

VYBRANÉ KAPITOLY Z MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ

(Kapitola č. 2)



Studijní cíle

- Popis a vysvětlení funkce luxmetru, jasoměru a kolorimetru. Typy měření osvětlení.
- Měření denního a umělého osvětlení. Legislativa v měření osvětlení.
- Měření jasů a dalších parametrů osvětlení, určení kvality měření osvětlení.



Klíčová slova

Srovnávací rovina, kontrolní bod, luxmetr, kolorimetr, jasoměr, kalibrace, nejistota měření, činitel znečištění, činitel prostupu světla, akreditace, autorizace.



Čas potřebný ke studiu

90 minut



Text k prostudování

Úvod

Měření parametrů osvětlení slouží k objektivnímu vyhodnocení jeho kvality. Popis problematiky měření osvětlení uvedený v následujícím textu se týká základních parametrů a běžného měření v terénu.

Měřením denního osvětlení se ověřují počáteční podmínky před rekonstrukcí umělé osvětlovací soustavy. Ověřuje se zda byly splněny podmínky osvětlení při realizaci stavby (v rámci kolaudace, případně před uvedením do trvalého provozu). Nebo se měřením ověřují podmínky osvětlení při užívání stavby (v rámci sledování, zda osvětlovací soustava není na konci doby života a zda je zapotřebí generální údržba) nebo při stížnostech. Měření se používá ke zjištění podmínek zrakové práce při dozoru hygienické služby na pracovištích, ve školách a v dalších prostorech.

Kromě toho existují postupy měření osvětlení v laboratorním prostředí (např. na modelech) a na dopravních komunikacích. Ty zde však nejsou popsány.

2.1 Základní pojmy

Typy měření osvětlení:

Měření podle požadované přesnosti dělíme na:

- **přesné měření** - nejistota měření je do 8 %
- **provozní měření** - nejistota měření je do 15 %
- **orientační měření** – nejistota měření je do 20 %

Podle rozsahu dělíme měření na:

- **podrobné měření** - pro náročné posuzení prostoru, při soudních sporech nebo při analýze osvětlení složitých zrakových činností.
- **provozní měření** - pro ověřování správnosti navržených a realizovaných systémů osvětlování, pro porovnání systémů osvětlování a pro zjištění zrakové pohody. (nejpoužívanější typ)
- **orientační měření** - pro zjištění základních podmínek vidění a pro orientační kontrolu osvětlení.

Na zvolené přesnosti a rozsahu měření závisí i rozsah prací a obsah protokolů z měření.

Luxmetr:

Je to přístroj pro měření intenzity osvětlení (viz. obrázek). Snímačem je fotonka a vyhodnocovacím přístrojem analogový nebo digitální mikroampérmetr, který je kalibrován v jednotkách intenzity osvětlení v [lx]. U běžných luxmetrů se nyní nejčastěji používají fotonky na bázi křemíku. Dříve byly na bázi polykrystalického selenu, které byly málo časově i teplotně stabilní.

Jasoměr:

Fotonky jsou na podobném principu jako u luxmetrů. Celý přístroj je doplněn optikou se zaostřováním, která vymezuje zorný úhel (zorné pole) ze kterého dopadá na fotonku světelný tok a optikou hledáčku na sledování místa měření s vyznačeným zorným polem.



Obr. 2.1 Příklad luxmetru



Obr. 2.2 Příklad jasoměru

Kolorimetr:

Je to přístroj k měření kolorimetrických souřadnic světla. Běžně se u nás nepoužívá. Některé jasoměry (např. fy Minolta) mají možnost měřit i kolorimetrické souřadnice světla a možnost vypočítat teplotu chromatičnosti.

Srovnávací rovina:

Rovina, ve které je umístěn jeden a více kontrolních bodů, kde se provádí měření. Srovnávací rovina může být vodorovná, vertikální nebo i šikmá. Poloha srovnávací roviny se volí tak, aby se na ní nacházely důležité zrakové činnosti nebo alespoň většina z nich. Může být v celé místnosti nebo v její části, na pracovišti nebo na místě zrakového úkolu.

Kontrolní bod:

Bod na kterém je při měření luxmetrem umístěn střed základny fotonky nebo při měření jasoměrem střed jeho zorného pole.

Nejistota měření:

Nejistota měření (Standardní rozšířená nejistota) je označení intervalu, v němž se s určitou pravděpodobností (nejčastěji se užívá 95 %) vyskytuje správná hodnota. Nejistota měření je nedílnou součástí měření, protože veličina udaná jedním číslem se ve skutečnosti nevyskytuje a nelze ji při hodnocení použít.

Kalibrace:

Je to činnost, při níž se pro určitý normál (normálovou hodnotu) zjišťuje odezva sledovaného měřicího přístroje. Výsledkem kalibrace je kalibrační křivka, ze které lze zjistit „správnou“ hodnotu vzhledem k určitému normálu.

Ověřování:

Ověřování se provádí u stanovených měřicích přístrojů podle zákona o metrologii. Provádí jej státní nebo autorizované zkušebny a výsledkem je zjištění, zda vybrané rozhodující parametry odpovídají hodnotám udávaným výrobcem a zda odpovídají Státním normám. U stanovených měřidel se navíc, při jejich zavádění na trh, požaduje provedení typové zkoušky, což je ověření všech parametrů přístrojů podle typových listů. Při vlastním ověřování se potom kontrolují pouze některé důležité parametry.

Akreditace nebo autorizace:

Jedná se o postup, při kterém se zavádí systém jakosti práce laboratoře (pracoviště) a kterým se získá kredit o její spolehlivosti a správné činnosti. Postup souvisí s průběžnou kontrolou a dalším zlepšováním systému jakosti.

Úhel měřeného pole:

Tento termín je vztažen k jasoměru a případně k luxmetru s jasovým nástavcem. Jedná se o vrcholový úhel kuželu jehož vrchol je v ohnisku přístroje a jeho osa je shodná s optickou osou jasoměru. Tímto úhlem je vymezena oblast ze které dopadá přímý nebo odražený světelný tok na čidlo (fotonku).

Elevační úhel:

Výškový úhel, který svírá normála fotonky nebo optické osy (u jasoměru) s vodorovnou rovinou.

Rovnoměrně zatažená obloha:

Definici, která je dána distribucí jasů oblohy v závislosti na elevačním úhlu a azimutu, pro okolní tmavý i světlý terén, udává norma ČSN 73 0580 - 1.

Činitel znečištění:

Bezrozměrná veličina daná poměrem světelného toku, který prochází znečištěným osvětlovacím otvorem ku toku, který tímto otvorem prochází po vyčištění. Rozlišujeme činitel znečištění pro vnější a vnitřní stranu zasklení.

Činitel prostupu světla:

Bezrozměrná veličina daná poměrem světelného toku, který prochází čistým zaskleným osvětlovacím otvorem ku toku, který prochází tímto otvorem bez zasklení. Rozlišujeme difuzní a normálový činitel prostupu světla.

2.2 Legislativa.

Pro měření osvětlení ve vnitřních prostorech platí norma ČSN 36 0011 část 1 až 3. První část normy jsou základní ustanovení, druhá část se týká měření denního osvětlení a třetí část měření umělého osvětlení. Na ní navazují předpisy (normy) pro již specifická měření:

- ČSN 73 0580-2 – definuje místa pro měření denního osvětlení obytných místností
- ČSN EN 132 01 – 4 (*Osvětlení pozemních komunikací*) a ČSN 36 0400 (*Veřejné osvětlení*) popisuje měření osvětlení komunikací.
- ČSN 36 0061 – definuje místa při měření umělého osvětlení na železničních prostranstvích
- ČSN EN 1838 – definuje místa při měření nouzového osvětlení
- ČSN EN 12193 – definuje místa při měření osvětlení sportovišť

2.3 Měření denního osvětlení.

V tomto odstavci jsou popsány specifické požadavky na měření denního osvětlení.

Měřené veličiny:

Měření denního osvětlení spočívá v kontrole jeho parametrů požadovaných normami:

- **činitel denního osvětlení:**

$$D = \frac{E_i}{E_e} * 100 \quad [\text{lx}, \text{lx}^{-1} ; \%]$$

E_i - intenzita denního světla naměřená luxmetrem ve vnitřním kontrolním bodě

E_e - intenzita denního světla naměřená při **rovnoměrně zatažené obloze** v horizontální (vodorovné) rovině na nestíněném vnějším referenčním bodě (střecha objektu nebo okolní zvýšený terén).

- **rovnoměrnost denního osvětlení** (bezrozměrné číslo)

$$R = \frac{D_{\min}}{D_{\max}} \quad [\%, \%^{-1} ; -]$$

D_{\min} - minimální činitel denního osvětlení zjištěný v síti kontrolních bodů ve vodorovné srovnávací rovině ve vnitřním posuzovaném prostoru nebo na pracovní ploše.

D_{\max} - maximální činitel denního osvětlení zjištěný v síti kontrolních bodů ve vodorovné srovnávací rovině ve vnitřním posuzovaném prostoru nebo na pracovní ploše.

Rovnoměrnost denního osvětlení se zjišťuje podle zrakové práce v celém prostoru nebo v jeho části. Při posuzování pracovišť pak na pracovní ploše.

2.4 Měření umělého osvětlení.

Měřené veličiny:

Měří se veličiny - intenzita umělého osvětlení E [lx] a jas L [cd/m²].

Příprava měření umělého osvětlení:

Měření umělého osvětlení lze provádět u nových osvětlovacích soustav až po 100 hodinách provozu (u zářivkových i výbojkových svítidel) a 10 hodin u žárovkových svítidel, kdy dojde k ustálení světelných poměrů.

Před měřením musí být osvětlovací vysokotlaké výbojkové soustavy zapnuty min. 20 minut a zářivkové soustavy min. 15 minut, aby došlo ke stabilisaci jejich světelného toku.

Při určení sítě dílčích ploch je nutné brát v úvahu umístění svítidel a volit je tak, aby se kontrolní body pokud možno nacházely střídavě pod svítidly a mezi řadami svítidel.

Postup měření umělého osvětlení:

Měření umělého osvětlení se provádí luxmetrem, bez přítomnosti denního světla. Buď po setmění oblohy nebo při úplném zaclonění osvětlovacích otvorů (tím se ale poněkud změní podmínky odrazu vnitřních ploch). Měření při denním osvětlení lze provádět pouze vyjimečně a orientačně. Postup měření je popsán v normě ČSN 36 0011 - 3.

Pro různé druhy osvětlení (normální, pomocné, bezpečnostní, poruchové, doplňující či technologické) se měření provádí samostatně.

Měří se v síti kontrolních bodů, v požadované srovnávací rovině, v celé ploše místnosti (příp. ploše pracoviště). Při velkých plochách, kde se světelná situace stále opakuje (stejná svítidla, stejně rozmístěná, ve stejné výšce, stejné odrazné plochy atd.), lze provést měření v typické části prostoru (příp. pracoviště), protože průměrná hodnota je téměř stejná.

Souběžně s intenzitou umělého osvětlení je potřebné měřit i napětí ve světelném rozvodu co nejbližší ke svítidlům. Pro podrobné a přesné měření je to nutné, pro provozní doporučené a pro orientační měření se používá údaj sdělený energetikem. Pokud se více liší napětí v el. síti od hodnoty běžné v době využívání, provede se přepočít na tuto hodnotu podle vztahu v normě ČSN 36 0011 - 3. Napětí měříme buď registračním voltmetrem nebo číslicovým voltmetrem se záznamem do paměti. Lze také provádět souběžný odečet s hodnotami intenzity osvětlení (podobně jako se měří denní osvětlení). Problém však je, že osvětlovací soustavy nejsou často napájeny jen z jedné fáze a není zřejmé, kterou pro korekci vzít v úvahu. Proto jsou vhodné třífázové voltmetry a bere se pro korekci napětí té fáze, kde dochází k větším změnám. Napětí je nutné kontrolovat i v případě orientačního nebo provozního měření osvětlení a to z důvodu, že zvláště v průmyslových provozech může během měření dojít k zapnutí nějakého spotřebiče s vyšším odběrem el. energie a tím k poklesu síťového napětí a následně k poklesu světelného toku svítidel. Potom by zjištěná intenzita v jedné skupině kontrolních bodů

nebyla změřena za stejných podmínek jak ve zbývajících bodech a měření se musí opakovat.

Pro podrobné a přesné měření je nutné i měření teploty v okolí svítidel. Na teplotě je závislý světelný tok zdrojů. Přepočet se provádí pouze při výskytu atypické situace. Pokud teplota je stejná jako při běžném provozu svítidel, uvádí se do protokolu pouze pro informaci.

Vzhledem ke zvýšení přesnosti by mělo být měření opakováno ve stejných kontrolních bodech vícekrát a výsledky by měli být zpracovány statistickými metodami (např. Hornovým postupem).

Při měření na pracovních místech se kontrolní body umístí opět v síti tak, aby naměřené hodnoty dobře vystihly nerovnoměrnost intenzity umělého osvětlení. To je zvláště nutné při místním osvětlení pracoviště. Pokud je pracoviště osvětleno dostatečně rovnoměrně, lze použít u menších ploch i měření v jednom bodě uprostřed plochy, kde se provádí zraková práce. Když je plocha úzký obdelník, používá se řady rovnoměrně rozmístěných bodů v její delší ose.

U kombinovaného osvětlení (místní + celkové) se změří ještě hodnota celkového osvětlení (při vypnutém místním).

Měření jasů:

Měření jasů se provádí buď za účelem:

- Zjištění činitele odrazu ploch s difuzním odrazem světla:
To lze provádět nejlépe luxmetrem s jasovým nástavcem umístěným kolmo k měřené ploše v takové vzdálenosti, aby nedošlo k zastínění měřené plošky. Intenzita umělého osvětlení na ní se změří pak luxmetrem v jejím středu. Ze získaných hodnot se potom vypočítá činitel odrazu plochy.
- Zjištění rozložení jasů v zorném poli pracovníka:
Při tomto měření je jasoměr umístěn na stativu v místě, kde se při práci nachází zrakový orgán pracovníka. Naměřené hodnoty se vyznačí na fotografii nebo na perspektivním nákresu tohoto místa. Fotoaparát se přitom dá do přibližně stejného místa jako jasoměr. Hodnoty lze uvést do tabulky, ale musí se zaznamenat vertikální i horizontální úhel jasoměru při kterém byly naměřeny.
- Zjištění jasů světelných zdrojů (primárních i sekundárních):
Zde se provádí měření jasoměrem buď v jednom bodě, pokud se viditelná velikost průmětu světelného zdroje blíží velikosti zorného pole jasoměru. V zorném poli musí být pouze měřená plocha a jasoměr musí být na ní zaostřen. Pokud toto nelze, zdroj je větší a nelze již zvětšit zorný úhel jasoměru, musí se měřit ve více bodech tak, aby jednotlivá zorná pole jasoměru pokryla měřený předmět. Z těchto hodnot se potom spočítá aritmetický průměr. Pokud je průmět zdroje menší, musí se použít menší zorný úhel jasoměru.

2.5 Měření dalších parametrů osvětlení.

- **Odraznost ploch** - činitel odrazu ploch s rovnoměrným odrazem světla (lesklé plochy takto nelze posuzovat) se zjistí na základě vztahu:

$$\rho \cdot E = \pi \cdot L$$

E - intenzita osvětlení na posuzované ploše

L - jas posuzované plochy

ρ - činitel odrazu

Při měření nesmí dojít k zastínění měřené plochy pracovníkem provádějícím měření. Při posuzování činitele odrazu větších ploch se musí předpokládat, že mohou být různě znečištěné a tak se provede stanovení v kontrolních bodech rovnoměrně umístěných po ploše a aritmetický průměr těchto hodnot lze uvažovat jako střední činitel odrazu.

Činitel odrazu lze zjistit i porovnávací metodou, kdy se změří jas kontrolované plošky a pak jas normálu o známém činiteli odrazu. Činitel odrazu kontrolované plošky je úměrný poměru jejího jasu ku jasu normálové plošky násobeného činitelem odrazu normálu.

- **Činitel prostupu světla:**

Difuzní činitel prostupu se zjistí se z podílu změřené intenzity luxmetrem přiloženým na zasklení osvětlovacího otvoru zevnitř ku intenzitě na stejném místě při otevřeném osvětlovacím otvoru. Kontrolní místo musí být identické a musí být zajištěna stejná horizontální venkovní intenzita osvětlení. Lze to přepočtem naměřených hodnot na její stejnou velikost.

Normálový činitel prostupu se zjistí z podílu změřeného jasu oblohy nebo jiného pozadí, jasoměrem umístěným kolmo k zasklení, ku jasu ve stejném kontrolním bodě bez zasklení (otevřené okno a pod.).

- **Činitel znečištění:**

Měření se provádí podobným způsobem jako u činitele prostupu světla (difuzního nebo normálového).

Provádí se měření:

- při zasklení očištěném zvenku
- při zasklení očištěném zevnitř

Podíl zjištěné hodnoty ku hodnotě oboustranně vyčištěného zasklení udávají v prvním případě vnější činitel znečištění a ve druhém případě vnitřní činitel znečištění. Celkový činitel znečištění je pak součin obou hodnot.

U svítidel se měří intenzita osvětlení v kontrolním bodě pod svítidlem nebo jas svítidla před vyčištěním a na tom samém místě po vyčištění. Poměr těchto hodnot udává činitel znečištění svítidla. Předpokladem je měření za stejných podmínek (stejná síťové napětí atd.)

- **Měření válcové a kulové osvětlenosti i světelného vektoru:**

K měření těchto parametrů osvětlení se používají také luxmetry, ale opatřené nástavci pro měření válcové a kulové osvětlenosti. Při měření světelného vektoru se potom používá buď speciálního čidla vybaveného až šesti fotonkami, které musí mít stejné vlastnosti. Nebo lze však použít jednu fotonku, kterou musíme natáčet při měření válcové osvětlenosti ve čtyřech (na sebe kolmých) vertikálních rovinách. U kulové

osvětlenosti a u světelného vektoru pak natáčením v šesti rovinách podle povrchu fiktivní krychle.

Kontrolní bod při měření kulové (sférické) nebo válcové (cylindrické) osvětlenosti a světelného vektoru se umísťuje vždy 1,2 m (sedící osoba) nebo 1,5 m (stojící osoba) nad podlahou. Pro posouzení místnosti pak uprostřed její délky i šířky ve vzdálenosti 1 m od stěn.

2.6 Kvalita měření osvětlení.

Kvalita měření osvětlení závisí na:

- znalostech a zkušenostech pracovníka, který jej provádí,
- na jeho pečlivosti a zodpovědnosti,
- na kvalitě přístrojů a jejich kalibraci,
- na volbě kontrolních bodů,
- na zpracování výsledků.



Kontrolní otázky k teoretické části

- 1) Definujte pojmy činitel znečištění a činitel prostupu světla. (2 body)**
- 2) Definujte vztah pro činitele denního osvětlení. (2 body)**
- 3) Vyjádřete vztah pro určení rovnoměrnosti denního osvětlení a popište jej. (2 body)**
- 4) Jaké jsou měřené veličiny u umělého osvětlení? (1 bod)**



Kontrolní otázky k praktické části

- 1) Na čem závisí kvalita měření osvětlení? (2 body)**
- 2) Uveďte normy týkající se měření osvětlení. (2 body)**



Shrnutí

Nové poznatky a pojmy

- měření denního a umělého osvětlení pomocí luxmetru, časoměru a určení dalších parametrů osvětlení (např. pomocí kolorimetru)
- legislativní odkazy na měření osvětlení, postup měření
- vztahy pro určení denního osvětlení, rovnoměrnosti a výpočet odraznosti ploch



Klíč k otázkám k teoretické části

Ad 1)

Činitel znečištění:

Bezrozměrná veličina daná poměrem světelného toku, který prochází znečištěným osvětlovacím otvorem ku toku, který tímto otvorem prochází po vyčištění. Rozlišujeme činitel znečištění pro vnější a vnitřní stranu zasklení.

Činitel prostupu světla:

Bezrozměrná veličina daná poměrem světelného toku, který prochází čistým zaskleným osvětlovacím otvorem ku toku, který prochází tímto otvorem bez zasklení. Rozlišujeme difuzní a normálový činitel prostupu světla.

(2 body)

Ad 2)

▪ činitel denního osvětlení:

$$D = \frac{E_i}{E_e} * 100 \quad [\text{lx}, \text{lx}^{-1}; \%]$$

E_i - intenzita denního světla naměřená luxmetrem ve vnitřním kontrolním bodě

E_e - intenzita denního světla naměřená při **rovnoměrně zatažené obloze** v horizontální (vodorovné) rovině na nestíněném vnějším referenčním bodě (střecha objektu nebo okolní zvýšený terén).

(2 body)

Ad 3)

- **rovnoměrnost denního osvětlení** (bezrozměrné číslo)

$$R = \frac{D_{\min}}{D_{\max}} \quad [\%, \%^{-1} ; -]$$

D_{\min} - minimální činitel denního osvětlení zjištěný v síti kontrolních bodů ve vodorovné srovnávací rovině ve vnitřním posuzovaném prostoru nebo na pracovní ploše.

D_{\max} - maximální činitel denního osvětlení zjištěný v síti kontrolních bodů ve vodorovné srovnávací rovině ve vnitřním posuzovaném prostoru nebo na pracovní ploše.

Rovnoměrnost denního osvětlení se zjišťuje podle zrakové práce v celém prostoru nebo v jeho části. Při posuzování pracovišť pak na pracovní ploše.

(2 body)

Ad 4)

Měří se veličiny - intenzita umělého osvětlení E [lx] a jas L [cd/m²].

(1 bod)



Klíč k otázkám k praktické části

Ad 1)

Kvalita měření osvětlení závisí na:

- znalostech a zkušenostech pracovníka, který jej provádí,
- na jeho pečlivosti a zodpovědnosti,
- na kvalitě přístrojů a jejich kalibraci,
- na volbě kontrolních bodů,
- na zpracování výsledků.

(2 body)

Ad 2)

Pro měření osvětlení ve vnitřních prostorech platí norma ČSN 36 0011 část 1 až 3. První část normy jsou základní ustanovení, druhá část se týká měření denního osvětlení a třetí část měření umělého osvětlení. Na ní navazují předpisy (normy) pro již specifická měření:

- ČSN 73 0580-2 – definuje místa pro měření denního osvětlení obytných místností
- ČSN EN 132 01 – 4 (*Osvětlení pozemních komunikací*) a ČSN 36 0400 (*Veřejné osvětlení*) popisuje měření osvětlení komunikací.
- ČSN 36 0061 – definuje místa při měření umělého osvětlení na železničních prostranstvích
- ČSN EN 1838 – definuje místa při měření nouzového osvětlení
- ČSN EN 12193 – definuje místa při měření osvětlení sportovišť

(2 body)