i vzdušné sprchy!

Riziko IR záření - práce s rozzhaveným materiálem

Slévání ve školní dílně



Foukání skla



Často podceňované riziko a většinou je ani nemáme čím měřit ...

Infralampy + horská sluníčka (zákaz EU)



Ovšem vyskytují se i **IR zářiče pro léčebnou terapii.**

Produkují IR záření, které vnímáme jako **suché teplo**. *Příznivý účinek terapie na pleť je dán tím, že kůže a tkáň se působením tepla prokrví a zvýšený průtok krve odnáší „nečistoty“. Do pokožky se dostane i více živin, zlepší se metabolismus. Má vliv i na střevní mikroflóru.*

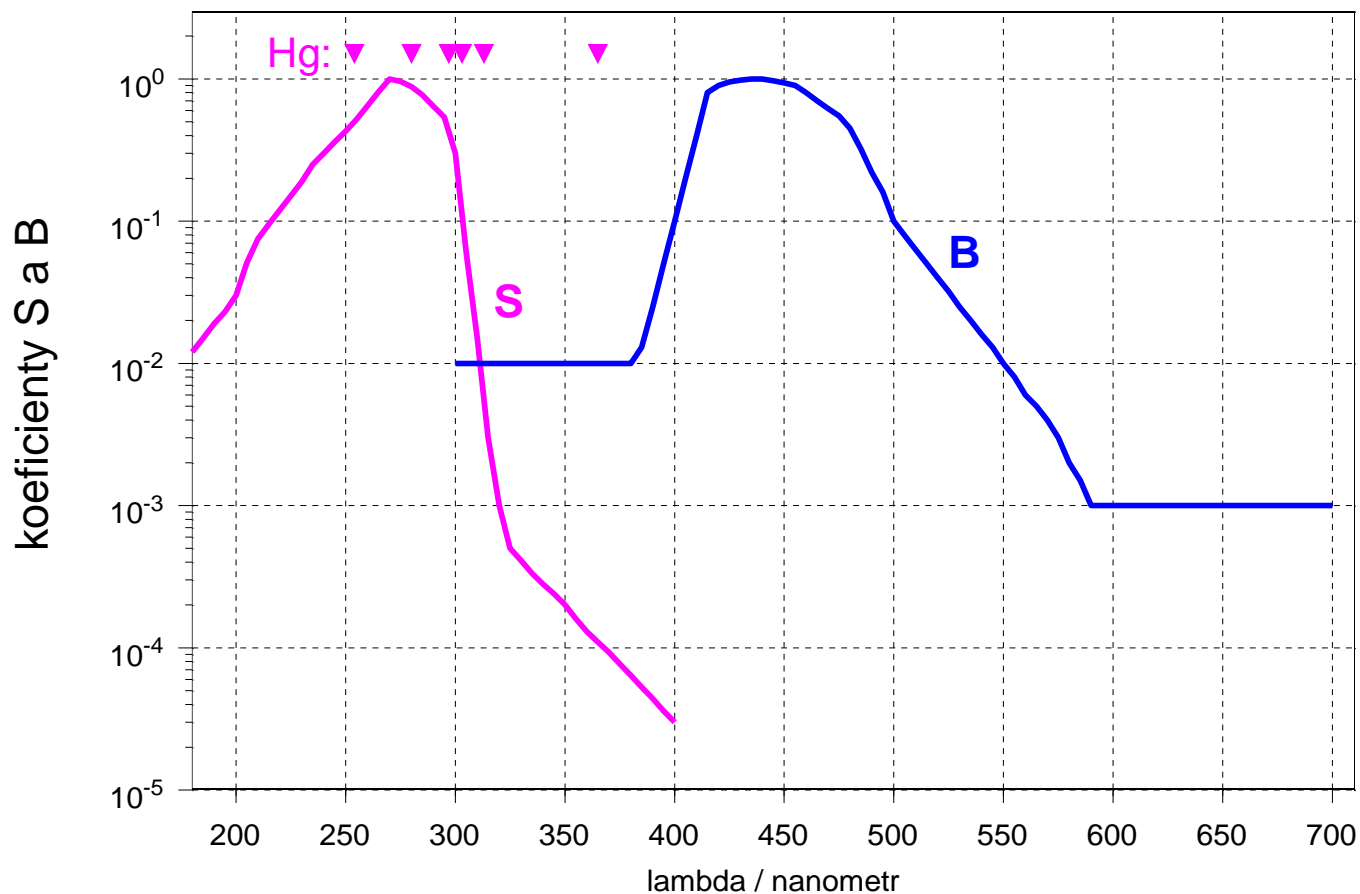
Existují tzv. kolagenová solária, jejichž trubice svítí růžovo-červeně (633 nm). nevydávají takové teplo jako solárium a neobsahují UV záření – neopalují!

Světelné záření

- Také **světelné záření** zahrnujeme do optického záření a je specifické především tím, že nám zprostředkovává **vizuální počitky**. I zde se mohou projevit **netepelné** a **tepelné účinky**:
- **netepelné (fotochemické) účinky**, vyvolávají změny prahu citlivosti nebo barvocitu; popř. působí i na „nevizuální“ receptory;
- **tepelné účinky**, např. poškození sítnice (*speciální zdroje, vytvrzování zubolékařských materiálů modrým světlem*).

Riziko posuzujeme teprve od určitého jasu ($L > 10 \text{ cd/m}^2$).

Koeficienty fyziologické účinnosti S a B



S_λ – zohledňující spektrální závislost účinků UV záření na rohovku;

B_λ – zohledňující spektrální závislost fotochemického poškození oka tzv. „modrým světlem“

Vytvrzování zubolékařských materiálů



Fototerapie

I světelné záření lze využívat pro léčbu mj. novorozenecké žloutenky (fotodegradace bilirubinu), proti depresím a jako přídavná léčba i u schizofrenie, demencí, včetně Alzheimerovy choroby. Důležitá je dávka osvitů a roli hraje i načasování terapie v rámci denního rytmu.

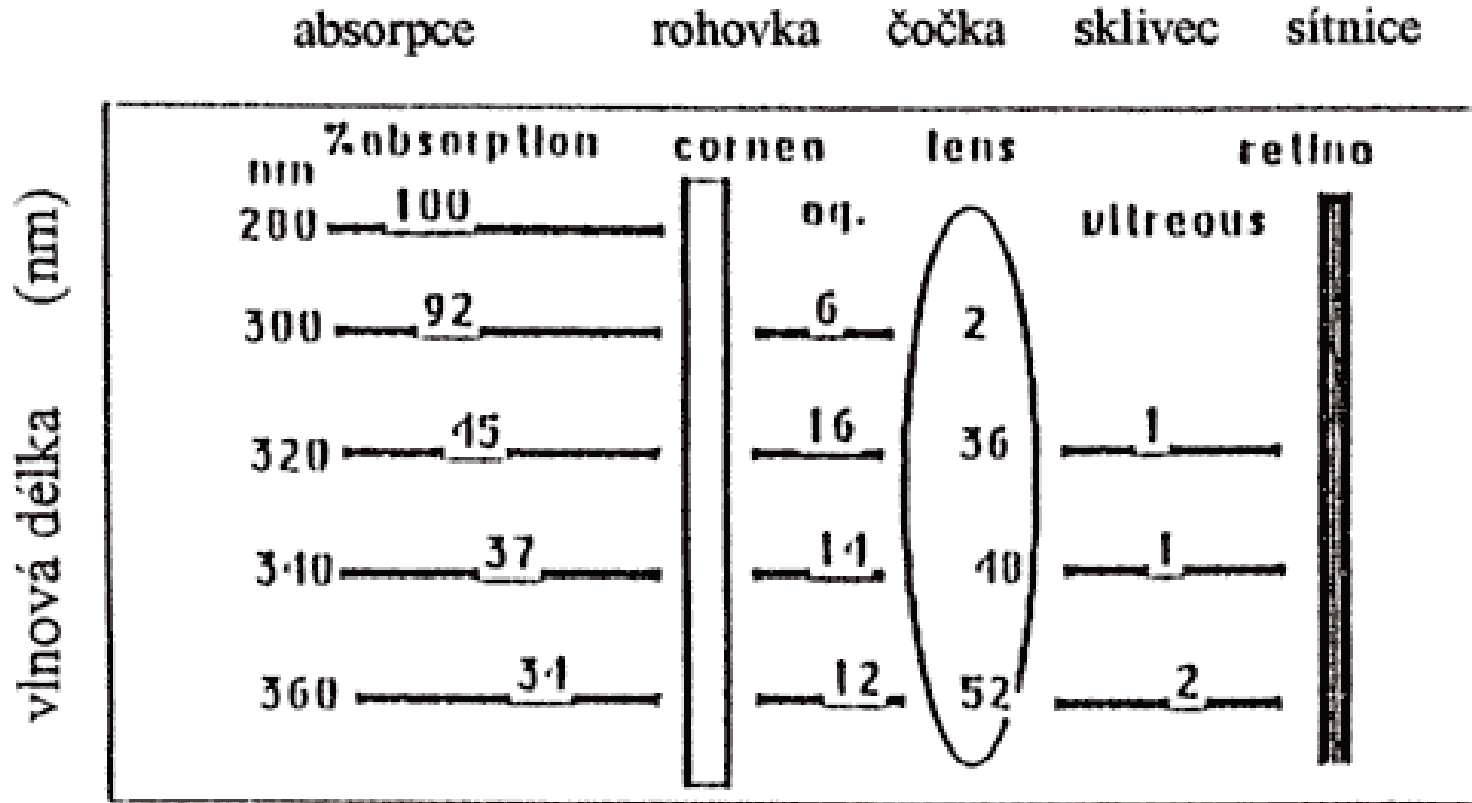
Zajímavé je také odvětví alternativní medicíny – **iridologie**. Zabývá se diagnózou zdravotního stavu jedince podle duhovky oka. Iridologové prohlašují, že každá část duhovky ukazuje stav určité části těla, orgánu či systému.

Ultrafialové záření

V životním prostředí se UV záření vyskytuje přirozeně jako součást slunečního záření (*s podílem 3,9 % UV-A a 0,4 % UV-B záření*), a převážně jsme na ně adaptováni* (*závisí na vnějších podmínkách i na individuálních schopnostech adaptace příjemce*). Můžeme konstatovat, že významnější zdravotní riziko představují umělé technologické zdroje, před kterými je požadována **ochrana** (*možné poškození na úrovni buněk - DNA, předčasné stárnutí*).

Poznámka: V praxi se odhaduje účinek přírodního UV záření ve venkovním prostředí podle změřené tloušťky ozónové vrstvy v zemské atmosféře (porovnává se s normálem).

Místa absorpce UV záření v oku



*Nejcitlivější tkáň je rohovka (max. absorpce je na 270 nm; u čočky 365 nm)!
Z uvedeného potom vyplývají hygienické limity pro rohovku a čočku ...*

Účinky UV záření

- Také u UV záření lze prokázat **nepříznivé tepelné i netepelné účinky** (*převážně probíhající současně*).
- Pro určité spektrální oblasti jsou některé účinky **prioritní**:
- **oblast – UV-R záření** (UV-B + UV-C; $\lambda \leq 315$ [nm]): zde zařazujeme UV záření, jehož účinky se projevují poměrně rychle **tepelnými efekty** a můžeme je i pociťovat (*což lze považovat za výhodu!*).
- Nejdříve dochází k popálení **rohovky** a následně i **pokožky**. Vrchol spektrální citlivosti je u rohovky ~ 270 [nm], u pokožky ~ 297 [nm]; a je **pro všechny lidské rasy stejný!**

Používaným kritériem u pokožky je stanovení minimální dávky ozáření potřebné k dosažení jejího mírného zčervenání (tzv. „MED“).

oblast – UV-A záření; ($\lambda > 315$ [nm]):
Prahové hodnoty intenzity UV-A záření potřebné k tepelným projevům jsou řádově vyšší než u UV-R záření. Avšak toto záření je nebezpečně pohlcováno především v **oční čočce** (*vrchol spektrální citlivosti je u čočky 365 [nm]*). Může dojít k zákalu oční čočky nebo u pokožky k předčasnému stárnutí, popř. až k inicializaci nádorových onemocnění - mluvíme o netepelných **fotochemických účincích**. Účinky se projevují velmi pomalu a mohou se kumulovat (*největším rizikem je, že účinky na počátku vůbec nepocítujeme!*).

Hodnocení zdravotního rizika

Základem jsou měřitelné parametry UV záření:

- **vyzařované spektrum** (zápis spektrometru);
- **hustota zářivého toku** (radiometr [W/m^2]);
- **doba trvání expozice.**

Z naměřených parametrů vypočítáme **dávku ozáření** (*popř. plošnou hustotu energie v [J/m^2]*), která bývá výchozím kritériem **pro hodnocení zdravotního rizika** v dané oblasti a potom ji porovnáváme s NPH pro možnou expozici osob.

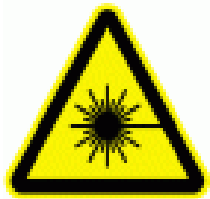
Technologické zdroje UV záření

- vlastní výroba UV zdrojů (výstupní kontrola);
- v polygrafii (sítotisk, kopírování);
- defektoskopie (kovové obrobky, bankovníctví);
- při průmyslovém využití (vytvrzování tištěných spojů), popř. jako vedlejší produkt při svařování;
- ve zdravotnictví (SUP, germicidní zářiče);

a zcela specifické jsou **komerční solária**.

Provoz v soláriích

Hygienik pouze konstatuje **zákazníkovo vědomé podstupování možného rizika poškození zdraví!**



Výstraha pro zákazníka:

Ultrafialové záření může způsobit poškození očí a pokožky. Používejte přiložené ochranné brýle. Léky a kosmetické přípravky mohou zvýšit citlivost. Další informace poskytne obsluhující personál.

Nutná opatření:

- organizační (obsluha - pobyt mimo ozařovaný prostor, pro zákazníka ochranné brýle);
- administrativní (provozní řád, výstražné tabulky);



**Ani dodržení požadavků technických norem neodstraňuje zdravotní rizika UV záření*

Koherentní záření

Zcela specifické jsou zdroje koherentního záření tzv. **lasery** (*"zesílení světla pomocí řízené emise záření"*).

Právě koherentní záření umožňuje přenos obrovského množství energie na velikou vzdálenost. Navíc při průchodu koherentního záření oční čočkou, dochází ke koncentraci na sítnici (tzv. fokusaci), či-li k dalšímu nárůstu hustoty energie (až 10^5 !)

Schéma interakce laserového záření s živou tkání

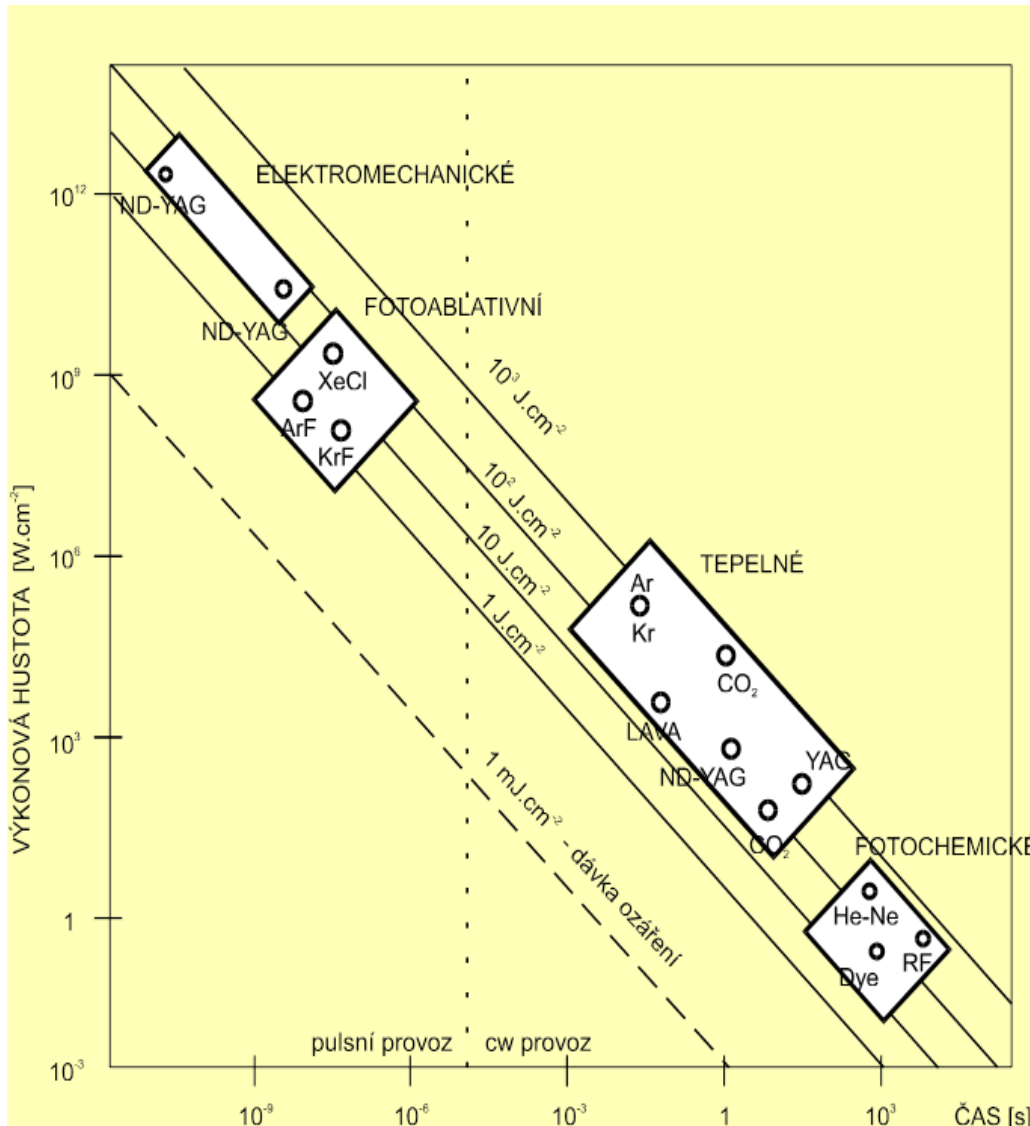


Schéma platí pro koherentní záření a teoreticky saturovaný mikroskopický model. Ukazuje, který mechanismus poškození může nastat (*rozlišujeme čtyři mechanismy transformací*). Rozhodující je **rychlost** předání dávky ozáření!

Např. fotoablativní mechanismus je proces, při kterém dochází k přímému rozpadu molekulárních vazeb pomocí energie fotonů. Účinky jsou využívány např. při operacích oka, odstraňování tetování apod.

NPH pro laserové záření

NPH pro expozici zářením laserů jsou mnohem nižší než u nekoherentních zdrojů a jsou obecně stanoveny:

- a) pro přímý pohled do svazku nebo zrcadlového odrazu;
- b) pro pohled na difúzní rozptylující plochu, odrážející laserové záření;
- c) pro působení na kůži.

Limity přístupné emise jsou stanoveny pro čtyři základní třídy*

(NV č. 291/2015 Sb., příloha č. 3):

1. třída – limity zaručují bezpečnou ochranu pro oko i pokožku;
2. třída – limity jsou stanoveny pouze pro viditelnou oblast kontinuálního vyzařování laseru a počítá se s přirozenou obranou reakcí oka (mrkací reflex 0,25 s, ≤ 1 mW);
3. třída (A) – obdoba II. třídy, avšak při pohledu přes optická zařízení hrozí poškození sítnice;
3. třída (B) – limit pro pokožku, přímý pohled vede k poškození zraku;
4. třída – nebezpečí pro pokožku a difuzní odraz i pro zrak.

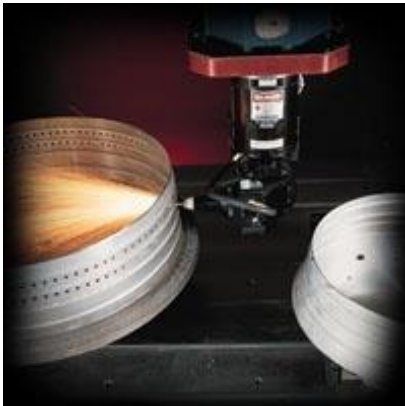
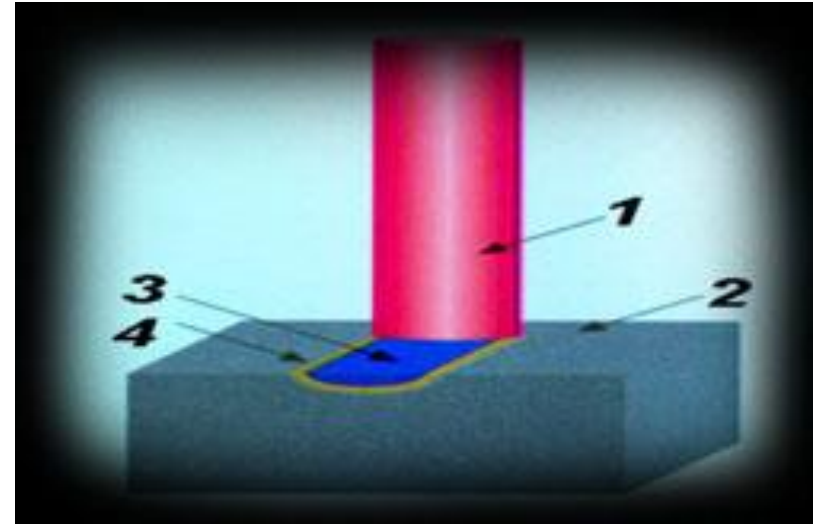
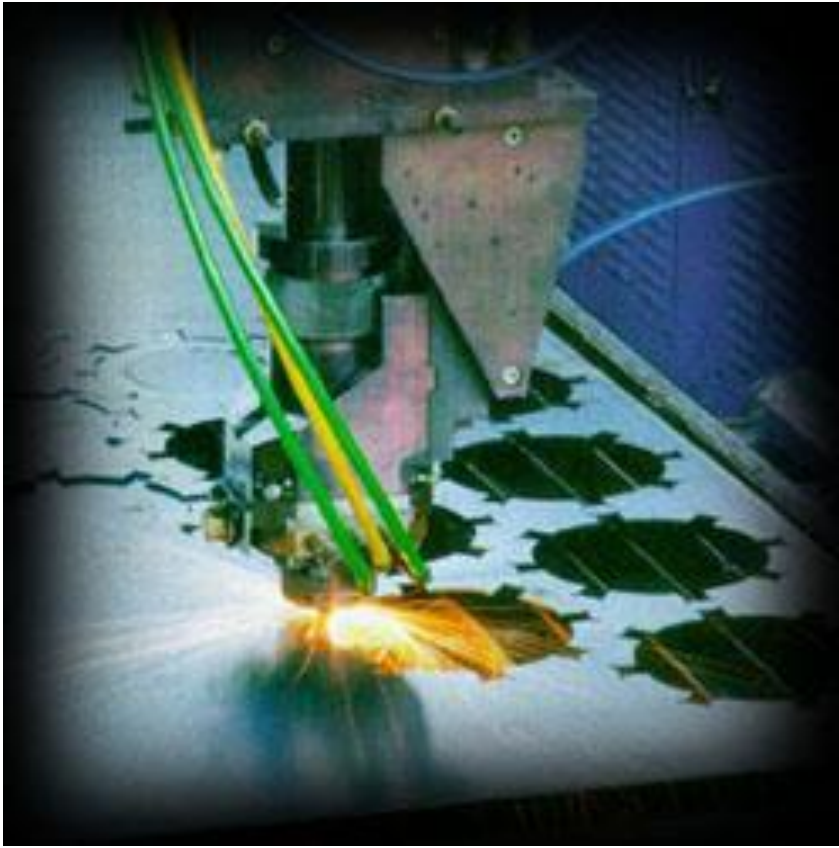
**Třída zařazení laseru musí být viditelně vyznačena na štítku.*

Zařazení laseru do třídy je povinností výrobce (např. dovozce)

Používání laserů – ve zdravotnictví



Používání laserů v průmyslu



Problém s ochranou před difúzním odrazem ...

Další použití laserů



Výkonný laser je zbraň - **neměří se!**

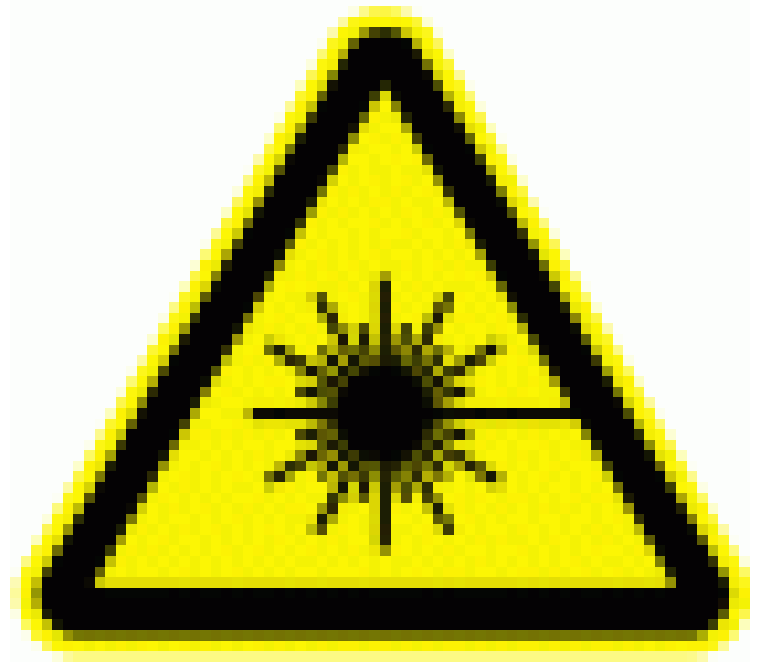


Pěkné na pohled, ale pokud Vás paprsek „trefí“ přímo do oka, tak už žádné příště nebude!

Rekapitulace

Za nejrizikovější optické záření považujeme ultrafialové a koherentní záření !

- ▶ před nadměrným UV zářením je potřeba chránit zrak i pokožku;
- ▶ UV záření nevidíme, neoslňuje!
- ▶ nebezpečnost UV záření, významně klesá se vzdáleností od zdroje; **neplatí pro koherentní záření!**
- ▶ Pozor na opalování v komerčních soláriích – **ŠKODÍ ZDRAVÍ !**



Pozor – nebezpečné optické záření.

Kombinovaná osvětlovací soustava denního osvětlení

Přednáškový sál ve dne



Přednáškový sál večer



Zdroje

- Nařízení vlády č. 291/2015 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením;
- Věstník MZ ČR, částka 8/2017 - Metodický návod k postupu podle nařízení vlády č. 291/2015 Sb., o ochraně zdraví před NIZ;
- ČSN EN 60825-1 (2001) Bezpečnost laserových zařízení – Část 1: Klasifikace zařízení, požadavky a pokyny pro používání;
- Environmental Health Criteria 14 – Ultraviolet radiation, WHO 1979;
- Environmental Health Criteria 137 – ELECTROMAGNETIC FIELDS (300 Hz – 300 GHz), WHO Geneva 1993;
- B. Málek a kol., Hygiena práce, SOBOTÁLES, Praha 2014
- P. Vrbík, Hygiena optického záření a osvětlování, IDVZP Brno, 1998.