

# EKOLOŠKI ASPEKTI PROJEKTOVANJA SPOLJAŠNJEG OSVETLJENJA

Nikola Đ. Maravić<sup>1</sup>, Tijana S. Dujić<sup>1</sup>, Zdenka V. Holoubek<sup>1</sup>, Savo D. Đukić<sup>2</sup>,  
Strahil J. Gušavac<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centar za puteve Vojvodine, Novi Sad

<sup>2</sup> Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Srbije - Beograd

<sup>3</sup> Fakultet tehničkih nauka – Novi Sad

## 1. UVOD

Ekologija je nauka o životnoj sredini čiji naziv potiče od grčkih reči oikos (dom, domaćinstvo) i logos (nauka, izučavanje). Termin ekologija prvi put je upotrebio nemački biolog Ernest Hekel 1866. godine. U javnosti se ovaj termin često koristi kao sinonim za pojam zaštite životne sredine, što nije ispravno jer je zaštita životne sredine samo jedna od oblasti kojima se bavi ekologija [1].

U suštini, ekologija je naučna disciplina koja proučava raspored i rasprostranjenost živih organizama i biološke interakcije između organizama i njihovog okruženja. Okruženje (životna sredina) organizama uključuje fizičke osobine, koje sumarno mogu da se opišu faktorima kao što su klima i geologija, ali takođe uključuje i druge organizme koji dele sa njim njegov ekosistem odnosno stanište.

Pod zagađivanjem se podrazumeva svako unošenje štetnih materija (npr. azotnih oksida, sumpornih oksida, neorganskih materija, teških metala, itd) u staništa/ekosisteme, koje dovodi do promena u sastavu živog sveta i smanjenja njegove raznovrsnosti. Podela uzročnika zagađenja je uglavnom na dve grupe, i to prirodne i antropogene.

Pod prirodnim uzročnicima podrazumevaju se : klimatski uslovi, potresi, vulkanske erupcije, poplave, požari, uragani, tajfuni, erozije tla itd, a pod antropogenim : porast stanovništva, urbanizacija, trošenje prirodnih resursa, industrija, energetika, promet, i poljoprivredna proizvodnja.

Najniži nivo sagledavanja degradacije stanja okoline predstavlja sagledavanje nivoa materijala ispuštenih u okolinu, a kojima se utiče na njeno stanje. U tabeli 1 dati su podaci o glavnim vrstama zagađivačima i njihovim izvorima.

Tabela 1 – Pregled glavnih vrsta zagađivača i njihovih uzročnika

Vrsta zagađivača	Glavni izvori zagađenja
CO <sub>2</sub>	termoelektrane, industrija
CO	motori s unutarnjim sagorevanjem, termoelektrane, industrija
SO <sub>x</sub>	termoelektrane, industrija
NO <sub>x</sub>	avionski motori, industrija, termoelektrane
Fosfati	deterdženti, veštača đubriva
Živa	Hemijska industrija, metalurgija
Olovo	Benzin za motore s unutarnjim sagorjevanjem
Nafta	Havarije i nesreće
Pesticidi, insekticidi	Poljoprivreda, šumarstvo, veterina, higijena
Radijacija	Nuklearne nesreće, medicina, industrija

Krajem šezdesetih godina prošlog veka dolazi do jačanja svesti o tome da su Zemljini neobnovljivi resursi ograničeni, a posledice globalnog zagrevanja ubrzanog industrijskim zagađenjem, istakli su potrebu za odgovornijim upravljanjem industrijskim procesima. Kao rezultat toga razvija se oblast koja se bavi procenom ekološkog uticaja proizvoda ili sistema na okolinu koja je nazvana Life Cycle Assessment (LCA). Društvo za ekološku toksikologiju i hemiju (SETAC) za ovu oblast dalo je sledeću definiciju :

“LCA je proces procene ekološkog opterećenja pridruženog proizvodu, procesu ili aktivnosti identifikacijom i kvantifikacijom korišćene energije i materijala kao i otpada oslobođenog u životnu sredinu te procenu i primenu mogućnosti za poboljšanje životne sredine.

*Procena obuhvata kompletan životni ciklus proizvoda, procesa ili aktivnosti, obuhvatajući i proces obrade sirovina, proizvodnju, transport, korišćenje, održavanje, recikliranje i na kraju uklanjanje.*

*LCA-om se sagledava ekološki uticaj proučavanog sistema na oblasti ekološkog i ljudskog zdravlja i iscrpljivanju resursa. Pri tome se ne obuhvataju ekonomski ili socijalnim efekti. Naravno, kao i svi specifični modeli, LCA je pojednostavljen fizički sistem i ne može dati apsolutnu i kompletnu predstavu svake ekološke interakcije.“*

Godine 1969. Coca Cola je položila temelje današnjih metoda za LCA analize. U naručenoj studiji istraživači su upoređivali različite posude za osvežavajuća pića na bazi kvantifikacije nivoa emisija u životnu sredinu i korišćenja sirovih materijala i energije iz proizvodnje [2]. Kao odgovor na rastuću svest o životnoj sredini, više kompanija je istraživalo LCA (vidi Tabelu 2).

Tabela 2 – Lista sprovedenih LCA analiza u periodu od 1969 do 1992 [3]

<b>Klijent</b>	<b>Izradio</b>	<b>Proizvod</b>	<b>Godina</b>
Coca-Cola	MRI	Posude za osvežavajuća pića	1969
EPA	MRI	Posude za osvežavajuća pića	1974
SPI	MRI	Plastika	1974
Nepoznat	MRI	Posude za pivo	1974
Goodyear	Franklin	Posude za sokove	1978
Proctor & Gamble	Franklin	Pakovanje za deterdžent	1988
Proctor & Gamble	Franklin	Površinski agensi	1989
Nepoznat	Franklin	Sistemi za isporučivanje osvežavajućih pića	1989
Savet za Rešavanje Pitanja Čvrstog Otpada	Franklin	Penasti polistiren i izbeljeni karton	1990
Američki Institut za Papir	Franklin	Štof i pelene za jednokratnu upotrebu	1990
Proctor & Gamble	A. D. Little	Štof i pelene za jednokratnu upotrebu	1990
Savet za Rešavanje Pitanja Čvrstog Otpada	Franklin	Kese za namirnice	1990
Institut za Vinil	Chem systems	Vinilno pakovanje	1991
Nacionalna Asocijacija Proizvođača Pelena	Lehrberger & Jones	Pelene	1991
Savet Državnih Službi	Tellus	Pakovanja	1991
Proctor & Gamble	Franklin	Sredstva za čišćenje tvrdih površina	1992

Značajan napredak u razvoju LCA izvršen je od strane jednog od najvećih trgovinskih lanaca Migrosa iz Švajcarske. Ova kompanija je upoređivala proizvode na osnovu količine potrebnih sirovina, proizvodnje, transporta, pakovanja, korišćenja i procesa odlaganja. Ovo je rezultiralo prvim softverskim alatom čiji je razvoj započet 1985, da bi 1990 dobio konačni izgled. Softverskim alatom je vršeno ocenjivanje proizvoda na osnovu dodeljivanja negativnih “ekoloških bodova”, a na osnovu ekološkog uticaja pridruženog sistemu pakovanja od procesa upotrebe određenog resursa pa sve do njenog konačnog odlaganja [4].

Snažan poticaj ekologiji su svakako dali razne regulative koje su donošene za pojedine industrijske grane, a pre svega Evropski standard o emisiji gasova, koji je regulisao oblast autoindustrije i njihove emisije u okolinu [5]. U tabeli 3 dat je deo standarda koji se odnosi na putnička vozila.

Tabela 3 – *Dozvoljena emisija gasova putničkih vozila [g/km] po Evropskom standardu o emisiji gasova*

Opis	Datum	CO	THC	NMHC	NOx	HC+NOx	PM
<b>Dizel</b>							
Euro 1	Jul 1992	2,72(3,16)	-	-	-	0,97 (1,13)	0,14(0,18)
Euro 2	Januar 1996	1,00	-	-	-	0,70	0,080
Euro 3	Januar 2000	0,64	-	-	0,50	0,56	0,050
Euro 4	Januar 2005	0,50	-	-	0,25	0,30	0,025
Euro 5	Sept. 2009	0,50	-	-	0,18	0,23	0,005
Euro 6	Sept. 2014	0,50	-	-	0,08	0,17	0,005
<b>Benzin</b>							
Euro 1	Jul 1992	2,72(3,16)	-	-	-	-	-
Euro 2	Januar 1996	2,2	-	-	-	0,97 (1,13)	-
Euro 3	Januar 2000	2,3	0,20	-	-	0,5	-
Euro 4	Januar 2005	1,0	0,10	-	0,15	-	-
Euro 5	Sept. 2009	1,0	0,10	0,068	0,08	-	-
Euro 6	Sept. 2014	1,0	0,10	0,068	0,06	-	0,005

Protokol iz Kjota uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih nacija o promeni klime (engl. The Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change) je dodatak međunarodnom sporazumu o klimatskim promenama, potpisan sa ciljem da se smanji emisije gasova koji izazivaju efekat staklene bašte. Protokol je otvoren za potpisivanje u japanskom gradu Kjotu u organizaciji Konvencije Ujedinjenih nacija za klimatske promene (UNFCCC), 11. decembra 1997. godine. Za njegovo stupanje na snagu bilo je potrebno da ga ratifikuje najmanje 55 država i da države koje su ratifikovale protokol obuhvataju najmanje 55% svetskog zagađenja. To se dogodilo 16. februara 2005. godine kada je Rusija ratifikovala Protokol. Srbija je prihvatila Kjoto protokol 24. septembra 2007. godine, a do sada ga je potpisalo 183 države i vladine organizacije. Države koje su ga ratifikovale generišu 61% svetskog zagađenja.

Protokolom se reguliše ispuštanje šest gasova koji izazivaju efekat staklene bašte, a to su : ugljendioksida, metan, azotdioksida, fluorougljovodonik, perfluorougljovodonik i heksafluorid. Osnovni uzročnik koncentracije ovih gasova u atmosferi je korišćenja fosilnih goriva u industriji, saobraćaju itd, što je doprinelo globalnom zagrevanju i klimatskim promenama. Sjedinjene Američke Države i neke manje države odbile su da ratifikuju Protokol iz Kjota.

## 2. LCA METODOLOGIJA

U okviru izrade LCA studije uticaja nekog sistema, prvi korak je pravljenje popisa relevantnih ulaza i izlaza (materijala, energije itd. u svim fazama korišćenja sistema od proizvodnje do recikliranja nakon prestanka njegove upotrebe) za razmatrati sistem te procena potencijalnog ekološkog uticaja pridruženog datim ulazima i izlazima, i interpretaciju rezultata analize popisa i procene uticaja. Kao što je već rečeno LCA procesom se proučava sve ekološke uticaje od “nastanka do nestanka”. Zbog ovoga se nameću granice, osnovane na kvalitativnoj i kvantitativnoj proceni faktora sa najznačajnijim ekološkim uticajima u proučavanom sistemu.

Posle faze pravljenja liste sa popisom materijala koja se koristi za izradu određenog sistema, potrebno je izvršiti pretvaranje u tzv. “Ekološki Uticaj” korišćenjem indikatora pojedinih kategorija uticaja i baze podataka o indikatorima za pojedine kategorija. U okviru izrade LCA analize razmatraju se sledeće kategorije uticaja na okolinu :

- Iscrpljivanje resursa na osnovu inverzne vrednosti ukupnog iznosa resursa u svetu
- Globalno zagrevanje Potencijal Globalnog Zagrevanja (IPCC 1992)

- Kisele kiše Potencijal zakiseljavanja - CML metoda (CML Institut Lajdenskog Univerziteta)
- Smanjivanje ozonskog omotača Potencijal smanjivanja ozona (WMO – 1991)
- Eutrofikacija<sup>1</sup> jezera i močvara CML - Institut Lajdenskog Univerziteta (CML Metoda)
- Toksičnost po ljudsko telo CML - Institut Lajdenskog Univerziteta (CML Metoda)
- Čvrsti otpad Težina (kg)

Proračun se vrši za svaku od navedenih kategorija uticaja, tako što se popisuje sav materijal od koga je dotični sistem napravljen kao i količina koja je za to korišćena. Na osnovu toga iz koje zemlje se uvozi koji od materijala koji se koristi u izradi zavisi uticaj jedinice proizvoda na ukupno zagađenje (različiti nivoi tehnologije izrade za različite zemlje). Pored toga svaki od materijala koji se ispušta u atmosferu po jedinici proizvoda različito utiče na onečišćenje. Zbog toga se pri oceni uticaja uvode tzv. karakterizacioni faktori. Veća vrednost karakterizacionog faktora za određeni materijal znači da za ista količinu drugog materijala njegov uticaj na okolinu je veći. Tako su u tabeli 4 date vrednosti karakterizacionih faktora po uticaju na globalno zagrevanje za tri vrste zagađivača (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> i N<sub>2</sub>O). Množenjem količine dotičnog materijala sa karakterizacionim faktorom dobija se indikator za svaku vrstu materijala. Sabiranjem indikatora kategorija za svaki materijala dobija se karakteristični vrednost kojom se opisuje nivo uticaja ovog sistema na u ovom slučaju globalno zagrevanje.

Tabela 4 – Vrednosti karakterizacionih faktora s obzirom na uticaj na globalno zagrevanje (za jedan dalekovodni stub)

Čelični stub: Globalno zagrevanje – procena uticaja					
	stavka	količina	jedinica	karakterizacioni faktor	indikator kategorijski
emisija u vazduh	CH <sub>4</sub>	4,84·10 <sup>-2</sup>	kg	1,10·10 <sup>1</sup>	5,32·10 <sup>-1</sup>
	CO <sub>2</sub>	2,06·10 <sup>4</sup>	kg	1,00·10 <sup>0</sup>	2,06·10 <sup>4</sup>
	N <sub>2</sub> O	1,69·10 <sup>0</sup>	kg	2,70·10 <sup>2</sup>	4,56·10 <sup>2</sup>
				ukupno	2,11·10 <sup>4</sup>

Što se tiče kategorije iscrpljivanja resursa ista količina dva različita materijala ima različitu vrednost u skladu sa raspoloživim rezervama u svetu. Tako npr. u pogledu iscrpljivanja resursa 1 kg bakra ima veću vrednost od iste količine aluminijuma. Takođe mogućnost recikliranja materijala utiče na to da se za smanjuje karakterizacioni faktor tog materijala, jer se procesom recikliranja materijala troši manja količina energenata nego za proizvodnju iste količine tog materijala iz rude.

Što se tiče uticaja pojedinih materijala na pojavu kiselih kiša, u tabeli 5 dat je pregled karakterizacionih faktora pojedinih supstanci u pogledu uticaja na zakiseljenje okoline.

Tabela 5 – Karakterizacioni faktori za potencijal zakiseljenja

Supstanca	SO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	HCl	HF
Karakterizacioni faktor	1,0	1,0	1,07	0,7	0,7	1,88	0,88	1,6

U tabeli 6 date su vrednosti karakterizacionih faktora nekih materijala u pogledu toksičnosti po ljude.

Tabela 6 – Uticaj nekih materijala sa aspekta toksičnosti po ljude

Materijal	As	Cd	CO	Cr	Hg	Ni	NO <sub>x</sub>	Pb	SO <sub>2</sub>	V	Zn
Karakter. faktor	4,70·10 <sup>3</sup>	5,80·10 <sup>2</sup>	1,20·10 <sup>-2</sup>	6,70·10 <sup>0</sup>	1,20·10 <sup>2</sup>	4,70·10 <sup>2</sup>	7,80·10 <sup>-1</sup>	1,60·10 <sup>2</sup>	1,20·10 <sup>0</sup>	1,20·10 <sup>2</sup>	3,30·10 <sup>-2</sup>

<sup>1</sup> Eutrofikacija predstavlja povećanje koncentracije hemijskih materijala u ekosistemu kojim se smanjuje prvobitna plodnost ekosistema. Zavisno od stepena eutrofikacije dolazi redukcija kvaliteta vode, ribe i populacije drugih životinja.

LCA studije se danas rade uglavnom korišćenjem specijalno izrađenih softvera kojim se unošenjem pojedinačnih karakteristika sistema izračunava ekološki uticaj tog sistema.

### **3. UTICAJ INSTALACIJE OSVETLJENJA NA OKOLINU**

Instalacija spoljašnje rasvete se u principu sastoji od :

- svetiljke,
- izvora svetlosti,
- stubova,
- temelja,
- sistema uzemljenja, i
- napojnih kablova.

U pogledu uticaja na životnu sredinu instalacija spoljašnje rasvete treba da se razmotri :

- proces proizvodnje svake komponente,
- proces izgradnje instalacije osvetljenja,
- proces održavanja instalacije osvetljenja,
- proces demontaže osvetljenja po isteku životnog doba,
- proces recikliranja instalacije osvetljenja.

Da bi uticaj instalacije osvetljenja na okolinu bio što manji, od nje se u principu zahteva sledeće :

- što veća iskoristivost (što veći svetlosni fluks u odnosu na snagu) u cilju ekonomičnijeg korišćenja električne energije i tako smanjenje zagađenja iz elektrana,
- dug i pouzdan vek trajanja u cilju smanjivanja količine otpada kao posledica manjeg broja komponenti koji se koristi za isti vremenski period,
- eliminisanje štetnih materija u proizvodnji korišćenih proizvoda u skladu sa zakonskom regulativom,
- što veće korišćenje materijala koji se mogu reciklirati,
- optimizacija konstrukcije u cilju smanjenja težine proizvoda i na taj način uštede materijala, i
- primena ambalaže koja se lako reciklira.

#### **3.1. Svetiljke**

Smanjivanje uticaja na okolinu od strane svetiljki je pre svega smanjivanjem količine upotrebljenog materijala i primeni materijala koji se mogu reciklirati.

#### **3.2. Izvori svetlosti**

Smanjivanje uticaja na okolinu od strane izvora svetlosti se pre svega vrši smanjivanjem sadržaja žive i olova, smanjivanje ukupne težine upotrebljenog materijala, produžavanjem dužine životnog veka (pouzdanost rada), i mogućnosti recikliranja dotrajalih sijalica.

#### **3.3. Stubovi rasvete**

Sirovi materijal za stubove se sastoji od čelika kome se tokom procesa topljenja može dodavati određena količina otpadnog čelika. Proizvodi se po standardnoj proceduru u čeličanicama. Potom se čelične ploče savijaju u cevi ili u delove osmougaonog poprečnog preseka. Nivo uticaja na okolinu zavisi od primenjenih tehnika za izradu i vrste proizvodnog procesa u kome se izrađuju.

Takođe bitno je istaći da se za površinsku zaštitu stuba od korozije primenjuju različite tehnike čiji uticaj na okolinu zavisi od primenjenog zaštitnog sistema.

Pošto se fabričko premazivanje zaštitnim slojem vrši u zatvorenom, očekuje se minimalni uticaj na životnu sredinu tokom procesa nanošenja. Ovo se odnosi na pripreme radove na

delovima stuba kao i na radove nanošenja zaštitnog sloja. Zagađenje tla cinkom iz galvanizovanog materijala je smanjena sve dok je prisutan zaštitni sloj.

Recikliranje stubova nije zakonski regulisano u svakoj zemlji ali je to uobičajeno u značajnom broju zemalja. Materijal koji se koristi za njih smatra se za sirovinu dobre ekonomske vrednosti. Ponekad se korišćeni delovi skladište za ponovnu montažu na novim instalacijama. Razlikuju se sledeće klase otpadnog čelika :

- **Zardali metal bez galvanizacije ili farbe** koji je visokog kvaliteta za reciklažu, i može se reciklirati bez posebnih priprema.
- **Galvanizovani čelik** se lako topiti, a količina galvanizovanog metala koja ide u običan otpadni metal je ograničena. Za reciklažu cinka je potrebno primeniti specijalan proces.
- **Čelik obojen/obložen zaštitnim slojem** se može topiti pod određenim uslovima i specijalnim tretmanom.

### 3.4. Temelji

Recikliranje temelja nije zakonski regulisana u većini zemalja nije uobičajena praksa.

### 3.5. Sistem uzemljenja

Za uzemljenje se koriste materijali ukopani u zemlju koji se koriste za odvođenje struja kvara u zemlju. Sistemi uzemljenja se mogu sastojati od galvanizovanih čeličnih traka, bakra, pletiva od bakra, galvanizovanog čelika ili aluminijuma i nerđajućeg čelika. Ako je potrebno ovi materijali se zaštićuju protiv korozije galvanizacijom ili farbanjem.

Tokom demontaže rasvete sistem uzemljenja se u većini slučajeva ne uklanjaja, a za recikliranje sistema uzemljenje važe isti principi kao i za stubove i praktično se mogu reciklirati 100%.

### 3.6. Napojni kablovi

Zbog većih zaliha aluminijuma u odnosu na bakar poželjno je korišćenje kablova sa aluminijumskim provodnicima u svim slučajevima kada je to moguće.

## 4. PRIMER VREDNOVANJA UTICAJA INSTALACIJE OSVETLJENJA NA OKOLINU

U ovom radu biće izvršeno ekološko vrednovanje dve varijante osvetljenja centralne trase autoputa E-75 na deonici Novi Sad – Beograd u oblasti petlji koji se nalaze na ovom potezu autoputa (petlje Kovilj, Gardinovci, Beška, Maradik, Indija, Stara Pazova i Novi Banovci). Razmatrane su dve varijante, i to:

1. **Varijanta 1** – osvetljavanje centralne trase autoputa svetiljkama sa izvorima svetlosti snage 400 W koji su postavljeni na stubovima sa dvokrakom lirom visine 13.5 m (stub 13.0 m + 0.5 m visina lire), što je ustaljena praksa projektovanja osvetljenja autoputa (stubovi nisu po standardu JUS EN 40), i
2. **Varijanta 2** – osvetljavanje centralne trase autoputa svetiljkama sa izvorima svetlosti snage 250 W koji su postavljeni na stubovima sa dvokrakom lirom visine 12 m (stubovi su po standardu JUS EN 40).

### 4.1. Utrošena električna energija pri eksploataciji instalacije osvetljenja

U tabeli 7 dat je pregled potrebnih veličina o potrošnji električne energije koje su korišćene u ekološkom vrednovanju dve izabrane varijante. Instalirana snaga svetiljki po prvoj varijanti je 562 kW, a po drugoj 492 kW. Vrednost godišnje potrošnje električne energije iz tabele je data pod pretpostavkom da instalacija radi 4 200 sati godišnje, od čega je polovina vremena sa punim, a polovina sa redukovanim fluksom.

Tabela 7 – Elementi instalacije osvetljenja za osvetljavanje petlji na autoputu između Novog Sada i Beograda po dve razmatrane varijante

Svetiljka	Snaga (W)		Broj svetiljki		Godišnja potrošnja el. en.(kWh)	
	Pun	Red.	Varijanta 1	Varijanta 2	Varijanta 1	Varijanta 2
150 W	176	109	1 499	1 179	897 529,25	705 928,61
250 W	285	166	102	923	96 604,20	874 173,30
400 W	450	276	598	47	911 710,80	71 656,20
Ukupno :					1 905 844,25	1 651 758,11

Godišnja potrošnja električne energije po prvoj varijanti je za 15,4 % veća od potrošnje po drugoj varijanti. Kao posledica povećane iskoristivosti energije u instalaciji osvetljenja u elektranama će se redukovati i proizvodnje štetnih gasova (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i SO<sub>x</sub>).

Za potrošače na niskom naponu obično se u svetu se uzima da je emisija : CO<sub>2</sub> 0,4 kg/kWh, NO<sub>x</sub> oko 1,6 g/kWh i SO<sub>x</sub> oko 2,5 g/kWh. Naravno u skladu sa prethodnim po drugoj varijanti instalacije osvetljenja će se za oko 15,4 % smanjiti emisija gasova u atmosferu, odnosno po vrstama gasova smanjenje će iznositi :

$$\Delta_1 = (1\,905\,844,25 - 1\,651\,758,11) \text{ kWh} \cdot 0,4 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} = 101,63 \text{ t CO}_2$$

$$\Delta_2 = (1\,905\,844,25 - 1\,651\,758,11) \text{ kWh} \cdot 2,5 \frac{\text{g}}{\text{kWh}} = 635\,215,35 \text{ g SO}_x$$

$$\Delta_3 = (1\,905\,844,25 - 1\,651\,758,11) \text{ kWh} \cdot 1,6 \frac{\text{g}}{\text{kWh}} = 406\,537,82 \text{ g NO}_x$$

Uobičajeno se pri analizama uzima da 21,75 kg CO<sub>2</sub> ekvivalent uništavanja jednog drveta. Ovo bi značilo da bi za eliminisanje uticaja dodatne proizvodnje gasa CO<sub>2</sub> po prvoj varijanti trebalo zasaditi oko 4 700 stabala drveća.

Takođe npr. po Euro 5 standardu je dozvoljeno da jedno benzinsko vozilo odaje 0,08 g/km NO<sub>x</sub> što je ekvivalent zagađenja pri proizvodnji 50 W električne energije. Znači izborom druge varijante osvetljenja vrši se ušteda električne energije koja omogućuje smanjenje potrošnje NO<sub>x</sub> kao i sledeći broj vozila koji godišnje pređe 10 000 km :

$$\frac{406\,537,82}{0,08 \cdot 10\,000} = 508 \text{ dizel benzinskih vozila godišnje}$$

## 4.2. Utrošeni materijal

U sledećim tabelama su date razlike utrošenih materijala za dve razmatrane varijante instalacije osvetljenja, pri čemu se neće vršiti procena njihovog uticaja pošto je za to potrebna šrimena softvera sa obilnom bazom podataka, kao i tačna specifikacija vrsta materijala korišćenih u konkretnom proizvodu (stub, temelj, izvor svetlosti itd.). Tako je :

- u tabeli 8 dat uporedni prikaz težina svetiljki za jednog konkretnog proizvođača svetiljki,
- u tabeli 9 dat je uporedni prikaz težina stubova za stubove jednog konkretnog proizvođača stubova, i
- u tabeli 10 je dat uporedni prikaz težina temelja za stubove iz tabele 6.

Tabela 8 – Razlika utrošenih materijala za svetiljke za osvetljenje petlji između Novog Sada i Beograda po dve razmatrane varijante

Svetiljka	Težina [kg/jed]	Broj svetiljki		Ukupna težina [kg]	
		Varijanta 1	Varijanta 2	Varijanta 1	Varijanta 2
150 W	10,6	1 499	1 179	15 889,4	12 497,4
250 W	11,2	102	923	1 142,4	10 337,6
400 W	16,6	598	47	9 926,8	780,2
Ukupno [kg]				26 958,6	23 615,2
Razlika [kg]				3 343,4	

Tabela 9 – Razlika utrošenih materijala za stubove osvetljenje petlji između Novog Sada i Beograda po dve razmatrane varijante

Stub	Težina [kg/jed]	Ukupan broj		Ukupna težina [t]	
		Varijanta 1	Varijanta 2	Varijanta 1	Varijanta 2
10 m	112	1166	973	130,592	108,976
10 m - T lira	116	94	103	10,904	11,948
10 m - dvokraka lira 1.5m	153	67	0	10,251	0
12 m	208	0	78	0	16,224
12 m - dvokraka lira 2m	249	0	415	0	103,335
13 m - lira 1.5m	258	134	0	34,572	0
13 m - dvokraka lira 2m	265	269	0	71,285	0
15m	351	0	44	0	15,444
15 m - T lira	355	0	4	0	1,420
16m	373	14	0	5,222	0
Ukupno [t]				262,826	257,347
Razlika [t]				5,479	

Tabela 10 – Razlika utrošenih materijala za temelje stubova za osvetljenje petlji između Novog Sada i Beograda po dve razmatrane varijante

Stub	Dim (duž x šir x vis)	Težina [t/jed]	Ukupan broj		Ukupna težina [t]	
			Var. 1	Var. 2	Var. 1	Var. 2
10 m	0,6 x 0,6 x 0,9	0.778	1166	973	906.68	756.60
10 m-T lira	0,6 x 0,6 x 0,9	0.778	94	103	73.09	80.09
10 m-dvokraka 1.5m	0,6 x 0,6 x 1,0	0.864	67	-	57.89	-
12 m	0,6 x 0,6 x 1,1	0.950	-	78	-	74.13
12 m-dvokraka 2m	0,6 x 0,6 x 1,2	1.037	-	415	-	430.27
13 m-lira 1.5m	0,7 x 0,7 x 1,55	1.823	134	-	244.26	-
13 m-dvokraka 2m	0,7 x 0,7 x 1,55	1.823	269	-	490.33	-
15m	0,8 x 0,8 x 1,7	2.611	-	44	-	114.90
15 m-T lira	0,8 x 0,8 x 1,7	2.611	-	4	-	10.44
16m	0,8 x 0,8 x 1,75	2.688	14	-	37.63	-
Ukupno [t]					1 809,88	1 466,44-
Razlika [t]					343,45	

Rezultati iz tabela 8, 9 i 10 nedvosmisleno ukazuju na to da se izborom druge varijante osvetljenja značajno smanjuje ekološko opterećenje okoline. Za detaljan proračun potrebno je raspolagati detaljnijim podacima o svima analiziranim elementima instalacije osvetljenja.

Još jedan od razloga za izbor Varijante 2 za osvetljavanje petlji je veća ekonomičnost instalaciji (kada se uračunaju svi investicioni i eksploatacioni troškovi) [7].

## 5. ZAKLJČAK

U radu su date osnove ekološkog vrednovanja sistema po LCA metodologiji. Pored toga data je analiza dve varijante osvetljenja u pogledu ekološkog uticaja, kojom je pokazano da se izborom manje snage svetiljki na osnovnoj trasi autoputa (250 umesto 400 W) može značajno smanjiti ekološki uticaj instalacije osvetljenja. Pored manjeg ekološkog uticaja ovakva instalacija ima i veću ekonomičnost.

Smanjivanje ekološkog uticaja instalacije osvetljenja vrši se :

1. Optimizacija instalisane snage osvetljenja izborom najpovoljnije snage izvora svetiljke i na taj način smanjenja proizvodnje CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> itd.
2. Primena izvora svetlosti dug i pouzdanog veka trajanja u svrhu smanjenja otpada preko smanjenja učestalosti zamene izvora svetlosti.



3. Primena rešenja u kojim se koriste elementi sa manjim iznosom štetnih supstanci.
4. Laka, jednostavna ambalaža koja se može reciklirati u cilju smanjenja otpada i troškova transporta.
5. Recikliranje komponenti nakon isteka životnog veka.
6. Minijaturizacija koja vodi do smanjivanja težine proizvoda i uštede materijala.
7. Produženje životnog vjeka obnavljanjem instalacije umesto zamenom (npr. stubova).
8. Pravilan izbor pojedinih elemenata (dimenzionisanje stubova i temelja).

## **6. LITERATURA**

- [1] Wikipedia.
- [2] Vigon, B. W., D. A. Tolle, B. W. Cornaby, H. C. Latham, C.L. Harrison, T. L. Boguski, R. G. Hunt, J. D. Sellers, U.S.E.P.A. Risk Reduction Engineering Laboratory, 1994. Life-Cycle Assessment Inventory Guidelines and Principles. Lewis Publishers, London.
- [3] Buchinger, E. 1993. Lyfe Cycle Analysis – Method and Practice. Discussion Paper, Forschungszentrum Seibersdorf.
- [4] Schmidheiny, S. 1992. Changing Course A Global Business Perspective. MIT Press London.
- [5] European emission standards.
- [6] The Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change
- [7] S. D. Đukić, S. J. Gušavac, N. Đ. Maravić. Ekonomsko vrenovanje varijanti pri projektovanju osvetljenja saobraćajnica, DOS 2007.