

# Základy světelné techniky (1)

prof. Ing. Jiří Habel, DrSc.,  
Elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze

Všeobecná snaha o vytváření skutečně zdravého životního prostředí i při efektivním využívání energie s sebou přináší stále větší požadavky na co nejúčelnější využívání nejen slunečního záření a denního světla, ale i umělého osvětlení. K rostoucímu významu umělého osvětlení podstatnou měrou přispívá technický pokrok. Moderní technologie a nové

materiály umožňují výrobu kvalitnějších a efektivnějších světelných zdrojů, předřadných a regulačních systémů i optických systémů svítidel. To vše dovoluje vytvářet osvětlovací soustavy, které splňují i vysoké kvantitativní a kvalitativní požadavky kladené na osvětlení různých prostorů, a to jak co do výše a rozložení hladin osvětlenosti a jasu, směrovosti

a stínivosti osvětlení, jeho stálosti, zábrany oslnění, volby vhodného spektrálního složení světla, tak co do možností regulovat osvětlení podle okamžitých situací a potřeb až po možnosti vytvářet soustavy dynamického osvětlení. Správné využívání zmíněných moderních prostředků ovšem od všech zainteresovaných pracovníků vyžaduje průběžně si obnovovat a prohlubovat znalosti ze světelné techniky a osvětlování. A právě k tomu by mělo přispět publikování několika kapitol ze základů světelné techniky.

Tab. 1. Přehled veličin a jednotek z oblasti záření

Veličina značka (jednotka)	Definice	Poznámka
zářivý tok $\Phi_e$ (W)	energie přenesená zářením za jednotku času $\Phi_e = \frac{dW}{dt} = \frac{dQ_e}{dt} \quad (\text{W}; \text{J}, \text{s})$	$\Phi_e$ je výkon přenášený zářením
bodový zdroj	zdroj, jehož největší rozměr $a_z$ je prakticky zanedbatelný ve srovnání se vzdáleností $l$ zdroje od kontrolního bodu	obvykle stačí, platí-li $l \geq 10 a_z$ nebo alespoň $l \geq 5 a_z$
prostorový úhel $\Omega$ (sr)	velikost plochy vyřazené obecnou kuželovou plochou na povrchu jednotkové koule ( $r = 1$ m), jejíž střed, vrchol prostorového úhlu, je totožný s vrcholem uvažované kuželové plochy	prostorový úhel $d\Omega$ , pod nímž je ze vzdálenosti $l$ vidět ploška $dA$ , jejíž normála svírá s osou $d\Omega$ úhel $\beta$ , je roven $d\Omega = \frac{dA \cos \beta}{l^2} \quad (\text{sr}; \text{m}^2, -, \text{m})$
zářivost $I_e$ ( $\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}$ )	prostorová hustota zářivého toku vyzařovaného bodovým zdrojem	při nerovnoměrném prostorovém rozložení zářivého toku platí $I_e = d\Phi_e / d\Omega \quad (\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}; \text{W}, \text{sr})$
intenzita ozáření (ozářenost) $E_e$ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ )	plošná hustota zářivého toku dopadlého na plochu $dA$ $E_e = \frac{d\Phi_e}{dA} \quad (\text{W}\cdot\text{m}^{-2}; \text{W}, \text{m}^2)$	normálová ozářenost $E_{eN}$ v bodě P roviny $\rho_N$ bodovým zdrojem Z, když $\overline{ZP} = l$ a $\rho_N \perp \overline{ZP}$ se vypočte ze vztahu $E_{eN} = I_e l^{-2} \quad (\text{W}\cdot\text{m}^{-2}; \text{W}\cdot\text{sr}^{-1}, \text{m})$
zář (v daném směru a v daném bodě na ploše vyzařující či ozářené nebo na dráze paprsků záření) $L_e$ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ )	prostorová a plošná hustota zářivého toku $L_e = \frac{d^2\Phi_e}{d\Omega dA_N} \quad (\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}; \text{sr}, \text{m}^{-2})$	$dA_N$ je ploška kolmá k ose prostorového úhlu $d\Omega$ , v jehož mezích se šíří zářivý tok $d\Phi_e$
zář (svazku sbíhavých paprsků) $L_e$ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ )	$L_e = \frac{dE_{eN}}{d\Omega} \quad (\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}; \text{W}\cdot\text{m}^{-2}, \text{sr})$	paprsky se sbíhají v mezích prostorového úhlu $d\Omega$ do jeho vrcholu; $dE_{eN}$ je normálová ozářenost plošky umístěné do vrcholu $d\Omega$ kolmo k jeho ose
zář (svazku rozbíhavých paprsků) $L_e$ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ )	$L_{ey} = \frac{dI_{ey}}{dA \cos \gamma} \quad (\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}; \text{W}\cdot\text{sr}^{-1}, \text{m}^{-2}, -)$ v prostředí nepohlcujícím a nerozptylujícím lze hovořit o záři plošky $dA$ zdroje	$L_{ey}$ ( $I_{ey}$ ) je zář (zářivost) plošky $dA$ ve směru pod úhlem $\gamma$ od normály k plošce $dA$
vyzařování, intenzita vyzařování $M_e$ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ )	plošná hustota zářivého toku $d\Phi_e$ vyzařovaného z plošky $dA$	$M_e = \frac{d\Phi_e}{dA} \quad (\text{W}\cdot\text{m}^{-2}; \text{W}, \text{m}^2)$
dávka ozáření $H_e$ ( $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ )	plošná hustota zářivé energie (či množství záření) $Q_e$ $H_e = dQ_e / dA \quad (\text{J}\cdot\text{m}^{-2}; \text{J}, \text{m}^2)$	protože $dH_e/dt = E_e$ , platí $H_e = \int_0^t E_e dt \quad (\text{J}\cdot\text{m}^{-2}; \text{W}\cdot\text{m}^{-2}, \text{s})$

## 1. Záření

Záření (radiace) je šíření či přenos energie prostorem v podobě elektromagnetických vln nebo hmotných částic. Kvantová teorie připisuje elektromagnetickému záření kvantovou korpuskulární strukturu a naopak částicím vlnový charakter. V moderní fyzice se tedy vychází z duálního charakteru záření a neklaďe se jednoznačná hranice mezi vlnovým charakterem elektromagnetického záření a korpuskulárním zářením, jehož energii přenášejí částice.

Ve světelné technice se však nezkoumá podstata elektromagnetického záření, jeho silové účinky či přetržitost záření, ale v určitých časových úsecích se sleduje rozdělení toků energie při jejich plynulých přechodech mezi uvažovanými místy prostoru. Z tohoto hlediska je důležité, že libovolné záření lze rozložit na složky se sinusovým průběhem.

Každá složka je charakterizována jediným **kmitočtem**  $\nu$  (**Hz**), popř. **vlnovou délkou**  $\lambda$ . Záření o jediném kmitočtu se označuje názvem monofrekvenční. Seřadí-li se složky záření podle jejich kmitočtů či vlnových délek, získá se spektrum záření. Přehled různých druhů elektromagnetických záření sestavený podle kmitočtů a vlnových délek je na obr. 1.

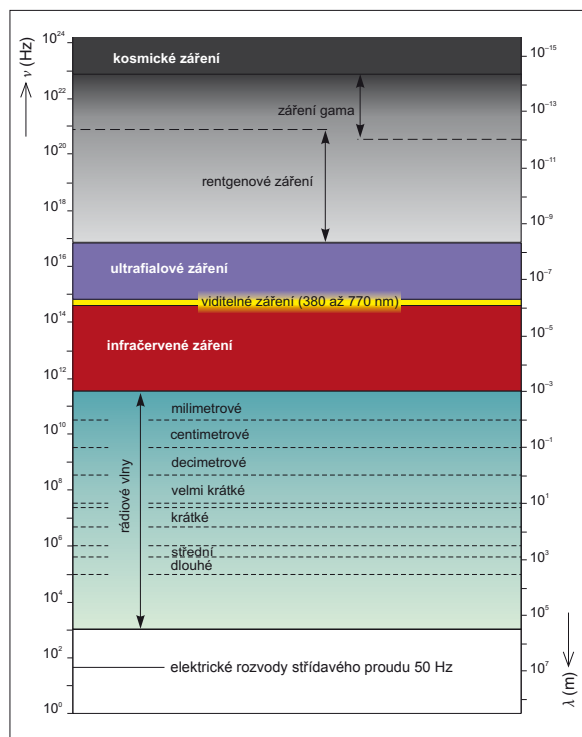
Vlnová délka  $\lambda$  je obecně závislá na rychlosti šíření záření. Ve vakuu se vlnová délka záření určuje ze vztahu

$$\lambda = c_0 \nu^{-1} \quad (\text{m}; \text{m}\cdot\text{s}^{-1}, \text{Hz}) \quad (1.1)$$

kde  $c_0$  je rychlost šíření elektromagnetických vln ve vakuu ( $c_0 = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Vlnová délka se uvádí v délkových mírách, obvykle v nanometrech (nm) nebo v mikrometrech ( $\mu\text{m}$ ).

Přitom platí:  $1 \text{ m} = 10^6 \mu\text{m} = 10^9 \text{ nm}$ ,  
popř.  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-3} \mu\text{m}$ .



Obr. 1. Spektrum elektromagnetických záření s orientačním členěním podle kmitočtů a vlnových délek

V oblasti záření se pracuje s mnoha energetickými veličinami a pojmy, které vycházejí z energie přenášené zářením za jednotku času, tzn. z výkonu přenášeného zářením, resp. ze **zářivého toku**  $\Phi_e$  (**W**). Důležité veličiny jsou uvedeny v tab. 1.

Elektromagnetické záření s vlnovými délkami ležícími mezi oblastí přechodu k rentgenovému záření (asi 1 nm) a oblastí přechodu k rozhlasovým a televizním vlnám (přibližně 1 mm) se nazývá **optické záření**.

Jakékoliv optické záření schopné přímo vyvolat zrakový vjem či počitek se označuje názvem **viditelné záření**. V podmínkách denního vidění budí viditelné záření barevné vjemy. Základní představu o rozložení barevných tónů ve spektrální oblasti viditelného záření poskytuje obr. 2.

Přesné meze spektrálního rozsahu viditelného záření nelze stanovit, neboť jsou závislé jak na zářivém toku dopadajícím na sítnici oka, tak na spektrální citlivosti oka pozorovatele. Obvykle se uvažuje dolní mez v rozmezí vlnových délek mezi 360 a 400 nm a horní hranice mezi vlnovými délkami 760 a 830 nm.

Záření ve viditelné oblasti spektra jsou většinou důležitá pro život organismů, u rostlin zajišťují tvorbu chlorofylu a v činnosti lidí jsou významná nejen ve světelné technice, ale i v dalších oblastech, např. v optice, ve fotografii, v elektrotechnice, v chemii atd.

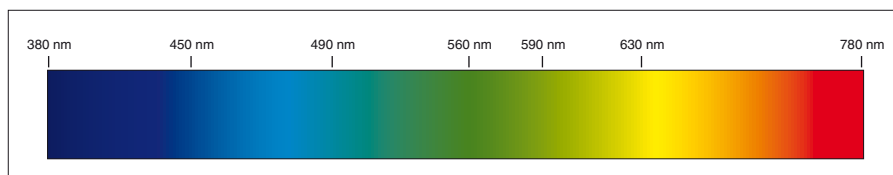
S viditelným zářením „sousedí“ v oblasti kratších vlnových délek ultrafialo-

vé paprsky (UV) a v oblasti delších vlnových délek infračervené záření (IR). Záření UV, viditelné a IR tedy tvoří zmíněné optické záření.

Pod pojmem **světelné záření (světlo)** se rozumí viditelné záření, které je zhodnoceno zrakovým orgánem pozorovatele podle citlivosti oka k záření různých vlnových délek. Ve viditelné oblasti spektra budí každé monofrekvenční záření zcela určitý barevný počitek, a proto se toto záření často označuje pojmem **záření monochromatické**. Ve spektru slunečního záření může oko člověka rozeznat asi 128 barevných tónů.

Přírodním zdrojem elektromagnetického záření je Slunce. Sluneční záření pronikající zemskou atmosférou je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících životní prostředí, ve

součástí prostředí, které člověka obklopuje, je určité **světelné prostředí** (světelné mikroklima). Studium reakcí člověka na světelné záření se zabývá široký okruh odborníků. Především to jsou lékaři, fyziologové a biologové, ale i psychologové, hygienici a specialisté z oblasti techniky prostředí, včetně světelných techniků a architektů. Při zkoumání vlivu světla na fyziologické funkce lidského organismu se studují jeho účinky nejen na zrakové funkce, ale například i na oběhové ústrojí člověka, na systém rovnováhy, na kožní odpor a vůbec na činnost mozkových center. Psychologické výzkumy se zaměřují zejména na problematiku procesu vidění, včetně analýzy samotného zorného pole. Výsledků všech zmíněných výzkumů využívá právě **světelná technika**, jako nauka o vzniku světla a o jeho využití pro uspokojování nejrůznějších potřeb člověka. Základní úlohou světelné techniky je v rámci daných technických, energetických a ekonomických možností zajišťovat tvorbu co nejlepšího světelného mikroklimatu a zásadně tak přispívat k vytváření zdravého prostředí, a to nejen na všech pracovištích, ale též v bytech, ve zdravotnických, školských, kulturních a v ostatních společ-



Obr. 2. Rozložení barevných tónů ve spektrální oblasti viditelného záření

kterém se člověk po tisíciletí vyvíjel a jemuž se přizpůsoboval. Člověk, podobně jako i jiné živé organismy, byl pravidelně a dlouhodobě vystavován účinkům slunečního záření a také jeho denním i ročním výkyvům.

Vývoj civilizace a techniky však postupně vedl ke vzdalování člověka přírodnímu prostředí a k vytváření umělého prostředí v krytých vnitřních prostorech, čemuž se lidé museli přizpůsobovat. Již před dvaceti lety uváděly statistiky mezinárodních zdravotnických organizací (WHO, 1988), že člověk tráví v krytých prostorech v průměru až 90 % doby svého života. Prostor ve zmíněných vnitřních prostorech velmi významně ovlivňuje vývoj člověka i jeho zdraví. Tvorba a zlepšování pohody prostředí v interiérech, jejichž podstatnou součástí je i zraková pohoda, je proto třeba věnovat velkou pozornost.

Z uvedeného vyplývá, že světelné záření je důležitým činitelem, který významně ovlivňuje charakter vytvářeného prostředí. Působením světelného záření vyvolává okolní prostředí v člověku celou řadu fyziologických a psychologických reakcí. Často se proto uvádí, že nedílnou

čenských a veřejných zařízeních. Činnost lidí zaměřená k vytvoření požadovaného světelného prostředí se nazývá **osvětlování**. Výsledkem této činnosti je pak určité **osvětlení**, což je stav předmětů charakterizovaný množstvím světelné energie dopadající na objekty pozorování, převažujícím směrem dopadu světla, stupněm jeho rozptýlení a dalšími ukazateli.

I když je světlo pouze prostředkem umožňujícím získávání zrakové informace, jako výsledku složité interakce mezi zrakovým systémem člověka a pozorovanými předměty, či sledovanými jevy, přesto odborníci označují osvětlení při práci a vůbec při veškeré činnosti lidí za nesmírně důležitou podmínku existence člověka. Podíl zrakového systému na různých lidských činnostech se pochopitelně liší, ale zraková složka u žádné činnosti nechybí. Naopak u mnoha činností je rozhodující. Při posuzování, zda je ten který způsob osvětlení vhodný z hlediska určité činnosti prováděné uživateli osvětlovaného prostoru je proto nutno vycházet z fyziologie zrakového systému a uvažovat i psychologické aspekty zrakového vjemu.

Recenze: doc. Ing. Josef Linda, CSc.