

Návrh a kontrola osvetlenia cestných tunelov

Korektný návrh a kontrola osvetlenia tunelov by mali zahŕňať všestranné posúdenie vybraných svietidiel, opis fotometrických údajov rozloženia svetelného toku aktuálnych svietidiel v podobe *l*-tabuľky, ktorá udáva svietivosť vo všetkých relevantných smeroch, a overenie odrazových vlastností povrchu vozovky a ich opis pomocou normalizovaného klasifikačného systému, tzv. *r*-tabuľky. Zároveň je nevyhnutné dokumentovať znalosť balíka programov aktuálnej verzie Relux Tunnel vystaveným certifikátom o úspešnom absolvovaní školenia a absolvovať odborné školenia organizované výrobcami statického a dynamického meracieho systému na metrologické úkony na pozemných komunikáciách, osobitne v tuneli, ukončené osvedčením o absolvovaní školení.

Preverka týchto teoretických a praktických krokov bola posledný polrok predmetom mojej spolupráce s odborníkmi spoločnosti ASFINAG (Rakúsko), Broll Systemtechnik Regensburg (SRN), skúšobne Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien, závodu POSSEHL SPEZIALBAU Griffen, fakulty Verkehrswissenschaften „Fridrich List“ na TU v Drážďanoch, skúšobne Cerema (Francúzsko), TechnoTeam Bildverarbeitung Ilmenau (SRN) a Relux Informatik Münchenstein (Švajčiarsko) pod taktovkou Ing. Gerharda Jelinka, výkonného riaditeľa firmy PORR Infra Wals. Správy z pracovných porád a kontrol priamo na mieste týkajúce sa návrhu a kontroly osvetlenia tunelov v Rakúsku ma priviedli k týmto komentárom.

Posúdenie výberu LED svietidiel

Epocha tradičných svietidiel na pozemných komunikáciách, osobitne v tuneloch, sa končí. Každý výber svietidiel na osvetlenie tunelov (aj LED) má pritom silné a slabé stránky. Oznámenia verejných tendrov, že práve výber LED svietidiel je lepší ako iný výber, vždy neplatia, a to aj napriek tomu, že existujú kritériá vychádzajúce z rovnováhy medzi viditeľnosťou, bezpečnosťou a hospodárnosťou osvetlenia tunelov. Najčastejšie používaný typový rad optiky (katalóg LEDiL, kap. STREET & AREA LIGHTING) umožňuje rozličné spôsoby umiestnenia LED svietidiel od montáže na stred až po montáž na rímsu. Dôležitým prvkom LED svietidiel z pohľadu ich prevádzky, ako aj odolnosti proti vonkajším účinkom, prepätiu v sieti, úderu blesku atď. je ovládacia jednotka. Pomocou inteligentnej napájacej a radiacej jednotky sa dosahuje stmievanie a kompenzácia poklesu účinnosti LED diód. To znamená, že sa nielen znižuje spotreba elektrickej energie na minimum, ale zohľadňuje sa aj fyzický vek svietidiel a prevádzková teplota. Vyhovujúce materiály a vhodné konštrukčné riešenia zaručujú jednoduchú montáž, nenáročnú údržbu, maximálne možnosti servisu a dlhú životnosť LED svietidiel. Zameniteľnosť komponentov naznačuje koniec prevádzky LED svietidiel na jedno použitie. Momentálne sa pri sanácii osvetlenia tunelov vyskytujú aj na Slovensku o. i. problémy s kvalifikáciou a zodpovednosťou kompetentných pracovníkov. Žiaľ, nie vždy sa využíva výhodnosť ceny, bezpečnosť a dostupnosť LED retrofitov, ktoré môžu nahradiť výbojky a ich ovládacie jednotky bez zmeny telesa svietidla. Napríklad v prípade dlho očakávanej sanácie osvetle-

nia tunela Sitina by mohli byť ideálnym riešením protismerné a symetrické LED retrofity na platforme inštalovaných výbojkových svietidiel z nehrdzavejúcej ocele. Obdobné LED retrofity našli uplatnenie napríklad v Rakúsku alebo SRN.

l-tabuľka musí byť zostavená v súlade s STN EN 13032-1

Základným predpokladom správneho návrhu osvetlenia tunela sú spoľahlivé fotometrické údaje svietidiel vystavené v protokole umožňujúcom elektronický prenos dát. Rozloženie svietivosti v *l*-tabuľke sa meria spravidla zrkadlovým goniofotometrom alebo goniofotometrom s krátkym ramenom (Rigo 801) v súradnicovej sústave s C-rovinami. Požiadavky na skúšobné podmienky a meranie svietivosti sú stanovené v európskych normách. Formát ELUMDAT s koncovkou „.ltd“ používajú v Európe členovia CEN (Európsky výbor pre normalizáciu). Dátový formát IES s koncovkou „.ies“ sa používa hlavne v Severnej Amerike. V programovej verzii Relux Tunnel možno uplatniť oba vstupné formáty fotometrických údajov svietidiel. Meranie fotometrických údajov LED modulov a LED svietidiel treba vykonať v súlade s STN EN 13032-4. Je dôležité zdôrazniť, že pri LED svietidlách možno použiť výhradne absolútnu fotometriu vyjadrenú v kandelách. (Pozn.: Pri relatívnej fotometrii sa hodnoty svietivosti udávajú v cd/klm.)

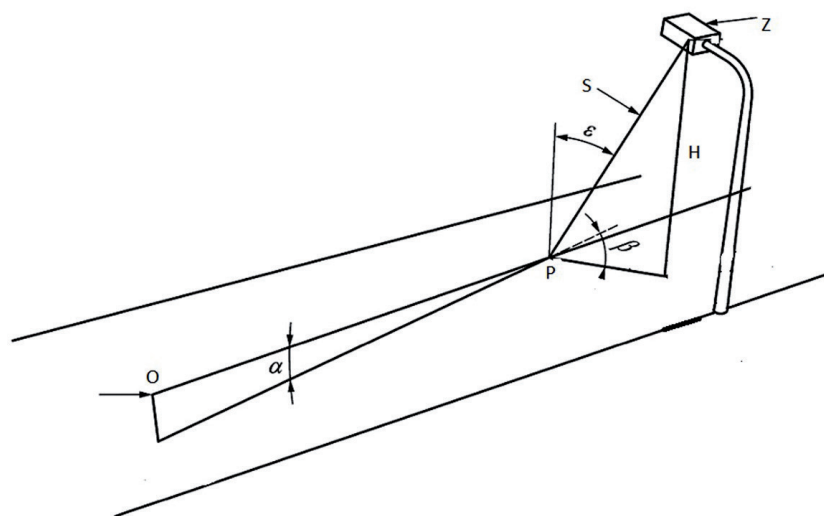
Zároveň je potrebné zdôrazniť, že v procese návrhu osvetlenia tunela nie je zohľadnená výrobná tolerancia svetelného toku inštalovaných svietidiel. Takisto medzná fotometrická vzdialenosť pri meraní rozloženia svietivosti svietidiel je cca 10 až 12 m, preto sa pri nižšej závesnej výške svietidiel v tuneloch (najviac 6,5 m) prevádzkové podmienky svietidiel líšia od skúšobných podmienok. Opravné činitele merania jasov povrchu vozovky v rámci danej kombinácie odchýlok fotometrických údajov svietidiel neboli doteraz stanovené.

Zatriedenie povrchu vozovky podľa normalizovaného klasifikačného systému CIE (Medzinárodná komisia pre osvetlenie)

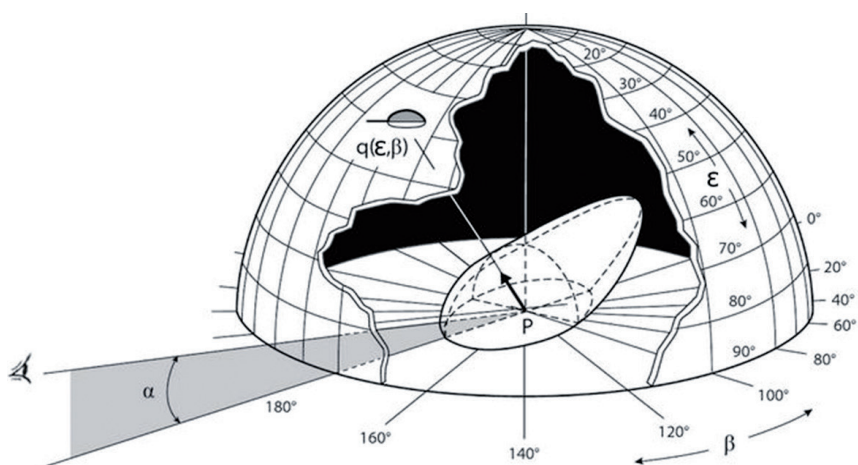
Jas povrchu vozovky závisí od fotometrických údajov svietidiel, ich závesnej výšky, ako aj od odrazových vlastností povrchu vozovky, pozície pozorovaného bodu a polohy oka pozorovateľa. V tomto prípade sa predpisuje súčiniteľ jasu q , ktorý sa rovná podielu jasu L povrchu vozovky v kontrolnom mieste pri normalizovanom uhle pozorovania $\alpha = 1^\circ$ a horizontálnej osvetlenosti E v kontrolnom mieste, tzn.

$$q = L/E$$

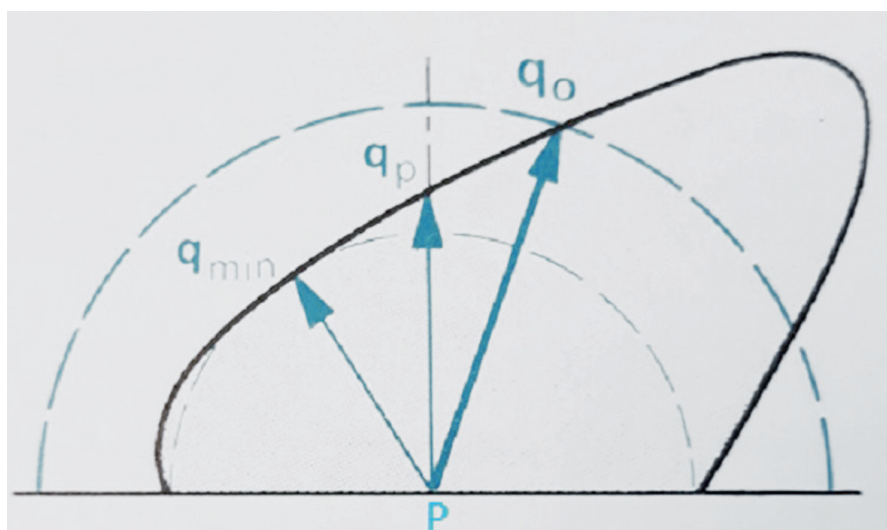
Keďže uhol pozorovania α je normalizovaný, súčiniteľ jasu q závisí iba od uhlových dvojíc (ε, β) (obr. 1).



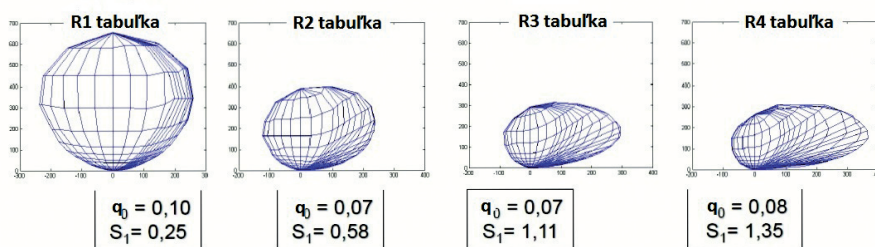
Obr. 1 Uhlové pomery pre svietidlo, pozorovaný bod a pozorovateľa (podrobný obrázok je uvedený v STN EN 13201-3) Z – svietidlo, S – svetelný lúč, P – pozorovaný bod, O – pozorovateľ, H – závesná výška svietidla, ε – uhol dopadu svetelného lúča v bode P, β – uhol medzi orientovanými stopami zvislých rovin v rovine povrchu vozovky (zvislá rovina prechádzajúca bodom pozorovateľa a obsahujúca bod P; zvislá rovina obsahujúca bod P a prechádzajúca fotometrickým stredom svietidla), α – uhol pozorovania



Obr. 2 Indikatrix rozptylu (zdroj: Správa CIE 1967)



Obr. 3 Rovinný rez ukazujúci indikatrix rozptylu: polomer q_{min} charakterizuje pri zmiešanom odraze časť, ktorá sa správa ako dokonalý rozptyľovač, q_p je hodnota súčiniteľa jasu $q(\epsilon = 0^\circ, \beta = 0^\circ)$ a polomer q_0 charakterizuje skalárnu veličinu priemerného súčiniteľa jasu (zdroj: ELEKTROKOVINA – Maribor, 1978)



Obr. 4 Indikatrix rozptylu povrchu vozoviek triedy R1 až R4 (zdroj: TU v Drážďanoch)

R1 – výrazné difúzne povrchy vozoviek, R2 – slabó difúzne povrchy vozoviek, R3 – povrchy vozoviek v relatívne v novom stave so slabým zrkadlovým odrazom, R4 – povrchy vozoviek staršie ako rok s dostatočne silným zrkadlovým odrazom

Ak z bodu P naniesieme na každý smer dopadu svetelného lúča príslušnú hodnotu súčiniteľa jasu $q(\epsilon, \beta)$ (proti smeru dopadu svetelného lúča), vznikne rozptylná obalová plocha, tzv. indikatrix rozptylu (obr. 2), ktorá sa ponáša na oválny tvar vajca so špičkou smerujúcou od pozorovateľa.

Vyskytujú sa dva medzné príklady, a to dokonalý rozptyľovač, ktorého rozptylná obalová plocha má tvar polgule, a ideálne zrkadlo, ktorého rozptylná obalová plocha predstavuje úzky kužeľ s vrcholom v bode P a s dlhou osou v smere zrkadlového odrazu.

Normálne má každý povrch vozovky vlastnú rozptylnú obalovú plochu (obr. 3), ktorá sa nespráva ani ako dokonalý rozptyľovač, ani ako ideálne zrkadlo. Preto už pred viac ako 50 rokmi vznikla snaha zaradiť povrchy vozoviek podľa indikatrix rozptylu do normalizovaných skupín s vlastnosťami, ktoré možno vyjadriť pomocou špecifických veličín.

Prvý spôsob sa zakladá na dvoch charakteristikách:

1. **priemernom súčiniteľi jasu** (skalárnej veličine určenej číselnou hodnotou)

$$q_0 = \frac{\int q \cdot d\omega}{\Omega}$$

kde Ω je priestorový uhol s vrcholom v mieste pozorovateľa vymedzený obdĺžnikom, ktorého vzdialenosť od roviny cestnej komunikácie je H ; strany obdĺžnika sú násobkom závesnej výšky svietidla H , a to $12H$ v smere vozovky pred pozorovateľom, $4H$ za pozorovateľom a $3H$ v smere šírky vozovky na jednu aj druhú stranu. Pretože funkcia $q(\epsilon, \beta)$ sa nedá vyjadriť analyticky, q_0 sa zisťuje numerickou integráciou nameraných hodnôt q pri veľkom počte uhlových dvojíc (ϵ, β) .

2. činiteľi zrkadlenia

$$\kappa_p = \log \frac{q_0}{q_p}$$

Pozn.: Hodnota κ_p je v rozpätí 0,1 až 0,6. Pri dolnej hranici prevláda rozptyľový odraz, pri hornej hranici zrkadlový odraz.

Druhý spôsob, ktorý bol definovaný CIE, sa opiera o tri charakteristiky: q_0 , S_1 a S_2 , pričom platí, že

$$S_1 = \frac{q(0,2)}{q_p}$$

$$S_2 = \frac{q_0}{q_p}$$

Zároveň platí, že

$$q(0, 2) = q(\beta = 0^\circ, \tan \epsilon = 2)$$

pričom

$$\kappa_p = \log S_2, \text{ resp. } S_2 = 10^{\kappa_p}$$

Pri zmene priemerného súčiniteľa jasu q_0 v rozpätí 0,04 až 0,16 sa mení objem telesa rozptyľnej obalovej plochy. Pri dolnej hranici sa vyskytujú tmavé povrchy vozovky a pri hornej hranici prevažne svetlé povrchy vozovky. Činiteľ zrkadlenia S_1 charakterizuje pozdĺžny tvar rozptyľnej obalovej plochy a činiteľ zrkadlenia S_2 opisuje zrkadlové vlastnosti vozovky pri zvislom dopade svetelného lúča v bode P.

V praxi sa odrazové vlastnosti povrchu vozovky opisujú pomocou tabuliek redukovaného súčiniteľa jasu $r(\tan \epsilon, \beta)$, t. j. súčiniteľa jasu elementárneho povrchu vynásobeného treťou mocninou kosínusu uhla dopadu svetla ϵ na daný elementárny povrch pri hodnotách $\tan \epsilon$ a poloviny β :

$$r(\tan \epsilon, \beta) = q(\tan \epsilon, \beta) \cos^3 \epsilon \cdot 10^4$$

Redukovaný súčiniteľ jasu $r(\tan \epsilon, \beta)$ je konštantný pri hodnotách α v rozpätí $1,5^\circ$.

Hodnoty v r -tabuľkách pre povrchy vozoviek triedy R1 až R4, resp. triedy C1 a C2, sú z praktických dôvodov vynásobené činiteľom 10^4 . Preto sú v balíku programov Relux

Desktop vydelené priemerným súčiniteľom jasu q_0 (štandardom príslušnej triedy odrazivosti povrchu vozovky) a deliteľom 10^4 .

Uhlové intervaly a smery na zber údajov o odrazivosti povrchu vozovky sa zapisujú do tabuľky podľa STN EN 13201-3.

Hodnoty redukovaného súčiniteľa jasu r sa zisťujú v 397 bodoch. Ak sa požaduje hodnota r pre smery $\tan \varepsilon$ a β medzi smermi nachádzajúcimi sa v r -tabuľke, vykoná sa lineárna interpolácia.

Triedy odrazivosti pri suchom povrchu vozovky (zdroj: ELEKTROKOVINA – Maribor 1978)

Trieda	Rozsah κ_p	q_0 v $\text{cd}/(\text{m}^2 \cdot \text{lx})$
R1	$\kappa_p \leq 0,22$	$0,10 \pm 0,03$
R2	$0,22 < \kappa_p \leq 0,33$	$0,07 \pm 0,02$
R3	$0,33 < \kappa_p \leq 0,44$	$0,07 \pm 0,02$
R4	$0,44 < \kappa_p \leq 0,55$	$0,08 \pm 0,02$
C1	$\kappa_p = 0,11$	0,08
C2	$\kappa_p = 0,33$	0,07

Hodnoty q_0 a κ_p sa môžu počas používania vozovky značne zmeniť v dôsledku nečistôt, olejových stôp, opotrebovania pneumatík, vlhkosti atď.

NDS, a. s., chýbajú informácie o odrazivosti suchého povrchu vozoviek na prevádzkovaných cestných komunikáciách. Preto je predpisovanie v tendroch triedy odrazivosti normalizova-



Obr. 5 Špeciálne upravené vzorky povrchu vozoviek (zdroj: TU v Drážďanoch)

ného klasifikačného systému R3 s priemerným súčiniteľom jasu $q_0 = 0,08 \text{ cd}/(\text{m}^2 \cdot \text{lx})$ hlavným zdrojom neistoty pri návrhu a kontrole osvetlenia tunelov.

Na spracovanie r -tabuliek sa používajú laboratórne a mobilné reflektometre. Rakúska firma PORR Infra Wals si v poslednom štvrtroku 2018 objednala meranie odrazivosti povrchu vozoviek goniofotometrom v laboratóriu fakulty Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ TU Drážďany a na mieste meranie reflektometrom skúšobne Cerema (Francúzsko). V SRN vykonali meranie na vzorkách s priemerom 150 mm, špeciálne upravených v závode POSSEHL SPEZIALBAU Griffen. Zároveň skúšobňa Cerema realizovala meranie v areáli tohto závodu na fragmente pripravenej vozovky s reflektometrom COLUROUTE (francúzska skratka COefficient de LUMinance des ROUTEs).

Reflektometer COLUROUTE slúži na meranie a zostavenie r -tabuliek pre povrchy vozov-

viek za denného svetla in situ, t. j. na mieste. Experiment nevyžaduje žiadne špeciálne upravené vzorky povrchu vozoviek. Reflektometer je vybavený snímačom odrazených svetelných lúčov na povrchu vozovky v kontrolnom mieste pri normalizovanom uhle pozorovania $\alpha = 1^\circ$. LED zdroje (27 ks) pritom postupne pri zvolenej kombinácii uhlových dvojíc (ε, β) osvetľujú kontrolné miesto a následne priamo pomocou lineárnej interpolácie vznikne tabuľka redukovaného súčiniteľa jasu $r(\tan \varepsilon, \beta)$ a stanoví sa charakteristiky q_0 a S_1 definované CIE, ktoré sa uložia do počítača. Kalibrácia reflektometra sa vykoná pomocou pripravených vzoriek tmavého a svetlého povrchu vozovky, overených v laboratóriu goniofotometrom. Reflektometer COLUROUTE umožňuje správne vybrať tabuľku normalizovaného klasifikačného systému $r(\tan \varepsilon, \beta)$ pre stanovený priemerný súčiniteľ jasu q_0 . Toto nedeštruktívne meranie možno použiť nielen pred uvedením tunela do prevádzky,

Komplexné riešenia OBO od vjazdu až po výjazd

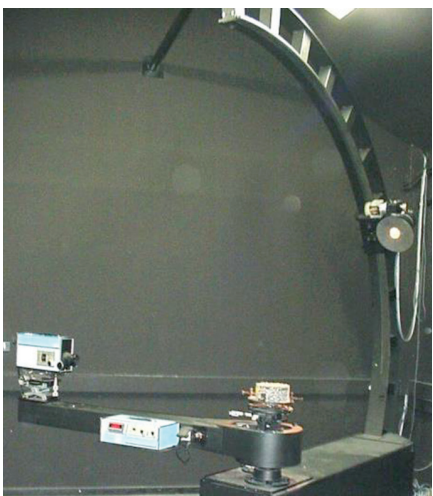
Systémy OBO Bettermann pre bezporuchový priebeh a maximálnu bezpečnosť pri výstavbe a prevádzke tunelov

- zabezpečujú pasívnu požiarnu bezpečnosť
- spoľahlivo fungujú v prípade poruchy
- zabezpečujú spoľahlivé napájanie a bezchybný prenos dát
- spĺňajú všetky požiadavky pre modernú požiarnu ochranu

V týchto tuneloch sa systémy OBO starajú o Vašu bezpečnosť:

Poľana, Ovčiarsko, Žilina, Sitina, Bôrik, Svrčinovec

www.obo.sk Building Connections



Obr. 6 Goniofotometer (Cerema, Francúzsko)



Obr. 7 COLUROUTE (Cerema, Francúzsko)

ale aj v priebehu života osvetľovacieho zariadenia.

Treba povedať, že CEN TC 169/WG 12 pripravuje prepracovanie európskej normy EN 13201, časť 3, resp. spracovanie novej prílohy, ktorá zohľadní všeobecné požiadavky na metódy merania odrazivosti povrchu vozoviek, metrologické vlastnosti reflektometrov a vyhodnotenie neistoty merania. Tento výskumný projekt (European EMPIR project) sa začal 1. júla 2017 a má trvať 36 mesiacov.

Nová verzia softvéru RELUX TUNEL

Softvér Relux Tunnel je súčasťou balíka programov poslednej verzie Relux Desktop, ktorú prezentovala firma Relux Informatik na medzinárodnom veľtrhu Light + Building 2018 vo Frankfurt. Ide o unikátny softvér osvedčený na všetkých svetadieloch. Existuje 10 rokov a na trhu je aj v slovenskej a českej verzii. Softvér je spracovaný v operačnom systéme Windows. Firma Relux Informatik pripravila aj podrobnú užívateľskú príručku na školenia v sídle firmy alebo u užívateľov balíka programov.

Softvér Relux Tunnel je určený svetelným technikom, projektantom a prevádzkovateľom osvetľovacích zariadení cestných tunelov. Firma Relux Informatik kladie dôraz na praktické postupy a detailné vysvetlenie dôležitých princípov návrhu osvetľovacích zariadení tunelov. Preto zaviedla sústavu certifikovaných a rekvalifikačných školení. Za

pokročilých užívateľov možno považovať tých, ktorí sledujú predmetné normy, príslušné technické predpisy a poznajú technologické vybavenie tunelov.

Volba fotometrických meracích prístrojov na meranie osvetlenia tunelov

Meranie osvetlenia tunelov možno vykonať statickým alebo dynamickým meracím systémom. Pred uvedením osvetľovacieho zariadenia do prevádzky treba realizovať kontrolu zhody svetelnotechnických parametrov s vypočítanými hodnotami alebo s požiadavkami technických podmienok normálneho osvetlenia tunela vo vjazdovom a vnútornom pásme statickým meracím systémom. Počas života osvetľovacieho zariadenia sa podľa vopred stanovených intervalov údržby vykonávajú merania s použitím dynamického meracieho systému. Dynamický merací systém umožňuje preveriť v krátkom čase výskyt nehomogenity osvetlenia v celej dĺžke tunela. Obe metódy merania musia byť pritom v súlade s cieľom merania (Metodická príručka NDS, a. s.).

Pozn.: Statické meranie jasů a osvetlenosti možno vykonať kalibrovaným jasomerom a luxmetrom firmy LMT Berlín. Na účely dynamického merania rozloženia jasů sa používa jasový analyzátor firmy TechnoTeam Bildverarbeitung Ilmenau. V oboch prípadoch je požiadavka absolvovania odborných školení organizovaných výrobcami statického a dynamického meracieho systému, ktoré sa ukončia osvedčením o absolvovaní školení.

TEXT: prof. Ing. Pavol Horňák, DrSc.

Pavol Horňák sa venuje osvetľovaniu pozemných komunikácií, projektovaniu osvetlenia cestných tunelov, osvetľovaniu športovísk a meraniu svetelnotechnických vlastností osvetľovacích zariadení vo všetkých aplikáciách.



Obr. 8 Tunel Bôrik (zdroj: OBO Bettermann, s. r. o.)

Elektroinštalačný materiál z nehrdzavejúcej ocele a hliníkové telesá tunelových svietidiel nie sú galvanicky zlučiteľné. V praxi to znamená, že v takomto prípade sa nenaplnia prevádzkové očakávania projektovanej životnosti osvetľovacej sústavy. Na elektroinštalačné systémy firmy OBO Bettermann, s. r. o., musia preto nadväzovať zásadne tunelové svietidlá vyhotovené z nehrdzavejúcej ocele.

Design and control of road tunnel lighting

The correct design and control of tunnel lighting should include a comprehensive assessment of selected luminaires, a photometric description of the light distribution of the current luminaires in a form of a *t*-table that shows the luminosity in all relevant directions and the verification of the reflective properties of the road surface by means of a standardized classification system, called *r*-table. At the same time, it is necessary to document the knowledge of the software package of the current version of Relux Tunnel by a certificate of successful completion of the training and to complete the professional trainings organized by manufacturers of static and dynamic measuring system for metrological operations on roads, especially in tunnels, completed with a certificate of training completion.