
УТИЦАЈ САБРАЋАЈНИХ ЗАХТЕВА И ГРАЂЕВИНСКИХ РЕШЕЊА НА ЕКОНОМИЧНОСТ ТУНЕЛСКОГ ОСВЕТЉЕЊА И СИГУРНОСТ САОБРАЋАЈА

САДРЖАЈ

1	Увод.....	1
2	Проблеми виђења и сигурности	2
3	Захтеви за адаптационо осветљење	3
4	Видне зоне	3
5	Светлосна класа тунела	4
6	Дозвољен пад светлине при уласку у тунел.....	4
7	Сјајност прилазне зоне (L_{20}) и њено смањење.....	4
8	Утицај брзине на димензионисање осветљења и његово коштање	5
9	Утицај предпортала на димензионисање осветљења и његово коштање	6
10	Остале мере за смањење сјајности прилазне зоне.....	8
11	Повећање сјајности у тунелу, грађевинским решењима.....	9
12	Визуелно вођење.....	10
13	Избор пројектанта осветљења	10

1 Увод

Познавање елементарних проблема тунелског осветљења неопходно је сваком грађевинском стручњаку који се бави пројектовањем и одржавањем путних тунела. Иако инвестиције за осветљење тунела нису значајне у односу на грађевинске инвестиције, годишњи трошкови погона и одржавања могу бити значајни. О тим трошковима пројектанти углавном не размишљају нити их ико приморава да размишљају о њима.

Добро грађевинско решење значајно утиче на смањење инвестиционих и годишњих трошкова погона и одржавања. Још је битније да добро грађевинско решење значајно повећава сигурност саобраћаја чак и у случајевима када осветљење није у функцији.

Као што ће добар архитекта добрим решењем и правилним избором материјала за зграду смањити инвестиције и трошкове за грејање тако ће и добар грађевинац, тунелџија и путар својим решењем тунела и прилаза тунелу поједноставити и појефтинити тунелско осветљење.

2 Проблеми виђења и сигурности

Вожња кроз тунел претходи вожња по отвореном путу. Услови виђења на отвореном путу и у неосветљеном тунелу су драстично различити.

У прилазној зони тунела, сјајност видног поља у зависности од брзине, географске оријентације и учешћа неба у видном пољу креће се од $1500\text{cd}/\text{m}^2$ до преко $6000\text{cd}/\text{m}^2$. У неосветљеном тунелу фарови обезбеђују сјајност коловоза од највише $0,5\text{cd}/\text{m}^2$. Однос сјајности прилазне зоне и сјајност коју обезбеђује фарови крећу се у опсегу од 3000 до преко 12000.

Релативно брза адаптација ока врши се променом отвора зенице и то до односа сјајности 28. За већи однос промена сјајности око фото-хемијским процесима врши промену осетљивости мрежњаче али је тај даљи процес веома спор у односу на потребе брзине адаптације. Због тога се у улазном делу тунела (зони прага) мора обезбедити сјајност која није мања од сјајности прилазне зоне за више од 10 до 25 пута.

Неискусан возач који у неосветљен тунел без доброг визуелног вођења улеће брзином већом од $40\text{km}/\text{h}$ ($11\text{m}/\text{s}$) неће видети евентуалну препреку на даљини зауставног пута и биће дезоријентисан у погледу свог положаја тако да ако препрека постоји удес је неизбежан. Он ће при таквом уласку у потпуну таму највероватније кочити и тиме сам постати препрека возачу иза себе.

Улазак сваког појединачног возила у тунел је ризичан случај а величина ризика расте са брзином вожње. Број ризичних случајева у јединици времена зависи од густине саобраћаја.

Код осветљених тунела екстремно ризичан случај за сва возила у тунелу и непосредно испред тунела је тренутак прекида напајања електричном енергијом. Решење напајања које би овај ризик елиминисало било би такозвано непрекидно напајање. Ово решење се као изузетно скупо, не примењује за адаптивно осветљење које захтева велику снагу.

У развијеним земљама тај ризик појављује се изузетно ретко а прекид напајања спречава се тренутним пребацивањем на резервни правац напајања. У нашим условима тај резервни правац напајања или не постоји или ако постоји потребно време пребацивања може бити и неколико сати. Резервни дизел електрични агрегат реагује релативно брзо (10 до 15 секунди) али и то је недовољно брзо јер ће се сијалице погасити и при прекиду напајања мањем од 0,5 секунди а за поновно пропаливање требаће им 3 до 7 минута.

Сигурност вожње при уласку у тунел поред решења осветљења и његовог напајања треба повећати и грађевинским решењима.

У саобраћајна решења спада смањење дозвољене брзине у тунелу у односу на брзину на отвореном путу.

У грађевинска решења спада:

- Одржавање истог правца или истог радијуса кривине пута у прилазној зони тунела и у адаптационој зони тунела;
- Смањење сјајности прилазне зоне тунела;
- Повећање сјајности коловоза у тунелу;
- Обезбеђење доброг визуелног вођења у тунелу.

3 Захтеви за адаптационо осветљење

Са било које позиције у прилазној зони мора да се види препрека у тунелу димензија $20 \times 20 \text{ cm}$ на даљини зауставног пута (l_z).

4 Видне зоне

4.1 Прилазна зона тунела

Зона пута испред тунела, дужине зауставног пута (l_z) у којој се вид усредсређује на тунелски отвор и почиње адаптација вида на ниску вредност сјајности у тунелу.

4.2 Зона прага

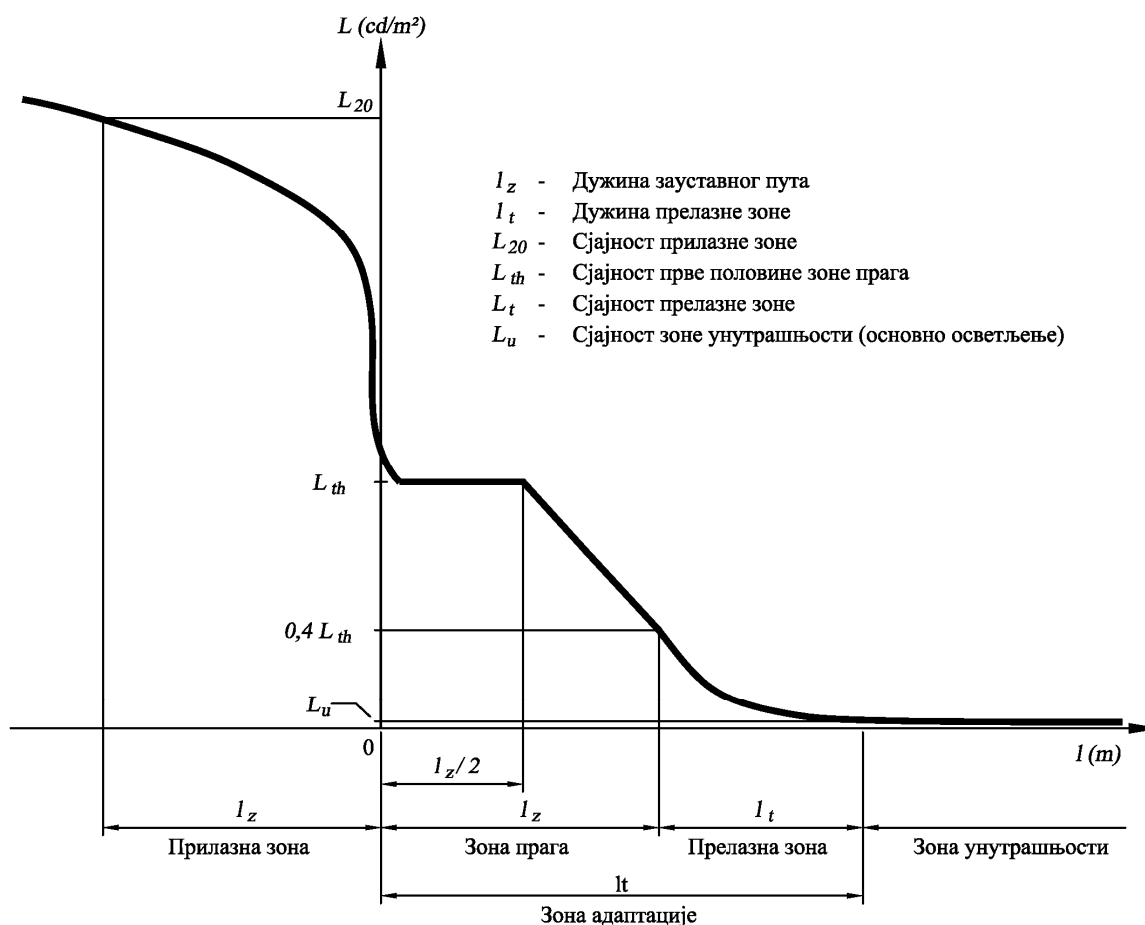
Улазни део тунела дужине (l_z) у којем се адаптационим осветљењем обезбеђује непотпуна али довољна адаптација.

4.3 Прелазна (транзитна) зона

Део тунела иза зоне прага у којем се јачина адаптационог осветљења експоненцијално смањује до јачине основног осветљења. На крају те зоне извршена је потпуна адаптација вида. Дужина те зоне зависи од нивоа осветљености зоне прага, нивоа основног осветљења и брзине возње.

4.4 Зона унутрашњости

Иза прелазне зоне је зона унутрашњости. Ова зона има само основно осветљење чији ниво зависи од светлосне класе тунела и креће се у опсегу од 1 cd/m^2 до 12 cd/m^2 , зависно од норматива. Основно осветљење има функцију као осветљење путева на отвореном простору и протеже се дуж целог тунела.



Дијаграм сјајности дуж прилазне зоне и тунела

5 Светлосна класа тунела

Светлосна класа (као и ризик) зависи од густине саобраћаја и врсте саобраћаја. Већа густина и мешовит саобраћај захтевају вишу светлосну класу.

6 Дозвољен пад светлине при уласку у тунел

Овај пад дефинише се фактором $k=L_{th}/L_{20}$ где је

L_{20} – сјајности прилазне зоне (cd/m^2) а,

L_{th} – сјајност на почетку зоне прага (cd/m^2).

Однос k креће се у границама од 0,015 до 0,12 зависно од светлосне класе тунела, и примењених норматива.

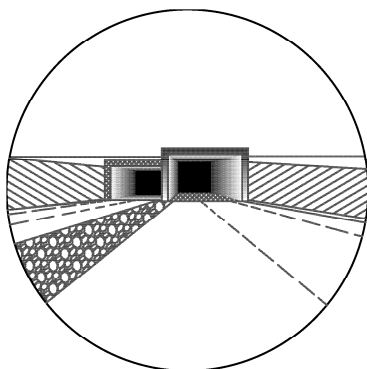
На пример за светлосну класу 10 и 11 и брзину $80km/h$ вредност $k=0,05$ док је за брзину $100km/h$ вредност $k=0,065$ тј. 30% већи.

7 Сјајност прилазне зоне (L_{20}) и њено смањење

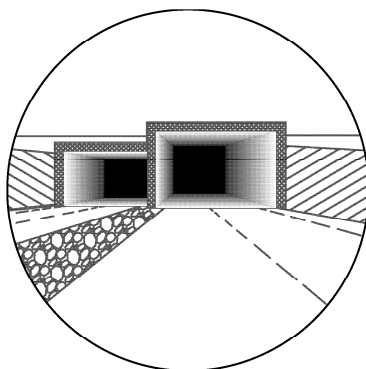
Ова сјајност одређује се као сјајност видног поља возача удаљеног од улаза у тунел за дужину зауставног пута. Видно поље конус 2×10^0 са осовином усмереном у отвор тунела на висини $1,5m$.

Зауставни пут на равном терену усваја се:

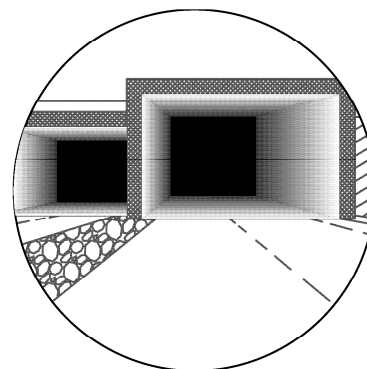
За брзину	60km/h	80km/h	100km/h
Дужина l_z	60m	100m	160m



$v = 100km/h$ $l_z = 160m$



$v = 80km/h$ $l_z = 100m$



$v = 60km/h$ $l_z = 60m$

Тунел „Железник“, западни улаз

Сјајност прилазне зоне зависи од рефлектујућих особина пута и околине као и од учешћа неба па и Сунца у видном пољу пута.

У зависности од географске орјентације пута сјајности површина видног поља износе:

- небо од $8000 cd/m^2$ до $12000 cd/m^2$,
- асфалтни коловоз од $3000 cd/m^2$ до $5000 cd/m^2$,
- стене од $1000 cd/m^2$ до $3000 cd/m^2$,
- зеленило до $2000 cd/m^2$,

Због изразите сјајности неба треба његово учешће смањити на најмању могућу меру или га потпуно елиминисати.

Сјајности прилазних зона крећу се у следећим опсезима:

- у погодним условима до 2000 cd/m^2
- у нормалним условима до 4000 cd/m^2
- у тешким условима до 7500 cd/m^2
- у посебно тешким и неподношљивим условима до 12000 cd/m^2

Погодни услови су тунелски улази са дубоким предусецима или у шуми, увек без неба у видном пољу.

Тешки услови су тунелски улази код којих је учешће површине неба у видном пољу преко 25%.

Посебно тешки услови и неподношљиви услови су равничарски тунели са учешћем неба преко 10% орјентације исток – запад у јутарњим и вечерњим сатима, са ниским сунцем и мокрим коловозом.

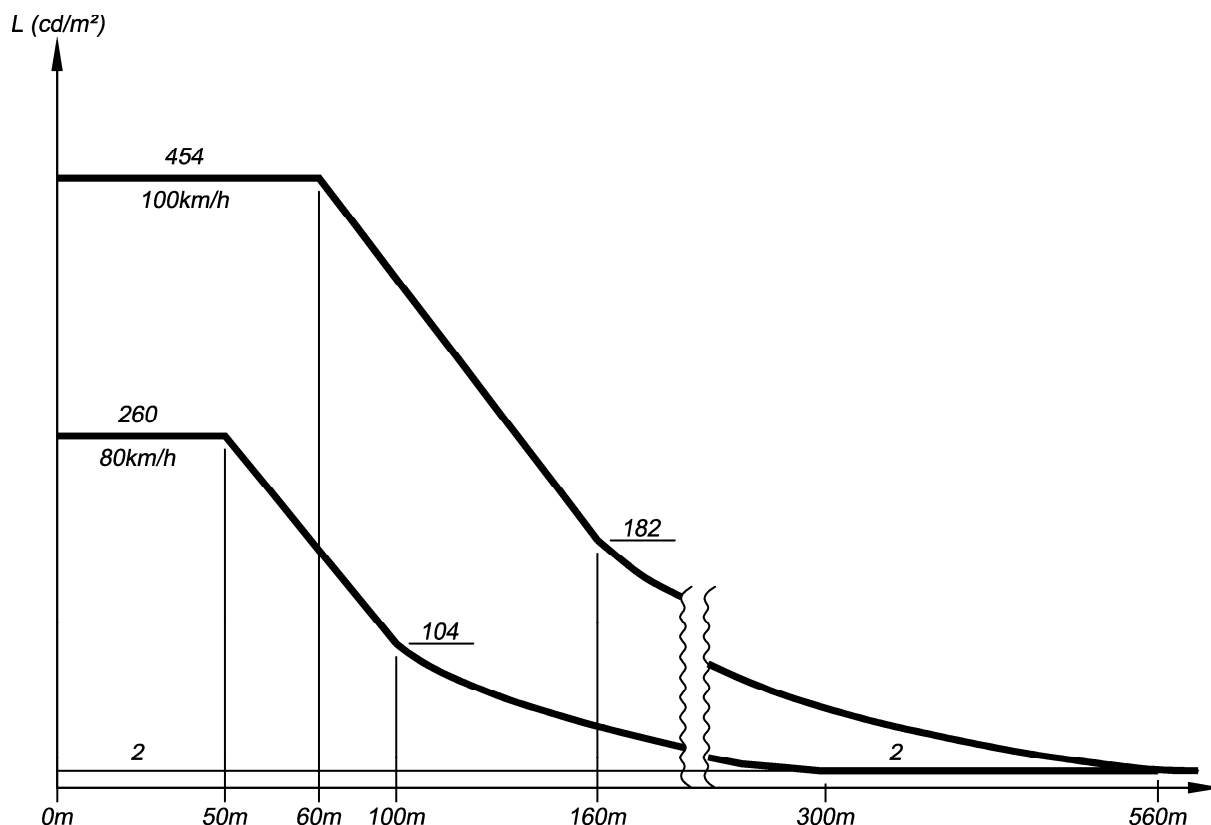
Ко је икада возио кола уз Булевар Револуције у јутарњим сатима зна како то изгледа.

Инсталације осветљења нигде у свету не димензионише се за те посебно тешке и неподношљиве услове јер су претерано скупе и инвестиционо и за одржавање.

8 Утицај брзине на димензионисање осветљења и његово коштање

Овај утицај најлакше је објаснити на конкретном примеру тунела „Железник“. За брзине вожње од 80 km/h и 100 km/h величине меродавне за димензионисање адаптационог осветљења су:

Западни улаз	80 km/h	100 km/h
Зауставни пут l_z	100 m	160 m
Сјајност прилазне зоне L_{20}	5195	6984
Сјајност зоне прага у тунелу L_{th} по RABT	$0,05 \times L_{20}$ 260 cd/m^2	$0,065 \times L_{20}$ 454 cd/m^2
Дужина зоне прага $l_{th}=l_z$	100 m	160 m
Дужина прелазне зоне l_t	220 m	540 m
Потребна снага за два улаза	111 kW	355 kW



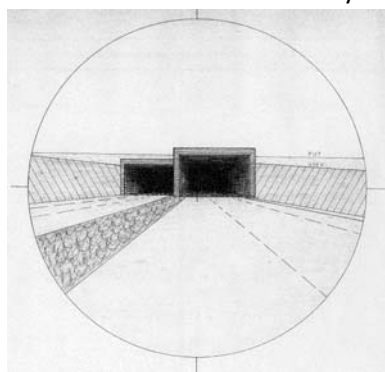
Дијаграм потребних сјајности адаптационе зоне јужног улаза тунела „Железник“ за брзине 80 km/h и 100 km/h

Инвестиције и годишњи трошкови погона и одржавања сразмерни су површинама које линије светлина адаптационог осветљења заклапају са линијом основног осветљења.

Смањењем брзине са 100 km/h на 80 km/h штедимо на инвестицијама и годишњим трошковима адаптационог осветљења 3,2 пута.

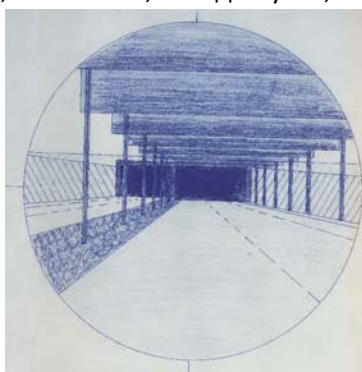
9 Утицај предпортала на димензионисање осветљења и његово коштање

Тунел „Железник“, западни улаз, $V=100km/h$



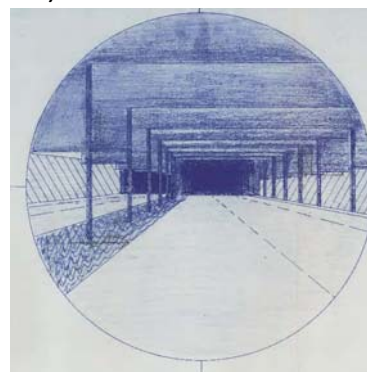
Без предпортала

$$L_{20}=6984 \text{ cd/m}$$



Са предпорталима са горњим заслонима

$$L_{20}=2983 \text{ cd/m}$$



Са предпорталима са горњим и бочним заслонима

$$L_{20}=2307 \text{ cd/m}$$

Предпортали су заслони за небо и Сунце распоређени у прилазној зони тако да спречавају појаву неба и Сунца у видном пољу. Треба да су обојени тамном мат бојом и да на њима нема никаквих информација ни реклама које би скретале поглед возача са коловоза у тунелу.

Тунел на јужној обилазници Београда су типични тунели за примену предпортала јер су сви равничарски. Без предпортала њихове прилазне зоне су врло светле због великог удела неба у видном пољу.

Узећу за пример тунел „Железник“. Идејним пројектом рађеним 1988 године за брзину вожње од 100 km/h срачунате су сјајности прилазних зона и то:

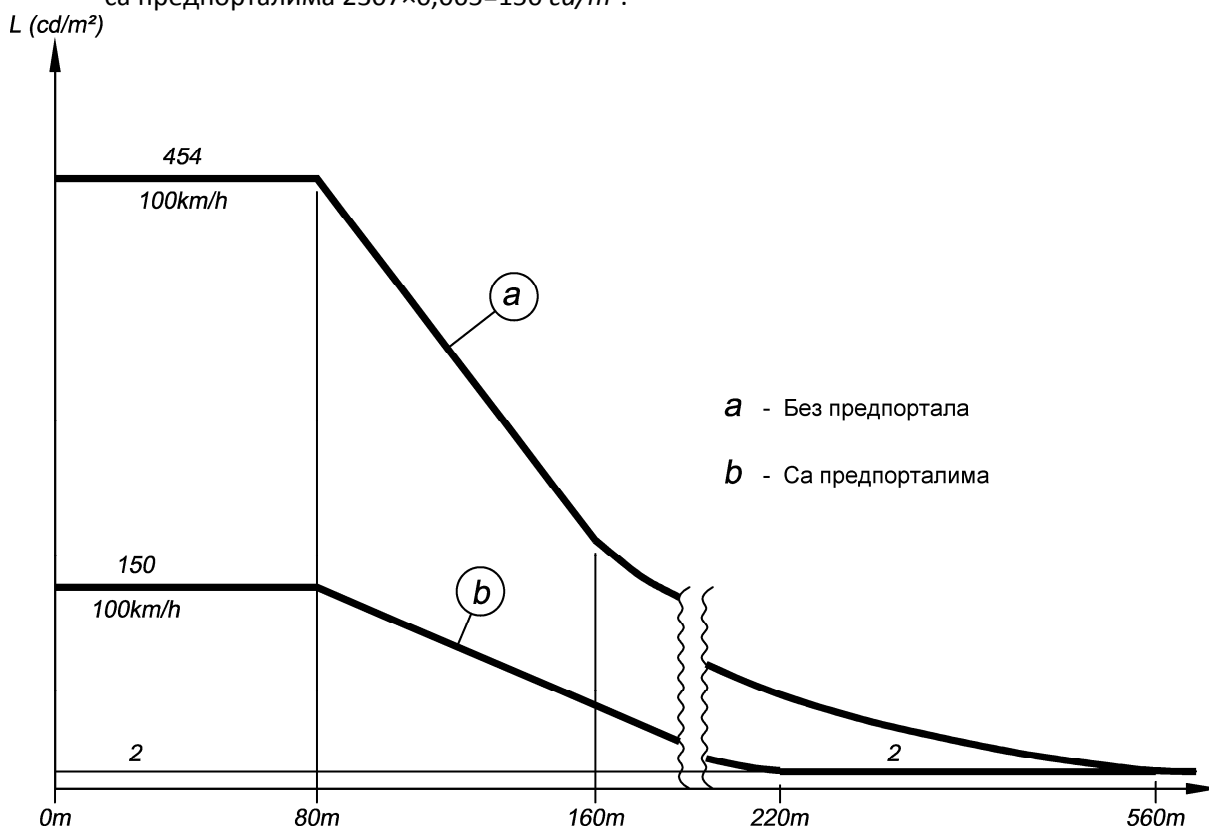
- западни улаз 6984 cd/m^2 ,
- источни улаз 6645 cd/m^2 .

Предвиђеним предпорталима те сјајности сведене су на:

- западни улаз 2307 cd/m^2 или 3 пута мање,
- источни улаз 2374 cd/m^2 или 2,8 пута мање.

За светлосну класу овог тунела, по сада важећим нормативима сјајност на почетку зоне прага западног улаза требала би бити:

- без предпортала $6984 \times 0,065 = 454 \text{ cd/m}^2$,
- са предпорталима $2307 \times 0,065 = 150 \text{ cd/m}^2$.



Дијаграм потребних светлина адаптационе зоне јужног улаза тунела „Железник“ за брзину 100 km/h , без и са предпорталима

Какав утицај предпортали имају на инвестиције и годишње трошкове видљиво је из доњег дијаграма. Инвестиције и годишњи трошкови погона и одржавања сразмерни су површинама које линије сјајности адаптационе расвете заклапају са линијом сјајности основне расвете.

Применом предпортала инвестиције и годишњи трошкови за адаптационо осветљење смањиће се 3 пута.

Дакле применом предпортала можемо брзину у тунелу повећати са 80 km/h на 100 km/h а да притом адаптационо осветљење не поскупимо 3,2 пута него само $3,2/3 = 1,066$ пута.

Предпортали се просто намећу код тунела са веома сјајним прилазним зонама а то су равничарски тунели са великим брзинама и орјентацијом у правцу исток – запад.

Нормално, предпортали ће у свим условима саобраћај учинити сигурнијим.

10 Остале мере за смањење сјајности прилазне зоне

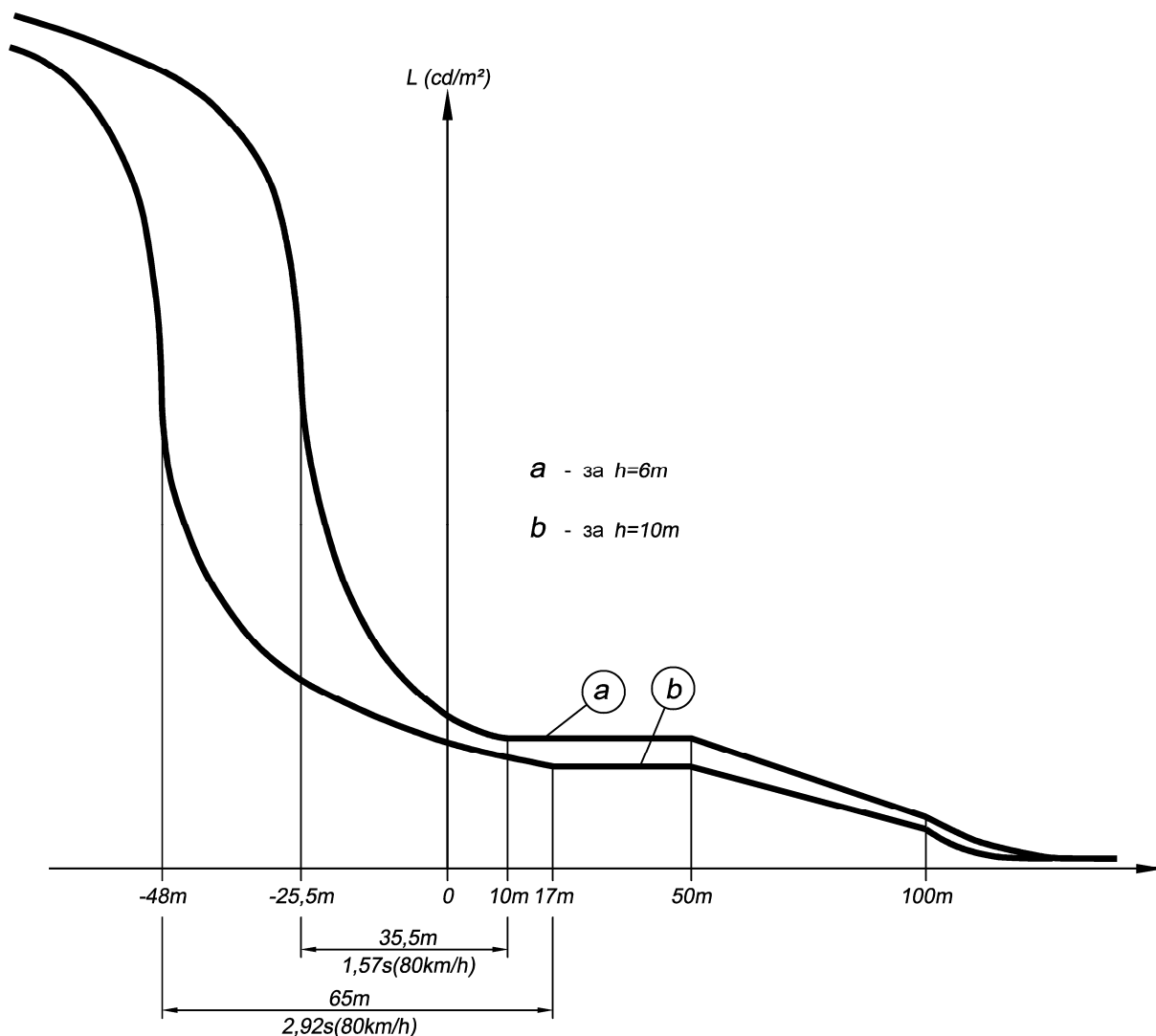
- Бочни појасеви затрављени и са ниским растињем а по потреби и високим.
- Ниско и високо растиње изнад портала уколико би се без њега, небо појављивало у видном пољу.
- Уколико је терен стеновит, са сјајним стенама, све у видном пољу обрадити тамним торкретом или тамно обојити.

Једна од корисних мера је и пројектовање улазног дела тунела са много већим профилем (веће ширине и нарочито висине). Тај улазни део може бити нека лака конструкција дужине око $10m$ уместо да се тунелска цев извлачи из брда.

Најчешћа висина тунелског свода је $6m$. Рачуна се да је при тој висини добро продирање светла у тунел $10m$ па у тих $10m$ не треба постављати светиљке адаптационог осветљења. Нагли пад сјајности у прилазној зони почиње када тунелски отвор испуни видно поље а то је при висини свода од $6m$ на $25,5m$ испред портала. Укупна дужина пута на којем сјајност видног поља нагло пада на вредност сјајности у тунелу је $25,5m+10m=35,5m$. При брзини од $80km/h$ ($22,22m/s$) око има $1,6s$ за прилагођење.

Ако би висина улазне грађевине била $10m$ нагли пад сјајности био би на $48m$ испред портала а добро продирање светла у тунел било би до $17m$ тако да би се нагли пад сјајности дешавао на путу $48m+17m=65m$. То би при истој брзини трајало $2,9s$ тј. 80% дуже него при висини свода од $6m$.

Ова повољност нарочито долази до изражаја у тренутку прекида напајања електричном енергијом.



Утицај висине тунелског отвора на расположиво време за адаптацију

Овакву меру конструктивци не воле због додатних пројектовања. Једноставније је тунел завршити са извученом и закошеном цеви иако је то у погледу адаптације неповољније.

11 Повећање сјајности у тунелу, грађевинским решењима

Пошто је поглед при уласку у тунел усмерен на коловоз сјајност унутрашњости тунела односи се на коловоз.

Први услов за већу сјајност унутрашњости тунела је добра хидроизолација. Без добре хидроизолације никакво осветљење неће имати ефекте; неће бити довољно добро.

Други услов је светла површина коловоза која се испољава фактором сјајности (q_0).

- Најповољнији коловоз је од цемент бетона.
- Истих карактеристика је коловоз од асфалт бетона са додатком од 15% светлог агрегата у абајућем слоју.
- Следи коловоз од асфалт бетона без икаквих додатака.
- Најлошији је коловоз од ливеног асфалта. Он се у тунелима не користи.

Трећи услов је бела боја бочних зидова која рефлексијом повећава сјајност коловоза за пар процената.

Светао агрегат којим се посипа, пре ваљања, површина асфалт бетона не сме бити мекан јер би се временом излизао и коловоз би постао клизав. Један од добрих агрегата је „синопал“ (синтетички опал) који се добија сипањем истопљеног кварцног песка у базен са водом. Количина синопала за $1m^2$ коловоза је до $1,5kg$.

При лицитирању радова за тунел у Овчар Бањи један од понуђача наручио је алтернативни пројекат осветљења по којем ће бити најмање светиљки и најмања снага. Пројектант им је рекао да то може под условом да примене „синопал“. Посао су добили захваљујући алтернативном пројекту али „синопал“ нису применили. Нормално, осветљење је било очигледно недовољно. Технички преглед је прошао глат јер људи који су га вршили нису имали потребно знање из области тунелског осветљења.

Морам поменути технички преглед осветљења тунела „Грза“. У комисији није био ни један електро инжењер а камоли неки светлотехничар који се разуме у проблематику тунелског осветљења. Једино питање које је комисија поставила је: Дали су светиљке на висини изнад саобраћајног профила.

12 Визуелно вођење

Добро визуелно вођење обезбеђује добру оријентацију возача за положај возила на возној траци а постиже се следећим:

Бели бочни зидови или рефлектујуће траке или летве (са стакленим гранулама) на бочним зидовима.

Поред белих бочних зидова и ивичњаци треба да буду што светлији.

Уградња мачијих очију у ивичне линије возних трака или у ивичњаке.

Добро визуелно вођење нарочито долази до изражаја код неосветљених тунела и код осветљених у периодима прекида напајања електричном енергијом.

Одржавање доброг визуелног вођења је наша слаба страна па су његови добри ефекти приметни само првих месеци по пуштању саобраћаја.

Због тога је повољно поред свих ових мера имати и светиљке – маркере на бочним зидовима тунела или ивичњацима које ће дужи период времена без чишћења бити видљиве.

13 Избор пројектанта осветљења

Избор пројектанта осветљења тунела врши грађевинац који је уговорио пројекат. Он по познавању струке, по правилу, није квалификован за тај избор. Инвеститор неће да се бакће са пројектантима разних струка потребних при пројектовању тунела нити да координира њихов рад па зато пројекат уговара са грађевинском фирмом којој препушта одговорност за пројекте свих струка. Нормално да носилац посла тражи најјефтиније подизвођаче а при том поред ниске цене најважније је обезбедити лиценцу инжењерске коморе. Лиценца оваква каква је сада не гарантује никакву специјалност. Она је апсолутно неселективна и свеобухватна. Код електроенергетике у истој равни су најједноставније инсталације станова, најсложеније инсталације позоришта, болница, најопасније инсталације у хемијској индустрији, нафтној индустрији, производњи муниције и слично.

Доказивање специјалности успешно реализованим пројектима нико не тражи.

Тако се догађа да пројектовање тунелских електро инсталација добија фирма којој је та област апсолутно непозната. Ту се корист од евентуално најјефтинијег подизвођача претвара у штету.

Као црни бисер наводим главни пројекат осветљења једног тунела у Србији који за светиљке и сијалице нема ни опис ни услове. Додуше у опису пише да ће избор типа светиљки и произвођача одредити инвеститор кроз тендер. У предмеру и предрачуну пише на пример само: Тунелска светиљка снаге 400W. Никаквих техничких услова нигде.

Потпуно исто важи за техничку контролу. Инвеститори штеде и на пројектним задацима. Пошто немају стручне људе они писање пројектних задатака препуштају пројектантима. Стручне људе са факултета или чланове „Друштва за осветљење, Србије“ не желе да ангажују јер то је додатна гњаважа за исту плату.

Сматрам да би за избор пројектанта и вршиоца техничке контроле била потребна сагласност Инвеститора која би се могла дати тек на основу позитивних референци за потребну специјалност.

Посебан проблем је пројектни задатак којег пише пројектант а инвеститор га оверава тек кад рачунско техничка контрола прихвати пројекат. То је скроз наopak посао. Некада давно, озбиљнији инвеститори из Београда су предложене пројектне задатке обавезно давали на стручну ревизију. То је била одлична пракса коју би требало обновити. Зато предлажем да се врши ревизија пројектног задатка и то од веома стручних инжењера са добрим референцама из тражених области.

Тада се не би могло десити да у пројектном задатку за главни пројекат пише, да ће пројекат обухватити утврђивање основних техничких решења.

Каже се да је добро постављено питање пола одговора. Исто тако добар пројектни задатак је пола решења пројекта.

Када би се уважавале ДИРЕКТИВЕ ЕВРОПСКОГ ПАРЛАМЕНТА И ВЕЋА бр. 2004/54/ЕС бар у погледу пројектовања, постојао би „Тунел менаџер“ и „координатор“ а не би све што се тиче осветљења било препуштено неквалификованим и недоказаним стручњацима.

Одговорни пројектант

Дие К.Вајдић