



Ministerstvo životního prostředí

Metodika měření spektrálních vlastností venkovního osvětlení radiometry

Metodický pokyn

listopad 2020

Zadavatel: Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 1442/65, 100 10 Praha 10

Zhotovitel: ČVUT v Praze, FEL, katedra elektroenergetiky
Ing. Petr Žák, Ph.D., Ing. Marek Bálský, Ph.D., Ing. Michal Kozlok, Ing. Theodor Terrich

Spolupráce: VUT v Brně – Fakulta elektrotechniky a komunikační techniky, Ústav elektroenergetiky
Doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D., Ing. Jan Škoda, Ph.D., Ing. Martin Motyčka

ČMI, Laboratoře primární metrologie Praha - Oddělení radiometrie a fotometrie
Dr. Ing. Marek Šmíd, Ing. Petr Kliment, Mgr. Kateřina Drbálková, Jan Šmíd

Datum: listopad 2020

1. PŘEDMĚT METODIKY

Předmětem metodiky je popis obecného provozního měření spektrálních vlastností venkovního osvětlení radiometry. Metodika je určena pro ověřování spektrálních vlastností osvětlení u nových venkovních osvětlovacích soustav pro případy, kde je taková kontrola požadovaná v rámci právních předpisů, smluvních vztahů nebo podmínek v rámci přidělování dotací (zákon č. 505/1990 Sb.). Měřením radiometrem lze, v závislosti na typu radiometru (spektroradiometr, kolorimetr), stanovit řadu parametrů, které se používají pro popis spektrálních vlastností viditelného záření jako je např. náhradní teplota chromatičnosti T_{cp} (K), index podání barev R_a (-), odchylka barev $D_{u,v}$ (-) nebo spektrální průběh optického záření. Metodika stanovuje obecné podmínky pro měření spektrálních vlastností osvětlení. Pro měření konkrétních parametrů je třeba tuto metodiku použít současně s metodikou měření konkrétního parametru (např. náhradní teploty chromatičnosti), která tuto metodiku doplňuje.

2. PRÁVNÍ PŘEDPISY, TECHNICKÉ NORMY A DOPORUČENÍ

S navrhovanou metodikou souvisejí následující právní předpisy, technické normy a mezinárodní doporučení:

Zákon č. 505/1990 Sb.	Zákon o metrologii
Vyhl. č. 345/2002 Sb.	Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu, kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu
ČSN EN 12665	Světlo a osvětlení - Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení
ČSN IEC 50(845)	Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 845: Osvětlení
ČSN 36 0011-1	Měření osvětlení prostorů - Část 1: Základní ustanovení
ČSN 36 0011-2	Měření osvětlení prostorů - Část 2: Měřená denního osvětlení
ČSN 36 0011-3	Měření osvětlení prostorů - Část 3: Měření umělého osvětlení vnitřních prostorů
ČSN 36 0011-4	Měření osvětlení prostorů - Část 4: Měření umělého osvětlení venkovních prostorů
ČSN EN 12464-2	Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 2: Venkovní pracovní prostory
ČSN EN 12 193	Světlo a osvětlení - Osvětlení sportovišť
ČSN CEN/TR 13201-1	Osvětlení pozemních komunikací - Část 1: Návod pro výběr tříd osvětlení
ČSN EN 13201-2	Osvětlení pozemních komunikací - Část 2: Požadavky
ČSN EN 13201-3	Osvětlení pozemních komunikací - Část 3: Výpočet
ČSN EN 13201-4	Osvětlení pozemních komunikací - Část 4: Metody měření
ČSN EN 13201-5	Osvětlení pozemních komunikací - Část 5: Ukazatelé energetické náročnosti
ČSN EN 62717	LED moduly pro všeobecné osvětlování – Výkonnostní požadavky
ČSN EN 62722-2-1	Vlastnosti svítidel - Část 2-1: Zvláštní požadavky pro LED svítidla, 9/2016
TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)
0111-OOP-C046-15	Opatření obecné povahy, kterým se stanovují metrologické a technické požadavky na stanovená měřidla, včetně zkoušek při schvalování typu a při ověřování stanovených měřidel, ČMI, 01/2016
CIE 233:2019	Calibration, Characterization and Use of Array Spectroradiometers

3. NÁZVOSLOVÍ, DEFINICE

Názvosloví a definice jsou obsaženy v příslušných normách (ČSN EN 12665, ČSN IEC 50 (845)) a v publikacích o metrologické terminologii (TNI 01 0115). Pro účely tohoto dokumentu platí následující termíny a definice:

3.1 barevný podnět (*colour stimulus*)

viditelné záření, které vniká do oka a budí chromatický nebo achromatický barevný počitek [IEC 60050-845:1987/CIE 17.4:1987; 845-03-02]

3.2 chromatičnost (*chromaticity*)

vlastnost barevného podnětu definovaná jeho trichromatickými souřadnicemi nebo náhradní nebo doplňkovou vlnovou délkou a čistotou [IEC 60050-845:1987/CIE 17.4:1987; 845-03-34]

3.3 trichromatické souřadnice (*chromaticity coordinates*)
podíl každé ze tří trichromatických složek k jejich součtu

POZNÁMKA 1 Protože součet tří trichromatických souřadnic je 1, postačují dvě z nich pro definici dané chromatičnosti.

POZNÁMKA 2 Ve standardních kolorimetrických soustavách CIE jsou trichromatické souřadnice označeny symboly x , y , z a x_{10} , y_{10} , z_{10} .
[IEC 60050-845:1987/CIE 17.4:1987; 845-03-33]

3.4 trichromatické složky (*tristimulus values*)
množství tří měrných barevných podnětů v dané trichromatické soustavě potřebné k vyrovnání s barevným vjemem uvažovaného podnětu

POZNÁMKA Ve standardních kolorimetrických soustavách CIE se trichromatické složky barevného podnětu označují X , Y , Z a X_{10} , Y_{10} , Z_{10} .
[IEC 60050-845:1987/CIE 17.4:1987; 845-03-22]

3.5 teplota chromatičnosti (*colour temperature*)

T_c (K)

teplota černého tělesa, jehož záření má stejnou chromatičnost jako daný barevný podnět
[IEC 60050-845:1987/CIE 17.4:1987; 845-03-49]

3.6 náhradní teplota chromatičnosti (*correlated colour temperature*)

T_{cp} (K)

teplota černého tělesa, jehož vnímaná barva se co nejvíce podobá vjemu barvy uvažovaného podnětu při stejné jasnosti a za stanovených podmínek pozorování

POZNÁMKA 1 Doporučená metoda výpočtu náhradní teploty chromatičnosti podnětu je, že se na diagramu chromatičnosti určí teplota, která odpovídá průsečíku čáry teplotních zářičů se smluvní izotemperou, na níž leží bod reprezentující uvažovaný podnět (viz publikace CIE č. 15).

POZNÁMKA 2 Převrácená náhradní teplota chromatičnosti se používá častěji než převrácená teplota chromatičnosti, kdykoliv jde o náhradní teplotu chromatičnosti.
[IEC 60050-845:1987/CIE 17.4:1987; 845-03-50]

3.7 podání barev (*colour rendering*)

vliv druhu světla na vjem barvy předmětů vědomým nebo podvědomým srovnáváním s vjemem jejich barvy ve srovnávacím světle

POZNÁMKA Německý výraz „Farbwiedergabe“ se vztahuje také k reprodukci barev.
[IEC 60050-845:1987/CIE 17.4:1987; 845-02-59]

3.8 všeobecný index podání barev CIE 1974 (*CIE 1974 general colour rendering index*)

R_a (-)

střední hodnota zvláštních indexů podání barev CIE 1974 pro stanovenou sadu osmi zkušebních barevných vzorků

3.9 radiometr (*radiometer*)

přístroj k měření zářivých veličin

[IEC 60050-845:1987/CIE 17.4:1987; 845-05-06]

3.10 spektorradiometr (*spectroradiometer*)

přístroj k měření zářivých veličin v užších intervalech vlnových délek v daném rozsahu spektra

[IEC 60050-845:1987/CIE 17.4:1987; 845-05-07]

3.11 kolorimetr (*colorimeter*)

přístroj k měření kolorimetrických veličin
[IEC 60050-845:1987/CIE 17.4:1987; 845-05-18]

3.12 stárnutí (*ageing*)

dobu provozu světelného zdroje nezbytná pro dosažení počátečních hodnot fotometrických a elektrických veličin

3.13 doba stabilizace (*stabilisation time*)

dobu provozu světelného zdroje potřebná pro dosažení stabilních hodnot fotometrických veličin a elektrického příkonu při konstantních napájecích podmínkách

3.14 nejistota měření (*measurement uncertainty*)

nezáporný parametr charakterizující rozptýlení hodnot veličiny přiřazených k měřené veličině na základě použité informace.

3.15 chyba měření (*measurement error*)

naměřená hodnota veličiny minus referenční hodnota veličiny

4. KVALIFIKACE OSOB PROVÁDĚJÍCÍ MĚŘENÍ

Osoba provádějící provozní měření spektrálních vlastností venkovního osvětlení radiometrem musí vhodným způsobem prokázat svoji odbornou způsobilost, například osvědčením o interním zaškolení, o absolvování odborného kurzu nebo certifikátem odborné způsobilosti vydané organizací s příslušnou akreditací.

5. HLAVNÍ A POMOCNÁ MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

Pro provozní měření spektrálních vlastností venkovního osvětlení se jako hlavní měřicí zařízení používá radiometr (spektroradiometr, kolorimetr). Pro ověření úrovně osvětlenosti v kontrolních bodech se používá luxmetr. Pro vytyčení poloh kontrolních bodů, pro mechanické upevnění radiometrů v těchto bodech a pro stanovení provozních podmínek se používají pomocné měřicí přístroje a pomůcky. Měřidla je nutné používat s příslušenstvím dodaným nebo doporučeným výrobcem měřidla.

5.1 Hlavní měřicí zařízení

- Pro měření spektrálních vlastností venkovního osvětlení se používají radiometry (spektroradiometry, kolorimetry).
- Pro popis vlastností spektroradiometrů se používá 11 charakteristik (viz. CIE 233: 2019).
- V případě kolorimetrů jsou tyto charakteristiky doplněny o spektrální citlivost. Pro ověření spektrální citlivosti kolorimetrů se používá CIE světelný zdroj A, odpovídající žárovce s wolframovým vláknem s teplotou chromatičnosti $T_c = 2\,856\text{ K}$. Pro měření jiných světelných zdrojů se v rámci ověřování kolorimetrů určují korekční činitele pro jiné světelné zdroje s odlišným spektrálním složením a náhradní teplotou chromatičnosti.
- Další důležitou charakteristikou radiometru je směrová (kosinusová) chyba. Tato charakteristika určuje přesnost měření světla, které dopadá na hlavu radiometru v jiném směru než normálovém. Pro korekci směrové chyby jsou hlavy radiometrů vybaveny kosinusovým nástavcem.
- Třetí důležitou charakteristikou radiometru je linearita. Tato charakteristika souvisí s odchylkami v odečtu hodnot spektrálních parametrů v důsledku změn citlivosti radiometru při různých úrovních osvětlení. Pro dílčí části rozsahu osvětlenosti se při ověřování radiometrů uvádějí korekce na rozsah.
- Horní úroveň rozsahu vlnových délek radiometru musí být minimálně 780 nm.
- Dolní úroveň rozsahu vlnových délek radiometru musí být maximálně 380 nm.
- Pro provozní měření spektrálních vlastností venkovního osvětlení podle této metodiky jsou radiometry pracovními měřidly stanovenými (stanovená měřidla).

- Radiometry jako stanovená měřidla mají dobu platnosti ověření 1 rok (Vyhláška č.345/2002 Sb.). Maximální doba platnosti kalibrace nebo ověření v případech, kdy se nevyžaduje použití stanovených měřidel, není stanovena.
- Stanovená měřidla musí mít zkoušku typu v souladu s opatřením obecné povahy 0111-OOP-C046-15 (ČMI).

5.2 Pomocná měřicí zařízení a pomůcky

- Luxmetry se používají pro určení osvětlenosti v kontrolním bodě.
- Voltmetry se používají pro měření napájecího napětí světelného obvodu.
- Teploměry se používají pro měření teploty okolí.
- Měřidla vzdálenosti (laserové nebo mechanické) se používají pro vytyčení kontrolních bodů.
- Stativy se používají pro přesné nastavení polohy radiometru v kontrolních bodech.
- Měřidlo času (stopky, hodinky) se používají pro měření doby stabilizace osvětlení.

6. OBECNÉ PODMÍNKY MĚŘENÍ – VELIČINY OVLIVŇUJÍCÍ VÝSLEDKY MĚŘENÍ

- Spektrální vlastnosti osvětlení jsou dány spektrálním průběhem viditelného záření. Spektrální průběh viditelného záření venkovního osvětlení může ovlivňovat řada vnějších faktorů (teplota, napájecí napětí, klimatické podmínky apod.). Z tohoto důvodu je třeba podmínky měření zaznamenat a případně zohlednit při vyhodnocování naměřených hodnot.
- Spektrální vlastnosti osvětlení ovlivňuje stav světelných zdrojů. U nových světelných zdrojů dochází na začátku jejich provozu k významným změnám fotometrických, spektrálních a elektrických veličin. Z tohoto důvodu je třeba nechat světelné zdroje po předepsanou dobu v provozu (tzv. stárnutí). Po této době dosáhnou fotometrické, spektrální a elektrické veličiny svých počátečních hodnot.
- Při zapnutí světelných zdrojů trvá určitou dobu než se fotometrické, spektrální a elektrické parametry ustálí. Z tohoto důvodu je třeba nechat osvětlovací soustavu před začátkem měření po předepsanou dobu zapnutou (doba stabilizace). Po této době dosáhnou světelné zdroje při konstantních napájecích podmínkách stabilních hodnot fotometrických veličin a elektrického příkonu.
- V průběhu provozu dochází ke stárnutí osvětlovací soustavy a ke změnám spektrálních vlastností osvětlení. Před měření je vhodné získat informace o stavu údržby a stáří osvětlovací soustavy.
- Spektrální vlastnosti některých typů světelných zdrojů jsou závislé na teplotě okolí. Z tohoto důvodu je třeba teplotu prostředí zaznamenat, a pokud je vliv teploty významný je třeba provést korekci naměřených hodnot na teplotu.
- Spektrální vlastnosti světelných zdrojů mohou být ovlivněny napájecím napětím. Z tohoto důvodu je třeba zaznamenat napájecí napětí, a pokud je vliv napětí významný je třeba provést korekci naměřených hodnot na napájecí napětí. U světelných zdrojů připojených na napájecí síť přes elektronické předřadníky je vliv změn napájecího napětí, vzhledem ke stabilizaci napětí předřadníkem, zpravidla zanedbatelný.

7. METROLOGICKÉ MEZE VYUŽITÍ METODY MĚŘENÍ

Metodika měření spektrálních vlastností venkovního osvětlení slouží pro terénní měření, není určena pro měření laboratorní. Meze hodnot pro jednotlivé parametry vyjadřující spektrální vlastnosti osvětlení jsou uvedeny v samostatných metodikách pro měření těchto parametrů, např. v metodice měření náhradní teploty chromatičnosti.

Pro provozní měření spektrálních vlastností osvětlení vyjádřené konkrétním parametrem je třeba používat radiometry s rozsahem hodnot daných parametrů odpovídající mezním hodnotám. Odhad rozšířené nejistoty u provozního měření jednotlivých parametrů vyjadřující spektrální vlastnosti osvětlení je uveden v dílčích metodikách pro tato měření.

8. PŘÍPRAVA NA MĚŘENÍ

Před zahájením vlastního měření je třeba provést přípravu, v rámci které se shromáždí informaci o měřené osvětlovací soustavě. Na základě těchto informací se vytipují měřená svítidla a definují se kontrolní body, ve kterých se bude měření provádět. Bezprostředně před měřením se připraví osvětlovací soustava a měřicí přístroje.

8.1 Shromáždění informací o měřeném prostoru

- Geometrie venkovního prostoru;
- Projektová dokumentace silnoproudých rozvodů s rozmístěním svítidel, vč. návrhu osvětlení;
- Typ venkovního prostoru (pozemní komunikace, parkoviště...);
- Informace o typu osvětlovací soustavy;
- Informace o svítidlech, světelných zdrojích a předřadnících;
- Informace o ovládání a řízení osvětlovací soustavy (regulace, provozní režimy);
- Informace o stáří a údržbě osvětlovací soustavy (harmonogram údržby);
- Informace o provozním stavu soustavy (nesvítící svítidla, znečištěná svítidla atd.);

8.2 Definování kontrolních bodů

V závislosti na typu kontrolovaných spektrálních vlastností jsou kontrolní body, ve kterých se bude měření těchto parametrů provádět, stanoveny v rámci samostatné metodiky měření (např. metodika měření náhradní teploty chromatičnosti).

8.3 Příprava osvětlovací soustavy

- Před měřením je třeba nechat světelné zdroje v provozu po stanovenou dobu (doba stárnutí). Doba stárnutí u žárovek a halogenových žárovek je 1 hodina, u výbojových zdrojů 100 hodin a u LED modulů pro všeobecné osvětlování 0 hodin (ČSN EN 62717), pokud výrobce neuvede jinak.
- Před vlastním měřením je třeba u světelných zdrojů, které již dosáhly doby stárnutí, zajistit stabilizaci jejich fotometrických a spektrálních veličin a elektrického příkonu. Přitom je třeba zajistit konstantní napájecí podmínky. Za stabilizované se veličiny popisující spektrální vlastnosti osvětlení považují tehdy, pokud měřená hodnota daného parametru při měřeních s odstupem několika minut třikrát po sobě nevykazuje výrazné změny. U výbojových svítidel a svítidel s jinými typy zdrojů s luminoforem (LED) se považuje za minimální dobu stabilizace světelného toku 20 minut. U uzavřených svítidel může být tato doba delší.
- V případě, že je osvětlovací soustava ovládána a řízena řídicím systémem osvětlení provede se kontrola a nastavení řídicího systému na požadovanou úroveň.
- Při měření je třeba vyloučit vliv denního světla (měření v době bez denního světla) i světla parazitních světelných zdrojů, které by ovlivnily měření (světelný tok ze svítidel z jiných prostorů).

8.4 Příprava měřicích přístrojů

- Před vlastním měřením se radiometry vystaví osvětlení, které řádově odpovídá měřené úrovni osvětlení.
- Před měřením je nutné radiometry teplotně stabilizovat, a to z důvodu jejich teplotní závislosti. Pokud by měření probíhalo mimo teplotu definovanou výrobcem, je nutné u naměřených hodnot provést korekci na teplotu.
- Před měřením se provede kontrola baterií a stavu jejich nabití.

9. POSTUP MĚŘENÍ

9.1 Doplnkové měření

Měření teploty

Měření teploty okolního venkovního prostředí se doporučuje provést na začátku a konci měření. Teplota okolí může ovlivňovat nejen velikost světelného toku vyzařovaného svítidly, ale také přesnost měření radiometru.

Měření napětí

Napětí se měří na svorkách měřeného světelné obvodu osobou s odpovídající kvalifikací (Vyhláška č.50/1978 Sb.) Při měření svítidel s elektronickými předřadníky je toto měření pouze orientační a korekce na napětí zpravidla není třeba provádět.

Stanovení kontrolních bodů

Kontrolní body, ve kterých se bude provádět měření konkrétního parametru popisující spektrální vlastnosti osvětlení, je stanoveno v samostatné metodice.

9.2.2 Hlavní měření

- Měření spektrálních vlastností se provádí ve stanovených kontrolních bodech. Radiometr se postupně umisťuje do stanovených kontrolních bodů a odečtené hodnoty se zaznamenávají.
- Při umisťování radiometru do kontrolních bodů je třeba dodržet správnou polohu, výšku a orientaci fotočlánku. Pro zajištění dostatečné přesnosti je možné pro upevnění radiometru použít stativ.
- Při měření je třeba eliminovat veškeré parazitní zdroje světla (denní osvětlení, světlo ze světlometů automobilů, reklam apod.), které by ovlivňovaly měření.
- Při měření je třeba zajistit, aby nedocházelo k clonění světla, dopadajícího z osvětlovací soustavy do kontrolních bodů (překážky, osoba provádějící měření);
- V případě, že je osvětlovací soustava vybavena řídicím systémem osvětlení, nastaví se hladina osvětlenosti, pokud je to možné, na maximální hodnotu.
- Pokud soustava pracuje v různých provozních režimech (např. normální a adaptivní osvětlení u pozemních komunikací) provádí se měření spektrálních vlastností v domluvených provozních režimech.

10. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Naměřené hodnoty, které jsou hodnotami nekorigovanými, je třeba upravit podle vlastností měřících přístrojů na základě údajů výrobce, podle výsledků kalibrace přístrojů, podle vlastností měřeného prostoru a podmínek měření všemi podstatnými korekčními činiteli tak, aby se co nejvíce omezily chyby měření a aby se výsledky co nejvíce přiblížily skutečnosti (spektrální chyba, směrová chyba, chyba linearity, vliv teploty atd.).

Z ověřovacího listu radiometru se stanoví korekční činitel pro rozsah K_{2856i} a korekční činitel světelného zdroje K_{dj} pokud je měřený světelný zdroj jiný než teplotní zdroj, při kterém byl radiometr ověřován. Pokud se teplota okolí výrazně liší od teploty laboratorní, při které se stanovují parametry spektrálních a elektrických veličin, určí se korekční činitel teploty K_T . Naměřené nekorigované hodnoty příslušného parametru popisující spektrální vlastnosti osvětlení se vynásobí příslušnými korekčními činiteli a získají se korigované hodnoty. Například pro teplotu chromatičnosti se korigovaná hodnota stanoví podle vztahu

$$T_{cp,k} = K_{2856i} \cdot K_{dj} \cdot K_T \cdot T_{cp,m} \quad (K) \quad (1)$$

kde je:

- $K_{2856i,i}$ korekční činitel pro daný rozsah osvětlenosti radiometru (-);
- K_{dj} korekční činitel na měřený světelný zdroj (-);
- K_T korekční činitel teploty (-);
- $T_{cp,m}$ nekorigovaná náhradní teplota chromatičnosti v kontrolním bodě (lx);
- $T_{cp,k}$ korigovaná náhradní teplota chromatičnosti v kontrolním bodě (K);

V dalším kroku se stanoví nejistoty měření. Rozšířená nejistota se přepočítá z procent na jednotky, kterými se popisují spektrální vlastnosti např. u náhradní teploty chromatičnosti na Kelvin (K) a připojí se k výsledným korigovaným hodnotám. Například pokud korigovaná hodnota náhradní teploty chromatičnosti bude 2 750 K a rozšířená nejistota $U = \pm 10 \%$, pak výsledný tvar zápisu bude:

$$T_{cp} = (2\,750 \pm 275) \text{ K}$$

Naměřené hodnoty s nejistotami se porovnají s požadavky technických norem, právních předpisů, státní správy, případně s požadavky projektu. Podle výsledků měření mohou nastat čtyři následující situace:

- Pokud je zjištěná hodnota i s intervalem rozšířené nejistoty ($\pm U$) sledovaného parametru v požadované toleranci, považuje se to za vyhovující stav.
- Pokud je zjištěná hodnota i s intervalem rozšířené nejistoty ($\pm U$) sledovaného parametru mimo požadovanou toleranci, považuje se to za nevyhovující stav.
- Vyskytne-li se případ, že hodnota sledovaného parametru je v toleranci, ale horní mez intervalu rozšířené nejistoty je mimo toleranci, nelze tvrdit, že stav je vyhovující.
- Vyskytne-li se případ, že hodnota sledovaného parametru je mimo toleranci, ale dolní mez intervalu rozšířené nejistoty je v toleranci, nelze tvrdit, že stav je nevyhovující.

V závěrečném hodnocení se jednoznačně uvede, zda spektrální vlastností osvětlení zjištěné měřením vyhovují nebo nevyhovují hodnotám požadovanými právními předpisy, státní správou, technickými normami, příp. projektu.

11. NEJISTOTY MĚŘENÍ

Obecně lze nejistoty měření rozdělit na nejistoty měření typu A a nejistoty měření typu B. Nejistota typu A je směrodatná odchylka aritmetického průměru. Je tedy možné ji uplatnit pouze při opakovaných měřeních. Nejistotu typu B tvoří nejistoty měřicího přístroje (radiometru) a nejistoty metody měření. Nejistoty radiometru se určí z charakteristik uváděných výrobcí (tab. 1). Příklady zdrojů nejistot měřicí metody jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 1 Charakteristiky spektrometru

Charakteristika	Popis	Rozdělení
u_{cal}	nejistota kalibrace	rovnoměrné
$f_2(\lambda)$	spektrální směrová chyba (odezva) pro ozáření	rovnoměrné
$f_{2,g}(\lambda)$	spektrální směrová chyba (odezva) pro zářivý tok	rovnoměrné
$f_{2,u}(\lambda)$	spektrální vliv okrajového pole	rovnoměrné
$f_{3,1}(\lambda)$	spektrální linearita (konstantní integrační čas)	rovnoměrné
$f_{3,2}(\lambda)$	spektrální linearita (konstantní vstupní tok)	rovnoměrné
$f_{6,T}(\lambda)$	spektrální teplotní závislost	rovnoměrné
$f_8(\varepsilon, \varphi, \lambda)$	spektrální polarizace	rovnoměrné
$f_9(\lambda)$	spektrální nerovnoměrnost osvětlení snímače	rovnoměrné
$f_{12}(\lambda)$	spektrální zaostřovací vzdálenost	rovnoměrné
$f_{31}(\lambda)$	spektrální šířka pásma	rovnoměrné
f_{32}	parazitní světlo	rovnoměrné

Tab. 2 Zdroje nejistot měřicí metody

Zdroj nejistoty	Rozdělení
Chyba plošného umístění	normální
Chyba výškového umístění	normální
Chyba odchylky od roviny	normální
Ostatní	rovnoměrné

Dílčí nejistoty $u_{B,i}$ se určí ze vztahu:

$$u_{B,i} = \frac{z_{\max,i}}{\chi_i} \quad (\%) \quad (2)$$

kde je

$z_{\max,i}$ maximální předpokládaná velikost odchylky od konvenčně správné hodnoty parametru i (%)
 χ_i koeficient rozdělení parametru i (-)

Standardní nejistota typu B se určí ze vztahu:

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + \dots + u_{Bn}^2} \quad (\%) \quad (3)$$

kde je

u_{B1} až u_{Bn} dílčí nejistoty jednotlivých parametrů (%)

Rozšířená nejistota měření U se určí podle vztahu:

$$U = k \cdot u_B \quad (\%) \quad (4)$$

kde je

k koeficient rozšíření.

Pro pokrytí 95% pravděpodobnosti výskytu správné hodnoty ve vypočteném intervalu nejistoty měření se používá koeficient rozšíření $k = 2$.

10.1 Příklad

Provozní měření parametru popisující spektrální vlastnosti osvětlení (např. náhradní teplota chromatičnosti) soustavě LED svítidel bylo provedeno se radiometrem s hodnotami charakteristik podle tab. 3. Hodnoty charakteristik byly přepočteny na nejistoty.

Tab. 3 Příklad charakteristik radiometrů

Charakteristika	Popis	Odchylka (%)	Rozdělení	Nejistota (%)
u_{cal}	nejistota kalibrace	5,00	$\sqrt{3}$	2,89
$f_2 (\lambda)$	spektrální směrová chyba (odezva) pro ozáření	1,00	$\sqrt{3}$	0,58
$f_{3,1} (\lambda)$	spektrální linearita (konstantní integrační čas)	2,00	$\sqrt{3}$	1,15
$f_{3,2} (\lambda)$	spektrální linearita (konstantní vstupní tok)	2,00	$\sqrt{3}$	1,15
$f_{6,T} (\lambda)$	spektrální teplotní závislost	1,00	$\sqrt{3}$	0,58
$f_9 (\lambda)$	spektrální nerovnoměrnost osvětlení snímáče	2,00	$\sqrt{3}$	1,15
$f_{31} (\lambda)$	spektrální šířka pásma	2,00	$\sqrt{3}$	1,15
f_{32}	parazitní světlo	3,00	$\sqrt{3}$	1,73

Tab. 4 Příklad zdrojů nejistot měřicí metody

Zdroj nejistoty	Odchylka (%)	Rozdělení	Nejistota (%)
Chyba plošného umístění	2	3	0,67
Chyba výškového umístění	1	3	0,33
Chyba odchylky od roviny	2	3	0,67
Ostatní	5	$\sqrt{3}$	2,89

Z vypočtených nejistot se stanoví celková standardní nejistota typu B:

$$u_B = \sqrt{2,89^2 + 0,58^2 + \dots + 0,67^2 + 2,89^2} = 5,16 \% \quad (5)$$

Rozšířená nejistota je:

$$U = k \cdot u_B = 2 \cdot 5,16 = 10,32 \% \quad (6)$$

Toto je pouze příklad postupu stanovení nejistot. Pro každé měření je třeba stanovit nejistotu podle konkrétních zdrojů (přístroj, metoda měření, zpracování).

12. PROTOKOL O MĚŘENÍ

Protokol o provozním měření spektrálních vlastností osvětlení musí obsahovat následující informace potřebné pro kontrolu a ověření měření:

- označení venkovního prostoru, pozemní komunikace;
- datum a čas měření;
- účel, druh a stupeň přesnosti měření;
- informace o použitých měřicích přístrojích (ověřovací list);
- informace o odborné způsobilosti osoby provádějící měření;
- charakteristika prostoru (rozměry, zařízení, účel, zrakové činnosti apod.);
- popis osvětlovací soustavy (typ, svítidla, světelné zdroje, řídicí systémy);
- stav údržby (znečištění, lhůty čištění apod.);
- podmínky a postup měření (stínění, funkční stav osvětlovací soustavy, stabilizace, stárnutí, regulace, napájecí napětí, teplota vzduchu);
- výkresy se zakreslením kontrolních bodů;
- výsledky měření s tabelárním přehledem nebo zápisem do výkresu, použité korekce;
- vyhodnocení měření, porovnání výsledků s požadavky;
- seznam osob účastnících se měření;
- objednatel;
- podpis odpovědného pracovníka.

Protokol o provozním měření spektrálních vlastností osvětlení má mít jedinečné kódové označení pro jeho jednoznačnou identifikaci a jednotlivé strany protokolu mají být očíslovány. Obsahová struktura protokolu o provozním měření spektrálních vlastností osvětlení může mít následující podobu:

A. Identifikační údaje

- A1 Název projektu;
- A2 Druh měření (měřené veličiny, typ měření);
- A3 Objednatel;
- A4 Zpracovatel;
- A5 Osoby provádějící měření;
- A6 Datum a čas měření;

B. Podklady

- B1 Seznam vstupních podkladů (projektová dokumentace, prohlídka, fotodokumentace);
- B2 Seznam použitých technických norem a právních předpisů;

C. Prostor, prostředí, okolí

- C1 Geometrie prostoru nebo komunikace;
- C2 Okolní prostředí;
- C3 Účel prostoru;
- C5 Stínící překážky, parazitní osvětlení

D. Osvětlovací soustava

- D1 Typ osvětlovací soustavy;
- D2 Svítidla;

- D3 Světelné zdroje;
- D4 Ovládací a řídicí zařízení a jejich nastavení;
- D5 Stav údržby;

E. Parametry prostředí

- E1 Klimatické podmínky (sucho, mlha, déšť, sněžení);
- E2 Teplota;
- E3 Napájecí napětí;

F. Měřicí přístroje

- F1 Hlavní měřicí přístroj (radiometr), typ, výrobce, číslo, kalibrace;
- F2 Pomocné měřicí přístroje (luxmetr, teploměr);

G. Měření

- G1 Měřené prostory, pozemní komunikace;
- G2 Stav osvětlovací soustavy (nefunkční zdroje, stav regulace);
- G3 Popis okolí (eliminace parazitního světla, clonění);
- G4 Opakování měření;
- G5 Kontrolní body (umístění, výška);
- G6 Naměřené (korigované) hodnoty v tabelární nebo výkresové podobě (viz příloha);
- G7 Korekční činitelé a nejistoty měření;
- G8 Stanovení požadovaných korigovaných hodnot s vyjádřením nejistoty;

H. Vyhodnocení měření

- H1 Porovnání výsledků měření s požadavky;
- H2 Zhodnocení měření (osvětlení vyhovuje/nevyhovuje);
- H3 Podpis odpovědné osoby;

Přílohy

- P1 Výkresy situace s rozmístěním svítidel a kontrolních bodů;
- P2 Naměřené hodnoty parametrů spektrálních vlastností osvětlení v kontrolních bodech (tabulky nebo výkresy);
- P3 Ověřovací listy hlavních měřicích přístrojů;
- P4 Potvrzení o odborné způsobilosti osoby zodpovědné za měření;