

# SVĚTLO a ZÁŘENÍ

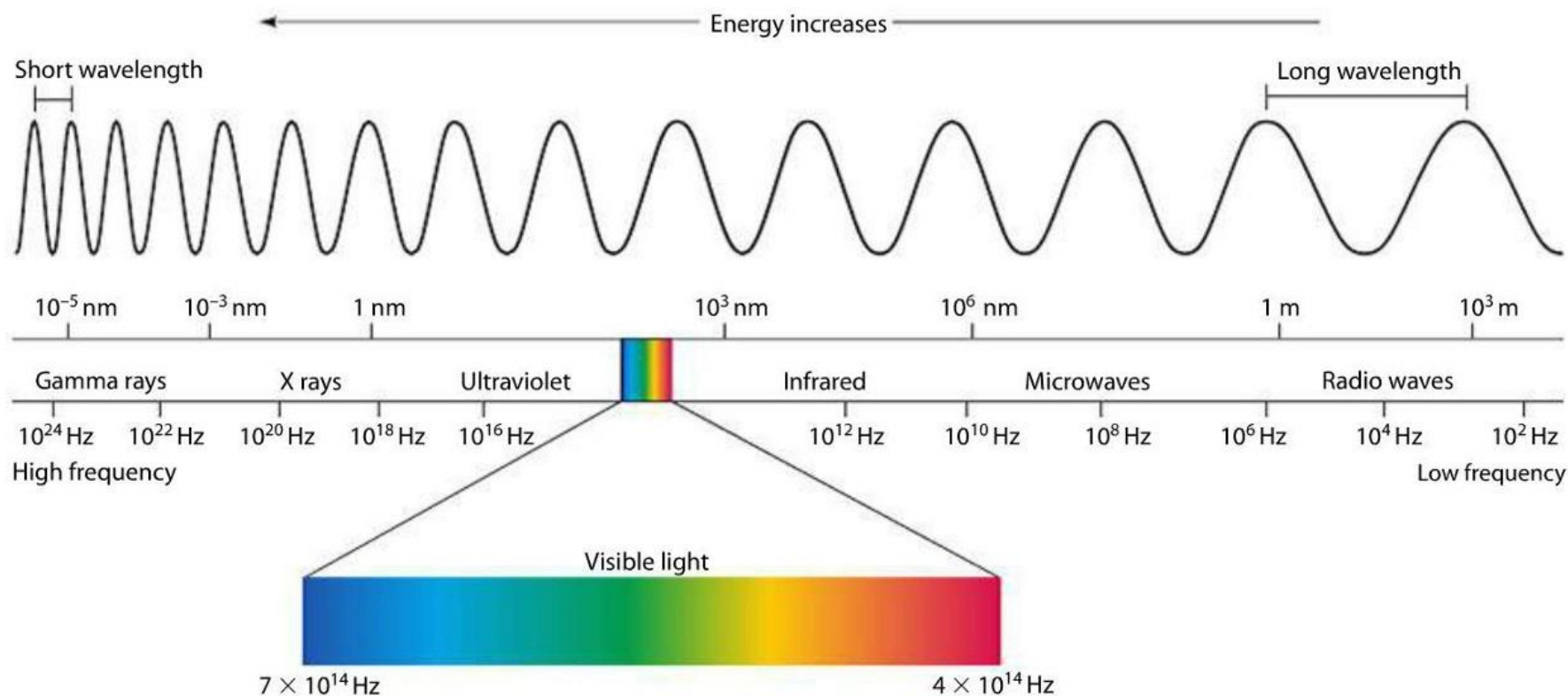
Účinky UV, VIS a IR záření na sbírkové materiály.

Metody měření záření.

Možnosti úpravy, regulace a eliminace účinků záření

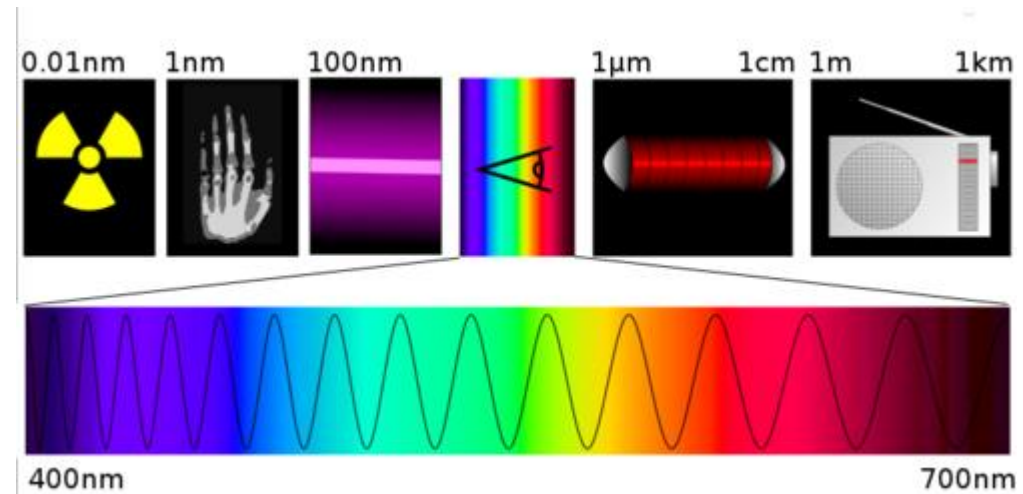
# Záření

- Elektromagnetické záření = elektromagnetické vlnění či proud částic (fotonů)
- Energie záření je dána
  - Vlnovou délkou  $\lambda$
  - Frekvencí (kmitočtem)
- Čím nižší vlnová délka (nm), tím vyšší energie (eV)



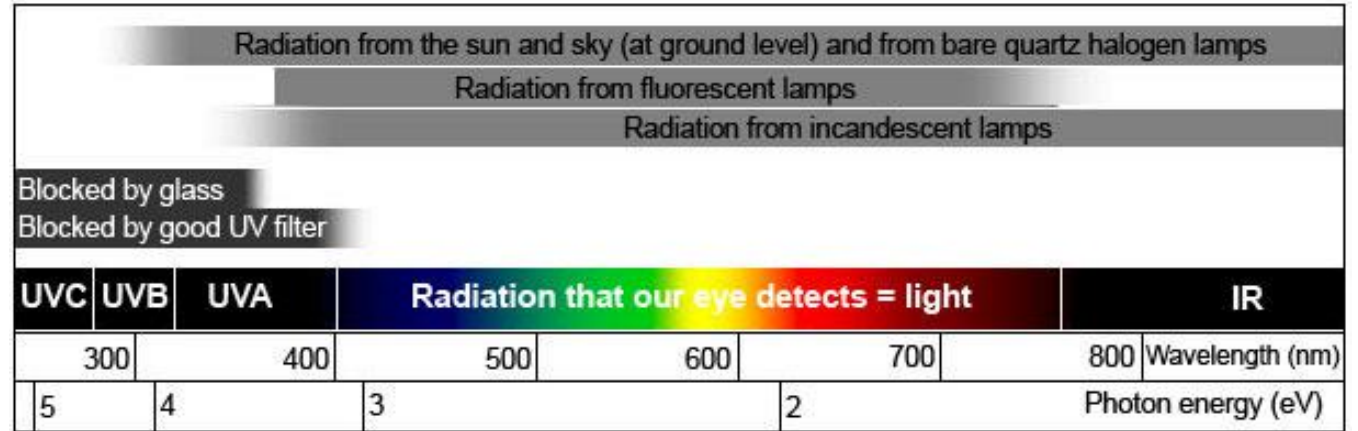
# Druhy elektromagnetického záření významné pro PK

- Ultrafialové záření UV
- Viditelné světlo VIS
- Infračervené záření IR
- Každý druh má jinou energii a způsobuje jiné poškození



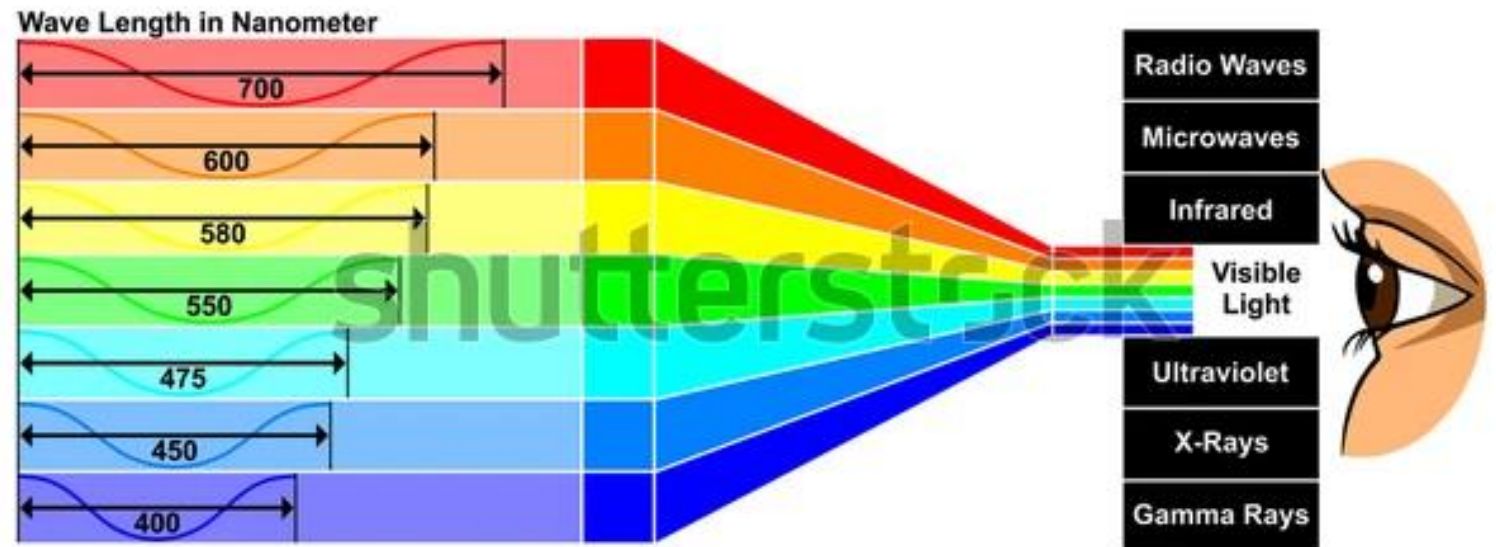
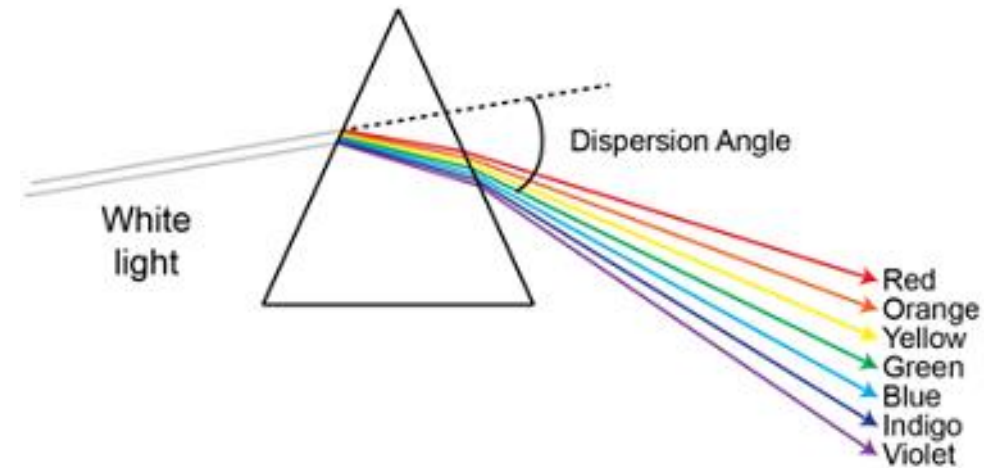
# Ultrafialové záření UV

- UV-A 315-400 nm
- UV-B 280-315 nm
- UV-C pod 280 nm
- Rizika
  - Rakovino­tvorné
  - Žloutnutí - +3 eV
- Využití v K-R
  - Desinfekce, desinsekce
  - Prosvětlování
  - Analýza materiálů UV-VIS



# Viditelné světlo VIS

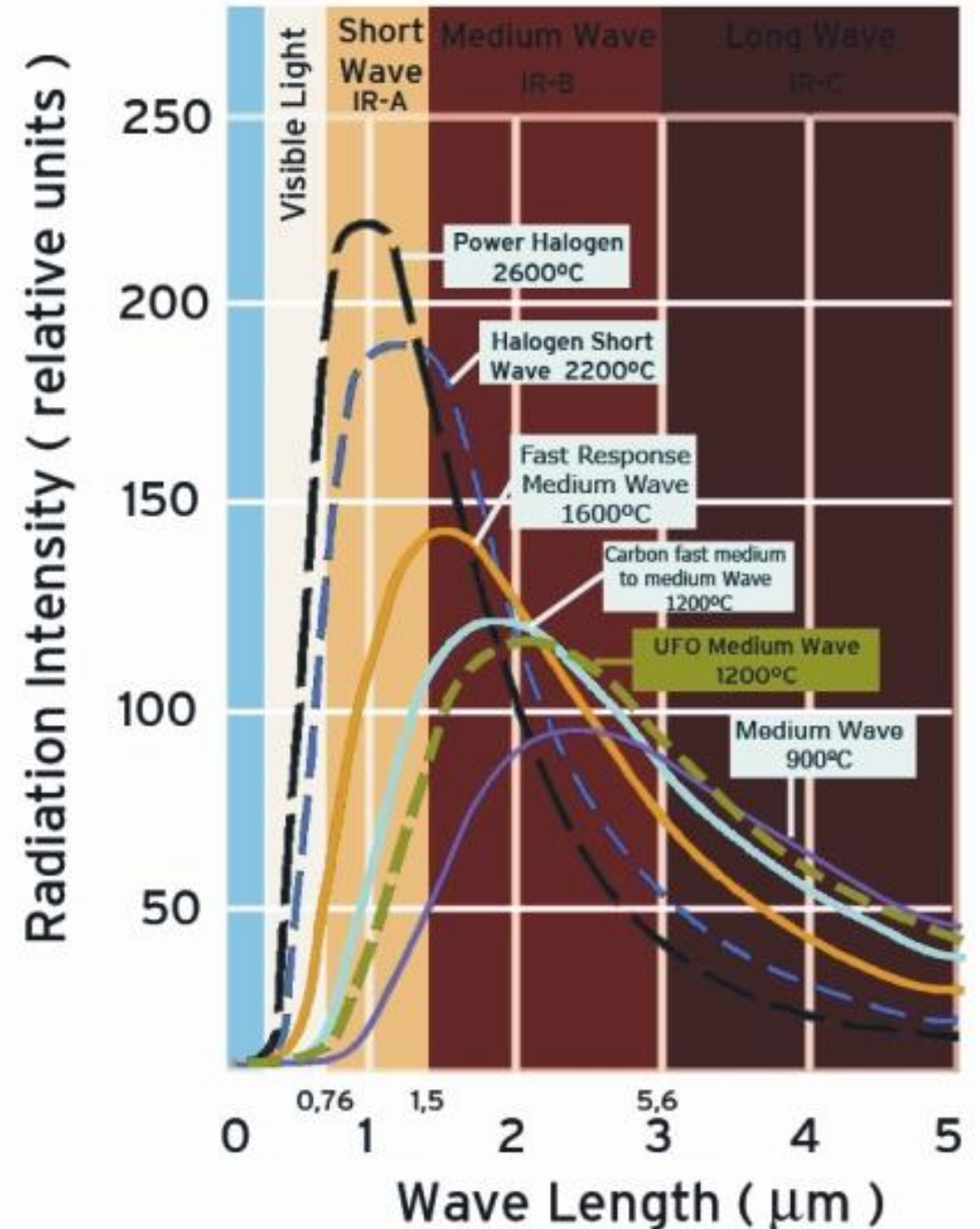
- 380-780 nm
- Blednutí – 2-3 eV



www.shutterstock.com · 514067863

# Infračervené záření IR

- NIR Blízké 0,76-5  $\mu\text{m}$
- MIR Střední 5-30  $\mu\text{m}$
- FIR Vzdálené 30-1000  $\mu\text{m}$
  
- Rizika
  - Emise tepla
  
- Využití v K-R
  - Analýza materiálů – FTIR spektroskopie



# Základní veličiny

## Zářivý tok $\Phi$ , watt (W)

- **energie** všech vlnových délek **procházející** určitou plochou za jednotku času

## Intenzita záření $I$ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ )

- množství energie (hustota zářivého toku) **dopadající** na jednotku plochy

$$I = \frac{\Phi}{S}$$

## **Světelný tok $\Phi$ , lumen (lm)**

- množství světelné energie **přenesené** nebo vyzářené za jednotku času;
- charakterizuje světelný výkon záření či jeho zdroje

## **Intenzita osvětlení (osvětlenost, osvětlivost) $E$ , lux (lx)**

- množství světelné energie (hustota světelného toku) **dopadající** na jednotku plochy ( $\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$ )

Osvětlení je nepřímo úměrné čtverci vzdáleností a je tím slabší, čím šikměji paprsky dopadají – **Zákon převrácených čtverců**

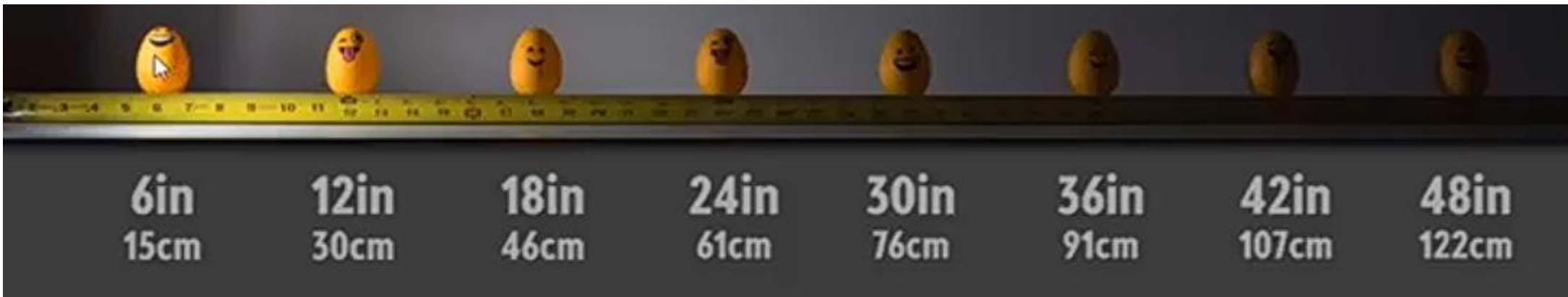
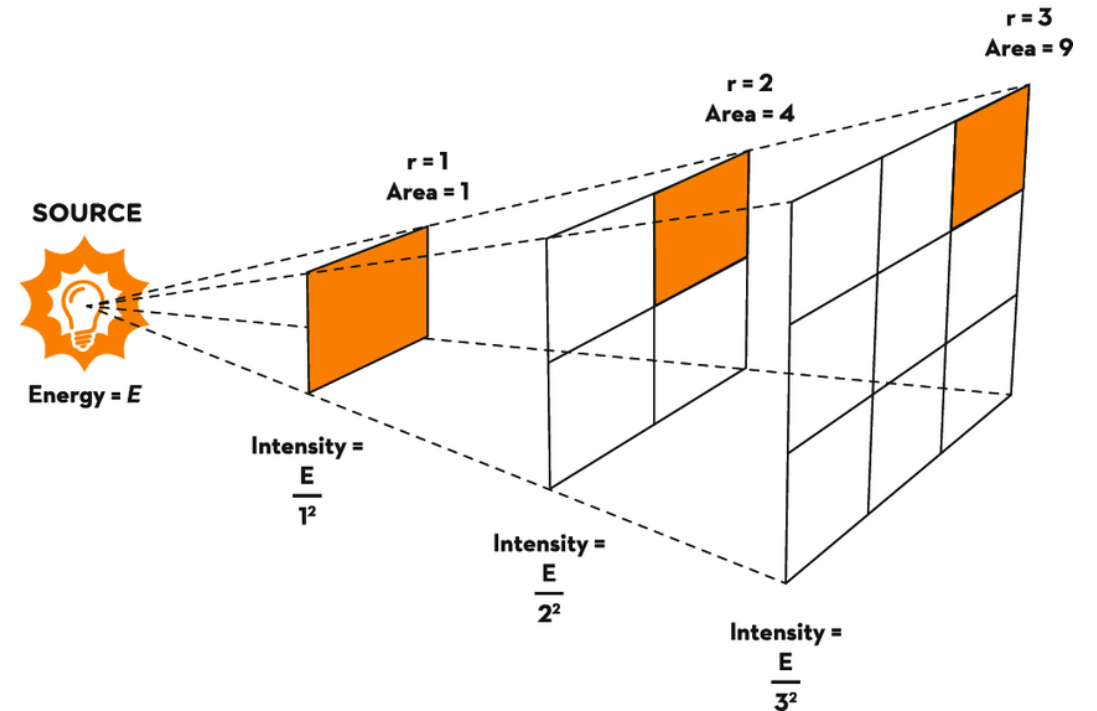


# Zákon převrácených čtverců

- Intenzita světla dopadajícího na plochu (např. plátno) klesá s druhou mocninou vzdálenosti zdroje světla od plátna

[https://energyeducation.ca/encyclopedia/Inverse\\_square\\_law](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Inverse_square_law)  
<https://www.youtube.com/watch?v=yRahrceUglg>

# Inverse Square Law



## **Světelná expozice = osvit**

- množství světelné energie dopadající za jednotku času (součin intenzity osvětlení a času);
- měří se v lx·h (klx·h, Mlx·h)
  - Reciproční princip: světelná expozice 300 lx po dobu 1h = světelná expozice 50 lx po dobu 6h

## **Roční světelná expozice**

- maximální přípustná doba osvětlení - lx·h/rok, Mlx·h/rok

## **Energie UV záření (mikrowatt na lumen $\mu\text{W}\cdot\text{lm}^{-1}$ )**

- podíl UV záření v rámci VIS

# Světelná expozice - výpočet

Jaká je světelná expozice v lxh u grafiky, vystavené po dobu **30 týdnů**?

Muzeum je otevřené **8h denně**, **6 dní v týdnu** a dopadá na ni světlo **100 lx**

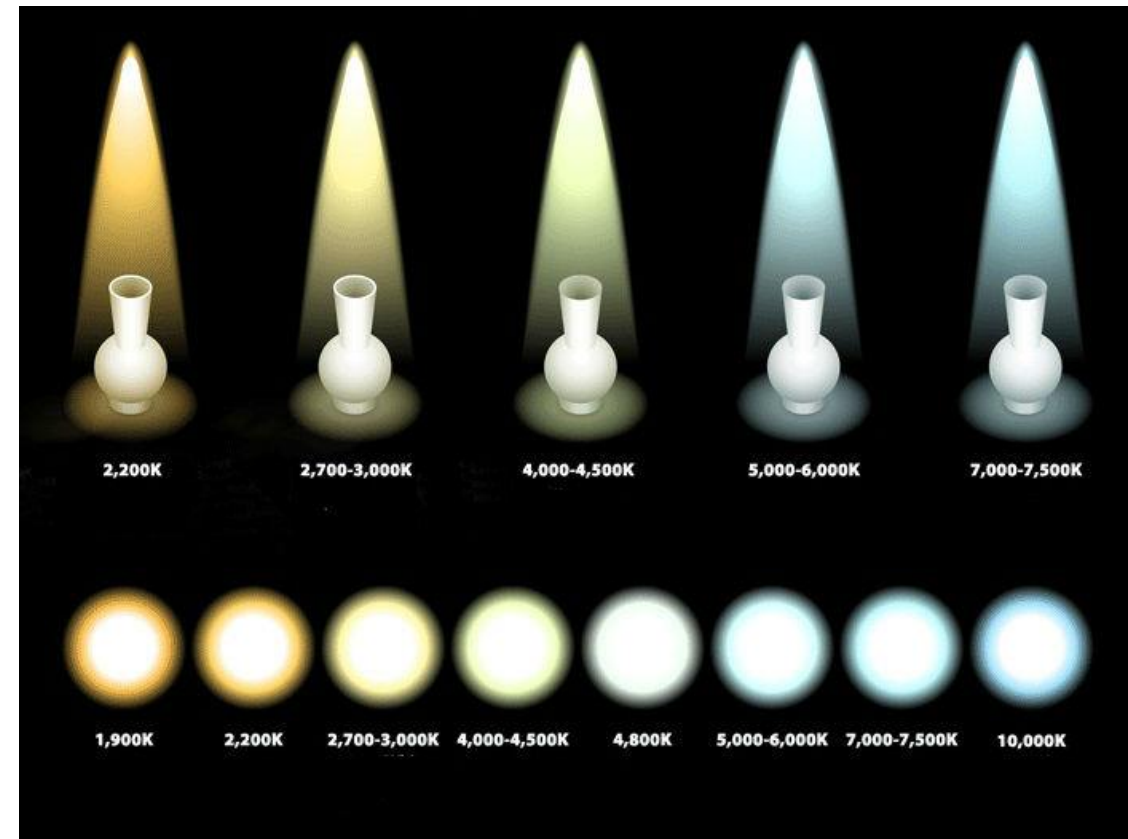
**30** (počet týdnů) × **8** (počet hodin denně) × **6** (počet dní v týdnu) = 1 440h

1 440 (celkový počet hodin) × **100** (osvětlení) = 144 000 lxh = 144 klxh = 0,144 Mlxh

# Další pojmy

**Teplota chromatičnosti** – barevná teplota  $T_c$  (K) – charakterizuje VIS, udává přechod z teplé do studené oblasti

- přímo úměrná tzv. **relativnímu činiteli poškození** – empiricky daný činitel uvádějící míru poškození novinového papíru daným zdrojem světla v porovnání se zářením normalizované žárovky
- upřednostňováno teplé světlo s  $T_c$  do 2 800 K
- Čím vyšší  $T_c$ , tím vyšší energie záření a tím negativnější vliv na exponáty



## Index podání barev $R_a$ (CRI)

- hodnocení věrnosti barevného vjemu, který vznikne z daného zdroje porovnáním s denním světlem
- CRI 0 – nemožné rozeznat barvy
- CRI 100 – přirozené podání barev
- Pro exponáty alespoň CRI 85
- Označení zdrojů světla:
  - 18W/840
  - příkon 18 W,
  - $R_a$  80-89,
  - $T_c$  4 000K



CRI 78



CRI 85



CRI 90



CRI 95

# Zdroje světla

- **Přirozené** – denní – přímé, odražené, rozptýlené, zdrojem je Slunce
- **Umělé** – vlastnosti se liší v závislosti na zdroji
  - Žárovky
  - Halogenové žárovky
  - Zářivky
  - Kompaktní zářivky
  - Halogenidové výbojky
  - Sodíko-xenonové a vysokotlakové výbojky
  - LED (light emitting diode)
  - Optické kabely

# Přirozené denní (sluneční) světlo

- Poskytuje příjemné podání barev,  $R_a$  100
- Vykazuje vysoký podíl UV záření 300-600  $\mu\text{W}/\text{lm}$
- Intenzita osvětlení a  $T_c$  velmi kolísá - těžko kontrolovatelné v čase = 3 000-12 000 K
- Není vhodné při vystavování předmětů kulturní povahy

# Žárovky

- Vynikající barevné podání barev –  $R_a$  100
- Nízký podíl UV – 75  $\mu\text{W}/\text{lm}$
- Nízká cena
- $T_c$  – 2 700- 2 800 K
- Vysoký podíl IR – velká výhřevnost – nevhodné do vitrín
- Nízká životnost – 1 000h
- Světlo vyzařováno z rozžhaveného W vlákna



# Halogenové žárovky

- Žárovka s příměsí halogenu
- Vynikající podání barev –  $R_a$  100
- $T_c$  3 000 K
- Vysoký podíl UV – 100-200  $\mu\text{W}/\text{lm}$
- Až o 30 % úspornější než klasické
- Živostnost – 2 000 h
- 5x cena



# Zářivky

- Horší podání barev –  $R_a$  50-60, u kvalitnějších  $> 80$
- $T_c$  – 3 000-6 500 K
- Podíl UV – 75-100  $\mu\text{W}/\text{lm}$
- Živostnost – 10 000 – 15 000 h
- Poměrně velké rozměry vyzařovací plochy
- Záření generováno nízkotlakým výbojem v parách Hg. S využitím luminoforu je záření převedeno na světlo





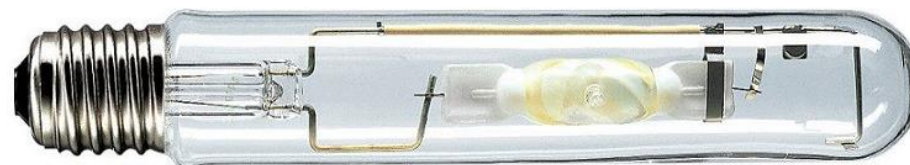
## Kompaktní zářivky

- Dobré podání barev –  $R_a$  85
- $T_c$  – 2 700 – 5 000 K
- Podíl UV – 100 – 150  $\mu\text{W}/\text{lm}$
- Živostnost – 10 000 h
- Malá výhřevnost
- Vyšší cena – cca 10x dražší než žárovka
- Tzv. úsporná zářivka
- Záření generováno nízkotlakým výbojem v parách Hg. S využitím luminoforu je záření převedeno na světlo



## Halogenidové výbojky

- Různé podání barev –  $R_a$  65 – 90
- $T_c$  – 3 000 – 4 000 K
- Vysoký podíl UV – nutnost filtrace
- Živostnost – 5 000 – 10 000 h
- Výborné bodové světlo
- Vysoký měrný světelný výkon
- Nevhodné k častému spínání
- Světlo generováno zářením par Hg a příměsí halových prvků a vzácných zemin



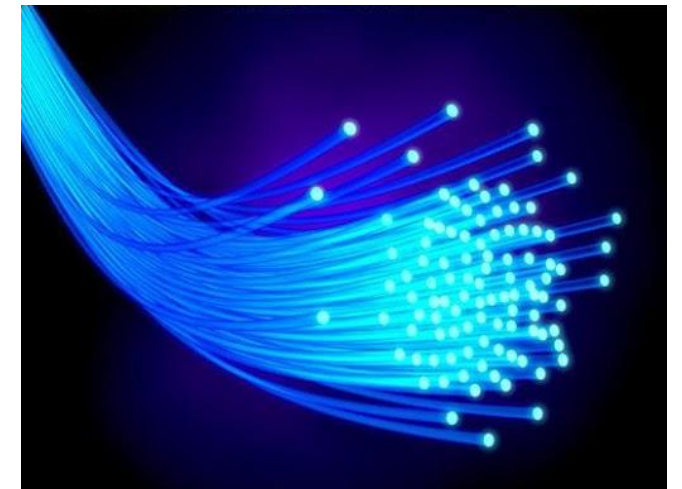
## LED osvětlení (light emitting diode)

- Vynikající podání barev –  $R_a$  70-90
- $T_c$  – 3 000 – 4 000 K
- Nízký podíl UV – 0 – 75  $\mu\text{W}/\text{lm}$
- Životnost – 10 000 – 80 000 h
- Malá výhřevnost – vhodné do vitrín
- Výborný bodový zdroj
- Vysoká cena
- Polovodičový světelný zdroj



## Optická vlákna

- Nulový podíl UV
- Vhodné do vitrín
- Vysoká cena
- Světlo vedeno ze světelného generátoru (halogenová žárovka nebo vysokotlaková výbojka, stmívač, filtr) optickým vláknem



## Fotografické blesky

- Podíl UV – 0,01 – 0,72 mW·lm – 10x překročený akceptovatelný podíl UV
- Intenzita osvětlení – 50x vyšší než sluneční světlo v letním období, trvá pouze 0,001 s
- Světelná expozice – cca 600 lx nebo 0,17 lxh
- Lze odfiltrovat UV podíl

## Skenery a kopírky

- Nízké riziko poškození při jednorázovém skenování
- Halogenové žárovky či xenonové výbojky emitují relativně nízké dávky záření
- Načítá se každá dávka

## Vybrané zdroje světla a jejich parametry

Zdroj	Intenzita osvětlení lx	Intenzita ozáření (450-950 nm) Wm <sup>-2</sup>	Intenzita UV záření (315-400 nm) Wm <sup>-2</sup>
xenonová výbojka 1500 W	5000	50	0,76
žárovka 60W	300	8	0,15
halogenová nízkovoltová	300	9	0,12
	100	3	
	50	1	
zářivka 36W Mazdafluor blanc industrie TF 40	300	0,98	0,03
zářivka 18W Mazdafluor prestilux comfort 827	7400	25	0,05

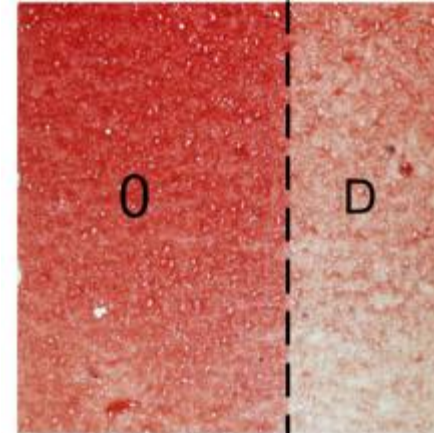
# Poškození světlem

- **Kumulativní a nevratné!!**
- Míra účinku je nepřímo úměrná vlnové délce
- **Fotomechanické poškození – poškození UV zářením**
  - strukturní změny,
  - žloutnutí, zeslabení až rozpad materiálů
  - energie fotonů  $>3$  eV
- **Fotochemické poškození – poškození VIS**
  - blednutí barev,
  - energie fotonů  $2-3$  eV = VIS

- **Termodynamické poškození**
  - dilatace materiálů,
  - účinkem IR – lokální zvýšení teploty, urychlení fotochemických reakcí
- Rozsah poškození závisí na
  - Intenzitě osvětlení
  - Vlnové délce dopadajícího světla
  - Celkové expozici
  - Materiálu
  - Aktuálním stupni poškození

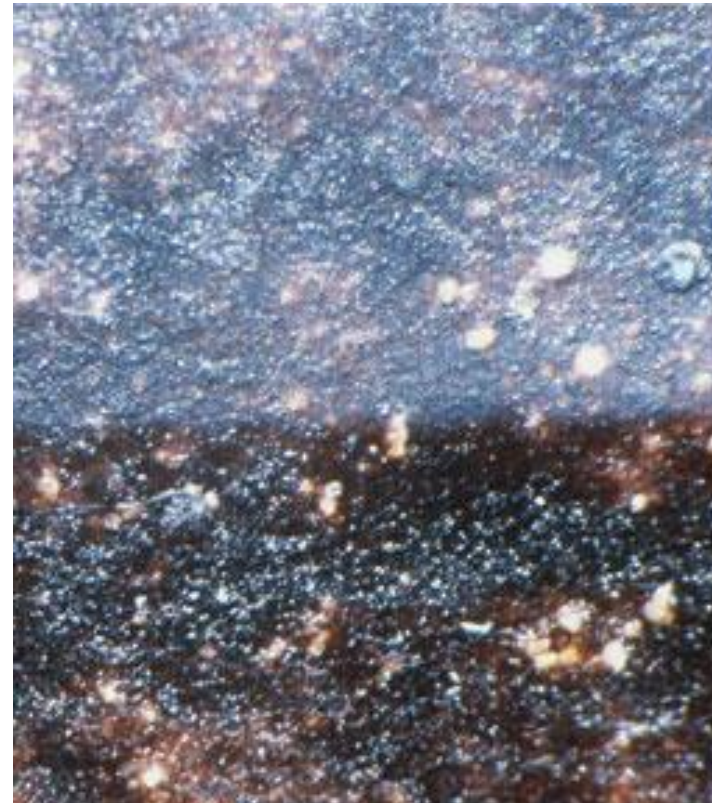
## Poškození VIS

- 0 - unexposed;
- A - 0.17 Mlx h; = 1 day of sunlight or 1 year at 50 lux
- B – 1.7 Mlx h;
- C – 6.2 Mlx h;
- D – 17 Mlx h;
- E – 67 Mlx h; = 8 months sunlight or 400 years at 50 lux.



# Poškození UV zářením

- E – 67 Mlx h; = 8 months sunlight or 400 years at 50 lux.
- Bez UV filtru
- S UV filtrem





# Citlivost materiálů

Kategorie citlivosti/ horní limit osvětlenosti [lx]	Převládající materiál/druh předmětu
<b>Velmi citlivé</b> 50 lx	Textil – šaty, divadelní kostýmy, tapisérie, gobelíny, etnografické materiály, přírodní vlákna (hedvábí), potahy, čalounění, některé koberce Papír – výtvarná díla a dokumenty na papíru špatné kvality nebo díla již vybledlá, akvarely, některé nestálé barvy, příp. organická barviva, inkousty, nekvalitní novinový papír, razítka, některé tisky, rukopisy, kolorované a barevné fotografie a fotografie pořízené nejstaršími fotografickými procesy, diapozitivy, tapety
<b>Středně citlivé</b> 50 lx	Textil – barvený kvalitními barvivy, indigo, mořena na vlně, hadrový papír Dřevo – malované a barvené dřevo Přírodniny – peří, kožešiny, barvená kůže, botanické objekty
<b>Málo citlivé</b> 200 lx	Obrazy – olejomalby, tempery provedené kvalitními pigmenty, některé fresky, laky, kvaše Některé přírodniny – kosti, slonovina, rohovina, lastury, nebarvené dřevo Moderní barevná fotografie Některé plasty
<b>Odolné</b> Doporučená max. osvětlenost – dle situace, neomezováno <sup>a</sup>	Kámen, sklo, většina kovů, minerály, smalt, neglazovaná a nemalovaná keramika, porcelán, minerální pigmenty

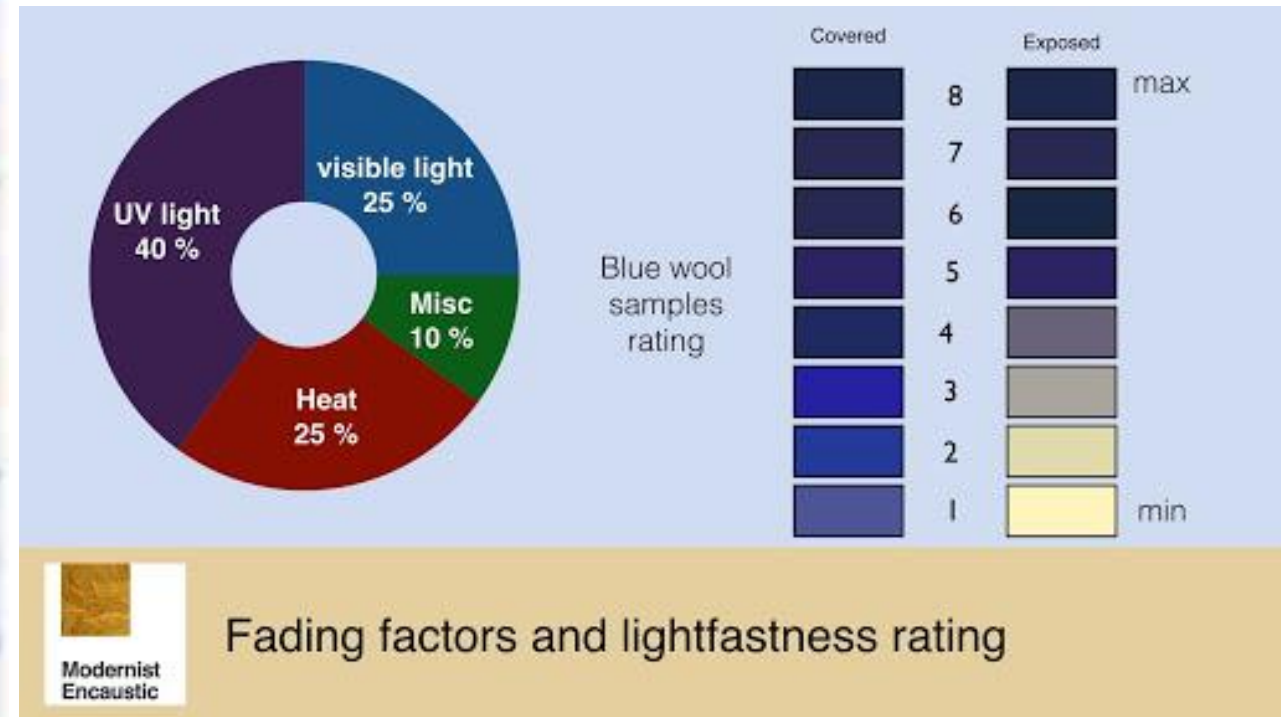
## Poznámka k tabulce č. 9:

a – Dlouhodobé intenzivní osvětlení je omezováno v případech, drahých kamenů, smaltů, nestabilního skla apod.

- Kompozitní materiály – dle nejcitlivější složky
- Při požadavku na zvýšení intenzity osvětlení lze hodnotu lx násobit 3 a zkrátit tak dobu vystavení

- Blue Wool Standards ISO R 105

- škála vlněných vláken, barvených různými modrými barvivy o rozdílné citlivosti – liší se doba expozice světlem, po které začínají vlákna blednout
- Rozdělení na 3 skupiny: citlivé (1-3), středně citlivé (4-6), odolné (7,8)



- ISO stupeň 1-4
  - organická barviva, pastely, kresby sépiovou hnědí, kolorované a japonské tisky, kolorované a barevné fotografie, všechna díla na papíře nebo již vybledlá
- ISO stupeň 5-8
  - odolnější barviva (anorganické pigmenty), kresby grafitem či uhlím na kvalitním bílém papíře, černobílé tisky, rytiny, černobílé fotografie a plastových podkladech

- Kritériem je tzv. „právě registrovatelné vyblednutí“ JNF (just noticeable fade)

Hodnota celkové expozice (v Mlxh), která způsobí JNF

stupně ISO	1	2	3	4	5	6	7	8
hodnota celkové expozice(Mlxh), způsobující JNF	0,4	1,2	3,6	10	32	100	300	900
kategorie	kategorie A (citlivé)			kategorie B (středně citlivé)			kategorie C (odolné)	

Doporučené maximální roční expozice světlem pro jednotlivé kategorie materiálů

Materiál dle citlivosti	Světelná expozice, způsobující JNF (Mlxh)	Doporučený limit maximální roční expozice (týdnů v roce)	JNF (roky)	Intenzita osvětlení (lx)
kategorie A (citlivé) ISO stupně 1,2,3	1,2	4	115	50
kategorie B (středně citlivé) ISO stupně 4,5,6	10	12	320	50
kategorie C (odolné) ISO stupně 7,8 a více	300	24	4 785	50

# Doporučené roční světelné expozice pro jednotlivé kategorie materiálů dle citlivosti

Charakteristika materiálu	ISO Blue Wool Standard (BWS) <sup>a</sup>	Roční přípustný limit maximální světelné expozice	Doba světelné expozice za rok	Osvětlenost
Vysoce citlivý	1, 2, 3	15 000 lxh/rok	300 h/rok <sup>c</sup>	50 lx
Středně citlivý	4, 5, 6	150 000 lxh/rok	3 000 h/rok <sup>b</sup>	50 lx
Málo citlivý	7,8	600 000 lxh/rok	3 000 h/rok <sup>b</sup>	200 lx
Stabilní		bez omezení	bez omezení	bez omezení

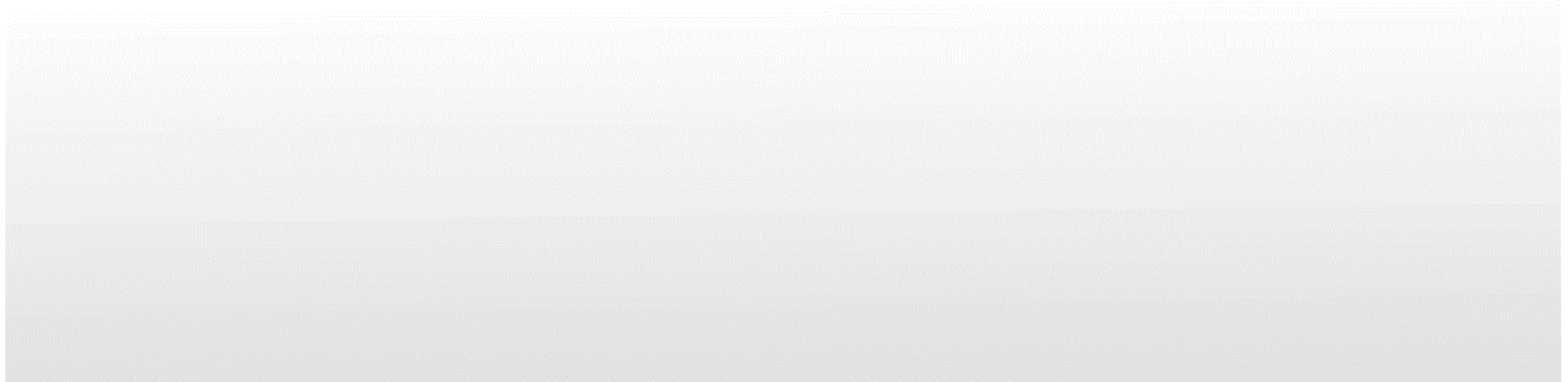
## Poznámka k tabulce č. 10:

a – Pro přesnější specifikaci citlivosti materiálů vůči negativnímu působení světla jsou využívány různé stupnice a normy. Nejznámější a nejpoužívanější je norma ISO R 105 (tzv. Blue Wool Standards). Ta využívá ke kategorizaci negativního působení světla vlněná vlákna obarvená modrými barvivy s různou citlivostí vůči světelné expozici. U celkem osmi různých barviv se liší nutná doba expozice, která způsobí tzv. *právě zaznamatelné vyblednutí* (just noticeable fading, JNF), které je srovnáváno se standardizovanou barevnou škálou.

b – Typický počet hodin roční doby otevření expozic.

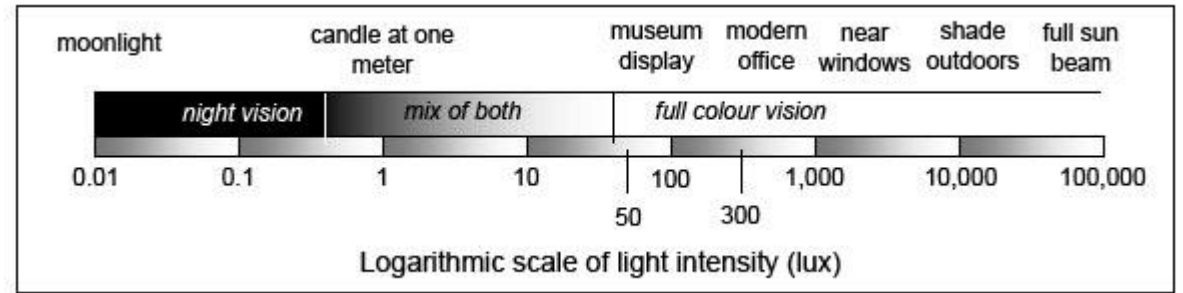
c – Celkový počet hodin za rok při 50 lx.

# Co sledovat aneb měření parametrů světla



- **Intenzita osvětlení VIS**

- luxmetry
- Celková expozice Mlx h
- **Roční celková expozice Mlx h/rok**
  - kumulativní dávka dopadajícího světla



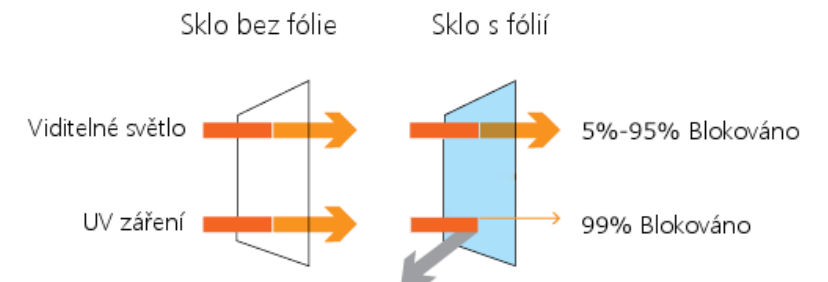
- **Podíl UV záření**
  - UV metry
  - měří množství energie svazku UV v každém lumenu světla ( $\text{W}\cdot\text{m}^2$ )
- **IR záření**
  - teploměr
  - zahřívání povrchu
- **Světelný průkaz památky**
  - Záznam o vývoji světelné expozice pro jednotlivé světlocitlivé předměty
  - Data umožní nastavit strategii ochrany předmětu proti světlu v rámci výstavních plánů a zápůjček



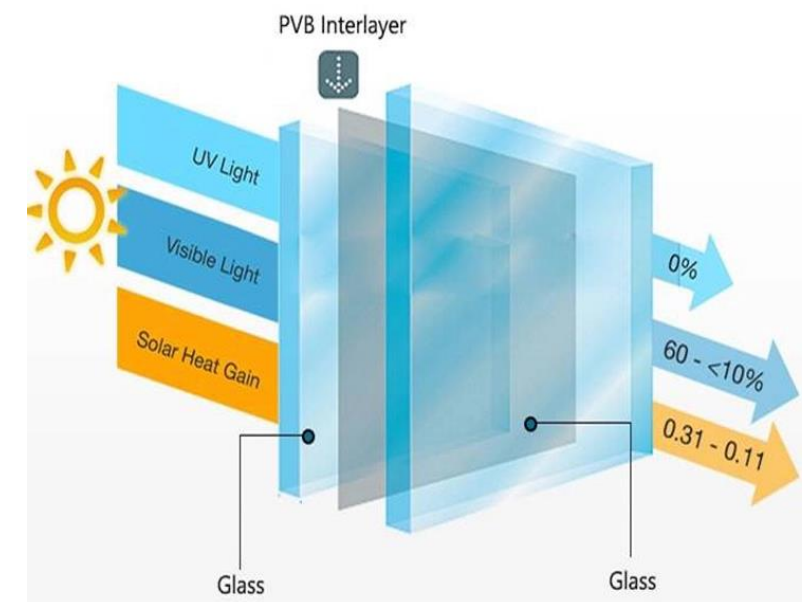


# Ochranna vůči negativním účinkům světla

- Zamezení/omezení vstupu světla do objektu
  - Exteriérové stavební prvky – okenice, venkovní žaluzie, markýzy
- Ochranné prvky v interiéru
  - Závěsy, rolety, vnitřní okenice, okenní sklo, výmalba Ti nebo Zn bělobou (částečná absorpce UV), zastínění přímého světla ze zdroje
- Doplnková opatření
  - UV fólie, UV lak na interiérové straně okna – účinnost s časem klesá a je potřeba je obnovit, průběžně kontrolovat světelné parametry
  - PET fólie – bezpečnostní, reflexní, UV absorbce



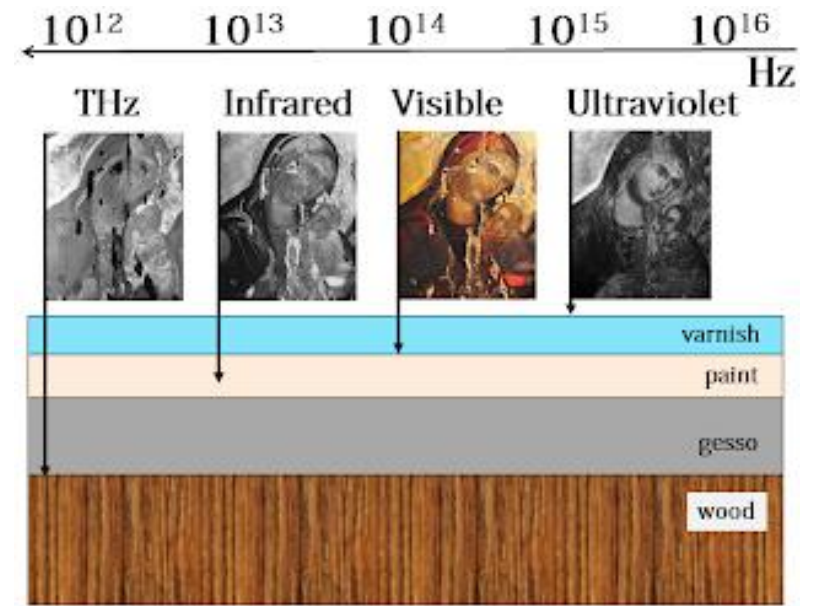
- Další ochranná opatření
  - Speciální zasklení s vrstvou kovu a deklarovanou mírou odrazivosti,
  - Vrstvené sklo – spojení silikátového skla (samo pohltí jen UVB a UVC) a fólie PVB – pohltí až 99 % UV
  - PMMA desky (Perspex), PC – při vystavování cených světlocitlivých předmětů, ochrana před poškrábáním
- Výběr vhodných zdrojů světla a případné filtry UV záření



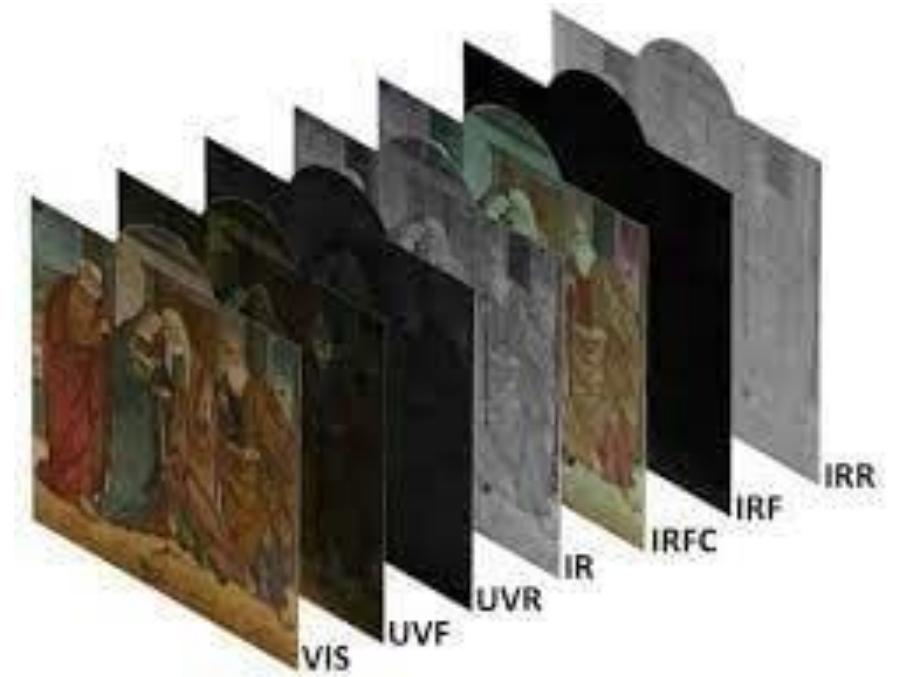
- Stanovit pravidla pro hodnoty osvětlení a UV záření
  - Rozdělení sbírek do kategorií dle jejich světlocitlivosti
  - Určení maximální přípustné doby expozice
  - Zavedení kritéria pro „rychlost vyblednutí“ JNF
- Nevystavovat předměty v exteriéru
- Vypínat osvětlení v nepřítomnosti návštěvníků/stmívače
- Předměty mimo dosah přímého venkovního osvětlení
- Oddělit vstupní prostory od expozic



<https://www.restauratorisenzafrotiere.com/aperte-le-iscrizioni-al-corso-di-documentazione-e-di-imaging-multispettrale-per-gli-operatori-dei-beni-culturali/>



<http://www.researcheritage.com/2018/09/terahertz-applicata-ai-beni-culturali.html>



# Stručné shrnutí

- **Čím méně, tím lépe**
- Pod 50 lx – textil, papír, fotografie, peří, ....
- Do 150 lx – polychromie, nábytek, akrylové barvy, ....
- Do 300 lx – kámen, kov, ....
- Vícemateriálové předměty vždy podle nejcitlivějšího
- UV pod  $75 \mu\text{W lm}^{-1}$
- Definovat expoziční čas

- Sledovat průběžné hodnoty
  - Při vysokých hodnotách okamžitě řešit – proč, jak
- Okamžitě najít řešení při zaznamenání blednutí
  - Proč? Jak vyřešit?

**• Ztráta barvy je trvalá!!**

- Vyvarovat se extrémnímu osvětlení – snížení osvětlení = prodloužení životnosti barev

Vyzkoušej se: <https://quizizz.com/join?gc=86024785>

[joinmyquiz.com](https://joinmyquiz.com) 8602 4785

<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/measurement-ultraviolet-radiation.html>

<https://www.preservationequipment.com/Catalogue/Instruments/UV-Light-Monitors/UV-Light-meter>

<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39416.pdf>

Identification and Preservation of Cultural Heritage

[https://www.chemistryviews.org/details/ezone/9610631/Identification\\_and\\_Preservation\\_of\\_Cultural\\_Heritage.html](https://www.chemistryviews.org/details/ezone/9610631/Identification_and_Preservation_of_Cultural_Heritage.html)