

Základy světelné techniky (4)

Základy fotometrie (1. část)

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

4. Základy fotometrie

Při měření světelnotechnických veličin se zjišťují, popř. ověřují světelnotechnické parametry různých zařízení a přístrojů, zejména světelných zdrojů, svítidel a osvětlovacích soustav. Může jít o ověřování kvality zařízení nových i určitou dobu již provozovaných. Podle účelu měření a požadavků na jejich přesnost se fotometrická měření dělí [4.6] podle tab. 4.1.

Metody měření světelnotechnických veličin lze rozdělit na **vizuální** (subjektivní metody), při kterých se jako indikátor využívá zrak, a na **fyzikální** (objektivní), při kterých se měří fyzikálními čidly. V současné době je všeobecně požadováno, aby provozní měření světelnotechnických veličin byla poměrně snadná a rychlá. Proto se dává přednost měřením fyzikálními, při nichž se využívají relativně přesné přístroje vybavené kvalitními fotoelektrickými články.

4.1 Fotoelektrické články

Funkce lidského zraku jako přijímače záření při vizuálních měřeních se v objektivní fotometrii nahrazuje fyzikálními čidly; tím se vylučuje závislost měření na dokonalosti zraku pozorovatele. Fyzikálními čidly mohou teoreticky být emisní fotonky, fotoelektrické násobiče i fotorezistory. V praxi se ale nejčastěji používají fotočlánky hradlové (převážně křemíkové, dříve též selenové), které jsou založeny na principu ventilového fotoefektu.

Základní deska hradlového fotočlánku je železná, popř. hliníková. Vrstva polovodiče (křemíku, dříve též selenu) je pokryta průsvitnou vodivou vrstvičkou platiny, stříbra nebo zlata (viz obr. 4.1). Někdy je na vrstvu polovodiče nanášena nejprve vrstva kadmia, které při katodickém naprašování částečně oxiduje, a teprve potom se fotočlánek opatřuje průsvitnou kovovou vrstvou. Po obvodu fotonky je sběrný kroužek pro odvádění elektrického proudu. Po ozáření vznikne mezi kovovou podložkou a vrstvou polovodiče rozdíl potenciálů a uzavřeným obvodem protéká proud, jenž se měří např. galvanometrem.

Fotočlánky musí vyhovovat množství podmínek. Zejména je třeba, aby se průběh křivky spektrální citlivosti fotočlánku co nejvíce shodoval s křivkou $V(\lambda)$ spektrální citlivosti normálního fotometrického pozorovatele. To je zvláště důležité pro měření výbojových zdrojů světla s čárovým nebo kombinovaným spektrem.

Spektrální rozložení poměrné citlivosti nekorigovaného fotočlánku (viz obr. 4.2:

liže je druh měřeného světla shodný se světlem použitým při cejchování přístroje. Je-li měřené světlo jiného druhu, je nutné naměřené hodnoty násobit korekčním činitelem. Přepočítávání není zapotřebí, vybaví-li se fotočlánek korekčními filtry, které zajistí přizpůsobení křivky citlivosti fotočlánku křivce citlivosti oka (obr. 4.2: např. křivka $Se(k)$).

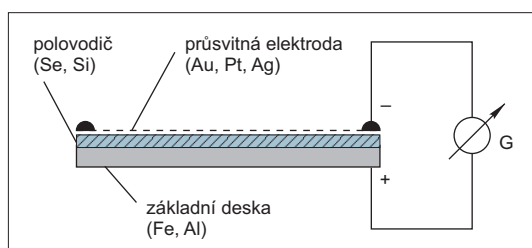
Závislost fotoelektrického proudu na světelném toku dopadajícím na fotočlánek je při obvyklém zapojení a odporu vnějšího obvodu fotočlánku větším než 500Ω u křemíkových (resp. 100Ω u selenových – obr. 4.3) fotočlánků nelineární. Teoreticky se linearitu dosahuje při nulovém odporu vnějšího obvodu článku. Pro zmenšení celkové chyby měření se proto již běžně využívá kompenzační zapojení s měřením fotoelektrického proudu článku nakrátko.

Při déletrvajících měřeních se může projevit tzv. únava fotočlánku (zejména selenových), a to obvykle poklesem fotoproudu při konstantní osvětlenosti. Vyžaduje-li se větší přesnost měření, je třeba fotočlánky ověřovat po půlhodině až jedné hodině.

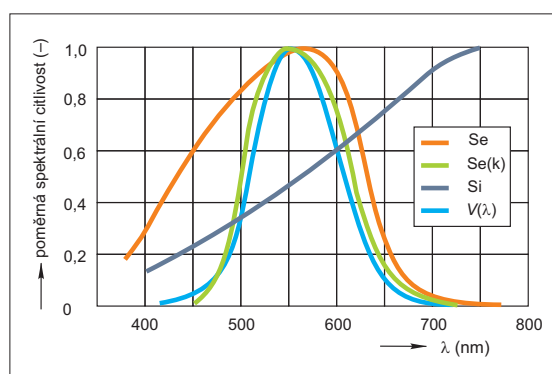
Křemíkové fotočlánky jsou z tohoto hlediska stabilnější.

Proud hradlového fotočlánku též závisí na teplotě okolí, ale u křemíkových článků je tato závislost téměř zanedbatelná (při změně teploty okolí v rozmezí 25 až 50 °C bývá změna fotoproudu menší než $\pm 1\%$).

Proud některých fotočlánků rovněž závisí na kmitočtu kolísání světelného toku zdrojů. To se může projevit při měření výbojových zdrojů světla napájených střídavým proudem síťové frekvence. Při využití elektronických předřadníků zajišťujících napájení světelných zdrojů proudem vysoké frekvence (např. 30 kHz i vyšší) se již zmíněný vliv neprojevuje.



Obr. 4.1. Náčrt konstrukčního uspořádání hradlového fotoelektrického článku



Obr. 4.2. Příklady průběhů poměrné spektrální citlivosti hradlových fotočlánků v porovnání s poměrnou spektrální citlivostí $V(\lambda)$ normálního fotometrického pozorovatele při denním vidění Se – nekorigovaný selenový fotočlánek, Si – nekorigovaný křemíkový fotočlánek, $Se(k)$ – běžně korigovaný selenový fotočlánek

křivka Se_c – selenový fotočlánek, křivka Si_c – křemíkový fotočlánek) je odlišné od průběhu poměrné spektrální citlivosti oka normálního pozorovatele (křivka $V(\lambda)$). Měří-li se proto přístrojem s nekorigovaným fotočlánkem, jsou údaje přečtené na měřicím přístroji rovny skutečným hodnotám osvětlení jen tehdy, jest-

Tab. 4.1. Rozdělení měření světelnotechnických parametrů podle jejich přesnosti

Typ měření	Odhad rozšířené nejistoty U (%)	Příklady
přesná	$U \leq 8$	tvorba etalonů, kalibrace přístrojů, laboratorní měření
provozní	$8 < U \leq 14$	ověřování parametrů zdrojů, svítidel a osvětlovacích soustav
orientační	$14 < U \leq 20$	kontrola funkce osvětlovacího zařízení

Pozn.: O nejistotách viz odstavec 4.9.

Fotočlánky se kalibrují pro kolmý dopad světla. Při šikmém dopadu světla při konstantní svítivosti zdroje a stejné vzdálenosti zdroje od místa měření je osvětlenost úměrná kosinu úhlu dopadu. U obvyklých fotočlánků byly však zjištěny odchylky od tohoto zákona, a to zvláště při úhlech dopadu větších než 30° (obr. 4.4). Chyba je způsobena částečným zrcadlovým odrazem, sníženou propustností horní vrstvy, polarizací i cloněním okraje fotočlánku obrubou. Směrová (úhlová) chyba se odstraňuje tzv. **kosinusovým nástavcem** např. ve tvaru kulového vrchlíku z rozptýlného skla.

4.2 Měření osvětlenosti

Měření osvětlenosti je v praxi nejčastějším úkolem, a to jak ve fotometrických laboratořích, tak i při objektivním ověřování rozložení hladin osvětlenosti v různých osvětlovacích soustavách. K měření osvětlenosti se používají objektivní přístroje, **luxmetry**, které se skládají z přijímače s korigovaným (nejčastěji křemíkovým) fotočlánkem, opatřeným kosinusovým nástavcem, a z měřicího a vyhodnocovacího systému s digitálním nebo analogovým indikátorem.

Běžně se luxmetry zařazují do čtyř tříd přesnosti označovaných číslicemi 1, 2, 3, 4, popř. podle mezinárodních doporučení [4.3] písmeny L, A, B, C. Uvedeným třídám odpovídají největší dovolené souhrnné chyby f_c luxmetrů 2, 5, 10 a 20 %.

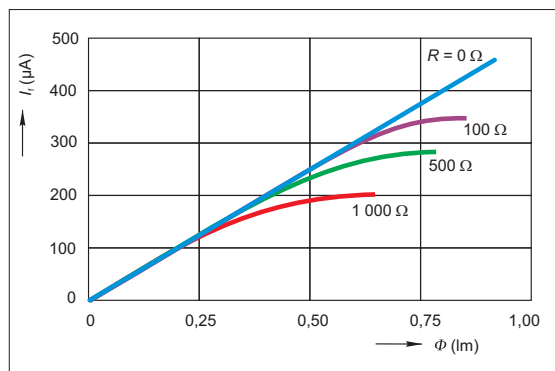
Při tom se sleduje celkem jedenáct možných druhů chyb. Patří k nim zejména chyba spektrální (vzniká při měření osvětlenosti světlem jiného spektrálního složení, než které bylo použito při kalibraci luxmetru), chyba úhlová či směrová, chyba vlivem odchylky spektrální citlivosti čidla od křivky $V(\lambda)$, chyba linearit, chyba vyplývající z citlivosti fotonky na záření UV a IC a další.

Luxmetry třídy přesnosti L a A se využívají jako sekundární etalony a pro přesná laboratorní měření. Pro běžná provozní měření osvětlenosti postačují přístroje s třídou přesnosti B, popř. C.

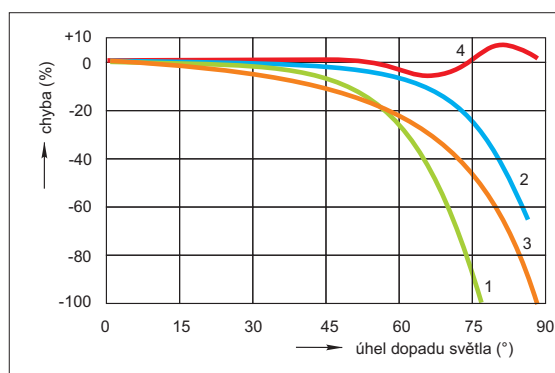
Indikátor luxmetru musí být opatřen korektorem umožňujícím nastavit nulu. Má-li luxmetr vlastní napájecí zdroj, musí být možné průběžně kontrolovat napětí tohoto zdroje. Luxmetr musí na každém rozsahu snést přetížení 20 % měřicího rozsahu, a to po dobu 5 min. Za normálních podmínek musí být životnost luxmetrů minimálně 5 000 provozních hodin. Frekvenční rozsah pro všechny třídy přesnosti luxmetrů je v mezích od 40 do 10⁵ Hz.

Před započítáním měření je třeba fotočlánky po dobu 5 až 15 min ponechat odkryté ve světelném prostředí, v němž se bude měřit, aby se čidla daným podmínkám přizpůsobila a stabilizovala se.

Vzhledem k tomu, že se v průběhu používání luxmetrů mohou jejich parametry, zejména vlastnosti fotočlánků, měnit, je zapotřebí přístroje pravidelně kalibrovat. Například kalibrace přístrojů pro přesná měření platí maximálně dva roky, přístrojů pro provozní měření maximálně tři roky. Přístroje určené k orientační-



Obr. 4.3. Závislost fotoproudů selenového fotočlánku na odporu jeho vnějšího obvodu



Obr. 4.4. Chyby různých fotočlánků v závislosti na úhlu dopadu světla:

1 - fotočlánek s přečnávající obrubou, 2 - fotočlánek bez obruby, 3 - fotočlánek s korekčním filtrem, 4 - fotočlánek s kosinusovým nástavcem

mu měření postačí kalibrovat v intervalu pěti let.

Luxmetry určené pro provozní měření bývají většinou konstruovány s dostatečně dlouhým stíněným kabelem spojujícím pouzdro s fotočlánkem s vlastním měřicím přístrojem; tím je zajištěno, že výsledky měření při čtení údajů nejsou nevhodně ovlivněny. Je-li fotočlánek zabudován přímo v pouzdru měřicího přístroje, je třeba, aby byl přístroj vybaven dálkově ovládanou fixací naměřené hodnoty. Jinak je obtížné zabránit tomu, aby pracovník, který údaje čte, neovlivnil měření, např. zastíněním čidla, popř. dalších světelně činných ploch atd.

Nejsou-li malé kapesní luxmetry takto upraveny, lze je použít skutečně jen pro orientační měření. Podobné malé luxmetry jsou též základem expozimetrů používaných ke zjišťování potřebné doby osvětlení při fotografování.

Příkladem přístroje určeného k provoznímu měření osvětlenosti je digitální luxmetr PU 550 s rozsahy 20 lx, 200 lx, 2 000 lx, 20 klx a 100 klx, vyráběný firmou Metra Blansko (obr. 4.5). Přístroj je vybaven korigovanou křemíkovou fotodiódou opatřenou kosinusovým nástavcem. Lze ho zařadit do třídy přesnosti C.

Příkladem přesného, komplexněji zaměřeného laboratorního přístroje je např. radiometr a luxmetr typu 211 německé firmy PRC Krochmann (obr. 4.6) s korigovanými čidly a nástavci k měření jak osvětlenosti rovinné plochy (v rozsahu 0,001 lx až 200 klx), tak střední kulové, válcové i poloválčové osvětlenosti a s využitím speciálních čidel rovněž k měření ozáření v oblasti záření UV-A, UV-B, UV-C (0,001 až 200 kW·cm⁻²).

Při měření osvětlenosti je třeba dbát na to, aby nebyl překročen rozsah měřicího přístroje a aby (zejména u starších typů přístrojů) čidlo nebylo ozářeno nedovoleným světelným tokem. U luxmetrů s několika rozsahy a ručkovými měřicími přístroji se doporučuje neodečítat údaje v rozsahu do jedné pětiny stupnice, aby se takto nezvyšovala (již tak dost vysoká) nejistota měření.

Výsledky měření osvětlenosti jsou ovlivněny i mnoha dalšími faktory. Zvláště je třeba brát v úvahu změny světelného toku zdrojů v závislosti na změnách napájecího napětí, na teplotě okolí a na době jejich provozu, ale i míru znečištění světelně činných ploch, a to jak svítidel, tak i osvětlovaného prostoru.

Měřením se kontrolují hodnoty osvětlenosti v bodech pracovní či srovnávací roviny (nejčastěji se uvažuje vodorovná rovina ve výši 0,85 m nad podlahou ve vnitřních prostorech a obvykle nejvýše 20 cm nad povrchem ve venkovních prostorech), a to jednak u nového zařízení (nová svítidla a zdroje, nově vymalováno, nové vybavení) a jednak u zařízení v běžném provozu. Při měření nového zařízení musí být svítidla i světelné zdroje čisté, nepoškozené a musí odpovídat projektu. Svítidla i zdroje musí být instalovány ve správné poloze.

S ohledem na vlastnosti světelných zdrojů je třeba při měření osvětlenosti dodržovat především tyto zásady:

1. Nové zářivky a výbojky musí před měřením celkem svítit alespoň 100 h a nové žárovky alespoň 6 h (při jme-

novitěm napětí), neboť vlivem stárnutí zdroje klesá světelný tok. V záznamu o měření se uvádí, kolik hodin celkem byly již světelné zdroje v provozu.

2. Pro dostatečné zahoření zdrojů se osvětlenost v soustavách s výbojovými zdroji měří asi po 20 min nepřetržitého provozu. U uzavřených zářivkových svítidel může být stabilizace i delší. Fotočlánky je třeba před měřením osvětlit po dobu 5 až 15 min přibližně stejnými hladinami osvětlenosti, jaké budou měřeny.
3. Světelný tok zdrojů se mění s teplotou okolí (zejména u zářivek). Proto je třeba vždy udát, při jaké teplotě okolí se měřilo.
4. Světelný tok zdrojů se mění s napájecím napětím. Proto se při měření musí kontrolovat i napětí (odečítat se nejlépe současně s údaji o osvětlenosti). Naměřené hodnoty osvětlenosti se korigují v závislosti na odchylce skutečného napětí U od jeho jmenovité hodnoty U_N podle údajů výrobce. Nejsou-li tyto údaje k dispozici, násobí se naměřené hodnoty osvětlenosti korekčním činitelem k_U , který se vypočítá z výrazu

$$k_U = \left(\frac{U}{U_N} \right)^c \quad (-; V, V) \quad (4.1)$$

kde c je exponent závislý na druhu zdroje (pozn.: nemusí být stejný v celé oblasti odchylek U od U_N). Obvykle udávané orientační průměrné hodnoty exponentu c jsou pro některé druhy světelných zdrojů uvedeny v tab. 4.2.

Světelný tok závisí i na znečištění svítidla, a proto je v protokolu zapotřebí tento stav uvést.

Tab. 4.2. Průměrné hodnoty exponentu c

Světelný zdroj		c
žárovka pro všeobecné osvětlování		3,6
zářivka	zapojení duo	1,4
	indukční zapojení	0,6
	kapacitní zapojení	1,0
rtuťová vysokotlaká výbojka		2,5
halogenidová výbojka		3,0
vysokotlaká sodíková výbojka		1,7
nízkotlaká sodíková výbojka		0,0

Při měření umělého osvětlení ve vnitřních prostorech je nutné vyloučit vliv denního světla, proto se měří po setmění nebo při zatmění oken a světlíků.

Při měření osvětlenosti v interiérech je zapotřebí z naměřených hodnot stanovit místně průměrnou hladinu osvětlenos-



Obr. 4.5. Digitální provozní luxmetr typu PU 550 Metra Blansko

Ve vybavených pracovních prostorech se osvětlenost měří na všech místech zrakových úkolů, tj. tam, kde se nacházejí hlavní předměty zrakové činnosti (pracovní stoly, stroje apod.). Průměrná hodnota osvětlenosti se opět vypočítá jako aritmetický průměr všech naměřených hodnot. Průměrná hodnota osvětlenosti se vypočítává pro ta místa zrakových úkolů, pro která je předepsána stejná hodnota osvětlenosti.

V praxi se vyskytuje množství prostorů, v nichž při hodnocení osvětlení nemá význam pracovat s průměrnou hladinou osvětlenosti, např. tam, kde jsou instalovány vysoké stroje či kde se rozměrná zařízení vyrábějí apod. V takových případech se osvětlenosti měří pouze v místech, kde pracovníci vykonávají určitou činnost.

Často je celkové osvětlení doplňováno místním přisvětlením. K vystižení podmínek osvětlení je pak zapotřebí měřit osvětlenost na konkrétním pracovním místě za přítomnosti pracovníka v jeho obvyklé pracovní pozici. Důležité je, aby se fotočlánek luxmetru umístil na skutečnou



Obr. 4.6. Přesný digitální luxmetr a radiometr typu 211 firmy PRC Krochmann s čidly: zleva tři čidla pro měření ozářenosti v UV oblasti, uprostřed fotočlánek luxmetru pro měření osvětlenosti rovinné plochy (přijímací ploška s kosinusovým nastavením je chráněna krytem) a na pravé straně speciální nastavec s fotonkami pro měření střední poloválčové, válcové a kulové osvětlenosti

ti. Je proto nutné zachovat určitý postup a dílčí měření vykonávat ve vhodně zvolených kontrolních bodech. Ve vnitřních prostorech se osvětlenost měří [4.6] v pravidelné čtvercové síti kontrolních míst.

V prázdných místnostech nebo v jejich funkčně vymezených částech se půdorys rozdělí na dílčí plochy o straně přibližně 1 až 2 m (výjimečně u rozsáhlých ploch i 6 m) a osvětlenost se měří v úrovni srovnávací roviny uprostřed každé dílčí plochy. Průměrná osvětlenost je pak rovna aritmetickému průměru všech naměřených hodnot.

Jestliže se síť kontrolních bodů shoduje se sítí svítidel celkového osvětlení, je třeba počet kontrolních míst zvýšit, aby nevznikly větší chyby. Počet kontrolních bodů se běžně zvětšuje i proto, aby síť těchto bodů odpovídala tvaru měřené místnosti.

pracovní rovinu, která nemusí být ani horizontální, ani vertikální, ale může být obecně nakloněná.

Osvětlení venkovních prostorů, včetně komunikací, se měří za suchého počasí, bez sněhové pokrývky a pokud možno za čistého ovzduší. Světlo výkladních skříní apod. se vyloučí např. vhodným zastíněním fotočlánku. Na komunikacích se měří v pravidelné síti kontrolních míst ve vodorovné rovině ve výšce do 20 cm nad povrchem vozovky, přičemž umístění fotočlánku do vodorovné polohy se zajišťuje např. křížovým (tzv. kardanovým) kloubem. Rozložení kontrolních bodů se volí tak, aby byla pokryta celá plocha jednoho prvku osvětlovací soustavy. U směrově rozdělených komunikací postačuje proměřit osvětlenosti jen na jedné straně komunikace.

V příčném směru k ose komunikace běžně stačí měřit ve třech bodech v kaž-

dém jízdním pruhu. Rozteč kontrolních bodů v příčném směru je pak rovna jedné šestině šířky celé komunikace. Vzdálenost prvního kontrolního bodu od okraje vozovky je přitom rovna poloviční rozteči kontrolních míst, tj. jedné dvanáctině šířky komunikace.

V podélném směru komunikace se volí maximální rozteč kontrolních míst 5 m. Při rozteči světelných míst do 50 m tedy obvykle stačí volit v podélném směru mezi dvěma světelnými místy deset kontrolních míst. Průměrná hodnota osvětlenosti se stanovuje jako aritmetický průměr hodnot osvětlenosti naměřených v jednotlivých kontrolních bodech.

Protokol a zpráva o měření musí obsahovat označení a charakteristiku kontrolovaného prostoru, účel měření a jeho přesnost (včetně odhadu nejistoty měření), popis a náčrt osvětlovací soustavy s vyznačením svítidel a kontrolních míst, údaje o použitých světelných zdrojích a svítidlech s uvedením jejich provozního stavu, dále popis způsobu měření, údaje o napájecím napětí a teplotě okolí v průběhu měření, naměřené a korigované hodnoty osvětlenosti zpracované tabulárně (popř. zaznamenané do výkresů), porovnání výsledků měření (u nových soustav po vynásobení udržovacím činitelem uvažovaným v projektu) s požadavky norem, zhodnocení výsledků měření s přihlédnutím k nejistotám měření a s uvedením, zda soustava vyhovuje platným normám, resp. zda zjištěné parametry odpovídají projektu, popř. se uvede návrh na úpravu osvětlovací soustavy, a soupis použitých přístrojů s údaji o jejich přesnosti a kalibraci. V závěru nesmí chybět datum měření a jména pracovníků, kteří měření prováděli nebo byli při měření přítomni, a rovněž podpis osoby odpovědné za měření.

Při zpracovávání výsledků měření se z naměřených hodnot určí místně průměrná hodnota osvětlenosti a ověří se, zda odpovídá předepisovaným hladinám s přihlédnutím k době provozu soustavy, ke stavu svítidel, zdrojů atd. Většinou se určuje i minimální, popř. maximální hodnota osvětlenosti a posuzuje se dodržení požadavků na rovnoměrnost osvětlení. Určuje se také měrný příkon osvětlovací soustavy, a to pro vnitřní prostory v $\mathbf{W \cdot m^{-2}}$ a na komunikacích ve $\mathbf{kW \cdot km^{-1}}$. Výsledky měření umožňují stanovit také činitel využití osvětlovací soustavy jako poměr světelného toku dopadajícího na srovnávací rovinu k souhrnnému světelnému toku všech instalovaných světelných zdrojů. Po zhodnocení výsledků dobře provedených měření je možné doporučit nejen případné změny světelných zdrojů, svítidel, doplnění počtu svítidel či změnu jejich rozmístění, ale též úpravu způsobu a intervalu údržby osvětlovací soustavy.

Při závěrečném zhodnocení výsledků fotometrické kontroly určitého světelně-

technického parametru (např. P) se podle [4.6] posoudí, zda naměřená a zkorrigovaná hodnota (např. P_k) sledovaného parametru P včetně celého intervalu $\pm U$ rozšíření nejistoty měření je:

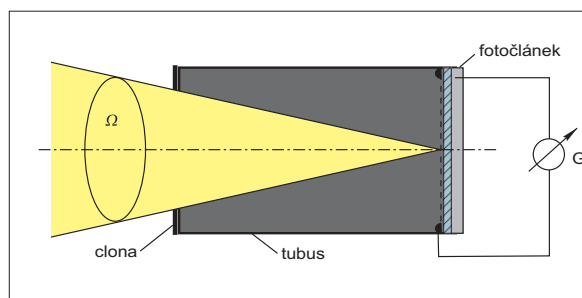
- nad požadovanou limitní hodnotou (např. P_m) parametru, tj. platí-li $P_m < (P_k - U)$, stav zařízení je z hlediska parametru P *vyhovující*,
- pod limitem, tzn. když $(P_k + U) < P_m$, stav zařízení je z hlediska parametru P *nehovující*.

Aby bylo možné zaujmout i v ostatních případech (kdy např. $P_m < P_k$, ale $(P_k - U) < P_m$, apod.) jednoznačné stanovisko, je třeba buď zpřesnit postup ověřování, nebo vhodnými úpravami dosáhnout snížení nejistoty měření, popř. zvolit i další kritéria či metody hodnocení.

4.3 Měření jasu

Nejjednodušší princip řešení objektivního jasoměru je načrtnut na obr. 4.7.

Na přijímač je nasazen tubus, uvnitř černý, vpředu opatřený clonkou s kruho-



Obr. 4.7. Princip objektivního jasoměru

vým otvorem. Takto je vymezen prostorový úhel Ω , v němž dopadají paprsky z měřené plochy na přijímač (fotočlánek). V popsaném uspořádání se fotočlánek změří normálová osvětlenost E_N přijímací plochy čidla. Střední jas L plochy vymezené prostorovým úhlem Ω na sledovaném povrchu se určí ze vztahu

$$L = E_N / \Omega \text{ (cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{ lx, sr)} \quad (4.2)$$

Při měření jasu je třeba mít vždy na zřeteli, že se jasoměrem zjišťuje střední hodnota jasu měřené plochy, kterou vymezuje optika přístroje v závislosti na vzdálenosti jasoměru od měřené plochy. Proto je nutné dbát na to, aby měřená plocha zahrnovala pouze povrch, jehož jas se hodnotí. U běžných objektivních jasoměrů toto není problém, neboť se okolí měřené plochy pozoruje v okuláru a měřená oblast je v zorném poli vyznačena např. tmavým kroužkem.

Podle velikosti plochy, jejíž jas se vyhodnocuje, resp. podle velikosti clon ur-

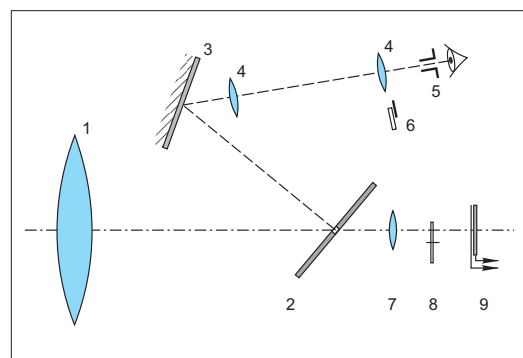
čujících zorný úhel přístroje, se rozlišují jasoměry *bodové*, kterými lze měřit jas velmi malých plošek (pozorovaných např. pod úhlem 6°), a *integrační*, jimiž se zjišťuje jas mnohem větších ploch (pozorovaných např. pod úhlem 2°).

Jasy ploch důležitých pro vidění se měří bodovými jasoměry v kontrolních bodech umístěných tak, aby bylo možné posoudit rozložení jasu v zorném poli uživatele prostoru při běžném směru jejich pohledu a obvyklé výšce očí pozorovatele (nejčastěji se uvažuje u stojící osoby 150 cm, u sedící osoby 120 cm).

Zejména se měří jas pozorovaného předmětu (detailu), jas ploch předmět bezprostředně obklopujících, jas vzdálených ploch (např. stěn, podlahy, stropu a dalších světelně aktivních ploch atd.) a rovněž jasy svazků paprsků odražejících se od velmi jasných částí povrchů, které mohou nepříznivě ovlivnit zrakovou pohodu uživatelů interiéru.

Obsah protokolu a zprávy o měření jasů je zcela analogický jako v případě měření osvětlenosti. Často se rozložení jasů měří současně při měření osvětlenosti a vypracovává se pouze jedna zpráva.

Většina fyzikálních jasoměrů je založena na tom, že měří světelný tok procházející clonou určitého tvaru a velikosti. V rovině této clony se zobrazuje ploška vymezená zorným polem, jejíž jas se určuje. Zásadní konstrukční schéma takového přístroje je na obr. 4.8.



Obr. 4.8. Schematický náčrt konstrukčního uspořádání objektivního jasoměru umožňujícího pozorovat okolí plošky, jejíž jas se měří

Objektiv 1 přístroje zobrazuje měřený záběr na plošku 2, na které je možné pozorovat obraz přes zrcátko 3 a optiku 4 okulárem 5. Do jeho zorného pole se zobrazuje i údaj stupnice měřicího přístroje 6. Ve stínítku 2 je otvor, kterým projde světlo z měřené plošky pomocnou optikou 7 a filtry 8 (barevné i šedé pro změnu rozsahu) na fotočlánek 9, jehož proud se po zesílení přivede do měřicího přístroje. Veli-

kosti otvorů v zrcadlech se obvykle volí tak, aby odpovídaly zorným polím o úhlech 6', 15', 30', 1° a 2°.

Požadavky na jasoměry jsou shrnuty v normě [4.6]. Celková přípustná chyba jasoměru pro přesná měření je $\pm 7,5\%$ a jasoměru pro provozní měření $\pm 10\%$. Maximální doba platnosti kalibrace jasoměru pro přesná měření je dva roky a pro provozní měření tři roky. Jasoměry pro přesná a provozní měření mají být přizpůsobeny pro upevnění na stativ, umožňující měřit jas v různých směrech prostoru.

Kvalitní objektivní jasoměry produkuje známí výrobci fotometrických přístrojů, mezi nimi např. americká firma Spektra Pritchard, firma Minolta aj. Patří k nim také německá firma Lichtmesstechnik Berlin, jejíž jasoměr série L 1009 (obr. 4.9) je vybaven clonami 3°, 1°, 20', 6', nebo dokonce 2', resp. 2' x 20', digitálním měřicím přístrojem umožňujícím měřit jasy od 0,0001 cd·m⁻² do 19 990 kcd·m⁻², dále výstupem BCD, popř. rozhraním IEEE-488, takže je možná přímá spolupráce přístroje s počítačem, resp. výstup na tiskárnu.

Pro orientační posouzení rozložení jasů v interiéru lze použít i techniku digitální fotografie.

Nejsou-li k dispozici jasoměry, je možné stanovit jasy difuzně odražejících po-



Obr. 4.9. Digitální jasoměr typu L 1009 německé firmy Lichtmesstechnik Berlin

vrchů ve vnitřních prostorech při známém činiteli odrazu ρ povrchu nepřímo, a to z naměřených hodnot osvětlenosti E v kontrolovaném místě s využitím známého vztahu

$$L = \rho E / \pi \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; -, \text{lx}) \quad (4.3)$$

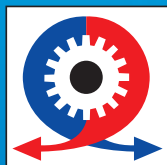
Hodnota činitele odrazu ρ se buď změří speciálními přístroji, nebo se zjistí s využitím průhledových barevných vzorníků, popř. ji lze u difuzních povrchů informativně zjistit jen luxmetrem, a to takto: nej-

prve se obvyklým způsobem změní osvětlenost E_d odpovídající toku dopadajícímu na uvažovanou plochu. Poté se fotočlánek umístí proti odražející ploše do takové vzdálenosti, aby údaj měřicího přístroje byl ustálený, a vyloučila se tak chyba vznikající zastíněním odražejícího povrchu čidlem. V této poloze se změní osvětlenost E_r odpovídající odraženému světelnému toku. Hledaný činitel odrazu ρ je roven podílu takto zjištěných osvětleností

$$\rho = E_r / E_d \quad (-; \text{lx}, \text{lx}) \quad (4.4)$$

Důležité je též měření jasů ve veřejném osvětlení. Průměrný jas povrchu vozovky se měří objektivními jasoměry vybavenými vhodnými clonami (odpovídajícími šířce kontrolované komunikace), a to z místa pozorovatele, které se předpokládá 1,5 m nad vozovkou v 1/4 šířky komunikace ve vzdálenosti 60 m před měřeným úsekem délky 100 m. V této situaci odpovídá nejmenší měřená plocha na vozovce i při kruhové cloně jasoměru 6' ploše elipsy s malou osou asi 0,17 m a s velkou osou asi 12 m. Proto je volba tvaru a velikosti clony tak závažná. Vesměs se pro tyto účely dává přednost clonám obdélníkovým před kruhovými.

(pokračování v čísle 4/2009)



MSV 2009

51. mezinárodní
strojírenský
veletrh



5. mezinárodní
veletrh dopravy
a logistiky

14.–18. 9. 2009

Brno – Výstaviště

www.bvv.cz/msv

www.bvv.cz/translog

Veletrhy Brno, a.s.
Výstaviště 1
647 00 Brno
tel.: +420 541 152 926
fax: +420 541 153 044
e-mail: msv@bvv.cz
www.bvv.cz/msv

Central European
Exhibition Centre



BVV



Veletrhy
Brno