

Захтеви, препоруке и трендови у тунелском осветљењу

Кратак садржај

Ноћно осветљење тунела је слично осветљењу других саобраћајница. Међутим, првенствено приликом уласка у тунел у току дана, возачи имају потребу за временском и просторном адаптацијом свог вида. Осветљење тунела треба да ублажи проблем адаптације, и да обезбеди да опадање визуелних перформанси возача који улази у тунел у дневним условима буде у границама прихватљивог. Из тог разлога, при изради пројекта електричног осветљења тунела, потребно је сагледати и испунити бројне фотометријске захтеве.

У раду је дат преглед фотометријских захтева, препорука које се најчешће користе, као и преглед нових трендова у техници тунелског осветљења.

Увод

Тунел је сваки облик покривеног дела саобраћајнице, без обзира на дужину и начин покривености. Тунели се обично сврставају у дуге или кратке тунеле, пре свега по својој дужини. Међутим, са становишта осветљења, у дуге тунеле сврставају се сви тунели, без обзира на стварну дужину, код којих возачи који још нису ушли у тунел не могу да виде излаз и део саобраћајнице иза тунела. Потреба за осветљењем кратких тунела није разматрана у овом раду. Наредно излагање односи се на дуге тунеле.

Осветљење тунела је комплексан задатак при коме треба испунити велики број различитих захтева. У раду су изложени општи проблеми са којима се суочавају возачи који се приближавају тунелу или улазе у њега. Безбедносно и евакуационо осветљење, као ни осветљење површина специјалне намене, као што су зауставне нише, нису разматрани у овом раду.

Осветљење тунела у дневним условима

Возач који улази у тунел у дневним условима суочава се са наглом променом нивоа сјајности, од оног који ствара дневна светлост изван тунела, до веома ниског нивоа сјајности у тунелу. Очи возача се споро прилагођавају великој промени нивоа сјајности, услед чега долази до проблема временске адаптације вида возача. Обзиром да је пређени пут директно сразмеран са временом потребним за адаптацију, при већим брзинама могу да настану потенцијално опасне ситуације.

Поред временске, постоји и проблем просторне адаптације возача. Просторна адаптација је узрокована сужавањем видног поља возача који се приближава улазу у тунел. Наиме, при војњи по путу, видно поље возача је релативно широко – око 20°. Приближавањем улазном

порталу тунела видно поље се привремено сужава, тако да на месту које је од улаза у тунел удаљено за дужину зауставног пута оно износи само око 2°.

Када се возач приближи улазу неосветљеног или лоше осветљеног тунела, јавља се и феномен црне рупе, који се огледа у немогућности возача да види унутрашњост тунела.

У циљу смањења могућих последица горе поменутих појава на најмању могућу меру, потребно је да се улазна зона тунела осветли у довољној мери и у довољној дужини. Из економских разлога, ниво сјајности од улазног дела ка унутрашњости тунела се постепено смањује, поштујући одређене законитости како би се омогућила адекватна адаптација очију возача.

У тунелу се, због различитих видних захтева у појединим његовим деловима, дефинишу карактеристичне зоне. Њима се придружује и део саобраћајнице непосредно испред улаза у тунел. Овим зонама одговарају различити нивои сјајности.

Прилазна зона

Прилазна зона тунела је део саобраћајнице непосредно испред улаза у тунел. Возачу који се налази на почетку прилазне зоне мора да се омогући да на време уочи евентуалне препреке на улазу у тунел, и да, ако је потребно, заустави возило. Почетак прилазне зоне је удаљен од улаза у тунел за дужину једнаку зауставном путу возила. Зауставни пут возила се дефинише као минимално растојање на коме возач може безбедно да заустави возило које се креће одређеном брзином. Сјајност прилазне зоне се најчешће одређује применом методе L_{20} . Према овој методи, сјајност нивоа прилазне зоне израчунава се применом емпиријске формуле

$$L_{20} = \gamma \cdot L_n + \rho \cdot L_k + \varepsilon \cdot L_o$$

У којој су γ , ρ и ε редом удели неба, коловоза и његове околине у видном пољу возача у прилазној зони, а L_n , L_k и L_o редом њихове сјајности које зависе од смера вожње и изгледа околине улаза у тунел.

Зона прага

Возач који се налази на улазу у тунел је још под утицајем високог нивоа сјајности изван тунела. Зона прага је улазни део тунела, у коме је неопходно остварити довољно висок ниво сјајности, који ће возачу омогућити да уочи евентуалне препреке у тунелу. Дужина зоне прага је једнака дужини зауставног пута при пројектованој брзини. У првој половини зоне прага сјајност је константна, и једнака је тзв. сјајности зоне прага. Сјајност зоне прага L_{th} је линеарно сразмерна са нивоом сјајности прилазне зоне L_{20}

$$L_{th} = k \cdot L_{20}$$

У којој је коефицијент k функција брзине или дужине зауставног пута (у зависности од препоруке). У другој половини зоне прага сјајност постепено опада према законитости

$$L = \frac{0.4 \cdot L_{th}}{SSD} \cdot (4 \cdot SSD - 3 \cdot x),$$

У којој је x дужина пута коју је возач прешао од улаза у тунел, а SSD дужина зауставног пута (safe stopping distance) .

На крају зоне прага сјајност не сме да буде мања од 40 % сјајности која се има на почетку ове зоне.

Транзитна зона

Транзитна зона се надовезује на зону прага. У транзитној зони се наставља процес опадања нивоа сјајности од нивоа сјајности на крају зоне прага до нивоа сјајности унутрашње зоне помноженог са одређеним коефицијентом (у зависности од примењене препоруке). Смањење нивоа сјајности у транзитној зони приказано је релацијом

$$L_{tr} = L_{th} [1.9 + t]^{-1.4}$$

У којој је L_{tr} минимална дозвољена сјајност у делу транзитне зоне у којој се возач налази после времена t (израженог у секундама) проведеног у овој зони.

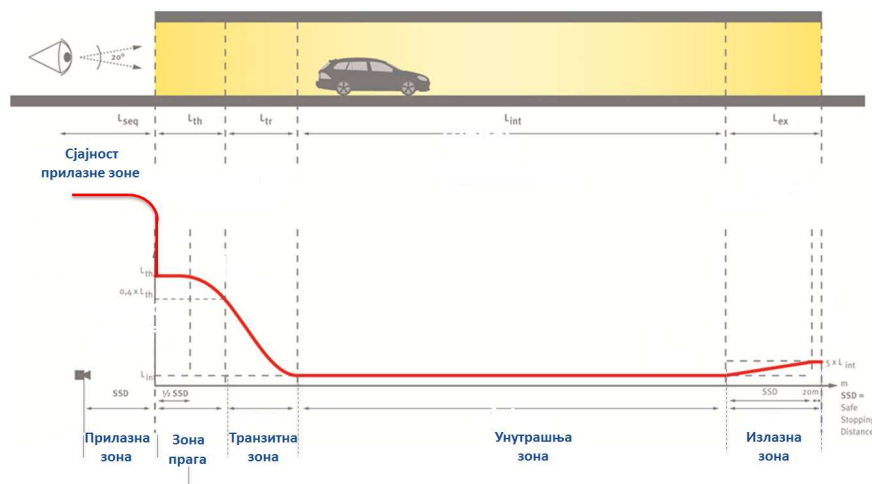
Унутрашња зона

Унутрашња зона је део тунела у коме је вид возача адаптиран на најнижи дозвољени константни ниво сјајности у тунелу. Ниво сјајности у унутрашњој зони зависи од дужине зауставног пута и густине саобраћаја. У унутрашњој зони тунела се обично не постиже потпуна адаптација очију возача, па је ниво сјајности у овој зони често значајно већи од нивоа сјајности који су уобичајени за саобраћајнице. Код веома дугих тунела постиже се потпуна адаптација очију возача, па препорука Међународне комисије за осветљење CIE 88 у случају веома дугих тунела дефинише две унутрашње подзоне са различитим константним нивоима сјајности.

Излазна зона

У излазној зони тунела би требало да се изврши адаптација очију возача при изласку из тунела. Међутим, с обзиром да је време прилагођавања при прелазу са нижег на виши ниво сјајности веома кратко, проблем адаптације обично не захтева повећање нивоа сјајности у овој зони (у односу на ниво сјајности у унутрашњој зони тунела). У случајевима када је потребно посебно осветљење излазне зоне (на пример код веома дугих тунела, или када могу да се појаве потенцијално опасне ситуације при излазу), потребно је да се ниво сјајности линеарно повећава почев од места које је удаљено за дужину зауставног пута од излаза из тунела, тако да се у последњих 20 m обезбедити пет пута већи ниво сјајности од нивоа сјајности у унутрашњој зони.

Шематски приказ појединих зона тунела и узужни пресек тунела за једносметни саобраћај приказани су на слици 1.



Слика 1. Уздужни пресек и шематски приказ зона тунела за једносмерни саобраћај

Сјајност зидова тунела

Зидови тунела су део позадине испред које треба уочити евентуалне препреке у тунелу. Добро осветљени зидови доприносе адаптацији и побољшавају визуелно вођење. Да би се то постигло, доњи делови зидова до висине 2 m морају да буду добро осветљени. Ниво сјајности зидова тунела мора да буде већи од одређеног процента средње сјајности коловоза (тај проценат је дефинисан препорукама), уз одговарајућу равномерност сјајности.

Равномерност сјајности у тунелу

Један од најважнијих фактора квалитета осветљења је равномерност сјајности. Препоруке дефинишу минималне вредности како опште и подужне равномерности сјајности коловоза, тако и опште равномерности сјајности зидова.

Питање равномерности сјајности у тунелу подједнако је важно и у дневним и у ноћним условима.

Ограничење бљештања у тунелу

У инсталацији осветљења тунела светиљке су најчешће постављене на мањој висини него у инсталацијама осветљења саобраћајница, што може да проузрокује физиолошко бљештање које значајно умањује видне перформансе возача. Мерило физиолошког бљештања је релативни пораст прага TI. Релативни пораст прага не сме да буде већи од 15 % ни у једној зони тунела. У току ноћи, бљештање се ограничава дуж целог тунела.

Ефекат треперења

Светиљке у тунелу могу да буду постављене у испрекиданом или у непрекидном низу. Када су светиљке постављене у испрекиданом низу, у видном пољу возача периодично се појављују светла и тамна поља, која узрокују тзв. ефекат треперења. Сметње које возач осећа услед

ефекта треперења зависе како од фреквенције треперења, тако и од дужине тунела, односно времена изложености возача овом ефекту.

У принципу, ефекат треперења је занемарљив ако је фреквенција треперења (однос брзине кретања возила и растојања између суседних светиљки) мања од 2.5 Hz или већа од 15 Hz. Уколико је возач изложен ефекту треперења дуже од 20 s, фреквенција треперења мора да буде ван опсега 4 – 11 Hz.

Код непрекидног низа светиљки (код којих је растојање између центара суседних светиљки мање од двоструке дужине светлеће површине светиљки) не долази до појаве треперења.

Системи осветљења тунела

Улазна зона тунела са тзв. појачаним осветљењем може да буде осветљена применом једног од два типа система осветљења:

- симетрични систем осветљења и
- асиметрични систем осветљења (систем контрафлукса).

Ова два система се разликују по вредности сјајности односу сјајности позадине препреке у тунелу L_0 и њене вертикалне осветљености E_v . Однос L_0/E_v назива се коефицијент контраста (CRC- contrast revealing coefficient).

Код симетричног система осветљења, сјајност препреке је већа од сјајности позадине, и посматрач види препреку у позитивном контрасту, као светао објекат у односу на тамну позадину. У том случају коефицијент контраста не сме да буде већи од 0.2 ($CRC \leq 0.2$).

Код система контрафлукса, светлост је усмерена према улазу у тунел, супротно смеру вожње. Посматрач види препреку у негативном контрасту, као таман објекат у односу на светлу позадину. У овом случају коефицијент контраста не сме да буде мањи од 0.6 ($CRC \geq 0.6$).

Регулација светлосног флукса

Ниво сјајности зоне прага и транзитне зоне морају да буду у одређеним односима према нивоу сјајности прилазне зоне тунела. Међутим, ниво сјајности прилазне зоне се стално мења у зависности од дела дана, годишњег доба и метеоролошких прилика. Због тога се, пре свега из економских разлога, а у зависности од нивоа сјајности прилазне зоне, кроз неколико различитих режима рада подешава ниво сјајности у појединим зонама тунела.

Осветљење тунела у ноћним сатима

У току ноћних сати тунел је осветљен истим нивоом сјајности у свим својим зонама.

Уколико је прилазни пут тунелу осветљен, потребно је да у току ноћи дуж целе дужине тунела фотометријски захтеви у тунелу буду једнаки или већи од оних који су испуњени на прилазном путу.

Ако прилазни пут није осветљен, ниво сјајности у тунелу треба да износи бар 1 cd/m^2 (ова минимална вредност може да буде и већа у зависности од примењене препоруке), уз одговарајуће равномерности сјајности и ограничење бљештања.

Приликом изласка из осветљеног тунела у току ноћи (у којем је ниво сјајности већи од 1 cd/m^2) на неосветљени пут, при већим брзинама (већим од 50 km/h), препорука CIE предвиђа и осветљење одлазне зоне. Одлазна зона почиње одмах иза излазног портала тунела, а њена дужина је једнака двострукој дужини зауставног пута. У овој зони треба обезбедити бар $1/3$ нивоа сјајности који се има у тунелу у току ноћи.

Препоруке за осветљење тунела

При пројектовању осветљења тунела у Европи се најчешће користе два документа. То су технички извештај Европске уније (CEN CR 14380, " Lighting Applications – Tunnel Lighting ", 2003) и препорука Међународне комисије за осветљење - CIE (CIE 88-2004, " Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses ", 2004). На основу ових докумената одређује се потребан ниво сјајности на коловозу и на доњим површинама зидова (до 2 m висине), равномерност сјајности на коловозу и на разматраном делу зида, ограничење бљештања, ограничења која се односе на ефекат треперења, дати су критеријуми који омогућавају добру видљивост евентуалних препрека, и дате су смернице за визуелно вођење. Документ Европске уније поред општих препорука за осветљење тунела, садржи и скуп анекса у којима су приказане различите методологије за одређивање вредности улазних параметара за пројектовање, као и захтева које пројекат треба да испуни.

Општа упутства о методологији прорачуна појединих параметара дата су у препоруци Међународне комисије за осветљење - CIE 189:2010 „Calculation of Tunnel Lighting Quality Criteria“.

Препорука Међународне комисије за осветљење CIE 193:2010 „Emergency Lighting in Road Tunnels“, и стандард Европске уније EN 16276:2013 „Evacuation Lighting in Road Tunnels“ дефинишу начин осветљавања површина специјалне намене (као што су зауставне нише) и осветљење евакуационих рута у случају опасности.

Нови трендови

Развој LED технологије омогућио је примену светиљки са овим изворима и у области осветљења тунела. LED изворе карактерише дуг животни век и тренутни одзив, што их чини веома погодним за примену у тунелима, у којима је регулација светлосног флукса веома значајна. Дуг животни век ових извора смањује трошкове одржавања, које је иначе отежано у тунелу. Савремени системи за управљање и мониторинг рада инсталације осветљења омогућавају једноставну реализацију великог броја режима рада, чиме се постижу уштеде у потрошњи електричне енергије. Поред уобичајених режима рада који су последица промене сјајности прилазне зоне, нови контролни системи омогућавају и реализацију режима рада који су последица промене брзине кретања на саобраћајници испред и у самом тунелу.

Закључак

Инсталација осветљења у тунелу мора да обезбеди безбедно и сигурно кретање учесника у саобраћају у тунелу како у дневним, тако и у ноћним условима. То је комплексан задатак у коме треба водити рачуна о великом броју захтева који истовремено треба да буду испуњени. Модерни системи за управљање омогућавају боље прилагођавање метеоролошким и саобраћајним условима, чиме могу да се остваре значајне уштеде електричне енергије, а да се при томе ни у једном тренутку не угрози безбедност учесника у саобраћају.

Литература

- [1] М. Костић, „Водич кроз свет осветљења“, Minel-Schröder, 2000.
- [2] CIE, „Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses“, Publication CIE 88, 2004.
- [3] CEN, „Lighting Applications – Tunnel Lighting“, EN CR 14380, 2003.
- [4] CIE, „Calculation of Tunnel Lighting Quality Criteria“, Publication CIE 189, 2010.
- [5] CIE, „Emergency Lighting in Road Tunnels“, Publication CIE193, 2010.
- [6] EN, „Evacuation Lighting in Road Tunnels“, EN 16276, 2013.
- [7] Schröder Group, „Tunnel lighting seminar“, Liege, 2013.
- [8] CIE, „On site Measurement of the Photometric Properties of Road and Tunnel Lighting“, Publication CIE 194, 2011