

5.5 Měření světelného toku neznámého zdroje, jeho napět'ové závislosti a světelné účinnosti svítidla

5.5.1 Úvod

Světelný výkon zdrojů a svítidel lze hodnotit podle světelného toku, který zdroj či svítidlo předává do okolního prostoru. Světelný tok tak představuje světelný výkon, který se přímo uplatňuje při vytváření osvětlení a tím i jasů osvětlovaných ploch.

Hlavním cílem měření světelného toku je zkoumání energetické účinnosti světelného systému ať už z hlediska účinnosti svítidel či účinnosti přeměny elektrické energie na energii světelnou.

5.5.2 Rozbor úlohy

Tato laboratorní úloha má názorně ukázat, jaké měřicí postupy se uplatňují při měření světelného toku, závislosti světelného toku na napětí, měření měrného výkonu a měření účinnosti svítidel.

U měření světelného toku nás tedy nebude zajímat jeho prostorové rozložení, ale pouze jeho úhrnné množství. Abychom toto množství mohli souhrnně určit, musíme prakticky měřit světelný výkon (svítivost) ve všech směrech vyzařování. Svítivost v elementárním prostorovém úhlu pak vytváří elementární světelný tok. Sumací všech elementů světelného toku přes všechny směry vyzařování pak získáme úhrnný světelný tok Φ . Matematicky jde prakticky o integrál s fotometrické plochy svítivosti přes prostorový úhel celého prostoru, tedy

$$\Phi = \oint_{4\pi} I(\gamma, \nu) d\omega \quad (5.17)$$

Měření fotometrické plochy svítivosti je poměrně zdlouhavá záležitost a integraci fotometrické plochy lze elegantně obejít použitím speciální měřicí aparatury, tzv. kulového integrátoru. Principiálně nám toto zařízení provádí integraci světelného toku za pomoci mnohonásobných rozptylných odrazů, jejichž výsledkem je vytvoření rovnoměrného rozložení osvětlenosti (i jasu) vnitřní stěny kulového integrátoru (KI) bez ohledu na prostorové rozložení světelného toku zdroje světla. Tento předpoklad je však splnitelný pouze za předpokladu dostatečné odraznosti vnitřního povrchu KI a kvalitního difúzního rozptylu, blížícího se k ideálnímu Lambertovu zářiči.

S dostatečnou přesností je pak možné říci, že intenzita osvětlení v kterémkoliv bodě na vnitřním povrchu KI je stejná a je přímo úměrná celkovému světelnému toku světelného zařízení v KI umístěném, tedy

$$E = konst. \cdot \Phi_c, \quad (5.18)$$

kde Φ_c je celkový tok v prostorovém úhlu 4π , tj. celém prostoru obklopujícím svítidlo.

Budeme-li intenzitu osvětlení tedy měřit v kterémkoliv bodě, bude tato způsobovat v měřicím fotočlánku přímo úměrný fotoproud. V konečném důsledku můžeme tedy říci, že velikost fotoproudu je přímo úměrná velikosti světelného toku

$$I_f = konst. \cdot \Phi_c \quad (5.19)$$

Záležitost měření však není zcela triviální a vyžaduje specifickou konstrukci měřicího zařízení takovou, která omezí vliv různých rušivých vlivů a zajistí co možná nejlepší přiblížení se ideálu zařízení. Konstrukce reálného KI je naznačena na Obr. 5-11.

Vliv kvality povrchu vnitřní plochy kulového integrátoru lze rozdělit na dva dílčí problémy. První z nich je vlastní kvalita nátěru. K zajištění správné funkce, jak již bylo řečeno, by měl mít povrch co největší odrazivost a přitom se chovat jako ideálně difúzní odražeč typu Lambertova zářiče, který vykazuje pod jakýmkoliv úhlem pohledu konstantní jas. Za těchto podmínek je jedině možné zajistit dostatečné množství odrazů a vytvoření rovnoměrného osvětlení celé plochy integrátoru. V praxi ovšem není možné tento ideál dosáhnout, ale pouze se k němu přiblížit. Jako velice perspektivní, co do odrazných a difúzních parametrů, se jeví síran barnatý BaSO_4 . Jeho nanesení by mělo být rovnoměrné bez nerovností přesahujících 1mm.

Druhým kritériem určujícím kvalitu povrchu vnitřní stěny integrátoru je znečištění. Jedná se o znečištění způsobené prašným prostředím. Jelikož není možné ve většině případů zajistit absolutně bezprašné prostředí, nastává situace, kdy po delší době nános drobných nečistot snižuje odraznost dolní hemisféry. To má za následek větší pohlcování světelného toku v této hemisféře, zejména u svítidel s přímou a převážně přímou směrovou charakteristikou vyzařování. Na celkový výsledek měření účinnosti má potom vliv poloha nebo natočení svítidla v integrátoru. Proto je nutné po určité době stav znečištění kontrolovat například měřením s natočením svítidla do dolní i horní hemisféry.

Významným faktorem, se kterým by se mělo počítat, je tvar, velikost a umístění clonek. Jejich funkce v integrátoru je velice důležitá, neboť zamezují dopadu přímých složek světla jednak na fotočlánek a jednak z korekční žárovky na svítidlo. Obecné doporučení stanovuje velikost clonky fotočlátku $0,3D$, kde D je vnitřní průměr integrátoru. Clonka musí být kruhového tvaru s povrchovou úpravou stejnou jako vnitřní stěna integrátoru tedy v ideálním případě dokonale difúzní a odrazný povrch. Umístění clonky v integrátoru by mělo být takové, aby její vzdálenost od fotočlátku byla asi $D/6$. Clonka korekčního zdroje má z hlediska přesnosti měření menší podíl a její průměr by měl být asi $D/20$.

Uvažujme tedy nyní, že podobné zařízení máme k dispozici a nezabývejme se dále jeho technickými nedokonalostmi. Naším úkolem bude změřit světelný tok a to buď relativní či absolutní. Pokud budeme chtít zjistit světelný tok absolutní, budeme potřebovat znát převodní konstantu celého měřicího systému, tedy integrátoru, fotočlátku a případně převodníku či zesilovače. Tato konstanta se dá zjistit cejchováním za použití cejchovních světelných zdrojů, u nichž jejich světelný tok známe. Z několika takových měření pak můžeme určit (většinou prostým průměrováním) hledaný převod.

Co se týká relativních měření světelného toku máme situaci výrazně jednodušší. Proces cejchování totiž vůbec nepotřebujeme a uvažujeme pouze relativní odchylky od předem stanovené normální (nominální) hodnoty světelného toku (např. při jmenovitém napájecím napětí). Tyto měření se s výhodou využívají při zjišťování světelné účinnosti svítidel a optických systémů. Výpočet a měření účinnosti vychází z následujících úvah.

Účinnost obecně vyjadřuje poměr odevzdaného výkonu (užitečného) a výkonu přivedeného (příkonu). V případě svítidel se odevzdaným výkonem myslí světelný výkon vyjádřený velikostí světelného toku, který opouští dané svítidlo a je tedy tokem tohoto svítidla. Výkonem přivedeným se rozumí světelný výkon (světelný tok) všech světelných zdrojů ve svítidle. Matematicky lze definici zapsat

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{svítidla}}}{\Phi_{\text{zdrojů}}} \quad (5.20)$$

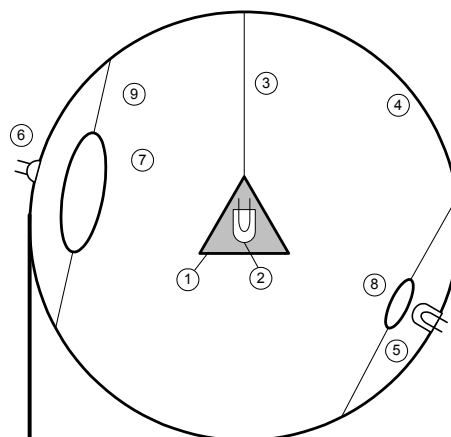
Vložíme-li do integrátoru nejprve svítidlo a změříme hodnotu osvětlenosti $E_{\text{svítidla}}$ poté vložíme do integrátoru světelné zdroje a změříme $E_{\text{zdrojů}}$ můžeme pro účinnost z předcházejícího psát vztah

$$\eta = \frac{E_{\text{svítidla}}}{E_{\text{zdrojů}}} \quad (5.21)$$

Protože nás nemusí zajímat vlastní osvětlenost ale pouze výchylka měřicího přístroje v relativních dílcích (např. mV) tedy

$$\eta = \frac{\alpha_{\text{svítidla}}}{\alpha_{\text{zdrojů}}} \quad (5.22)$$

Vlastní princip integrátoru ale neumožňuje účinnost stanovit takto jednoduše. Ve skutečnosti při mnohonásobných odrazech, které jsou nevyhnutelnou součástí funkce integrátoru dochází k pohlcování



- ① Svítidlo ② Světelný zdroj ③ Závěs svítidla
- ④ Vnitřní stěna integrátoru ⑤ Korekční zdroj
- ⑥ Fotočlánek ⑦ Clonka fotočlátku
- ⑧ Clonka kor. zdroje ⑨ Závěs clonky

Obr. 5-11 – Schematické znázornění kulového integrátoru a jeho hlavních částí

části toku neaktivními částmi svítidla, které se nepodílejí na směřování světelného toku svítidla. Je tedy nutné tuto chybu pohlcení části toku korigovat za pomoci dalšího měření obecně nazývaného korekcí na neaktivní části svítidla. Korekce stanovuje korekční činitel vyjadřující procento ztrát světelného toku na neaktivních částech svítidla. Vlastní měření se provádí opět poměrovou metodou, kdy pomocný zdroj světla produkuje určitý světelný tok, jehož část je pohlcena svítidlem, které samo žádný světelný tok nevyzařuje. Změřenou výchylkou úměrnou celkovému toku v integrátoru je dělena výchylka úměrná toku v případě, že svítidlo nepohlcuje žádný světelný tok (v praxi není umístěno v integrátoru). Matematicky vyjádřeno

$$korekce = \frac{\alpha_{bezsvítidla}}{\alpha_{sesvítidlem}} \quad (5.23)$$

Korekce je vždy větší než 1 a celková účinnost svítidla potom bude vyjádřena vztahem

$$\eta = \frac{\alpha_{svítidla}}{\alpha_{zdrojů}} \cdot korekce = \frac{\alpha_{svítidla}}{\alpha_{zdrojů}} \cdot \frac{\alpha_{bezsvítidla}}{\alpha_{sesvítidlem}} \quad (5.24)$$

V této chvíli máme definován vztah a v podstatě i postup pro zjištění účinnosti svítidla. Zbývá upozornit na průvodní jevy, které mohou měření zatížit chybou. Mezi nejdůležitější patří vliv napájecího napětí, vliv teploty, vliv kvality vnitřního povrchu kulového integrátoru, vliv polohy svítidla v integrátoru a zejména pak clonek stínících fotočlánků a korekční zdroj. Za méně podstatný lze považovat vliv spektrálních vlastností světla při korekčním měření, zejména jeho odlišnost od spektra vlastního svítidla.

Vliv napájecího napětí na měření účinnosti se projeví pouze v případě, že se během jednoho měření výrazně mění. Tato změna by mohla způsobit odchylky v jednotlivých světelných tocích a bylo by nutné ji korigovat. Vliv napájecího napětí na světelný tok popř. osvětlenost popisuje korekční činitel k_U , který se vypočítá z výrazu

$$k_U = \left(\frac{U}{U_N} \right)^c, \quad ; \quad k_U = \frac{\Phi}{\Phi_N} \quad (5.25)$$

kde U je skutečné napětí,
 U_N napětí jmenovité
 c exponent závislý na druhu zdroje a nemusí být stejný v celé oblasti odchylek jmenovitého napětí,
 ϕ světelný tok zdroje při napětí U ,
 ϕ_N světelný tok při jmenovitém napětí.

Nejčastěji udávané orientační hodnoty exponentu c jsou pro nejběžnější druhy zdrojů shrnuty v tabulce I.

Tab. 5-2 – Průměrné hodnoty exponentu c

Světelný zdroj	c
žárovky pro všeobecné osvětlování	3,6
zářivky v indukčním zapojení	1,4
zářivky v kapacitním zapojení	0,6
zářivky v zapojení duo	1,0
rtuťové vysokotlaké výbojky	2,5
sodíkové vysokotlaké výbojky	1,7
sodíkové nízkotlaké výbojky	0,0
halogenidové výbojky	3,0

5.5.3 Úkol měření

Na základě poznatků z teoretického rozboru úlohy proměřte světelnou účinnost předloženého svítidla a zjistěte závislost světelného toku na napětí u předloženého světelného zdroje. Zakreslete průběh do grafu a stanovte koeficient c pro výpočet změny toku s napájecím napětím dle vztahu.

5.5.4 Postup měření

1. Do kulového integrátoru umístěte přívodní šňůru s objímkou na světelný zdroj a umístěte světelný zdroj do této objímky. Nastavte polohu zdroje tak, aby jeho střed byl ve středu kulového integrátoru. Připojte přívodní šňůru přes autotransformátor na napájecí síť. Měřicí fotočlánek nastavte do správné polohy v otvoru kulového integrátoru a připojte vývod od fotočlátku k transimpedančnímu zesilovači. Zesilovač připojte k napájecímu adaptéru 12V. Výstup zesilovače pak na digitální multimetr.
2. Zavřete kulový integrátor a na autotransformátoru nastavte jmenovité napájecí napětí zdroje.
3. Odečtěte příslušnou výchylku na multimetru, reprezentující 100% tok zdroje. Zvyšujte napětí po 2V až do 230V +6% (244V). Odečítejte příslušné hodnoty na multimetru. Vraťte se zpět na napětí nominální a snižujte postupně napětí po 5V až do minima světelného toku (zdroj již nezpůsobí měřitelnou výchylku na multimetru). Hodnoty запиšte do tabulky.
4. V dalším kroku nastavte zpět napětí na jmenovitou hodnotu a překontrolujte opět výchylku multimetru. Tuto hodnotu si запиšte jako hodnotu toku světelného zdroje pro výpočet účinnosti svítidla.
5. Vypněte napájení zdroje a přepojte na transformátor korekční žárovku. Nastavte napětí pro korekční žárovku na 230V a opět запиšte hodnotu multimetru. Tato hodnota představuje tok korekční žárovky bez svítidla.
6. Vypněte napájení korekce a do kulového integrátoru zavěste předložené svítidlo na místo objímky se zdrojem. Zdroj i objímku předem demontujte a vyjměte z integrátoru. Umístěte zdroj do předloženého svítidla. Uzavřete integrátor a zapněte opět korekční žárovku a nastavte stejné napájecí napětí jako v předchozím měření (230V). Výchylka multimetru je úměrná toku korekční žárovky se svítidlem. Vypněte napájení korekce.
7. Proved'te přepojení přívodů svítidla místo korekční žárovky a nastavte jmenovité napájecí napětí použitého zdroje ve svítidle. Odečtěte údaj multimetru, který reprezentuje hodnotu úměrnou světelnému toku svítidla.

5.5.5 Zpracování výsledků

Naměřené hodnoty zapisujte do tabulek. Vypočtete relativní změny toku vůči toku při jmenovitém napětí. Výsledky tohoto výpočtu vyhodno'te graficky. Vypočtete pro každou hodnotu napětí příslušný koeficient c , pomocí kterého lze určit světelný tok při tomto napětí vůči napětí a toku jmenovitému. Určete průměrnou hodnotu v rozsahu napájení +6% až -10% jmenovité hodnoty. Zakreslete průběh koeficientu c v závislosti na napětí do grafu a určete pro každou hodnotu napětí odchylku od hodnoty průměrné (v procentech).

Vypočtete světelnou účinnost svítidla podle uvedených vztahu.

5.5.6 Závěr

Zhodno'te měření a vyjádřete se k problematice změny toku zdroje se změnou napětí. Porovnejte výsledky s předpoklady v teoretickém rozboru.