



Světlo

a fotografie

Definice světla

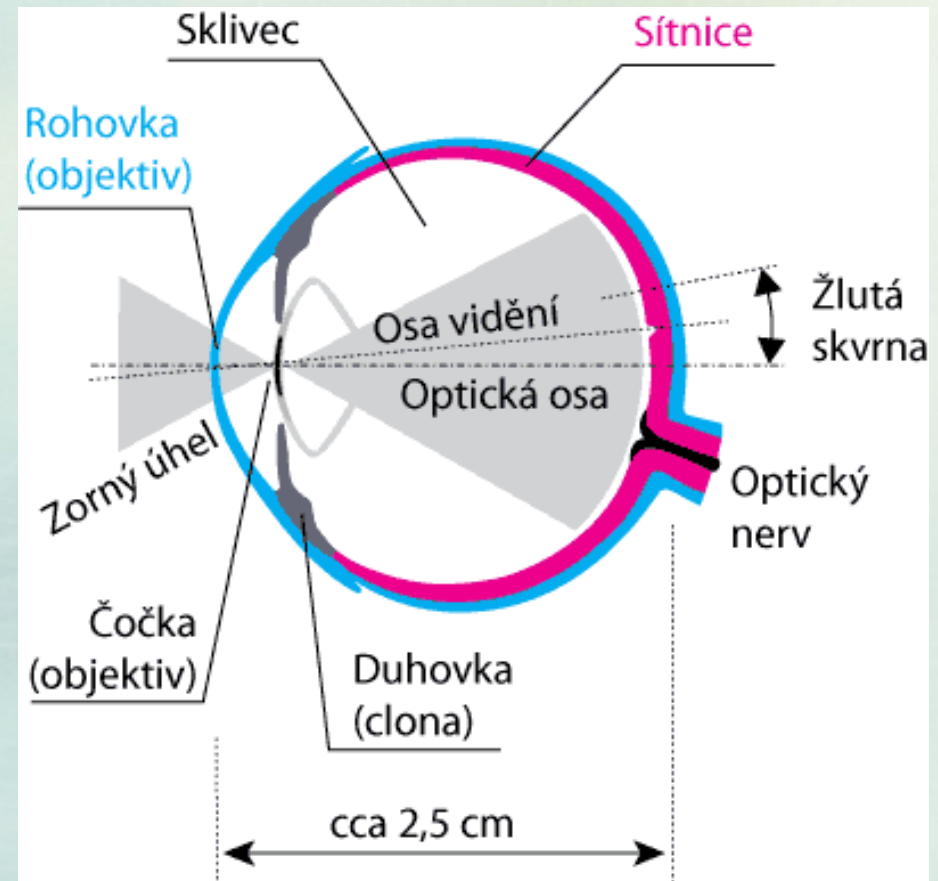
- Podle definice je světlo pásmem **elektromagnetického vlnění**, které je lidské oko schopné vnímat. Tomuto pásmu vlnových délek se říká viditelná část spektra. Jestliže světlo o určité vlnové délce z této části spektra zasáhne lidské oko, dostaví se zrakový vjem, jehož barva závisí na vlnové délce světla. Nejdelší vlnovou délku má červená barva (kolem 740 nm), nejkratší barva fialová (asi 390 nm). Barvy viditelné části spektra přecházejí plynule jedna v druhou, ale v zásadě se dělí na sedm takzvaných spektrálních barev nebo také barev duhy - červenou, oranžovou, žlutou, zelenou, modrou, indigově modrou a fialovou. Smícháním nejméně třech barev spektra (například červené, zelené a modré) ve vhodném poměru vzniká bílé světlo, v jiném poměru jiná barva. Na světelné spektrum navazují infračervené a ultrafialové pásmo. Lidské oko je schopno vnímat jen velmi malou část elektromagnetického spektra, ale zato dokáže rozlišit nečekaně obrovské množství barevných odstínů. Podle některých expertů až několik milionů.
- **Norma ČSN 01 1701** – definice světla, názvů, značek a definice fotometrických a energetických veličin

Základy lidského vidění

- Lidské oko je jen první částí řetězce vidění. Má jednoduchý objektiv o 2 členech - rohovka (cornea) je vnější člen a čočka (lens) vnitřní. Množství světla, které vstupuje do oka, je řízeno duhovkou (clonou, iris), která je mezi nimi. Světlo se potom šíří průhledným sklivcem (vitreous humor) a na světlocitlivé sítnici (retina) vytváří otočený obraz.
- Sítnice je světlocitlivá část oka a odpovídá CCD/CMOS senzoru, případně filmu ve fotoaparátu. Sítnice je tvořena světlocitlivými buňkami - asi 130 miliony tyčinek (rods) a 7 miliony čípků (cones). V tomto smyslu je oko vlastně 137 megapixelový fotoaparát! Čípky jsou méně citlivé, ale dokáží rozlišovat barvu. Naproti tomu tyčinky jsou velmi citlivé, ale "černobílé". Proto lidé v šeru vidí jen černobíle.
- Žlutá skvrna (fovea) je místo na sítnici o průměru cca 0,2-0,5 mm. Nachází se na ose oka a je to místo nejostřejšího vidění. Na 1 mm² tam připadá asi 150 000 čípků a nejsou tam skoro žádné tyčinky. Žlutá skvrna slouží k ostrému a barevnému dennímu vidění a vysoké rozlišení podporuje i fakt, že každý čípek ve žluté skvrně má svůj vlastní optický nerv (vlákno).

Lidské oko

- Objektiv o dvou členech v přední části promítá obraz na sítnici oka. Množství procházejícího světla reguluje duhovka - obdoba clony ve fotoaparátu. Sítnice potom obsahuje buňky citlivé na různé barvy, přičemž nejvyšší koncentrace je v okolí žluté skvrny, kde oko dosahuje mimořádného rozlišení.



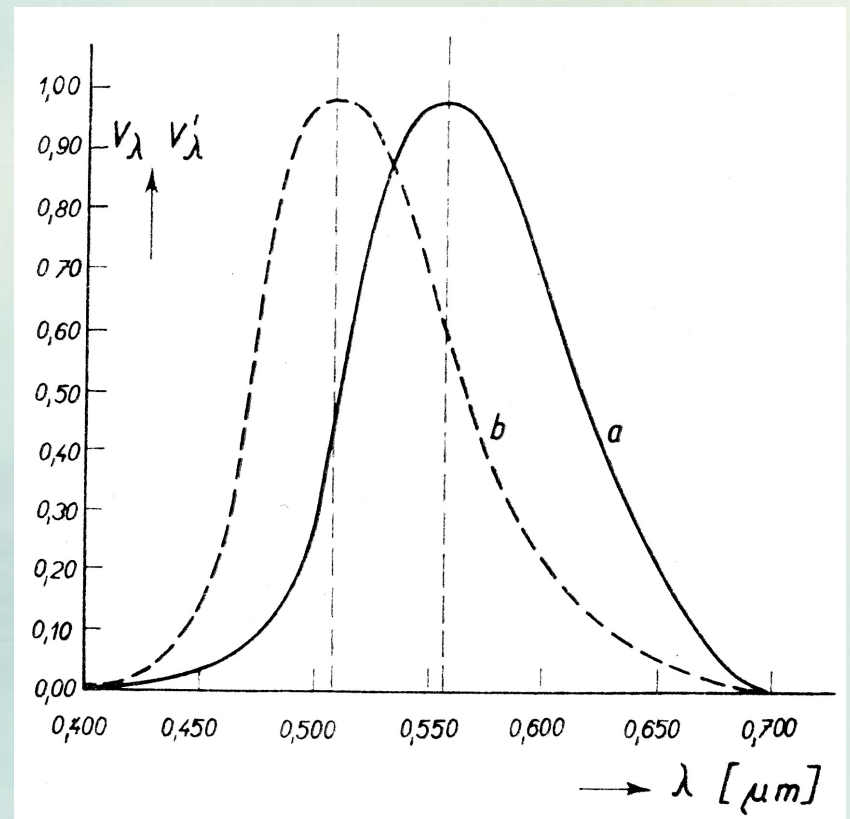
Fotometrické veličiny

- **Fotometrie** se zabývá pouze světlem, tj. viditelným zářením, a posuzuje je z hlediska vnímání světla lidským okem.
- Vlastním receptorem světla v lidském oku je sítnice, která se skládá z čípků a tyčinek. Čípky rozeznávají barvy, reagují jen na vyšší intenzity světla (**fotopické** vidění). Tyčinky nemají schopnost rozeznávat barvy, vnímají ale světlo i při velmi malých intenzitách (**skotopické** vidění, až jednotky fotonů).

Citlivost lidského oka

- **Světelný tok Φ** je charakteristická veličina zářivého toku, vyjadřující jeho schopnost způsobit zrakový vjem, určená pomocí přijatých hodnot poměrné světelné účinnosti.
- Světelný tok je udáván v lumenech, zářivý (P) ve wattech, koeficient úměrnosti K_m (lm-W):

$$d\Phi = K_m V_\lambda dP = K_m V_\lambda P_\lambda d\lambda$$



a – fotopické, b – skotopické vidění

Světelný tok

- Světelný tok celého spektra zdroje je pak dán pro čípkové vidění integrálem

$$\Phi = K_m \int_0^{\infty} V_{\lambda} P_{\lambda} d\lambda$$

- Jednotkou světelného toku je 1 lumen. Je to světelný tok, který vysílá černé těleso při teplotě tuhnoucí platiny s plochou o velikosti $S_1 = 5,305 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$. Převodní číslo

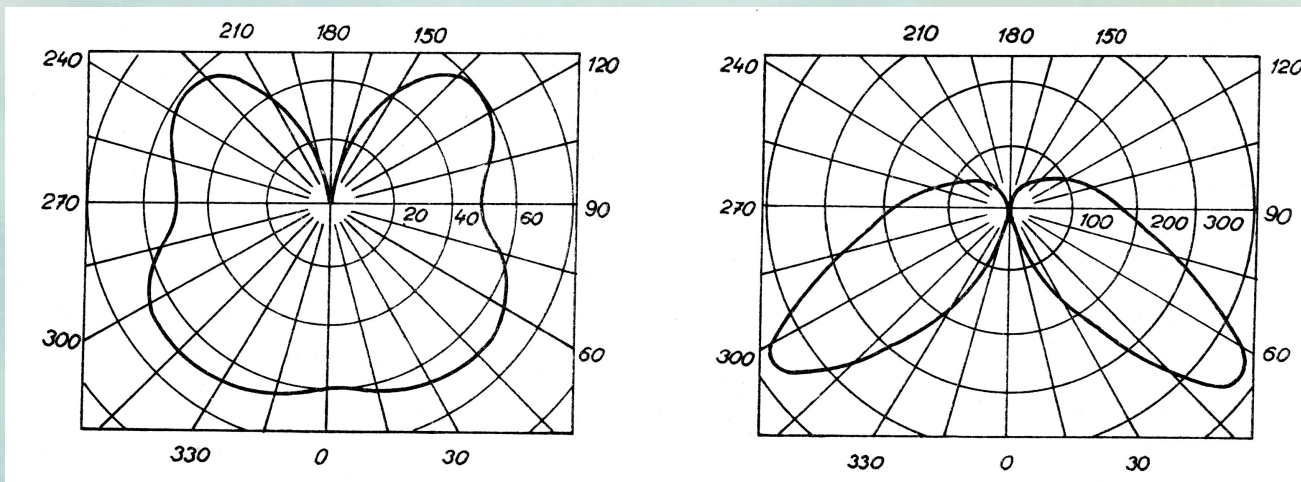
$$K_m = 680 \text{ lm/W}, K_m' = 1746 \text{ lm/W}$$

Svítivost zdroje

- **Svítivostí I zdroje** v daném směru rozumíme podíl světelného toku vyzářeného zdrojem (nebo elementem zdroje) v tomto směru do nekonečně malého prostorového úhlu a tohoto úhlu:
$$I = d\Phi/d\Omega.$$
- Je-li světelný tok v prostoru rovnoměrně rozložen, je možné nahradit podíl elementárních veličin podílem světelného toku a prostorového úhlu $I = \Phi/\Omega$.
- Jednotkou svítivosti je **kandela (cd)**, definovaná jako kolmá svítivost $1/600\,000$ m² plochy černého tělesa při teplotě tuhnutí platiny.

Fotometrické těleso

- Směrové rozložení svítivosti znázorňujeme tak, že hodnoty svítivosti vyneseme jako úsečky v příslušných směrech z jednoho bodu. Koncové body těchto úseček omezují **fotometrické těleso**. Osový řez fotometrickým tělesem je **fotometrický diagram**. V grafech je příklad fotometrického diagramu žárovky a obloukové lampy.



Jas plošného zdroje

- **Jas L** v daném bodě plochy zdroje a v daném směru je podíl svítivosti plošného elementu zdroje v daném směru a průmětu plošného elementu do roviny kolmé k danému směru:
 $L = dI/(dS \cos \alpha)$, příp. $L = I/(S \cos \alpha)$
- Jednotkou jasu je **1 nit**, **1 nt = 1 cd/m²**. Je to jas světelného zdroje, jehož svítivost na 1 m² zdánlivé plochy je 1 cd.
- Jas je měřítkem účinku svítící plochy na zrakový orgán, tedy udává jak jasnou se jeví plocha zdroje pozorovateli v daném směru. U Lambertovských zářičů (difúzních) jas nezávisí na směru pozorování.

Jas některých plošných zdrojů

Zdroj	Jas (nt)
Slunce	2.109
Oblouková lampa	2.108
Vlákno žárovky (2700 K)	107
Bílý papír osvětlený sluncem	2.104
Plamen svíčky	5.103
LCD monitor	500
Bílý papír osvětlený úplňkem	3.10-2

Osvětlení

- *Osvětlení E v daném bodě plochy je určeno podílem světelného toku dopadajícího na element plochy a velikosti tohoto plošného elementu: $E = \Phi/dS$*
- Při rovnoměrném rozdělení světelného toku je osvětlení udáno podílem světelného toku a plochy: $E = \Phi/S$
- Jednotkou osvětlení je **1 lux (lx)**, tj. osvětlení, při kterém na plochu 1 m² dopadá rovnoměrně rozprostřený tok jednoho lumenu.

Některá osvětlení

Druh osvětlení	Osvětlení (lx)
Přímé sluneční světlo	100 000
Rozptýlené denní světlo	1 000
Osvětlení v místnosti za jasného dne	500
Dobré umělé osvětlení místnosti	200
Měsíční světlo za úplňku	0,2

Doporučená osvětlení pracovišť

Práce	Osvětlení (lux)
Pro všeobecnou orientaci (chodby, schody...)	20 – 40
Pro hrubou práci (sklady, balení, umývárny)	40 – 100
Pro střední práci (čtení a psaní, obchody, šití světlých látek, zámečnické práce)	100 – 300
Pro jemnou práci (rýsování, šití z tmavých látek, jemná mechanika)	400 – 1 000
Pro velmi jemnou práci (rozeznávání barev, operace, hodinářství, rytectví)	1 000 – 10 000

Osvit

- *Osvit H neboli expozice je určen součinem osvětlení a doby, po kterou osvětlení trvalo:*

$$H = \int_0^t E dt \quad \text{resp.} \quad H = Et$$

Měří se v luxsekundách. Název osvit (expozice) se nesprávně používá pro dobu, po kterou osvětlení trvalo. Zde je správný termín „doba osvitu“. Fotografická emulze má jinou spektrální citlivost než oko, takže osvit v luxsekundách nevyjadřuje správně účinek dopadajícího záření na emulzi

Měření expozice

je metodika, jíž se na základě měřených světelných podmínek určí hodnota kombinace clonového čísla a doby osvitu, příp. hodnota EV. Většina **expozimetrů** měří střední jas záběru, některé expozimetry mohou měřit bodově jas záběru (úhel od 1°). Osvětlení záběru se měří **luxmetry** s rovinnou nebo půlkulovou rozptylnou destičkou. Expozice elektronickým bleskem se měří tzv. **flashmetrem**. Profesionální expozimetry jsou uzpůsobeny pro měření všemi uvedenými metodami. Profesionální kamery mohou měřit bodovou sondou jas v obraze.



Co je to EV (exposure value)

Zkratka EV pochází z anglického Exposure Value, čili **hodnota expozice**. Má se zde na mysli expozici ve smyslu **kombinace času a clony**. Vzhledem k tomu, že při dané citlivosti filmu odpovídá určité hladině osvětlení jistá správná expozice, tak se EV používá také pro vyjádření **úrovně osvětlení**. Standardně se uvažuje citlivost filmu 100 ASA. V tomto smyslu EV 0 je taková úroveň osvětlení scény, při které by s filmem o citlivosti 100 ASA vyšel pro správnou expozici při cloně 1,0 čas 1s. Hladina osvětlení EV n je tam, kde je světla 2^n krát více. Vzhledem k tomu, že EV 0 představuje úroveň osvětlení o hodnotě 2,69 luxu, pro převod na hodnotu v luxech platí vzorec

$$E [\text{lux}] = 2,69 \cdot 2^{EV}$$

Zde EV je EV při 100 ASA. Naměříme-li pro film o citlivosti ISO (ASA) pro clonu N čas t (v sekundách), znamená to, že osvětlení je

$$E [\text{lux}] = 2,69 (100/\text{ISO}) N^2/t \quad (N = \text{clonové číslo}, t = \text{doba expozice})$$

A konečně, pokud je známá hladina osvětlení v EV, pak víme, že pro správnou expozici s filmem o citlivosti ISO (ASA) je zapotřebí čas (v sekundách)

$$t = (100/\text{ISO}) N^2/2^{EV}$$

je-li ve specifikacích u expoziometru uvedeno, že jeho rozsah je EV 0 až 20, znamená to, že s ním lze úspěšně měřit, pokud se osvětlení scény pohybuje v rozsahu 2,69 až $2,69 \cdot 2^{20} = 2\,820\,669$ luxů

Co je to EV (exposure value)

V praxi není důležitá absolutní hodnota EV, ale její **změna** – je daná změnou některého z parametrů – čas závěrky, clona a citlivost.

Základní změna těchto parametrů znamenají změnu o 1 EV, tj. na senzor se dostane **dvojnásobek** nebo **polovina** množství světla:

1) **Clonové číslo** - základní stupnice clonových čísel:

1.0, 1.4, 2.0, 2.8, 4.0, 5.6, 8, 11, 16, 22, 32, 45...

(plocha clony roste s druhou mocninou průměru clony, proto hodnoty nejsou násobky 2 ale násobky odmocniny ze 2 tj. ~ 1.4)

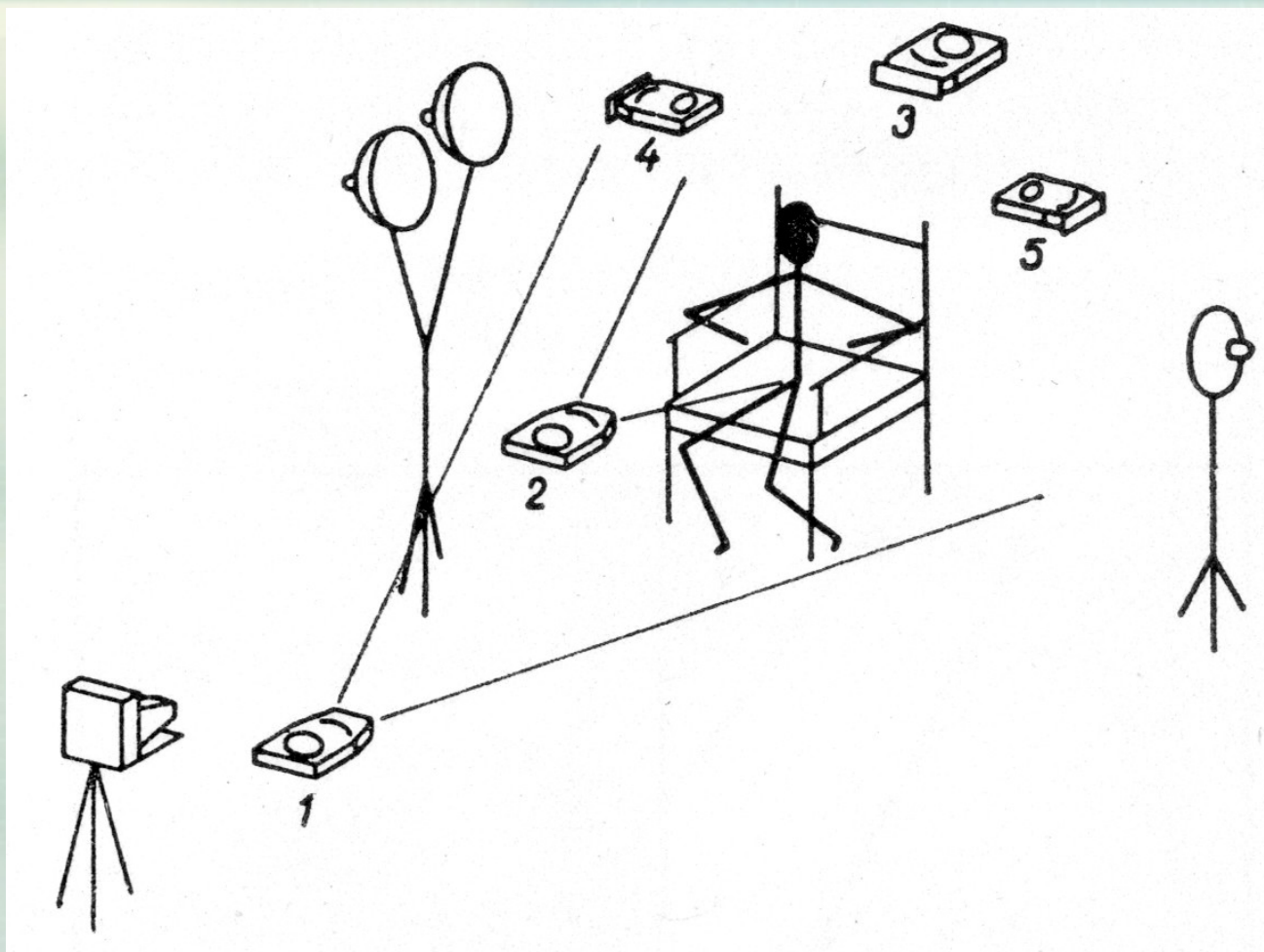
2) **Čas závěrky** – dvojnásobný nebo poloviční čas: 1/250, 1/125, 1/60, 1/30.....

3) **Citlivost ISO** – dvojnásobná/poloviční citlivost znamená takové zesílení signálu, které odpovídá dopadu dvojnásobku/poloviny světla na senzor:

50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400.....

- v praxi se používá jemnější dělení hodnot, zpravidla po $\frac{1}{2}$ nebo $\frac{1}{3}$

Základní postupy při měření expozice



- 1 - měření součtového jasu
- 2 - měření dílčího jasu
- 3 - měření osvětlení
- 4,5 - měření osvětlení z různých směrů (měření kontrastu osvětlení)

Multifunkční expozimeter Sekonic Dualmaster L-558

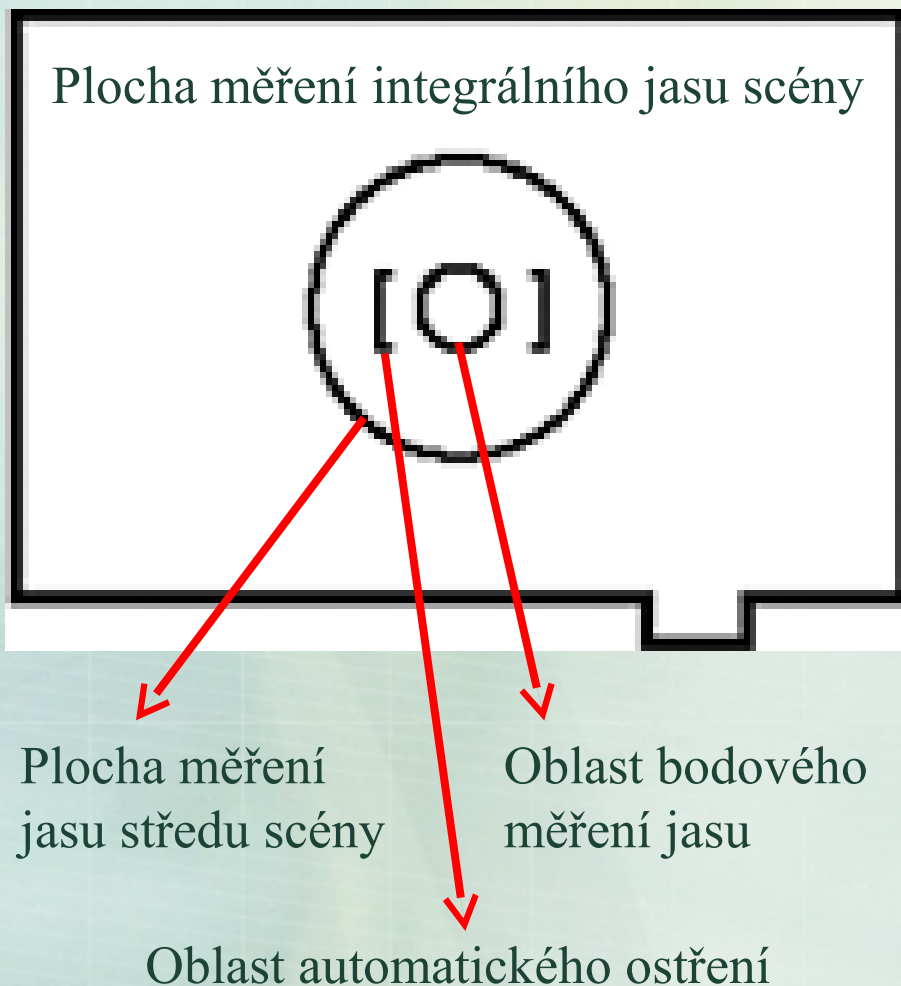


Technická specifikace

systemy měření dopadající a odražené bleskové i přirozené, bodové přirozené s úhlem záběru 1°
fotobuňky křemíkové fotodiody
rozsah měření (ISO 100):
přirozené dopadající: -2 až 22,9 EV
přirozené odražené: 1 až 24,4 EV
zábleskové dopadající 0,5 až 161,2 EV
rozsah časů pro dopadající světlo:
30 min až 1/8 000 s (po 1, 1/2 nebo 1/3)
kompenzace expozice -9,9 až +9,9 EV
kalibrace -1,0 až +1,0 EV
kompenzace filtru -5,0 až +5,0 EV
uživatelská nastavení L-558: 6 položek
příslušenství bezdrátový radio trigger systém,
modul radiového přenašeče RT-32, rádio receiver
RR-32/RR-4, synchronizační kabel, 2× konvertor
úhlu, 18% šedá tabulka

Měření expozice zrcadlovkou

- U zrcadlovek je obvykle možné používat tři režimy měření expozice:
 - Měření integrálního jasu scény, obvykle se zdůrazněným středem
 - Měření jasu střední části scény, obvykle 10% plochy snímku
 - Bodové měření ve středu scény, obvykle 2% plochy snímku.



Digitální zrcadlovka

- Většina moderních DSLR má několik režimů měření expozice. Liší se v podstatě plochou, kterou z celkové scény berou v úvahu pro měření, podobně jako u klasických zrcadlovek. Přitom různé režimy se hodí při různých situacích. Nejuniverzálnější poměrové (zónové či maticové měření - různí výrobci používají různé názvy) pracuje na principu rozdělení celé fotografie na určitý počet zón. Canon používá 35 zón, Nikon 1005, Olympus 49 atd. V každé zóně je zjištěn průměrný jas v EV jednotkách (barva se zcela ignoruje a pracuje se pouze s černobílým jasnem).

Měření dopadajícího světla na střední šedou

- Do scény umístíme standardní šedou tabulku. Střední šedá je definována jako šedá, která odráží 18% dopadajícího světla.
- Přepneme na bodové měření expozice a naměříme expozici ve středu tabulky. Tabulka však musí vyplňovat dostatečnou plochu fotografie (pro jistotu minimálně středový kruh), aby bodové měření zaručeně nebylo rušeno okolím tabulky.
- Naměřené hodnoty buď uzamkneme, lepší je ale přepnout na manuální režim (M) a nastavit je ručně (vlastně opsat). Tabulku ze scény odstraníme a exponujeme zjištěnými hodnotami ostrý záběr.

Velkoformátové přístroje

- Pro analogovou fotografii se používají především fotometrické sondy (aktivní plocha několik mm²), kterými je možné pohybovat v obrazové rovině (před matnicí)
- U digitálních stěn je používáno až několik desítek měřících bodů pro určení expozice

