

Osvetlenie tunela Bôrik

prof. Ing. Pavol Horňák, DrSc.

Trasa diaľnice D1 v úseku Mengusovce – Jánovce prechádza cez horský masív tunelom Bôrik, ktorý je situovaný v rovnomennom zalesnenom kopci s maximálnou výškou 922 m n. m. Výhodou tohto riešenia je skrátenie trasy diaľnice oproti obchádzaniu horského masívu Bôrik na otvorenej komunikácii zo severnej strany o viac ako 3,6 km. V tuneli aj mimo neho sú inštalované všetky časti technologického vybavenia cestných tunelov. Tento príspevok obsahuje niekoľko faktov o osvetlení vozovky, o núdzovom osvetlení a požiarnom núdzovom osvetlení.

Podľa CR 14380 Osvetlenie. Osvetľovanie tunelov (slovenská verzia) musí osvetlenie tunela zabezpečiť, aby používatelia mohli vo dne i v noci bezpečne a bez zmeny smeru alebo rýchlosti nielen vojsť do tunela, prejsť ním, ale aj vyjsť z tunela a aby táto úroveň bezpečnosti bola úmerná bezpečnosti na príjazdovej ceste. Na dosiahnutie bezpečného prejazdu tunelom je nevyhnutné, aby všetci používatelia mali dostatočné informácie o pokračovaní komunikácie pred sebou, o prípadnom výskyte prekážok vrátane informácie o ostatných používateľoch a ich pohybe. Okrem toho je nevyhnutné, aby používatelia tunela, najmä vodiči motorových vozidiel, mali aspoň rovnaký pocit bezpečnosti v tuneli ako na príľahlých úsekoch otvorenej komunikácie.

Svietidlá použité na adaptačné a prejazdové osvetlenie

V tuneli Bôrik sa na adaptačné osvetlenie použili protismerové svietidlá – typ SRX-V4A-DD-3421-1 a na prejazdové osvetlenie slúžia symetrické svietidlá typ SRX-V4A-DD-3414-115. Svetidlá použité na adaptačné a prejazdové osvetlenie sú umiestnené pod stropom príslušnej tunelovej rúry v jednom rade.

Pozn.: Adaptačné osvetlenie je osvetlenie jazdového pásma a slúži na adaptáciu zraku vodičov na hodnoty jasov vnútri tunela a mimo neho. Tvorí ho kombinácia osvetlenia medzného pásma a prechodového pásma. Prejazdové osvetlenie tunela slúži na priebežné osvetlenie celého tunela.

Inštalované svietidlá spĺňajú všeobecné požiadavky a skúšky svietidiel pre tunely, ktoré sú obsiahnuté v STN EN 60598-1 Svetidlá. Časť 1: Všeobecné požiadavky a skúšky. Časť 2–3: Osobitné požiadavky. Svetidlá na osvetľovanie ciest a ulíc. Osobitné požiadavky obsahuje RVS 09.02.41 Tunnel. Tunnelausrüstung. Lichttechnik. Podľa písomného vyhlásenia o zhode s technickými predpismi:

- protismerové a symetrické svietidlá sú pre menovité napätie 230 V, 50 Hz, triedy I s krytím IP66 chránené pred tlakom prúdiacej vody 6 bar;
- svietidlá sa konštruovali na teplotu prostredia –30 až +40 °C a v prípade požiaru pri teplote telesa svietidla 250 °C sú prevádzkyschopné minimálne 60 min;



Obr. 1. Adaptačné osvetlenie v etape uvedenia tunela Bôrik do prevádzky

Počet a umiestnenie jasomerov

Na ovládanie adaptačného osvetlenia je pred každým portálom tunela Bôrik vo vzdialenosti celkovej brzdné dráhy od portálu pri pravej strane diaľnice (v smere jazdy) umiestnený na stožiaroch vo výške približne

- rozmery svietidiel sú jednotné pre protismerové a symetrické svietidlá aj požadovaný príkonový rad svetelných zdrojov; rozmery svietidiel sú ($d \times š \times v$) 690 × 500 × 168 mm;
- reflektory sa vyhotovili z povrchovo upraveného rastrovaného hliníkového plechu (s čistotou 99,85);
- prestaviteľné objímky s Edisonovým závitom sú z porcelánu;
- predradníky sa upevnili na odnímateľnej doske; používané elektronické zapalovače sú zlučiteľné s pridruženým predradníkom; na spojenie vnútorných elektrických obvodov sa používajú bezskrutkové svorky a vidlice na zasunutie do zásuviek; na pripojenie napájacej siete sa používa preslučkovanie;
- svietidlá sú vybavené s filtrom, ktorý umožňuje svietidlám dýchať;
- profilové tesnenie veka zaručuje ochranu optickej a elektrickej časti svietidiel, svietidlá sú uzavreté s bezpečnostným sklom, ktoré znáša vysoký tepelný náraz;
- telesá svietidiel, veko a pružné uzávery sú vyrobené z antikorozynej ocele číslo 1.4571;
- svietidlá sú konštruované tak, aby boli bezpečné po takom hrubom zaobchádzaní, aké možno očakávať pri údržbe tunela;
- údržba svietidiel a výmena opotrebovaných svetelných zdrojov je jednoduchá bez nástrojov.

4 m jasomer. Celková brzdná dráha predpísaná v projektovej dokumentácii je 100 m. Vypočítaná celková brzdná dráha vozidiel podľa RVS 09.02.41 Tunnel. Tunnelausrüstung. Lichttechnik. Beleuchtung. je pre návrhovú rýchlosť 80 km·h⁻¹ nižšia – 65 m. Následkom tohto rozporu je v tuneli Bôrik o 44 protismerových svietidiel slúžiacich na adaptačné osvetlenie viac.

Pozn.: Od júna 2009 je k dispozícii univerzálny program ReluxTunnel (www.relux.ch) na projektovanie adaptačného a prejazdového osvetlenia cestných tunelov.

Núdzové osvetlenie

Núdzové osvetlenie je súčasťou prejazdového osvetlenia a slúži na osvetlenie jazdných pruhov v prípade výpadku elektrickej energie. Núdzové osvetlenie je napojené na náhradný zdroj elektrickej energie – druhý nezávislý zdroj z distribučnej siete (iný uzol 22 kV), ako aj nezávislý zdroj napájania (dieselagregát) a zdroj neprerušovanej dodávky elektrickej energie – UPS. Svetidlá na adaptačné osvetlenie sa napájajú z nezálohovaného zdroja elektrickej energie.

Požiarné núdzové osvetlenie

Pri zadymení môžu používatelia v tuneli stratiť orientáciu a následne nie sú schopní

rozpoznať únikové cesty a núdzové východy. Za únikové cesty sa v tuneli považujú obojstranne zvýšené služobné chodníky. V každej tunelovej rúre sa na strane núdzových východov inštalujú v rovnej vzdialenosti 20 m nad úrovňou povrchu únikovej cesty vo výške 1,20 m svietidlá na požiarne núdzové osvetlenie.

Požiadavky na svietidlá na požiarne núdzové osvetlenie

Inštalované svietidlá na požiarne núdzové osvetlenie spĺňajú požiadavky normy STN EN 60598 Svietidlá. Časť 1: Všeobecné požiadavky a skúšky. Osobitné požiadavky obsahuje Časť 2-22: Osobitné požiadavky. Svietidlá na núdzové osvetľovanie.

Svietidlá na požiarne núdzové osvetlenie sú podľa DIN 67524-1:2008 Beleuchtung von Straßentunneln und Unterführungen — Teil 1: Allgemeine. Gütemerkmale und Richtwerte:

- nástenné na báze LED technológie,
- vyčnievajú maximálne 6 cm, aby nedošlo k poraneniu,
- vyhotovili sa s malým výstupným otvorom (maximálne 5 cm² v hoci ktorom smere), aby svojou intenzitou prerazili zadymenie v tuneli,
- minimálna svietivosť v rozsahu od -60 do +20° vo vertikálnej rovine a od -87 do +87° v horizontálnej rovine je 25 cd,
- telesá svietidiel sú vyrobené z antikorozynej ocele číslo 1.4571.

Svietidlá na požiarne núdzové osvetlenie a bezpečnostné značky sú kombinované.

Bezpečnostné značky

Grafické symboly bezpečnostných značiek vo výške asi 1,30 m (uvažuje sa včasná viditeľnosť a správna čitateľnosť značiek pri polohe očí vodiča a polohe unikajúcej osoby v tuneli zo vzdialenosti 10 až 12 m) udávajú smer úniku. Kombinované svietidlá na požiarne núdzové osvetlenie majú samolepiace farebné fólie osvetlené vnútornými LED zdrojmi, ktoré sú stále zapnuté. Grafické symboly bezpečnostných značiek (používa sa zelené pozadie, pričom jas pozadia je väčší ako 75 cd·m⁻²) sú viditeľné aj pri výpadku elektrickej energie až dovtedy, kým sa všetkým účastníkom premávky v tuneli nepodarí bezpečne dostať k núdzovým východom alebo von z tunela. Pri kombinovaných svietidlách na požiarne núdzové osvetlenie sa pri výpadku elektrickej energie počíta s automatickým zapnutím náhradného zdroja elektrickej energie (UPS, dieselgenerátor). Predpísané rozmery presvetlených bezpečnostných značiek sú 30/30 cm. V prípade bezpečnostných značiek sa hodnotí kolorita, kontrast farieb, priemerný jas (asi 200 cd·m⁻²) a rovnomernosť jasu.

Vodiace osvetlenie

Vodiace osvetlenie pomocou dvojsmerných LED gombíkov (vždy dve farby stanovené v príslušnej norme) na služobných chodníkoch slúži na zvýraznenie okrajov vozovky v tuneli.

Použité meracie prístroje

V etape uvedenia tunela Bôrik do prevádzky sa vykonalo v dňoch 27. a 28. októbra 2009 meranie osvetlenia tunela. Na meranie sa použil jasomer a digitálna kamera s vysokým rozlíšením. Tieto meracie prístroje dosahujú požadovanú presnosť a spĺňajú špecifikácie zodpovedajúce daným meraniam. O každom prístroji sa vedú požadované záznamy.

Pred meraním sa skontroloval stav a funkcia meracích prístrojov. Kontrolovala sa čistota všetkých dôležitých súčastí prístrojov a napätie ich napájacích zdrojov. Snímače sa pred meraním vystavili adaptačnému osvetľovaniu, ktoré zodpovedalo meranému osvetľovaniu. Za adaptačný interval sa prijal čas, v priebehu ktorého sa údaje prístrojov vystavených konštantnému osvetľovaniu nemenili.

Na stanovenie zvýšenej prahovej hodnoty TI sa použil jasomer, na meranie ekvivalentného závojevého jasu L_S sa použila predstavená šošovka Glare Lens LG. Kamera s vysokým rozlíšením série LMK sa použila na meranie osvetľovacieho zariadenia tunela Bôrik. Poloha kamery pri meraní jasu bola 1,5 m nad povrchom vozovky. V priečnom smere sa kamera nachádzala v osi pravého jazdného pruhu tunelovej rúry. V tomto prípade sa prehľad o pozdĺžnej rovnomernosti U_1 v osi každého jazdného pruhu jazdného pásu, celkovej rovnomernosti U_0 a o priemernom jase povrchu vozovky L_f v určitom mieste relevantného priestoru získal vyhotovením digitálnej snímky podľa zákonov optiky a osvetľovania snímacieho čipu. Súčasťou základného softvéru LMK2000 na spracovanie snímaných polí cestných tunelov je aplikácia pre pozemné komunikácie a cestné tunely LMK2000 Strassen und Tunnelen.

Podmienky merania

Chybné a nefunkčné svetelné zdroje a svietidlá sa nevyskytli. Tunelové steny, ktoré podstatne prispievajú k osvetľovaniu vozovky, boli čisté, suchý povrch vozovky je nový, neopotrebovaný. Počas merania sa nezaznamenali prekážky (prítomnosť používateľov pozemnej komunikácie alebo tienenie svetla inými prekážkami) ani cudzie a rušivé svetlo z okolia. Meranie osvetľovacieho zariadenia tunela Bôrik neovplyvňovali ani okolité podmienky (počasie, teplota a viditeľnosť). Napájacie napätie svetelného obvodu počas dynamického merania z pohybujúceho vozidla nevykazuje zmeny hodnôt.

Pred meraním svetelnotechnických vlastností osvetľovacieho zariadenia tunela Bôrik sa dodržal minimálny čas predbežného starnutia svetelných zdrojov. Výbojky svietili viac ako 100 h. Pred začiatkom merania sa osvetľovacie zariadenie uviedlo s predstihom do stavu, ktorý je bežný pri danom spôsobe používania osvetlenia relevantného priestoru. Pri výbojkách sa považuje za minimálny čas stabilizácie svetelného toku (ustálenia prevádzkovej teploty) 20 min. Svetelný tok sa považoval za stabilizovaný. Meraná hodnota jasu pri meraniach s odstupom niekoľkých minút trikrát po sebe nevykazovala systematické zmeny.

Vyhodnotenie merania

Na vyhodnotenie zhody medzi nameranými a vypočítanými hodnotami má poloha bodov siete, na ktorej sa vykonáva meranie a poloha pozorovateľa, zodpovedať hodnotám použitým pri výpočte. Umiestnenie bodov merania v pozdĺžnom smere je založené na princípe rovnomerného rozstupu svietidiel. Navrhnutý počet bodov na povrchu vozovky v pozdĺžnom smere (10) vychádza z praktických dôvodov. Celková dĺžka siete bodov merania závisí od počtu svietidiel, ktoré sa berú do úvahy. Jej dĺžka sa zvolila 30 m. Na meranie na povrchu steny sa zvolila tá istá dĺžka pri zvislej polohe meracieho pola.

Korekčné činitele

Jasomery, ktoré riadia osvetlenie tunela v závislosti od jasu približovacieho pásma L_{20} , sa nastavili prostredníctvom korekčných činiteľov. Tie sa stanovili na základe údajov z centrálného riadiaceho systému a merania jasu približovacieho pásma L_{20} pred obojma portálmi na úrovni celkovej brzdnéj dráhy. Platí:

Portál: smer jazdy – Poprad

údaj z centrálného
riadiaceho systému: 698 cd/m²
nameraná hodnota: 846,5 cd/m²
korekčný činiteľ: 1,2128

Portál: smer jazdy – Žilina

údaj z centrálného
riadiaceho systému: 720 cd/m²
nameraná hodnota: 739,9 cd/m²
korekčný činiteľ: 1,0278

Prahový prírastok TI v adaptačnom pásme

Pre aritmeticky priemer jasov v bodoch meracej siete na povrchu vozovky – 60 až 90 m od vstupného portálu v smere jazdy – Poprad sa stanovil ekvivalentný závojevý jas L_S a vypočítal sa prahový prírastok TI . Ekvivalentný závojevý jas L_S môžeme vyjadriť vzťahom:

Tab. 1. Opis tunela Bôrik

Vstupné údaje	Výpis z projektu
názov cestného tunela	Bôrik
druh tunela	klenutý/jednosmerný
orientácia tunela	západ – východ/Žilina – Poprad
počet tunelových rúr	2
počet jazdných pruhov pre každý dopravný smer	2
dĺžka tunela	severná rúra (SR): 985 m; južná rúra (JR): 979 m
pozdĺžny sklon tunelových rúr	SR: +1,416; JR: -1,050
výška tunela/montážna výška svietidiel	7 m/6,1 m
priečne usporiadanie pozemnej komunikácie v tuneli:	
- šírka jazdných pruhov	3,5 m
- šírka vodiacich prúžkov	0,25 m
- šírka medzi zvýšenými obrubníkmi	7,5 m
- šírka služobných chodníkov	1 m
- šírka tunelovej rúry	9,5 m
reflexné vlastnosti povrchu vozovky v tuneli	R2; $q_p = 0,08$
údaje odrazivosti povrchu stien	50 %
skladba dopravy	motorová
výhľadová intenzita cestnej premávky	> 40 000/24 v r. 2038
návrhová rýchlosť	80 km·h ⁻¹
celková brzdná dráha	100 m
hodnota jasu približovacieho pásma L ₂₀	4 100 cd·m ⁻²
celkový udržiavací činiteľ (MF)	0,66
identifikačné označenie svetelných zdrojov	MASTER SON-T PIA PLUS 150 W MASTER SON-T PIA PLUS 400 W
počet protismerových/symetrických svietidiel	174/172
ovládanie osvetlenia	stupňovité
riadenie osvetlenia	jasomerami
vzdialenosť medzi LED gombíkmi na služobných chodníkoch	15 m
vzdialenosť medzi svietidlami na požiarne núdzové osvetlenie	20 m
dĺžka pásiem pri osvetlení tunela cez deň:	
- medzné pásmo	100 m
- prechodové pásmo	65 m
- vnútorné pásmo	SR: 720 m; JR: 714 m
výpočtová sieť (hodnoty jasu, rovnomernosť jasu – celková/pozdĺžna, prahový prírastok, kontrola rušivého mihania – frekvencia mihania)	Podľa CR 14380 Osvetlenie. Osvetľovanie tunelov (slovenská verzia) a RVS 09.02.41 Tunnel, Tunnelausrüstung, Lichttechnik, Beleuchtung
osvetlenie v noci	6 cd·m ⁻²

$L_s = L$ (pre otvorový uhol 1° s predstavenou šošovkou Glare Lens LG)· $G_c = 205 \text{ cd·m}^{-2} \cdot 0,22 = 45,1 \text{ cd·m}^{-2}$
 kde G_c je kalibračný faktor.

Pre prahový prírastok TI platí:

$$TI = 95 \frac{L_s}{L_f^{1,05}} \text{ pre } L_f \geq 5 \text{ cd·m}^{-2}$$

kde L_f je priemerný jas meraných bodov siete.

Pretože platí:

$$TI = 95 \frac{45,1}{346,8^{1,05}} = 9,2 \%$$

prahový prírastok TI nehrá pre vyššie hodnoty priemerného jasu L_f v adaptačnom pásme nijakú úlohu. Osvetlenie zabezpečuje dobre vizuálne podmienky, nedochádza k obmedzujúcemu oslneniu.

Spracovanie nameraných hodnôt

Namerané hodnoty sa na základe údajov výrobcov meracích prístrojov a podľa výsled-

kov kalibrácie a vytypovania možných zdrojov neistôt stanovili s pravdepodobnosťou 95 %. Výsledné hodnoty sú zostavené v prílohe Protokolu o skúške osvetľovacieho zariadenie v tuneli Bôrik zo dňa 29. októbra 2009 do prehľadných tabuliek a sprievodných obrázkov. Hodnoty jasu, rovnomernosť jasu – celková/pozdĺžna, prahový prírastok, kontrola rušivého mihania – frekvencie mihania zodpovedajú CR 14380 Osvetlenie. Osvetľovanie tunelov (slovenská verzia) a RVS 09.02.41 Tunnel. Tunnelausrüstung. Lichttechnik, t. j. predpisom platným na Slovensku. Vyššie hodnoty jasu v porovnaní s údajmi uvedenými v projekte, ktoré vznikli v dôsledku chybné predpísanej v projektovej dokumentácii celkovej brzdnéj dráhe, sa znížia stupňovitým ovládaním osvetlenia na požadovanú hladinu. Umožňuje to 6 regulačných stupňov adaptačného osvetlenia a 2 stupne regulácie osvetlenia vnútorného pásma.

Záver

Možno konštatovať, že predstavený tunel Bôrik je z pohľadu osvetlenia vozovky, núdzového osvetlenia a požiarneho núdzového

osvetlenia kvalitný, funkčný a ako celok regulovaný v závislosti od hodnoty jasu približovacieho pásma L₂₀. Osvetľovacie zariadenie v dôsledku vyšších hodnôt jasu však umožňuje prevádzku tunela Bôrik aj pri rýchlosti 100 km·h⁻¹. Dôrazne však treba upozorniť, že optimalizácia osvetlenia tunela v etape projektovania je lacnejšia a efektívnejšia ako v prevádzke.



Obr. 2. Protismerové svietidlo

Literatúra:

- [1] HORŇÁK, P.: *Príručka Projektovanie osvetlenia cestných tunelov*. Philips. 2008.
 - [2] Philips Berechnung der Innenstreckenbeleuchtung, 3. 2. 2009.
 - [3] STN EN 60598-1 *Svietidlá. Časť 1: Všeobecné požiadavky a skúšky. Časť 2-3: Osobitné požiadavky. Svetidlá na osvetľovanie ciest a ulíc*.
 - [4] STN EN 13201 *Osvetlenie pozemných komunikácií. Časť 1-4*.
 - [5] TNI CEN/CR 14380 *Osvetlenie. Osvetľovanie tunelov* (triediaci znak 36 0412).
 - [6] RVS 09.02.41 *Tunnel. Tunnelausrüstung. Lichttechnik*.
 - [7] Richtlinien Öffentliche Beleuchtung: *Strasentunnels, galerien und Unterführungen*. Schweizer Licht Gesellschaft.
 - [8] Manual ReluxTunnel.
 - [9] HORŇÁK, P. – KOŠTÁL, M.: *Aký jasomer je vhodný na úradné meranie?* In: JMO, č. 9, 2007.
 - [10] Manual Leuchtdichtmessgerät TechnoTeam LMK 98-4.
 - [11] Manual Leuchtdichtmessgerät LMT L1009.
 - [12] HORŇÁK, P.: *Výpočet a meranie svetelnotechnických vlastností osvetľovacích zariadení tunelov*. In: EE – Časopis pre elektrotechniku a energetiku, č. 5, 2009.
 - [13] Protokol o skúške osvetľovacieho zariadenie v tuneli Bôrik. STRABAG Anlagentechnik, 29. 10. 2009.
- Zdroj obr.: PPA Controll, Broll Systemtechnik.