

5.9 Ověření vlastností kosinového nástavce

5.9.1 Úvod

Měření osvětlení ve fotometrické praxi se provádí luxmetry vybavených v současnosti fotočlánky, založenými převážně, v uvažovaných energiích, na bázi selenu či křemíku. Jedná se tedy o fyzikální detektory záření, které se řídí základními fyzikálními zákony a jsou tudíž objektivní s charakteristickou kmitočtovou závislostí měřené veličiny. Současně je však třeba brát zřetel na jejich konkrétní konstrukci. Její nedostatečná znalost může ve svém důsledku do značné míry ovlivnit výsledek měření.

Konstrukcí fotočlánku je myšlena samotná technologie výroby fotočlánku, na které závisí jeho celková citlivost, tedy integrální hodnota fotoproudu, jakož i přídavné komponenty, které nejsou přímo součástí fotočlánku, ale patří do systému luxmetru a bez nich by mohlo dojít ke špatné interpretaci naměřených hodnot. Těmito komponenty jsou korekční spektrální filtr, který upravuje křivku poměrné spektrální citlivosti fotočlánku na poměrnou spektrální citlivost normalizovaného pozorovatele (křivka dána normou ČSN), která respektuje spektrální vlastnosti lidského oka a kosinový nástavec, který je předmětem následujícího rozboru.

Absencí spektrální korekce může chyba měření v soustavách s teplotními zdroji dosahovat dle 5%. Ovšem v osvětlovacích soustavách s výbojkovými zdroji, kde spektrální složení světla je dáno charakterem použitého fotoluminiscenčního materiálu, popřípadě charakteristickým spektrem daného zdroje, může být chyba měření až 50%.

Vliv kosinového nástavce na velikost chyby měření je náplní tohoto měření.

5.9.2 Rozbor úlohy

Úkolem kosinového nástavce v systému luxmetru je korekce šikmých dopadů světla na povrch fotočlánku a to z následujících důvodů.

Světlo při světelně technických měřeních s luxmetrem přichází z různých směrů a vezmeme-li v úvahu fyzikální vlastnosti povrchu fotočlánku jako detektoru (přibližně rovinná plocha), potom je třeba tuto korekci provádět s ohledem na následující odvození.

Intenzita osvětlení E rovinné plošky dS je plošná hustota světelného toku $d\Phi$ dopadlého na plochu dS a je dána vztahem

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \cdot (\text{lx}; \text{lm}; \text{m}^2) \quad (5.33)$$

Osvětluje-li se tato plocha bodovým zdrojem Z , ze vzdálenosti h , plocha dS tvořící okolí bodu detektoru D (Obr. 5-15) a svírá-li normála n_s plochy dS s paprskem od zdroje Z ve směru γ úhel α , lze s využitím definičního vztahu pro svítivost I_γ a prostorový úhel $d\Omega$ (pod nímž je z bodu Z vidět ve vzdálenosti h element plochy dS)

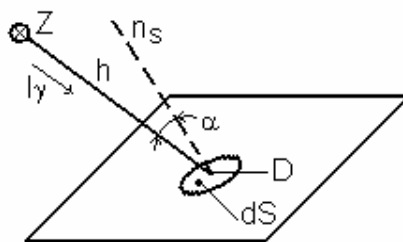
$$I_\gamma = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (\text{cd}; \text{lm}; \text{sr}) \quad (5.34)$$

$$d\Omega = \frac{dS \cdot \cos \alpha}{h^2} \quad (\text{sr}; \text{m}^2; \text{m}) \quad (5.35)$$

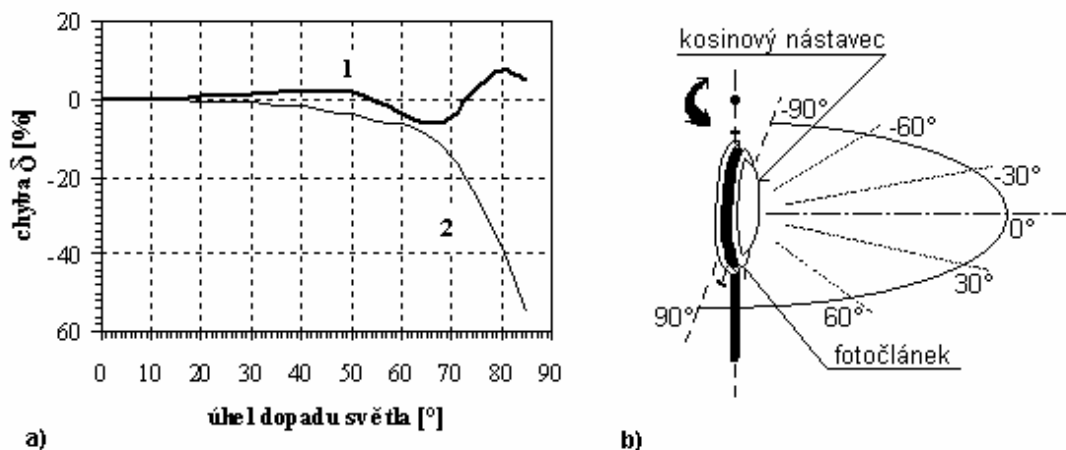
odvodit pro osvětlenost E_D v bodě D roviny bodovým zdrojem vztah

$$E_D = \frac{I_\gamma \cdot \cos \alpha}{h^2} \quad (\text{lx}; \text{cd}; \text{m}^2) \quad (5.36)$$

Z této rovnice plyne, že osvětlenost rovinné plochy dS bodovým zdrojem je nepřímě úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti \overline{ZD} tzv. „čtvercový zákon“ a přímo úměrná kosinu úhlu α dopadu paprsků tzv. „Lambertův kosinusový zákon“. Největší je tedy osvětlenost ve směru normály ($h \perp dS$) a při odklonu paprsku od normály o úhel α je osvětlenost závislostí kosinu tohoto úhlu.



Obr. 5-15– K vysvětlení kosinového zákona



Obr. 5-16– Chyba fotočláneku s 1) a bez 2) kosinového nástavce a); upevnění fotočláneku v goniofotometru ve vztahu k optické ose b)

Při šikmých dopadech světla na fotočlánek by měla být osvětlenost dle předchozího úměrná kosinu úhlu dopadu. U obvyklých reálných fotočláneků však existují odchylky od tohoto zákona a mohou dosáhnout velkých hodnot, jak plyne z Obr. 5-16 a). Tato směrová chyby se podstatnou měrou eliminuje právě tím, že se na fotočlánek nasadí kosinový nástavec, který provede příslušnou korekci.

Směrovou chybu reálného fotočláneku, či-li odchylku od Lambertova kosinového zákona vyjádříme z naměřených hodnot pomocí následujícího vztahu

$$\delta_{\alpha} = \frac{E_{\alpha} - E_{\alpha,T}}{E_N} \cdot 100 = \left(\frac{E_{\alpha}}{E_0} - \cos \alpha \right) \cdot 100, \quad (\%;lx;lx;^{\circ}) \quad (5.37)$$

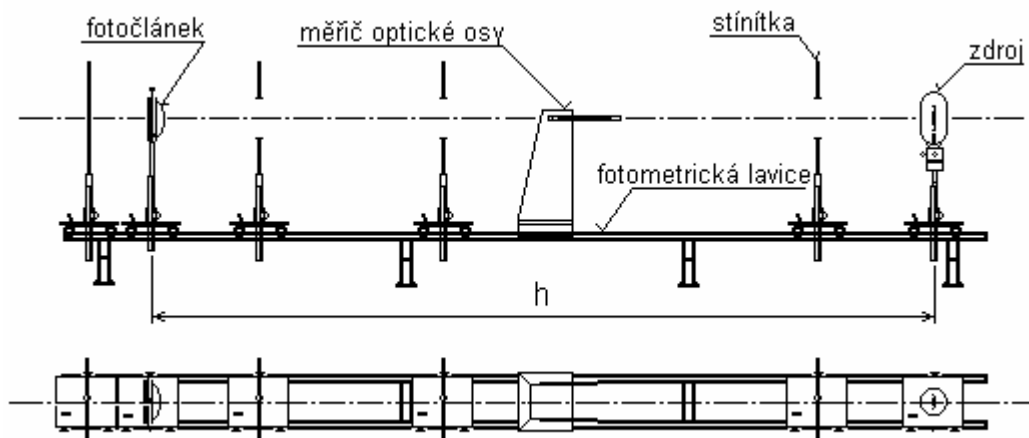
kde E_{α} je hodnota osvětlenosti odečtená z luxmetru pro různé úhly α dopadajícího svazku paprsků na fotočlánek,

$E_{\alpha,T}$ teoretická hodnota osvětlenosti plochy fotočláneku pod úhlem α ,

E_N normálová hodnota osvětlenosti, tedy fotočlánek je kolmý na optickou osu (tedy $E_N = E_0$), právě na tuto hodnotu jsou luxmetry kalibrovány,

α úhel pod kterým je normála fotočláneku odkloněna od optické osy, či-li od svazku paprsků.

Na následujícím Obr. 5-17 je uvedena sestava zařízení potřebných k provedení daného měření, které jsou umístěny na fotometrické lavici. Ta nám při dodržení jistých pravidel zajistí stálost a jednoznačnost optické osy.



Obr. 5-17 – Rozmístění jednotlivých součástí při měření na fotometrické lavici

5.9.3 Úkol měření

Změřte závislost fotoproudu fotočlánku s a bez kosinového nástavce (popřípadě pro více předložených kosinových nástavců) předloženého luxmetru na úhlu dopadu světla, kde jeho zdrojem je jednak teplotní zdroj – žárovka a za druhé výbojkový zdroj s čárovým spektrem (např. kompaktní zářivka s elektronickým předřadníkem nebo podobný světelný zdroj).

Vyjádrete z měření závislost směrové chyby na uvedených veličinách a kombinacích. Při měření se řiďte odstavci „postup měření“ a „zhodnocení měření“ a pokyny cvičícího.

Vypočtete celkovou chybu měření pro správnou interpretaci naměřených a vypočtených výsledků.

Zhodnoťte výsledky měření a vyjádřete v přijatelné formě závěry z nich plynoucí.

5.9.4 Postup měření

1. Upevněte fotočlánek bez kosinového nástavce do malého goniofotometru na fotometrické lavici s konfigurací ostatních prvků dle Obr. 5-17.
2. Světelným zdrojem v určité vzdálenosti zajistěte vhodnou svítivost, přičemž její velikost není rozhodující, je pouze důležité aby během měření byla konstantní.
3. Poté nastavte nulový úhel na goniofotometru a odečtěte na luxmetru první hodnotu osvětlení v daném směru.
4. Tuto hodnotu zapište do tabulky, kde zároveň uvedete hodnotu teoretickou.
5. Opakujte body 3 a 4 pro další úhly dopadu světla na fotočlánek ve zvoleném kroku (viz. Obr. 5-16b).
6. Nasad'te na fotočlánek kosinový nástavec, popřípadě zaměňte za jiný a opakujte měření v rozsahu bodů 3 až 5.
7. Vyměňte světelný zdroj a opakujte měření dané body 2 až 6.

5.9.5 Zpracování výsledků

Změřené a vypočtené hodnoty zapište ve formě tabulky (např. Tab. 5-5), přičemž při jejím zpracování se řiďte popisem a postupem uvedeným v předcházejícím.

Výsledný průběh směrové chyby vyneste pro změřené varianty do grafů a dále vypočtete nejistotu plynoucí z měření.

Tab. 5-5 – Tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro teplotní zdroj

α	[°]	0	5	10	15	20	25	90
$E_{\alpha, B}$ (bez nástavce)	[lx]								
$E_{\alpha, B} / E_{0, B}$	[-]								
$E_{\alpha, S}$ (s nástavcem 1)	[lx]								
$E_{\alpha, S} / E_{0, S}$	[-]								
...	..								
$E_{\alpha, T}$ (teoretická) / E_N	[-]								
δ	[%]								

5.9.6 Závěr

V závěru proved'te souhrnný popis změřených závislostí směrové chyby luxmetru v daných variantách a zvažte jejich použitelnost s ohledem na nejistoty a chyby při měření. Dále navrhněte rozsah použití jednotlivých variant luxmetru ve světelně technických měřeních s přihlédnutím na zdroj světla.