

# Základy světelné techniky (4)

## Základy fotometrie (2. část)

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

Minimální a maximální hodnoty jasů povrchu komunikace se zjišťují měřením jasů ve stejném poli kontrolních míst jako při měření osvětlenosti. Clona jasoměru se volí tak, aby měřená plocha byla co nejmenší a nezasahovala do sousedních měřených míst. Z výsledků takového podrobného měření se stanoví průměrný jas povrchu vozovky jako aritmetický průměr z hodnot jasů naměřených ve zmíněné síti kontrolních míst. Jas se měří vždy na suchém povrchu vozovky, na kterém jsou již ustáleny odrazné vlastnosti. To obvykle bývá až asi po roce běžného provozu.

Pro podrobné proměření jasů v mnoha bodech na komunikaci jsou vhodné jasoměry, kterými lze měřit jas z jedoucího automobilu při automatické registraci naměřených hodnot. Toto umožňují např. jasoměry s kmitajícím zrcátkem, které při kmitočtu kývání zrcátka 5 Hz, rychlosti automobilu asi 55 km·h<sup>-1</sup>, šifce vozovky 10m registrují každou setinu sekundy jednu hodnotu, čímž zajistí návaznost měření jak v podélném, tak v příčném směru vozovky. Jiný způsob zjištění rozložení jasů na povrchu vozovky využívá obraz snímávaný televizní kamerou a hodnocený na monitoru.

Nepřímá metoda určení průměrného jasů povrchu vozovky je založena na zjištění jasového součinitele osvětlenosti  $e_{Lp} = E_p/L_p$  z průměrných hodnot osvětlenosti  $E_p$  a jasů  $L_p$  vypočítaných bodovou metodou v celém rozsahu sledovaného pole kontrolních míst.

Za předpokladu, že se nezmění povrch vozovky a že zůstanou zachovány základní geometrické a světelnotechnické parametry osvětlovací soustavy, nezmění se během provozu hodnota jasového součinitele osvětlení  $e_{Lp}$ . Při provozním měření rozložení osvětlenosti na komunikaci se z naměřených hodnot osvětlenosti vypočítá průměrná osvětlenost  $E_{pt}$  a hledaná průměrná hodnota jasů  $L_{pt}$  se stanoví s využitím jasového součinitele  $e_{Lp}$  z výrazu

$$L_{pt} = E_{pt}/e_{Lp} \quad (\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}; \text{lx}, \text{lx}\cdot\text{cd}^{-1}\cdot\text{m}^2) \quad (4.5)$$

### 4.4 Měření svítivosti

Svítivost jako fotometrická veličina se neměří přímo, ale převádí se při objektivním měření na měření osvětlenosti.

Svítivost se měří na fotometrické lavici, která se skládá z vodících tyčí či kolejnic, po nichž pojíždějí vozíky se světelnými zdroji a fotočlánkem. Vzdálenosti mezi fotočlánkem a zdroji se odečítají na měřítku upevněném na lavici. Středem zdrojů i fotočlánku musí být nastaveny přesně do optické osy. Vyzařovací plochy zdrojů a rovina přijímací plošky fotočlánku musí být kolmé k optické ose fotometrické lavice.

Při objektivním měření svítivosti  $I_Z$  zkoušeného světelného zdroje se fotočlánek na fotometrické lavici postupně osvětluje nejprve etalonem svítivosti (svítivost  $I_N$ ) a následně měřeným zdrojem (svítivost  $I_Z$ ). Nejčastěji se měří při konstantní osvětlenosti fotočlánku, kdy se vylučuje vliv nelinearity závislosti fotoproudu fotonky na osvětlenosti. Mění se tedy vzdálenost  $l_Z$  měřeného zdroje od fotočlánku tak, až je výchylka měřícího přístroje stejná jako při osvětlení fotočlánku ze vzdálenosti  $l_N$  etalonem svítivosti  $I_N$ . Pak se hledaná svítivost  $I_Z$  vypočítá z rovnice

$$I_Z = I_N(l_Z)^2/(l_N)^2 \quad (\text{cd}; \text{cd}, \text{m}, \text{m}) \quad (4.6)$$

Pokud by se měřilo při různé osvětlenosti fotočlánku, bylo by nutné ověřit linearitu fotočlánku a počítat s korekčními činiteli.

Při měření je třeba vyloučit působení rozptýleného světla na čidlo. Proto se na fotometrickou lavici mezi zdroj a fotočlánek umísťují stínící clony tak, aby na fotonku dopadalo světlo pouze od měřeného zdroje. Velikost otvorů v clonách musí být taková, aby žádná aktivní část zdroje nebyla zastíněna. Při objektivním měření musí být citlivá plocha čidla zcela a rovnoměrně osvětlena.

### 4.5 Měření čar svítivosti

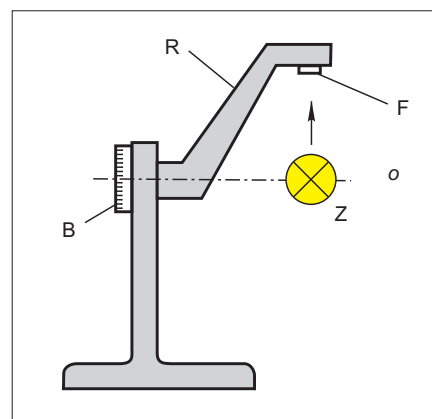
Čary svítivosti světelných zdrojů lze měřit na fotometrické lavici, a to zjišťováním svítivosti postupně v různých směrech subjektivní nebo objektivní metodou. Podle požadované přesnosti se měří po 10°, 5° či 2°, popř. i po menších úhlových intervalech. Nejčastěji se však čary svítivosti zdrojů a svítidel měří přístroji, které se nazývají **goniofotometry**. Jsou to zařízení, která umožňují měřit svítivost světelného zdroje či svítidla v různých ro-

vinách a pod různými úhly. Takový požadavek mohou splnit v zásadě tři různá konstrukční uspořádání:

1. otočný zdroj a pevný fotometr,
2. pevný zdroj a otočný fotometr,
3. pevný zdroj i fotometr a otočný zrcadlový systém.

Goniofotometry s otočným zdrojem či svítidlem nejsou v tomto případě vhodné, neboť světelný tok některých zdrojů je závislý i na poloze zdroje.

Přístroje druhé skupiny lze použít pouze pro objektivní měření. Používají fotonku připevněnou na rameni, které se otáčí okolo zdroje či svítidla. Výhodou tohoto řešení je skutečnost, že zkoušené svítidlo či světelný zdroj jsou zavěšeny v normální provozní poloze.



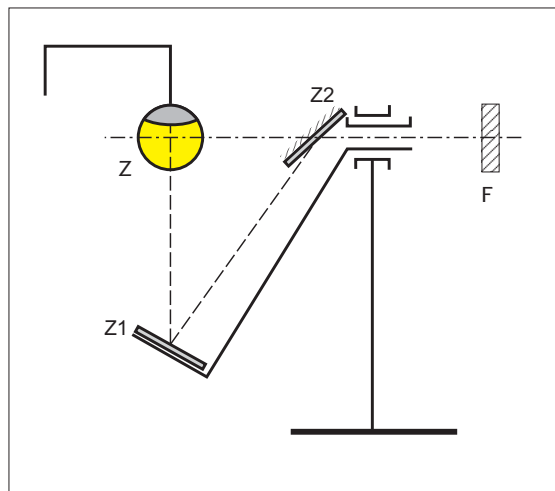
Obr. 4.10. Náčrt konstrukce goniofotometru s otočným ramenem R a s fotočlánkem F; zkoušené svítidlo (zdroj) Z je pevně umístěno v ose o rotace ramene R a ve svislé rovině otáčení fotočlánku F

Příklad konstrukce goniofotometru s otočným ramenem je na obr. 4.10. Přístroj se skládá z ramene R, na němž je upevněna fotonka F. Rameno R se otáčí okolo měřeného zdroje Z umístěného v ose otáčení o. Úhel natočení se odečítá na bubínku B. Rovina, ve které se měří křivka svítivosti, se mění natočením zdroje či svítidla.

Přístroje třetí skupiny umožňují subjektivní i objektivní měření v libovolné vzdálenosti, jsou však velmi náročné na konstrukci, zejména na optickou kvalitu zrcadel. Příklad takového goniofotometru je na obr. 4.11. Okolo svítidla Z se na pevném rameni otáčí zrcadlo Z<sub>1</sub>. Světlo odražené zrcadlem Z<sub>1</sub> vrhá druhé

zrcadlo  $Z_2$  ve směru osy otáčení do pevně stojícího vizuálního nebo fyzikálního fotometru F.

Fotometrická vzdálenost je dána součtem vzdáleností od měřeného zdroje, přes obě zrcadla až k fotometru. U tohoto přístroje by bylo možné vykonávat absolutní měření svítivosti, ale bylo by zapotřebí znát činitele absorpce zrcadel, který se časem zvětšuje.



Obr. 4.11. Náčrt konstrukce goniofotometru s otočnou zrcadlovou soustavou a s pevným fotočlánkem F

Konstrukce všech typů goniofotometrů musí být dostatečně tuhá, aby během rotace nedocházelo k deformaci či kývání nosných částí, čímž by se zaváděly případné chyby měření.

Svítivost se obvykle v různých směrech neměří absolutně, ale stačí relativní měření, které dovoluje nakreslit tvar zjištěné křivky v polárních souřadnicích. Diagram svítivosti se posléze oceňuje zjištěním jedné absolutní hodnoty svítivosti, např. ve směru svislé osy svítidla, a to zvláštním měřením buď přímo na goniofotometru nebo na fotometrické lavici.

Goniofotometry pro hromadná měření automaticky ukládají naměřené a zkorrigované hodnoty do předepsaných [4.8] datových souborů. Je výhodné je vybavit i zařízením pro samočinné zakreslování čar svítivosti ve vybraných fotometrických rovinách na polární papír.

#### 4.6 Měření světelného toku

Světelný tok světelných zdrojů či svítidel je možné stanovit buď graficko-početními metodami z naměřených křivek svítivosti nebo přímým měřením světelného toku v integrátoru s použitím normálu světelného toku.

Integrátor může mít tvar krychle nebo kvádrů, ale nejvhodnější (zvláště při nesymetrickém rozdělení světelného toku) jsou integrátory ve tvaru koule podle obr. 4.12.

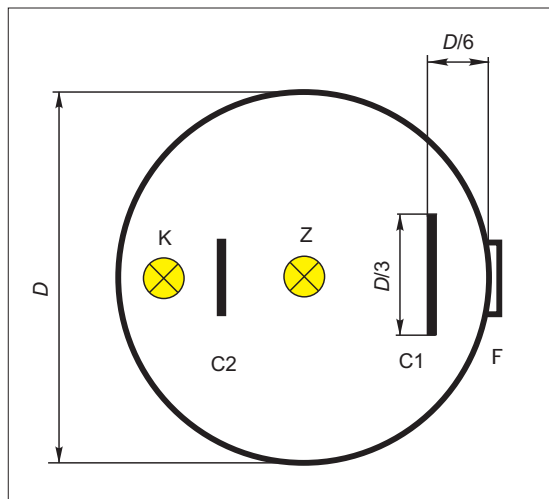
Jde o dutou kouli na vnitřním povrchu opatřenou bílým rozptýlným nátěrem s vysokým činitelem odrazu. Důležitým požadavkem je, aby byl nátěr barevně neselektivní. Nejlépe vyhovují některé druhy běloby zinkové, titanové či barytové. Často bývá základní nátěr trvalý a na něj je nanesen nátěr rozpustný ve vodě, který se pravidelně obnovuje. Činitel odrazu by měl být v mezích 0,75 až 0,85. Koule má na jedné straně okénko s fotočlánkem F zastíněné clonkou  $C_1$ , aby na něj nedopadalo světlo přímo ze zdroje. Zdroj Z je zavěšen přibližně ve středu koule. Při rozsvícení zdroje uvnitř koule vznikají mnohonásobné odrazy na vnitřním povrchu koule. S ohledem na difuzní charakter vnitřního povrchu integrátoru je teoreticky výsledná osvětlenost ve všech bodech vnitřního povrchu koule stejná a její hodnota se měří fotočlánkem F.

Dopadá-li na vnitřní povrch integrátoru ze zdroje Z tok  $\Phi_z$  a má-li rovnoměrně rozptýlně odrazující povrch integrátoru integrální činitel odrazu  $\rho$ , je odražená složka výsledného světelného toku  $\Phi$  dopadající vlivem mnohonásobných odrazů na vnitřní povrch integrátoru rovna

$$\Phi = \rho\Phi_z + \rho^2\Phi_z + \rho^3\Phi_z + \dots$$

$$\dots + \rho^n\Phi_z = \frac{\rho}{1-\rho}\Phi_z \quad (4.7)$$

Vnitřní povrch kulového integrátoru je ve všech místech stejně osvětlen a osvětlenost v libovolném bodě tečné roviny k vnitřnímu povrchu integrátoru je rovna střední hodnotě osvětlenosti celého vnitřního povrchu  $\pi D^2$  kulového integrátoru o průměru  $D$ .



Obr. 4.12. Náčrt uspořádání integračního kulového fotometru

V místě okénka s měřicím čidlem odpovídá osvětlenost  $E$  pouze odraženým světelným tokům, tj. toku  $\Phi$ , a stanoví se ze vztahu

$$E = \frac{\Phi}{\pi D^2} = \frac{\rho}{\pi D^2(1-\rho)}\Phi_z = k_i\Phi_z \quad (4.8)$$

(lx; lm, m; m, lm; lm)

kde  $k_i$  je konstanta integračního fotometru

$$k_i = \frac{\rho}{\pi D^2(1-\rho)} \quad (\text{m}^{-2}; \text{m}) \quad (4.9)$$

Fotočlánek tedy indikuje hodnotu osvětlenosti  $E$ , která je přímo úměrná toku zdroje  $\Phi_z$ . Z rovnice (4.8) je patrné, že citlivost integračního kulového fotometru ovlivňuje jeho průměr  $D$  a činitel rovnoměrně rozptýlného odrazu  $\rho$ .

Obvykle se měří substituční objektivní metodou. Nejprve se umístí do integrátoru normál světelného toku a stanoví se konstanta zařízení. Pak se normál vyjme a místo něho se do koule umístí měřený zdroj. Údaj fotometru násobený konstantou zařízení udává světelný tok měřeného zdroje.

Jestliže se měří v integrátoru světelný tok celého svítidla nebo zdroje s většími nosnými částmi, dochází k určitému pohlcení a odstínění části světelného toku. V takovém případě je vhodné použít pro vyloučení stínícího vlivu pomocnou žárovku, zvanou korekční zdroj K (obr. 4.12). Ten bývá umístěn u stěny koule obvykle naproti výstupnímu okénku, přičemž je zakryt clonou  $C_2$ , aby neosvětloval přímo výstupní okénko ani měřený zdroj či svítidlo. Je vhodné, aby se světelný tok pomocné žárovky příliš nelišil od světelného toku měřeného zdroje, a musí být konstantní po dobu jednoho měření.

Postup měření s korekčním zdrojem je tento:

1. při rozsvíceném normálu a zhasnutém korekčním zdroji se na přístroji přečte údaj  $E_N$ ,
  2. při zhasnutém normálu a rozsvíceném korekčním zdroji – údaj  $E_{kN}$ ,
  3. při zhasnutém měřeném zdroji a rozsvíceném korekčním zdroji – údaj  $E_{kx}$ ,
  4. při rozsvíceném měřeném zdroji a zhasnutém korekčním zdroji – údaj  $E_x$ .
- Je-li světelný tok normálu  $\Phi_N$ , světelný tok měřeného zdroje  $\Phi_x$  se vypočítá ze vztahu

$$\Phi_x = \Phi_N \frac{E_x}{E_N} \frac{E_{kN}}{E_{kx}} \quad (4.10)$$

(lm; lm, lx, lx, lx, lx)

Ve vztahu (4.10) představuje poměr  $E_{kN}/E_{kx}$  korekci vlivu stínění neaktivních částí.

Obdobným postupem se může v integrátoru změnit i světelný tok svítidla. Pak je možné stanovit též účinnost svítidla jako poměr světelného toku vyzařovaného svítidlem ke světelnému toku zdrojů instalovaných ve svítidle.

Před začátkem měření světelného toku je třeba světelný zdroj nechat určitou dobu zahořet, aby se ustálily jeho světelnotechnické parametry. U výbojových zdrojů je tato doba dvacet i více minut.

Přesnost měření světelného toku v integrátoru je ovlivněna jednak vlastnostmi fotočlánku (závislost fotoproudu na osvětlenosti), jednak změnami teploty uvnitř integrátoru při déletrvajících měřeních. Linearita fotočlánku se má pravidelně kontrolovat a je třeba počítat s korekčními křivkami; vliv teplotních změn lze omezit tím, že se světelný zdroj zahořuje při otevřeném integrátoru a integrátor se zavírá na dobu vlastního měření. Vlastnosti vnitřního náteru integrátoru se rovněž časem poněkud mění, což by mohlo mít vliv u dlouhotrvajících měření (např. zkoušky životnosti zdrojů). Také výstupní okénko musí vyhovovat určitým požadavkům, např. jeho umístění se má krýt co nejpřesněji s vnitřním povrchem integrátoru. Rovněž clony, které brání přímému dopadu světla na fotočlánek, mají mít určité geometrické rozměry, např. clona  $C_1$  má mít průměr asi  $D/3$  a její vzdálenost od výstupního okénka má být  $D/6$ , kde  $D$  je průměr integrátoru.

Při srovnávacích měřeních se žárovkami a vysokotlakými výbojkami musí být teplota okolí kulového integrátoru v rozmezí 22 až 27 °C, při provozních měřeních 18 až 29 °C. Zářivky se měří při okolní teplotě integrátoru  $25 \pm 1$  °C v prostředí bez průvanu. Žárovky a ruťové vysokotlaké výbojky se měří v poloze svislé, patičí nahoru, sodíkové vysokotlaké výbojky a zářivky v poloze vodorovné tak, aby jejich podélná osa ležela na spojnici středu koule se středem fotočlánku.

#### 4.8 Měření integrálních charakteristik světelného pole

Metodika měření světelného vektoru vychází ze skutečnosti, že průmět světelného vektoru do směru normály k určité rovině je roven rozdílu osvětleností obou stran této roviny. Při měření se využívají dva stejné, zadní stranou k sobě připevněné fotočlánky zapojené tak, aby měřily rozdíl jejich osvětleností. Nejčastěji se však světelný vektor stanovuje určením jeho průmětu do zvolených tří os pravouhelné souřadnicové soustavy.

Střední kulová a válcová osvětlenost se měří přístroji [4.2] vybavenými obdobně jako luxmetry, ovšem kosinusové ná-

stavce jsou nahrazeny zvláštními nástavci z difuzně propouštějícího materiálu. Tvar nástavců odpovídá typu modelového přijímače, resp. měřené integrální charakteristice.

Podle [4.3] se zmíněné speciální nástavce pro měření skalárních integrálních charakteristik z hlediska přesnosti měření člení obdobně jako luxmetry do čtyř tříd přesnosti označených L, A, B a C. Přípustné chyby speciálních nástavců pro měření střední kulové osvětlenosti jsou pro třídu L a A do 10 %, pro třídu B do 15 % a pro třídu C do 20 %. Maximální dovolené chyby nástavců pro měření střední válcové osvětlenosti jsou pro třídu L a A 5 %, pro třídu B 10 % a pro třídu C 15 %.

Vzhledem k tomu, že střední kulová osvětlenost je rovna střední hodnotě osvětlenosti povrchu koule, lze  $E_{4\pi}$  též určit přibližně jako střední hodnotu osvětleností naměřených ve vybraných tečných rovinách k povrchu modelového kulového přijímače. V některých případech postačuje uvažovat střední hodnotu jen ze šesti hodnot osvětleností naměřených v rovinách kolmých k osám +x, -x, +y, -y, +z, -z zvoleného pravouhelného souřadnicového systému.

Střední válcovou osvětlenost je také možné stanovit jako střední hodnotu osvětlenosti všech svislých rovin v daném bodě. Tyto osvětlenosti lze snadno změnit otáčením fotočlánku svisle umístěného v kontrolním bodě pole. Pro běžnou praxi postačuje měřit vertikální osvětlenosti po 30° a z naměřených dvanácti hodnot stanovit aritmetický průměr.

Velmi dynamický rozvoj techniky v oblasti fotoelektrických článků a vyhodnocovacích elektronických systémů umožnil, aby se při měření integrálních charakteristik mohly využívat fotočlánky s relativně malým průměrem přijímací plochy, např. 10 mm. Díky tomu byly vyvinuty nové, rozměrově menší a praktičtější nástavce pro měření jednotlivých veličin. Například průměr nového přijímače pro měření střední kulové osvětlenosti nedosahuje 5 cm nebo výška přijímací plochy válečku pro měření střední válcové osvětlenosti je asi jen 4 cm.

#### 4.9 Nejistota měření

Přesnost měření, tj. míra souhlasu naměřené hodnoty s pravou (skutečnou) hodnotou sledované veličiny, byla dříve určována chybou měření, tedy rozdílem mezi výsledkem měření a pravou (skutečnou) hodnotou sledované veličiny. Vzhledem k tomu, že pravá hodnota veličiny není známa, nelze určit ani chybu měření. Aby při měřeních byla k dispozici alespoň určitá vztažná hodnota, zavádí se tzv. *konvenčně pravá hodnota*, což je hodnota sledované veličiny, která pro daný účel nahrazuje její pravou hodnotu,

např. hodnota referenčního etalonu aj. V souvislosti s tím se pak hovoří o *absolutní chybě měření*, rovné rozdílu mezi naměřenou hodnotou a konvenčně pravou hodnotou veličiny.

Chyba měření se dělí na chybu náhodnou (složka chyby měření, která se při opakovaných měřeních nepředvídatelně mění) a na chybu systematickou (zůstává při opakovaných měřeních stálá nebo se mění předvídatelným způsobem). Systematická chyba se skládá ze systematické chyby měřicího zařízení (měřidla) a ze systematické chyby metody. Systematické chyby měřidla se určují porovnáváním jeho údajů s etalonem, tedy *kalibrací*. Dokladem o kalibraci je *kalibrační list*, který obsahuje hodnoty systematických chyb měřidla a informace o nejistotě jejich určení. Na základě údajů v kalibračním listu lze některé složky systematické chyby přístroje korigovat buď přičtením korekce k výsledku měření, nebo jeho vynásobením korekčním činitelem. I přesto, že by se podařilo odhalit všechny zdroje systematických chyb a tyto chyby korigovat, zůstala by určitá pochybnost (nejistota) o tom, do jaké míry se zjištěný korigovaný výsledek shoduje s pravou hodnotou měřené veličiny.

V současnosti se proto přesnost měření vyjadřuje právě **nejistotou** měření. Jde o parametr, který se přidružuje k výsledku měření a který udává interval hodnot okolo výsledku měření, v němž lze s určitou pravděpodobností očekávat výskyt právě hodnoty měřené veličiny.

Základní charakteristikou nejistoty je standardní nejistota ( $u$ ) vyjádřená hodnotou směřodatné odchylky. Standardní nejistota se udává v hodnotách měřené veličiny (*absolutní standardní nejistota*) nebo poměrem absolutní nejistoty a hodnoty příslušné veličiny (*relativní standardní nejistota*).

Pro jeden z možných zdrojů chyby měření (pro jednu z možných příčin nejistoty) se standardní nejistota může stanovit a) statistickou analýzou série naměřených hodnot, tedy z opakovaných měření stejné veličiny; v takovém případě je výsledkem standardní nejistota *typu A*, b) jinými způsoby; výsledkem je standardní nejistota *typu B*.

Příčiny nejistot typu A jsou neznámé, a proto se vyčíslují statistickým zpracováním souboru naměřených hodnot. Například při  $n$  opakovaných měřeních (při tom by mělo být  $n > 20$ ) určité veličiny  $X$  se získá  $n$  naměřených hodnot  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_n$ . Aritmetický průměr  $\bar{x}$  z naměřených hodnot se určí z výrazu

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.11)$$

Standardní nejistota  $u_{Ax}$  typu A udaná v procentech a vztažená ke zjištěné-



mu aritmetickému průměru  $\bar{x}$  se stanoví s využitím výběrové směrodatné odchylky střední hodnoty z rovnice

$$u_{Ax} = \frac{100}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.12)$$

Nejistotami typu B se obvykle charakterizují známé příčiny chyb s určitou pravděpodobností jejich výskytu okolo pravé, resp. konvenčně pravé hodnoty. K takovým příčinám nejistot metody měření patří např. nepřesné umístění fotočlánku v kontrolním bodě, nesprávné umístění čidla do vodorovné polohy aj. Co se týče rozdělení odchylek, nejčastěji se uvažuje rozdělení normální (Gaussovo) nebo rovnoměrné (pravoúhlé). Normální rozdělení přichází v úvahu, pokud je sledovanou chybou zatížen jen malý počet měření. Není-li však možné v rámci daného intervalu předpokládat soustředění odchylek a zmíněná chyba se může v daném intervalu vyskytnout kdekoliv, uvažuje se rozdělení rovnoměrné.

Určuje-li se pro konkrétní zdroj chyby nejistota  $u_B$  typu B, vychází se z maximální velikosti  $z_{\max}$  (%) chyby (např. největší dovolená chyba uvedená v dokumentaci, největší předpokládaná odchylka v nastavení fotočlánku aj.), jejíž překročení se v uvažovaném intervalu nepředpokládá, a nejistota  $u_B$  se vypočítá ze vztahu

$$u_B = z_{\max}/\chi \quad (4.13)$$

kde  $\chi$  je činitel daný pravděpodobností statistického rozdělení uvažované chyby. Při normálním rozdělení se volí  $\chi = 2$ , je-li překročení  $z_{\max}$  málo pravděpodobné, nebo  $\chi = 3$ , je-li  $z_{\max}$  nepřekročitelné. Pro rovnoměrné rozdělení je  $\chi = \sqrt{3}$ .

Výsledná kombinovaná standardní nejistota  $u_C$  (%) se podle Gaussova principu šíření nejistot stanoví sloučením všech dílčích nejistot, ať již typu A či typu B, zjištěných pro jednotlivé uvažované zdroje chyb, ze vztahu

$$u_C = \sqrt{(u_{A1})^2 + (u_{A2})^2 + (u_{A3})^2 + \dots + (u_{B1})^2 + (u_{B2})^2 + (u_{B3})^2 + \dots} \quad (4.14)$$

Pravděpodobnost, že rozdíl mezi naměřenou a pravou (skutečnou) hodnotou nepřekročí určenou standardní nejistotu, závisí na rozdělení chyb. Při normálním rozdělení chyb je tato pravděpodobnost 68,3 % a při rovnoměrném rozdělení 57,7 %. Pro použití v praxi jsou však uvedené hodnoty pravděpodobnosti nízké. Požaduje-li se pravděpodobnost podstatně vyšší, udává se rozšířená standardní nejistota  $U$ , která se stanoví z výrazu

$$U = k_U u_C \quad (4.15)$$

kde činitel  $k_U$  rozšíření se obvykle volí  $k_U = 2$ . V takovém případě je pravděpodobnost, že pravá hodnota leží v intervalu (naměřená hodnota –  $U$ , naměřená hodnota +  $U$ ), při normálním rozdělení chyb 95,5 %

a při rovnoměrném rozdělení chyb téměř 100 %. Udávané hodnoty nejistot se zaokrouhlují na dvě platné číslice, přičemž se dává přednost zaokrouhlování nahoru.

#### Literatura:

- [4.1] HELBIG, E.: *Lichtmeßtechnik*. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1977.
- [4.2] KROCHMANN, J.: *Über ein neues Raumbelichtungs-Meßgerät*. Lichttechnik, 1964, č. 4.
- [4.3] Mezinárodní doporučení CIE *Illuminance Meters and Luminance Meters*. 1983.
- [4.4] ČSN IEC 50 (845) *Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 845: Osvětlení*. 1996.
- [4.5] ČSN EN 12665 *Světlo a osvětlení – Základní pojmy a kritéria pro stanovení požadavků osvětlení*. 2002.
- [4.6] ČSN 36 0011 *Měření osvětlení vnitřních prostorů (1. část Základní ustanovení, 2. část Měření denního osvětlení, 3. část Měření umělého osvětlení)*. 2005.
- [4.7] ČSN EN 12464 *Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. 2002.
- [4.8] ČSN EN 13032 *Světlo a osvětlení – Měření a způsob uvádění fotometrických údajů světelných zdrojů a svítidel – Část 1: Měření a formát souboru. Část 2: Údaje pro vnitřní a vnější pracovní prostory*. 2005.
- [4.9] ČSN EN 13201 *Osvětlení pozemních komunikací. Část 2: Požadavky. Část 3: Výpočet. Část 4: Metody měření osvětlení*. 2005.
- [4.10] *Photometry – The CIE system of Physical Photometry*. CIE, 2004.

Recenze: doc. Ing. Josef Linda, CSc.



## myslíme nabudoucnost

www.ekolamp.cz

za výrobce a dovozce osvětlovací techniky plníme jejich povinnosti ze zákona o odpadech zajišťujeme sběr, svoz a recyklaci použitých světelných zdrojů a svítidel ekolamp – příležitost ke zlepšení životního prostředí

# ekolamp