

Meranie parametrov umelého osvetlenia v praxi

Mgr. Roman DUBNIČKA, STU FEI v Bratislave

ÚVOD

Metrológia je veľmi často nápomocnou a rozhodujúcou vedou, ktorá sa zaoberá meraním, meracími procesmi. Oblasť fotometria slúži na overenie, či svetelnotechnický projekt bol alebo nebol úspešne realizovaný. Taktiež pri ochrane zdravia alebo bezpečnosti práce metrológia nevyhnutne vstupuje či svetelnotechnické parametre sú v medziach, aby zdravie ľudí a bezpečnosť práce v priestoroch, kde sa pohybujú ľudia neboli ohrozené. Totiž skontrolovať po každej úspešnej realizácii svetelnotechnického projektu znamená, či vypočítané parametre osvetlenia sú dodržané. Toto sa vykonáva meraním fotometrických veličín. Meraním týchto veličín sa zaoberá fotometria ako jedna z oblastí vedeckej metrológie. Fotometrickými veličinami sú svietivosť I_V (jednotka kandela – značka cd), svetelný tok Φ_V (jednotka lumen – značka lm), osvetlenosť E_V (jednotka lux – lx), jas L_V (jednotka kandela na meter štvorcový – značka cd.m^{-2}), teplota chromatickosti T_{CC} (jednotka kelvin – značka K) a náhradná teplota chromatickosti T_{CC} (jednotka kelvin – značka K). Po ich nameraní sa následne vyrátavajú ďalšie aspekty osvetľovacej sústavy či realizácia svetelnotechnického projektu bola úspešne realizovaná ako napr. rovnomernosť osvetlenosti, rovnomernosť jasu atď. Predpísané hodnoty (úrovne), počet ako aj typ fotometrických veličín, ktoré je potrebné zmerať pre konkrétny typ projektu sa líši od jeho typu t.j. pre akú osvetľovaciu sústavu je projekt zameraný napr. svetelnotechnický projekt verejného osvetlenia, priemyselných hál, športových hál a iné. Tieto minimálne hodnoty úrovni fotometrických veličín, ktoré je nutné pri realizácii projektu dodržať (napr. minimálna úroveň udržiavanej intenzity osvetlenia, rovnomernosť osvetlenia a iné) sú uvádzané v zákonoch, nariadeniach vlád, vo vykonávacích predpisoch (vyhláškach) niektorých ministerstiev SR ako aj v normatívnych dokumentoch (STN, EN, ISO a iné.). Na území Slovenskej republiky osvetľovacia sústava po realizácii podlieha overeniu fotometrických parametrov, pretože je to ako jedna z požiadaviek kolaudácie priestorov do užívania, čo kontroluje Úrad verejného zdravotníctva a jeho podriadené organizácie regionálne úrady verejného zdravotníctva. Verifikácia osvetľovacej sústavy vyplýva zo zákona MZ SR 355/2007 Z.z. v znení neskorších predpisov a jeho vykonávacieho predpisu vyhlášky MZ SR 541/2007 Z.z. v znení neskorších predpisov, ktorá predpisuje požiadavky pre jednotlivé pracovné priestory. Hodnotenými parametrami, ktoré sa pri verifikácii osvetľovacej sústavy vyhodnocujú. Dôležitými parametrami sú úroveň udržiavanej osvetlenosti a rovnomernosť, ktoré musia spĺňať minimálne hodnoty predpísané vo vyhláške aj po zohľadnení neistoty merania. Tento článok pojednáva o meraní fotometrických veličín za pomoci prístrojov fotometrických veličín v praxi.

MERANIE FOTOMETRICKÝCH PARAMETROV V PRAXI

Fotometria je vedná disciplína, ktorá sa zaoberá vplyvom elektromagnetického žiarenia s vlnovou dĺžkou od 360 nm až 830 nm (svetlo), na ktoré je ľudské oko citlivé a vyvoláva vizuálny vnem. Zaoberá sa taktiež technickou realizáciou základných fotometrických veličín ako aj technickou realizáciou prístrojov, za pomoci ktorých je možné tieto veličiny merať. V dnešnej dobe je nespočetne veľa výrobcov, ktorí ponúkajú meracie prístroje v oblasti fotometrie v rôznych cenových reláciách od pár desiatok EUR až po niekoľko tisícok EUR. Je nutné dodať, že v tomto prípade vo väčšej miere odzrkadľuje presnosť realizácie a kvalitu jednotlivých prístrojov, podľa toho akú fotometrickú veličinu chceme merať. Podľa typu merania a požiadaviek merania by sa mal užívateľ rozhodnúť akú kvalitný prístroj pre meranie je nutné zvoliť. Na to slúžia niektoré metrologické charakteristiky meradla, podľa ktorých možno usúdiť či daný prístroj je vhodný pre meranie popr. merania, ktoré chce užívateľ prístroja vykonať. Metrologické charakteristiky meradiel fotometrických veličín by mali byť volené tak, aby vyhovovali trom z najzákladnejších definícií o meraní v metrologickom slovníku podľa STN 01 0115 (pre bližšie oboznámenie sa čitateľovi odporúča preštudovať táto norma podrobnejšie [2]) a to

správnosť merania - tesnosť zhody medzi nameranou hodnotou veličiny a pravou hodnotou veličiny

pravdivosť merania - tesnosť zhody medzi priemernou hodnotou nekonečného počtu opakovaných nameraných hodnôt veličiny a referenčnou hodnotou veličiny

presnosť merania - tesnosť zhody medzi údajmi alebo nameranými hodnotami veličiny získanými opakovanými meraniami na rovnakých alebo podobných objektoch za špecifikovaných podmienok

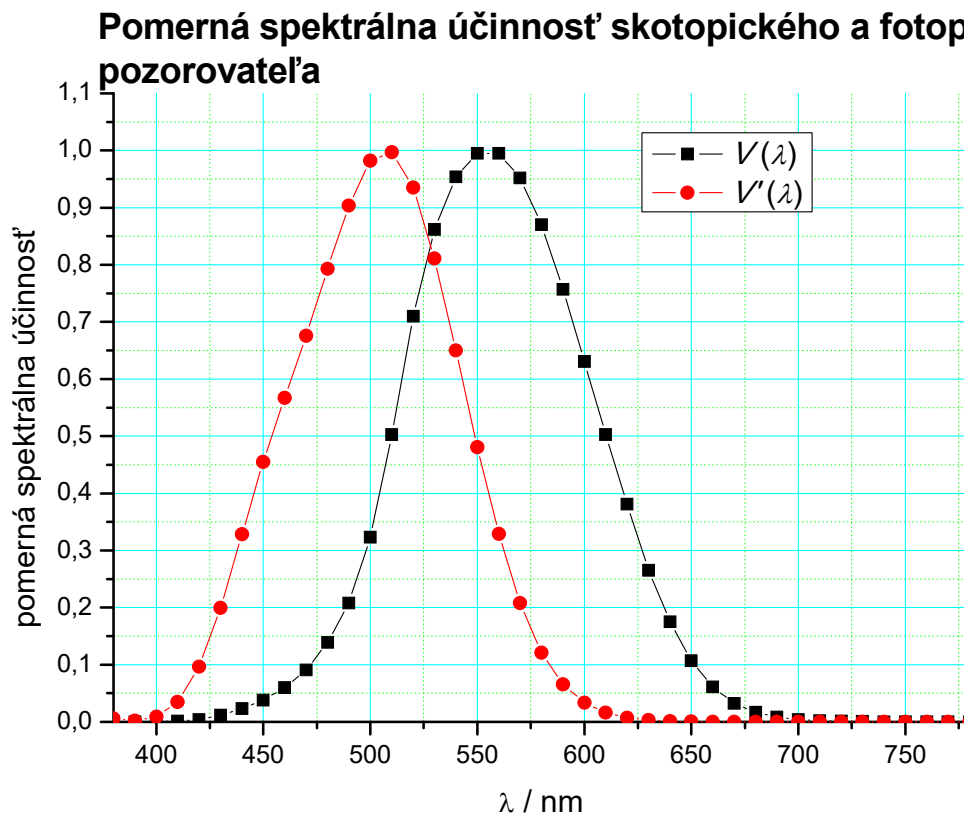
Princíp na akom meradlá fotometrických veličín pracujú možno všeobecne popísať matematickým vzťahom (8) pre fotopického pozorovateľa a pre skotopického pozorovateľa vzťahom (9), pričom tento vzťah popisuje tak integračné meracie prístroje ako aj spektrálne meracie prístroje. Integrálny vzťah možno v praxi nahradiť sumou so známou spektrálnou šírkou $\Delta\lambda$. Týmto vzťahmi je popísaný vlastne vzťah medzi množstvom energie zo svetelného zdroja premenenej na vizuálny vnem vyvolávaný v ľudskom oku.

$$X_v = K_m \int_{360}^{830} X_{e,\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1)$$

alebo

$$X_v = K'_m \int_{360}^{830} X_{e,\lambda} \cdot V'(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2)$$

kde $X_{e,\lambda}$ je spektrálna hustota rádiometrickej veličiny vynásobená s pomernou spektrálnou účinnosťou $V(\lambda)$ alebo $V'(\lambda)$ (pozri obrázok Obr. č. 1).

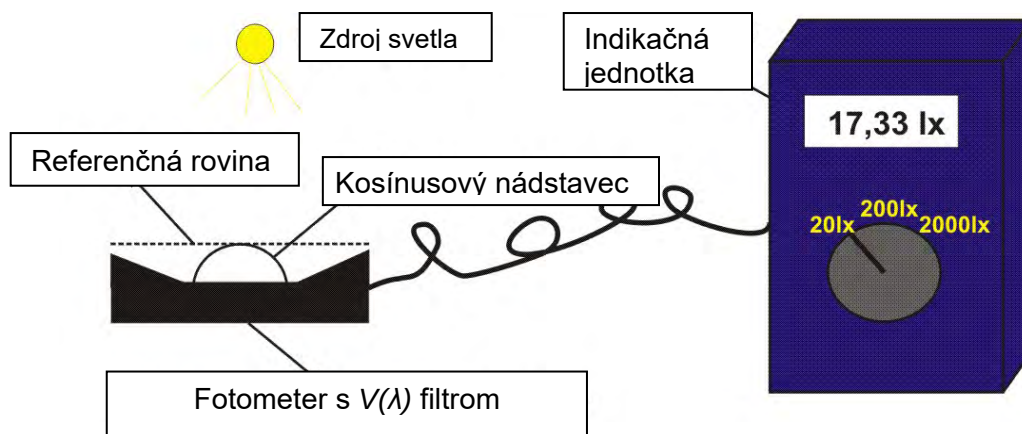


Obr. 1 Pomerná spektrálna účinnosť ľudského oka pre fotopické a skotopické videnie

Po integrácii je výsledok vynásobený maximálnymi hodnotami účinnosti ľudského oka pre fotopické resp. skotopické videnie, ktorých hodnota je rôzna pre fotopického a skotopického pozorovateľa. Možno povedať, že tieto konštanty sú prevodnými konštantami medzi fotometrickými a rádiometrickými veličinami. Najstaršie meracie zariadenia pre určovanie fotometrických veličín boli vizuálne fotometre, ktoré ako detektor používali oko samotného pozorovateľa. V tomto prípade išlo o subjektívne merania, ktoré boli ovplyvnené samotným pozorovateľom. Neskôr ako sa rozvíjala oblasť rádiometrie a to najmä v oblasti detekcie žiarenia vo vizuálnej spektrálnej oblasti sa postupom času rozvíjali aj nové objektívnejšie prístroje fotometrických veličín, ktoré postupne nahradili ľudské oko ako detektor a tým sa stali tieto merania objektívnejšie. V ďalšej časti sú rozobrané najčastejšie typy prístrojov, ktoré sa pri meraniach fotometrických veličín t.j. parametrov osvetľovacej sústavy používajú. Sú to luxmetry, jasomery, kolorimetre na báze trichromatických filtrov (známe aj ako jasové analyzátory) a spektorrádiometre.

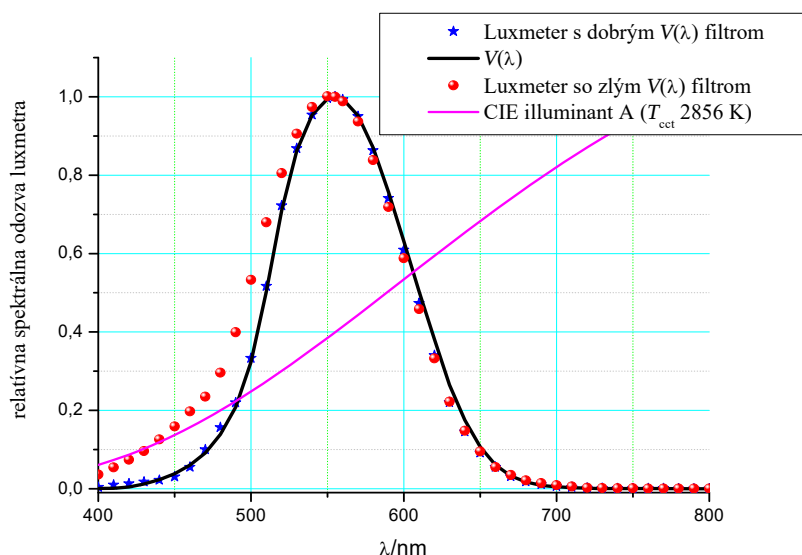
LUXMETRE

Sú to meracie prístroje (meradlá) fotometrickej veličiny intenzity osvetlenia (osvetlenosť) a sú najčastejšie používané meradlá pri meraní fotometrických parametrov v praxi. Rádiometre, ktorých relatívna spektrálna citlivosť je blízka k CIE funkciám fotopického alebo skotopického pozorovateľa s indikačnou jednotkou a nádstavcom pre daný typ osvetlenosti ktorý chceme merať (kosínusovým) nazývame luxmetre. Najčastejšie sa u nás používajú luxmetre pre meranie horizontálnej osvetlenosti. Tieto zariadenia sú v drvivej väčšine integračné meracie prístroje, citlivosť detektora na CIE funkcie sú zabezpečené optickými filtermi a kosínusovým nádstavcom pre korigovanie svetla dopadajúceho z iného ako kolmého smeru.



Obr.2 Luxmeter pre meranie horizontálnej osvetlenosti

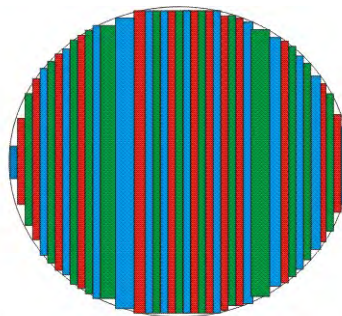
Pri týchto prístrojoch treba venovať pozornosť najmä prispôbeniu detektora k citlivosti fotopického alebo skotopického pozorovateľa, ktorá by mala byť čo najtesnejšia s hodnotami CIE, pretože v dnešnej dobe existuje nespočetné množstvo svetelných zdrojov ako výbojky, LEDky a iné, ktoré majú rozličné spektrálne vyžarovanie. Čím nepresnejšie je prispôbenie tohto filtra tým sa väčšej chyby pri meraní užívateľ dopúšťa. Porovnanie takejto citlivosti možno vidieť na obrázku č. 3.



Obr.3 Porovnanie luxmetrov s rôznou spektrálnou citlivosťou

Optické filtre fotometrických hlavíc môžu byť rôzneho typu a to typu sendvičového alebo mozaikového, čo možno vidieť na obrázku Obr.4.

“Sandwich” $V(\lambda)$ filter

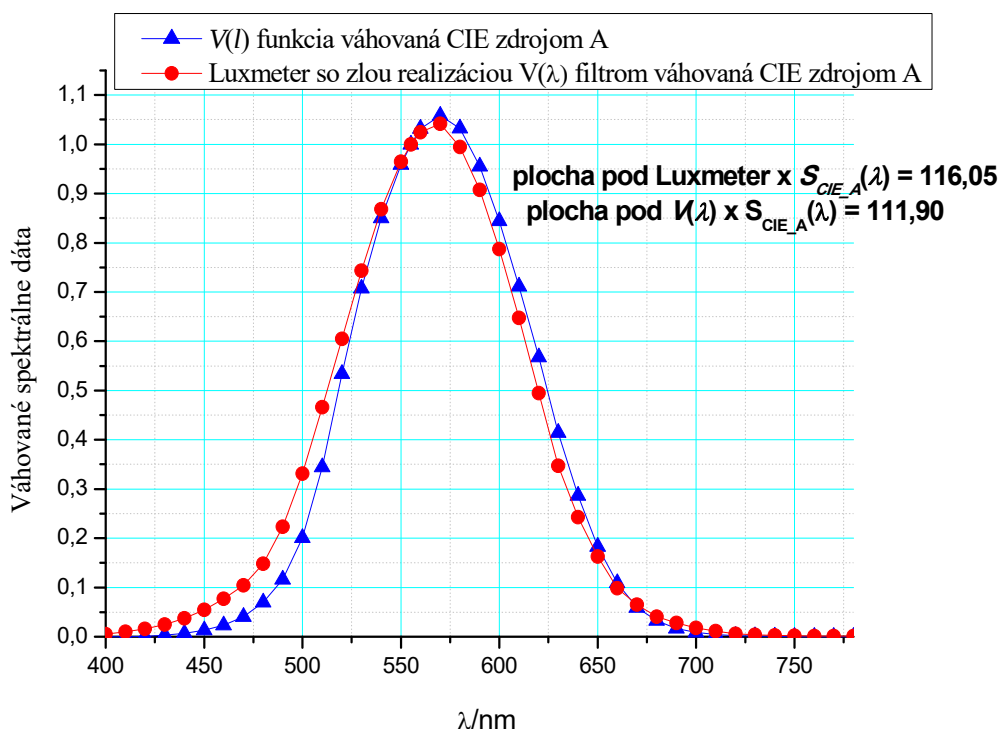


“Mosaic $V(\lambda)$ filter”

Obr.4 Znáznornenie $V(\lambda)$ filtrov používaných v luxmetroch

V prípade merania intenzity osvetlenia v praxi sa odporúča použitie sendvičového typu. Ako ďalším aspektom, aby užívateľ luxmetra dosahoval čo najpresnejšie výsledky pri meraní treba prihliadať na smerovú chybu a linearitu celého meracieho systému. Treba poznamenať, že luxmetry na území SR patria do kategórie **určených meradiel** podľa zákona 142/2000 Z.z. o metrologii v znení neskorších predpisov a podľa zámeru použitia podlieha toto meradlo pravidelnej metrologickej kontrole [3].

Ako každý merací prístroj aj luxmeter sa vyznačuje svojou nedokonalosťou pri praktických meraniach a nie je ním možné merať presne ako sa v niektorých prípadoch ľudia mylne domnievajú, čím považujú hodnotu indikovanú luxmetrom za „správnu“.



Obr. 5 Váhované spektrálne dáta luxmetra a CIE zdroja A

Výsledok z merania je vždy ovplyvnený či už predvídateľnými tzv. systematickými alebo nepredpovedateľnými tzv. náhodnými vplyvmi. Takto vznikajú pri meraniach systematické a náhodné chyby, ktoré spôsobujú odchýlky výsledku merania od teoretického výsledku za predpokladu ideálneho meracieho prístroja bez žiadnych chýb tzv. skutočnej hodnoty. Pri systematických chybách je možno výsledok čiastočne korigovať buď korekciou alebo korekčným činiteľom, čo pri náhodných chybách nie je možné. Pri luxmetroch sa vyskytuje viacero chýb ako už bolo popísané v predchádzajúcej časti, ktoré môžu výrazne ovplyvniť výsledok merania. Z dôvodu nepresnej realizácie filtrov v luxmetroch je nutné korigovať výsledky merania intenzity osvetlenia s prihliadnutím na merané spektrum svetelného zdroja. To je zobrazené na obrázku Obr.5, kde možno vidieť korekciu na normalizovaný zdroj CIE A pre luxmeter z dôvodu nepresnej realizácie $V(\lambda)$ filtra. V grafe možno taktiež vidieť plochy pod krivkami váhových funkcií spektrálnej odozvy luxmetra a pomernej spektrálnej odozvy ľudského oka, ktoré zodpovedajú integrácií týchto funkcií cez viditeľnú spektrálnu oblasť. Veľkosť oboch plôch možno vyjadriť číselne a je zrejmé, že pre tento konkrétny príklad plocha pod krivkou luxmetra je väčšia ako plocha pod funkciou pomernej spektrálnej účinnosti ľudského oka. Čo to znamená? Je to v dôsledku nepresného prispôbenia filtra $V(\lambda)$ luxmetra čo naznačuje fakt, že hodnota indikovaná luxmetrom bude pre uvažovaný meraný zdroj CIE A väčšia ako konvenčne pravá hodnota fotometrickej veličiny, ktorá zodpovedá vnímaniu svetla ľudským okom zo svetelného zdroja vo viditeľnej spektrálnej oblasti. Preto je nutné zaviesť korekciu, ktorú možno vypočítať na základe vzťahu

$$\text{korekcia(A)} = \frac{\text{plocha}(V(\lambda) * S_{\text{CIE_A}}(\lambda))}{\text{plocha}(\text{Luxmeter} * S_{\text{CIE_A}}(\lambda))} \quad (3)$$

pričom výsledkom je hodnota korekčného činiteľa, ktorú by mal užívateľ vynásobiť s hodnotou indikovanou luxmetrom pre uvažovaný svetelný zdroj CIE A, ktorým môže byť napr. halogénová žiarovka (zo vzťahu (3) je korekčný činiteľ 0,964). Avšak iná situácia nastáva ak je meraný svetelný zdroj s výrazne odlišným spektrálnym zložením ako kalibračný zdroj. Pre tento prípad je nutné vypočítať a zaviesť korekciu podľa nasledovného vzťahu

$$\text{korekcia(Z)} = \frac{\frac{\int_{400}^{800} S_{\lambda,A} \cdot V(\lambda) d\lambda}{\int_{400}^{800} S_{\lambda,A} \cdot s_{rel}(\lambda) d\lambda}}{\frac{\int_{400}^{800} S_{\lambda,Z} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{400}^{800} S_{\lambda,Z} \cdot s_{rel}(\lambda) \cdot d\lambda}} \quad (4)$$

kde Z je označenie zdroja, ktorý je predmetom merania a A je označenie kalibračného zdroja väčšinou používaný CIE zdroj A , $V(\lambda)$ je pomerná spektrálna účinnosť ľudského oka a $s_{rel}(\lambda)$ je relatívna spektrálna odozva luxmetra. V podstate tento korekčný činiteľ je možné použiť pri úvahe, že užívateľ vykonáva meranie svetelného zdroja s približným spektrálnym zložením, ktorý bol uvažovaný pri výpočte. Normalizovaný svetelný zdroj CIE A sa používa pri kalibrácii fotometrickej stupnice luxmetrov, preto je možné korekciu zo vzťahu (3) použiť pre tieto zdroje. Pre použitie tohto korekčného faktora pre svetelný zdroj Z je nutné poznať jeho spektrálne zloženie (alebo približný tvar jeho spektrálneho zloženia). Avšak znalosť spektrálneho zloženia v praxi je často neznáma, preto je niekedy dobré vedieť túto informáciu od výrobcu svetelného zdroja resp. svietidiel, ktoré sú v osvetľovacej sústave namontované. Korekčný faktor z vzťahu (4) sa niekedy označuje aj ako aktinita. Pre praktické výpočty integrácia značne komplikovaná pre užívateľov preto vzťah (4) ako aj analogicky vzťah (3) možno nahradiť nasledovne

$$\text{correction}(Z) = \frac{\frac{\sum_{400}^{800} S(\lambda)_A \cdot V(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{400}^{800} S(\lambda)_A \cdot s_{rel}(\lambda) \cdot \Delta\lambda}}{\frac{\sum_{400}^{800} S(\lambda)_Z \cdot V(\lambda) \cdot \Delta\lambda}{\sum_{400}^{800} S(\lambda)_Z \cdot s_{rel}(\lambda) \cdot \Delta\lambda}} \quad (5)$$

kde integrácia bola nahradená sumou cez viditeľné spektrum s uvažovanou spektrálnou pološírkou $\Delta\lambda$ (napr. 5 alebo 10 nm). Potom podľa tohto zjednodušenia možno ľahko vypočítať za pomoci tabuľkových editorov aktinitu pre akýkoľvek uvažovaný zdroj. Je nutné uviesť, že hodnotu indikovanú luxmetrom je potom nutné vydeliť hodnotou vypočítanou podľa vzťahu (5). Tento vzťah je možné použiť aj pri jasomeroch.

Luxmeter okrem spektrálnej chyby sa vyznačuje aj inými nepresnosťami, ktoré vstupujú do výsledku merania a nutné ich uvažovať pri meraní. V tejto časti bude analyzovaná smerová chyba luxmetra a jej možný vplyv na výsledok merania v praxi pri verifikácii osvetľovacích sústav. Smerová chyba podľa dokumentu CIE [9] pre meranie luxmetrom možno určiť podľa vzťahov

$$f_2 = \frac{1}{4} \sum_{j=0}^3 f_2\left(\varphi = j \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{pričom}$$

$$f_2(\varphi) = \int_0^{80^\circ \cdot \frac{\pi}{180}} |f_2(\varepsilon, \varphi)| \cdot \sin(2\varepsilon) d\varepsilon \quad (6)$$

$$f_2(\varepsilon, \varphi) = \frac{Y(\varepsilon, \varphi)}{Y(0, \varphi)} - 1$$

kde

ε	je uhol medzi normálou k ploche snímača a smerom dopadu
φ	je azimutálny uhol
Y	je signál luxmetra v lx
f_2	je smerová chyba luxmetra

Použité luxmetre pre analýzu smerovej chyby možno vidieť na obrázku 6.



Obr. 6 Použité luxmetre s rôznou smerovou chybou f_2

Pre každý typ luxmetra z obrázku Obr. 6 bola určená smerová chyba f_2 . Následne každý luxmeter bol použitý pri meraní vnútorných priestorov pre svetlo dopadajúce na snímač luxmetrov prevažne z kolmého smeru spolu s difúznou zložkou a ako druhý prípad boli charakterizované luxmetre použité pri meraní s prevažne svetlom dopadajúcim pod uhlom väčším ako cca 40° kde to bolo zabezpečené meraním denného svetla v miestnosti s bočnými osvetľovacími otvormi použitím referenčného luxmetra na porovnávacej rovine pre korigovanie premenlivosti osvetlenia na pracovnej rovine. Pri meraní boli zavedené všetky korekcie merania, kde luxmetre pred meraním boli riadne metrologické charakterizované. Do výsledkov merania boli zahrnuté taktiež korekcie, ktoré vyplývali zo systematických chýb jednotlivých luxmetrov ako napr. korekciu na linearitu fotometrickej stupnice a pod. pričom do výsledku merania veľkou mierou bola zahrnutá len smerová chyba f_2 jednotlivých snímačov luxmetrov. V nasledujúcich tabuľkách je možné vidieť výsledky meraní použitých luxmetrov pre uvedené prípady popísaných vyššie. Vyhodnotené

boli parametre v meracích bodoch na porovnávacej rovine definovanej určitou plochou. Meranie bolo vykonané pre každý luxmeter v tých istých meracích bodoch pre účel porovnania s tým, že v miestnosti s denným osvetlením bol použitý referenčný luxmeter pre korekciu nameraných hodnôt, ktoré mohli byť negatívne ovplyvnené premenlivosťou denného osvetlenia. Všetky hodnoty boli pri vyhodnocovaní vzťahnuté k referenčnej hodnote luxmetra s najpresnejšou realizáciou smerovej korekcie fotometrickej hlavice snímača hodnotený ako luxmeter s najmenšou smerovou chybou f_2 .

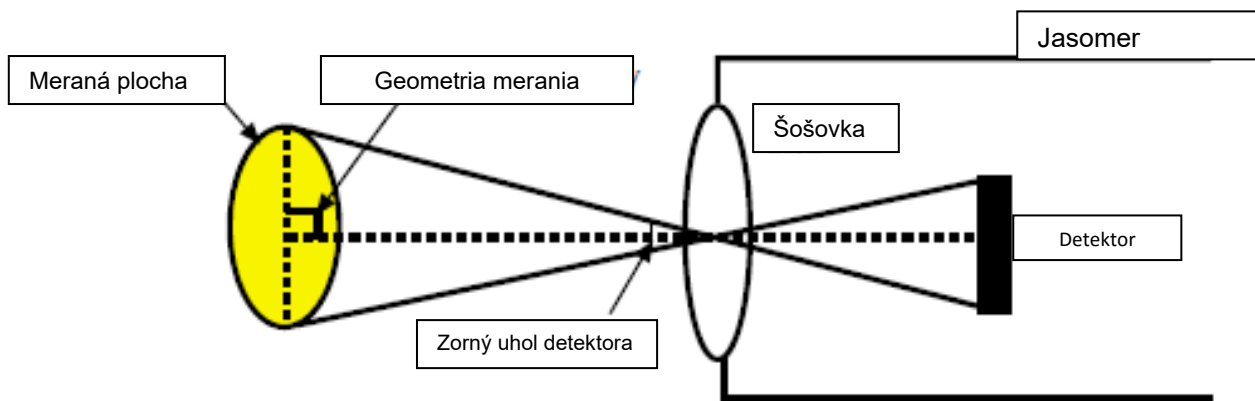
Tabuľka č.1 Výsledky meraní luxmetrami s rôznymi smerovými chybami

	Luxmeter č.1		Luxmeter č.2		Luxmeter č.3		Luxmeter č.4		Luxmeter č.5		Luxmeter č.6		Luxmeter č.7		Luxmeter č.8	
Smerová chyba	$f_2 = 1,52$ %		$f_2 = 2,61$ %		$f_2 = 2,80$ %		$f_2 = 2,82$ %		$f_2 = 2,94$ %		$f_2 = 3,44$ %		$f_2 = 3,90$ %		$f_2 = 6,90$ %	
Osvetľovacia sústava	E_m lx	r %	E_m lx	r %	E_m lx	r %	E_m lx	r %	E_m lx	r %	E_m lx	r %	E_m lx	r %	E_m lx	r %
Priame osvetlenie s difúznou zložkou	530	94	531	94	534	94	529	95	500	95	521	95	539	94	454	95
Bočné osvetlenie	337	66	328	65	338	64	347	65	301	65	353	64	355	65	437	66

Z výsledkov meraní pre oba prípady osvetlenia je možné vidieť, že namerané hodnoty sa menia v závislosti od smerovej chyby jednotlivých luxmetroch. Ako referenčná hodnota bola uvažovaná hodnota luxmetra č.1 t.j. luxmetra s najlepšou kosínovou korekciou v oboch prípadoch osvetlenia t.j. 530 lx pri priamom osvetlení s difúznou zložkou a 337 lx pre bočné osvetlenie. Relatívna rozšírená neistota merania pri meraní fotometrických parametrov pri uvážení normálneho rozdelenia s intervalom pokrytia $k = 2$ bola odhadnutá a pohybovala sa v intervale od 8,7% pre luxmeter č.1 až 14,1% pre luxmeter č.8.

JASOMERY

Pri niektorých fotometrických meraniach je dôležitou fotometrickou veličinou jas L_v . Toto sa meria za pomoci meracieho prístroja jasomer. Princíp merania je podobný ako pri luxmetroch s tým rozdielom, že je nutné vymedziť zorný uhol jasomeru, čím vymedzujeme veľkosť meranej plochy objektu, ktorého jas chceme zmerať. Toto sa môže urobiť aj tak, že fotometrickej hlavici luxmetra sa pridá tubus (buď s optikou alebo bez) vymedzujúci tento uhol. Princíp možno vidieť na obrázku Obr. 7.

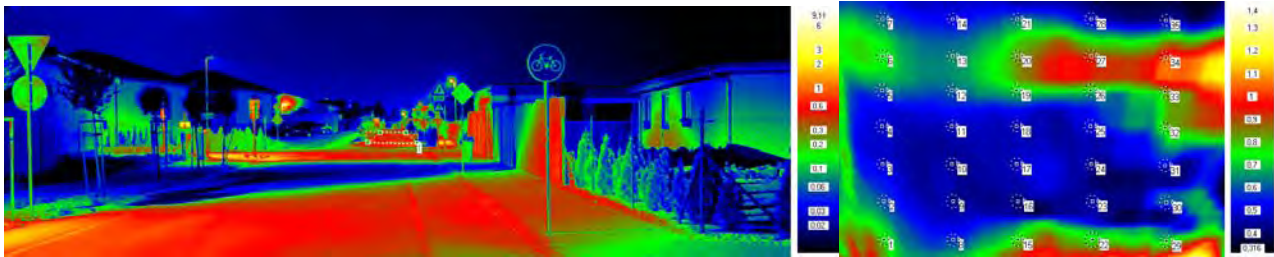


Obr. 7 Princíp merania jasů. Jasomer

Kvalita optiky (objektív, šošovky) a zvolená geometria ovplyvňuje namerané výsledky jasů tým akú veľkú plochu meriame. Tak ako pri luxmetroch prispôsobenie optického filtra pred detektorom na CIE funkciu fotopického alebo skotopického pozorovateľa vo veľkej miere ovplyvňuje výsledky meraní pre rôzne svetelné zdroje s rôznym spektrálnym zložením. Meranie jasů je napr. veľmi dôležité v doprave (semaforey), pri výrobe zobrazovacích systémov televízorov (napr. CRT, LCD) a v iných odvetviach priemyslu. Napríklad pre merania pozemných komunikácií podľa STN EN 13201-4 je možné použiť takýto typ jasomeru s definovaným otvorovým uhlom $20^{\circ} \times 2^{\circ}$ čo vo vzdialenosti 60 m od meracieho poľa má simulovať plochu, ktorú vníma účastník cestnej premávky, z ktorej je meraný jas pozemnej komunikácie.

Jasový analyzátor

Špeciálny prípad jasomeru pomocou ktorého je možné merať jasové rozloženie meraného priestoru. Toto zariadenie sa v súčasnosti používa pre meranie jasů na pozemných komunikáciách pre triedy popísané normou popísanej v časti normy STN EN 13201-2. Za pomoci týchto zariadení možno urobiť reálne snímky meraného priestoru, z ktorých za pomoci špeciálneho softvéru možno získať rozloženie jasů v priestore vo veľmi malých uhloch prislúchajúcich každému pixelu CCD elementu, ktorý slúži ako detektor v týchto zariadeniach. Z jasovej analýzy možno potom vyhodnotiť fotometrické parametre pre konkrétnu situáciu. Pri meraniach pozemných komunikácií je to priemerný jas meraného poľa ako aj celkovú a pozdĺžnu rovnomernosť na pozemnej komunikácii. Typy jasových analyzátorov sú rôzne a to založené na bežných fotoaparátach kde RGBG maskou na CCD element možno získať vhodnou transformáciou fotometrické parametre. Pri týchto typoch zariadenia si treba dávať pozor, pretože pri spracovaní obrazu dochádza k použitiu matematického aparátu interpolácie, kde dochádza k určitým nepresnostiam, ktoré pri vyhodnotení vzniknú. Druhý typ je založený na CCD elemente ako detekčnej časti kde sú pred týmto elementom umiestnené trichromatické filtre priestoru CIE 1931 x,y. Pri tomto type sa eliminujú nepriaznivé vplyvy matematického aparátu interpolácie spomenutej pre prvý prípad. Príklad jasovej analýzy pozemnej komunikácie získanej z merania jasovým analyzátorom je zobrazená na obrázku Obr. 9 spolu s tabuľkou vyhodnotenia pre konkrétnu triedu pozemnej komunikácie.



Obr. 9 Jasová analýza pravého jazdného pruhu ulica Tri Vody I., Malinovo

Tabuľka č.2 Vyhodnotenie meraní jasovej analýzy

Merací bod	L (cd.m ⁻²)	Merací bod	L (cd.m ⁻²)	Merací bod	L (cd.m ⁻²)	Merací bod	L (cd.m ⁻²)	Merací bod	L (cd.m ⁻²)
1	0,78	8	0,58	15	0,78	22	0,77	29	0,74
2	0,60	9	0,45	16	0,43	23	0,46	30	0,59
3	0,51	10	0,45	17	0,48	24	0,45	31	0,51
4	0,50	11	0,49	18	0,48	25	0,51	32	0,78
5	0,61	12	0,62	19	0,72	26	0,73	33	0,85
6	0,75	13	0,65	20	0,83	27	0,91	34	1,02
7	0,62	14	0,53	21	0,62	28	0,49	35	0,46

$$L_{av} = 0,62 \text{ cd.m}^{-2}$$

$$U_0 = 0,69$$

$$U_I = 0,52$$

Na záver treba podotknúť, že taktiež nutnosť pravidelnej metrologickej kontroly vo vhodne stanovených intervaloch v oblasti metrologicky neregulovanej sfére (kalibrácie) a pevne stanovených intervaloch zákonom určených meradiel (overovaním) v oblasti metrologicky regulovanej sfére možno dosiahnuť s vhodne vybraným meradlom pre fotometrické merania požadovanú presnosť meraní. Všetky popísané zariadenia vyššie pri meraní musia byť riadne kalibrované popr. overené tak aby bola zabezpečená nadväznosť na primárne etalóny.

Záver

Výsledky meraní fotometrických veličín by mali byť zrozumiteľne interpretované, aby podľa oblasti merania bolo kompetentným osobám jasné čo bolo merané, akou meracou metódou to bolo merané, podľa akého postupu sa postupovalo, v akých podmienkach, akým meracím prístrojom (prístrojmi) bolo meranie vykonané a kým bolo meranie vykonané. Toto by malo byť spracované do vhodnej formy protokolu, v ktorom sú podrobne popísané všetky okolnosti čo sa merania týkali. Výsledok merania tak ako je definovaný v metrologickom slovníku je výsledok merania s priradenou hodnotou (odhadu) neistoty s požadovaným intervalom pokrytia. To znamená, že výsledok a okolo definovaný interval pokrytia by mal obsahovať s 95 % pravdepodobnosťou konvenčne pravú hodnotu fotometrickej veličiny. Neistota merania sa na záver pri vyhodnotení a interpretácie výsledkov odčíta od nameraných hodnôt jednotlivých fotometrických parametrov, ktoré boli predmetom merania.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] Grum F., Becherer R. J., „Optical radiation measurements vol. 1: Radiometry,“ *Academic Press*, 1979
- [2] STN 01 0115:2001, „Terminológia v metrológii,“ SÚTN
- [3] STN EN 13201-2, „Osvetlenie pozemných komunikácií. Časť 2: Svetelnotechnické požiadavky“
- [4] STN EN 13201-4, „Osvetlenie pozemných komunikácií. Časť 4: Metódy merania svetelnotechnických vlastností“
- [5] Zákon 142/2000 Z.z. o metrológii v znení neskorších predpisov
- [6] OSA/AIP, Handbook of Applied Optics, Edited by Casimer DeCusatis, Chapter 1 (1997)
- [7] CIE Publication No. 69, Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters (1987)
- [8] CIE Publication No. 18.2, The Basis of Physical Photometry (1983)
- [9] CIE 2012. CIE DS 023/E:2012. Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters. Vienna: CIE