

Poznatky z osvetlenia tunela Lučivná

prof. Ing. Pavol Horňák, DrSc.,
odborný poradca Národnej diaľničnej spoločnosti,
a. s. Bratislava, Slovenská republika

Koncom roka 2004 bol na východnom Slovensku dokončený takmer päťkilometrový tunel Branisko a v roku 2005 asi 600metrový tunel Horelica na severe krajiny. Bratislavský tunel Sitina slúži motoristom od 24. júna 2007 a tunel Lučivná pod biokoridorom na 330. km D1 od Bratislavy od 11. decembra 2007. Na diaľnici D1, ktorá má v budúcnosti spojiť Bratislavu s Košicami, sa v blízkej budúcnosti predpokladá naprojektovať a vybudovať ďalšie tunely.

1. Základné informácie

Na začiatku niekoľko zaujímavých údajov:

- ide o priamy tunel obdĺžnikového prierezu so separovanými dopravnými prúdmi v oddelených tunelových rúrach dĺžky 250 m; v jednom dopravnom páse sú dva jazdné pruhy; pomer šírky vozovky vrátane chodníkov a svetlej výšky prejazdneho profilu predstavuje približne číslo 2;
- návrhová rýchlosť vozidiel je 100 km/h a celková brzdná dráha pri nulovom sklone vozovky je 93 m;
- hodnota jasu približovacieho pásma L_{20} bola zvolená 4 000 cd/m² (pre východný a západný vjazd);
- odrazové vlastnosti povrchu vozovky a povrchu stien tunela sú podľa [6] definované na základe kategórií použitých povrchov R3 (priemerný súčiniteľ jasu $Q_0 = 0,08 \text{ sr}^{-1}$) a R1 (priemerný súčiniteľ jasu $Q_0 = 0,10 \text{ sr}^{-1}$).

2. Pravidlá pre stanovenie potreby osvetlenia krátkeho tunela cez deň

Podľa [1] patrí tunel Lučivná do kategórie *krátkych tunelov*. Vzhľadom na to je treba dať odpoveď na otázku, či ho nutno cez deň osvetľovať?

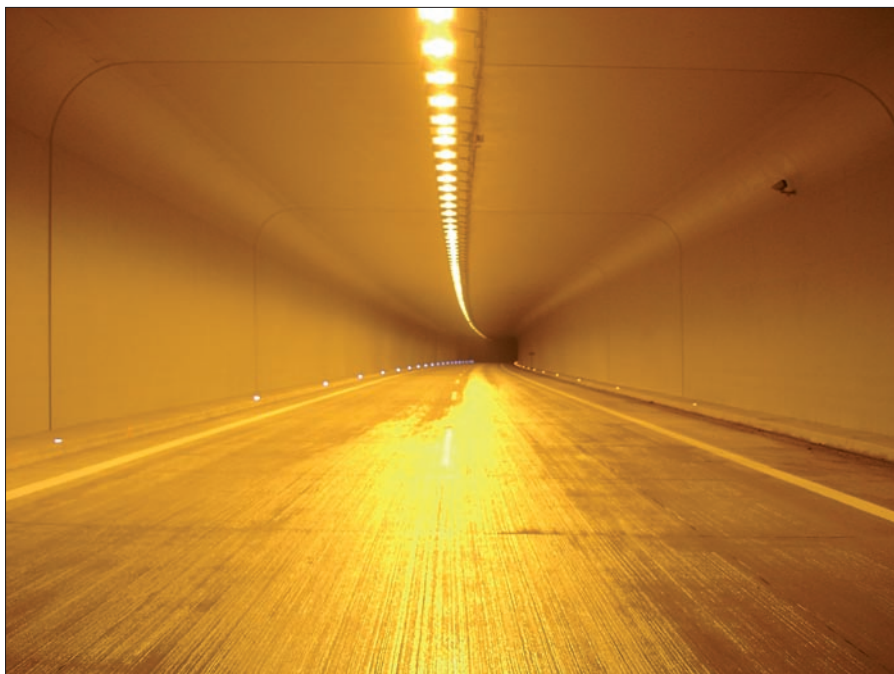
Podľa [2] pomerný výhľad DSV pre:

- rúru A – smer Poprad je približne 6,
- rúru B – smer L. Mikuláš je približne 2.

Ak $DSV < 6$, tunel potrebuje cez deň osvetlenie.

V prípade požiadavky [3], ak je percentuálny priehľad $LTP < 20\%$, čo je prípad tunela Lučivná, je osvetlenie tunela cez deň potrebné.

Ak sa vezme do úvahy daný pomer šírky vozovky vrátane chodníkov a svetlej výšky prejazdneho profilu, boli svietidlá podľa [4] správne rozmiestnené približne v osi dopravného pásu.



Obr. 1. Rozmiestnenie svietidiel v tuneli Lučivná

3. Požiadavky na svietidlá pre tunely

Treba zdôrazniť, že všeobecné požiadavky a skúšky tunelových svietidiel sú obsiahnuté v norme [5]. Osobitné požiadavky na svietidlá na osvetlenie tunelov sú v stredoeurópskom priestore najlepšie spracované v [2]. Tieto požiadavky spĺňajú tunelové svietidlá SRX-V4A-ED-34 150 W alebo 400 W Philips. Rozmiestnenie svietidiel v tuneli Lučivná je zrejme z obr. 1.

Príkron použitých vysokotlakových sodíkových výbojok produktovej rady Master SON T PIA Plus je 150 W (svetelný tok 17 500 lm) a 400 W (svetelný tok 55 500 lm). Tieto výbojky vďaka výborným parametrom v úspore energie a spoľahlivosti po celú dobu ich života minimalizujú celkové investičné náklady.

4. Projekt osvetlenia

Projektant pri návrhu osvetlenia tunela Lučivná vychádzal z požiadaviek na osvetlenie stredných a dlhých tunelov, čím pri vyššom počte svietidiel garantoval zrakovú adaptáciu vodiča aj pre mokrý povrch vozovky a hodnotu jasu *približovacieho pásma* L_{20} až 6 000 cd/m²; takýto stav môže nastať, pokiaľ biokoridor nad portálom tunela nebude zalesnený ihličnatými stromami. V tomto prípa-

de nutno venovať pozornosť štyrom pásmam osvetlenia.

Medzné pásmo je prvý vnútorný úsek tunela. Dĺžka tohto pásma závisí od návrhovej rýchlosti. V projekte osvetlenia tunela Lučivná bola zvolená ideálna celková brzdná dráha 93 m.

Priemerný jas vozovky za portálom tunela L_{fe} je priamo úmerný veľkosti jasu L_{20} :

$L_{fe} = f_{GSB} L_{20}$ pre protismerné osvetlenie asymetrickými svietidlami alebo

$L_{fe} = f_{SYM} L_{20}$ pre symetrické osvetlenie symetrickými svietidlami.

Pre návrhovú rýchlosť 100 km/h a protismerné osvetlenie je $L_{fe} = 0,05 \cdot 4 000 = 200 \text{ cd/m}^2$ (tab. 1).

Pretože cez deň je na začiatku *medzného pásma* hodnota jasu na úrovni jasu *približovacieho pásma* L_{20} , je prvé svietidlo inštalované 10 m od portálu. Preto projektant odporúča znížiť hodnotu jasu v prvej polohe *medzného pásma* na 80 % (160 cd/m²).

Tab. 1. Hodnoty činiteľov pre výpočet jasu za portálom

Návrhová rýchlosť (km/h)	f_{GSB}	f_{SYM}
60	0,035	0,050
80	0,040	0,060
100	0,050	0,075

V druhej polovici *medzného pásma* jas dopravného pásu stupňovito klesá na smernú hodnotu okolo 40 %, t. j. 64 cd/m².

Prechodové pásmo je úsek tunela, ktorý nasleduje po *medznom pásme*. V *prechodovom pásme* sa úroveň jasu existujúca na konci *medzného pásma* znižuje na úroveň jasu *vnútorného pásma*. Dĺžka *prechodového pásma* (102 m) závisí od návrhovej rýchlosti a rozdielu úrovni jasu medzi koncom *medzného pásma* a *vnútorného pásma*. Koniec *prechodového pásma* leží v mieste poklesu jasu na hodnotu trojnásobku jasu *vnútorného pásma*.

Vnútorné pásmo je úsek tunela, ktorý nasleduje po *prechodovom pásme*. Vo *vnútornom pásme* sa úroveň jasu L_{fi} udržiava na konštantnej hodnote

$$L_{fi} = 6k_{VS}k_{FG}k_{VA} \quad (\text{cd/m}^2)$$

kde
 k_{VS} je činiteľ predpokladanej intenzity dopravy,
 k_{FG} činiteľ návrhovej rýchlosti,
 k_{VA} činiteľ užívateľov tunela (tab. 2).

Pre jas L_{fi} v tuneli Lučivná platí

$$L_{fi} = 6 \cdot 0,8 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \approx 6 \text{ cd/m}^2$$

Výjazdové pásmo je úsek tunela, v ktorom je videnie vodiča blížiacieho sa k výjazdu z tunela ovplyvnené jasom priestoru za tunelom. Vo *výjazdovom pásme* nie je situácia s ohľadom na viditeľnosť a zrakovú pohodu cez deň kritická, pretože obrysy prekážok nachádzajúcich sa vo výjazde sú dobre viditeľné proti jasnému otvoru výjazdu. Preto vyhovuje osvetlenie doporučené pre *vnútorné pásmo* tunela.

Navrhnuté pásma osvetlenia tunela Lučivná podľa [2], resp. [3], sú špecifikované v tab. 3. Všetky uvedené hodnoty jasu sú hodnoty udržiavacieho jasu L_{BL} , pod ktoré jas nemá poklesnúť. Je to priemerný jas v čase, keď sa má urobiť údržba. Začiatkový jas L_{PL} je priemerný jas v novej osvetľovacej sústave.

Hodnota začiatkového jasu $L_{PL} = L_{BL}/f_{PL}$. Udržiavací činiteľ f_{PL} osvetľovacej sústavy závisí od činiteľa starnutia a úmrtnosti svetelných zdrojov (regulácie osvetlenia počas dňa), od činiteľa znečistenia svetidiel a od činiteľa znečistenia stien a jazdnej dráhy v tuneli. Hodnota udr-

žiavacieho činiteľa osvetľovacej sústavy tunela Lučivná je $f_{PL} = 0,66$.

5. Zmeny osvetlenia počas dňa a ovládanie osvetlenia

Jas *približovacieho pásma* L_{20} vyhodnocuje jasomer L_u inštalovaný pred vjazdom do tunela vo vzdialenosti celkovej brzdnéj dráhy a vo výške približne 4,5 m nad vozovkou po jej pravej strane. Rozdiel medzi hodnotou udržiavacieho jasu L_{BL} a jeho skutočnou veľkosťou L_{fe} je kritériom pre riadenie osvetlenia. Avšak trvalá prevádzka osvetlenia tune-

Tab. 2. Hodnoty činiteľov k_{VS} , k_{FG} , k_{VA}

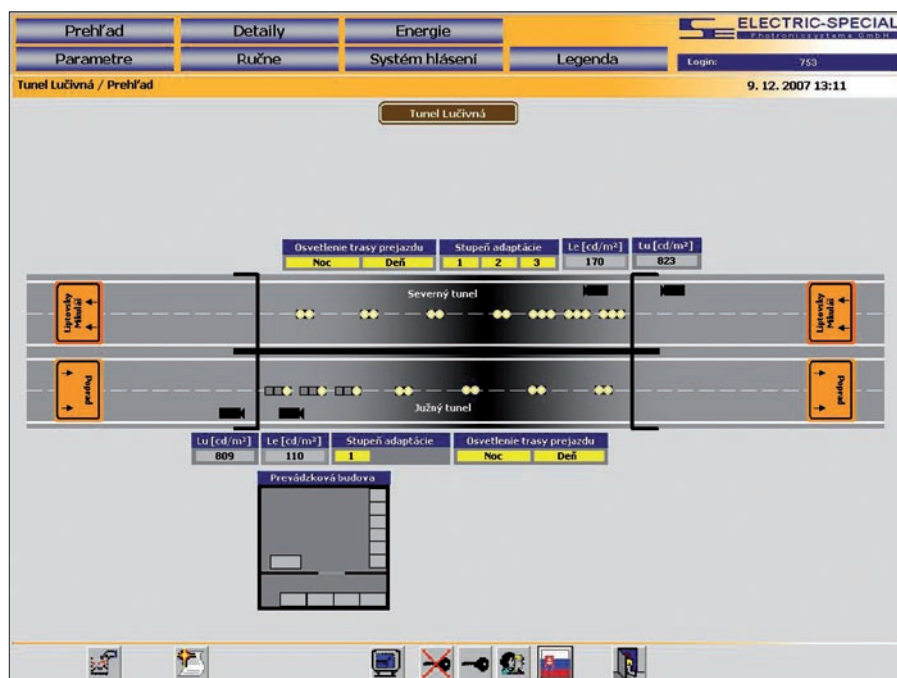
Dopravné charakteristiky tunela	Parametre charakteristiky	Činiteľ	Hodnota činiteľa
Kategória bezpečnosti (celková situácia)	I a II – tunel v meste	k_{VS}	0,55
	III – tunel v extraviláne		0,80
	IV – tunel je v meste a súčasne v extraviláne*)		1,00
Návrhová rýchlosť	do 70 km/h	k_{FG}	1,0
	nad 70 km/h		1,2
Typy užívateľov	motorová doprava	k_{VA}	1,0
	veľmi pomalá doprava, cyklisti a chodci		1,2

*) tunel je súčasťou združených cestných komunikácií

Tab. 3. Údaje osvetlenia tunela Lučivná (uvedené hodnoty jasu sú hodnoty udržiavacieho jasu L_{BE})

Adaptácia zraku	Pásma osvetlenia tunela				
	portál	medzné	prechodové	vnútorné	výjazdové
Pásma					
Navrhnutá dĺžka pásma tunela Lučivná (m)	10	od 10 do 93	102	25	30
Umiestenie pásma od do (m)	0 až 10	10 až 46,5	46,5 až 93	93 až 195	195 až 220
Jas (cd/m ²)	x	160	160 až 64	64 až 18	18 až 6

Vysvetlivka: x – v týchto pásmach tunel nepotrebuje cez deň osvetlenie



Obr. 2. Dotykový panel optimalizácie ovládania osvetlenia tunela Lučivná

la na maximálny výkon, ktorý zodpovedá hodnotám začiatkového jasu L_{PL} je neekonomická. Preto v *medznom pásme* tunela je za portálom vo vzdialenosti približne 25 m rovnobežne s pozdĺžnym smerom inštalovaný druhý jasomer L_c , ktorý zaisťuje reguláciu osvetlenia vychádzajúcu z hodnoty udržiavacieho jasu L_{BL} . Namerané hodnoty kontrolných jasomerov L_u a L_c sú všeobecne odlišné od jasov pozorovaných vodičom. Preto treba raz ročne zisťovať korekčný činiteľ.

Teda v tuneli Lučivná bola použitá stupňovitá regulácia osvetlenia:

1. denný režim

- adaptačné pásmo – *medzné* a *prechodové pásmo* 33 %, 66 % a 100 %,
 - vnútorné pásmo* 100 %,
 - výjazdové pásmo* 100 %;

2. nočný režim

- vo vnútri tunela 50 % denné hodnoty jasu vnútorného pásma.

Dotykový panel ovládania osvetlenia tunela Lučivná je na obr. 2.

Tab. 4. Údaje svetelných zdrojov a svietidiel

Tunelové svietidlá	Identifikácia	typový rad SRX-V4A	
	Reflektor	nesymetrický	
		symetrický	
	Inštalácia	prichytenie skrutkami na strop tunela	
	Rozmery	dĺžka: 690 mm	
		šírka: 500 mm	
		výška: 168 mm	
	Iné údaje	jednotný rozmer telesa pre všetky reflektory i požadovaný príkonový rad výbojok	
Vek	nové		
Počet	nesymetrický reflektor	65 ks 400 W	
		14 ks 150 W	
	symetrický reflektor	17 ks 150 W	
		spolu 96 ks × 2 rúry = 192 ks	
Svetelné zdroje v svietidle	Identifikácia	SON-T PLUS 150 W/400 W	
	Druh montáže	výmena opotrebovaných svetelných zdrojov je jednoduchá bez nástrojov	
	Vek	100 h	

6. Kontrola stavu osvetlenia tunela Lučivná

Počet meraní 9. decembra 2007 od 13:00 do 22:30 h bol obmedzený na uvedenie osvetľovacieho zariadenia do prevádzky. Preverila sa funkčnosť riadenia a regulácie osvetlenia tunela Lučivná a zaprotokolovali sa jasy na povrchu vozovky pre denný režim: adaptačné pásmo – medzné a prechodové pásmo 100 %, vnútorné pásmo 100 % a výjazdové pásmo 100 % v rúre B – smer L. Mikuláš. Meranie rúry A – smer Poprad v plnom rozsahu bolo znemožnené mokrým povrchom vozovky, zapríčineným čistiacimi vozidlami pred uvedením tunela do prevádzky. Na meranie

priemerného jasu boli použité kalibrované jasomery LS-100 a Rollei.

Vypočítané hodnoty jasu na povrchu vozovky sú nižšie ako namerané. Preto 3 – stupeň regulácie osvetlenia sa využije len vtedy, keď hodnota jasu v približovacom pásme L_{20} bude na úrovni 6 000 cd/m². Nočný režim – vo vnútri tunela (50 %) a bez redukcie výkonu (100 %) – pre denný režim dosahuje najvyššiu presnosť výpočtu. Celková ($U_0 \geq 0,4$) a pozdĺžna ($U_1 \geq 0,6$) rovnomernosť jasu na povrchu vozovky, ako aj osvetlenie stien tunela do výšky 2 m splňajú požiadavky uvedené v [6]. Najvyššia hodnota zvýšenia prahovej hodnoty T_I je menšia ako 3 %, prípust-

ná hodnota je menšia ako 15 %. Rušivý vplyv mihania je pre krátke tunely zanedbateľný.

7. Záver

Osvetľovacie zariadenie tunela Lučivná bolo pred uvedením do prevádzky vyskúšané, bola overená bezpečnosť prevádzky riadenia a regulácie osvetlenia a vykonané potrebné skúšky, odborné hodnoty udržiavacieho jasu L_{BL} podľa projektu. Po podpísaní prezenčnej listiny 10. decembra 2007 účastníkmi funkčných skúšok technologického vybavenia tunela sa 11. decembra 2007 zahájila prevádzka tunela Lučivná. Tento tunel spĺňa stanovené základné technické požiadavky a funkčné princípy uvedené v [2] a [3].

Súvisiace technické podmienky, predpisy a normy

- [1] STN 73 7507 *Projektovanie cestných tunelov*.
- [2] RVS 09.02.41 *Projektierungsrichtlinien Tunnelbeleuchtung (Version 20)*.
- [3] TNI CEN/CR 14380 *Osvetlenie. Osvetľovanie tunelov* (triediaci znak 36 0412).
- [4] RABT *Richtlinien für die Ausstattung und Betrieb von Strassentunneln*.
- [5] STN EN 60598-1 *Svietidlá. Časť 1: Všeobecné požiadavky a skúšky; Časť 2-3: Osobitné požiadavky. Svetidlá na osvetľovanie ciest a ulíc a Časť 2-22: Osobitné požiadavky. Svetidlá na núdzové osvetľovanie*.
- [6] STN EN 13201-2 *Osvetlenie pozemných komunikácií. Časť 2: Svetelnotechnické požiadavky; Časť 3: Svetelnotechnický výpočet a Časť 4: Metódy merania svetelnotechnických vlastností*.
- [7] DIN 67524-1: *Beleuchtung von Strassentunneln und Unterführungen – Allgemeine Güteermale und Richtwerte*.
- [8] STN EN 1838 *Požiadavky na osvetlenie. Núdzové osvetlenie*.
- [9] Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 344/2006, *o minimálnych bezpečnostných požiadavkách na tunely v cestnej sieti*.
- [10] TP 98 *Technologické vybavenie tunelů pozemných komunikácií. Technické podmienky*. ELTODO EG, a. s.
- [11] Zákon č. 142/2000 Z. z., *o metrologii a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení zákona č. 431/2004 Z. z.*
- [12] STN EN 13032-1 *Svetlo a osvetlenie. Meranie a vyhodnotenie fotometrických údajov svetelných zdrojov a svietidiel. Časť 1: Meranie a formulár súborov*.

Tab. 5. Použité merací prístroje

Merací prístroj na meranie jasu	Výrobca	Model	Otvorový (merací) uhol
Meranie bodov jasomerom	Minolta	LS-100	30°
	ESP	LUCAS	20°
Zaznamenanie obrazu na laboratórnu analýzu	TechnoTeam	Rollei	28° × 19°

Tab. 7. Nastavenie riadenia, regulácie a meranie osvetlenia tunela Lučivná kamerou Lucas (ESP)

Smer jazdy	Noc (cd/m ²)	Deň (cd/m ²)	1. stupeň (cd/m ²)	2. stupeň (cd/m ²)	3. stupeň (cd/m ²)
Poprad	6	12	131	247	viac ako 250
L. Mikuláš	4	10	94	173	viac ako 250

Poznámka: Údaje pre 3. stupeň (cd/m²) sú bez záruky. Merací rozsah kamery Lucas (ESP) je kalibrovaný do 250 cd/m².

Tab. 6. Vypočítané (L_{PL} , L_{BL}) a namerané priemerné hodnoty jasu v tuneli pri novom stavu osvetlenia

Vzdialenosť (m)	L_{PL} (cd/m ²)	L_{BL} (cd/m ²)	LS-100 (cd/m ²)	Rollei (cd/m ²)
0 až 45	242	160	387	372
93	91	64	159	154
190	27	18	36	37
210	9	6	9	11

L_{PL} – začiatkový jas, L_{BL} – udržiavací jas

