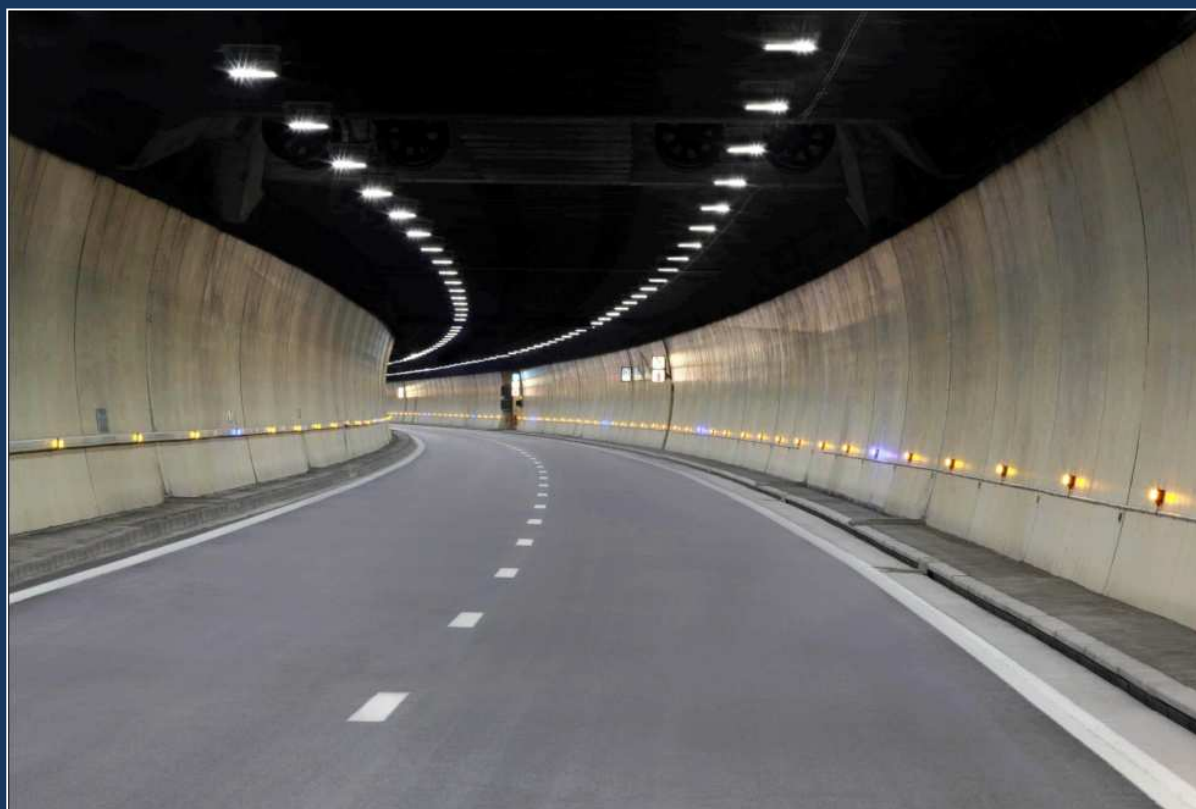


OSNOVNE SMERNICE ZA PROJEKTOVANJE TUNELSKOG OSVETLJENJA



ANA DRNDAREVIĆ, dipl.inž.el. (Minel -Schröder - Beograd)

Podgorica, 14.11.2015



DEO 1: Smernice za projektovanje tunelskog osvetljenja

1. Uvod \Rightarrow tunelsko osvetljenje
 2. Kriterijumi kvaliteta \Rightarrow projekat tunelskog osvetljenja
 3. Primena LED tehnologije i savremenih sistema upravljanja \Rightarrow mogućnosti ušteda
-

1. Uvod \Rightarrow tunelsko osvetljenje



Zašto je potrebno osvetljenje tunela tokom dana?



Problem vizuelne adaptacije

Zašto je potrebno osvetljenje tunela tokom dana?



Efekat crne rupe



Ulazna zona tunela



Ulazna zona tunela



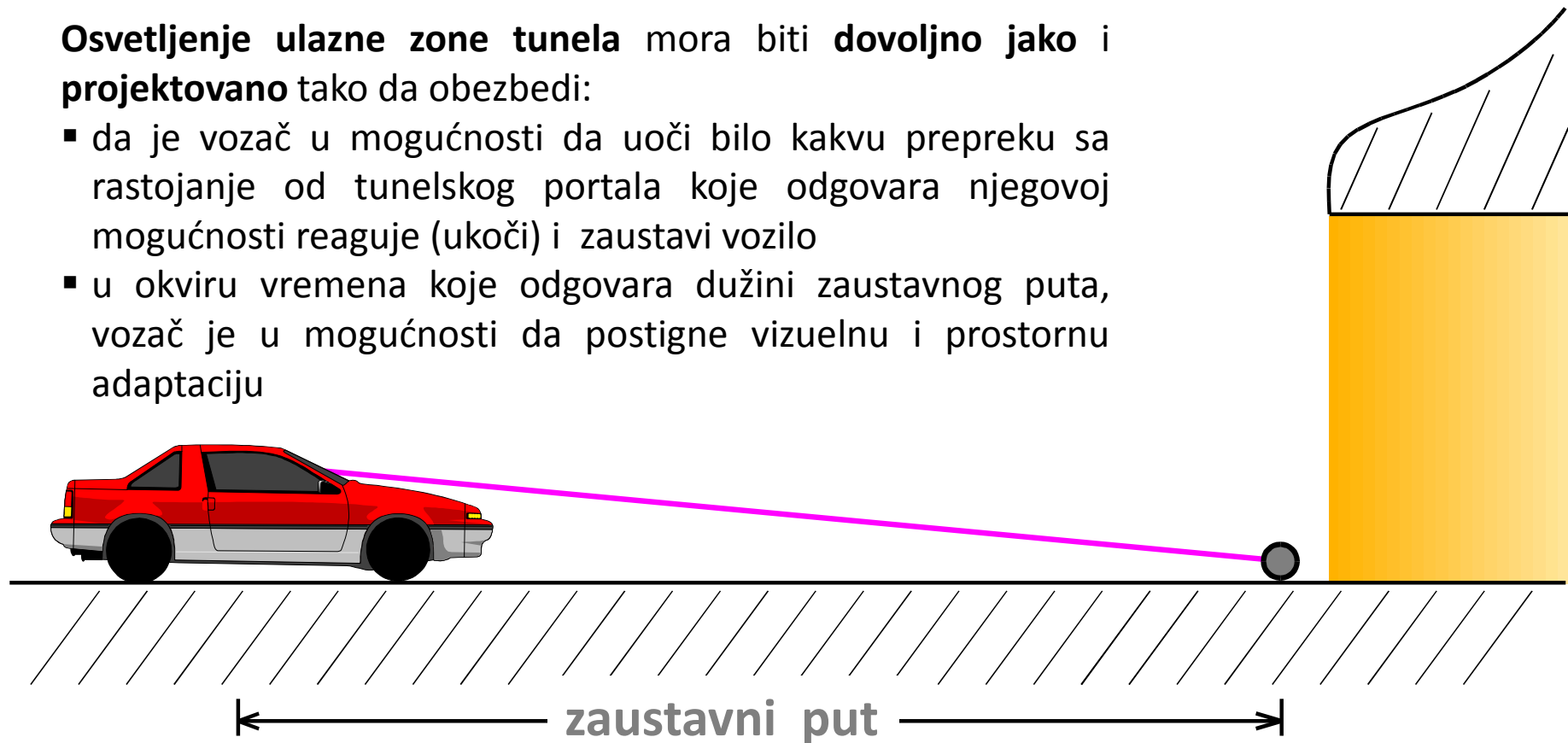
Uočavanje prepreke na putu



Zaustavni put

Osvetljenje ulazne zone tunela mora biti **dovoljno jako i projektovano** tako da obezbedi:

- da je vozač u mogućnosti da uoči bilo kakvu prepreku sa rastojanje od tunelskog portala koje odgovara njegovoj mogućnosti reaguje (ukoči) i zaustavi vozilo
- u okviru vremena koje odgovara dužini zaustavnog puta, vozač je u mogućnosti da postigne vizuelnu i prostornu adaptaciju

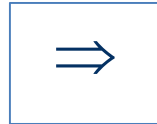


80km/h: 100m

Ulazni parametri



Brzina vožnje
Nagib puta



Dužina zaustavnog puta (SD)

$$SD = u \cdot t_0 + \frac{u^2}{2 \cdot g \cdot (f \pm s)}$$

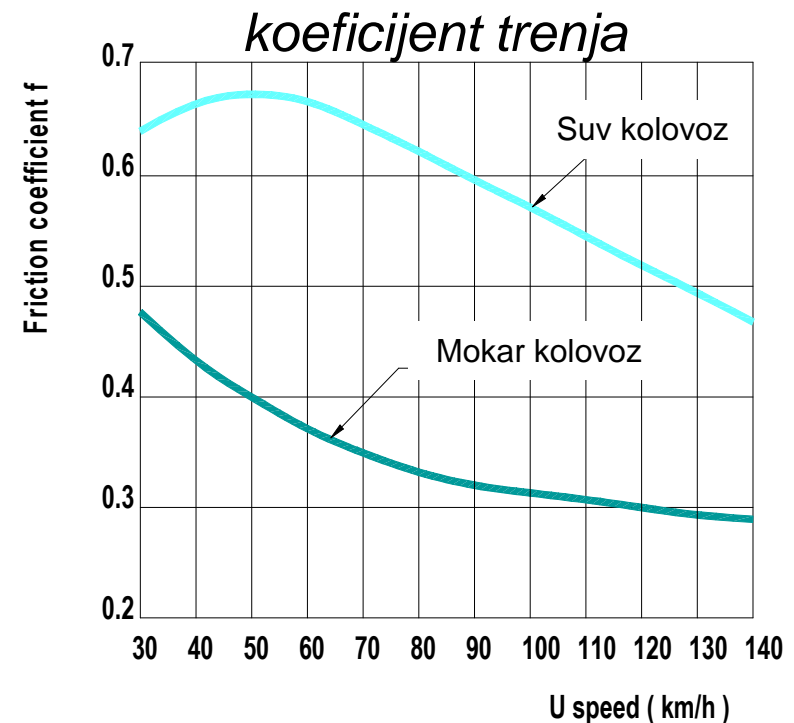
u = brzina vožnje u m/sec

t_0 = vreme reakcije (1 sec)

g = gravitaciono ubrzanje 9.81m/s^2

f = koeficijent trenja mokrog kolovoza

s = nagib puta u %



Ulazni parametri



Brzina vožnje
Nagib puta



Dužina zaustavnog puta (SD)

Dužine zaustavnog puta (SD) na ravnom putu

Brzina (km/h)	Dužina zaustavnog Puta SD (m)
60	60
70	75
80	100
90	125
100	160

2. Kriterijumi kvaliteta \Rightarrow projekat tunelskog osvetljenja



Preporuke – tunelsko osvetljenje

- **CIE 88: 2004**
GUIDE FOR THE LIGHTING OF
ROAD TUNNELS AND UNDERPASSES



- **CEN/TR 14380: 2003**
TUNNEL LIGHTING



European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung

Bazirane na konceptu sjajnosti

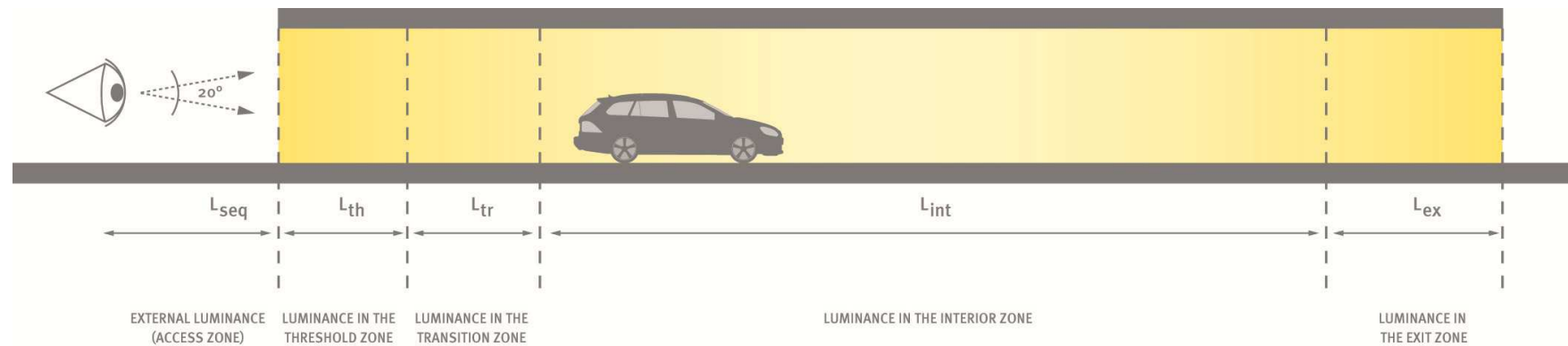
CIE 189:2010 (TC 4-24): Calculation of Tunnel Lighting Quality Criteria

CIE 193:2010 (TC 4-43): Emergency Lighting in Road Tunnels

CIE 194:2011 (TC 4-26): On site Measurement of the Photometric Properties of Road and Tunnel Lighting

EN 16276:2013 Evacuation Lighting in Road Tunnels

Karakteristične zone tunela - kretanje u jednom smeru



Sjajnost zone paraga L_{th}

Kako se određuje L_{th} ?

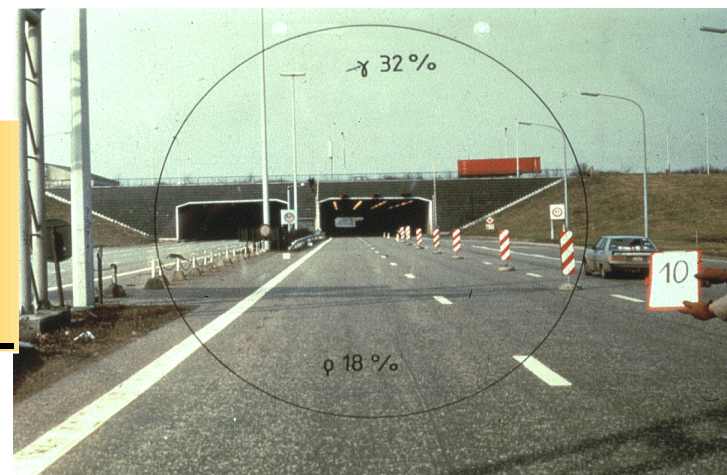
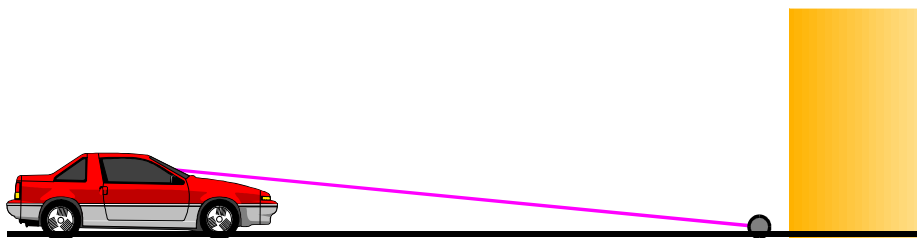
L_{th} = Nivo sjajnosti na prvoj polovini zone praga.

Zavisi od nivoa sjajnosti L_{20} na prilazu tunelu, u konusnom vidnom polju vozača sa dužine zaustavnog puta SSD.

Sjajnost L_{20} zavisi:

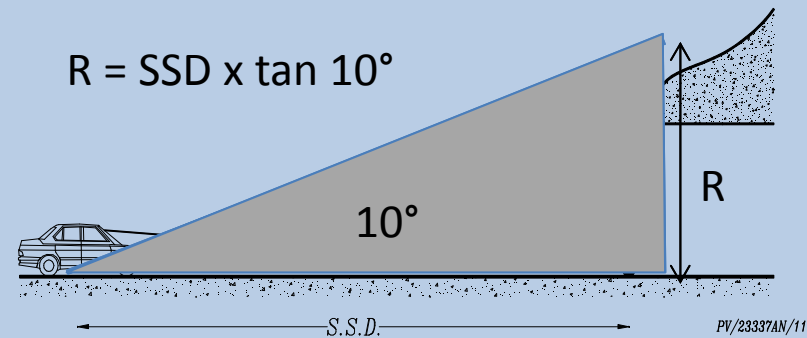
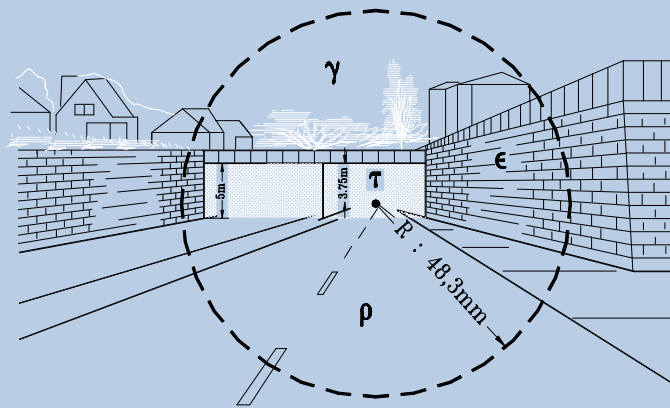
- brzine / zaustavnog puta
- smeru vožnje/ orijentacije tunelskog portala/ okruženja

L_{20}



Vidno polje vozača

Određivanje sjajnosti prilazne zone L_{20}



$$L_{20} = \gamma L_C + \rho L_R + \epsilon L_E + \tau L_{th}$$



Izračunavanje vrednosti L_{20}



$$L_{20} = \gamma L_C + \rho L_R + \varepsilon L_E + \tau L_{th}$$

Zanemarljivo

Gde je:

L_C = sjajnost neba

γ = % neba

L_R = sjajnost puta

ρ = % puta

L_E = sjajnost okruženja

ε = % okruženja

L_{th} = sjajnost na ulazu u tunel

τ = % ulaza

$$\text{Sa } \gamma + \rho + \varepsilon + \tau = 100\%$$

Određivanje sjajnosti prilazne zone L20



Smer vožnje	Lc (nebo) kcd/m ²	LR (put) kcd/m ²	LE (okruženje) kcd/m ²			
			Stene	Zgrade	Sneg	Vegetacija
N - sever	8	3	3	8	15 (V, H)	2
E - W	12	4	2	6	10 (V)	2
					15 (H)	
S - jug	16	5	1	4	5 (V)	2
					15 (H)	

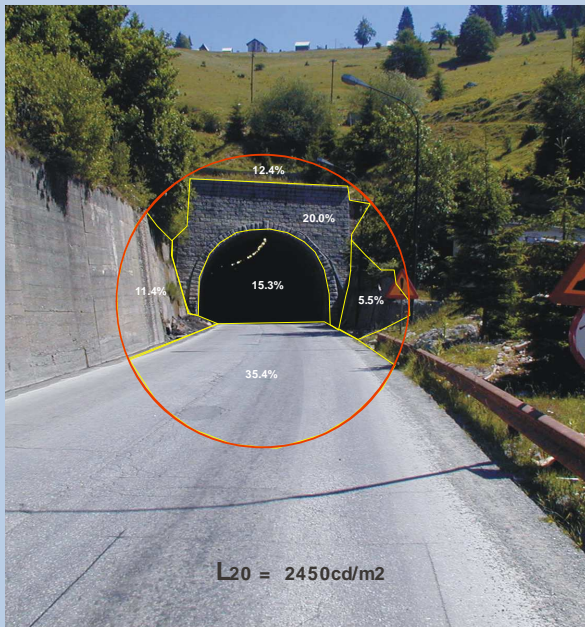
Napomena: V se odnosi na vertikalne, a H na horizontalne površine

Određivanje sjajnosti prilazne zone L_{20}



Na osnovu fotografije

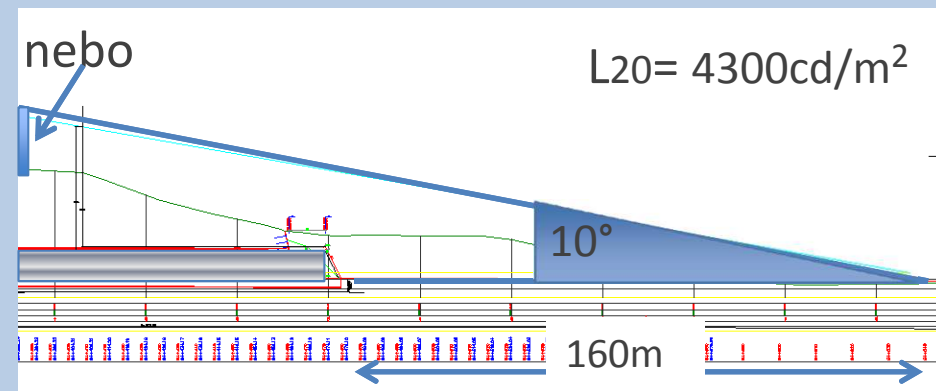
- sa dužine zaustavnog puta i sa pozicije vozača
- smer vožnje \Rightarrow orijentacija



Tunel Lokve – ulaz od Berana
 $V=60\text{km/h}$, $SD=60\text{m}$
smer vožnje: istok

Na osnovu crteža podužnog preseka

- voditi računa o razmeri
- sagedati okruženje \Rightarrow podloga ili teren
- smer vožnje \Rightarrow orijentacija tunela



Tunel Kale – desna cev
 $V=100\text{km/h}$, $SD=160\text{m}$
smer vožnje: jugo-zapad

Ulazni parametri



- Brzina \Rightarrow Dužina zaustavnog puta (SD)
- Fotografija portala sa SD ili crtež uzdužni profil tunela
- Smer vožnje



Sjajnost prilazne zone L20

Smer vožnje	Lc (nebo) kcd/m ²	LR (put) kcd/m ²	LE (okruženje) kcd/m ²			
			Stene	Zgrade	Sneg	Vegetacija
N - sever	8	3	3	8	15 (V, H)	2
E - W	12	4	2	6	10 (V)	2
					15 (H)	
S - jug	16	5	1	4	5 (V)	2
					15 (H)	

Npomena: V se odnosi na vertikalne, a H na horizontalne površine

Sjajnost zone paraga L_{th}



- CIE 88: 2004 i CEN/TR 14380: 2003 – Aneks A1

Brzina (km/h)	$k=L_{th}/L_{20}$
≤ 60 km/h	0.05
80 km/h	0.06
100km/h	0.08
120 km/h	0.10



Sjajnost zone paraga L_{th}

- CEN/TR 14380: 2003 – Aneks A2

Traffic flow	One Way Traffic	Two Way Traffic
High	> 1500	> 400
Medium	500 - 1500	100 - 400
Low	< 500	<100

Protok saobraćaja: Vršni sat \Rightarrow broj vozila po voznoj traci

Traffic Intens	High		Medium		Low	
Traffic type	M	A	M	A	M	A
Tunnel class	4	3	3	2	2	1 (guidance)

A – samo motroni saobraćaj, M – mešoviti saobraćaj

Sjajnost zone paraga L_{th}



- CEN/TR 14380: 2003 – Aneks A2

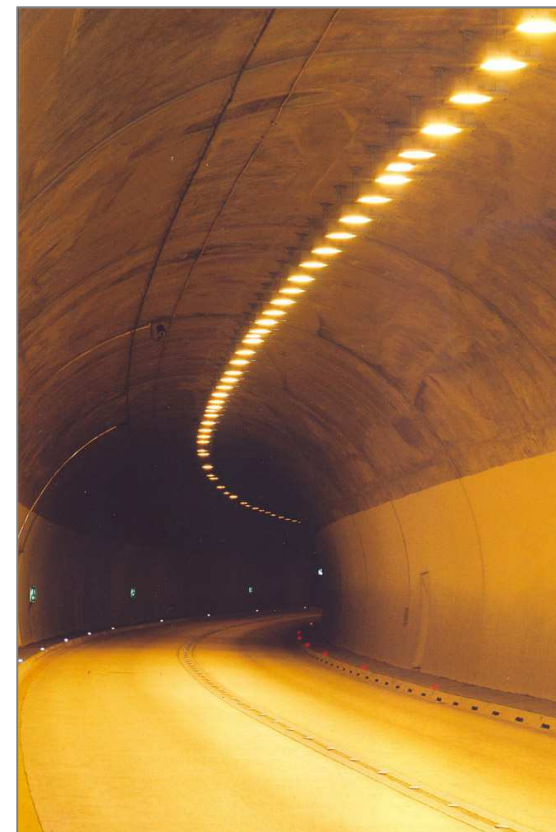
Stopping Distance SD (m)	60	100	160
tunnel class			
4	0.05	0.06	0.10
3	0.04	0.05	0.07
2	0.03	0.04	0.05
1	no requirements (only orientation lighting)		

$$k = L_{th} / L_{20}$$

Ulazna zona → Sistem osvetljenja



ULAZNA ZONA → POVRŠINA PUTA → SISTEM OSVETELJENJA

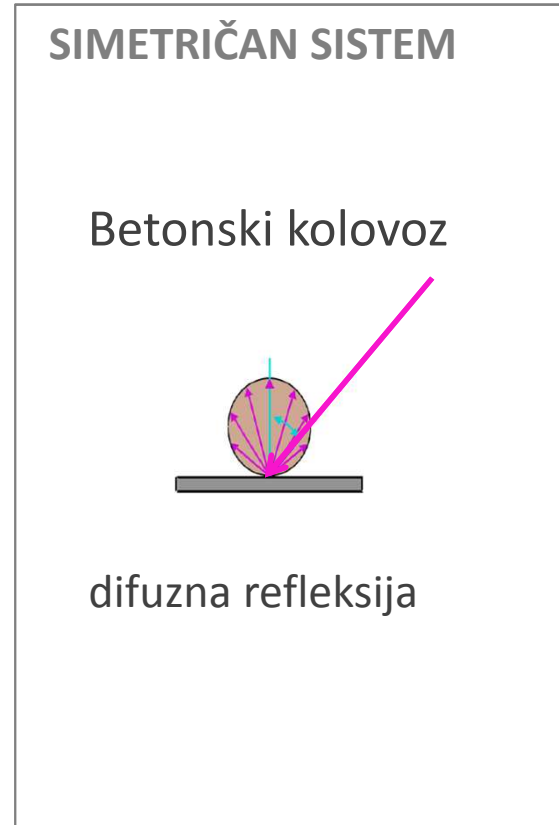
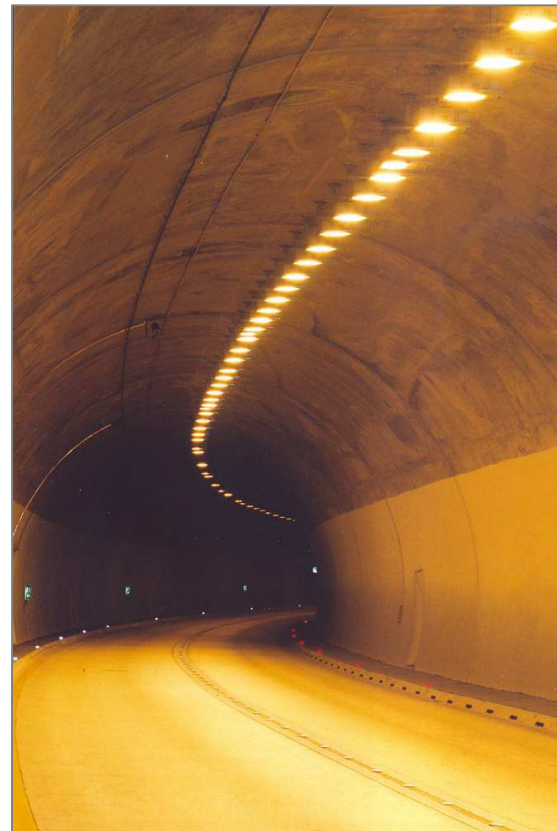


TUNEL SOZINE – ULAZNA ZONA

Ulazna zona → Sistem osvetljenja



ULAZNA ZONA → POVRŠINA PUTA → SISTEM OSVETELJENJA



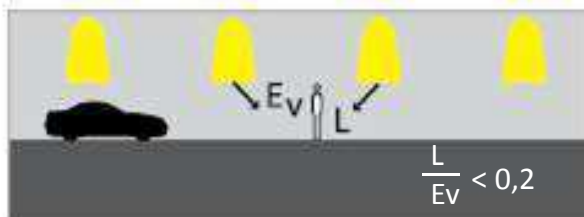
TUNEL SOZINE – ULAZNA ZONA

Ulazna zona \longrightarrow Sistem osvetljenja



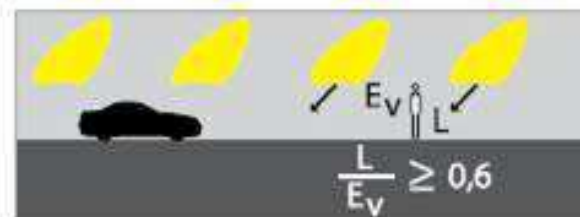
ULAZNA ZONA \longrightarrow POVRŠINA PUTA \longrightarrow SISTEM OSVETELJENJA

SIMETRIČAN



Pozitivan kontrast

KONTRAFLUKS



Negativan kontrast

Ulazna zona \longrightarrow Sistem osvetljenja



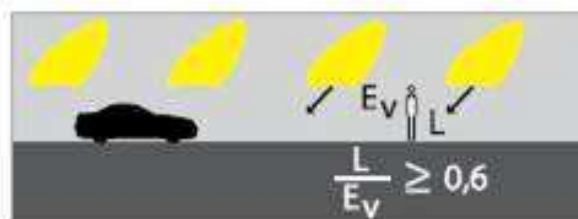
ULAZNA ZONA \longrightarrow POVRŠINA PUTA \longrightarrow SISTEM OSVETELJENJA

SIMETRIČAN



Pozitivan kontrast

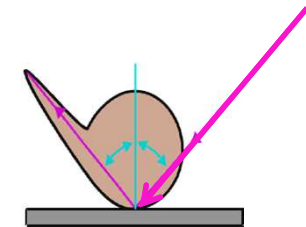
KONTRAFLUKS



Negativan kontrast

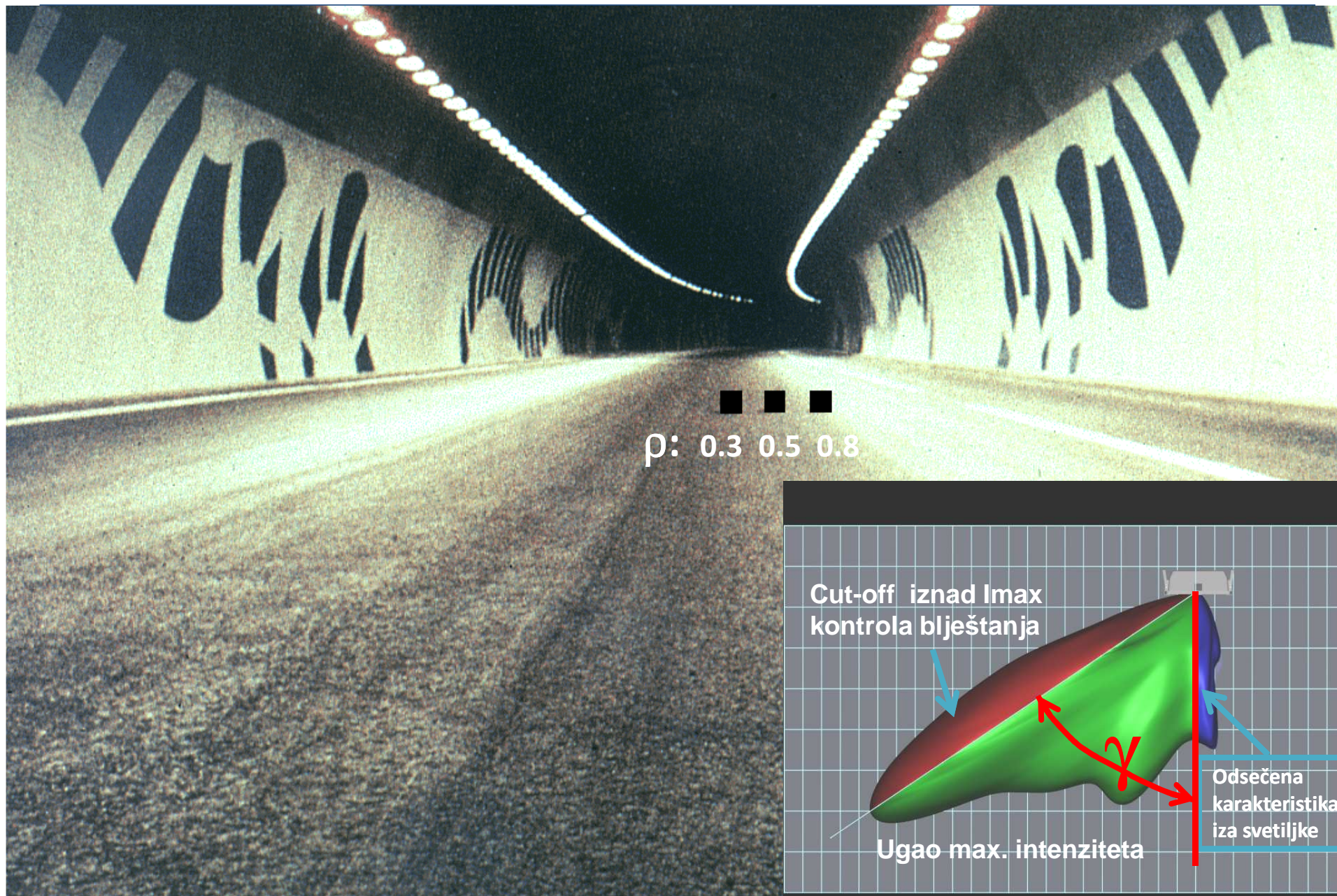
KONTRAFLUKS

Pogodan za asfaltne kolovoze

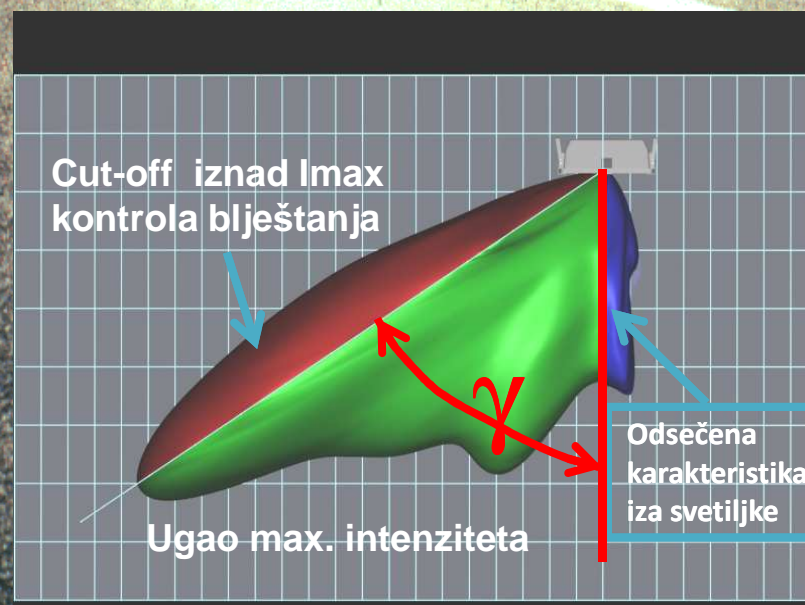


koji imaju usmerenu refleksiju u smeru upadnog ugla svetiljke

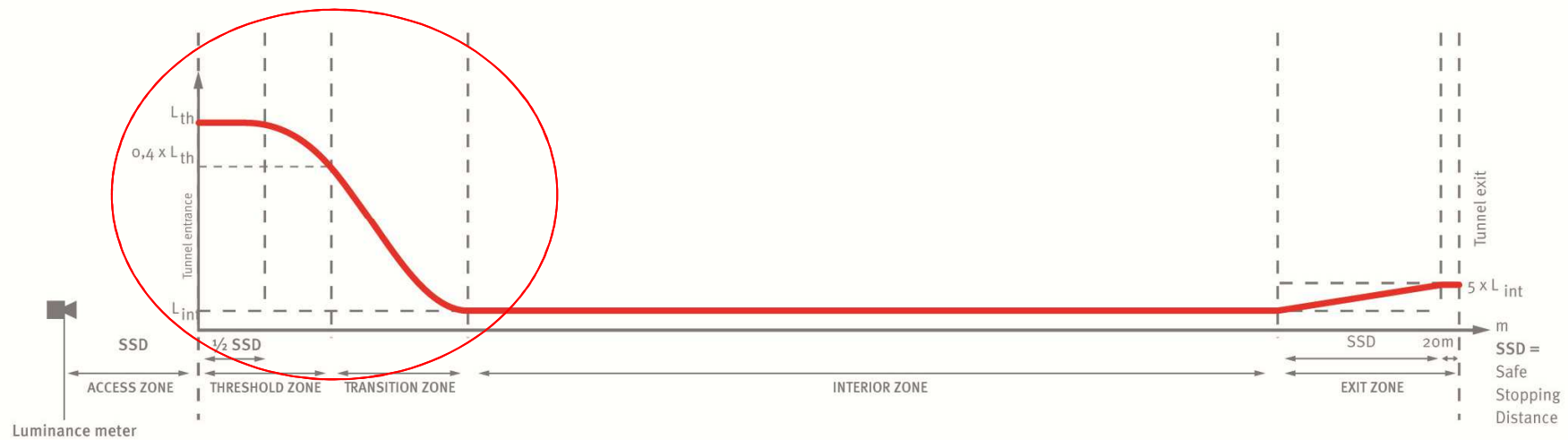
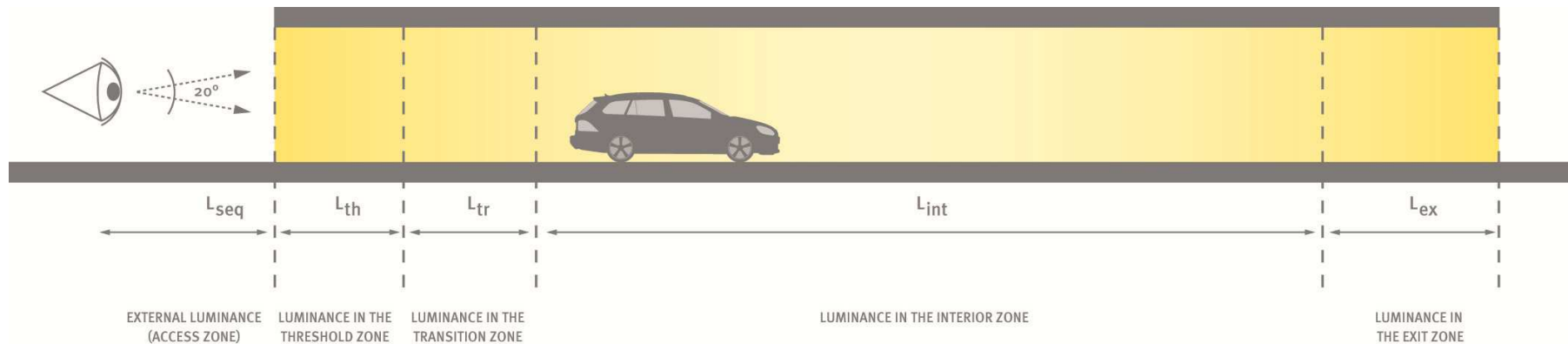
SISTEM OSVETLJENJA KONTRAFLUKS (C.B.L.)



ρ : 0.3 0.5 0.8



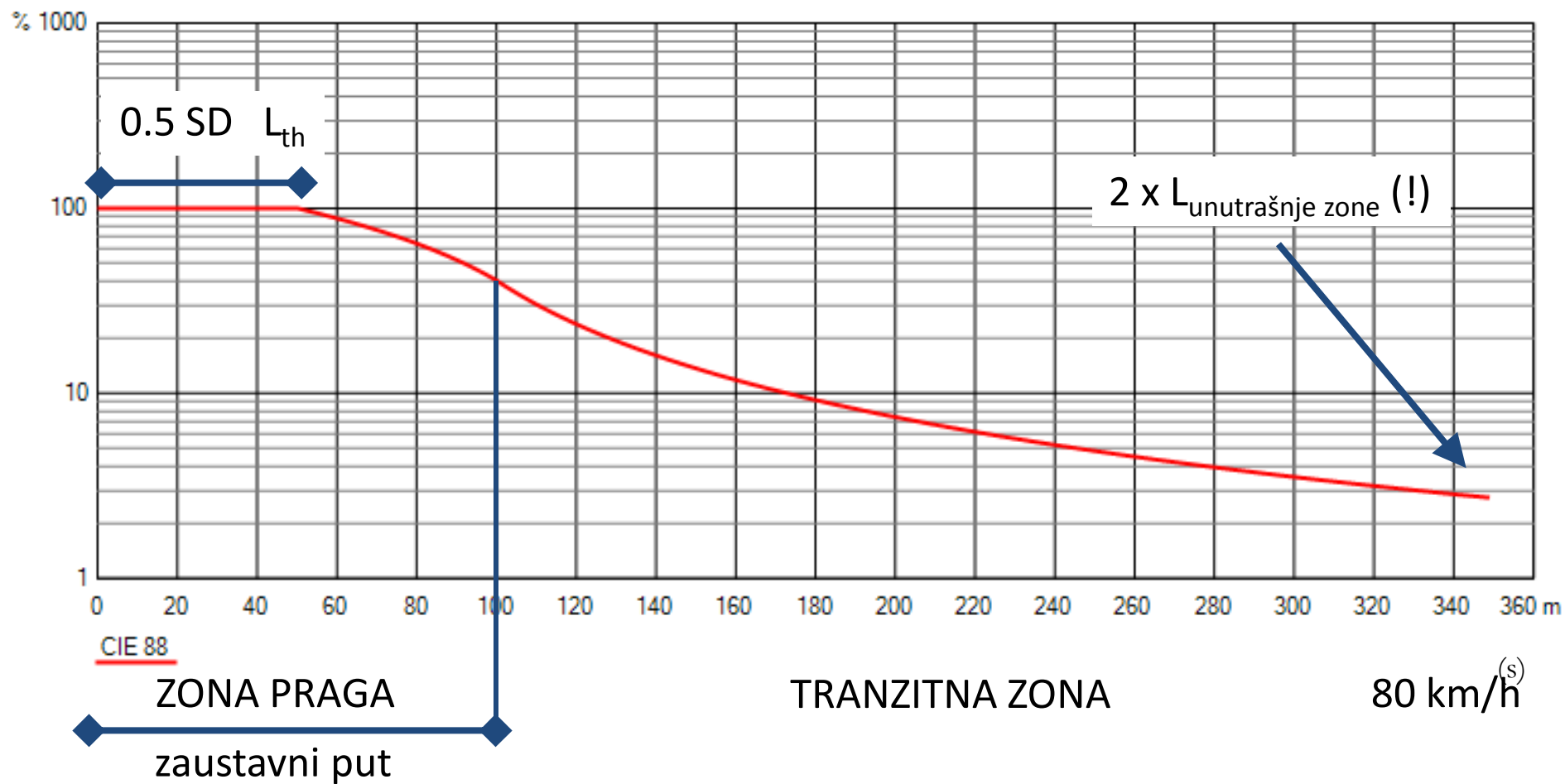
Karakteristične zone tunela - kretanje u jednom smeru



CIE kriva



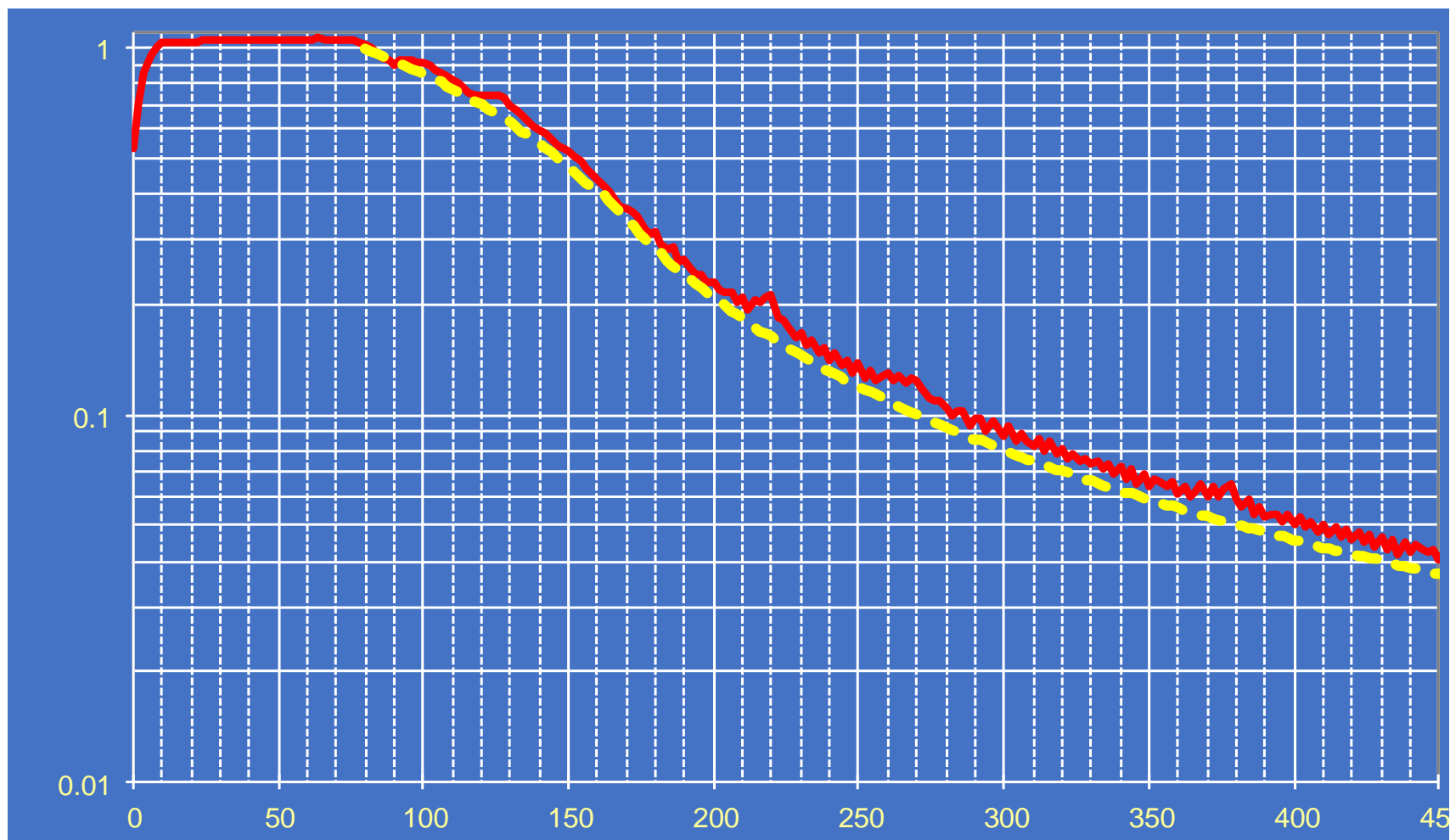
SMANJENJE NIVOVA SJAJNOSTI DUŽ TUNELA \Rightarrow CIE KRIVA





CIE kriva

Smanjenje nivoa sjajnosti duž tunela \Rightarrow CIE kriva



— Calculation — CIE Curve

Sjajnost unutrašnje zone L_{in}

KLASIFIKACIJA PROTOKA SAOBRAĆAJA PREMA CIE 88:2004

Protok saobraćaja*	Jednosmerni saobraćaj	Dvosmerni saobraćaj
Visok	> 1500	> 400
Nizak	< 500	< 100

* vršni sat, broj vozila po satu i voznoj traci



Sjajnost unutrašnje zone L_{in}



VREDNOSTI SJAJNSOTI U cd/m^2 U UNUTRAŠNJOJ ZONI CIE 88:2004

Zaustavni put (m)	DUGI TUNELI	
	Protok saobraćaja	
	Nizak	Visok
160 m	$6cd/m^2$	$10cd/m^2$
60 m	$3cd/m^2$	$6cd/m^2$

Zaustavni put (m)	VEOMA DUGI TUNELI	
	Protok saobraćaja	
	Nizak	Visok
160 m	$2.5cd/m^2$	$4.5cd/m^2$
60 m	$1cd/m^2$	$2cd/m^2$

Sjajnost unutrašnje zone L_{in}



TUNEL SOZINE – DVE UNUTRAŠNJE ZONE CIE 88:2004
veoma dugi tunel, brzina vožnje: 100km/h



Prva unutrašnja zona
 $L_{in1} = 10 \text{ cd/m}^2$



Druga unutrašnja zona
 $L_{in2} = 4.5 \text{ cd/m}^2$



Sjajnost unutrašnje zone L_{in}

VREDNOSTI SJAJNOSTI U cd/m^2 U UNUTRAŠNJOJ ZONI

CEN/TR 14380: 2003 ANEX A1

Traffic flow	One Way Traffic	Two Way Traffic
High	> 1500	> 400
Medium	500 - 1500	100 - 400
Low	< 500	<100

Stopping Distance S.D.	Traffic flow		
	Low	Medium	Heavy
160 m	5 cd/m^2	10 cd/m^2	15 cd/m^2
100 m	2 cd/m^2	4 cd/m^2	6 cd/m^2
60 m	1 cd/m^2	2 cd/m^2	3 cd/m^2

Sjajnost unutrašnje zone L_{in}



VREDNOSTI SJAJNSOTI U cd/m^2 U UNUTRAŠNJOJ ZONI
CEN/TR 14380: 2003 ANEX A2

Stopping Distance SD (m)	60	100	160
tunnel class			
4	3	6	10
3	2	4	6
2	1.5	2	4
1	NR	0.5	1.5

Sjajnost unutrašnje zone L_{in}



TUNELI NA KORIDORU Vc – KLASA 2 – $L_{in}=4 \text{ cd/m}^2$



Ujednačenost sjajnsoti



Opšta ujednačenost: $U_o \geq 0.4$ (na putu i zidovima) E_{min}/E_{sr}

Podužna ujednačenost: $U_l \geq 0.6$ (duž ose svake vozne trake) E_{min}/E_{max}



Sjajnsost na zidovima



Do 2m visine zida:

$$L_{\text{zida}} \geq 0.6 \times L_{\text{puta}}$$



Kontrola blještanja



Relativni porast praga - TI

$$TI \leq 15 \%$$

$$TI = 65 \cdot L_v / L_r^{0.8} \text{ za } L_{sr} \leq 5 \text{ cd/m}^2$$

$$TI = 95 \cdot L_v / L_r^{1.05} \text{ za } L_{sr} > 5 \text{ cd/m}^2$$





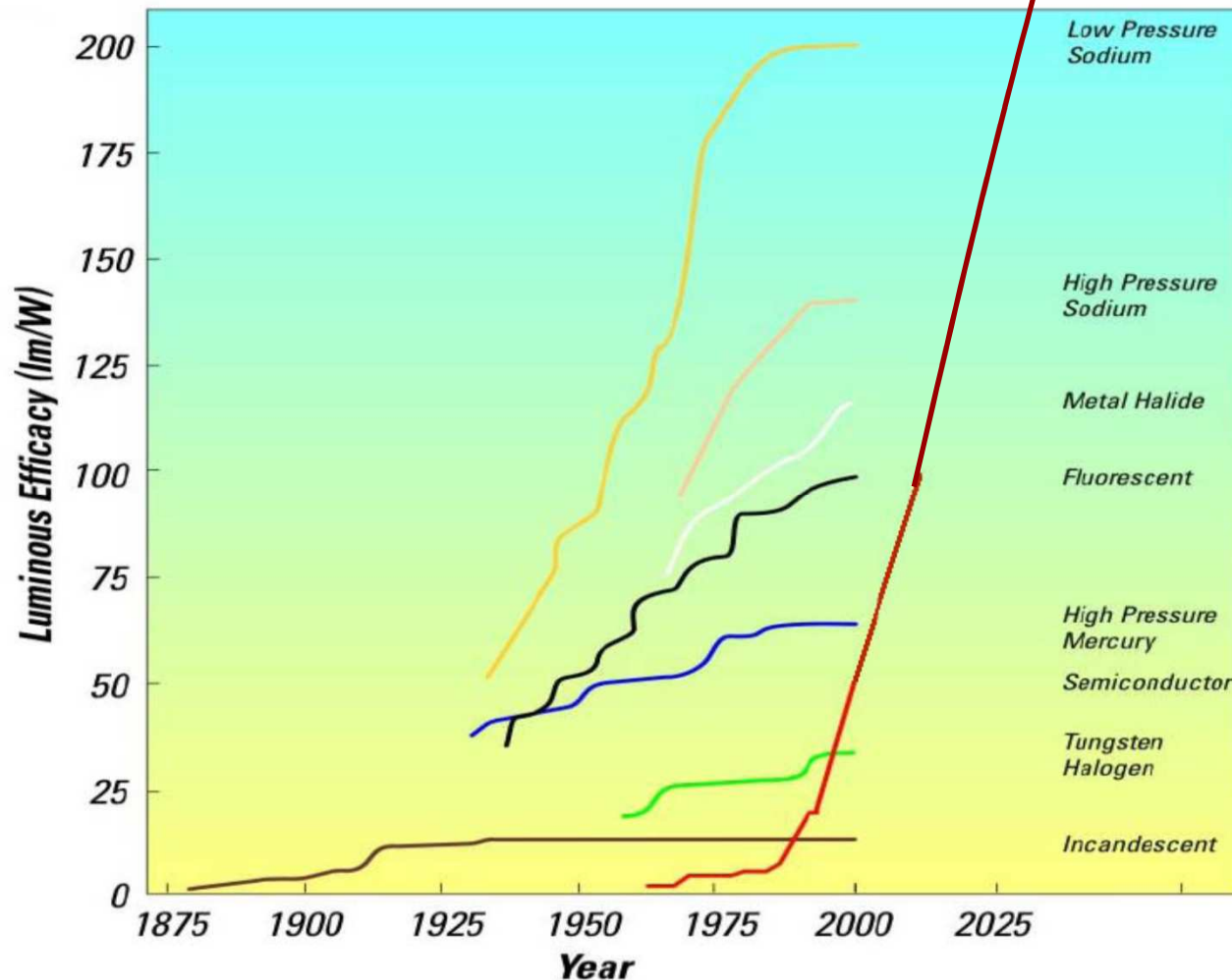
DEO 1: Semrnice za projektovanje tunelskog osvetljenja

1. Uvod \Rightarrow tunelsko osvetljenje
 2. Kriterijumi kvaliteta \Rightarrow projekat tunelskog osvetljenja
Sistemi osvetljenja \Rightarrow ulazna zona tunela
 3. **Primena LED tehnologije i
modernih sistema upravljanja \Rightarrow mogućnosti ušteda**
-

Zašto **LED** tehnologija za osvetljenje tunela? 2020: ± 250lm/W



- **efikasnost LED izvora** se povećava, i danas je dostigla efikasnost svih opsega snage natrijumovih izvora visokog pritiska ⇒ uštede energije

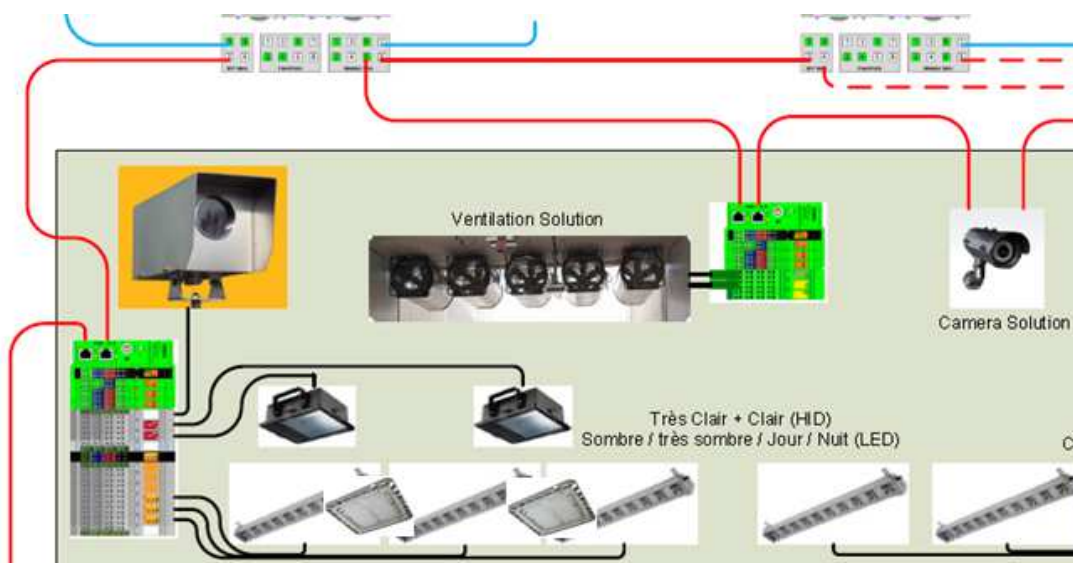


Zašto **LED** tehnologija za osvetljenje tunela?

- **životni vek** mnogo duži od HID –preko 90000h (oko 10 godina neprestanog rada, u tunelima)– smanjeni troškovi održavanja



- LED tehnologija mnogo **podesnija za upravljanje i nadzor** (trenutan odziv izvora, dimuje se svaka svetiljka (koncept dvostepenih balasta je zastareo))



Zašto **LED** tehnologija za osvetljenje tunela?



- raspoznavanje boja i vidljivost – **subjektivni utisak o višem nivou osvetljenosti** kada se koriste LED izvori u poredjenju sa izvorima natrijum visokog pritiska NaVP



NaVP osvetljenje 6.7cd/m^2



LED osvetljenje 3.2cd/m^2

Eran Aronson, istraživač - KTH laobratorija osvetljenja, Švedska

Prema ispitivanju koje je rađeno sa aspekta raspoznavanja boja, testovi su pokazali da su u slučaju NaVP osvetljenja na nivou 6.7cd/m^2 boje prepoznate do nivoa od 79%, dok su na nivou 4.2cd/m^2 sa LED osvetljenjem iste boje prpoznate visokih 90 %.

Nivo sjajnosti 3.2cd/m^2 postignut sa LED osvetljenjem stvara vidljivost dalju za 1m u poredjenju sa nivoom 6.7cd/m^2 postignutim sa NaVP izvorima.

3. Primena LED tehnologije u tunelskom osvetljenju



Prva LED realizacija u regionu

Tuneli **1 Mart** i **24 Novembar** na koridoru Vc, BiH



Tunel Vijenac – 1 Mart

dužina desne cevi: 2928,60m

dužina leve cevi: 2900,60m

asfalt koji odgovara klasi **R2** sa **Q₀ = 0.08**
primenjen simetričan sistem osvetljenja

Brzina saobraćaja : $V = 100 \text{ km / h}$

$L_{th} = 178 \text{ cd/m}^2$,

$L_{in} = 4 \text{ cd/m}^2$

3. Primena LED tehnologije u tunelskom osvetljenju



Prva LED realizacija u regionu

Tuneli **1 Mart** i **24 Novembar** na koridoru Vc, BIH



Tunel Suhodol – 24 Novembar

dužina desne cevi: 2801,721m

dužina leve cevi: 2742,856m

asfalt koji odgovara klasi **R2** sa **$Q_0 = 0.08$**
primenjen simetričan sistem osvetljenja

Brzina saobraćaja : $V = 100 \text{ km / h}$

$L_{th} = 183 \text{ cd/m}^2$,

$L_{in} = 4 \text{ cd/m}^2$

3. Primena LED tehnologije u tunelskom osvetljenju



Prva LED realizacija u Crnoj Gori Tunel Budoš



dužina tunela: 2928,60m

kolovoz asfalt R3 sa $Q_0 = 0.07$

Brzina saobraćaja: $V = 60 \text{ km / h}$
 $L_{th} = 183 \text{ cd/m}^2$,
 $L_{in} = 3 \text{ cd/m}^2$



3. Primena LED tehnologije u tunelskom osvetljenju



Rekonstrukcija Brattli tunel - Norveška



dužina tunela: 3560m
dužina za rekonstrukciju: 1100m

kolovoz asfalt **C2** sa **Qo = 0.07**

Brzina saobraćaja: $V = 80 \text{ km / h}$
 $L_{th} = 50 \text{ cd/m}^2$, $L_{in} = 2 \text{ cd/m}^2$

3. Primena LED tehnologije u tunelskom osvetljenju



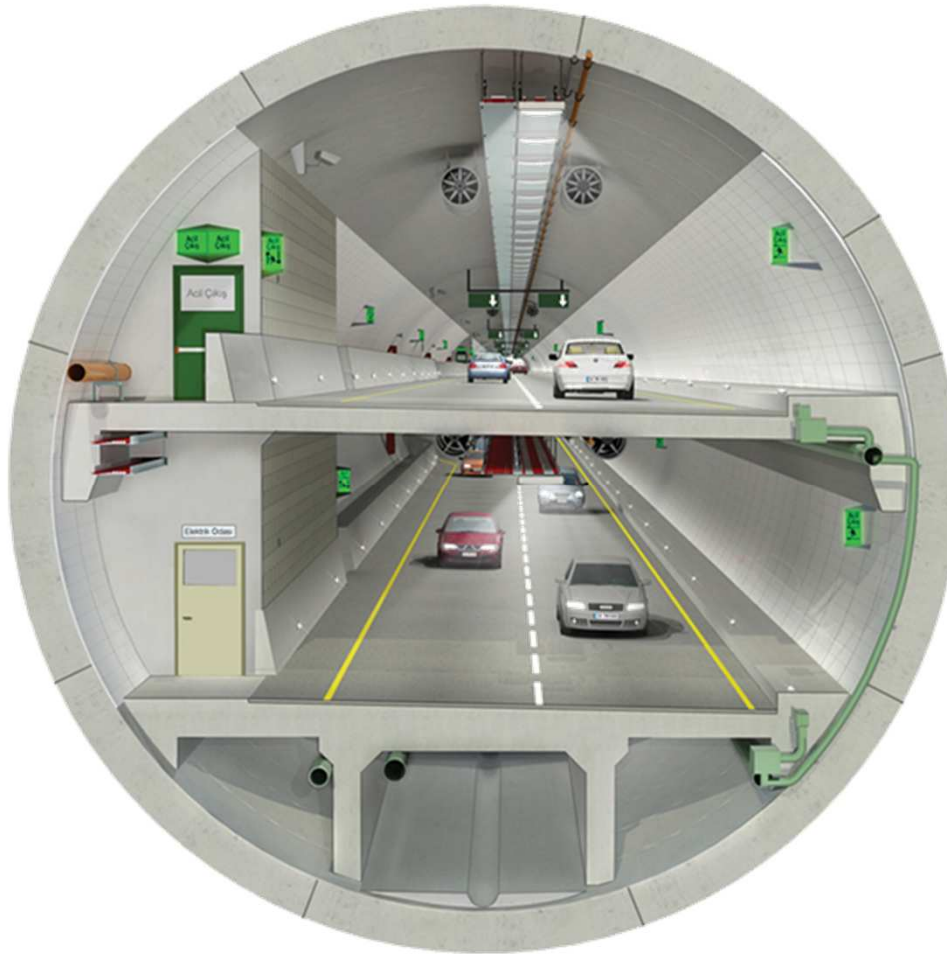
Prestižan projekat osvetljenja tunela Euroasia – Istanbul, Turska



3. Primena LED tehnologije u tunelskom osvetljenju



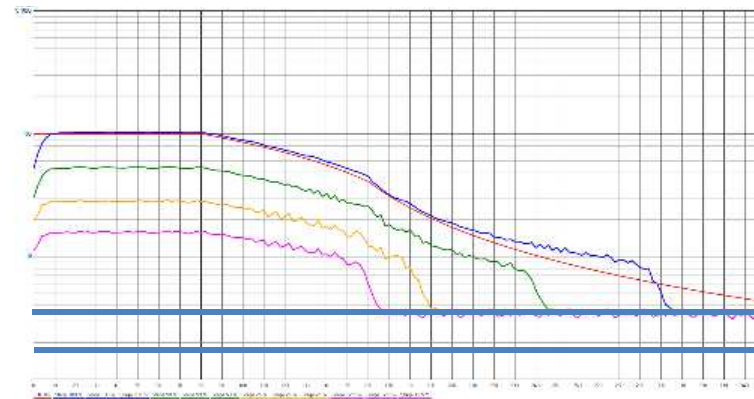
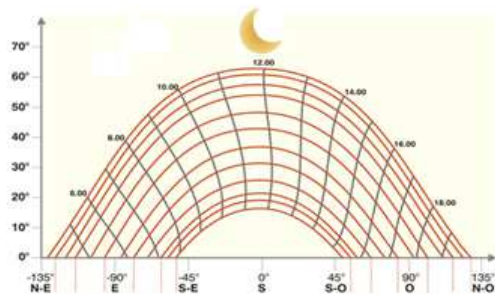
Prestižan projekat osvetljenja tunela Euroasia – Istanbul, Turska



3. Primena LED tehnologije u tunelskom osvetljenju



SAVREMENI SISTEMI UPRAVLJANJA



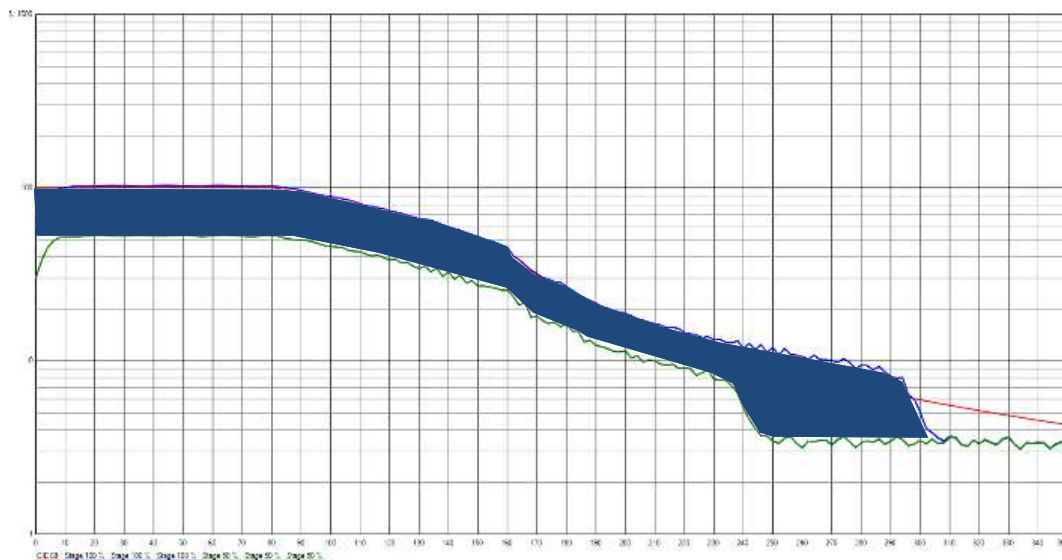
OPTIMIZACIJA UPRAVLJANJEM OSVETLJENJEM TUNELA

4 Dnevne scene (100% - 75% - 50% - 25%)



Režim 100% (Sunčani dan) - Vreme rada između dva režima

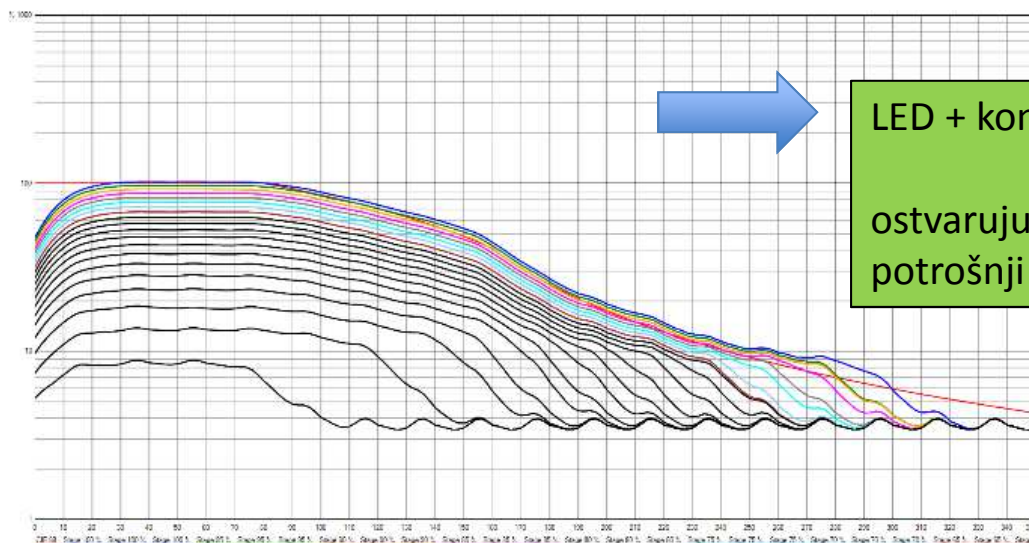
Za nivo 85%
režim 100% Uključen
=> Preosvetljeno!



OPTIMIZACIJA UPRAVLJANJEM OSVETLJENJEM TUNELA

LED Osvetljenje

=> Kontinualna regulacija



LED + kontinualna regulacija

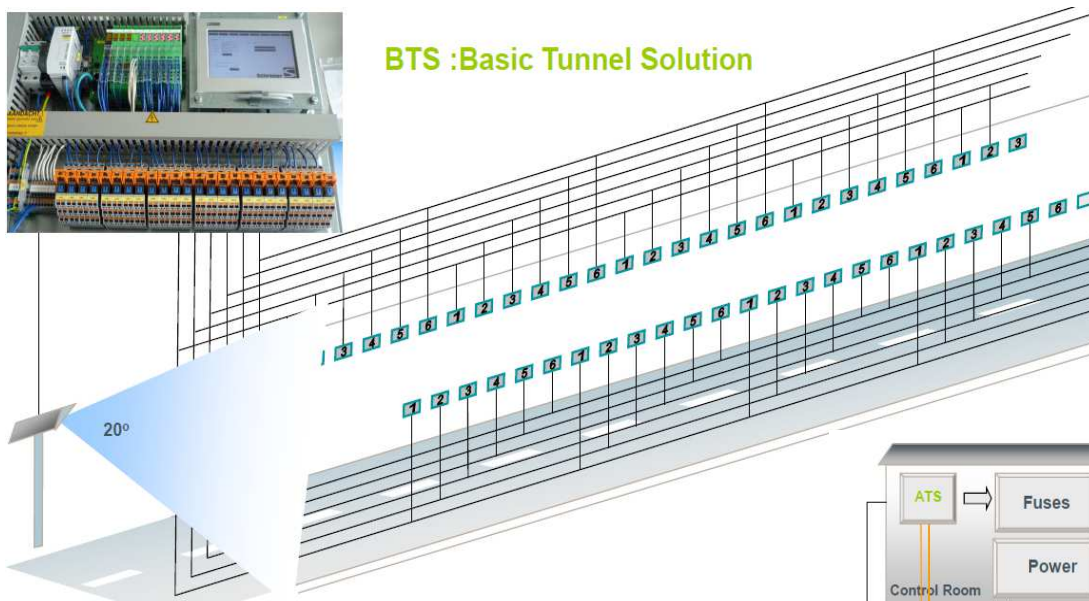
ostvaruju se značajne uštede u
potrošnji energije



SISTEMI KONTROLE: BTS | ATS



BTS :Basic Tunnel Solution



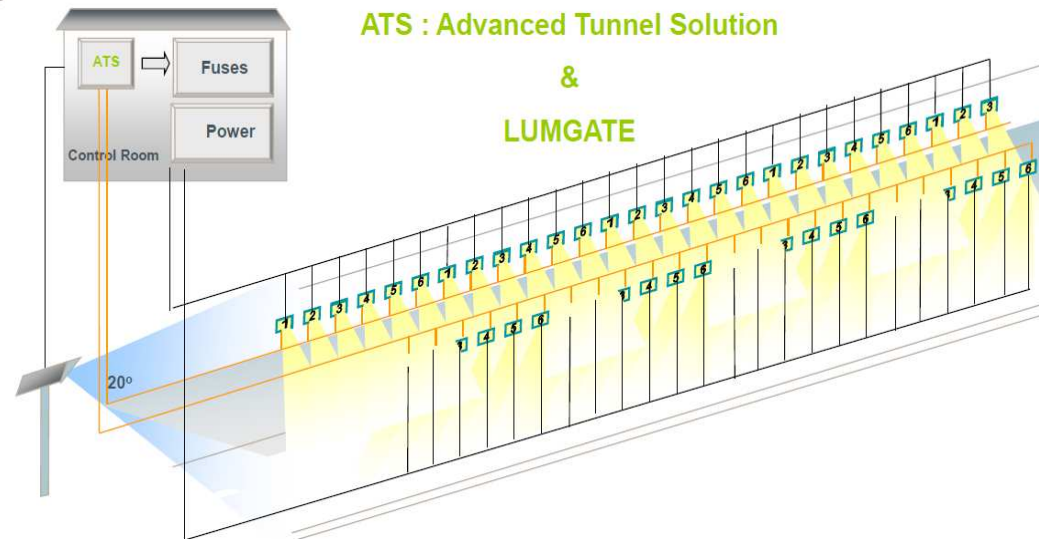
BTS - Klasičan sistem kontrole
ON/OFF komanda
dvostepeni balasti
PLC

ATS - Napredan sistem kontrole
mogućnos dimovanja
dvosmerna komunikacija
napajanje mreže i komandovanja
je nezavisno
mogućnost proširenja sistema

ATS : Advanced Tunnel Solution

&

LUMGATE





Zaključak

1. Primaran zadatak osvetljenja tunela \Rightarrow Bezbednost saobraćaja
 2. Ulazni parametri \Rightarrow važni za projekat osvetljenja tunela
 3. LED tehnologije i upravljanje \Rightarrow mogućnosti ušteda \Rightarrow postaju standard u osvetljenju tunela
-

HVALA NA PAŽNJI

PITANJA?

