

Vplyv znečistenia optických častí svietidiel na zmeny ich fotometrických parametrov

doc. Ing. Dionýz Gašparovský, PhD.,
Slovenská technická univerzita v Bratislave, FEI,
Ing. Marek Mácha, OMS, s. r. o.

Úvod

Pri vypracovávaní návrhu osvetľovacích sústav má kľúčový význam stanovenie správneho udržiavacieho činiteľa. Metodický návod na jeho určenie poskytuje publikácia CIE 97, na ktorú sa odvolávajú aj technické normy. Udržiavací činiteľ pozostáva z viacerých zložiek. Jednou z najvýznamnejších, ktorá patrí do skupiny vratných (alebo čiastočne vratných) strát svetelného toku, je činiteľ vyjadrujúci pokles svetelného toku v dôsledku znečistenia svietidla, pričom jeho určenie o. i. závisí od čistoty prostredia v rámci troch možných kategórií. Dokument CIE však neuvádza presnú špecifikáciu jednotlivých kategórií, čo sťažuje použitie tohto dokumentu v praxi. V príspevku sú obsiahnuté tézy aktuálnych výskumov v oblasti udržiavacieho činiteľa. Cieľom prác je definovanie kategórií čistoty, skúmanie vplyvu znečistenia na rôzne optické časti svietidiel, a to nielen z pohľadu zníženia optickej účinnosti, ale aj zmeny kriviek svetivosti znečistených svietidiel.

1. Straty svetelného toku počas života osvetľovacej sústavy

Všetky osvetľovacie sústavy sa od okamihu uvedenia do prevádzky postupne znehodnocujú (obr. 1). Straty sú spôsobené usadzovaním nečistôt, starnutím svetelných zdrojov, svietidiel atď. Ak tento jav nebude braný do úvahy, osvetlenosť sa postupne zníži na veľmi nízke hodnoty a sústava sa stane energeticky neúčinnou, neestetickou až nebezpečnou. Keďže znížovanie osvetlenosti je postupné, užívateľia priestoru ho nemusia registrovať. To však za nejaký čas môže vyvolať zrakovú únavu, zvýšiť chybovosť, a dokonca aj spôsobovať úrazy. Časovú stratu svetelného toku treba odhadnúť už v etape projektovania osvetľovacej sústavy a do výpočtu zahrnúť príslušnú opravu vo forme udržiavacieho činiteľa. Svetlotechnický projekt musí byť vypracovaný tak, aby bral do úvahy celkový udržiavací činiteľ vypočítaný pre zvolenú osvetľovaciu sústavu, dané prostredie a stanovený plán údržby. Udržiavací činiteľ závisí od pracovných charakteristík svetelných zdro-

jov a predradníkov, svietidiel, charakteru prostredia a plánu údržby.

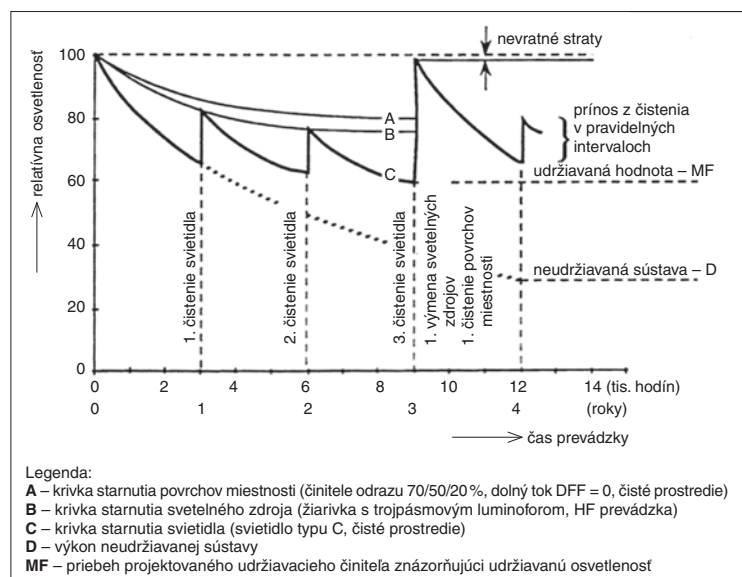
Nevratné zmeny sú vlastné osvetľovacej sústave, nedajú sa zlepšiť bežnou údržbou a nie je ekonomické ich zlepšovať. K nevratným zmenám patrí napr. starnutie a degradácia materiálov (žltnutie plastov, korózia kovových povrchov, strata odrazivosti hliníkových plechov). Sú všeobecne nevýznamné (<3%), ale pri vypra-

2. Udržiavací činiteľ

Udržiavací činiteľ je potrebné stanoviť použitím týchto dokumentov:

CIE 97 (2002): Údržba vnútorných osvetľovacích sústav (interiérové osvetlenie).

CIE 115 (1995): Odporúčania na osvetlenie ciest pre motorovú a pešiu premávku (verejné osvetlenie).



Obr. 1. Zmena osvetlenosti v priebehu života osvetľovacej sústavy – príklad pre priemyselné svietidlo s horným reflektorom pre lineárnu žiarivku pri individuálnej výmene svetelných zdrojov

čovaní projektovej dokumentácie OS ich treba zohľadniť spolu s plánom údržby a s výberom zariadenia pre dané prostredie. V niektorých prípadoch, keď sú tieto zmeny významné a nie je hospodárne prevádzkovať ďalej osvetľovaciu sústavu ani uviesť svetelnoúčinné časti do pôvodného stavu, svietidlo treba vymeniť (alebo vymeniť optické časti na náhradné diely). Príklad: Svietidlá prevádzkované v špinavom a masnom prostredí, kde sa častice prachu a oleja zapečú do povrchu reflektora. Ako ukázala prax, výmena optických častí s použitím náhradných dielov je neekonomickým riešením.

Vratné zmeny možno zlepšiť rutinnou údržbou. Patrí sem znečistenie svietidiel, znečistenie povrchov miestností, pokles svetelného toku zdrojov atď. V pláne údržby je potrebné presne špecifikovať tieto zmeny a spôsob ich odstránenia (vrátane časového plánu).

Udržiavací činiteľ sa skladá z týchto zložiek:

- činiteľ poklesu svetelného toku zdrojov (LLMF),
- činiteľ funkčnej spoľahlivosti svetelných zdrojov (LSF) (tiež ako mortalita, predčasné zlyhanie),
- činiteľ znečistenia svietidiel (LMF),
- činiteľ starnutia materiálov svietidiel (LMF),
- činiteľ znečistenia povrchov miestnosti (RSMF).

Celkový udržiavací činiteľ je násobkom jednotlivých zložiek:

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF \quad (1)$$

Činiteľ poklesu svetelného toku vplyvom znečistenia svietidla LMF sa uvádza v závislosti od miery znečistenia prostredia a stupňa krytia svietidla v publikácii CIE. Pokles svetelného toku vplyvom nevratných zmien (podľa publikácií CIE sa nerozlišuje medzi vratnými a nevratnými

Tab. 1. Kategorizácia (typy) svietidiel z hladiska údržby

Kategória	Typ svietidla	Popis
A	neclonené svietidlo	svietidlo s necloneným svetelným zdrojom
B	otvorené svietidlo bez horného krytu (s prirodzeným vetraním)	– priamo-nepriame svietidlo bez krytu – priamo-nepriame svietidlo s nepriamym reflektorom a uzatvorenou optickou sústavou – svietidlo na osvetlenie steny (s vertikálnym výstupným otvorom), nástenné svietidlo otvorené hore a dole – stropné úzkouhlé svietidlo, hore otvorené
C	svietidlo s horným krytom (nevetrané)	– zapustené svietidlo – stropné úzkouhlé svietidlo – úzkouhlý svetlomet
D	uzatvorené svietidlo IPX2	svietidlo na všeobecné použitie s uzatvoreným krytom a optickou sústavou
E	prachotesné svietidlo IPX5	svietidlo chránené proti prachu
F	nepriame svietidlo (uplight)	voľne stojace, závesné, nástenné – nepriame, dole uzatvorené
G	svietidlo s riadenou klimatizáciou	svietidlo s optikou používané s klimatizačnými alebo vetracími systémami

Poznámka: Svietidlá typu C, D a F sa neodporúčajú do špinavého prostredia

zmenami a na obidve sa aplikuje zložka LMF) je v súčasnosti ešte málo preskúmanou oblasťou, zatiaľ sú spoľahlivé a hodnoverné údaje len otázkou budúcnosti. Dá sa uvažovať s poklesom toku 2% počas života, čo však platí len pre moderné svietidlá konštruované z moderných materiálov a postupmi v zmysle normy pre svietidlá, nie pre existujúce staré typy svietidiel!

Pri skúmaní schopnosti svietidiel odolávať znečisteniu treba zohľadniť konštrukčné riešenie svietidla (miera otvorenosti svietidla, poloha otvorov atď.) na jednej strane a charakteristiky prostredia na druhej strane. Kategorizáciu konštrukčných riešení svietidiel z hladiska údržby uvádza tab. 1. Kategórie čistoty prostredia podľa dokumentu CIE 97 sú uvedené v tab. 2. Zmienené orientač-

né kategorizácie sú príliš všeobecné a pre použitie v praxi často nejednoznačné. V praxi by bol veľmi užitočný jednotný a najmä jednoznačný klasifikačný systém, ktorý by mal nadväznosť na iné technické normy zaoberajúce sa charakteristikami prostredia a schopnosti svietidiel či iných elektrických zariadení týmto vplyvom odolávať.

3. Klasifikácia prostredí podľa čistoty

Najčastejšou formou znečistenia optických častí svietidiel je usádzanie prachu. Prach je všeobecné označenie pre pevné častice s priemerom menším ako 500 µm. Prach v atmosfére Zeme pochádza z rôznych zdrojov. Prachom sa rozumejú aj drobné častice pevných materiálov rozptýlené v ovzduší alebo usadené na pred-

metoch a stenách. Tieto častice vznikajú aj pri ťažbe, vŕtaní, mletí a opracovávaní rôznych pevných materiálov. V ovzduší zamorenom prachom sa najdlhšie udržujú častice prevažne priemeru do 2 µm. Tieto častice sú z hygienického hladiska najnebezpečnejšie, pretože prenikajú hlboko do dýchacích ciest a spôsobujú vážne respiračné ochorenia.

CIE 97 vzťahuje zložku LMF a požadované intervaly údržby iba na štyri kategórie čistoty, ktoré bližšie nedefinuje a uvádza len orientačné príklady priestorov, ktoré sú považované za typických predstaviteľov jednotlivých kategórií. Projektant má ťažkú úlohu odhadnúť, do ktorej kategórie riešený priestor práce spadá.

Projektant v prvom rade stanovuje požiadavky na osvetlenie podľa príslušných technických noriem. Napríklad pre pracoviská použije normu STN EN 12 464-1 (vnútorné pracoviská), popr. STN EN 12 464-2 (vonkajšie pracoviská). Pre daný riešený priestor z tabuľky vyberie požiadavky na intenzitu osvetlenia, rovnomernosť osvetlenia, požiadavky na UGR/GR, popr. ďalšie (podľa poznámok k tabuľkám). Iste by bolo užitočné, keby pracovné priestory podľa uvedených noriem boli zosúladené s dokumentmi CIE, čo sa týka kategórie čistoty.

Pri klasifikácii prostredí možno zohľadniť rôzne vplyvy, ktoré majú na znečistenie svietidiel vplyv. Tu sa dá oprieť o technickú normu STN 33 2000-5-51, ktorá rieši problematiku vonkajších vplyvov. Napríklad prach ako najdôležitejšia forma znečistenia svietidiel je definovaný prostredníctvom vonkajšieho vplyvu AE. Pri návrhu osvetľovacej sústavy by vonkajšie vplyvy pre jednotlivé miestnosti či priestory mali byť známe, stanovujú sa komisionálne v úvodných fázach riešenia projektu (resp. v predprojektovej príprave). Vonkajšie vplyvy sú odstupňované podľa miery výskytu prachu (tab. 3). Schopnosť zariadení odolávať určitej miere výskytu prachu je daná ich stupňom krytia, ktorý sa v zmysle noriem klasifikuje systémom IP (*Ingress Protection*).

Vlastnosti prostredia definuje aj skupina noriem STN EN 60721 na základe suspenzie a sedimentácie prachu. Približný prevod medzi rôznymi systémami uvádza tab. 4.

4. Návrh metodiky na skúmanie vplyvu znečistenia prostredia na zníženie svetelného toku svietidiel

Súčasný údaje o znížení svetelného toku svietidiel v dôsledku ich znečistenia podľa dokumentov CIE sú založené na prácach Clarka a Ajzenberga (a ďalších), ktoré boli uskutočnené v šesťdesiatych a neskôr v osemdesiatych rokoch.

Tab. 2. Odporúčané intervaly údržby osvetľovacích sústav pre rôzne pracovné prostredia

Kategória čistoty	Interval údržby (roky)	Pracovisko
veľmi čisté (VC)	3	čisté miestnosti, závody na výrobu polovodičov, nemocničné oddelenia ^{*)} , výpočtové strediská
čisté (C)	3	úradý, školy, areály nemocníc
normálne (N)	2	obchody, laboratóriá, reštaurácie, obchodné domy, montážne plochy, dielne
špinavé/znečistené (S/Z)	1	oceliarne, chemické závody, zlievarne, zvarovanie, leštenie, práca s drevom

^{*)} Z hygienických dôvodov sa môže vyžadovať častejšia údržba.

Tab. 3. Stupne vonkajšieho vplyvu AE podľa STN 33 2000-5-51

Trieda vonkajšieho vplyvu	Trieda podľa STN EN 60721-3-3 ¹⁾	Trieda podľa STN EN 60721-3-4 ²⁾	Trieda podľa STN EN 60529 ³⁾
AE1	3S1	4S1	IP 0X
AE2	3S2	4S2	IP 3X
AE3	3S3	4S3	IP 4X
AE4	3S2	4S2	IP 5X
AE5	3S3	4S3	IP 6X
AE6	3S4	4S4	IP 6X

Poznámky:

¹⁾ STN EN 60721-3-3: Klasifikácia podmienok prostredia. Časť 3: Klasifikácia skupín parametrov prostredia a stupňov ich prítomnosti. Oddiel 3: Stacionárne použitie na miestach chránených proti poveternostným vplyvom

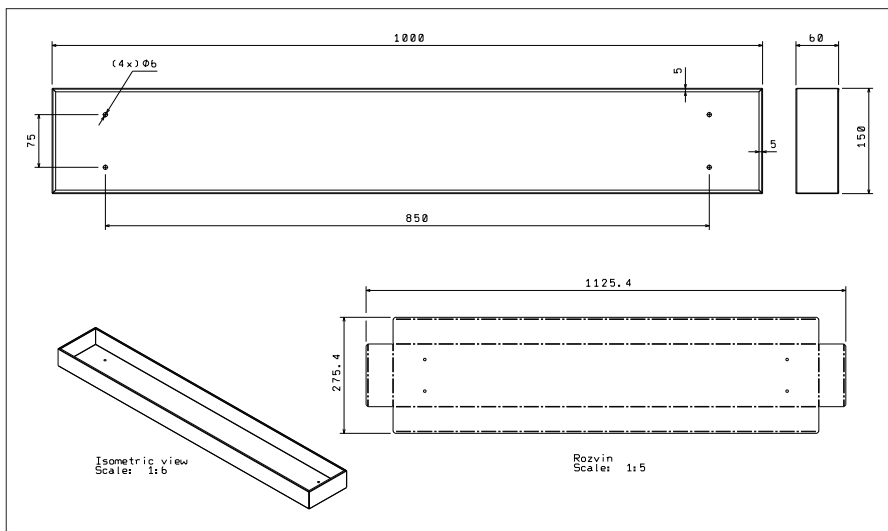
²⁾ STN EN 60721-3-4: Klasifikácia podmienok prostredia. Časť 3: Klasifikácia skupín parametrov prostredia a stupňov ich prítomnosti. Oddiel 4: Stacionárne použitie na miestach nechránených proti poveternostným vplyvom

³⁾ STN EN 60529: Stupne ochrany krytom (krytie – IP kód)

Tab. 4. Hodnoty výskytu prachu a cudzích pevných telies podľa rôznych noriem

Trieda vonkajšieho vplyvu	Triedy a hodnoty podľa noriem STN EN 60721-3-3 (CH) a STN EN 60721-3-4 (N)							
	Trieda		Piesok (mg/m ³)		Suspenzia prachu (mg/m ³)		Sedimentácia prachu (mg/m ² ·h)	
	CH	N	CH	N	CH	N	CH	N
AE1	3S1	4S1	-	30	0,01	0,5	0,4	15
AE2	3S2	4S2	30	-	0,2	-	1,5	-
AE3	3S3	3S3	300	1 000	0,4	15	15	40
AE4	3S2	4S2	30	300	0,2	5	1,5	20
AE5	3S3	4S3	300	1 000	0,4	15	15	40
AE6	3S4	4S4	3 000	4 000	4,0	20	40	80

Trieda vonkajšieho vplyvu	Spád prachu podľa STN 33 2000-5-51 (mg/m ² /deň)	
	dolná hranica	horná hranica
AE4	10	35
AE5	35	350
AE6	350	1 000



Obr. 2. Špeciálne zariadenie na zachytávanie usadzujúceho sa prachu na optických častiach svetiel

Dnešné podmienky pracovných prevádzok sú však už podstatne lepšie, s podstatne menším znečistením.

Okrem zníženia svetelného toku je však mimoriadne dôležitý aj iný dôsledok, a to rozptyl svetla na vrstve usadeného prachu. Táto skutočnosť sa pri návrhu osvetlenia vôbec neberie do úvahy, čo je zásadná chyba v sústavách so zrkadlovými optikami – napr. v kanceláriách a podobných zrakových náročných priestoroch so svetlidlami s parabolickou mriežkou. Na konci cyklu údržby nebudú dosiahnuté požadované parametre osvetlenia nie tak v dôsledku zníženia svetelného toku, ale zmenou jeho priestorového prerozdelenia.

Okrem odrazných povrchov však rozdiely existujú aj v materiáloch difúzorov, na výrobu ktorých sa používa predovšetkým polykarbonát, polymetylmetakrylát a polystyrén. Rôzne materiály vykazujú rôznu priľnavosť prachu. Dôležitá je ale aj štruktúra povrchu – pri prizmatických difúzoroch sa v úzkych drážkach prach usádza a pri čistení svetidla ho nie

je možné plne odstrániť, čím rastie miera nevratných strát.

Cieľom aktuálne prebiehajúcich výskumných úloh je podrobne analyzovať vplyv znečistenia prostredia na zníženie a rozptyl svetelného toku zo svetidiel. V súčasnosti sú započaté iba úvodné práce. Na skúmanie znečistenia rôznych prostredí boli navrhnuté vzorky materiálov, ktoré sa najčastejšie používajú pri výrobe optických častí svetidiel. Boli navrhnuté konkrétne prevádzky, kde sú, resp. budú tieto vzorky umiestňované. V súčasnosti je už prvá sada vzoriek inštalovaná a prebieha proces ich prirodzeného znečistenia. V budúcnosti sa uvažuje aj s umelým naprašovaním v špeciálnej komore.

Na obr. 2 sú nákresy špeciálneho zariadenia na zachytávanie prachu v prirodzenom prostredí. Zariadenia budú inštalované vo vybraných priestoroch podobne ako svetidlá. V každom zariadení budú uložené materiály, ktoré sa najčastejšie používajú v danom priestore. Interval zberu vzoriek je navrhnutý v závislosti od použi-

tia. Odobraté vzorky sa podrobia meraniu vrstvy prachu a fotometrickým meraniam.

V jednotlivých úlohách sa budú sledovať rôzne okrajové podmienky, ktoré môžu mať vplyv na výsledky. Ide napr. o mieru znečistenia okolia objektu, t. j. polohu objektu (pokojná časť mesta, centrum mesta, blízkosť hlavných ciest, priemyselná zóna atď.), spôsob vetrania (prirodzené, klimatizované priestory) a ďalšie. Súčasťou analýz bude aj podrobný popis prevádzky so sledovaním tvorby, výskytu a pôsobenia znečisťujúcich látok.

Záver

V tomto príspevku sú načrtnuté tézy výskumu vplyvu znečistenia prostredia na zníženie a zmenu rozloženia svetelného toku zo svetidiel. Cieľom práce je:

- podrobnejšie klasifikovať prostredia,
- prepojiť rôzne normatívne dokumenty na zosúladenie prístupov,
- určiť nové hodnoty zníženia svetelného toku zo svetidiel,
- určiť mieru a charakter zmeny rozloženia svetelného toku zo svetidiel vplyvom znečistenia.

Uvedené úlohy sú v súčasnosti len v úvodných fázach. Zistenia budú postupne publikované v ďalších príspevkoch.

Po doriešení úloh sa predpokladá, že projektant osvetlenia by pri návrhu mohol plne vychádzať z protokolu o určení vonkajších vplyvov, na základe ktorého by klasifikoval čistotu prostredia a mohol by jednoznačnejšie určiť príslušnú zložku LMF udržiavacieho činiteľa.

Literatúra a odkazy

- [1] CIE 97 (2002): *Údržba vnútorných osvetľovacích sústav (interiérové osvetlenie)*.
- [2] CIE 115 (1995): *Odporúčania na osvetlenie ciest pre motorovú a pešiu premávku (verejné osvetlenie)*.
- [3] STN EN 12 464-1: *Svetlo a osvetlenie. Osvetlenie pracovných miest. Časť 1: Vnútorné pracovné miesta*.
- [4] STN EN 12 464-2: *Osvetlenie pracovísk. Časť 2: Vonkajšie pracoviská*.
- [5] STN 33 2000-5-51: *Výber a stavba elektrických zariadení. Spoločné pravidlá*.
- [6] STN EN 60721-3-3: *Klasifikácia podmienok prostredia. Časť 3: Klasifikácia skupín parametrov prostredia a stupňov ich prístnosti. Oddiel 3: Stacionárne použitie na miestach chránených proti poveternostným vplyvom*.
- [7] STN EN 60721-3-4: *Klasifikácia podmienok prostredia. Časť 3: Klasifikácia skupín parametrov prostredia a stupňov ich prístnosti. Oddiel 4: Stacionárne použitie na miestach nechránených proti poveternostným vplyvom*.
- [8] STN EN 60529: *Stupne ochrany krytom (krytie – IP kód)*.

Recenze: prof. Ing. Karel Sokanský, CSc., VŠB-TU Ostrava, FEI - Katedra Elektroenergetiky