



ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET
UNIVERZITETA U BEOGRADU

Prof. dr Miomir Kostić

**RELEVANTNI ASPEKTI KVALITETA,
ENERGETSKE EFIKASNOSTI,
EKONOMIČNOSTI I ODRŽAVANJA
FUNKCIONALNOG JAVNOG
OSVETLJENJA**

- STUDIJA -

Beograd, 2007.

Pored autora, na realizaciji studije učestvovali su i:

Doc. dr Lidija Đokić, dipl. ing. arh.

Miodrag Kirović, dipl. ing. el.

Mr Nedžad Hadžiefendić, dipl. ing. el.

Jasmina Bodrožić, dipl. ing. el.

Andrej Đuretić, dipl. ing. el.

Zoran Vilus, dipl. ing. el.

Dragan Simin, dipl. ing. el.

Nenad Plazinčić, student Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu

SADRŽAJ

1. Proračun pada napona u instalaciji javnog osvetljenja	Str. 1
2. Uporedni prikaz trofaznog i dvofaznog sistema napajanja u javnom osvetljenju	Str. 28
3. Određivanje perioda i faktora održavanja u funkcionalnom javnom osvetljenju	Str. 53
4. Tehno-ekonomska analiza upotrebe različitih sistema za regulaciju svetlosnog fluksa u javnom osvetljenju	Str. 72
5. Predlog novog razvodnog ormana, merenje utrošene električne energije i regulacija svetlosnog fluksa u javnom osvetljenju	Str. 148
6. Predlog organizacione šeme tehničke strukture preduzeća zaduženog za održavanje javnog osvetljenja u Beogradu	Str. 170
7. Izbor svetlotehničke klase saobraćajnice i određivanje fotometrijskih zahteva koje njeno osvetljenje treba da ispuni	Str. 188
8. Finalni rezultati i zaključci	Str. 214

1. Proračun pada napona u instalaciji javnog osvetljenja

1.1. Uvod

1.1.1. Kriterijumi za projektovanje javnog osvetljenja

Pored svetlotehničkih kriterijuma (koji određuju tip izvora svetlosti i svetiljke, raspored i visinu vešanja svetiljki itd.), kod projektovanja javnog osvetljenja važan deo predstavlja i energetika napajanja. Pod energetikom napajanja se podrazumevaju tačka priključka na niskonaponsku mrežu i kablovi instalacije javnog osvetljenja koji treba da obezbede siguran i kvalitetan prenos električne energije do svake svetiljke (u smislu termičkog opterećenja, pada napona i zaštite od indirektnog dodira).

Posledica kriterijuma maksimalno dozvoljenog pada napona je ograničenje dužine deonice instalacije javnog osvetljenja od komandno-napojnog ormara do poslednje svetiljke u nizu, određeno zahtevom da i poslednja svetiljka dobije minimalan prihvatljiv napon. Projektantska praksa je pokazala da upravo pad napona predstavlja ograničavajući faktor, tako da se kablovi javnog osvetljenja ne dimenzionišu prema kriterijumu opteretljivosti, nego prema kriterijumu pada napona.

1.1.2. Cilj studije

U instalacijama javnog osvetljenja u Beogradu pretežno je zastupljen princip dvofaznog napajanja. Takve instalacije javnog osvetljenja izvođene su u cilju uštede električne energije, koja se realizovala tako što se u kasnijim noćnim satima jednostavno isključivala jedna faza (na taj način bi svaka druga sijalica ostala uključena). Ideja o isključivanju jedne faze u praksi nije dugo korišćena, jer je naizmenično pojavljivanje svetlih i tamnih delova kolovoza smetalo vozačima, izazivajući njihov zamor.

Cilj ove studije je da pokaže da je ovo rešenje kako tehnički, tako i ekonomski nepovoljnije od opšte prihvaćenog rešenja sa trofaznim sistemom napajanja. Jedan od dominantnih tehničkih parametara, koji će najpre da bude analiziran, predstavlja pad napona.

1.2. Proračuni pada napona

1.2.1. Opšte

Pošto se u našoj projektantskoj praksi koriste približne formule za izračunavanje pada napona u pojedinim tipovima instalacije javnog osvetljenja, izvešće se tačne formule, na osnovu kojih će se proceniti tačnost približnih.

Da bi se izvođenje formula uprostilo, koriste se pojednostavljena, koja, kako je praksa pokazala, ne unose grešku koja bitnije utiče na tačnost izračunatih padova napona. Uprošćenja su sledeća:

- rastojanja između susednih stubova su jednaka,
- rastojanje između razvodnog ormara osvetljenja i najbližeg stuba jednako je rastojanju između susednih stubova,
- sve svetiljke imaju istu aktivnu snagu,
- faktor snage ($\cos\phi$) jedinstven je za celu deonicu i zavisi samo od svetiljke, i
- fazna i povratna (neutralna) žila imaju isti presek, koji se ne menja duž čitave napojne deonice (strujnog kola).

1.2.2. Formule za izračunavanje pada napona

1.2.2.1. Rasporedi stubova javnog osvetljenja

Sa aspekta napajanja, izdvajaju se *jednostrani i centralni raspored stubova* (cik-cak i dvostrani naspramni raspored sastoje se od dva niza jednostrano postavljenih stubova). Kod jednostranog rasporeda svetiljke se ciklično priključuju na faze R, S i T kod trofaznog, odnosno na dve od ove tri faze kod dvofaznog sistema napajanja. Kod centralnog rasporeda stubovi nose po dve svetiljke, koje se ciklično priključuju na faze R i S, R i T, i S i T kod trofaznog, odnosno na dve od ove tri faze kod dvofaznog sistema napajanja.

1.2.2.2. Trofazni sistem i jednostrani raspored stubova

Prilikom izvođenja formula mora se voditi računa o tome da sve faze ne moraju da budu simetrično opterećene. To znači da pored formule za simetrično opterećenje svih faza, koje postoji za $n=3k$ stubova, moraju da se izvedu i formule za nesimetrična opterećenja, koja se javljaju u slučajevima sa $n=3k+1$ i $n=3k+2$ stubova (svetiljki).

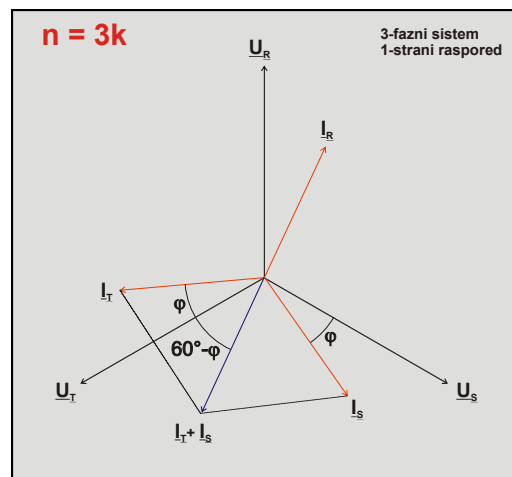
Izvođenje formule za $n=3k$ stubova

Pre nego što se krene u izvođenje formula, treba naglasiti da fazni naponi iznose $U_f=220V$ i da se sve struje računaju po formuli:

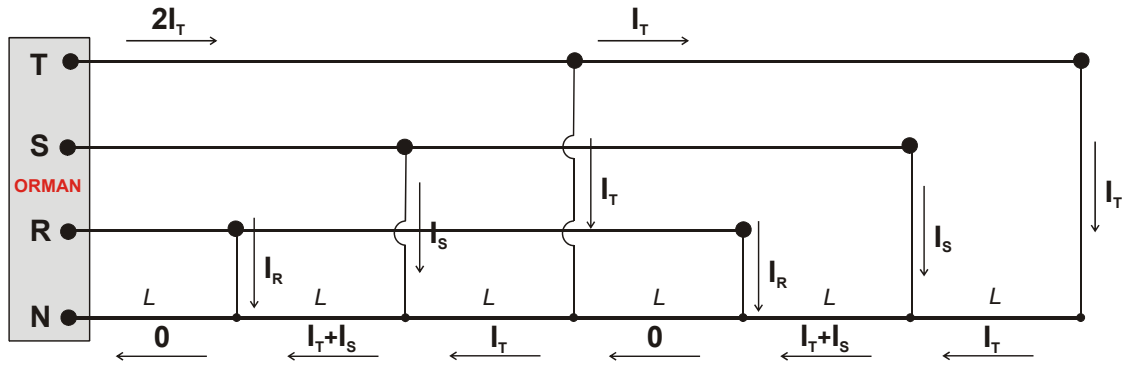
$$I = \frac{P_s + P_b}{U_f \cdot \cos \varphi},$$

u kojoj P_s i P_b redom označavaju aktivnu snagu sijalice i balasta, a $\cos \varphi$ faktor snage svetiljke sa ugrađenim kondenzatorom za kompenzaciju reaktivne energije. Takođe treba napomenuti da će se kroz ceo proračun posebno računati padovi napona kroz fazne, a posebno kroz neutralne (nulte) provodnike.

Pošto je to kritičan slučaj, pad napona će se računati za poslednju svetiljku u nizu, odnosno svetiljku koja je najudaljenija od razvodnog ormara (RO). Pretpostaviće se da je dužina kabla između susednih stubova (na slikama i u formulama označena sa L) 2m veća od rastojanja između susednih stubova.



Fazorski dijagram 1. Fazorski dijagram za trofazni sistem, jednostrani raspored, slučaj $n=3k$ stubova



Slika 1. Struje u trofaznom sistemu, jednostrani raspored, slučaj $n=3k$ stubova ($k=2$)

Sa slike 1 se vidi da za **pad napona na faznom provodniku faze T** važi:

$$\Delta U_T(\%) = 100 \cdot \frac{(1 + 2 + \dots + k) \cdot I_T \cdot 3 \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{Uf}$$

$$\Delta U_T(\%) = 100 \cdot \frac{3 \cdot k \cdot (k + 1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{2 \cdot Uf} \quad (I_T = I)$$

$$\Delta U_T(\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n + 3) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{6 \cdot Uf}$$

Na nultom provodniku postoje tri vrste deonica: samo sa strujom I_T , sa fazorskim zbirom struja I_T i I_S , i bez struje. Na osnovu slike 1 i fazorskog dijagrama 1 može da se zaključi da ukupan pad napona na svim deonicama prve i druge vrste redom iznosi:

$$\Delta U_{N1}(\%) = 100 \cdot \frac{k \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{Uf} \text{ i}$$

$$\Delta U_{N2}(\%) = 100 \cdot \frac{k \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \cdot (60^\circ - \varphi) - x \cdot \sin \cdot (60^\circ - \varphi))}{Uf}$$

Primenom sledećih identiteta:

$$\cos \varphi + \cos(60^\circ - \varphi) = \sqrt{3} \cdot \cos(30^\circ - \varphi)$$

$$\sin \varphi - \sin(60^\circ - \varphi) = -\sqrt{3} \cdot \sin(30^\circ - \varphi)$$

dobija se **formula za ukupan pad napona na nultom provodniku:**

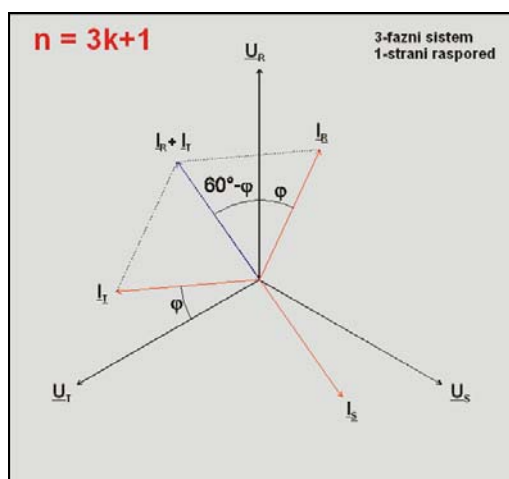
$$\Delta U_N (\%) = \Delta U_{N1} (\%) + \Delta U_{N2} (\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot k \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{U_f}$$

$$\Delta U_N (\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot n \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot U_f}$$

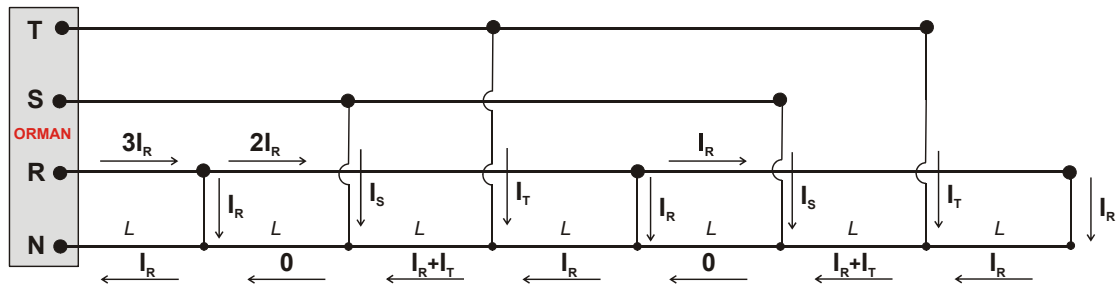
Ukupan pad napona iznosi:

$$\Delta U (\%) = \Delta U_T (\%) + \Delta U_N (\%)$$

Izvođenje formule za $n=3k+1$ stubova



Fazorski dijagram 2. Fazorski dijagram za trofazni sistem, jednostrani raspored, slučaj $n=3k+1$ stubova



Slika 2. Struje u trofaznom sistemu, jednostrani raspored, slučaj $n=3k+1$ stubova ($k=2$)

Za najveći pad napona (na faznom provodniku faze R) važi (slika 2):

$$\Delta U_R(\%) = 100 \cdot \frac{3 \cdot k \cdot (k+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{2 \cdot Uf} +$$

$$+ 100 \cdot \frac{(k+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{Uf}$$

$$\Delta U_R(\%) = 100 \cdot \frac{(n+1) \cdot (n+2) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{6 \cdot Uf}$$

Za pad napona na nultom provodniku važi (slika 2 i fazorski dijagram 2, uz analogiju sa prethodnim slučajem):

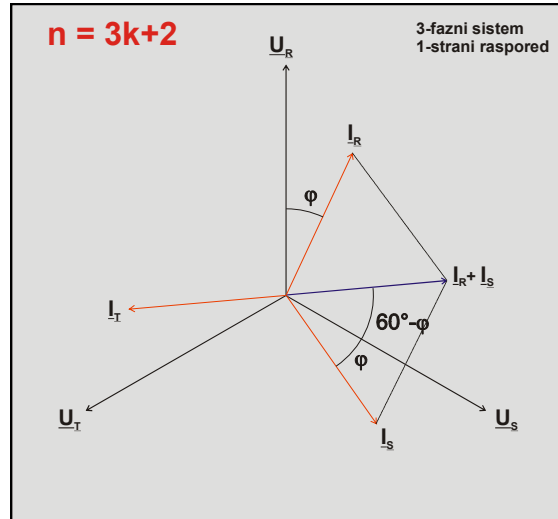
$$\Delta U_N(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot (n-1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot Uf} +$$

$$+ 100 \cdot \frac{I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{Uf}$$

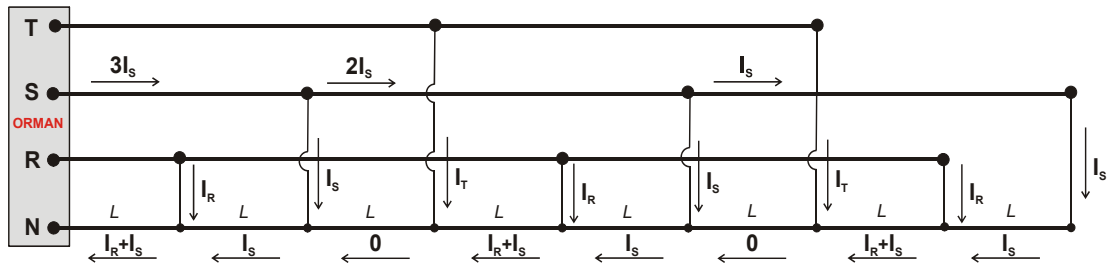
Ukupan pad napona iznosi:

$$\Delta U(\%) = \Delta U_R(\%) + \Delta U_N(\%)$$

Izvođenje formule za $n=3k+2$ stubova



Fazorski dijagram 3. Fazorski dijagram za trofazni sistem, jednostrani raspored, slučaj $n=3k+2$ stubova



Slika 3. Struje u trofaznom sistemu, jednostrani raspored, slučaj $n=3k+2$ stubova ($k=2$)

Najveći pad napona u ovom slučaju postoji **na faznom provodniku faze S** (slika 3). On iznosi:

$$\Delta U_s(\%) = 100 \frac{3 \cdot k \cdot (k+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{2 \cdot U_f} + 100 \frac{2 \cdot (k+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{U_f}$$

$$\Delta U_s(\%) = 100 \cdot \frac{(n+1) \cdot (n+2) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{6 \cdot Uf}$$

Za **pad napona na nultom provodniku** (slika 3 i fazorski dijagram 3) dobija se:

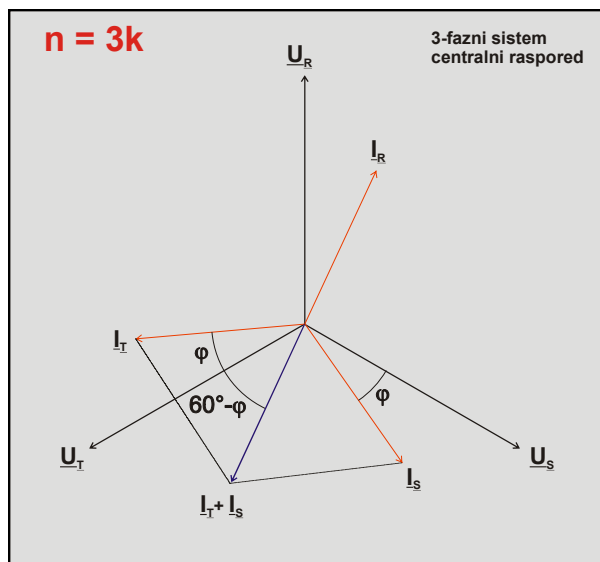
$$\Delta U_N(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot (n+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot Uf}$$

Ukupan pad napona iznosi:

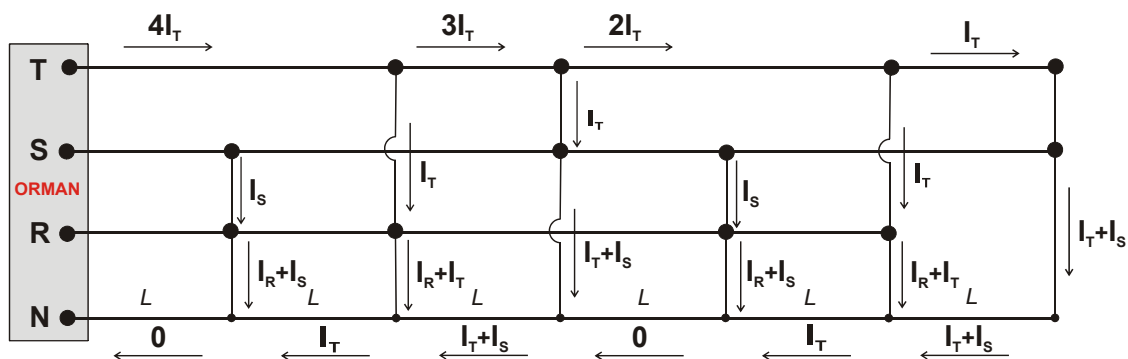
$$\Delta U(\%) = \Delta U_s(\%) + \Delta U_N(\%)$$

1.2.2.3. Trofazni sistem i centralni raspored stubova

Izvođenje formule za $n=3k$ stubova



Fazorski dijagram 4. Fazorski dijagram za trofazni sistem, centralni raspored, slučaj $n=3k$ stubova



Slika 4. Struje u trofaznom sistemu, centralni raspored, slučaj $n=3k$ stubova ($k=2$)

Sa slike 4 se vidi da je najveći pad napona na poslednjoj svetiljci priključennoj na fazu T ili fazu S.

Pad napona na faznom provodniku faze T iznosi:

$$\Delta U_T(\%) = 100 \cdot \frac{(1 \cdot 1 + 2 \cdot 2 + 1 \cdot 3 + 2 \cdot 4 + 1 \cdot 5 + 2 \cdot 6 + \dots + 1 \cdot (2k-1) + 2 \cdot 2k) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{Uf}$$

$$\Delta U_T(\%) = 100 \cdot \frac{(1 \cdot (1 + 3 + \dots + (2 \cdot k - 1)) + 4 \cdot (1 + 2 + \dots + k)) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{Uf}$$

$$\Delta U_T(\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n + 2) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{3 \cdot Uf}$$

Analogno se dobija da pad napona na faznom provodniku faze S iznosi:

$$\Delta U_S(\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n + 1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{3 \cdot Uf},$$

tako da je sa aspekta pada napona kritična svetiljka na poslednjem stubu priključena na fazu T.

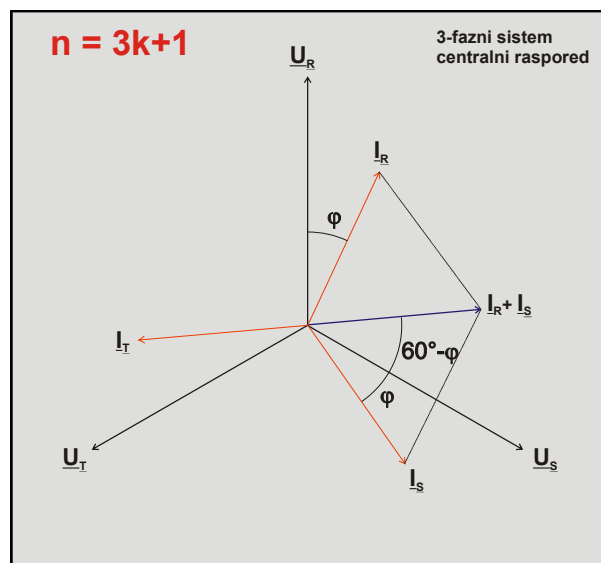
Formula za izračunavanje *pada napona na nultom provodniku* identična je formuli za pad napona na nultom provodniku kod jednostranog rasporeda sa $n=3k$ stubova, što se vidi sa slika 1 i 4 i fazorskih dijagrama 1 i 4. Ona glasi:

$$\Delta U_N(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot n \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot U_f}$$

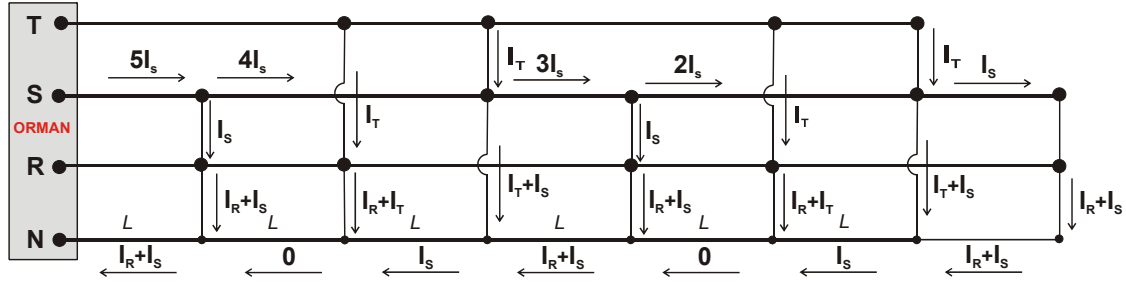
Ukupan pad napona iznosi:

$$\Delta U(\%) = \Delta U_T(\%) + \Delta U_N(\%)$$

Izvođenje formule za $n=3k+1$ stubova



Fazorski dijagram 5. Fazorski dijagram za trofazni sistem, centralni raspored, slučaj $n=3k+1$ stubova



Slika 5. Struje u trofaznom sistemu, centralni raspored, slučaj $n=3k+1$ stubova ($k=2$)

Sa slike 5 se vidi da je najveći pad napona na poslednjoj svetiljci priključennoj na fazu S ili fazu R. Primenom postupka koji je analogan prethodnom, dobija se da **najveći pad napona odgovara poslednjoj svetiljci priključennoj na fazu S**. On iznosi:

$$\Delta U_S (\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n+2) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{3 \cdot Uf}$$

(u formuli za $\Delta U_R(\%)$ umesto $n \cdot (n+2) = n^2 + 2n$ pojavljuje se $n^2 + n + 1 \leq n^2 + 2n$).

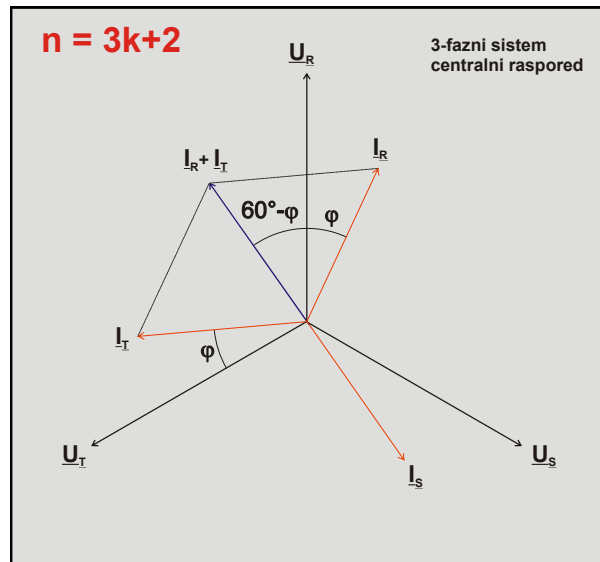
Analogno se dobija da **pad napona na nultom provodniku** iznosi:

$$\Delta U_N (\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot (n-1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot Uf} + 100 \cdot \frac{I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(60^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(60^\circ - \varphi))}{Uf}$$

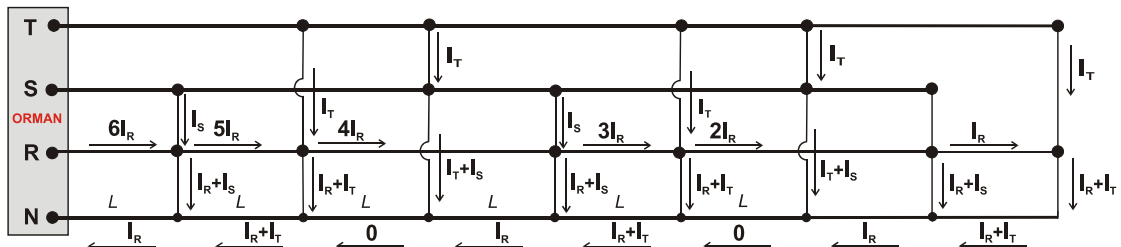
Ukupan pad napona je:

$$\Delta U (\%) = \Delta U_S (\%) + \Delta U_N (\%)$$

Izvođenje formule za $n=3k+2$ stubova



Fazorski dijagram 6. Fazorski dijagram za trofazni sistem, centralni raspored, slučaj $n=3k+2$ stubova



Slika 6. Struje u trofaznom sistemu, centralni raspored, slučaj $n=3k+2$ stubova ($k=2$)

Sa slike 6 se vidi da je **najveći pad napona** na poslednjoj svetiljci priključennoj na fazu T ili fazu R. Kako je $(n+1)^2 > n \cdot (n+1)$, to je pad napona

$$\Delta U_R(\%) = 100 \cdot \frac{(n+1)^2 \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{3 \cdot Uf}$$

veći od pada napona $\Delta U_T(\%)$.

Po analogiji sa prethodnim slučajevima, **pad napona na nultom provodniku** iznosi:

$$\Delta U_N(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot (n+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot Uf}$$

Ukupan pad napona je:

$$\Delta U(\%) = \Delta U_R(\%) + \Delta U_N(\%)$$

1.2.2.4. Opšte formule

Na osnovu prethodnih izvođenja mogu da se napišu opšte formule za izračunavanje padova napona za trofazni jednostrani i trofazni centralni sistem javnog osvetljenja:

Jednostrani raspored:

Pad napona na faznom provodniku iznosi:

$$\Delta U_F(\%) = 100 \cdot \frac{(n+1) \cdot (n+2) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{6 \cdot Uf}$$

Pad napona na nultom provodniku iznosi:

$$\Delta U_N(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot (n+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot Uf}$$

Centralni raspored:

Pad napona na faznom provodniku iznosi:

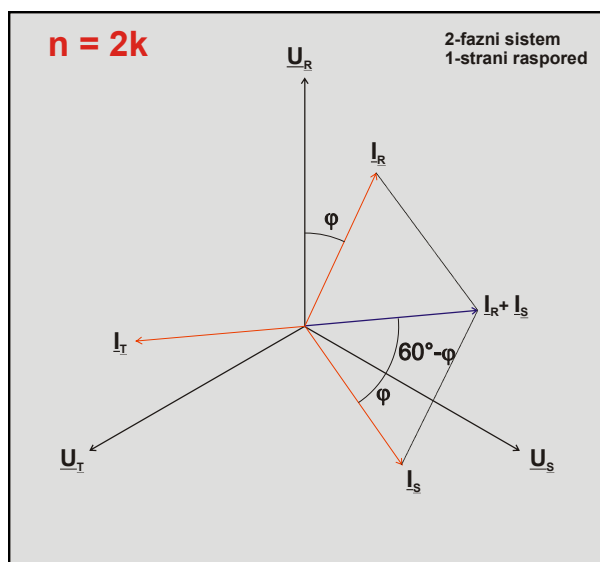
$$\Delta U_F (\%) = 100 \cdot \frac{(n+1)^2 \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{3 \cdot U_f}$$

Pad napona na nultom provodniku iznosi:

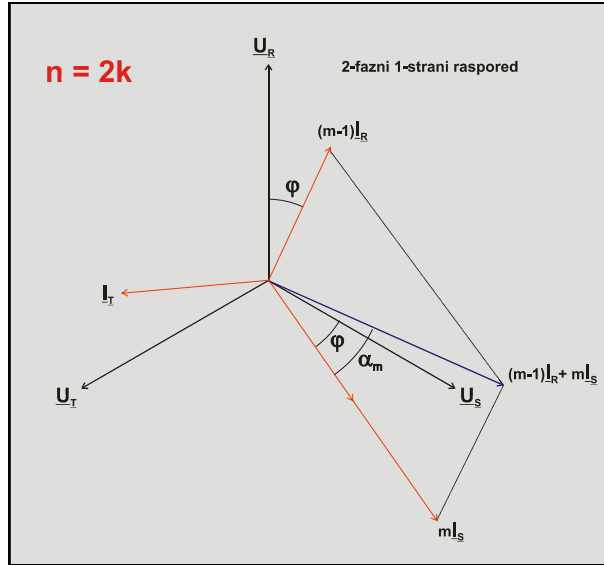
$$\Delta U_N (\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot (n+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot U_f}$$

1.2.2.5. Dvofazni sistem i jednostrani raspored stubova

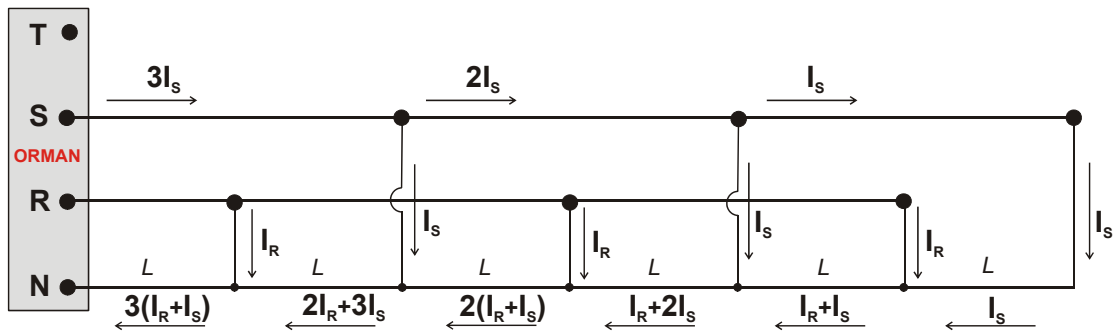
Izvođenje formule za $n=2k$ stubova



Fazorski dijagram 7. Fazorski dijagram za dvofazni sistem, jednostrani raspored, $n=2k$ stubova, određivanje ΔU_{N1}



Fazorski dijagram 8. Fazorski dijagram za dvofazni sistem, jednostrani raspored, $n=2k$ stubova, određivanje ΔU_{N2}



Slika 7. Struje u dvofaznom sistemu, jednostrani raspored, slučaj $n=2k$ stubova ($k=3$)

Sa slike 7 se vidi da je veći *pad napona na faznom provodniku faze S*. On iznosi:

$$\Delta U_s(\%) = 100 \cdot \frac{(1 + 2 + 3 + \dots + k) \cdot I \cdot 2 \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{U_f}$$

$$\Delta U_s(\%) = 100 \cdot \frac{k \cdot (k + 1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{U_f}$$

$$\Delta U_s(\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n+2) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{4 \cdot Uf}$$

Sa slike 7 i fazorskih dijagrama 7 i 8 vidi se da **pad napona na nultom provodniku** može da se podeli na dve komponente. Prva iznosi (slika 7 i fazorski dijagram 7):

$$\Delta U_{N1}(\%) = 100 \cdot \frac{(1+2+\dots+k) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(60^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(60^\circ - \varphi))}{Uf}$$

$$\Delta U_{N1}(\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n+2) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(60^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(60^\circ - \varphi))}{8 \cdot Uf}$$

Druga komponenta je određena formulom (slika 7 i fazorski dijagram 8):

$$\Delta U_{N2}(\%) = 100 \cdot \frac{\sum_{m=1}^k \sqrt{m^2 - m + 1} \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(\alpha_m - \varphi) - x \cdot \sin(\alpha_m - \varphi))}{Uf}$$

$$\Delta U_{N2}(\%) = 100 \cdot \frac{\sum_{m=1}^{\frac{n}{2}} \sqrt{m^2 - m + 1} \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(\alpha_m - \varphi) - x \cdot \sin(\alpha_m - \varphi))}{Uf}$$

jer je:

$$|(m-1) \cdot \underline{I}_R + m \cdot \underline{I}_S| = \sqrt{(m-1)^2 + m^2 - 2 \cdot m \cdot (m-1) \cdot \cos 60^\circ} = \sqrt{m^2 - m + 1}$$

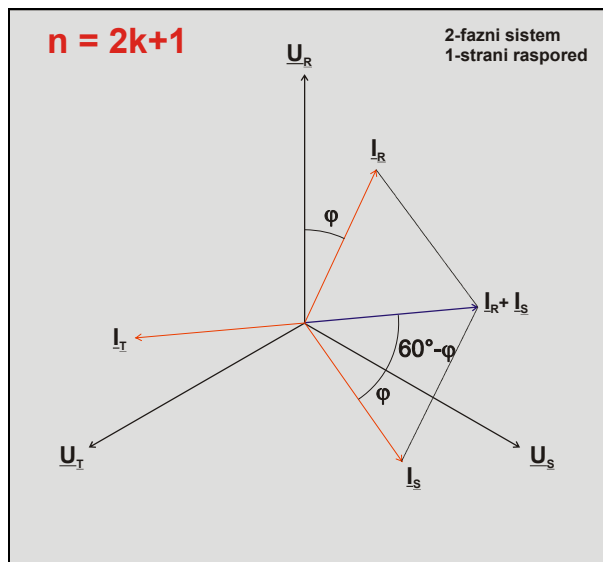
Sa fazorskog dijagrama 8 se takođe može dobiti da je:

$$\cos \alpha_m = \frac{m^2 - m + 1 + m^2 - (m-1)^2}{2 \cdot m \cdot \sqrt{m^2 - m + 1}} = \frac{m+1}{2 \cdot \sqrt{m^2 - m + 1}}$$

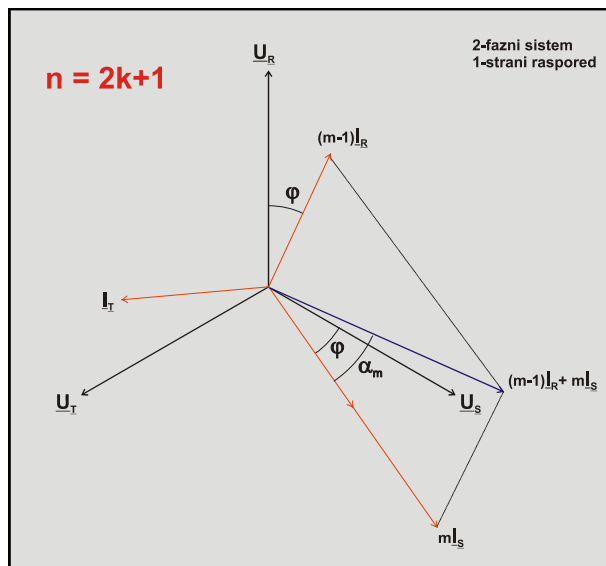
Ukupan pad napona kod dvofaznog sistema sa jednostranim rasporedom n=2k stubova iznosi:

$$\Delta U(\%) = \Delta U_S(\%) + \Delta U_N(\%) = \Delta U_S(\%) + \Delta U_{N1}(\%) + \Delta U_{N2}(\%)$$

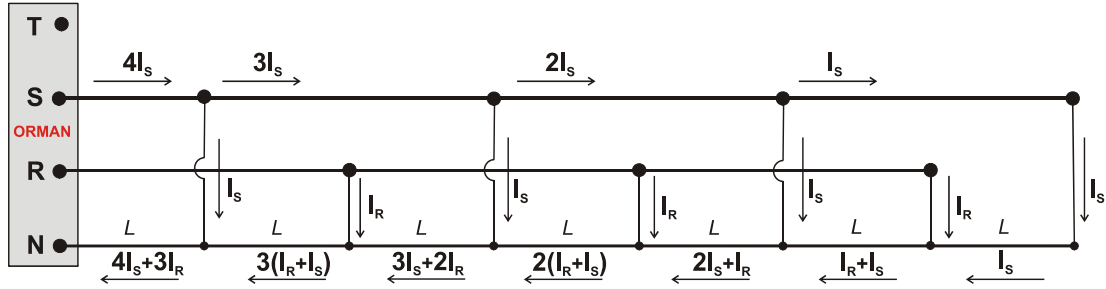
Izvođenje formule za $n=2k+1$ stubova



Fazorski dijagram 9. Fazorski dijagram za dvofazni sistem, jednostrani raspored, $n=2k+1$ stubova, određivanje ΔU_{N1}



Fazorski dijagram 10. Fazorski dijagram za dvofazni sistem, jednostrani raspored, $n=2k+1$ stubova, određivanje ΔU_{N2}



Slika 8. Struje u dvofaznom sistemu, jednostani raspored, slučaj $n=2k+1$ stubova ($k=3$)

Sa slike 8 se vidi da je veći ***pad napona na faznom provodniku faze S***. On iznosi:

$$\Delta U_s (\%) = 100 \cdot \frac{((1 + 2 + \dots + k) \cdot 2 + k + 1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{Uf}$$

$$\Delta U_s (\%) = 100 \cdot \frac{(n + 1)^2 I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{4 \cdot Uf}$$

Analogno slučaju $n=2k$, korišćenjem slike 8 i fazorskih dijagrama 9 i 10, dobija se:

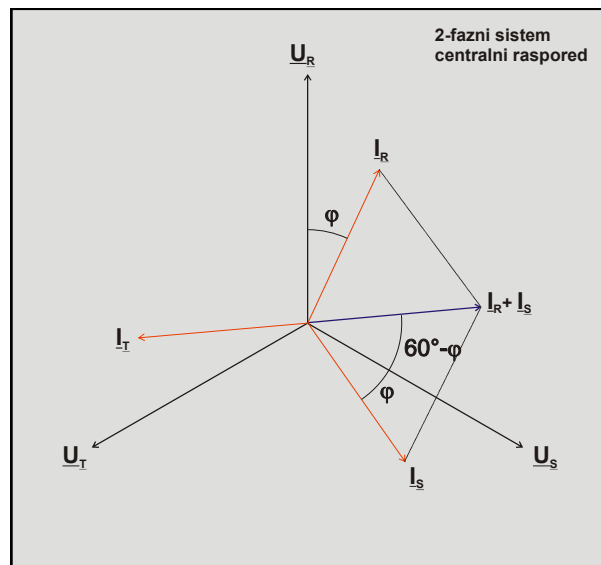
$$\Delta U_{N1} (\%) = 100 \cdot \frac{(n - 1) \cdot (n + 1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(60^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(60^\circ - \varphi))}{8 \cdot Uf}$$

$$\Delta U_{N2} (\%) = 100 \cdot \frac{\sum_{m=1}^{\frac{n+1}{2}} \sqrt{m^2 - m + 1} \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(\alpha_m - \varphi) - x \cdot \sin(\alpha_m - \varphi))}{Uf}$$

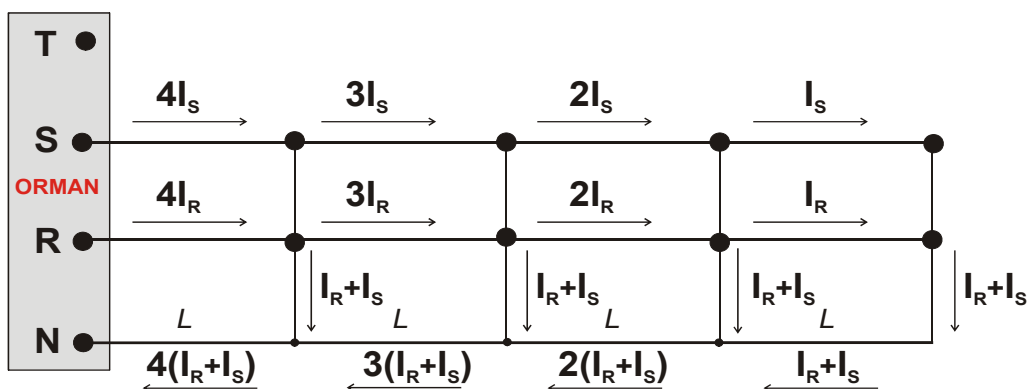
Ukupan pad napona iznosi:

$$\Delta U(\%) = \Delta U_S(\%) + \Delta U_{NI}(\%) + \Delta U_{N2}$$

1.2.2.6. Dvofazni sistem i centralni raspored stubova



Fazorski dijagram 11. Fazorski dijagram za dvofazni sistem, centralni raspored stubova



Slika 9. Struje u dvofaznom sistemu, centralni raspored stubova

Kod dvofaznog sistema sa centralnim rasporedom n stubova ***pad napona na faznom provodniku faze S*** iznosi:

$$\Delta U_s(\%) = 100 \cdot \frac{(1 + 2 + \dots + n) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{Uf}$$

$$\Delta U_s(\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n + 1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{2 \cdot Uf}$$

Pad napona na nultom provodniku (slika 9 i fazorski dijagram 11) iznosi:

$$\Delta U_N(\%) = 100 \cdot \frac{(1 + 2 + \dots + n) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(60^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(60^\circ - \varphi))}{Uf}$$

$$\Delta U_N(\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n + 1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(60^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(60^\circ - \varphi))}{2 \cdot Uf}$$

Ukupan pad napona iznosi:

$$\Delta U(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot n \cdot (n + 1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{2 \cdot Uf}$$

1.3. Primeri proračuna pada napona

1.3.1. Uvod

Proračun je urađen za petnaest primera (raspona stubova), od kojih se 9 odnose na jednostrani (dvostrani), a 6 na centralni raspored. Takođe, proračun je rađen za tri vrednosti $\cos \varphi$: 0.85, 0.9 i 0.95. Ceo proračun je rađen sa faznim naponom $U_f = 220V$.

Snage koje su korišćene u proračunu predstavljaju zbir snage sijalice i snage predspojnog uređaja (balasta). Stvarni rasponi između stubova (označeni sa L_1 u tabelama 1-7) za potrebe proračuna su uvećavani za 2m kako bi se uvažili i padovi napona na delovima kabla od uvođenja u stub do ploče sa osiguračima.

Proračun pada napona je rađen za provodnike od aluminijuma, i to za dva preseka: 16mm^2 ($r=1.89 \Omega/\text{km}$, $x=0.09 \Omega/\text{km}$ za trofazni sistem i $x=0.083 \Omega/\text{km}$ za dvofazni sistem) i 25mm^2 ($r=1.18 \Omega/\text{km}$, $x=0.086 \Omega/\text{km}$ za trofazni sistem i $x=0.08 \Omega/\text{km}$ za dvofazni sistem).

Primeri koji su analizirani u ovim proračunima opisani su u tabeli 1.

TABELA 1

TIP / SNAGA SIJALICE	SNAGA BALASTA [W]	RASPORED	RASPON L' [m]	VISINA STUBA [m]	Lsr pog [cd/m2]
Natrijumove sijalice visokog pritiska					
SON-T 400W	29	dvostrani	34	12	4,41
SON-T 250W	26	jednostrani	38	10	2,05
SON-T 150W	21	jednostrani	34	9	1,59
SON-T 400W	29	centralni	50	12	3,22
SON-T 250W	26	centralni	45	12	2,05
SON-T 150W	21	centralni	40	10	1,51
Metal-halogene sijalice					
HPI-T 400W	23	dvostrani	40	12	3,22
HPI-T 250W	28	jednostrani	40	10	1,65
CDO-TT 150W	18	jednostrani	31	7	1,14
HPI-T 400W	23	centralni	50	12	2,17
HPI-T 250W	28	centralni	47	12	1,65
CDO-TT 150W	18	centralni	33	10	1,53
Zivine sijalice visokog pritiska					
HPL-N 400W	22	dvostrani	40	10	1,07
HPL-N 250W	19	jednostrani	29	7	1,00
HPL-N 125W	11,5	dvostrani	24	7	1,02

1.3.2. Rezultati proračuna pada napona

Rezultati proračuna pada napona dati su u tabelama 2-4, u kojima je:

n - broj stubova,

$\Delta U_{3\sim}(\%)$ - maksimalan ukupan procentualni pad napona (koji predstavlja zbir padova napona na faznom i nultom provodniku) u trofaznom sistemu,

$\Delta U_{2\sim}(\%)$ - maksimalan ukupan procentualni pad napona (koji predstavlja zbir padova napona na faznom i nultom provodniku) u dvofaznom sistemu, i

$\Delta U_{razl.}(\%)$ – procentualna razlika padova napona u trofaznom i dvofaznom sistemu, određena formulom:

$$\Delta U_{razl.}(\%) = 100 \cdot \frac{\Delta U_{3\sim}(\%) - \Delta U_{2\sim}(\%)}{\Delta U_{2\sim}(\%)}$$

TABELA 2

TABELA 2

			Pad napona ΔU [%] za $\cos\varphi=0.85$							
			Al 16mm ²				Al 25mm ²			
TIP	RASPORED	RASPON L ₁ [m]	n	ΔU_{3-} [%]	ΔU_{2-} [%]	ΔU razl. (%)	n	ΔU_{3-} [%]	ΔU_{2-} [%]	ΔU razl. (%)
SON-T 400W	dvostrani	34	11	2,11	4,80	-56,04	14	1,99	4,38	-54,57
SON-T 250W	jednostrani	38	13	1,95	4,62	-57,79	17	1,96	4,79	-59,08
SON-T 150W	jednostrani	34	18	1,85	4,41	-58,05	22	1,70	4,12	-58,74
SON-T 400W	centralni	50	7	2,32	4,97	-53,32	8	1,90	4,06	-53,20
SON-T 250W	centralni	45	9	2,03	4,65	-56,34	11	1,87	4,33	-56,81
SON-T 150W	centralni	40	12	1,85	4,46	-58,52	23	3,86	10,03	-61,52
HPI-T 400W	dvostrani	40	9	1,71	3,89	-56,04	13	2,02	4,73	-57,29
HPI-T 250W	jednostrani	40	13	2,06	4,89	-57,87	17	2,08	5,06	-58,89
CDO-TT 150W	jednostrani	31	20	2,03	4,86	-58,23	25	1,92	4,93	-61,05
HPI-T 400W	centralni	50	7	2,28	4,91	-53,56	9	2,21	5,01	-55,89
HPI-T 250W	centralni	47	9	2,12	4,88	-56,56	11	1,97	4,55	-56,70
CDO-TT 150W	centralni	33	11	1,32	3,09	-57,28	17	1,82	4,55	-60,00
HPL-N 400W	dvostrani	40	10	2,06	4,24	-51,42	13	2,01	4,72	-57,42
HPL-N 250W	jednostrani	29	15	1,84	4,52	-59,29	17	1,48	3,62	-59,12
HPL-N 125W	dvostrani	24	25	1,91	4,97	-61,57	32	1,92	4,89	-60,74

TABELA 3

TABELA 3

			Pad napona ΔU [%] za $\cos\varphi=0.9$							
			Al 16mm ²				Al 25mm ²			
TIP	RASPORED	RASPON L ₁ [m]	n	ΔU_{3-} [%]	ΔU_{2-} [%]	ΔU razl. (%)	n	ΔU_{3-} [%]	ΔU_{2-} [%]	ΔU razl. (%)
SON-T 400W	dvostrani	34	11	2,07	4,54	-54,41	14	1,95	4,13	-52,78
SON-T 250W	jednostrani	38	13	1,92	4,37	-56,06	17	1,93	4,50	-57,11
SON-T 150W	jednostrani	34	18	1,83	4,17	-56,12	22	1,67	3,87	-56,85
SON-T 400W	centralni	50	7	2,28	4,67	-51,18	8	1,86	3,80	-51,05
SON-T 250W	centralni	45	9	2,00	4,36	-54,13	11	1,84	4,05	-54,57
SON-T 150W	centralni	40	12	1,82	4,19	-56,56	23	3,81	9,39	-59,42
HPI-T 400W	dvostrani	40	9	1,68	3,69	-54,47	13	1,98	4,46	-55,61
HPI-T 250W	jednostrani	40	13	2,03	4,62	-56,06	17	2,04	4,76	-57,14
CDO-TT 150W	jednostrani	31	20	2,00	4,58	-56,33	25	1,89	4,63	-59,18
HPI-T 400W	centralni	50	7	2,24	4,60	-51,30	9	2,17	4,69	-53,73
HPI-T 250W	centralni	47	9	2,10	4,58	-54,15	11	1,94	4,26	-54,46
CDO-TT 150W	centralni	33	11	1,30	2,90	-55,17	17	1,80	4,26	-57,75
HPL-N 400W	dvostrani	40	10	2,03	4,01	-49,38	13	1,97	4,45	-55,73
HPL-N 250W	jednostrani	29	15	1,81	4,12	-56,07	17	1,46	3,40	-57,06
HPL-N 125W	dvostrani	24	25	1,89	4,58	-58,73	32	1,89	4,59	-58,82

TABELA 4

TABELA 4

			Pad napona ΔU [%] za $\cos\varphi=0.95$							
			Al 16mm ²			Al 25mm ²				
TIP	RASPORED	RASPON L ₁ [m]	n	ΔU_{3-} [%]	ΔU_{2-} [%]	ΔU razl. (%)	n	ΔU_{3-} [%]	ΔU_{2-} [%]	ΔU razl. (%)
SON-T 400W	dvostrani	34	11	2,01	4,24	-52,59	14	1,90	3,85	-50,65
SON-T 250W	jednostrani	38	13	1,88	4,07	-53,81	17	1,89	4,18	-54,78
SON-T 150W	jednostrani	34	18	1,79	3,88	-53,87	22	1,64	3,59	-54,32
SON-T 400W	centralni	50	7	2,23	4,31	-48,26	8	1,82	3,50	-48,00
SON-T 250W	centralni	45	9	1,97	4,03	-51,12	11	1,81	3,74	-51,60
SON-T 150W	centralni	40	12	1,79	3,87	-53,75	23	3,75	8,65	-56,65
HPI-T 400W	dvostrani	40	9	1,64	3,46	-52,60	13	1,93	4,15	-53,49
HPI-T 250W	jednostrani	40	13	1,99	4,31	-53,83	17	1,99	4,42	-54,98
CDO-TT 150W	jednostrani	31	20	1,96	4,27	-54,10	25	1,85	4,29	-56,88
HPI-T 400W	centralni	50	7	2,20	4,25	-48,24	9	2,13	4,32	-50,69
HPI-T 250W	centralni	47	9	2,06	4,23	-51,30	11	1,90	3,92	-51,53
CDO-TT 150W	centralni	33	11	1,28	2,68	-52,24	17	1,77	3,93	-54,96
HPL-N 400W	dvostrani	40	10	1,98	3,76	-47,34	13	1,93	4,14	-53,38
HPL-N 250W	jednostrani	29	15	1,78	3,84	-53,65	17	1,42	3,16	-55,06
HPL-N 125W	dvostrani	24	25	1,86	4,25	-56,24	32	1,85	4,25	-56,47

1.3.3. Zaključci

Iz tabela 2-4 može da se zaključi da su padovi napona u trofaznom sistemu javnog osvetljenja značajno manji od padova napona u dvofaznom sistemu. Redukcija padova napona u trofaznom u odnosu na dvofazni sistem iznosi od 47% do čak 62%. Ovo praktično znači da se primenom trofaznog sistema u instalacijama javnog osvetljenja mogu osvetliti mnogo duže deonice, a da napon ne padne ispod minimalne dozvoljene vrednosti.

1.3.4. Dodatak: Razlike padova napona u dvofaznom sistemu koji su izračunati primenom napred izvedenih formula i formula koje koristi EDB

U tabelama 5-7 date su uporedne vrednosti padova napona izračunatih primenom izvedenih (tačnih) formula i sledećih formula koje EDB koristi za dvofazni sistem koji je do nedavno isključivo projektovan:

Za jednostrani raspored:

$$\Delta U(\%)_{edb} = 100 \cdot \frac{3 \cdot (n^2 + 2 \cdot n) \cdot (P_s + P_b) \cdot L \cdot r}{8 \cdot U f^2}$$

Za centralni raspored:

$$\Delta U(\%)_{edb} = 100 \cdot \frac{3 \cdot (n^2 + n) \cdot (P_s + P_b) \cdot L \cdot r}{4 \cdot U f^2}$$

Napomena:

$$Razlika(\%) = 100 \cdot \frac{\Delta U(\%)_{edb} - \Delta U(\%)_{tač}}{\Delta U(\%)_{tač}}$$

(sa $\Delta U(\%)_{tač}$ označena je tačna vrednost pada napona, izračunata primenom formula izvedenih u 1.2.2.5 i 1.2.2.6).

TABELA 5

TABELA 5

			Pad napona ΔU [%] za $\cos\varphi=0.85$							
			Al 16mm ²				Al 25mm ²			
TIP	RASPORED	RASPON L ₁ [m]	n	ΔU [%] edb	ΔU [%] tač	Razlika[%]	n	ΔU [%] edb	ΔU [%] tač	Razlika[%]
SON-T 400W	dvostrani	34	11	3,23	4,80	-32,71	14	3,22	4,38	-26,48
SON-T 250W	jednostrani	38	13	3,15	4,62	-31,82	17	3,32	4,79	-30,69
SON-T 150W	jednostrani	34	18	3,25	4,41	-26,30	22	3,02	4,12	-26,70
SON-T 400W	centralni	50	7	3,66	4,97	-26,36	8	2,99	4,06	-26,35
SON-T 250W	centralni	45	9	3,42	4,65	-26,45	11	3,18	4,33	-26,56
SON-T 150W	centralni	40	12	3,28	4,46	-26,46	23	7,37	10,03	-26,52
HPI-T 400W	dvostrani	40	9	2,58	3,89	-33,68	13	3,22	4,73	-31,92
HPI-T 250W	jednostrani	40	13	3,33	4,89	-31,90	17	3,51	5,06	-30,63
CDO-TT 150W	jednostrani	31	20	3,57	4,86	-26,54	25	3,48	4,93	-29,41
HPI-T 400W	centralni	50	7	3,61	4,91	-26,48	9	3,68	5,01	-26,55
HPI-T 250W	centralni	47	9	3,59	4,88	-26,43	11	3,34	4,55	-26,59
CDO-TT 150W	centralni	33	11	2,27	3,09	-26,54	17	3,35	4,55	-26,37
HPL-N 400W	dvostrani	40	10	3,11	4,24	-26,65	13	3,21	4,72	-31,99
HPL-N 250W	jednostrani	29	15	3,11	4,52	-31,19	17	2,50	3,62	-30,94
HPL-N 125W	dvostrani	24	25	3,51	4,97	-29,38	32	3,59	4,89	-26,58

TABELA 6

TABELA 6

			Pad napona ΔU [%] za $\cos\varphi=0.9$							
			Al 16mm ²				Al 25mm ²			
TIP	RASPORED	RASPON L ₁ [m]	n	ΔU [%] edb	ΔU [%] tač	Razlika[%]	n	ΔU [%] edb	ΔU [%] tač	Razlika[%]
SON-T 400W	dvostrani	34	11	3,23	4,54	-28,85	14	3,22	4,13	-22,03
SON-T 250W	jednostrani	38	13	3,15	4,37	-27,92	17	3,32	4,50	-26,22
SON-T 150W	jednostrani	34	18	3,25	4,17	-22,06	22	3,02	3,87	-21,96
SON-T 400W	centralni	50	7	3,66	4,67	-21,63	8	2,99	3,80	-21,32
SON-T 250W	centralni	45	9	3,42	4,36	-21,56	11	3,18	4,05	-21,48
SON-T 150W	centralni	40	12	3,28	4,19	-21,72	23	7,37	9,39	-21,51
HPI-T 400W	dvostrani	40	9	2,58	3,69	-30,08	13	3,22	4,46	-27,80
HPI-T 250W	jednostrani	40	13	3,33	4,62	-27,92	17	3,51	4,76	-26,26
CDO-TT 150W	jednostrani	31	20	3,57	4,58	-22,05	25	3,48	4,63	-24,84
HPI-T 400W	centralni	50	7	3,61	4,60	-21,52	9	3,68	4,69	-21,54
HPI-T 250W	centralni	47	9	3,59	4,58	-21,62	11	3,34	4,26	-21,60
CDO-TT 150W	centralni	33	11	2,27	2,90	-21,72	17	3,35	4,26	-21,36
HPL-N 400W	dvostrani	40	10	3,11	4,01	-22,44	13	3,21	4,45	-27,87
HPL-N 250W	jednostrani	29	15	3,11	4,12	-24,51	17	2,50	3,40	-26,47
HPL-N 125W	dvostrani	24	25	3,51	4,58	-23,36	32	3,59	4,59	-21,79

TABELA 7

TABELA 7

			Pad napona ΔU [%] za $\cos\varphi=0.95$							
			Al 16mm ²				Al 25mm ²			
TIP	RASPORED	RASPON L ₁ [m]	n	ΔU [%] edb	ΔU [%] tač	Razlika[%]	n	ΔU [%] edb	ΔU [%] tač	Razlika[%]
SON-T 400W	dvostrani	34	11	3,23	4,24	-23,82	14	3,22	3,85	-16,36
SON-T 250W	jednostrani	38	13	3,15	4,07	-22,60	17	3,32	4,18	-20,57
SON-T 150W	jednostrani	34	18	3,25	3,88	-16,24	22	3,02	3,59	-15,88
SON-T 400W	centralni	50	7	3,66	4,31	-15,08	8	2,99	3,50	-14,57
SON-T 250W	centralni	45	9	3,42	4,03	-15,14	11	3,18	3,74	-14,97
SON-T 150W	centralni	40	12	3,28	3,87	-15,25	23	7,37	8,65	-14,80
HPI-T 400W	dvostrani	40	9	2,58	3,46	-25,43	13	3,22	4,15	-22,41
HPI-T 250W	jednostrani	40	13	3,33	4,31	-22,74	17	3,51	4,42	-20,59
CDO-TT 150W	jednostrani	31	20	3,57	4,27	-16,39	25	3,48	4,29	-18,88
HPI-T 400W	centralni	50	7	3,61	4,25	-15,06	9	3,68	4,32	-14,81
HPI-T 250W	centralni	47	9	3,59	4,23	-15,13	11	3,34	3,92	-14,80
CDO-TT 150W	centralni	33	11	2,27	2,68	-15,30	17	3,35	3,93	-14,76
HPL-N 400W	dvostrani	40	10	3,11	3,76	-17,29	13	3,21	4,14	-22,46
HPL-N 250W	jednostrani	29	15	3,11	3,84	-19,01	17	2,50	3,16	-20,89
HPL-N 125W	dvostrani	24	25	3,51	4,25	-17,41	32	3,59	4,25	-15,53

1.3.4.1. Komentar

Iz tabela 5-7 može da se vidi da se razlike padova napona dobijenih pomoću tačnih formula i formula koje koristi EDB kreću između 14% i 34%. Takođe se vidi da se sa porastom $\cos\varphi$ ova razlika smanjuje. Činjenica da su razlike negativne pokazuje da se primenom formula koje koristi EDB dobijaju padovi napona koji su manji od stvarnih, što u praksi može dovesti do nedozvoljeno velikog smanjenja svetlosnog fluksa izvora svetlosti, a samim tim i do pogoršanja kvaliteta javnog osvetljenja.

Međutim, kako se predlaže napuštanje projektovanja dvofazne instalacije javnog osvetljenja, odnosno predlaže projektovanje trofazne, u budućoj praksi treba koristiti napred izvedene tačne formule za trofazni sistem.

Kako vrednost faktora snage ($\cos\varphi$) utiče na sve rezultate proračuna, treba od proizvođača svetiljki zahtevati ugradnju kondenzatora koji bi omogućili $\cos\varphi \geq 0.9$, što u odnosu na ukupnu cenu instalacije predstavlja malu investiciju sa značajnim pozitivnim posledicama. Bolji efekat ($\cos\varphi \approx 1$) postiže se primenom elektronskih balasta, koji su, nažalost, još uvek višestruko skuplji od konvencionalnih (elektromagnetnih).

Literatura

1. Miomir B. Kostić, "Teorija i praksa projektovanja električnih instalacija", Akademska misao, Beograd, 2005.
2. Miomir B. Kostić, "Osvetljenje puteva", Minel-Schreder, Beograd, 2006.
3. Philips Lighting, "Katalog svetiljki", 2006.
4. Miodrag Kirović, Ana Pecić i Maja Slijepčević, "Energetsko napajanje instalacije javnog osvetljenja povišenim naponom", Savetovanje DOS-a: Osvetljenje '01, Arandelovac, 2001.

2. Uporedni prikaz trofaznog i dvofaznog sistema napajanja u javnom osvetljenju

2.1. Uvod

Za izradu ovakve analize osnovni ulazni podaci su:

- geometrija saobraćajnice (broj i širina voznih traka, širina centralnog (nevoznog) pojasa),
- visina stuba (tačnije, visina optičkog centra svetiljke),
- dužina lire,
- rastojanje stuba od bliže ivice kolovoza,
- tip svetiljke,
- tip i snaga izvora svetlosti i balasta,
- nagib svetiljke,
- svetlotehnička klasa saobraćajnice,
- refleksiona klasa kolovoza i vrednost srednjeg koeficijenta sjajnosti (Q_0), i
- tip i presek kabla za napajanje instalacije javnog osvetljenja.

Pošto je primarni cilj ove analize upoređivanje efikasnosti i ekonomičnosti različitih instalacija javnog osvetljenja sa aspekta sistema napajanja, izvršena su sledeća pojednostavljenja:

- izabrano je 15 saobraćajnica i za svaku od njih su urađeni fotometrijski proračuni. Izabrani su tipični profili saobraćajnica (2 ili 3 vozne trake, svaka širine 3.5m),
- izbor svetlotehničke klase saobraćajnice (preporučenog nivoa sjajnosti), visine stuba, dužine lire (ukoliko je ima), nagiba svetiljke i prevesa izvršen je empirijski, na osnovu višegodišnjeg iskustva u oblasti fotometrijskih proračuna javnog osvetljenja,
- analiza je urađena za 3 najprisutnija tipa izvora svetlosti u javnom osvetljenju: natrijumov izvor visokog pritiska, metal-halogeni i živin izvor visokog pritiska, čije su snage 150W (125W za živin izvor), 250W i 400W,
- analiza je urađena sa svetiljkama tipa ONYX 2, ONYX 3, Z2 i Z3 (Minel-Schreder),

- usvojena je refleksiona klasa saobraćajnice R III ($Q_0=0.07\text{cd}/(\text{lx}\cdot\text{m}^2)$), koja je karakteristična za površinske slojeve kolovoza u Srbiji,
- analiza je vršena sa provodnicima od bakra i aluminijuma, preseka $S=10, 16$ i 25 mm^2 , i
- pri izradi analize pretpostavljene su sledeće vrednosti faktora snage svetiljke: $\cos\varphi=0.85, 0.90$ i 0.95 .

Za svetiljke sa natrijumovim i metal-halogenim sijalicama analizirano je po 6 situacija - 3 sa centralnim i 3 za jednostranim (dvostranim) rasporedom stubova, a za svetiljke sa živinim sijalicama 3 situacije - samo sa jednostranim (dvostranim) rasporedom stubova.

Fotometrijska analiza je imala za cilj da za potrebe dalje analize obezbedi samo jedan izlazni podatak - *rastojanje između susednih stubova, L_1 !*

2.2. Proračuni pada napona

Korišćenjem formula izvedenih u poglavlju 1 ove studije, za svaku od 15 izabranih saobraćajnica izvršeni su proračuni pada napona, sa ciljem da se za svaku kombinaciju S i $\cos\varphi$ odredi maksimalan dozvoljeni broj stubova po jednoj napojnoj deonici, $n_{\max}$, za koji pad napona neće preći maksimalno dozvoljeni pad napona, $\Delta u_{\max}$.

Prema podacima Philips Lighting-a [1], maksimalno dozvoljena vrednost pada napona za analizirane izvore svetlosti iznosi 8%. Kako se za potrebe proračuna u ovoj analizi za pad napona od TS do RO i od pločice u stubu do svetiljke ostavlja 3%, $\Delta u_{\max}$ iznosi 5%. Pošto je vrednost napona u samoj TS 10/0.4kV za 5% veća od nominalne (iznosi 231V), jasno je da će usvajanjem vrednosti od 5% za $\Delta u_{\max}$ maksimalna vrednost stvarnog pada napona (u odnosu na nominalni napon) iznositi najviše par procenata. U tabeli 1 date su vrednosti podužnih aktivnih i induktivnih otpornosti bakarnih i aluminijumskih kablova za različite preseke i različit broj žila (u zavisnosti od toga da li se radi o trofaznom ili dvofaznom sistemu napajanja, odnosno da li se koristi 4-žilni ili 3-žilni kabl). Zbog otežanog priključivanja, ne preporučuje se upotreba kablova preseka većeg od 25mm^2 . Snage balasta za svaki tip i snagu sijalice date su u poglavlju 1 ove studije.

Tabela 1. Podužne aktivne i induktivne otpornosti kablova

	S = 10mm ²	S = 16mm ²	S = 25mm ²
r_{Cu} [Ω/km]	1.81	1.14	0.727
r_{Al} [Ω/km]	3	1.89	1.18
X_{3f} [Ω/km]	0.094	0.09	0.086
X_{2f} [Ω/km]	0.088	0.083	0.08

Maksimalno dozvoljeni brojevi stubova i odgovarajući padovi napona za sve razmatrane slučajeve, i to kako za trofazni, tako i za dvofazni sistem napajanja, dati su tabelarno (tabele 2-7).

Tabela 2. Maksimalno dozvoljeni brojevi stubova i odgovarajući padovi napona za trofazni sistem: $\cos\varphi=0.85$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L_1 [m]	MAKSIMALAN BROJ STUBOVA n_{max} ODGOVARAJUĆI PAD NAPONA ΔU [%]											
			Cu [mm ²]						Al [mm ²]					
			10		16		25		10		16		25	
			n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]
SON-T 400W	2-strani	34	19	4.94	24	4.72	31	4.85	14	4.88	18	4.65	24	4.94
SON-T 250W	1-strani	38	23	4.94	29	4.76	37	4.79	17	4.81	22	4.74	29	4.99
SON-T 150W	1-strani	34	32	4.96	41	4.99	51	4.84	24	4.82	31	4.87	40	5.00
SON-T 400W	centralni	50	11	4.81	14	4.67	18	4.70	8	4.65	10	4.21	14	4.90
SON-T 250W	centralni	45	15	4.75	19	4.67	24	4.64	11	4.59	15	4.95	19	4.89
SON-T 150W	centralni	40	21	4.85	27	4.94	34	4.95	16	4.86	20	4.64	26	4.85
HPI-T 400W	2-strani	40	17	4.72	22	4.68	29	4.95	13	4.94	17	4.92	22	4.91
HPI-T 250W	1-strani	40	22	4.82	28	4.72	36	4.80	16	4.57	21	4.59	28	4.95
CDO-TT 150W	1-strani	31	34	4.98	43	4.91	54	4.86	25	4.69	33	4.90	42	4.91
HPI-T 400W	centralni	50	11	4.75	14	4.60	18	4.63	8	4.59	11	4.95	14	4.83
HPI-T 250W	centralni	47	15	4.99	19	4.90	24	4.87	11	4.82	14	4.65	18	4.61
CDO-TT 150W	centralni	33	23	4.72	30	4.93	37	4.75	18	4.90	23	4.91	29	4.87
HPL-N 400W	2-strani	40	17	4.71	22	4.67	29	4.94	13	4.93	17	4.91	22	4.90
HPL-N 250W	1-strani	29	27	4.92	34	4.79	44	4.99	20	4.79	26	4.82	33	4.74
HPL-N 125W	2-strani	24	43	4.91	55	4.98	69	4.96	33	4.93	42	4.89	53	4.87

Tabela 3. Maksimalno dozvoljeni brojevi stubova i odgovarajući padovi napona za dvofazni sistem: $\cos\varphi=0.85$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L_1 [m]	MAKSIMALAN BROJ STUBOVA n_{max} ODGOVARAJUĆI PAD NAPONA ΔU [%]											
			Cu [mm ²]						Al [mm ²]					
			10		16		25		10		16		25	
			n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]
SON-T 400W	2-strani	34	12	4.95	15	4.76	19	4.73	9	4.87	11	4.43	14	4.38
SON-T 250W	1-strani	38	14	4.72	18	4.79	23	4.86	10	4.18	14	4.93	18	4.98
SON-T 150W	1-strani	34	19	4.70	24	4.62	31	4.82	14	4.98	18	4.42	24	4.87
SON-T 400W	centralni	50	7	4.76	9	4.83	11	4.49	5	4.23	7	4.98	8	4.06
SON-T 250W	centralni	45	9	4.45	12	4.87	15	4.75	7	4.59	9	4.65	11	4.33
SON-T 150W	centralni	40	13	4.99	16	4.70	20	4.60	10	4.99	12	4.46	16	4.94
HPI-T 400W	2-strani	40	11	4.88	14	4.80	18	4.90	8	4.49	10	4.25	13	4.41
HPI-T 250W	1-strani	40	14	4.99	17	4.56	22	4.72	10	4.42	13	4.56	17	4.79
CDO-TT 150W	1-strani	31	20	4.66	26	4.86	33	4.90	15	4.48	20	4.86	25	4.75
HPI-T 400W	centralni	50	7	4.70	9	4.76	11	4.43	5	4.17	7	4.91	9	5.00
HPI-T 250W	centralni	47	9	4.68	11	4.32	15	4.98	7	4.82	9	4.88	11	4.55
CDO-TT 150W	centralni	33	14	4.71	18	4.84	23	4.95	11	4.90	14	4.92	17	4.55
HPL-N 400W	2-strani	40	11	4.87	14	4.79	18	4.88	8	4.47	10	4.24	13	4.40
HPL-N 250W	1-strani	29	16	4.58	21	4.86	26	4.64	12	4.42	16	4.79	20	4.65
HPL-N 125W	2-strani	24	26	4.93	32	4.65	41	4.78	20	4.93	25	4.78	32	4.89

Tabela 4. Maksimalno dozvoljeni brojevi stubova i odgovarajući padovi napona za trofazni sistem: $\cos\varphi=0.90$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L_1 [m]	MAKSIMALAN BROJ STUBOVA $n_{\max}$ I ODGOVARAJUĆI PAD NAPONA ΔU [%]											
			Cu [mm ²]						Al [mm ²]					
			10		16		25		10		16		25	
			n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]
SON-T 400W	2-strani	34	19	4.87	24	4.63	31	4.75	14	4.80	18	4.58	24	4.86
SON-T 250W	1-strani	38	23	4.86	30	4.95	38	4.94	17	4.75	22	4.68	29	4.91
SON-T 150W	1-strani	34	32	4.90	41	4.92	52	4.94	24	4.77	31	4.81	40	4.93
SON-T 400W	centralni	50	11	4.74	14	4.59	18	4.60	8	4.58	11	4.94	14	4.82
SON-T 250W	centralni	45	15	4.69	19	4.60	25	4.92	11	4.53	15	4.89	19	4.82
SON-T 150W	centralni	40	21	4.79	27	4.87	34	4.86	16	4.80	21	4.99	26	4.78
HPI-T 400W	2-strani	40	17	4.64	23	4.98	29	4.85	13	4.87	17	4.84	22	4.83
HPI-T 250W	1-strani	40	22	4.75	29	4.95	37	4.97	16	4.51	22	4.95	28	4.87
CDO-TT 150W	1-strani	31	34	4.92	43	4.84	55	4.95	26	4.99	33	4.84	42	4.85
HPI-T 400W	centralni	50	11	4.68	14	4.53	18	4.54	8	4.52	11	4.88	14	4.75
HPI-T 250W	centralni	47	15	4.93	19	4.83	24	4.78	11	4.76	14	4.59	18	4.55
CDO-TT 150W	centralni	33	23	4.66	30	4.87	38	4.92	18	4.86	23	4.86	29	4.80
HPL-N 400W	2-strani	40	17	4.63	23	4.96	29	4.84	13	4.86	17	4.83	22	4.82
HPL-N 250W	1-strani	29	27	4.85	35	4.98	44	4.88	20	4.72	26	4.76	34	4.95
HPL-N 125W	2-strani	24	43	4.86	55	4.91	69	4.87	33	4.89	42	4.84	54	4.97

Tabela 5. Maksimalno dozvoljeni brojevi stubova i odgovarajući padovi napona za dvofazni sistem: $\cos\varphi=0.90$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L_1 [m]	MAKSIMALAN BROJ STUBOVA $n_{\max}$ I ODGOVARAJUĆI PAD NAPONA ΔU [%]											
			Cu [mm ²]						Al [mm ²]					
			10		16		25		10		16		25	
			n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]
SON-T 400W	2-strani	34	12	4.68	15	4.49	20	4.87	9	4.64	12	4.89	15	4.73
SON-T 250W	1-strani	38	14	4.76	18	4.50	24	4.93	11	4.76	14	4.66	18	4.74
SON-T 150W	1-strani	34	20	4.87	25	4.71	32	4.78	15	4.71	19	4.63	24	4.57
SON-T 400W	centralni	50	7	4.47	9	4.51	12	4.94	5	3.97	7	4.67	9	4.75
SON-T 250W	centralni	45	9	4.17	12	4.55	16	5.00	7	4.31	9	4.36	12	4.79
SON-T 150W	centralni	40	13	4.67	17	4.94	21	4.71	10	4.69	13	4.88	16	4.62
HPI-T 400W	2-strani	40	11	4.63	14	4.52	18	4.59	8	4.27	11	4.83	14	4.76
HPI-T 250W	1-strani	40	14	4.72	18	4.76	23	4.82	10	4.2	14	4.92	17	4.52
CDO-TT 150W	1-strani	31	21	4.83	27	4.92	34	4.84	16	4.77	20	4.58	26	4.80
HPI-T 400W	centralni	50	7	4.40	9	4.45	12	4.87	5	3.92	7	4.60	9	4.69
HPI-T 250W	centralni	47	9	4.38	12	4.78	15	4.64	7	4.53	9	4.58	11	4.26
CDO-TT 150W	centralni	33	14	4.41	18	4.52	24	5.01	11	4.61	14	4.61	18	4.76
HPL-N 400W	2-strani	40	11	4.61	14	4.51	18	4.58	8	4.26	11	4.82	14	4.75
HPL-N 250W	1-strani	29	17	4.87	22	4.98	27	4.68	12	4.19	16	4.52	21	4.81
HPL-N 125W	2-strani	24	26	4.64	34	4.90	43	4.90	20	4.66	26	4.85	33	4.88

Tabela 6. Maksimalno dozvoljeni brojevi stubova i odgovarajući padovi napona za trofazni sistem: $\cos\varphi=0.95$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L_1 [m]	MAKSIMALAN BROJ STUBOVA n_{max} ODGOVARAJUĆI PAD NAPONA ΔU [%]											
			Cu [mm ²]						Al [mm ²]					
			10		16		25		10		16		25	
			n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]
SON-T 400W	2-strani	34	19	4.78	25	4.91	32	4.92	14	4.72	19	4.99	24	4.77
SON-T 250W	1-strani	38	23	4.78	30	4.86	38	4.82	17	4.67	23	4.99	29	4.82
SON-T 150W	1-strani	34	32	4.83	41	4.83	52	4.83	24	4.70	31	4.75	40	4.85
SON-T 400W	centralni	50	11	4.66	14	4.50	19	4.97	8	4.51	11	4.86	14	4.73
SON-T 250W	centralni	45	15	4.62	20	4.98	25	4.81	11	4.47	15	4.82	19	4.74
SON-T 150W	centralni	40	21	4.73	27	4.80	34	4.75	16	4.75	21	4.93	26	4.71
HPI-T 400W	2-strani	40	18	4.96	23	4.88	30	5.00	13	4.79	17	4.75	22	4.73
HPI-T 250W	1-strani	40	22	4.67	29	4.86	37	4.85	17	4.94	22	4.87	28	4.78
CDO-TT 150W	1-strani	31	34	4.85	44	4.97	55	4.84	26	4.92	33	4.77	43	5.00
HPI-T 400W	centralni	50	11	4.60	15	4.97	19	4.90	8	4.44	11	4.79	14	4.67
HPI-T 250W	centralni	47	15	4.85	19	4.74	24	4.68	11	4.69	14	4.52	19	4.98
CDO-TT 150W	centralni	33	24	4.96	30	4.79	38	4.82	18	4.80	23	4.80	29	4.73
HPL-N 400W	2-strani	40	18	4.95	23	4.87	30	4.99	13	4.77	17	4.74	22	4.72
HPL-N 250W	1-strani	29	27	4.78	35	4.89	45	4.98	20	4.66	27	4.98	34	4.87
HPL-N 125W	2-strani	24	43	4.80	56	5.00	70	4.90	33	4.83	42	4.78	54	4.90

Tabela 7. Maksimalno dozvoljeni brojevi stubova i odgovarajući padovi napona za dvofazni sistem: $\cos\varphi=0.95$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L_1 [m]	MAKSIMALAN BROJ STUBOVA n_{max} ODGOVARAJUĆI PAD NAPONA ΔU [%]											
			Cu [mm ²]						Al [mm ²]					
			10		16		25		10		16		25	
			n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]
SON-T 400W	2-strani	34	12	4.38	16	4.69	20	4.49	9	4.36	12	4.57	16	4.93
SON-T 250W	1-strani	38	15	4.75	19	4.64	24	4.54	11	4.47	14	4.34	19	4.89
SON-T 150W	1-strani	34	20	4.53	26	4.69	34	4.94	16	4.95	20	4.73	26	4.94
SON-T 400W	centralni	50	7	4.12	9	4.15	12	4.52	5	3.68	7	4.31	9	4.38
SON-T 250W	centralni	45	10	4.71	13	4.88	16	4.58	7	3.99	10	4.92	17	4.76
SON-T 150W	centralni	40	14	4.98	17	4.54	22	4.72	10	4.34	13	4.51	24	4.94
HPI-T 400W	2-strani	40	11	4.33	15	4.80	19	4.71	8	4.01	11	4.52	14	4.43
HPI-T 250W	1-strani	40	14	4.40	18	4.42	24	4.80	11	4.73	14	4.59	18	4.66
CDO-TT 150W	1-strani	31	22	4.89	28	4.87	36	4.97	16	4.45	21	4.69	27	4.80
HPI-T 400W	centralni	50	7	4.07	10	5.00	12	4.45	5	3.63	7	4.25	9	4.31
HPI-T 250W	centralni	47	10	4.95	12	4.39	16	4.81	7	4.19	9	4.23	12	4.63
CDO-TT 150W	centralni	33	15	4.66	19	4.62	25	4.96	11	4.26	15	4.87	19	4.87
HPL-N 400W	2-strani	40	11	4.32	15	4.79	19	4.69	8	4.00	11	4.51	14	4.41
HPL-N 250W	1-strani	29	17	4.54	22	4.61	28	4.60	13	4.58	17	4.74	22	4.86
HPL-N 125W	2-strani	24	28	4.97	35	4.80	44	4.70	21	4.78	27	4.85	34	4.78

2.3. Provera termičkog opterećenja kabla i efikasnosti TN sistema zaštite

Na osnovu maksimalno dozvoljenog broja stubova na jednoj izvodnoj deonici ($n_{\max}$), određenog prema kriterijumu maksimalno dozvoljenog pada napona $\Delta u_{\max}$, određuje se maksimalna vrednost fazne struje (I_f) napojne deonice (na izlazu iz razvodnog ormara). Ne postoji jedinstvena formula za izračunavanje ove struje (videti poglavlje 1 ove studije), pa je priložena tabela 8 sa formulama koje treba koristiti u zavisnosti od vrednosti broja stubova n .

Tabela 8. Formule za izračunavanje maksimalne vrednosti fazne struje

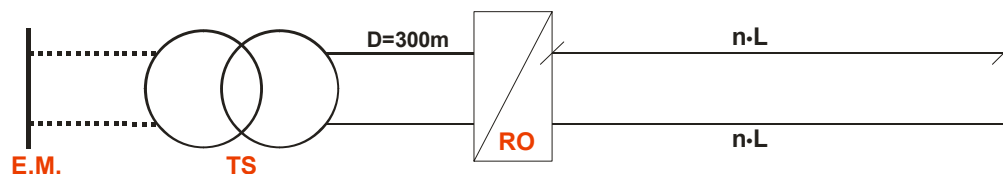
TROFAZNI SISTEM		DVOFAZNI SISTEM	
JEDNOSTRANI RASPORED		JEDNOSTRANI RASPORED	
$n=3 \cdot k$	$I_f = n/3 \cdot I_{f1}$	$n=2 \cdot k$	$I_f = n/2 \cdot I_{f1}$
$n=3 \cdot k+1$	$I_f = (n+2)/3 \cdot I_{f1}$	$n=2 \cdot k+1$	$I_f = (n+1)/2 \cdot I_{f1}$
$n=3 \cdot k+2$	$I_f = (n+1)/3 \cdot I_{f1}$		
CENTRALNI RASPORED		CENTRALNI RASPORED	
$n=3 \cdot k$	$I_f = 2n/3 \cdot I_{f1}$	$n=2 \cdot k$	$I_f = n \cdot I_{f1}$
$n=3 \cdot k+1$	$I_f = (2n+1)/3 \cdot I_{f1}$		
$n=3 \cdot k+2$	$I_f = (2n+2)/3 \cdot I_{f1}$		

Struja jedne svetiljke, sa sijalicom snage P_{ls} i balastom snage P_b , određena je formulom:

$$I_{f1} = \frac{P_{ls} + P_b}{U_f \cdot \cos \varphi}$$

($\cos \varphi$ je faktor snage svetiljke sa ugrađenim kondenzatorom).

Na osnovu maksimalne vrednosti fazne struje vrši se izbor nominalne struje uloška osigurača (I_{os}), koja se poredi sa maksimalno dozvoljenim strujnim opterećenjem kabla (I_{td}). Određuje se impedansa petlje kvara, prikazane na slici 1, i proverava da li instalacija zadovoljava uslove TN sistema zaštite (nulovanja).



Slika 1. Petlja kvara

Impedansa petlje kvara je data izrazom:

$$\underline{Z_k} = \underline{Z_{ID}} + \underline{Z_{NK}} + \underline{Z_T} + \underline{Z_M}$$

u kome su:

$\underline{Z_{ID}}$ – impedansa izvodne (kablovske) deonice od RO do mesta kvara,

$\underline{Z_{NK}}$ – impedansa napojnog kabla od TS do RO,

$\underline{Z_T}$ – impedansa energetskog transformatora, i

$\underline{Z_M}$ – impedansa energetske mreže.

Impedansa izvodne deonice se određuje pomoću izraza:

$$\underline{Z_{ID}} = 2 \cdot n \cdot L \cdot (r_{ID} + jx_{ID})$$

(n je broj stubova, L je dužina kabla, odnosno rastojanje između susednih stubova uvećano za 2m, a r_{ID} i x_{ID} su podužna aktivna i induktivna otpornost izvodne deonice).

Impedansa napojnog kabla se određuje korišćenjem izraza:

$$\underline{Z_{NK}} = 2 \cdot D \cdot (r_{NK} + jx_{NK})$$

(D je dužina napojnog voda, a r_{NK} i x_{NK} su podužna aktivna i induktivna otpornost napojnog kabla).

Za određivanje impedanse napojnog kabla bira se najmanji presek napojnog kabla koji je zastupljen u instalacijama javnog osvetljenja. Svi veći preseki kabla su manje kritični sa stanovišta efikasnosti TN sistema zaštite, jer imaju manje impedanse. Kabl najmanjeg preseka je kabl tipa **PP00-AY 4x50 mm²**, čije podužne otpornosti imaju sledeće vrednosti:

$$r_{NK} = 0.628 \Omega/km \quad i$$

$$x_{NK} = 0.083 \Omega/km.$$

Dužina kabla između TS i RO obično nije veća od **D=300m**, pa će se proračuni vršiti sa ovom vrednošću kao kritičnom.

Ukupna impedansa od TS do mesta kvara data je izrazom:

$$Z_I = \sqrt{(R_{ID} + R_{NK})^2 + (X_{ID} + X_{NK})^2}$$

Prilikom izračunavanja impedanse petlje kratkog spoja treba uzeti u obzir i:

- impedansu energetske mreže od mesta proizvodnje električne energije do transformacije SN/NN ($Z_M < 0.001\Omega$), i
- impedansu energetskog transformatora (ona je najveća (kritična) za transformator snage **250kVA** (najmanja snaga transformatora koji se koriste u javnom osvetljenju), kada iznosi $Z_T = 0.024\Omega$).

Iako su u pitanju kompleksne veličine, kod kojih vrednost impedanse zavisi i od aktivne i od reaktivne komponente, zbog veoma male vrednosti zbira impedansi $Z_T + Z_M = 0.025\Omega$, ukupna impedansa petlje kvara može da se izračuna kao prost zbir $Z_I + Z_T + Z_M$.

*Dakle, ukupna **impedansa petlje kvara** data je izrazom:*

$$Z_k = Z_I + 0.025 \quad [\Omega]$$

Na osnovu vrednosti impedanse petlje kvara izračunava se struja koja se uspostavlja u petlji kvara (sa U_f je označen fazni napon):

$$I_k = \frac{U_f}{Z_k}$$

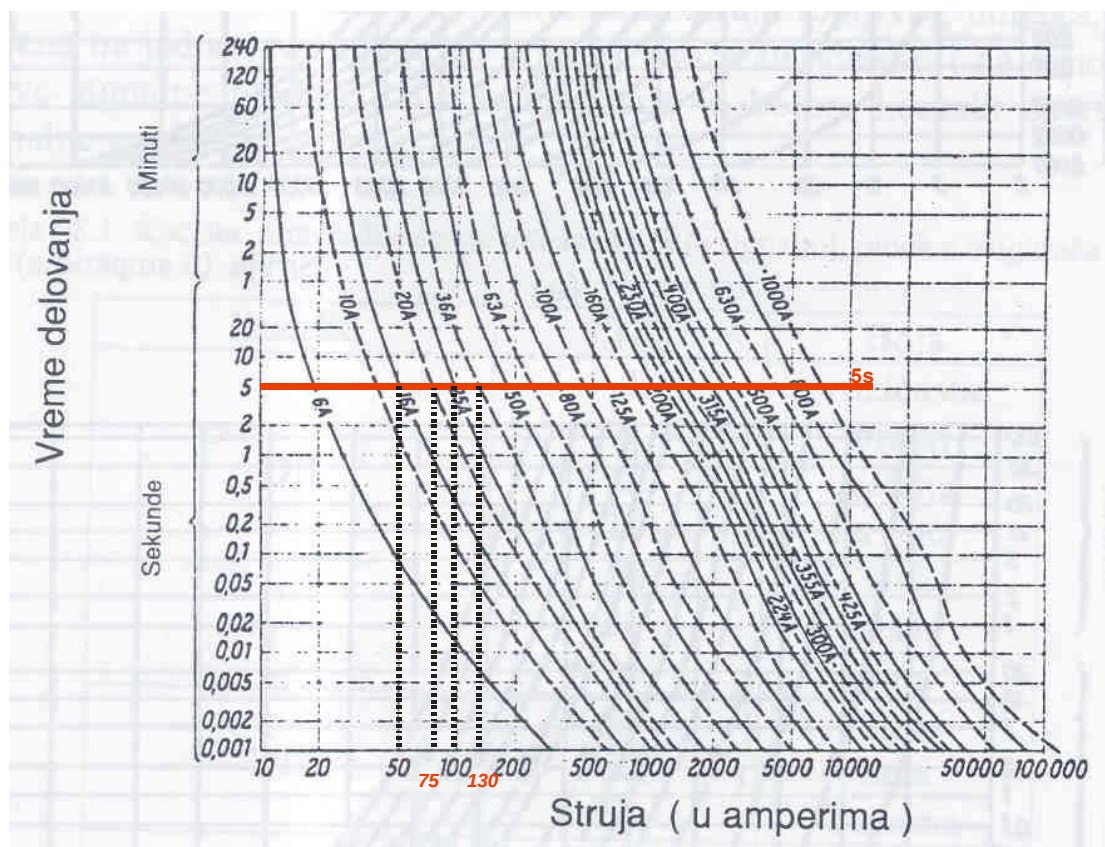
Uslovi efikasnog delovanja zaštite u TN sistemu definisani su Standardom JUS N.B2.741. Smatra se da je u TN sistemu zaštita od *jednopolnog kratkog spoja* efikasna ako je obezbeđeno da se kvar automatski eliminiše u okviru vremenskog intervala propisanog ovim standardom.

Vreme isključenja do 5s dozvoljava se za napojne vodove, u koje spadaju i strujna kola javnog osvetljenja. Za provodnik manjeg preseka koji

povezuje ploču sa osiguračem u stubu (6A ili 10A) i svetiljku maksimalno dozvoljeno vreme isključenja iznosi 0.4s.

Kako je nominalna struja osigurača u stubu najmanje 2 stepena niža od nominalne struje **visokoučinskih osigurača** koji štite izvodnu deonicu, može da se zaključi da će manji osigurač, koji se nalazi u stubu i štiti instalaciju svetiljke, sigurno zadovoljiti u pogledu efikasnosti zaštite ukoliko zadovolji osigurač smešten u razvodnom ormanu.

Na osnovu vrednosti prethodno određene nominalne struje osigurača I_{os} , sa dijagrama na slici 2 za maksimalno dozvoljeno vreme reagovanja (isključenja) osigurača od **5s** može da se odredi struja I_a , koja predstavlja najmanju struju koja obezbeđuje isključenje izvodne deonice u kojoj je nastao kvar.



Slika 2. Krive strujnog opterećenja topljivih umetaka osigurača tipa NV

Na apscisi dijagrama sa slike 2 naznačene su vrednosti struja I_a za očekivane nominalne struje umetaka NV osigurača od 16, 20, 25 i 35A.

Na kraju se proverava da li je:

$$I_k \geq I_a$$

Ukoliko je ovaj uslov zadovoljen, zaštita je efikasna.

Provera efikasnosti zaštite izvršice se i za slučaj korišćenja **automatskih prekidača** sa karakteristikom okidanja B. Automatski prekidači sa ovom karakteristikom smatraju se standardnim i koriste se za zaštitu strujnih kola u stambenim, poslovnim i javnim objektima. Njihova primena ima smisla naročito za specifične tipove spoljnog osvetljenja, kada uslovi zahtevaju korišćenje kablova manjeg preseka.

Za karakteristiku okidanja B je $I_a = I_4 = 3I_n$ (I_n je nominalna struja automatskog prekidača (u konkretnom slučaju 16, 20, 25 ili 32A, a $I_a(I_4)$ predstavlja minimalnu struju koja obezbeđuje njegovo reagovanje, koje se svakako realizuje unutar 5s).

Proverava se da li je:

$$I_k \geq I_a$$

Ukoliko je ovaj uslov zadovoljen, zaštita je efikasna.

Efikasnost zaštite se ispituje za svaku od 15 izabranih saobraćajnica, kao i za sve preseke kablova i faktore snage.

Rezultati proračuna su dati tabelarno (tabele 9-20). Ove tabele sadrže broj stubova n , maksimalnu faznu struju I_f , odnos maksimalne fazne i trajno dozvoljene struje kabla I_f/I_{td} , nominalnu struju osigurača I_{os} , struju kvara I_k , minimalnu struju reagovanja (I_a) za osigurače tipa N i minimalnu struju reagovanja (I_4) za automatske prekidače.

Tabela 9. Provera efikasnosti TN sistema zaštite za trofazni sistem – bakarni provodnici: $\cos\varphi=0.85$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L_1 [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA $\cos\varphi=0.85$ - TROFAZNI SISTEM																		
			BAKARNI PROVODNICI																		
			10 mm ²							16 mm ²							25 mm ²				
			n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]
SON-T 400W	2-strani	34	19	16.03	30.83	20	76.08	75	60	24	18.32	27.34	20	92.09	75	60	31	25.19	29.29	35	195.43
SON-T 250W	1-strani	38	23	11.84	22.77	16	58.71	50	48	29	14.80	22.09	16	71.76	50	48	37	19.24	22.37	25	163.09
SON-T 150W	1-strani	34	32	10.01	19.25	16	47.95	50	48	41	12.74	19.01	16	58.07	50	48	51	15.47	17.99	20	133.01
SON-T 400W	centralni	50	11	18.32	35.23	20	88.51	80	60	14	22.90	34.18	25	105.88	100	75	18	27.48	31.95	35	229.05
SON-T 250W	centralni	45	15	14.80	28.46	16	74.13	50	48	19	19.24	28.72	25	89.61	100	75	24	23.68	27.53	25	202.47
SON-T 150W	centralni	40	21	12.74	24.50	16	60.95	50	48	27	16.38	24.45	20	73.18	75	60	34	20.93	24.34	25	169.37
HPI-T 400W	2-strani	40	17	13.56	26.08	16	73.32	50	48	22	18.08	26.99	20	87.09	75	60	29	22.60	26.28	25	190.26
HPI-T 250W	1-strani	40	22	11.92	22.92	16	58.49	50	48	28	14.90	22.24	16	70.91	50	48	36	17.88	20.79	20	162.52
CDO-TT 150W	1-strani	31	34	10.80	20.77	16	49.11	50	48	43	13.50	20.15	16	60.14	50	48	54	16.20	18.84	20	133.21
HPI-T 400W	centralni	50	11	18.08	34.77	20	88.51	80	60	14	22.60	33.73	25	105.88	100	75	18	27.12	31.53	35	229.05
HPI-T 250W	centralni	47	15	14.90	28.65	16	71.51	50	48	19	19.37	28.91	25	86.54	100	75	24	23.84	27.72	25	198.50
CDO-TT 150W	centralni	33	23	14.40	27.69	16	66.06	50	48	30	18.00	26.87	20	78.17	75	60	37	22.50	26.16	25	175.04
HPL-N 400W	2-strani	40	17	13.56	26.08	16	73.32	50	48	22	18.08	26.99	20	87.09	75	60	29	22.60	26.28	25	190.26
HPL-N 250W	1-strani	29	27	12.96	24.92	16	63.84	50	48	34	17.28	25.79	20	77.92	75	60	44	21.60	25.12	25	164.16
HPL-N 125W	2-strani	24	43	10.95	21.06	16	49.27	50	48	55	13.87	20.70	16	59.73	50	48	69	16.79	19.52	20	123.63

Tabela 10. Provera efikasnosti TN sistema zaštite za trofazni sistem – aluminijumski provodnici: $\cos\varphi=0.85$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L_1 [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA $\cos\varphi=0.85$ - TROFAZNI SISTEM																		
			ALUMINIJUMSKI PROVODNICI																		
			10 mm ²							16 mm ²							25 mm ²				
			n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]
SON-T 400W	2-strani	34	14	11.45	28.63	16	64.01	50	48	18	13.74	26.42	16	76.81	50	48	24	18.32	27.76	20	164.53
SON-T 250W	1-strani	38	17	8.88	22.20	16	48.96	50	48	22	11.84	22.77	16	58.79	50	48	29	14.80	22.42	16	132.88
SON-T 150W	1-strani	34	24	7.28	18.20	16	39.30	50	48	31	10.01	19.25	16	47.46	50	48	40	12.74	19.30	16	104.94
SON-T 400W	centralni	50	8	13.74	34.35	16	75.63	50	48	10	16.03	30.83	20	92.44	75	60	14	22.90	34.70	25	198.27
SON-T 250W	centralni	45	11	11.84	29.60	16	62.59	50	48	15	14.80	28.46	16	71.43	50	48	19	19.24	29.15	25	169.84
SON-T 150W	centralni	40	16	10.01	25.03	16	49.49	50	48	20	12.74	24.50	16	61.27	50	48	26	16.38	24.82	20	140.55
HPI-T 400W	2-strani	40	13	11.30	28.25	16	59.63	50	48	17	13.56	26.08	16	70.65	50	48	22	18.08	27.39	20	161.47
HPI-T 250W	1-strani	40	16	8.94	22.35	16	49.49	50	48	21	10.43	20.06	16	58.67	40	48	28	14.90	22.58	16	133.58
CDO-TT 150W	1-strani	31	25	8.10	20.25	16	41.01	50	48	33	9.90	19.04	16	48.53	50	48	42	12.60	19.09	16	106.12
HPI-T 400W	centralni	50	8	13.56	33.90	16	75.63	50	48	11	18.08	34.77	20	85.38	75	60	14	22.60	34.24	25	198.27
HPI-T 250W	centralni	47	11	11.92	29.80	16	60.32	50	48	14	14.90	28.65	16	73.14	50	48	18	17.88	27.09	20	171.71
CDO-TT 150W	centralni	33	18	10.80	27.00	16	52.46	50	48	23	14.40	27.69	16	63.61	50	48	29	18.00	27.27	20	142.45
HPL-N 400W	2-strani	40	13	11.30	28.25	16	59.63	50	48	17	13.56	26.08	16	70.65	50	48	22	18.08	27.39	20	161.47
HPL-N 250W	1-strani	29	20	10.08	25.20	16	53.23	50	48	26	12.96	24.92	16	63.54	50	48	33	15.84	24.00	20	137.51
HPL-N 125W	2-strani	24	33	8.03	20.08	16	39.55	50	48	42	10.22	19.65	16	48.41	50	48	53	13.14	19.91	16	97.42

Tabela 11. Provera efikasnosti TN sistema zaštite za trofazni sistem – bakarni provodnici: $\cos\varphi=0.90$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.90 - TROFAZNI SISTEM																					
			BAKARNI PROVODNICI																					
			10 mm ²								16 mm ²								25 mm ²					
			n	If [A]	If/It'd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/It'd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/It'd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	
SON-T 400W	2-strani	34	19	15.19	29.21	20	76.08	75	60	24	17.36	25.91	20	92.09	75	60	31	23.87	27.76	25	195.43	100	75	
SON-T 250W	1-strani	38	23	11.12	21.38	16	58.71	50	48	30	13.90	20.75	16	69.68	50	48	38	18.07	21.01	20	160.35	75	60	
SON-T 150W	1-strani	34	32	9.46	18.19	16	47.95	50	48	41	12.04	17.97	16	58.07	50	48	52	15.48	18.00	20	131.20	75	60	
SON-T 400W	centralni	50	11	17.36	33.38	20	88.51	75	60	14	21.70	32.39	25	105.88	100	75	18	26.04	30.28	35	229.05	130	96	
SON-T 250W	centralni	45	15	13.90	26.73	16	74.13	50	48	19	18.07	26.97	20	89.61	75	60	25	23.63	27.48	25	197.98	100	75	
SON-T 150W	centralni	40	21	12.04	23.15	16	60.95	50	48	27	15.48	23.10	20	73.18	75	60	34	19.78	23.00	25	169.37	100	75	
HPI-T 400W	2-strani	40	17	12.84	24.69	16	73.32	50	48	23	17.12	25.55	20	83.90	75	60	29	21.40	24.88	25	190.26	100	75	
HPI-T 250W	1-strani	40	22	11.20	21.54	16	58.49	50	48	29	14.00	20.90	16	68.78	50	48	37	18.20	21.16	20	159.72	75	60	
CDO-TT 150W	1-strani	31	34	10.20	19.62	16	49.11	50	48	43	12.75	19.03	16	60.14	50	48	55	16.15	18.78	20	131.49	75	60	
HPI-T 400W	centralni	50	11	17.12	32.92	20	88.51	75	60	14	21.40	31.94	25	105.88	100	75	18	25.68	29.86	35	229.05	130	96	
HPI-T 250W	centralni	47	15	14.00	26.92	16	71.51	50	48	19	18.20	27.16	20	86.54	75	60	24	22.40	26.05	25	198.50	100	75	
CDO-TT 150W	centralni	33	23	13.60	26.15	16	66.06	50	48	30	17.00	25.37	20	78.17	75	60	38	22.10	25.70	25	172.19	100	75	
HPL-N 400W	2-strani	40	17	12.78	24.58	16	73.32	50	48	23	17.04	25.43	20	83.90	75	60	29	21.30	24.77	25	190.26	100	75	
HPL-N 250W	1-strani	29	27	12.24	23.54	16	63.84	50	48	35	16.32	24.36	20	76.01	75	60	44	20.40	23.72	25	164.16	100	75	
HPL-N 125W	2-strani	24	43	10.35	19.90	16	49.27	50	48	55	13.11	19.57	16	59.73	50	48	69	15.87	18.45	20	123.63	75	60	

Tabela 12. Provera efikasnosti TN sistema zaštite za trofazni sistem – aluminijumski provodnici: $\cos\varphi=0.90$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.90 - TROFAZNI SISTEM																					
			ALUMINIJUMSKI PROVODNICI																					
			10 mm²								16 mm²								25 mm²					
			n	If [A]	If/It'd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/It'd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/It'd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	
SON-T 400W	2-strani	34	14	10.85	27.13	16	64.01	50	48	18	13.02	25.04	16	76.81	50	48	24	17.36	26.30	20	164.53	75	60	
SON-T 250W	1-strani	38	17	8.34	20.85	16	48.96	50	48	22	11.12	21.38	16	58.79	50	48	29	13.90	21.06	16	132.88	50	48	
SON-T 150W	1-strani	34	24	6.88	17.20	16	39.30	50	48	31	9.46	18.19	16	47.46	50	48	40	12.04	18.24	16	104.94	50	48	
SON-T 400W	centralni	50	8	13.02	32.55	16	75.63	50	48	11	17.36	33.38	20	85.38	75	60	14	21.70	32.88	25	198.27	100	75	
SON-T 250W	centralni	45	11	11.12	27.80	16	62.59	50	48	15	13.90	26.73	16	71.43	50	48	19	18.07	27.38	20	169.84	75	60	
SON-T 150W	centralni	40	16	9.46	23.65	16	49.49	50	48	21	12.04	23.15	16	58.67	50	48	26	15.48	23.45	20	140.55	75	60	
HPI-T 400W	2-strani	40	13	10.70	26.75	16	59.63	50	48	17	12.84	24.69	16	70.65	50	48	22	17.12	25.94	20	161.47	75	60	
HPI-T 250W	1-strani	40	16	8.40	21.00	16	49.49	50	48	22	11.20	21.54	16	56.28	50	48	28	14.00	21.21	16	133.58	50	48	
CDO-TT 150W	1-strani	31	26	7.65	19.13	16	39.55	50	48	33	9.35	17.98	16	48.53	50	48	42	11.90	18.03	16	105.21	50	48	
HPI-T 400W	centralni	50	8	12.84	32.10	16	75.63	50	48	11	17.12	32.92	20	85.38	75	60	14	21.40	32.42	25	198.27	100	75	
HPI-T 250W	centralni	47	11	11.20	28.00	16	60.32	50	48	14	14.00	26.92	16	73.14	50	48	18	16.80	25.45	20	171.71	75	60	
CDO-TT 150W	centralni	33	18	10.20	25.50	16	52.46	50	48	23	13.60	26.15	16	63.61	50	48	29	17.00	25.76	20	142.45	75	60	
HPL-N 400W	2-strani	40	13	10.65	26.63	16	59.63	50	48	17	12.78	24.58	16	70.65	50	48	22	17.04	25.82	20	161.47	75	60	
HPL-N 250W	1-strani	29	20	9.52	23.80	16	53.23	50	48	26	12.24	23.54	16	63.54	50	48	33	14.96	22.67	16	137.51	50	48	
HPL-N 125W	2-strani	24	33	7.59	18.98	16	39.55	50	48	42	9.66	18.58	16	48.41	50	48	53	12.42	18.82	16	97.42	50	48	

Tabela 13. Provera efikasnosti TN sistema zaštite za trofazni sistem – bakarni provodnici: $\cos\varphi=0.95$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.95 - TROFAZNI SISTEM																				
			BAKARNI PROVOĐNICI																				
			10 mm²							16 mm²							25 mm²						
			n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
SON-T 400W	2-strani	34	19	14.35	27.60	16	76.08	50	48	25	18.45	27.54	20	89.03	75	60	32	22.55	26.22	25	191.90	100	75
SON-T 250W	1-strani	38	23	10.56	20.31	16	58.71	50	48	30	13.20	19.70	16	69.68	50	48	38	17.16	19.95	20	160.35	75	60
SON-T 150W	1-strani	34	32	9.02	17.35	16	47.95	50	48	41	11.48	17.13	16	58.07	50	48	52	14.76	17.16	16	131.20	50	48
SON-T 400W	centralni	50	11	16.40	31.54	20	88.51	75	60	14	20.50	30.60	25	105.88	100	75	19	26.65	30.99	35	222.99	130	96
SON-T 250W	centralni	45	15	13.20	25.38	16	74.13	50	48	20	18.48	27.58	20	85.85	75	60	25	22.44	26.09	25	197.98	100	75
SON-T 150W	centralni	40	21	11.48	22.08	16	60.95	50	48	27	14.76	22.03	16	73.18	50	48	34	18.86	21.93	20	169.37	75	60
HPI-T 400W	2-strani	40	18	12.12	23.31	16	69.78	50	48	23	16.16	24.12	20	83.90	75	60	30	20.20	23.49	25	185.58	100	75
HPI-T 250W	1-strani	40	22	10.64	20.46	16	58.49	50	48	29	13.30	19.85	16	68.78	50	48	37	17.29	20.10	20	159.72	75	60
CDO-TT 150W	1-strani	31	34	9.60	18.46	16	49.11	50	48	44	12.00	17.91	16	58.92	50	48	55	15.20	17.67	20	131.49	75	60
HPI-T 400W	centralni	50	11	16.16	31.08	20	88.51	75	60	15	20.20	30.15	25	100.15	100	75	19	26.26	30.53	35	222.99	130	96
HPI-T 250W	centralni	47	15	13.30	25.58	16	71.51	50	48	19	17.29	25.81	20	86.54	75	60	24	21.28	24.74	25	198.50	100	75
CDO-TT 150W	centralni	33	24	12.80	24.62	16	63.64	50	48	30	16.00	23.88	20	78.17	75	60	38	19.20	22.33	25	171.33	100	75
HPL-N 400W	2-strani	40	18	12.12	23.31	16	69.78	50	48	23	16.16	24.12	20	83.90	75	60	30	20.20	23.49	25	185.58	100	75
HPL-N 250W	1-strani	29	27	11.61	22.33	16	63.84	50	48	35	15.48	23.10	20	76.01	75	60	45	19.35	22.50	25	161.80	100	75
HPL-N 125W	2-strani	24	43	9.75	18.75	16	49.27	50	48	56	12.35	18.43	16	58.78	50	48	70	15.60	18.14	20	122.32	75	60

Tabela 14. Provera efikasnosti TN sistema zaštite za trofazni sistem – aluminijumski provodnici: $\cos\varphi=0.95$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.95 - TROFAZNI SISTEM																				
			ALUMINIJUMSKI PROVOĐNICI																				
			10 mm²							16 mm²							25 mm²						
			n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
SON-T 400W	2-strani	34	14	10.25	25.63	16	64.01	50	48	19	14.35	27.60	16	73.32	50	48	24	16.40	24.85	20	164.53	75	60
SON-T 250W	1-strani	38	17	7.92	19.80	16	48.96	50	48	23	10.56	20.31	16	56.50	50	48	29	13.20	20.00	16	132.88	50	48
SON-T 150W	1-strani	34	24	6.56	16.40	16	39.30	50	48	31	9.02	17.35	16	47.46	50	48	40	11.48	17.39	16	104.94	50	48
SON-T 400W	centralni	50	8	12.30	30.75	16	75.63	50	48	11	16.40	31.54	20	85.38	75	60	14	20.50	31.06	25	198.27	100	75
SON-T 250W	centralni	45	11	10.56	26.40	16	62.59	50	48	15	13.20	25.38	16	71.43	50	48	19	17.16	26.00	20	169.84	75	60
SON-T 150W	centralni	40	16	9.02	22.55	16	49.49	50	48	21	10.66	20.50	16	58.67	50	48	26	14.76	22.36	16	140.55	50	48
HPI-T 400W	2-strani	40	13	10.10	25.25	16	59.63	50	48	17	12.12	23.31	16	70.65	50	48	22	16.16	24.48	20	161.47	75	60
HPI-T 250W	1-strani	40	17	7.98	19.95	16	46.83	50	48	22	10.64	20.46	16	56.28	50	48	28	13.30	20.15	16	132.24	50	48
CDO-TT 150W	1-strani	31	26	7.20	18.00	16	39.55	50	48	33	8.80	16.92	16	48.53	50	48	43	12.00	18.18	16	103.31	50	48
HPI-T 400W	centralni	50	8	12.12	30.30	16	75.63	50	48	11	16.16	31.08	20	85.38	75	60	14	20.20	30.61	25	198.27	100	75
HPI-T 250W	centralni	47	11	10.64	26.60	16	60.32	50	48	14	13.30	25.58	16	73.14	50	48	19	17.29	26.20	20	166.15	75	60
CDO-TT 150W	centralni	33	18	9.60	24.00	16	52.46	50	48	23	12.80	24.62	16	63.61	50	48	29	16.00	24.24	20	142.45	75	60
HPL-N 400W	2-strani	40	13	10.10	25.25	16	59.63	50	48	17	12.12	23.31	16	70.65	50	48	22	16.16	24.48	20	161.47	75	60
HPL-N 250W	1-strani	29	20	9.03	22.58	16	53.23	50	48	27	11.61	22.33	16	61.46	50	48	34	15.48	23.45	20	134.66	75	60
HPL-N 125W	2-strani	24	33	7.15	17.88	16	39.55	50	48	42	9.10	17.50	16	48.41	50	48	54	11.70	17.73	16	95.98	50	48

Tabela 15. Provera efikasnosti TN sistema zaštite za dvofazni sistem – bakarni provodnici: $\cos\varphi=0.85$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L_1 [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA $\cos\varphi=0.85$ - DVOFAZNI SISTEM													
			BAKARNI PROVODNICI													
			10 mm ²								16 mm ²					
			n	If [A]	If/Itd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
SON-T 400W	2-strani	34	12	13.74	26.42	16	111.23	50	48	15	18.32	27.34	20	133.56	75	60
SON-T 250W	1-strani	38	14	10.36	19.92	16	90.10	50	48	18	13.32	19.88	16	106.86	50	48
SON-T 150W	1-strani	34	19	9.10	17.50	16	76.09	50	48	24	10.92	16.30	16	92.13	50	48
SON-T 400W	centralni	50	7	16.03	30.83	20	127.06	75	60	9	20.61	30.76	25	148.38	100	75
SON-T 250W	centralni	45	9	13.32	25.62	16	113.09	50	48	12	17.76	26.51	20	129.25	75	60
SON-T 150W	centralni	40	13	11.83	22.75	16	92.01	50	48	16	14.56	21.73	20	112.88	75	60
HPI-T 400W	2-strani	40	11	13.56	26.08	16	105.43	50	48	14	15.82	23.61	20	125.22	75	60
HPI-T 250W	1-strani	40	14	10.43	20.06	16	86.50	50	48	17	13.41	20.01	16	107.58	50	48
CDO-TT 150W	1-strani	31	20	9.00	17.31	16	78.45	50	48	26	11.70	17.46	16	92.67	50	48
HPI-T 400W	centralni	50	7	15.82	30.42	20	127.06	75	60	9	20.34	30.36	25	148.38	100	75
HPI-T 250W	centralni	47	9	13.41	25.79	16	109.42	50	48	11	16.39	24.46	20	133.74	75	60
CDO-TT 150W	centralni	33	14	12.60	24.23	16	100.54	50	48	18	16.20	24.18	20	118.73	75	60
HPL-N 400W	2-strani	40	11	13.56	26.08	16	105.43	50	48	14	15.82	23.61	20	125.22	75	60
HPL-N 250W	1-strani	29	16	11.52	22.15	16	99.55	50	48	21	15.84	23.64	20	115.73	75	60
HPL-N 125W	2-strani	24	26	9.49	18.25	16	76.87	50	48	32	11.68	17.43	16	95.04	50	48

Tabela 16. Provera efikasnosti TN sistema zaštite za dvofazni sistem – aluminijumski provodnici: $\cos\varphi=0.85$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L_1 [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA $\cos\varphi=0.85$ - DVOFAZNI SISTEM													
			ALUMINIJUMSKI PROVODNICI													
			10 mm ²								16 mm ²					
			n	If [A]	If/Itd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
SON-T 400W	2-strani	34	9	11.45	28.63	16	93.36	50	48	11	13.74	26.42	16	115.16	50	48
SON-T 250W	1-strani	38	10	7.40	18.50	16	78.22	50	48	14	10.36	19.92	16	86.93	50	48
SON-T 150W	1-strani	34	14	6.37	15.93	16	64.01	50	48	18	8.19	15.75	16	76.82	50	48
SON-T 400W	centralni	50	5	11.45	28.63	16	111.54	50	48	7	16.03	30.83	20	122.95	75	60
SON-T 250W	centralni	45	7	10.36	25.90	16	92.19	50	48	9	13.32	25.62	16	109.31	50	48
SON-T 150W	centralni	40	10	9.10	22.75	16	75.02	50	48	12	10.92	21.00	16	94.87	50	48
HPI-T 400W	2-strani	40	8	9.04	22.60	16	90.59	50	48	10	11.30	21.73	16	109.93	50	48
HPI-T 250W	1-strani	40	10	7.45	18.63	16	75.02	50	48	13	10.43	20.06	16	88.78	50	48
CDO-TT 150W	1-strani	31	15	7.20	18.00	16	65.03	50	48	20	9.00	17.31	16	75.62	50	48
HPI-T 400W	centralni	50	5	11.45	28.63	16	111.54	50	48	7	15.82	30.42	20	122.95	75	60
HPI-T 250W	centralni	47	7	10.43	26.08	16	89.05	50	48	9	13.41	25.79	16	105.73	50	48
CDO-TT 150W	centralni	33	11	9.90	24.75	16	80.81	50	48	14	12.60	24.23	16	97.09	50	48
HPL-N 400W	2-strani	40	8	9.04	22.60	16	90.59	50	48	10	11.30	21.73	16	109.93	50	48
HPL-N 250W	1-strani	29	12	8.64	21.60	16	83.19	50	48	16	11.52	22.15	16	96.12	50	48
HPL-N 125W	2-strani	24	20	7.30	18.25	16	62.27	50	48	25	9.49	18.25	16	76.62	50	48

Tabela 17. Provera efikasnosti TN sistema zaštite za dvofazni sistem – bakarni provodnici: $\cos\varphi=0.90$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L_1 [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA $\cos\varphi=0.90$ - DVOFAZNI SISTEM													
			BAKARNI PROVODNICI													
			10 mm ²								16 mm ²					
			n	If [A]	If/Itd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
SON-T 400W	2-strani	34	12	13.02	25.04	16	111.23	50	48	15	17.36	25.91	20	133.56	75	60
SON-T 250W	1-strani	38	14	9.73	18.71	16	90.10	50	48	18	12.51	18.67	16	106.86	50	48
SON-T 150W	1-strani	34	20	8.60	16.54	16	72.81	50	48	25	11.18	16.69	16	89.06	50	48
SON-T 400W	centralni	50	7	15.19	29.21	20	127.06	75	60	9	19.53	29.15	25	148.38	100	75
SON-T 250W	centralni	45	9	12.51	24.06	16	113.09	50	48	12	16.68	24.90	20	129.25	75	60
SON-T 150W	centralni	40	13	11.18	21.50	16	92.01	50	48	17	14.62	21.82	16	107.58	50	48
HPI-T 400W	2-strani	40	11	12.84	24.69	16	105.43	50	48	14	14.98	22.36	16	125.22	50	48
HPI-T 250W	1-strani	40	14	9.80	18.85	16	86.50	50	48	18	12.60	18.81	16	102.76	50	48
CDO-TT 150W	1-strani	31	21	10.20	19.62	16	75.25	50	48	27	11.90	17.76	16	89.81	50	48
HPI-T 400W	centralni	50	7	14.98	28.81	16	127.06	50	48	9	19.26	28.75	25	148.38	100	75
HPI-T 250W	centralni	47	9	12.60	24.23	16	109.42	50	48	12	16.80	25.07	20	125.22	75	60
CDO-TT 150W	centralni	33	14	11.90	22.88	16	100.54	50	48	18	15.30	22.84	20	118.73	75	60
HPL-N 400W	2-strani	40	11	12.78	24.58	16	105.43	50	48	14	14.91	22.25	16	125.22	50	48
HPL-N 250W	1-strani	29	17	12.24	23.54	16	94.74	50	48	22	14.96	22.33	16	111.57	50	48
HPL-N 125W	2-strani	24	26	8.97	17.25	16	76.87	50	48	34	11.73	17.51	16	90.40	50	48

Tabela 18. Provera efikasnosti TN sistema zaštite za dvofazni sistem – aluminijumski provodnici: $\cos\varphi=0.90$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L_1 [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA $\cos\varphi=0.90$ - DVOFAZNI SISTEM													
			ALUMINIJUMSKI PROVODNICI													
			10 mm ²								16 mm ²					
			n	If [A]	If/Itd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
SON-T 400W	2-strani	34	9	10.85	27.13	16	93.36	50	48	12	13.02	25.04	16	107.49	50	48
SON-T 250W	1-strani	38	11	8.34	20.85	16	72.07	50	48	14	9.73	18.71	16	86.93	50	48
SON-T 150W	1-strani	34	15	6.88	17.20	16	60.23	50	48	19	8.60	16.54	16	73.33	50	48
SON-T 400W	centralni	50	5	10.85	27.13	16	111.54	50	48	7	15.19	29.21	20	122.95	75	60
SON-T 250W	centralni	45	7	9.73	24.33	16	92.19	50	48	9	12.51	24.06	16	109.31	50	48
SON-T 150W	centralni	40	10	8.60	21.50	16	75.02	50	48	13	11.18	21.50	16	88.78	50	48
HPI-T 400W	2-strani	40	8	8.56	21.40	16	90.59	50	48	11	12.84	24.69	16	101.85	50	48
HPI-T 250W	1-strani	40	10	7.00	17.50	16	75.02	50	48	14	9.80	18.85	16	83.43	50	48
CDO-TT 150W	1-strani	31	16	6.80	17.00	16	61.44	50	48	20	8.50	16.35	16	75.62	50	48
HPI-T 400W	centralni	50	5	10.70	26.75	16	111.54	50	48	7	14.98	28.81	16	122.95	50	48
HPI-T 250W	centralni	47	7	9.80	24.50	16	89.05	50	48	9	12.60	24.23	16	105.73	50	48
CDO-TT 150W	centralni	33	11	9.35	23.38	16	80.81	50	48	14	11.90	22.88	16	97.09	50	48
HPL-N 400W	2-strani	40	8	8.52	21.30	16	90.59	50	48	11	12.78	24.58	16	101.85	50	48
HPL-N 250W	1-strani	29	12	8.16	20.40	16	83.19	50	48	16	10.88	20.92	16	96.12	50	48
HPL-N 125W	2-strani	24	20	6.90	17.25	16	62.27	50	48	26	8.97	17.25	16	74.08	50	48

Tabela 19. Provera efikasnosti TN sistema zaštite za dvofazni sistem – bakarni provodnici: $\cos\varphi=0.95$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.95 - DVOFAZNI SISTEM																				
			BAKARNI PROVODNICI																				
			10 mm²						16 mm²						25 mm²								
			n	If [A]	If/Itđ [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I ₄ [A]	n	If [A]	If/Itđ [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I ₄ [A]	n	If [A]	If/Itđ [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I ₄ [A]
SON-T 400W	2-strani	34	12	12.30	23.65	16	111.23	50	48	16	16.40	24.48	20	127.20	75	60	20	20.50	23.84	25	252.52	100	75
SON-T 250W	1-strani	38	15	10.56	20.31	16	85.05	50	48	19	13.20	19.70	16	102.32	50	48	24	15.84	18.42	20	218.06	75	60
SON-T 150W	1-strani	34	20	8.20	15.77	16	72.81	50	48	26	10.66	15.91	16	86.19	50	48	34	13.94	16.21	16	184.34	50	48
SON-T 400W	centralni	50	7	14.35	27.60	16	127.06	50	48	9	18.45	27.54	20	148.38	75	60	12	24.60	28.60	35	279.33	130	96
SON-T 250W	centralni	45	10	13.20	25.38	16	103.99	50	48	13	17.16	25.61	20	121.58	75	60	16	21.12	24.56	25	253.60	100	75
SON-T 150W	centralni	40	14	11.48	22.08	16	86.50	50	48	17	13.94	20.81	16	107.58	50	48	22	18.04	20.98	20	224.20	75	60
HPI-T 400W	2-strani	40	11	12.12	23.31	16	105.43	50	48	15	16.16	24.12	20	118.73	75	60	19	20.20	23.49	25	244.06	100	75
HPI-T 250W	1-strani	40	14	9.31	17.90	16	86.50	50	48	18	11.97	17.87	16	102.76	50	48	24	15.96	18.56	20	214.33	75	60
CDO-TT 150W	1-strani	31	22	8.80	16.92	16	72.29	50	48	28	11.20	16.72	16	87.13	50	48	36	14.40	16.74	16	184.32	50	48
HPI-T 400W	centralni	50	7	14.14	27.19	16	127.06	50	48	10	20.20	30.15	25	137.37	100	75	12	24.24	28.19	35	279.33	130	96
HPI-T 250W	centralni	47	10	13.30	25.58	16	100.54	50	48	12	15.96	23.82	20	125.22	75	60	16	21.28	24.74	25	249.41	100	75
CDO-TT 150W	centralni	33	15	12.00	23.08	16	95.04	50	48	19	15.20	22.69	20	113.82	75	60	25	20.00	23.26	25	226.44	100	75
HPL-N 400W	2-strani	40	11	12.12	23.31	16	105.43	50	48	15	16.16	24.12	20	118.73	75	60	19	20.20	23.49	25	244.06	100	75
HPL-N 250W	1-strani	29	17	11.61	22.33	16	94.74	50	48	22	14.19	21.18	16	111.57	50	48	28	18.06	21.00	20	223.31	75	60
HPL-N 125W	2-strani	24	28	9.10	17.50	16	72.12	50	48	35	11.70	17.46	16	88.25	50	48	44	14.30	16.63	16	179.28	50	48

Tabela 20. Provera efikasnosti TN sistema zaštite za dvofazni sistem – aluminijumski provodnici: $\cos\varphi=0.95$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.95 - DVOFAZNI SISTEM																				
			ALUMINIJUMSKI PROVODNICI																				
			10 mm²						16 mm²						25 mm²								
			n	If [A]	If/Itd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itd [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
SON-T 400W	2-strani	34	9	10.25	25.63	16	93.36	50	48	12	12.30	23.65	16	107.49	50	48	16	16.40	24.85	20	216.78	75	60
SON-T 250W	1-strani	38	11	7.92	19.80	16	72.07	50	48	14	9.24	17.77	16	86.93	50	48	19	13.20	20.00	16	184.44	50	48
SON-T 150W	1-strani	34	16	6.56	16.40	16	56.86	50	48	20	8.20	15.77	16	70.15	50	48	26	10.66	16.15	16	153.53	50	48
SON-T 400W	centralni	50	5	10.25	25.63	16	111.54	50	48	7	14.35	27.60	16	122.95	50	48	9	18.45	27.95	20	253.02	75	60
SON-T 250W	centralni	45	7	9.24	23.10	16	92.19	50	48	10	13.20	25.38	16	100.44	50	48	12	15.84	24.00	20	226.88	75	60
SON-T 150W	centralni	40	10	8.20	20.50	16	75.02	50	48	13	10.66	20.50	16	88.78	50	48	16	13.12	19.88	16	200.35	50	48
HPI-T 400W	2-strani	40	8	8.08	20.20	16	90.59	50	48	11	12.12	23.31	16	101.85	50	48	14	14.14	21.42	16	218.68	50	48
HPI-T 250W	1-strani	40	11	7.98	19.95	16	69.08	50	48	14	9.31	17.90	16	83.43	50	48	18	11.97	18.14	16	185.79	50	48
CDO-TT 150W	1-strani	31	16	6.40	16.00	16	61.44	50	48	21	8.80	16.92	16	72.51	50	48	27	11.20	16.97	16	157.19	50	48
HPI-T 400W	centralni	50	5	10.10	25.25	16	111.54	50	48	7	14.14	27.19	16	122.95	50	48	9	18.18	27.55	20	253.02	75	60
HPI-T 250W	centralni	47	7	9.31	23.28	16	89.05	50	48	9	11.97	23.02	16	105.73	50	48	12	15.96	24.18	20	222.81	75	60
CDO-TT 150W	centralni	33	11	8.80	22.00	16	80.81	50	48	15	12.00	23.08	16	91.73	50	48	19	15.20	23.03	20	196.88	75	60
HPL-N 400W	2-strani	40	8	8.08	20.20	16	90.59	50	48	11	12.12	23.31	16	101.85	50	48	14	14.14	21.42	16	218.68	50	48
HPL-N 250W	1-strani	29	13	9.03	22.58	16	77.72	50	48	17	11.61	22.33	16	91.44	50	48	22	14.19	21.50	16	188.92	50	48
HPL-N 125W	2-strani	24	21	7.15	17.88	16	59.64	50	48	27	9.10	17.50	16	71.71	50	48	34	11.05	16.74	16	148.03	50	48

2.4. Analiza efikasnosti TN sistema zaštite

Tabele 9-14, koje se odnose na trofazni sistem, pokazuju da za određen broj analiziranih situacija nulovanje ne predstavlja efikasnu zaštitu. Zašto? Najpre treba konstatovati da se situacije u kojima zaštita ne reaguje efikasno mogu tretirati kao granične, kod kojih su struje kvara neznatno manje od odgovarajućih struja efikasnog reagovanja zaštite. Iz ovih tabela se može videti da se to dešava iz sledećih razloga:

- *maksimalna fazna struja na osnovu koje se određuje nominalna struja osigurača bliska je nekoj od nominalnih struja osigurača,*
- *najmanja predviđena nominalna struja osigurača je 16A,*
- *analizirani su i manji preseki kablova od najčešće korišćenih (za veće preseke zaštita je efikasna), i*
- *analiza je izvršena sa pretpostavljenom dužinom napojnog kabla od 300m (za manje dužine (i veće preseke) kabla od TS do RO rezultati su povoljniji).*

U svim slučajevima kod kojih je prisutan prvi razlog zbog sigurnosti se uzima osigurač za jedan stepen viši od onog koji bi mogao da zadovolji (na primer, za $I_f = 15.8A$ uzeće se osigurač od 20A, a ne od 16A). U nekim slučajevima, zbog razloga selektivnosti, usvojen je osigurač od 16A iako osigurač od 10A predstavlja efikasnu zaštitu. Da su usvojeni osigurači koji nominalno zadovoljavaju, zaštita bi bila efikasna u praktično svim slučajevima.

Određena rezerva se krije u činjenici da do zemljospoja može da dođe samo ako su svetiljke uključene. Zbog toga se struji kvara dodaju struje koje potiču od svetiljki na deonici, što dovodi do toga da je ukupna struja u osiguraču nešto veća od izračunate, što zaštitu čini efikasnijom.

Tabele 21-23 sadrže maksimalan dozvoljeni broj stubova određen tako da se zadovolji kako kriterijum pada napona, tako i kriterijum efikasnog delovanja zaštite. Može se videti da se brojevi stubova u ovim tabelama razlikuju za najviše 2 stuba od odgovarajućih brojeva stubova iz tabela 2, 4 i 6 (redukovani brojevi stubova obojeni su crvenom bojom), osim u slučajevima kada je maksimalna fazna struja I_f manja od 10A, a usvaja se osigurač od 16A (u tabelama 21-23 ovakve vrednosti broja stubova n obojene su narandžastom bojom). U takvim slučajevima su razlike između struje kvara I_k i struja I_a i I_d veće, pa je neophodna veća redukcija maksimalnog dozvoljenog broja stubova da bi zaštita postala efikasna (broj stubova je i do 25% manji od prvobitno određenog broja).

Može se primetiti da do ovakvih redukcija dolazi samo prilikom korišćenja aluminijumskih kablova preseka 10mm^2 , što je u praksi retkost.

Iz tabela 9-14 takođe proizilazi da zaštita izvedena pomoću automatskih prekidača predstavlja prihvatljivo rešenje za javno osvetljenje, pogotovo za kablove manjeg preseka. Zaštita je uvek efikasna kod provodnika preseka 25mm^2 , tako da može da se izvede sledeći zaključak:

Korišćenjem provodnika preseka 25mm^2 zaštita je efikasna kod primene visokoučinskih osigurača, čije se korišćenje u spoljnim instalacijama podrazumeva iz razloga robusnosti i kvaliteta priključaka za kablove.

Tabele 9-14 takođe pokazuju da odnosi maksimalne fazne i maksimalne trajno dozvoljene struje kabla (**If/It_d**) imaju takve vrednosti da uticaj zajedničkog vođenja kablova neće dovesti do nedozvoljenih termičkih opterećenja.

Kod dvofaznog sistema napajanja (tabele 15-20) TN sistem zaštite je efikasan kako za visokoučinske osigurače, tako i za automatske prekidače. Pri tome treba istaći da su maksimalno dozvoljeni brojevi stubova kod trofaznog sistema, dati u tabelama 21-23, preko 50% veći od uporednih brojeva stubova kod dvofaznog sistema, osim u slučaju prethodno pomenutih redukcija, kada ta razlika uglavnom iznosi 20-25%.

Najvažniji zaključak koji sledi iz ove analize:

Pad napona nije jedini ograničavajući faktor prilikom dimenzionisanja instalacije javnog osvetljenja, već je to i efikasnost TN sistema zaštite!

2.5. Određivanje optimalnog preseka provodnika

U tabelama 21-23 prikazan je maksimalan dozvoljeni broj stubova na jednoj napojnoj deonici, određen na osnovu kriterijuma maksimalnog dozvoljenog pada napona i kriterijuma efikasnog delovanja TN sistema zaštite za različite (već zadate) preseke provodnika koji su najprisutniji u javnom osvetljenju. Tabele 21-23 potvrđuju da sa povećanjem preseka provodnika raste i maksimalan dozvoljeni broj stubova na jednoj napojnoj deonici. Pri tome je jasno da se povećanje cene instalacije zbog upotrebe kabla većeg preseka koji obezbeđuje dužu deonicu višestruko kompenzuje manjim brojem novih izvorišta (skupih transformatorskih stanica 10/0.4kV) i manjim brojem razvodnih ormana. Preseke kablova veće od

onih koji su dati u tabelama 21-23 i koji treba da predstavljaju smernice projektantima treba usvajati samo ako postoji mogućnost proširenja novoprojektovane instalacije javnog osvetljenja.

Ako se uzmu u obzir mogućnost montaže kabla, zadovoljavajući pad napona i efikasno delovanje TN sistema zaštite, kao optimalno rešenje za standardnu instalaciju javnog osvetljenja u gradskim uslovima nameće se kabl od aluminijuma, preseka 25 mm^2 .

Tabela 21. Maksimalno dozvoljeni brojevi stubova i odgovarajući padovi napona za trofazni sistem po oba kriterijuma: $\cos\varphi=0.85$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L_1 [m]	MAKSIMALAN BROJ STUBOVA n_{max} I ODGOVARAJUĆI PAD NAPONA ΔU [%]											
			Cu [mm ²]						Al [mm ²]					
			10		16		25		10		16		25	
			n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]
SON-T 400W	2-strani	34	19	4.94	24	4.72	31	4.85	14	4.88	18	4.65	24	4.94
SON-T 250W	1-strani	38	23	4.94	29	4.76	37	4.79	16	4.32	22	4.74	29	4.99
SON-T 150W	1-strani	34	30	4.39	41	4.99	51	4.84	18	2.92	29	4.33	40	5.00
SON-T 400W	centralni	50	11	4.81	14	4.67	18	4.70	8	4.65	10	4.21	14	4.90
SON-T 250W	centralni	45	15	4.75	18	4.22	24	4.64	11	4.59	15	4.95	19	4.89
SON-T 150W	centralni	40	21	4.85	26	4.62	34	4.95	15	4.31	20	4.64	26	4.85
HPI-T 400W	2-strani	40	17	4.72	22	4.68	29	4.95	13	4.94	17	4.92	22	4.91
HPI-T 250W	1-strani	40	22	4.82	28	4.72	36	4.80	15	4.06	21	4.59	28	4.95
CDO-TT 150W	1-strani	31	33	4.70	43	4.91	54	4.86	25	4.69	31	4.39	42	4.91
HPI-T 400W	centralni	50	11	4.75	14	4.60	18	4.63	8	4.59	11	4.95	14	4.83
HPI-T 250W	centralni	47	15	4.99	18	4.43	24	4.87	11	4.82	14	4.65	18	4.61
CDO-TT 150W	centralni	33	23	4.72	30	4.93	37	4.75	18	4.90	23	4.91	29	4.87
HPL-N 400W	2-strani	40	17	4.71	22	4.67	29	4.94	13	4.93	17	4.91	22	4.90
HPL-N 250W	1-strani	29	27	4.92	34	4.79	44	4.99	20	4.79	26	4.82	33	4.74
HPL-N 125W	2-strani	24	42	4.69	55	4.98	69	4.96	25	3.00	40	4.48	53	4.87

Tabela 22. Maksimalno dozvoljeni brojevi stubova i odgovarajući padovi napona za trofazni sistem po oba kriterijuma: $\cos\varphi=0.90$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L_1 [m]	MAKSIMALAN BROJ STUBOVA n_{max} I ODGOVARAJUĆI PAD NAPONA ΔU [%]											
			Cu [mm ²]						Al [mm ²]					
			10		16		25		10		16		25	
			n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]
SON-T 400W	2-strani	34	19	4.87	24	4.63	31	4.75	14	4.80	18	4.58	24	4.86
SON-T 250W	1-strani	38	23	4.86	30	4.95	38	4.94	16	4.27	22	4.68	29	4.91
SON-T 150W	1-strani	34	30	4.33	41	4.92	52	4.94	18	2.88	29	4.27	40	4.93
SON-T 400W	centralni	50	11	4.74	14	4.59	18	4.60	8	4.58	11	4.94	14	4.82
SON-T 250W	centralni	45	15	4.69	19	4.60	25	4.92	11	4.53	15	4.89	19	4.82
SON-T 150W	centralni	40	21	4.79	26	4.56	34	4.86	15	4.27	21	4.99	26	4.78
HPI-T 400W	2-strani	40	17	4.64	23	4.98	29	4.85	13	4.87	17	4.84	22	4.83
HPI-T 250W	1-strani	40	22	4.75	29	4.95	37	4.97	16	4.51	22	4.95	28	4.87
CDO-TT 150W	1-strani	31	33	4.64	43	4.84	55	4.95	20	3.15	31	4.33	42	4.85
HPI-T 400W	centralni	50	11	4.68	14	4.53	18	4.54	8	4.52	11	4.88	14	4.75
HPI-T 250W	centralni	47	15	4.93	19	4.83	24	4.78	11	4.76	14	4.59	18	4.55
CDO-TT 150W	centralni	33	23	4.66	30	4.87	38	4.92	18	4.86	23	4.86	29	4.80
HPL-N 400W	2-strani	40	17	4.63	23	4.96	29	4.84	13	4.86	17	4.83	22	4.82
HPL-N 250W	1-strani	29	27	4.85	35	4.98	44	4.88	20	4.72	26	4.76	34	4.95
HPL-N 125W	2-strani	24	42	4.64	55	4.91	69	4.87	25	2.97	40	4.43	54	4.97

Tabela 23. Maksimalno dozvoljeni brojevi stubova i odgovarajući padovi napona za trofazni sistem po oba kriterijuma: $\cos\varphi=0.95$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L_1 [m]	MAKSIMALAN BROJ STUBOVA n_{max} I ODGOVARAJUĆI PAD NAPONA ΔU [%]											
			Cu [mm ²]						Al [mm ²]					
			10		16		25		10		16		25	
			n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]
SON-T 400W	2-strani	34	19	4.78	25	4.91	32	4.92	14	4.72	19	4.99	24	4.77
SON-T 250W	1-strani	38	23	4.78	30	4.86	38	4.82	16	4.20	23	4.99	29	4.82
SON-T 150W	1-strani	34	30	4.27	41	4.83	52	4.83	18	2.83	29	4.21	40	4.85
SON-T 400W	centralni	50	11	4.66	14	4.50	19	4.97	8	4.51	11	4.86	14	4.73
SON-T 250W	centralni	45	15	4.62	20	4.98	25	4.81	11	4.47	15	4.82	19	4.74
SON-T 150W	centralni	40	21	4.73	27	4.80	34	4.75	15	4.22	21	4.93	26	4.71
HPI-T 400W	2-strani	40	18	4.96	23	4.88	30	5.00	13	4.79	17	4.75	22	4.73
HPI-T 250W	1-strani	40	22	4.67	29	4.86	37	4.85	15	3.93	22	4.87	28	4.78
CDO-TT 150W	1-strani	31	33	4.58	44	4.97	55	4.84	20	3.10	31	4.27	43	5.00
HPI-T 400W	centralni	50	11	4.60	15	4.97	19	4.90	8	4.44	11	4.79	14	4.67
HPI-T 250W	centralni	47	15	4.85	19	4.74	24	4.68	11	4.69	14	4.52	19	4.98
CDO-TT 150W	centralni	33	24	4.96	30	4.79	38	4.82	18	4.80	23	4.80	29	4.73
HPL-N 400W	2-strani	40	18	4.95	23	4.87	30	4.99	13	4.77	17	4.74	22	4.72
HPL-N 250W	1-strani	29	27	4.78	35	4.89	45	4.98	20	4.66	27	4.98	34	4.87
HPL-N 125W	2-strani	24	42	4.58	56	5.00	70	4.90	25	2.93	40	4.37	54	4.90

2.6. Ekonomsko poređenje trofaznog i dvofaznog sistema napajanja

Ekonomska analiza je izvršena za 4 karakteristična slučaja, odnosno za dve karakteristične saobraćajne situacije (jednostrani i centralni raspored stubova), od kojih je svaka analizirana za 2 tipa izvora svetlosti – sa natrijumom i živom visokog pritiska.

Polazi se od trofaznog sistema napajanja, za koji se izračunava maksimalan dozvoljeni broj stubova koji zadovoljava oba kriterijuma, pri čemu se, ilustracije radi, uzima da je faktor snage $\cos\varphi=0.95$ i da je presek provodnika (*aluminijumskih*) **10mm²**. Brojevi ovih stubova dati su u tabeli 24 za svaku od 4 analizirane situacije.

Tabela 24. Maksimalan dozvoljeni broj stubova za trofazni sistem ($S=10\text{mm}^2$ Al i $\cos\varphi=0.95$)

TROFAZNI SISTEM NAPAJANJA			
tip izvora	raspored	raspon L [m]	broj stubova n
SON-T 250W	1-strani	38	17
HPL-N 250W	1-strani	29	20
SON-T 250W	centralni	45	11
HPL-N 250W	centralni	27	15

Iz tabele 24 se uzimaju vrednosti broja stubova $n_{\max}$ i na osnovu njih se za dvofazni sistem napajanja određuje minimalni presek provodnika pri kome će instalacija zadovoljiti sa stanovišta pada napona i efikasnosti TN sistema zaštite. Ovi preseki su dati u tabeli 25.

Tabela 25. Odgovarajući preseki provodnika za dvofazni sistem ($\cos\varphi=0.95$)

DVOFAZNI SISTEM NAPAJANJA				
tip izvora	raspored	raspon L [m]	broj stubova n	SAI [mm ²]
SON-T 250W	1-strani	38	17	25
HPL-N 250W	1-strani	29	20	25
SON-T 250W	centralni	45	11	25
HPL-N 250W	centralni	27	15	25

Kao što se može videti iz tabele 25, prelaskom na dvofazni sistem napajanja za isti broj stubova presek provodnika se povećao za dva stepena, tj. na **25mm²**.

Tabela 26 sadrži veleprodajne cene aluminijumskih kablova preseka 10-25mm².

Tabela 26. Veleprodajne cene kablova dobijene od firme “Beograd Elektro”

tip kabla	cena [din/m]
PP00-AY 4x25 mm ²	131.35
PP00-AY 4x16 mm ²	90.44
PP00-AY 4x10 mm ²	53.85
PP00-AY 3x25 mm ²	101.59
PP00-AY 3x16 mm ²	69.14
PP00-AY 3x10 mm ²	44.22

Na osnovu veleprodajnih cena kablova iz tabele 26 može da se zaključi da primenom trofaznog sistema napajanja može da se ostvari ušteda u ceni kabla od čak **47%**.

2.7. Zaključci

Trofazni sistem napajanja javnog osvetljenja predstavlja značajno efikasnije rešenje od dvofaznog sistema. Ovaj sistem omogućava manji pad napona na napojnoj deonici i bolji raspored opterećenja po fazama. Primenom trofaznog sistema u najvećem broju slučajeva je moguće povećati dužinu napojne deonice i preko 50%. Za isti broj stubova na napojnoj deonici, preseki provodnika u trofaznom sistemu značajno su manji od preseka u dvofaznom sistemu, što donosi uštedu od preko 47%.

Navedene prednosti trofaznog sistema predstavljaju neoboriv argument u korist inicijative da se pravovremeno razmotre svi napred navedeni pokazatelji i donese odluka o prelasku na novi, efikasniji sistem napajanja javnog osvetljenja.

Literatura

1. Philips, »Lighting Manual« (Fifth Edition), Philips Lighting, 1993.
2. Miomir B. Kostić, »Vodič kroz svet tehnike osvetljenja«, Minel-Schreder, 2000.
3. EDB, »Interni standard za javno osvetljenje«, 2000.
4. Miomir B. Kostić, »Osvetljenje puteva«, Minel-Schreder, 2006.

5. M. Kirović, A. Pecić i M. Slijepčević, »Energetsko napajanje instalacije javnog osvetljenja povišenim naponom«, Savetovanje DOS-a '01, Arandelovac, 2001.
6. Philips Lighting, »Katalog izvora svetlosti«, 2005.
7. G. Dimić i F. Virag, »Osvetljenje I«, 1972.

3. Određivanje perioda i faktora održavanja u funkcionalnom javnom osvetljenju

Optimalno održavanje funkcionalnog javnog osvetljenja izvodi se kao kombinacija periodične grupne zamene izvora svetlosti, pri kojoj se vrši i čišćenje optičkih elemenata svetiljki (protektora, sijalica i reflektora), i pojedinačne zamene rano pregorelih izvora svetlosti. Primena periodične grupne zamene izvora svetlosti garantuje da nivo sjajnosti (osvetljenosti) kolovoza neće pasti ispod minimalne dozvoljene vrednosti, dok ažurna pojedinačna zamena izvora svetlosti treba da obezbedi da procenat neispravnih sijalica ne bude veći od vrednosti koja je specificirana ugovorom između gradske uprave i preduzeća koje se bavi održavanjem uličnog osvetljenja u gradu (obično 3%).

Vrednost faktora održavanja (f), koji predstavlja odnos srednjih sjajnosti (osvetljenosti) kolovoza na kraju i na početku jednog eksploatacionog ciklusa, značajno utiče kako na početne (investicione), tako i na eksploatacione troškove instalacije funkcionalnog javnog osvetljenja. Pošto se zahtevane vrednosti ovih fotometrijskih parametara koje definišu standardi (preporuke) odnose na najmanju eksploatacionu vrednost (onu koja se ima na kraju svakog eksploatacionog ciklusa – neposredno pre zamene izvora svetlosti i čišćenja svetiljki), jasno je da početna vrednost srednje sjajnosti (osvetljenosti) kolovoza (ona koja se ima pri novim izvorima svetlosti i novim svetiljkama) ravnopravno zavisi kako od standardima (preporukama) definisanih zahteva, tako i od vrednosti faktora održavanja. A upravo početna vrednost srednje sjajnosti (osvetljenosti) određuje broj svetiljki i stubova, koji dominantno utiču na investicione i eksploatacione troškove.

Faktor održavanja u javnom osvetljenju predstavlja proizvod sledeća dva faktora:

- faktora starenja izvora svetlosti (f_1), koji uvažava opadanje svetlosnog fluksa izvora u toku njegovog eksploatacionog veka, i
- faktora zaprljanja svetiljke (f_2), koji uvažava smanjenje svetlosnog fluksa svetiljke usled zaprljanja njenih optičkih delova.

Podsetimo se da je u unutrašnjem osvetljenju situacija nešto komplikovanija – tamo pored pobrojanih faktora na pogonsku vrednost relevantnog fotometrijskog parametra (srednje horizontalne osvetljenosti radne ravni) utiču još dva faktora: faktor zaprljanja površina prostorije i faktor ranog pregorevanja izvora svetlosti. Uticaj ovog poslednjeg faktora praktično ne postoji u funkcionalnom javnom osvetljenju, jer se, zbog

sprečavanja pojave tamnih delova osvetljenog kolovoza, registrovani pregoreli izvori svetlosti ubrzo zamenjuju novim, ispravnim.

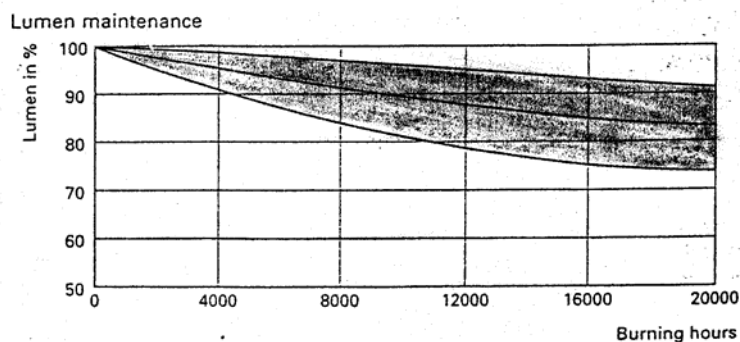
Na osnovu svega napred rečenog, bilo bi prirodno da se faktor održavanja odredi (izračuna) na osnovu prethodno određenih faktora starenja izvora svetlosti i faktora zaprljanja svetiljke, koji značajno zavise od perioda grupne zamene izvora, odnosno od perioda čišćenja svetiljki. Nažalost, u praksi se tako ne postupa, nego projektanti po pravilu usvajaju jedinstvenu vrednost faktora održavanja. Pri tome se najčešće usvaja vrednost $f = 0.8$ ($1/f = 1.25$), čime zahtevane početne vrednosti srednje sjajnosti (osvetljenosti) postaju 25% veće od minimalnih pogonskih, koje su približno jednake onima koje određuju standardi (preporuke). Sada može da se postavi suštinsko pitanje: da li se ovakvom projektnom odlukom nepotrebno povećava ili neopravdano smanjuje ukupan broj svetiljki na posmatranoj deonici saobraćajnice. U prvom slučaju bi se nepotrebno povećali kako investicioni, tako i eksploatacioni troškovi, dok bi se u drugom slučaju doveli u pitanje uslovi dobre vidljivosti, koje definišu standardi (preporuke).

Cilj ove studije je da definiše protokol održavanja (periode grupne zamene izvora svetlosti i čišćenja svetiljki), kao i da odredi vrednosti faktora održavanja u funkciji relevantnih uticajnih parametara, od kojih su najvažniji: tip izvora svetlosti, stepen mehaničke zaštite svetiljke i zagađenost vazduha u okolini saobraćajnice. Da bi se odgovorilo ovom zadatku, neophodno je najpre definisati vek trajanja izvora svetlosti. Iako se radi o značajnom parametru, pomoću koga se opisuje kvalitet izvora svetlosti bilo kog tipa, stručna literatura iz ove oblasti po pravilu ne sadrži definiciju ovog termina. Osnovni problem je u tome što se on može definisati na bitno različite načine.

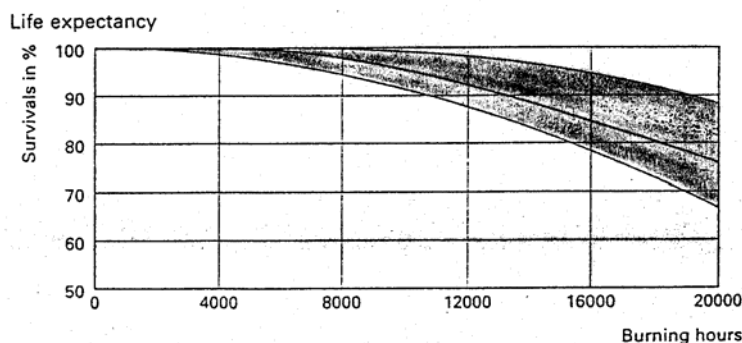
Jedna od mogućih definicija glasi: vreme trajanja izvora svetlosti predstavlja broj sati gorenja koji proteknu od prvog uključenja do pregorevanja izvora. Ova definicija, nažalost, nema veliku upotrebnu vrednost, jer su i praksa i laboratorijska ispitivanja potvrdili da individualni izvori svetlosti istog tipa mogu imati vremena trajanja koja se razlikuju i desetak puta.

Pomenimo i nominalno srednje vreme trajanja izvora svetlosti, koje se definiše kao broj radnih sati u okviru kojih pregori 50% izvora svetlosti iz reprezentativne grupe izvora, koji rade pri kontrolisanim laboratorijskim uslovima. Iako proizvođači izvora svetlosti vreme trajanja najčešće deklarišu u skladu sa ovom definicijom, ni njena praktična vrednost nije velika. Naime, nedopustivo je, odnosno ekonomski neopravdano, da se grupna zamena izvora svetlosti vrši posle vremena u okviru koga je pregorela svaka druga sijalica.

Nama se čini da posebnu pažnju treba posvetiti definiciji koja se odnosi na takozvano ekonomsko vreme trajanja izvora svetlosti, prema kojoj ono predstavlja broj radnih sati posle kojih svetlosni fluks izvora opadne za unapred određeni procenat njegove početne vrednosti. Ova definicija ima praktičnu vrednost, jer renomirani proizvođači izvora svetlosti po pravilu raspolažu dijagramima koji prikazuju opadanje svetlosnog fluksa u toku eksploatacije izvora. Primer jednog takvog dijagrama prikazan je na sl.1, a treba ga interpretirati na sledeći način: kriva opadanja svetlosnog fluksa bilo kog izvora posmatranog tipa sa verovatnoćom od najmanje 90% leži unutar zatamnjene oblasti dijagrama. Pri tome, srednja kriva predstavlja krivu prosečnog opadanja svetlosnog fluksa individualnih izvora svetlosti istog tipa, zbog čega se njeno korišćenje preporučuje i od strane proizvođača izvora svetlosti. Međutim, korišćenjem ove krive i prostim usvajanjem dozvoljenog procenta opadanja svetlosnog fluksa izvora nikako nije moguće pravilno odrediti vreme grupne zamene izvora svetlosti. Prilikom njegovog određivanja svakako treba voditi računa i o dijagramu koji renomirani proizvođači takođe poseduju za svaki od tipova izvora svetlosti koje proizvode, a koji prikazuje procenat rano pregorelih izvora svetlosti u toku eksploatacije instalacije osvetljenja. Jedan takav dijagram, koji se može interpretirati na sličan način kao i dijagram sa sl.1, prikazan je na sl. 2.



Slika 1. Procentualno opadanje svetlosnog fluksa konvencionalnih natrijumovih izvora visokog pritiska tipa SON-T Plus (Philips Lighting)



Slika 2. Procenat nepregorelih konvencionalnih natrijumovih izvora visokog pritiska tipa SON-T Plus (Philips Lighting)

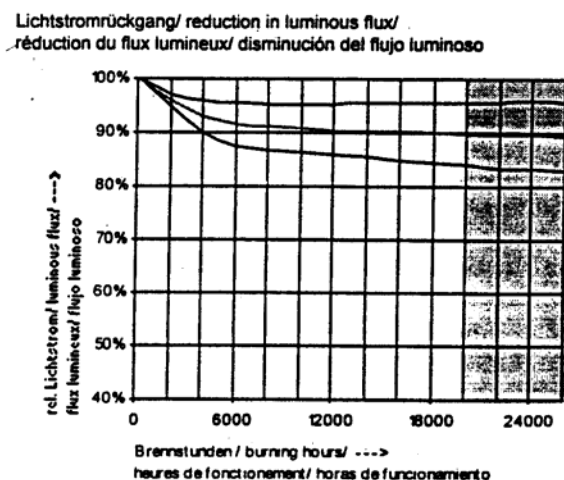
Sada se može postaviti ključno pitanje: hoće li se vek trajanja, odnosno vreme grupne zamene izvora svetlosti, odrediti na osnovu dijagrama sa sl.1, ili dijagrama sa sl. 2. Mišljenja smo da odgovor treba da bude zasnovan na informacijama koje pružaju oba dijagrama. Preciznije, predlaže se da vreme grupne zamene izvora svetlosti bude kraće od sledeća dva vremena: vremena za koje svetlosni fluks izvora opadne za usvojeni procenat i vremena za koje pregore dopušteni procenat izvora svetlosti. Koliki su ti procenti? S obzirom na činjenicu da se u funkcionalnom javnom osvetljenju vrši zamena rano pregorelih izvora svetlosti, ekonomski je neopravdano da procenat izvora svetlosti koji pregore pre grupne zamene bude veći od desetak procenata. Uzimanjem u obzir ekonomskih razloga, kao i postojeće prakse u vezi sa periodom grupne zamene izvora svetlosti, analizom dostupnih dijagrama opadanja svetlosnog fluksa, dobijenih ljubaznošću predstavnika firme Philips Lighting i Osram, moglo je da se zaključi da dozvoljeno opadanje svetlosnog fluksa izvora ne treba da bude veće od 15-20 procenata.

Na sl. 1-4, koje se odnose na konvencionalne Na izvore visokog pritiska koji se koriste u funkcionalnom javnom osvetljenju (snaga 400, 250, 150, 100 i 70W), dati su dijagrami koji prikazuju ne samo procentualno opadanje svetlosnog fluksa, nego i procenat nepregorelih izvora svetlosti ovog tipa u toku njihove eksploatacije. Njihovom analizom može se doći do sledećih zaključaka:

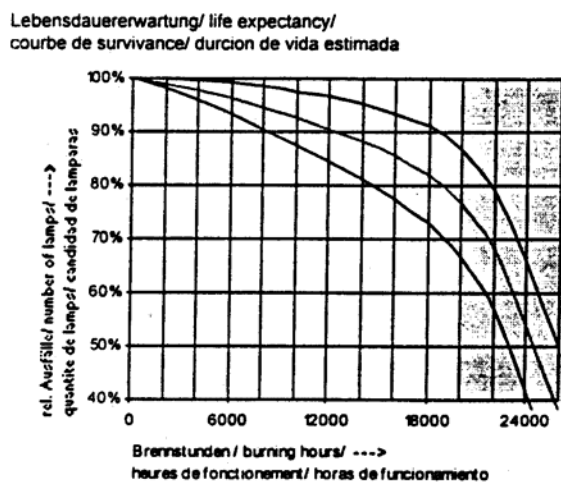
1. Ako se za Na izvore VP usvoji da dozvoljeni procenat rano pregorelih izvora svetlosti iznosi 10%, period njihove grupne zamene bi iznosio 12000 radnih sati, odnosno oni bi se menjali svake treće godine. Napominjemo da je period grupne zamene od 12000 radnih sati određen na osnovu nepovoljnijeg dijagrama (prikazanog na sl. 4). Princip

korišćenja nepovoljnijeg dijagrama primenjivan je tokom kompletne analize.

2. Faktor starenja f_1 bi tada imao vrednost 0.88 (sl.1).



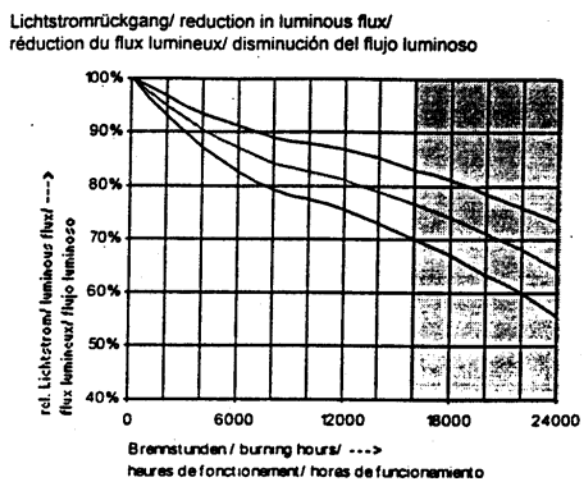
Slika 3. Procentualno opadanje svetlosnog fluksa konvencionalnih natrijumovih izvora visokog pritiska tipa VIALOX NAV-T (Osram)



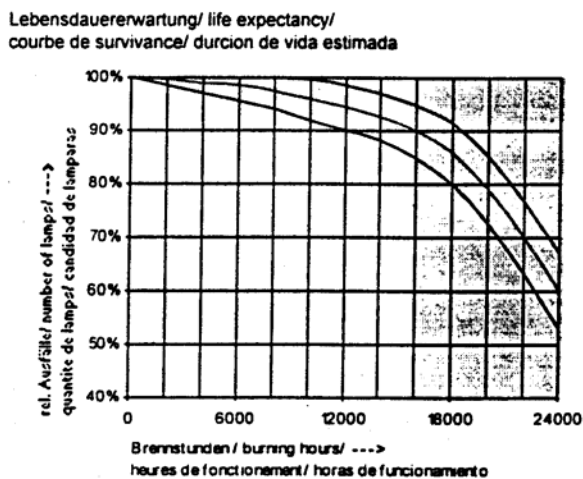
Slika 4. Procenat nepregorelih konvencionalnih natrijumovih izvora visokog pritiska VIALOX NAV-T (Osram)

Na sl. 5-8 prikazani su dijagrami koji se odnose na konvencionalne živine izvore VP koji se koriste za osvetljavanje saobraćajnica (snaga 400 i 250W). Njihovom analizom može se izvesti sledeći zaključak: ako se usvoji da dozvoljeni procenat opadanja svetlosnog fluksa izvora ovog tipa iznosi 20% ($f_1=0.80$), preporučuje se period njihove grupne zamene od 8000h,

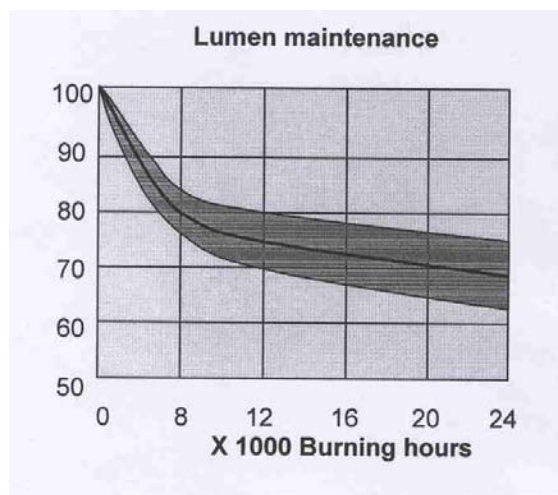
odnosno dve godine. U tom periodu procenat rano pregorelih izvora svetlosti ovog tipa iznosi samo 3-4%.



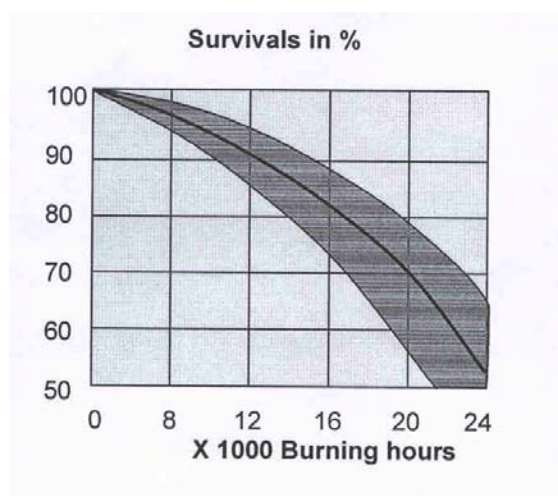
Slika 5. Procentualno opadanje svetlosnog fluksa konvencionalnih živinih izvora visokog pritiska tipa HQL (Osram)



Slika 6. Procenat nepregorelih konvencionalnih živinih izvora visokog pritiska tipa HQL (Osram)



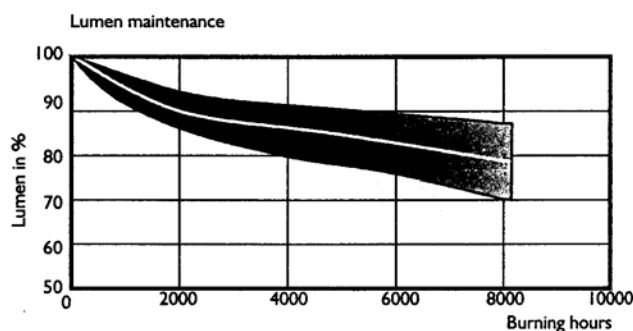
Slika 7. Procentualno opadanje svetlosnog fluksa konvencionalnih živinih izvora visokog pritiska tipa HPL-N (Philips Lighting)



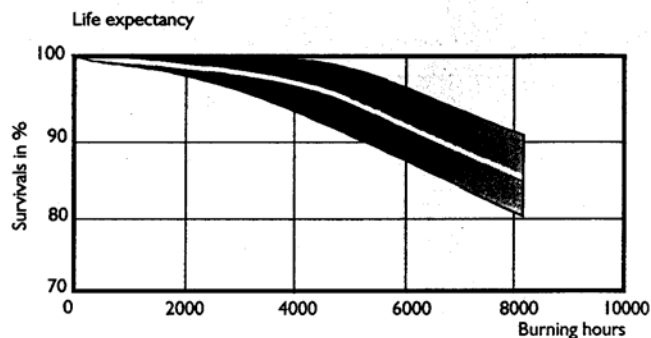
Slika 8. Procenat nepregorelih konvencionalnih živinih izvora visokog pritiska tipa HPL-N (Philips Lighting)

Posebno treba analizirati metal-halogene izvore snaga 400W i 250W (Philips-ova oznaka HPI-T Plus i Osram-ova oznaka POWERSTAR HQI-E/T), a posebno metal-halogene izvore sa keramičkim gorionikom snaga 150W, 100W i 70W (Philips-ova oznaka CDO-TT). Ako se usvoji da dozvoljeni procenat rano pregorelih metal-halogenih izvora snaga 400W i

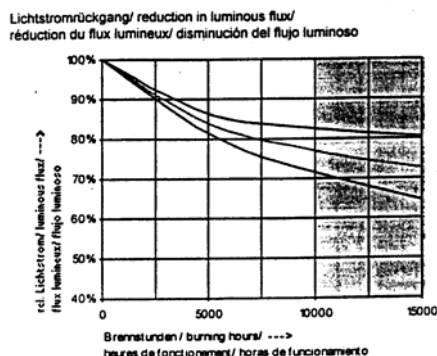
250W ne treba da pređe 10%, kao i da njihov svetlosni fluks ne treba da opadne za više od 20%, analizom dijagrama sa slika 9-12 dobija se da period grupne zamene izvora svetlosti ovog tipa treba da iznosi 6000h (godinu ipo dana), pri čemu je $f_1=0.82$.



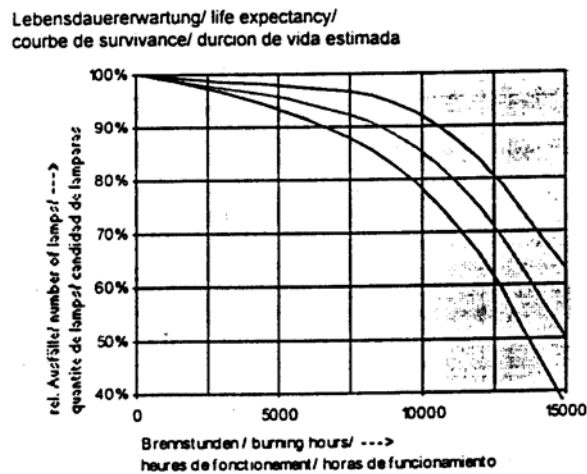
Slika 9. Procentualno opadanje svetlosnog fluksa metal-halogenih izvora tipa HPI-T Plus (Philips Lighting), snaga 400W i 250W



Slika 10. Procenat nepregorelih metal-halogenih izvora tipa HPI-T Plus (Philips Lighting), snaga 400W i 250W

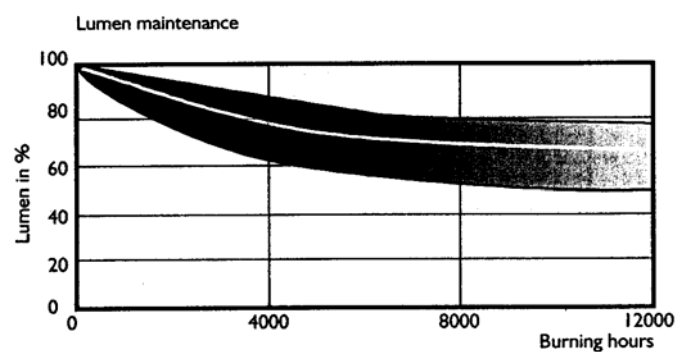


Slika 11. Procentualno opadanje svetlosnog fluksa metal-halogenih izvora tipa POWERSTAR HQI-E/T (Osram), snaga 400W i 250W

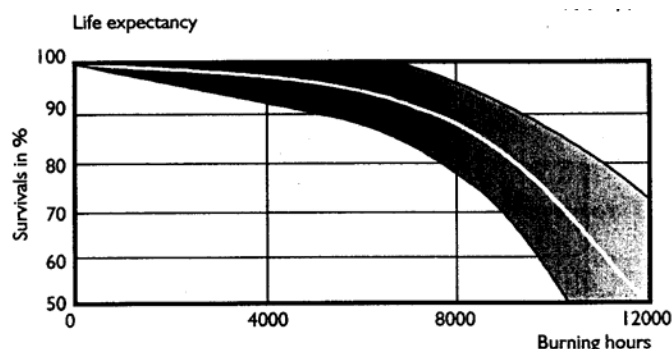


Slika 12. Procenat nepregorelih metal-halogenih izvora tipa POWERSTAR HQI-E/T (Osram), snaga 400W i 250W

Analizom krivih sa sl. 13 i 14 može da se zaključi da za metal-halogene izvore sa keramičkim gorionikom, tipa CDO-TT (snaga 150, 100 i 70W), period grupne zamene izvora treba da iznosi 6000h (godinu ipo dana). Procenat rano pregorelih izvora tada iznosi 6%, dok je faktor starenja $f_1=0.76$.



Slika 13. Procentualno opadanje svetlosnog fluksa metal-halogenih izvora tipa CDO-TT (Philips Lighting), snaga 150W, 100W i 70W



Slika 14. Procenat nepregorelih metal-halogenih izvora tipa CDO-TT (Philips Lighting), snaga 150W, 100W i 70W

Naglasimo da bi usvajanjem napred navedenih perioda grupne zamene procenat rano pregorelih izvora svetlosti za sve analizirane tipove oba proizvođača iznosio najviše 10%, dok bi vrednosti faktora starenja pripadale opsegu 0.76 – 0.88.

Pre nekoliko godina Philips Lighting je razvio Na izvore visokog pritiska tipa MASTER, koji u odnosu na uobičajene (PRO) izvore ovog tipa imaju sledeće značajne prednosti:

- veću svetlosnu iskoristivost,
- sporije i manje opadanje svetlosnog fluksa, i
- manji procenat rano pregorelih izvora.

Ove prednosti su posledica sledećih konstruktivnih poboljšanja:

1. PIA (Philips Integrated Antenna) tehnologija

Umesto rešenja sa spoljnom antenom u obliku bimetalne trake, koja je predstavljala jedan od glavnih uzroka ranog pregorevanja izvora svetlosti ovog tipa, primenjeno je rešenje sa antenom koja je integrisana sa gorionikom i koja obezbeđuje jednostavniju i robusniju konstrukciju. PIA obezbeđuje i pouzdano startovanje i ponovno startovanje (ovo drugo unutar 30s) tokom celog životnog veka izvora.

2. Manji broj tačaka u kojima je izvršeno zavarivanje

Novo konstruktivno rešenje sa manjim brojem komponenti i manjim brojem tačaka u kojima je izvršeno zavarivanje obezbeđuje robusniju konstrukciju,

koja je otpornija na vibracije i udare. Posledica ovoga je povećan prosečan vek trajanja, odnosno smanjen procenat rano pregorelih izvora ovog tipa.

3. ZrAl geter

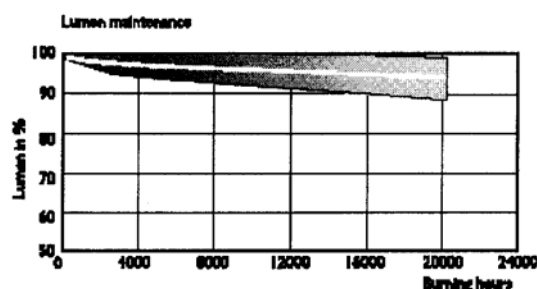
Geter od cirkonijum-aluminijumske legure odstranjuje nečistoće u vakuumu koji je uspostavljen između gorionika i spoljnog balona. Na ovaj način su praktično eliminisani rani “otkazi” Na izvora visokog pritiska koji su bili posledica klasičnog rešenja sa geterom od barijuma (nema rano pregorelih izvora u prvih 6000h rada, dok je procenat rano pregorelih izvora u prvih 16000h rada manji od 10%). Drugu značajnu prednost održavanja vakuuma tokom celog životnog veka izvora ovog tipa predstavlja skoro konstantan svetlosni fluks u toku ekonomskog veka izvora (u prvih 16000h rada on obično opadne za manje od 10%). Koliko je autorima studije poznato, ZrAl geter, koji je specifičnost originalne konstrukcije Philips Lighting-a, odlučujuće utiče kako na manji procenat ranih otkaza, tako i na stabilan svetlosni fluks izvora ovog tipa.

4. Povećan pritisak vrele pare Na u gorioniku

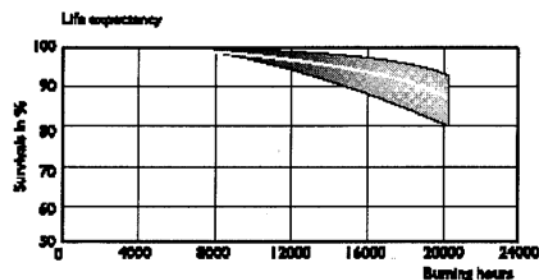
Posledica ovoga je povećana svetlosna iskoristivost (do čak 150lm/W).

Napomenimo i da natrijumovi izvori visokog pritiska tipa MASTER uopšte ne sadrže olovo, kao i da su više od 96% obnovljivi.

Sa dijagrama sa sl. 15 i 16 može da se zaključi da period grupne zamene izvora svetlosti ovog tipa treba da iznosi 16000h, odnosno 4 godine (procenat rano pregorelih izvora iznosi 6%, dok je $f_1=0.95$).

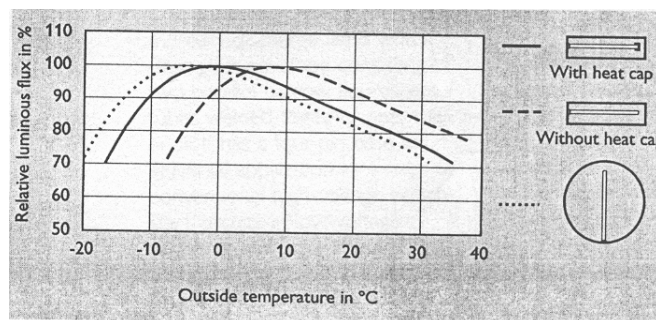


Slika 15. Procentualno opadanje svetlosnog fluksa Na izvora visokog pritiska tipa MASTER SON-T PIA Plus (Philips Lighting)

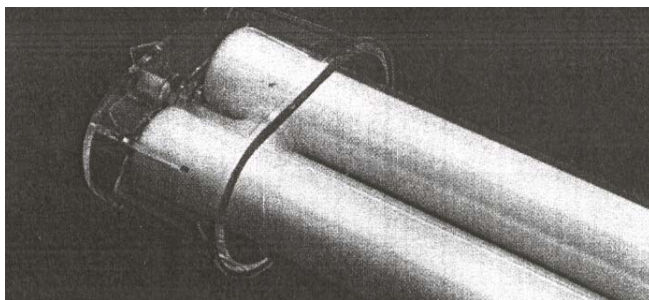


Slika 16. Procenat nepregorelih Na izvora visokog pritiska tipa MASTER SON-T PIA Plus (Philips Lighting)

Poslednjih godina sve je masovnija upotreba kompakt fluo izvora u javnom osvetljenju (koriste se za osvetljenje stambenih četvrti, parkova, šetališnih zona i skverova). U tu svrhu se koriste kompakt fluo izvori specijalne konstrukcije (Philips-ova oznaka: MASTER PL-L), kod kojih se maksimalan svetlosni fluks postiže pri nižim temperaturama ambijenta. Sa dijagrama sa sl. 17 može se videti da se maksimalan svetlosni fluks izvora ovog tipa postiže pri spoljnoj temperaturi od 8°C (u varijanti bez transparentnog dodatka za zagrevanje), odnosno pri spoljnoj temperaturi od 0°C (u varijanti sa transparentnim dodatkom za zagrevanje, koji se postavlja oko "glave" izvora ovog tipa, odnosno oko mosta koji povezuje cevčice - kao na sl. 18).



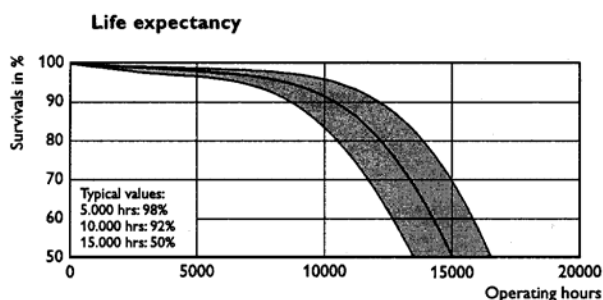
Slika 17. Promene svetlosnog fluksa kompakt fluo izvora namenjenih spoljnom osvetljenju (tipa MASTER PL-L) u zavisnosti od spoljne temperature (Philips Lighting)



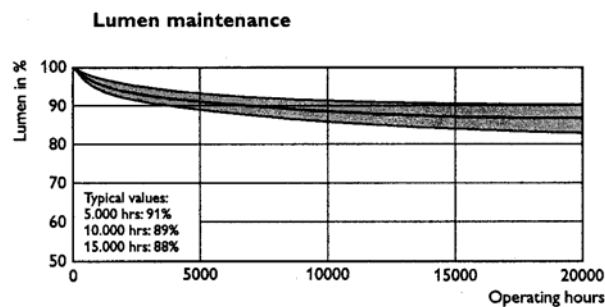
Slika 18. Kompakt fluo izvor tipa MASTER PL-L sa transparentnim dodatkom za zagrevanje (Philips Lighting)

Kompakt fluo izvori namenjeni osvetljenju spoljnih prostora izrađuju se i kao izvori toplo-bele boje ($T=3000K$) i kao izvori neutralne bele boje ($T=4000K$). U obe varijante postignut je isti indeks reprodukcije boja ($R_a=82$), tako da se radi o izvorima sa veoma dobrom reprodukcijom boja.

Izvori ovog tipa izrađuju se kako za rad sa klasičnim (elektromagnetskim) predspojnim uređajem, tako i za rad sa elektronskim (HF) predspojnim uređajem (sa toplim startovanjem). U klasičnoj varijanti izrađuju se za snage od 24W i 36W. Pri tome, ako rade u induktivnom spoju, njihov preporučeni vek trajanja (grupne zamene) iznosi 10000h, odnosno dve ipo godine (sa sl. 19 i 20 može da se zaključi da procenat rano pregorelih izvora ovog tipa iznosi 8%, dok je $f_1=0.88$).

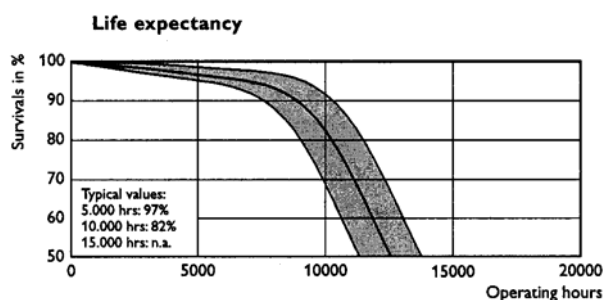


Slika 19. Procenat nepregorelih kompakt fluo izvora tipa MASTER PL-L sa klasičnim predspojnim uređajem u induktivnom spoju (Philips Lighting)



Slika 20. Procentualno opadanje svetlosnog fluksa kompakt fluo izvora tipa MASTER PL-L sa klasičnim predspojnim uređajem (Philips Lighting)

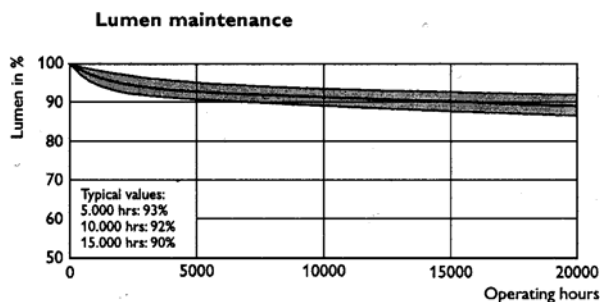
Ako kompakt fluo izvori tipa MASTER PL-L rade sa klasičnim predspojnim uređajem u kompenzovanom spoju, onda period grupne zamene izvora treba da iznosi 8000h, odnosno dve godine (sa dijagrama sa sl. 21 i 20 može da se zaključi da procenat rano pregorelih izvora ovog tipa tada iznosi 7%, dok je $f_1=0.89$).



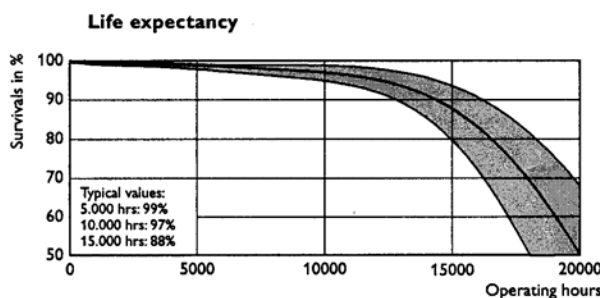
Slika 21. Procenat nepregorelih kompakt fluo izvora tipa MASTER PL-L sa klasičnim predspojnim uređajem u kompenzovanom spoju (Philips Lighting)

Kompakt fluo izvori tipa MASTER PL-L koji rade sa elektronskim predspojnim uređajem, iako se izrađuju za snage 24, 36 i 55W, praktično rade sa snagama 22, 32 i 55W. Sa dijagrama sa sl. 22 i 23 može da se zaključi da period grupne zamene izvora ovog tipa treba da iznosi 14000h, odnosno tri ipo godine (tada procenat rano pregorelih izvora iznosi 9%, dok je $f_1=0.90$). Pošto je dijagram sa sl. 23 dobijen u laboratorijskim uslovima i uz usvojen ciklični režim rada: 165 minuta uključen, 15 minuta isključen, u praksi, sa samo jednim uključenjem dnevno, procenat rano pregorelih izvora biće još manji. Kako je period grupne zamene izvora ovog tipa sa elektronskim predspojnim uređajem čak 75% veći od onog koji karakteriše kompakt fluo izvore sa klasičnim predspojnim uređajem u kompenzovanom spoju (induktivni se ne preporučuje), jasno je da su

kompakt fluo izvori sa elektronskim predspojnim uređajem ekonomski povoljniji, pa se zbog toga i preporučuju.



Slika 22. Procentualno opadanje svetlosnog fluksa kompakt fluo izvora tipa MASTER PL-L sa elektronskim (HF) predspojnim uređajem (Philips Lighting)

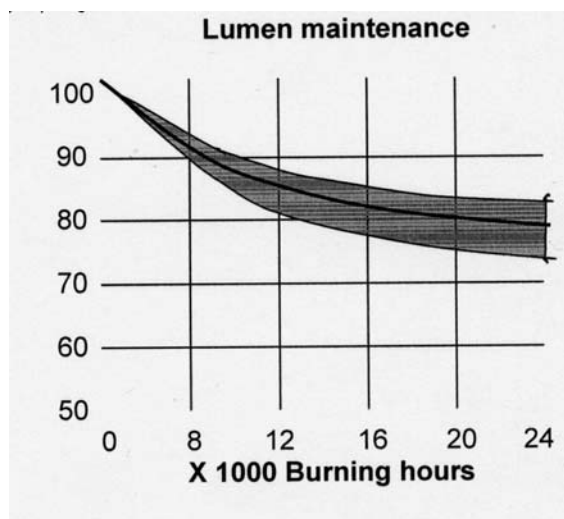


Slika 23. Procenat nepregorelih kompakt fluo izvora tipa MASTER PL-L sa elektronskim (HF) predspojnim uređajem (Philips Lighting)

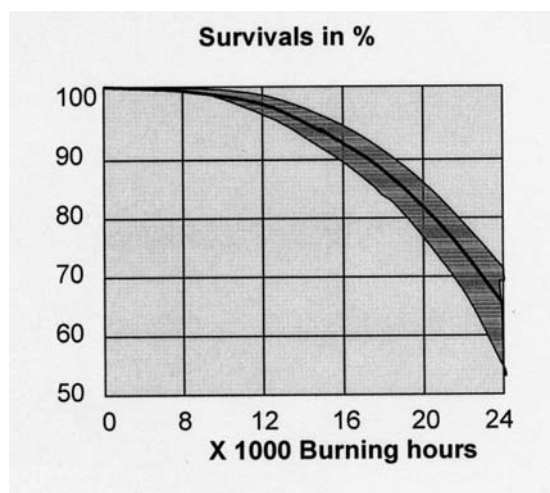
Treba pomenuti i Philips-ove živine izvore visokog pritiska tipa HPL 4 Pro, razvijene pre nekoliko godina, kod kojih je, zahvaljujući poboljšanom gorioniku, značajno smanjen procenat rano pregorelih izvora svetlosti i značajno povećan njihov vek trajanja. Uz to, svetlosna iskoristivost ovih izvora je za oko 10% veća od one koja karakteriše konvencionalne živine izvore istih snaga. Ovi izvori se izrađuju ne samo u konvencionalnoj varijanti neutralne bele boje ($T=4200K$), nego i u novoprojektovanoj varijanti toplije boje ($T=3400K$). Imaju i poboljšanu reprodukciju boja ($R_a > 60$). Ovi izvori se izrađuju za snage od 50, 80 i 125W i namenjeni su zameni konvencionalnih živinih izvora odgovarajuće snage u uličnom osvetljenju.

Analizom dijagrama sa sl. 24 i 25 mogu da se izvedu sledeći zaključci:

1. period održavanja $T=16000h$ (4 god.), uz procenat rano pregorelih izvora od samo 8%, i
2. $f_1=0.83$.



Slika 24. Procentualno opadanje svetlosnog fluksa živinih izvora visokog pritiska tipa HPL 4 Pro (Philips Lighting)



Slika 25. Procenat nepregorelih živinih izvora visokog pritiska tipa HPL 4 Pro (Philips Lighting)

Određivanje faktora zaprljanja svetiljki takođe počiva na određenim pretpostavkama. Prvo, Elektro distribucija Beograd je u okviru internih standarda usvojenih 2000. god. postavila uslov da stepen mehaničke zaštite novoinstaliranih svetiljki koje će se u javnom osvetljenju koristiti na teritoriji Beograda mora da iznosi najmanje IP65. Ova odluka je ekonomski opravdana i u skladu je sa trendovima koji postoje u tehnički razvijenim zemljama.

Drugo, ekonomski je najpovoljnije da se svetiljke čiste onda kada se menjaju izvori svetlosti. Može se reći i samo onda za svetiljke sa stepenom mehaničke zaštite IP6X ili SEALSAFE, jer isti obezbeđuju visoke vrednosti faktora zaprljanja svetiljke.

U tabeli 1 [1] date su vrednosti faktora zaprljanja svetiljki stepena mehaničke zaštite IP6X, kao funkcija perioda čišćenja i stepena zagađenja vazduha.

Tabela 1. Vrednosti faktora zaprljanja svetiljki stepena mehaničke zaštite IP6X

PERIOD ČIŠĆENJA (meseci) STEPEN ZAGAĐENJA	12	18	24	36
VISOK	0.91	0.90	0.88	0.83
SREDNJI	0.92	0.91	0.89	0.87
NIZAK	0.93	0.92	0.91	0.90

U tabeli 2 [2] date su vrednosti ovog faktora za svetiljke sa SEALSAFE sistemom mehaničke zaštite (kao specijalnim vidom zaštite svetiljki sa stepenom mehaničke zaštite IP66), koji se primenjuje kod modernih svetiljki kompanije Minel – Schreder. Napomenimo da su troškovi čišćenja svetiljki sa SEALSAFE sistemom mehaničke zaštite minimalni, jer se čisti samo spoljna strana protektora.

Tabela 2. Vrednosti faktora zaprljanja svetiljki sa SEALSAFE sistemom mehaničke zaštite (Minel – Schreder)

PERIOD ČIŠĆENJA (meseći) STEPEN ZAGAĐENJA	12	18	24	36
VISOK	0.93	0.91	0.90	0.89
SREDNJI	0.94	0.92	0.91	0.91
NIZAK	0.97	0.96	0.95	0.95

Napomenimo da je tabela 1 preuzeta iz British Standard-a 5489, Part 2, koji je, koliko je nama poznato, jedini dokument koji nudi jasnu i potpunu informaciju iz ove oblasti. On sadrži i sledeći opis pojedinih stepena zagađenja vazduha:

- visok stepen zagađenja karakterističan je za centre velikih urbanih sredina, kao i za oblasti sa teškom industrijom,
- srednji stepen zagađenja postoji u manje urbanim i stambenim zonama, kao i u oblastima sa lakom industrijom, i
- nizak stepen zagađenja karakterističan je za ruralne oblasti.

Istaknimo da se tabela 1 koristi i u CIE preporuci 154 [2].

Tabela 2, uvršćena u programski paket [3], dobijena je kao rezultat laboratorijskih ispitivanja svetiljki sa SEALSAFE sistemom mehaničke zaštite (Schreder), izvršenih od strane ovlašćene laboratorije.

Množenjem vrednosti faktora zaprljanja svetiljki iz tabela 1 i 2 i prethodno određenih vrednosti faktora starenja izvora svetlosti, dobijena je tabela 3, u kojoj su, za sve tipove izvora svetlosti koji se koriste u funkcionalnom javnom osvetljenju, a u zavisnosti od stepena mehaničke zaštite svetiljke i stepena zagađenja vazduha, date vrednosti faktora održavanja. Za svaki tip izvora svetlosti dat je i period grupne zamene, jednak sa periodom čišćenja svetiljki (praktično period održavanja), koji obezbeđuje da stvarna vrednost faktora održavanja ne bude manja od one iz tabele 3.

Tabela 3. Preporučene vrednosti perioda održavanja (T) i faktora održavanja u funkcionalnom javnom osvetljenju

Stepen zagađenja vazduha Tip izvora svetlosti Period održavanja (T)	Visok	Srednji	Nizak	Stepen mehaničke zaštite svetiljke
Konvencionalni NaVP izvori (tipa PRO): T=36mes. (3 god.)	0.73	0.77	0.79	IP6X
	0.78	0.80	0.84	SEAL SAFE
NaVP izvori tipa MASTER SON-T PIA Plus: T=48mes. (4 god.)	0.74	0.81	0.85	IP6X
	0.84	0.86	0.89	SEAL SAFE
Konvencionalni Hg VP izvori: T=24 mes. (dve godine)	0.71	0.71	0.72	IP6X
	0.72	0.73	0.76	SEAL SAFE
Metal – halogeni izvori snage 250W i 400W: T=18 mes. (godinu ipo)	0.74	0.75	0.76	IP6X
	0.75	0.76	0.79	SEAL SAFE
Metal – halogeni izvori sa keramičkim gorionikom snage 70W, 100W i 150W (tipa CDO-TT): T=18 mes. (godinu ipo)	0.71	0.72	0.73	IP6X
	0.73	0.73	0.76	SEAL SAFE
Kompakt fluo izvori za spoljno ovetljenje sa elektronskim predspojnim uređajem: T=42 mes. (tri ipo godine)	0.72	0.77	0.80	IP6X
	0.79	0.81	0.85	SEAL SAFE
Hg VP izvori tipa HPL 4 Pro: T=48 mes. (4 god.)	0.75	0.76	0.76	IP6X
	0.76	0.76	0.80	SEAL SAFE

Može da se primeti da odstupanje faktora održavanja od vrednosti 0.8 (koju projektanti po pravilu usvajaju) najčešće nije veće od 10% .

Napomenimo da proizvođači izvora svetlosti specificiraju takozvani vek servisiranja izvora (lamp service life), definisan kao period u okviru koga će se proizvod faktora starenja i faktora nepregorelih izvora svetlosti svesti na usvojenu vrednost (obično 0.7 ili 0.8). Jasno je da vek servisiranja izvora svetlosti ne može da se koristi kao njegov vek trajanja, odnosno period održavanja, jer rano pregoreli izvori svetlosti u funkcionalnom javnom osvetljenju moraju brzo da se zamene, zbog čega praktično ne utiču na redukciju nivoa sjajnosti (osvetljenosti) kolovoza.

Literatura

1. British Standard 5489, Part 2, “Code of Practice for Lighting for Traffic Routes“, 1992.
2. CIE 154, “The Maintenance of Outdoor Lighting Systems”, 2003.
3. Schreder Group GIE, "Ulysse 2" (programski paket), 2003.

4. Tehno-ekonomska analiza upotrebe različitih sistema za regulaciju svetlosnog fluksa u javnom osvetljenju

Pošto se osvetljenje saobraćajnice projektuje za najnepovoljnije uslove u noćnim satima (najveće gustine vozila i pešaka i najveće sjajnosti okruženja), jasno je da je projektovani nivo osvetljenosti (sjajnosti) kolovoza veoma često moguće smanjiti u kasnijim noćnim satima (na taj način su moguće značajne uštede električne energije). Pošto je potrebno zadržati projektovane vrednosti ravnomernosti osvetljenosti (sjajnosti), moguće je jedno od sledeća četiri rešenja:

- upotreba svetiljki sa po dva izvora, od kojih se jedan isključuje u periodu redukcije nivoa osvetljenosti (sjajnosti),
- upotreba dvostepenih balasta,
- upotreba uređaja za centralnu regulaciju svetlosnog fluksa izvora svetlosti, i
- upotreba uređaja za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa izvora svetlosti.

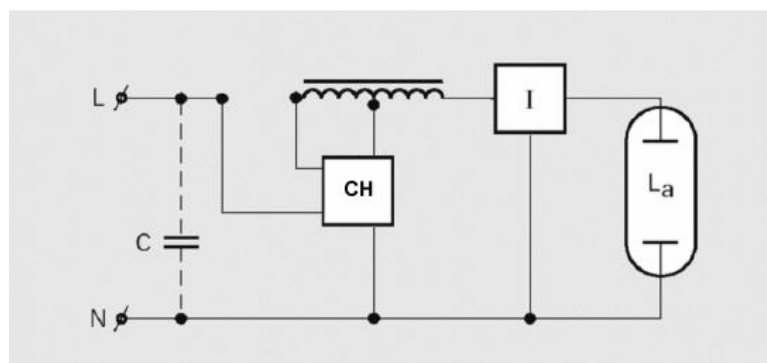
Napomenimo da je zahvaljujući nedavno razvijenim uređajima moguća kontinualna regulacija ne samo natrijumovih izvora visokog pritiska, nego i metal-halogenih izvora nove generacije (sa keramičkim gorionikom), kao i nedavno razvijenih izvora bele svetlosti tipa CosmoWhite (Philips Lighting)

4.1. Upotreba dvostepenih balasta u uličnom osvetljenju

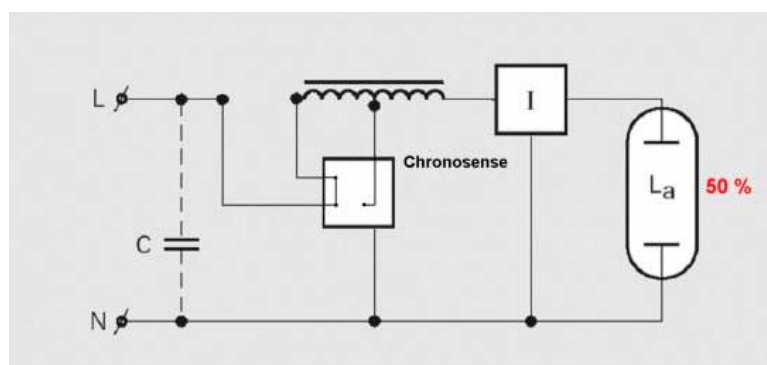
U uličnom osvetljenju dvostepeni balasti se po pravilu koriste kod svetiljki sa natrijumovim izvorima visokog pritiska, čije su snage 150, 250 i 400 W. Kod postojećih instalacija kod kojih je ekonomski neprihvatljivo (ili fizički nemoguće) rešenje sa iskopom rova i polaganjem kontrolnog kabla, preporučuje se rešenje sa dvostepenim balastom i časovnikom.

Postoje časovnici sa ručnim i časovnici sa automatskim podešavanjem vremena rada sijalice sa redukovanim svetlosnim fluksom. Prvi su jednostavnije konstrukcije i značajno jeftiniji od drugih, ali je u našim uslovima, a usled značajnih promena trajanja uključenosti uličnog osvetljenja u toku godine, njihova primena praktično nemoguća. Drugi sadrže „inteligentan“ elektronski uređaj (Philips-ova oznaka: Chronosense controller LLC), prikazan na sl. 1. Ovakav uređaj svakog dana meri trajanje uključenosti sijalice, pri čemu svaka tri dana određuje srednje trajanje uključenosti i izračunava tzv. srednju tačku. Zadaju se (praktično zauvek) broj sati pre i broj sati posle srednje tačke u okviru kojih izvor svetlosti radi sa 50% nominalnog svetlosnog fluksa (zadavanje se vrši definisanjem položaja 7 mikroprekidača).

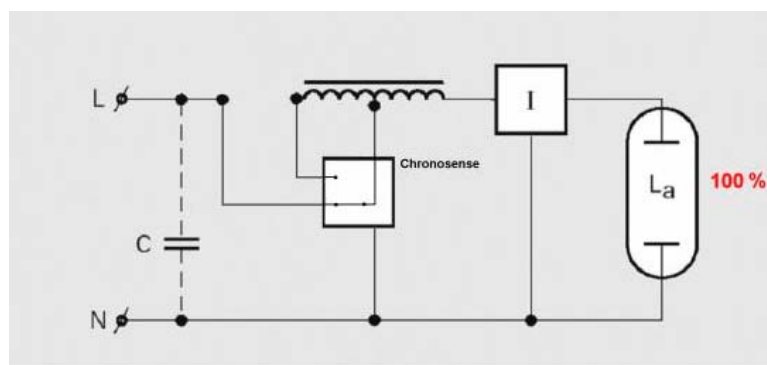
Značajna prednost ovog rešenja je nepostojanje kontrolnog kablo.



(a)



(b)



(c)

Slika 1. Šema povezivanja dvostepenog balasta i časovnika (a), sa preklopnim kontaktom časovnika u položaju koji obezbeđuje 50% svetlosnog fluksa (b), odnosno 100% svetlosnog fluksa (c)

Napomenimo da se opisano rešenje može primeniti jedino u slučaju serijski povezanog ignitora, kao i da je primenljivo ne samo u slučaju «jednodelnog» balasta (prikazanog na sl. 1), nego i u slučaju balasta iz dva dela (prikazanog na sl. 2).

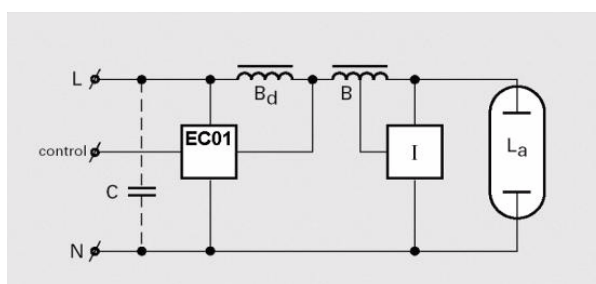
U tabeli 1, dobijenoj primenom metode aktuelizacije troškova (uz, za naše prilike, uobičajenu stopu aktuelizacije od $i=5\%$), dati su periodi posle

kojih investicija u instaliranje dvostepenih balasta u postojećim instalacijama uličnog osvetljenja, koja približno iznosi 70 € po svetiljci, postaje isplativa.

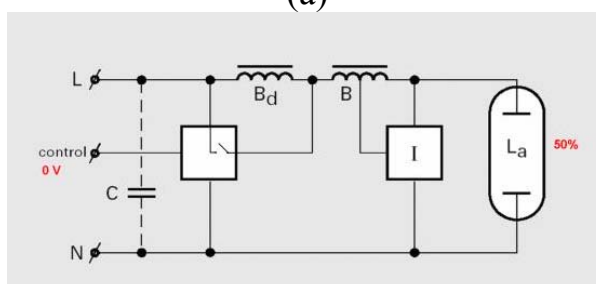
Tabela 1. Zavisnost perioda isplativosti instaliranja dvostepenih balasta u postojećim instalacijama uličnog osvetljenja od snage izvora svetlosti i cene električne energije

Snaga izvora svetlosti (W)	Cena električne energije (€/kWh)	Period isplativosti (god.)
150	0.04	40
150	0.05	24
150	0.06	18
250	0.04	12
250	0.05	9
250	0.06	7
400	0.04	8
400	0.05	6
400	0.06	5

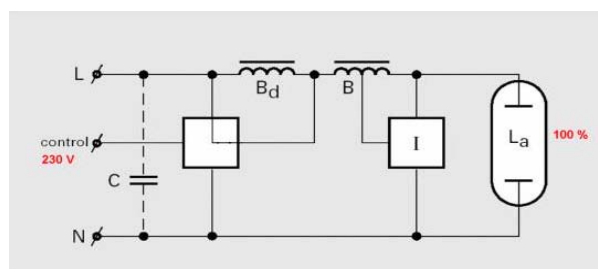
Kod novoprojektovanih instalacija izvodi se i kontrolni kabl, pomoću koga se prenose komande za uključenje ili isključenje dodatnog elektromagnetnog balasta (označenog sa B_d na sl. 2). Ovde se komanda realizuje uz pomoć elektronskog prekidača EC01 (koji se koristi kod sijalica snage 150 i 250 W), odnosno elektronskog prekidača EC03 (koji se primenjuje kod sijalica snage 400 W).



(a)



(b)



(c)

Slika 2. Šema povezivanja dvostepenog balasta sa kontrolnim kablom i elektronskim prekidačem (a), sa kontaktom prekidača u položaju «otvoreno», koji obezbeđuje 50% svetlosnog fluksa (b), odnosno u položaju «zatvoreno», koji obezbeđuje 100% svetlosnog fluksa (c)

Napomenimo da je primena dvostepenih balasta prikazanih na sl. 2 moguća kako sa serijski, tako i sa polu – paralelno povezanim ignitorom.

Primenom ekonomske analize koja je slična onoj koja je korišćena kod rešenja sa časovnikom, dobijena je tabela 2 u kojoj su dati periodi isplativosti instaliranja dvostepenih balasta u novoprojektovanim instalacijama uličnog osvetljenja, izvedenim pomoću natrijumovih izvora visokog pritiska (za izvore snage 150 i 250 W investiciona suma, koja uključuje isporuku i polaganje kontrolnog kablova, iznosi 39 € po svetiljci, dok za izvor snage 400 W ona iznosi 52 € po svetiljci).

Tabela 2. Zavisnost perioda isplativosti instaliranja dvostepenih balasta u novoprojektovanim instalacijama uličnog osvetljenja od snage izvora svetlosti i cene električne energije

Snaga izvora svetlosti (W)	Cena električne energije (€/kWh)	Period isplativosti (god.)
150	0.04	14
150	0.05	10
150	0.06	8
250	0.04	6
250	0.05	5
250	0.06	4
400	0.04	5
400	0.05	4
400	0.06	3

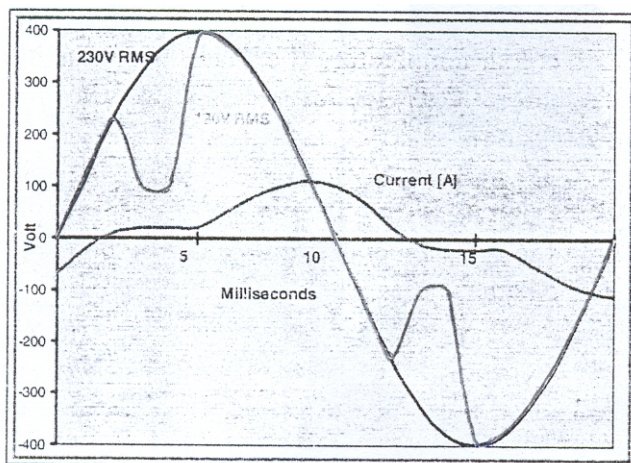
4.2. Upotreba uređaja za centralnu regulaciju svetlosnog fluksa u uličnom osvetljenju

Postoje dve vrste uređaja za centralnu, odnosno identičnu regulaciju svetlosnog fluksa grupe izvora svetlosti. To su:

- uređaji za diskretnu regulaciju svetlosnog fluksa, i
- uređaji za kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa.

Osnovni deo uređaja za diskretnu centralnu regulaciju svetlosnog fluksa najčešće predstavlja transformator sa više izvoda na sekundarnoj strani (step transformer). Ovi izvodi obezbeđuju regulaciju svetlosnog fluksa u nekoliko stepena, i to samo u opsegu između 100% i 50% Φ_{nom} . Nasuprot ovome, francuska firma Sogexi je razvila elektronski uređaj za diskretnu centralnu regulaciju svetlosnog fluksa (u okviru sistema Tegis), koji sem nominalnog obezbeđuje još dva režima sa redukovanim svetlosnim fluksom. Verovatno podstaknuti činjenicom da se preporučeni nivoi sjajnosti u uličnom osvetljenju uglavnom razlikuju za 25% (u slučaju susednih svetlotehničkih klasa), odnosno 50% (u slučaju svetlotehničkih klasa koje se razlikuju za 2 stepena), inženjeri koji su razvijali sistem Tegis konstruisali su uređaj koji obezbeđuje redukciju od 25% i 50%, ali ne svetlosnog fluksa, nego aktivne snage izvora svetlosti. Pošto su redukcije aktivne snage od 25% i 50% praćene redukcijama svetlosnog fluksa, odnosno nivoa sjajnosti kolovoza, od redom 35% i 67%, jasno je da se sistem Tegis ne može preporučiti za redukciju svetlosnog fluksa u javnom osvetljenju.

Glavnu komponentu uređaja za kontinualnu centralnu regulaciju svetlosnog fluksa predstavlja elektronski kontroler (uređaj za dimovanje), koji obezbeđuje identičnu kontinualnu promenu svetlosnog fluksa svih izvora svetlosti istog tipa koji su priključeni na kontroler. Rad ovog uređaja je baziran na NCWI (Non Critical Waveform Intersection) tehnologiji, koja obezbeđuje kontinualnu promenu svetlosnog fluksa u opsegu između 100% i 20% Φ_{nom} . Dijagram na slici 3 prikazuje osnovni princip na kome je zasnovana NCWI tehnologija. „Trik“ je u tome što uređaj za dimovanje obezbeđuje da u svakoj poluperiodi svetiljka dobije maksimalnu vrednost napona, kao i da se u intervalu niskih trenutnih vrednosti napona injektira struja koja omogućava održavanje stabilnog električnog luka.



Slika 3. Dijagram trenutnih vrednosti napona i struje na izlazu iz NCWI uređaja za dimovanje

Maksimalan broj izvora svetlosti koji mogu da se priključe na kontroler određen je njegovom snagom, koja je reda 10 kVA, što predstavlja jedan od osnovnih nedostataka ovakvih uređaja (na primer, na kontroler mogu da se priključe samo dvadesetak NaVP izvora svetlosti snage 400 W). Nedostatak predstavlja i činjenica da su sve svetiljke koje su priključene na isti kontroler, odnosno isti razvodni orman, iako priključene na različita strujna kola (koja mogu biti i sa različitim tipovima izvora svetlosti!), izložene istim promenama napona. Uz običan elektromagnetni balast svetiljka ne sme da sadrži kondenzator za kompenzaciju reaktivne energije (mora da se izvrši grupna kompenzacija za sve izvore svetlosti priključene na isti kontroler, i to na njegovoj mrežnoj strani). Napomenimo da ovakvi uređaji ne zahtevaju izvođenje posebnog komandnog kabla.

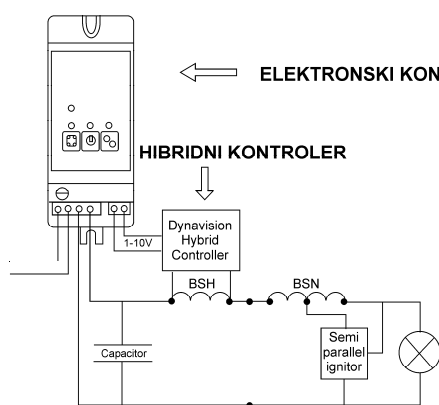
Treba istaći da je tehničko-fotometrijska dokumentacija o ovakvim uređajima nepotpuna i veoma oskudna, tako da je teško doneti relevantan sud o opravdanosti njihove primene. Ovakvi uređaji nisu masovno u upotrebi, delom zbog visoke cene, delom zbog navedenih nedostataka, a delom zbog činjenice da su poslednjih godina istraživački naponi vodećih proizvođača opreme ove vrste usmereni prema razvoju sofisticiranijih uređaja. Ovi uređaji treba da obezbede ne samo pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa, nego i monitoring rada svakog izvora svetlosti, uključujući i merenje njegove utrošene električne energije.

4.3. Sistem za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa i monitoring u uličnom osvetljenju koji je razvio Philips Lighting

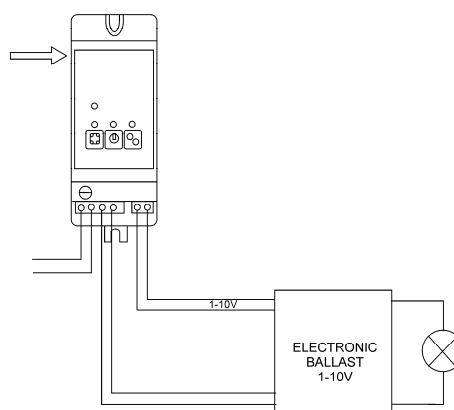
Sistem za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa i monitoring u uličnom osvetljenju koji je razvio Philips Lighting javlja se u dve varijante.

Prva se upotrebljava kod svetiljki sa natrijumovim izvorima visokog pritiska snage 250 i 400 W i pogodna je za primenu kako u novim, tako i u postojećim instalacijama uličnog osvetljenja. Svakoј takvoj svetiljci, koja već sadrži konvencionalan elektromagnetni balast, pridružuju se kako dodatni elektromagnetni balast za dimovanje (kontinualnu promenu svetlosnog fluksa), tako i hibridni i elektronski kontroler, koji su povezani kao na sl. 4. Ovakav sistem se naziva hibridni sistem za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa.

Druga, kompletno elektronska varijanta (koja se koristi sa novim svetiljkama sa NaVP izvorima svetlosti snage 100 i 150 W) podrazumeva upotrebu jedinstvenog elektronskog balasta, koji u sebi sadrži i ignitor i kondenzator za popravku faktora snage. I u ovoj varijanti svakoј svetiljci je pridružen i elektronski kontroler. Elektronski sistem za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa prikazan je na sl. 5.



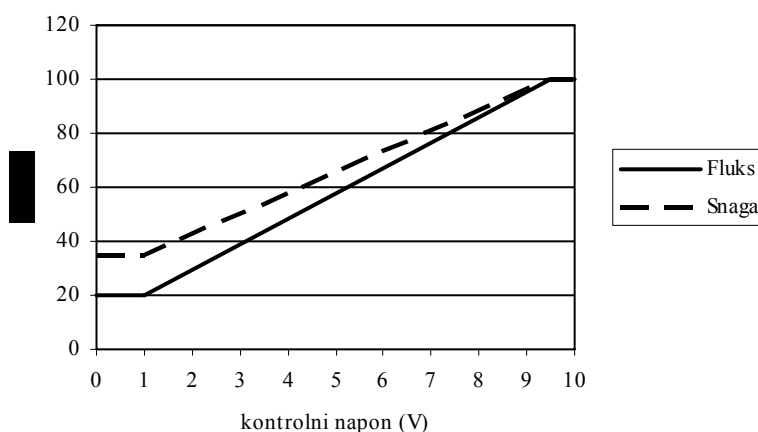
Slika 4. Hibridni sistem za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa u uličnom osvetljenju



Slika 5. Elektronski sistem za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa u uličnom osvetljenju

Važno je napomenuti da se u obe varijante veza između elektronskog kontrolera i elektronskog balasta, odnosno između elektronskog kontrolera i hibridnog kontrolera sa dodatnim balastom, ostvaruje ne samo pomoću elektroenergetskog provodnika, nego i pomoću dvožilnog kabla, kojim se na analogni ulaz elektronskog balasta (hibridnog kontrolera) dovodi jednosmerni komandni napon 1-10 V. U zavisnosti od veličine ovog napona svetlosni fluks opadne za određeni procenat u odnosu na nominalnu vrednost. Kontroleri koji se danas koriste mogu da smanje svetlosni fluks do 80% (tada snaga izvora svetlosti opadne oko 65%). Dijagram na kome su prikazane zavisnosti između kontrolnog napona sa jedne i svetlosnog fluksa i aktivne

snage izvora svetlosti sa druge strane, dat je na sl. 6. Ovaj dijagram pokazuje da kontinualnu redukciju svetlosnog fluksa izvora svetlosti prati opadanje njegove svetlosne iskoristivosti. Napomenimo da se i kod hibridne i kod elektronske varijante pri nominalnom svetlosnom fluksu obezbeđuje faktor snage od najmanje 0.95. Kod hibridne varijante on iznosi preko 0.60 pri $0.35 \Phi_n$, a kod elektronske preko 0.80 pri $0.20 \Phi_n$.



Slika 6. Zavisnost svetlosnog fluksa (puna linija) i aktivne snage izvora svetlosti (isprekidana linija) od kontrolnog napona

U obe varijante elektronski kontroler svetiljke je postojećim mrežnim (napojnim) vodom povezan sa tzv. segmentnim kontrolerom, smeštenim u razvodnom ormanu uličnog osvetljenja ili u posebnom razvodnom ormanu, koji se nalazi neposredno uz razvodni orman uličnog osvetljenja. Segmentni kontroler sa jedne strane „komunicira“ sa elektronskim kontrolerima svetiljki, a sa druge sa centralnom upravljačkom jedinicom (PC-jem). Jedan segmentni kontroler dovoljan je za kontrolu rada do sto svetiljki uličnog osvetljenja, priključenih na različite izvođe razvodnog ormana, uz ograničenje da rastojanje između razvodnog ormana i najudaljenije svetiljke ne sme da bude veće od 3 km. U razvodni orman sa segmentnim kontrolerom postavljaju se i tri „priključna elementa“ (Phase Coupler-a), po jedan za svaku fazu. U hibridnoj varijanti je potrebno da se u svakoj svetiljci ukloni postojeći kondenzator za popravku faktora snage. Umesto njega treba da se postavi nov kondenzator, deklarisan od strane proizvođača dodatnog elektromagnetnog balasta (označenog sa BSH na sl. 4).

Oba opisana sistema za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa u uličnom osvetljenju obezbeđuju ispunjenje sledećih zahteva:

- U vreme normalne gustine saobraćaja potrebno je obezbediti standardima (preporukama) zahtevane fotometrijske parametre. Međutim, i pri „normalnim uslovima“ (normalnoj gustini saobraćaja) kontinualnom regulacijom svetlosnog fluksa moguće je postići značajne uštede električne energije, praćene značajnim smanjenjem svetlosnog zagađenja. Naime,

uobičajene vrednosti faktora održavanja instalacije uličnog osvetljenja pripadaju opsegu 0.7-0.8, što znači da su početne vrednosti relevantnog fotometrijskog parametra (nivoa osvetljenosti ili sjajnosti) 25-43% veće od onih koje zahtevaju standardi (preporuke). Praktično, osvetljenost ili sjajnost opadne do zahtevanog nivoa tek pri kraju perioda održavanja (neposredno pred zamenu izvora svetlosti i čišćenje svetiljki). Kontinualna regulacija svetlosnog fluksa izvora svetlosti može da obezbedi da sve vreme eksploatacije nivo osvetljenosti (sjajnosti) ima približno konstantnu vrednost, blisku onoj koja je definisana standardima (preporukama). Primenom sistema za kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa moguće je izbeći čest problem koji se javlja pri projektovanju uličnog osvetljenja. Naime, ograničavajući parametar za povećanje rastojanja između susednih stubova najčešće predstavlja podužna ravnomernost sjajnosti. Zbog toga je čest slučaj da je nivo osvetljenosti (sjajnosti) veći od onog koji zahtevaju standardi (preporuke). Primenom kontinualne regulacije svetlosnog fluksa nivo osvetljenosti (sjajnosti) može da se smanji do preporučene vrednosti, a da se pri tome ne promene ni opšta, ni podužna ravnomernost sjajnosti. Na ovaj način se izbegavaju nivoi osvetljenosti (sjajnosti) veći od zahtevanih, što smanjuje ne samo utrošenu električnu energiju, nego i količinu svetlosti koja se posle refleksije od kolovoza usmerava prema nebu (vrsta svetlosnog zagađenja).

- U kasnim noćnim satima, kada dolazi do značajnog smanjenja gustine saobraćaja, potrebno je obezbediti ispunjenje blažih fotometrijskih zahteva, odnosno treba postići niži nivo osvetljenosti (sjajnosti). Pri tome, trebalo bi omogućiti da on može da ima bilo koju vrednost, kao i da u slučaju centralnog rasporeda stubova nivoi osvetljenosti (sjajnosti) kolovoza za različite smerove vožnje mogu da budu različiti.

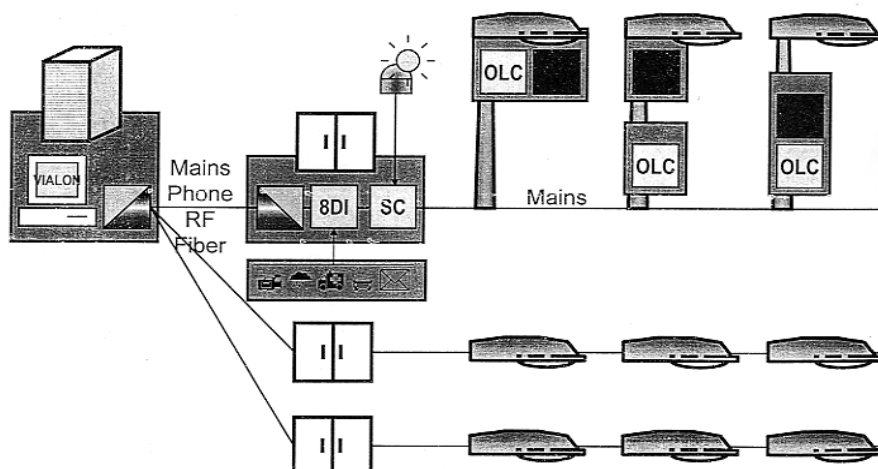
Važno je napomenuti da se jednakom regulacijom svetlosnog fluksa svih izvora svetlosti u nizu zadržavaju projektovane vrednosti opšte i podužne ravnomernosti sjajnosti (sjajnosti svih tačaka na kolovozu opadnu za isti procenat). Na ovaj način se izbegava pojava naizmeničnih svetlih i tamnih deonica kolovoza, koja negativno utiče na vidni komfor i može da izazove zamor vozača.

- Nezavisno od gustine saobraćaja treba obezbediti da nivo osvetljenosti (sjajnosti) za veoma kratko vreme (par sekundi) može da se podigne do nominalnog nivoa, što je veoma važno u slučaju nekih vanrednih situacija na putu (saobraćajne nezgode i sl.).

4.4. Starsense sistem

U prethodnom poglavlju su opisane osnovne komponente sistema za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa razvijenog od strane

Philips Lighting-a, koji se najčešće javlja u obliku tzv. Starsense arhitekture, prikazane na sl. 7.



Slika 7. Starsense arhitektura

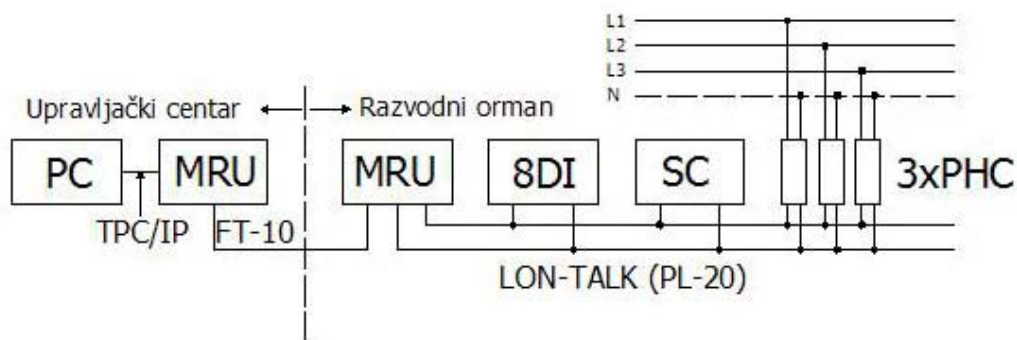
Moguća je svaka od sledeće tri varijante, koje su prikazane na sl. 7:

- elektronski balast (hibridni kontroler) i elektronski kontroler nalaze se unutar svetiljke,
- elektronski balast (hibridni kontroler) je unutar, a elektronski kontroler izvan svetiljke (instaliran pri dnu stuba ili u posebnom ormariću), i
- elektronski balast (hibridni kontroler) i elektronski kontroler su izvan svetiljke (instalirani pri dnu stuba ili u posebnom ormariću).

Komunikacija između centralne upravljačke jedinice (PC-ja) i elemenata sistema smeštenih u razvodnom ormanu može da se vrši pomoću:

- 1) galvanskih veza, realizovanih pomoću elektroenergetskih ili telekomunikacionih (telefonskih ili optičkih) kablova,
- 2) sistema GSM (global system for mobile communications), brzine 9.6 kbit/s, i
- 3) sistema GPRS (general packet radio service), brzine 115 kbit/s.

U prvoj varijanti neophodni su elementi sistema koji su šematski prikazani na sl. 8.

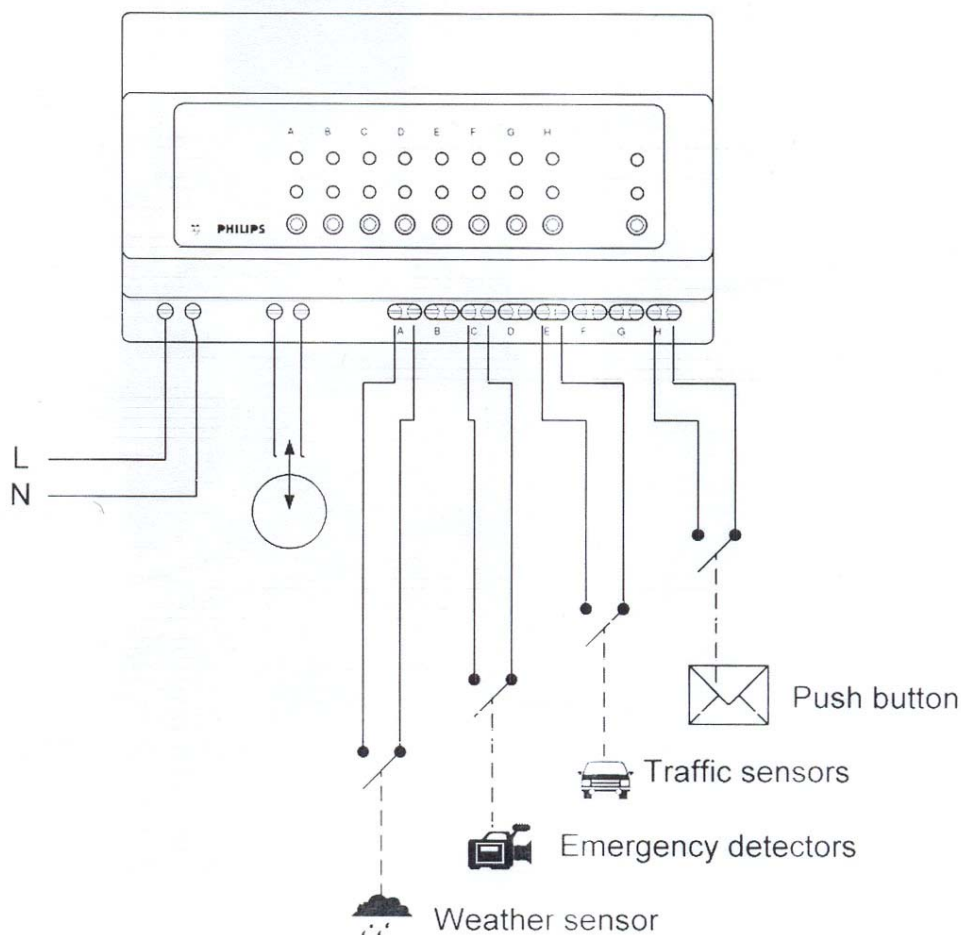


Slika 8. Šema veza elemenata sistema za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa koji se nalaze u upravljačkom centru i razvodnom ormanu (varijanta 1)

Pošto se komunikacija u PC mreži odvija po standardnom TCP/IP protokolu, a komunikacija između elemenata smeštenih u razvodnom ormanu po LON-TALK (PL-20) protokolu (preko posebne BUS magistrale prikazane na sl. 8), neophodno je da se i u upravljačkom centru i u razvodnom ormanu instalira po jedan prevodilac (ROUTER/REPEATER), na sl. 8 označen sa MRU (Modular Router Unit). Komunikacija između ova dva elementa obavlja se po FT-10 protokolu. Uloga MRU elemenata je da, s jedne strane, naredbe iz PC-ja prevedu u oblik koji odgovara PL-20 protokolu i prenesu ih na BUS magistralu u razvodnom ormanu, a s druge da podatke koji su od svetiljki stigli na BUS magistralu prevedu u oblik pogodan za računarsku obradu i prenesu ih do PC mreže u upravljačkom centru.

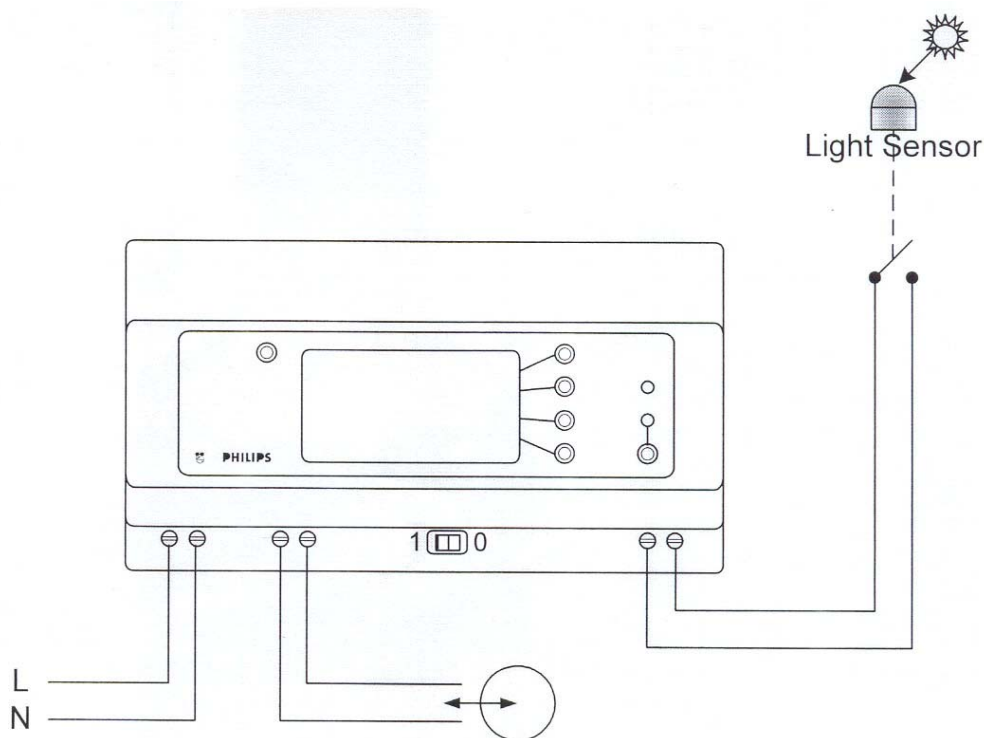
Segmentni kontroler (SC) prima naredbe od PC-ja i prenosi ih do 3 priključna elementa (Phase Coupler-a), na sl. 8 označena sa PHC, koji ih „utiskuju“ na elektroenergetsku mrežu, odnosno prosleđuju strujnim kolima javnog osvetljenja.

Element 8DI (8 Digital Input, šematski prikazan na sl. 9), omogućava da se komandovanje vrši ne samo iz upravljačkog centra, nego i pomoću grupe digitalnih upravljačkih kola, koja izdaju odgovarajuće komande za uključenje, odnosno rad sa 100% nominalnog fluksa, u slučajevima kao što je drastično smanjenje vidljivosti u dnevnim uslovima, pojava vozila sa uključenim „rotacionim svetlima“, značajno povećanje gustine saobraćaja i tome slično.



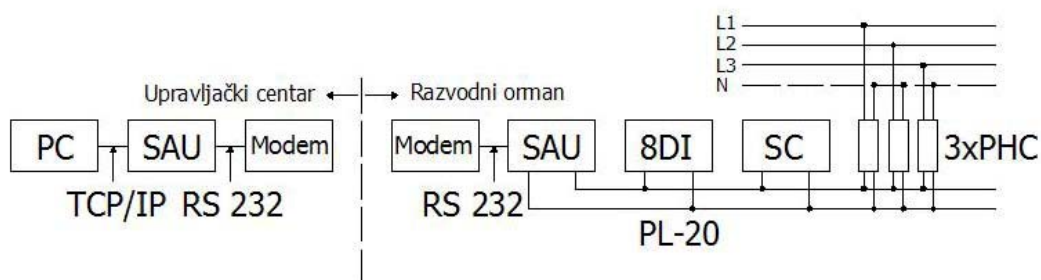
Slika 9. Šema veza 8DI elementa

Pošto 8DI element nije neophodan, segmentni kontroler, šematski prikazan na sl. 10, može da prima komande ne samo iz upravljačkog centra, nego i pomoću digitalnog ulaza povezanog sa senzorom koji meri osvetljenost i izdaje komandu za uključenje javnog osvetljenja kada ona padne ispod unapred određene vrednosti. U segmentnom kontroleru je ugrađen i astronomski časovnik.



Slika 10. Šema veza segmentnog kontrolera (SC)

U varijantama 2 i 3 (komunikacija preko sistema GSM, odnosno GPRS) umesto svakog MRU elementa treba da se instaliraju elementi MODEM+SAU (Serial Access Unit) – kao na sl. 11.



Slika 11. Šema veza elemenata sistema za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa koji se nalaze u upravljačkom centru i razvodnom ormanu (varijante 2 i 3)

U razvodnom ormanu SAU element prevodi PL-20 u RS232 protokol, pomoću koga komunicira sa MODEM-om. Veza između modema je bežična, a u upravljačkom centru SAU element prevodi RS232 u TCP/IP protokol.

Svaka svetiljka ima svoju adresu i segmentni kontroler sa njom nezavisno komunicira. Za sve vreme rada meri se aktivna snaga svetiljke (zbir aktivne snage izvora svetlosti i predspojnog uređaja), na osnovu čega može precizno da se izračuna utrošena električna energija. Pošto se mere i napon i struja, dostupan je i podatak o faktoru snage. U svakom trenutku se zna da li je izvor uključen ili isključen, sa kolikim svetlosnim fluksom radi i da li je ispravan (moguće je predvideti prestanak rada (pregorevanje) izvora).

Centralna upravljačka jedinica (PC) kontinualno kontroliše rad svih svetiljki i podatke o njihovom radu memoriše u odgovarajuću bazu podataka.

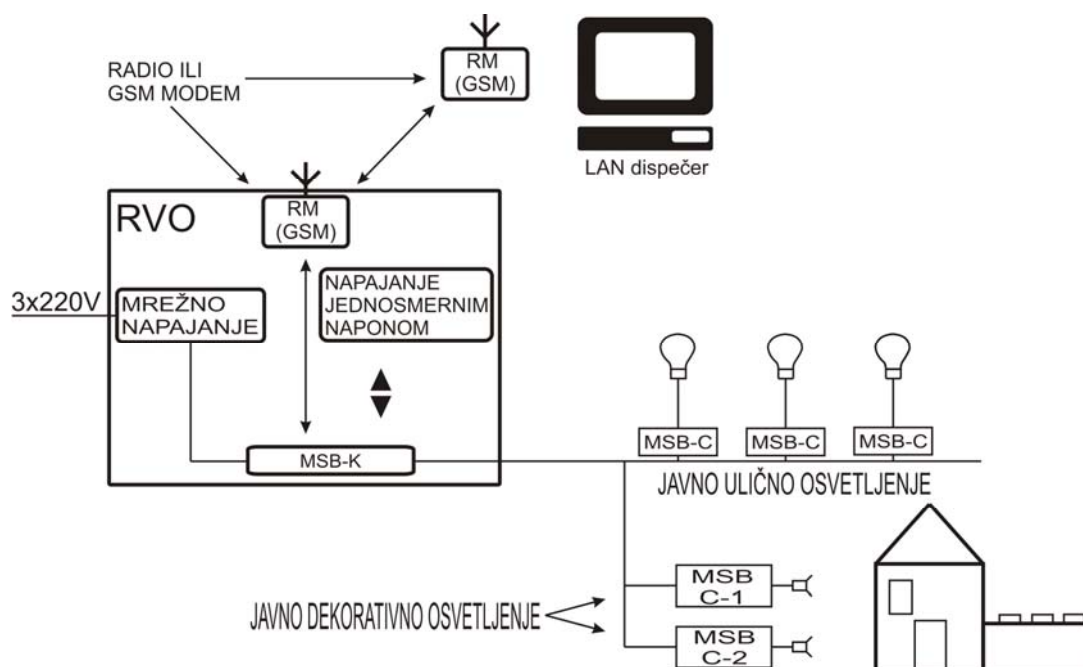
Primenom opisanog sistema moguće je ostvariti značajne uštede u toku eksploatacije instalacije uličnog osvetljenja. Pomenute uštede baziraju se na sledećim činjenicama:

- Nisu neophodna brojila za merenje utrošene električne energije, koja je značajno manja nego u konvencionalnom sistemu u kome se ne vrši regulacija svetlosnog fluksa. Štedi se ne samo na brojilima, nego i na troškovima njihovog očitavanja.
- Manji svetlosni fluks izvora podrazumeva manju proizvedenu toplotu, odnosno sporije starenje svih komponenti svetiljke.
- Elektronski balast je takve konstrukcije da u slučaju neuspelog uključenja izvora u periodu od 5 min. automatski prekida dalje pokušaje njegovog uključenja, čime produžava vek trajanja i balasta i ignitora.
- Kompjuterski monitoring eliminiše potrebu za obilaženjem instalacije uličnog osvetljenja, jer sve informacije o prestanku rada izvora svetlosti stižu u kontrolnu sobu sa PC-jem. Na ovaj način može da se garantuje rad ugovorenog procenta ukupnog broja svetiljki, koji obično iznosi preko 97%. Pored informacija o skorim pregorevanjima izvora svetlosti, mogu da se prate i vremena gorenja pojedinih izvora, na osnovu kojih su moguće reklamacije ako je do pregorevanja došlo u garantnom roku.

Napomenimo da u svakom delu mreže javnog osvetljenja u kome se namerava ugradnja Starsense sistema treba izvršiti prethodna merenja, koja treba da potvrde da su smetnje koje nastaju prilikom prenosa signala po PL-20 protokolu u granicama tolerantnog.

4.5. Sistem za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa i monitoring u uličnom osvetljenju koji je razvio Dat-mo Lux

Češka firma Dat-mo Lux je u saradnji sa Siemens-om takođe razvila sistem za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa i monitoring u uličnom osvetljenju, koji je nazvan Datmo MSB sistem. Arhitektura ovog sistema, koji je predviđen za svetiljke sa natrijumovim izvorom visokog pritiska snage 150 W, opremljene specijalnim elektronskim predspojnim uređajem, prikazana je na slici 12.



Slika 12. Arhitektura Datmo MSB sistema

Slično Starsense sistemu, osnovni delovi Datmo MSB sistema su centralna upravljačka jedinica, razvodni orman sa MSB-K koncentраторom i MSB-C komunikatori (po jedan za svaku svetiljku).

4.5.1. MSB-C komunikator

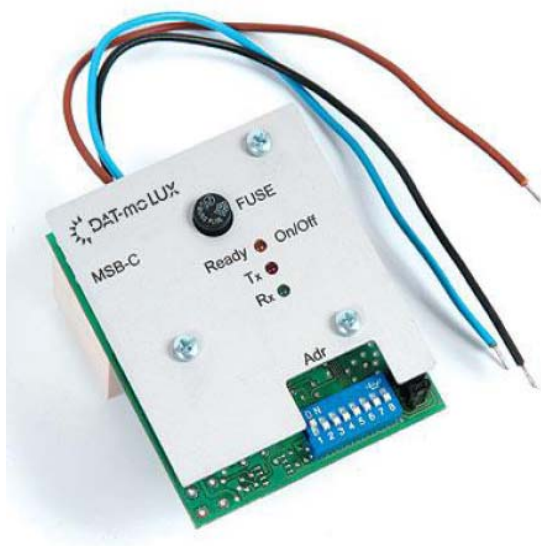
Ova komponenta predstavlja elektronski čip sa analognim izlazom 1-10 V DC, koji se smešta u stub (kao na sl. 12) ili u svetiljku, i komunicira sa specijalnim elektronskim predspojnim uređajem svetiljke. Njegova funkcija je ne samo izdavanje komandi predspojnom uređaju za promenu svetlosnog fluksa, nego i merenje napona, struje i faktora snage sistema izvor

svetlosti - predspojni uređaj. Takođe, u svakom trenutku je dostupan podatak o tome da li je izvor svetlosti uključen ili isključen.

MSB-C čip poseduje poseban element koji omogućava isključenje izvora svetlosti nezavisno od stanja kontaktora koji se nalazi u distributivnom ormanu (RVO) i koji uključuje (isključuje) strujno kolo u kome se nalazi svetiljka.

Svaki MSB-C čip ima svoju jedinstvenu osmobarbitnu adresu (označenu sa Adr na slici 13), pomoću koje nezavisno komunicira sa MSB-K uređajem (koncentratorom).

Napomenimo da zavisnosti svetlosnog fluksa i aktivne snage izvora svetlosti od jednosmernog kontrolnog napona (1-10 V) mogu da se prikažu pomoću krivih koje su veoma slične onima sa slike 6.



Slika 13. MSB-C komunikator

4.5.2. MSB-K koncentrator

Ova elektronska komponenta, koja je prikazana na slici 14, smeštena je u distributivnom ormanu (videti sl. 12) i ima ulogu kontrolne jedinice, koja sa jedne strane komunicira sa MSB-C komunikatorima, a sa druge sa upravljačkom jedinicom (računarom sa instaliranim softverom).

Podaci koje beleži MSB-C prosleđuju se MSB-K, u kome su programirane sve upravljačke funkcije. U njemu je memorisana i kriva regulacije svetlosnog fluksa. Kako ova kriva, tako i sve upravljačke funkcije mogu da se menjaju, i to ne samo u zavisnosti od godišnjeg doba, nego i od starosti izvora svetlosti i zaprljanosti optičkih elemenata svetiljke, a sve u cilju ispunjenja propisanih fotometrijskih parametara osvetljene ulice.

Uključivanje i isključivanje strujnih kola može da se vrši pomoću komandnih impulsa iz upravljačkog centra, pomoću optičkog senzora, kao i pomoću ugrađenog astronomskeg časovnika.

Komunikacija između MSB-C i MSB-K vrši se preko postojećeg elektroenergetskog voda, pri čemu nije moguće ostvariti komunikaciju na rastojanju većem od 800 m. Prikupljene informacije o izvorima svetlosti preko komunikacionih modula se šalju upravljačkoj jedinici (računaru), gde se smeštaju u odgovarajuću bazu podataka.

MSB-K uređaj je tako projektovan da može da ostvari komunikaciju sa maksimalno 128 MSB-C komunikatora, što znači da najviše 128 svetiljki može biti priključeno na jedan MSB-K.

Najbitnija funkcija ovog uređaja je izdavanje komandi za kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa pojedinačnih izvora svetlosti, pri čemu je moguće da se svetlosni fluks smanji za čak 90% Φ_{nom} .



Slika 14. MSB-K koncentrator

Pored kontrole sistema uličnog osvetljenja, MSB-K koncentrator ima mogućnost nezavisne kontrole javnog dekorativnog osvetljenja, na osnovu isprogramiranih funkcija u čijoj realizaciji može da učestvuje i astronomski časovnik.

4.5.3. Upravljačka jedinica (računar sa instaliranim softverom)

Podaci koji se odnose na stanje sistema javnog osvetljenja prikupljaju se u dispečerskom centru i uz pomoć softvera obrađuju, uz mogućnost vizuelizacije. Na ovaj način, operator na monitoru ima pregled stanja čitave mreže sistema javnog osvetljenja. Svaki distributivni orman je vizuelno označen na mapi grada, a podaci koji se odnose na stanje njegovih komponenti prikazuju se na posebnom „prozoru“ (slika 15).



Slika 15. Prikaz podataka na monitoru i posebnom „prozoru“

Softver omogućava izvršavanje sledećih funkcija:

- uključenje i isključenje javnog osvetljenja koje se napaja iz razvodnog ormana,
- očitavanje njegove potrošnje,
- očitavanje vrednosti struje i napona u pojedinim strujnim kolima (distributivni orman je tako projektovan da na njegove izvode mogu da se priključe najviše 6 trofaznih strujnih kola), i
- proveru stanja kontrolne jedinice (MSB-K).

Operator je u mogućnosti da komunicira sa pojedinačnim razvodnim ormanima, odnosno da upravlja celokupnom mrežom sistema javnog osvetljenja.

Takođe, bitno je naglasiti da se postojeći softver može modifikovati u zavisnosti od zahteva korisnika.

Komunikacija između razvodnog ormana (MSB-K koncentratora) i dispečerskog centra (računara) može da se ostvari na dva načina: pomoću mobilne SMS mreže ili pomoću radio signala. Za prenos informacija se koriste radio ili GSM modemi, prikazani na slikama 16 i 17.

U slučaju prenosa podataka preko mobilne SMS mreže, informacije se šalju u vidu SMS poruka, e-mailova ili GPRS poruka. Stanje u mobilnoj mreži i pokrivenost područja, koji zavise od GSM operatera, značajno utiču na kvalitet ovakvog načina komunikacije.

Korisnik koji se odluči za komunikaciju pomoću radio signala može da kreira sopstvenu radio mrežu (sa sopstvenim opsegom radio frekvencija), ili da koristi opseg frekvencija postojeće radio mreže u oblasti u kojoj se sistem instalira. Ovo rešenje je pogodno za veće gradove, gde se pored prenosa podataka iz mreže javnog osvetljenja može vršiti i prenos ostalih informacija. Prednost ovakvog načina komunikacije je i postojanje izveštaja o poslatim podacima.



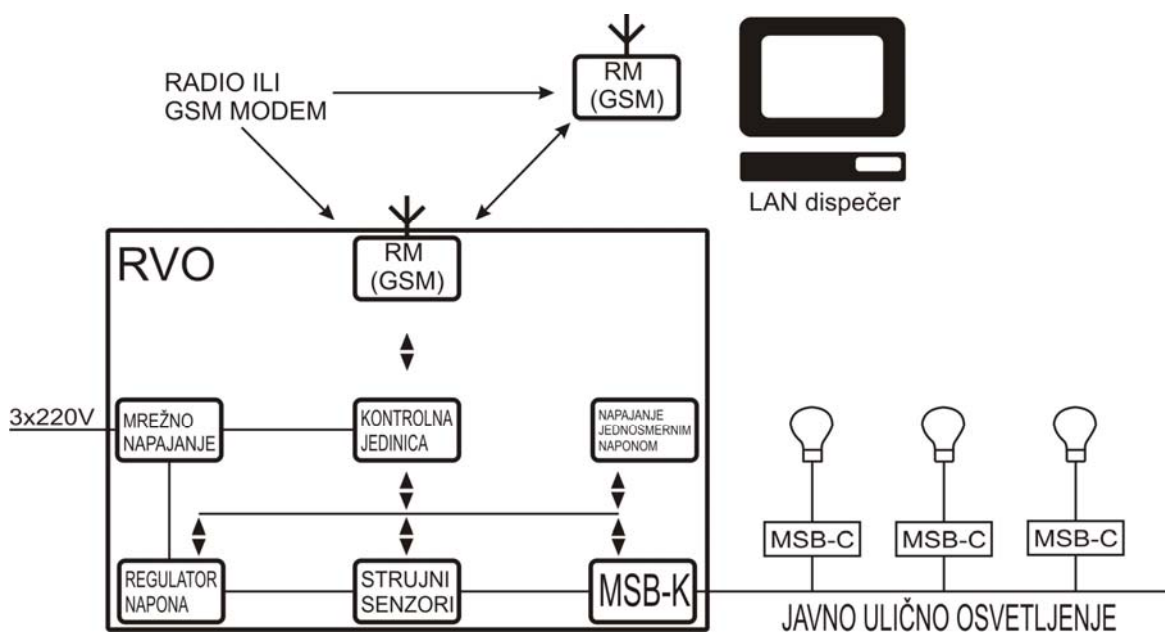
Slika 16. Radio modem



Slika 17. GSM modem

4.5.4. Primena Datmo sistema u okviru centralne kontinualne regulacije svetlosnog fluksa svetiljki sa NaVP izvorima i konvencionalnim balastima

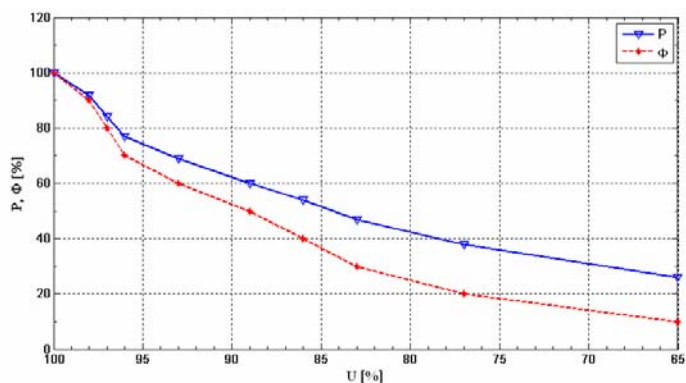
Pored opisane varijante Datmo MSB sistema, koja je predviđena za natrijumove izvore svetlosti visokog pritiska snage 150 W koji rade sa elektronskim balastom sa analognim ulazom, postoji i varijanta Datmo MSB sistema koja se može primeniti u okviru centralne regulacije svetlosnog fluksa svetiljki čiji izvori svetlosti rade sa konvencionalnim, elektromagnetnim balastom. Arhitektura ovog sistema prikazana je na slici 18.



Slika 18. Varijanta Datmo MSB sistema predviđena za centralnu regulaciju svetlosnog fluksa izvora svetlosti koji rade sa elektromagnetnim balastom

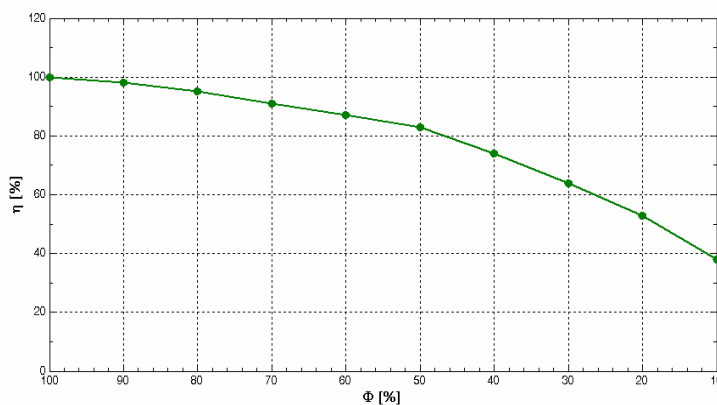
Upravljanje radom i proveru stanja svih komponenti razvodnog ormana obavlja kontrolna jedinica. Strujni senzori obezbeđuju beskontaktno merenje struje. Regulacija svetlosnog fluksa izvora svetlosti vrši se pomoću regulatora napona, promenom vrednosti efektivnog napona izvora svetlosti. Regulator napona (koji proizvodi firma INTELUX) obavlja i funkciju stabilizatora napona, što produžava životni vek izvora svetlosti. Kriva regulacije svetlosnog fluksa, odnosno napona, memorisana je u kontrolnoj jedinici.

Svetlosni fluks i aktivna snaga izvora svetlosti zavise od njegovog efektivnog napona, čija se vrednost može kontinualno menjati. Ove zavisnosti su prikazane na slici 19.



Slika 19. Zavisnost aktivne snage (P) i svetlosnog fluksa (Φ) od efektivne vrednosti napona izvora svetlosti

Dijagram sa slike 19 potvrđuje da sa kontinualnim smanjenjem svetlosnog fluksa izvora svetlosti dolazi i do smanjenja njegove svetlosne iskoristivosti. Ova zavisnost je prikazana na slici 20.



Slika 20. Zavisnost svetlosne iskoristivosti (η) od svetlosnog fluksa (Φ) izvora svetlosti

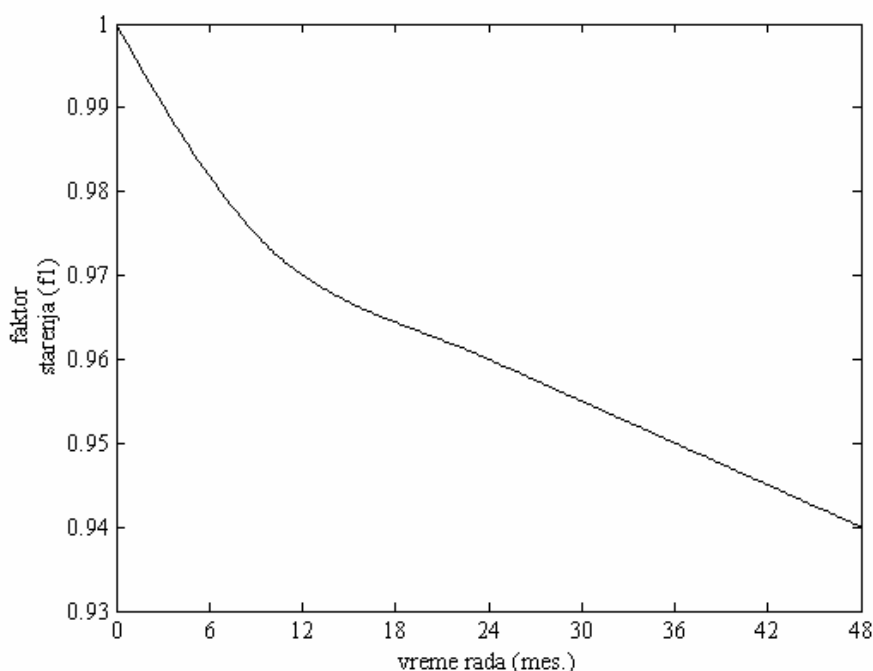
Dijagram sa slike 19 takođe pokazuje da efektivna vrednost napona sijalice može da se smanji najviše 35%, kada se svetlosni fluks obara na 10%, a aktivna snaga na 26% nominalne vrednosti.

Slično prethodnoj, i ova varijanta Datmo MSB sistema omogućava monitoring rada pojedinačnih izvora svetlosti, što se realizuje pomoću MSB-K i MSB-C uređaja (ovi drugi su jednostavniji od onih koji se koriste u prethodnoj varijanti, jer ne poseduju analogni izlaz 1-10 V).

Napomenimo da su razvodni ormani koji sadrže sve komponente Datmo MSB sistema u varijanti centralne regulacije svetlosnog fluksa prilično velikih dimenzija (na primer, dimenzije jednog Siemens-ovog razvodnog ormara ovog tipa iznose 1500 mm x 1200 mm x 277 mm).

4.6. Tehnička analiza upotrebe STARSENSE i Datmo MSB sistema

Iako se analiza odnosi na upotrebu natrijumovih izvora visokog pritiska tipa Master SON-T PIA Plus, čiji je dijagram promene svetlosnog fluksa u funkciji vremena prikazan na sl. 21, ona je opšta, odnosno može da se primeni na bilo koji tip izvora svetlosti poznate karakteristike opadanja svetlosnog fluksa.

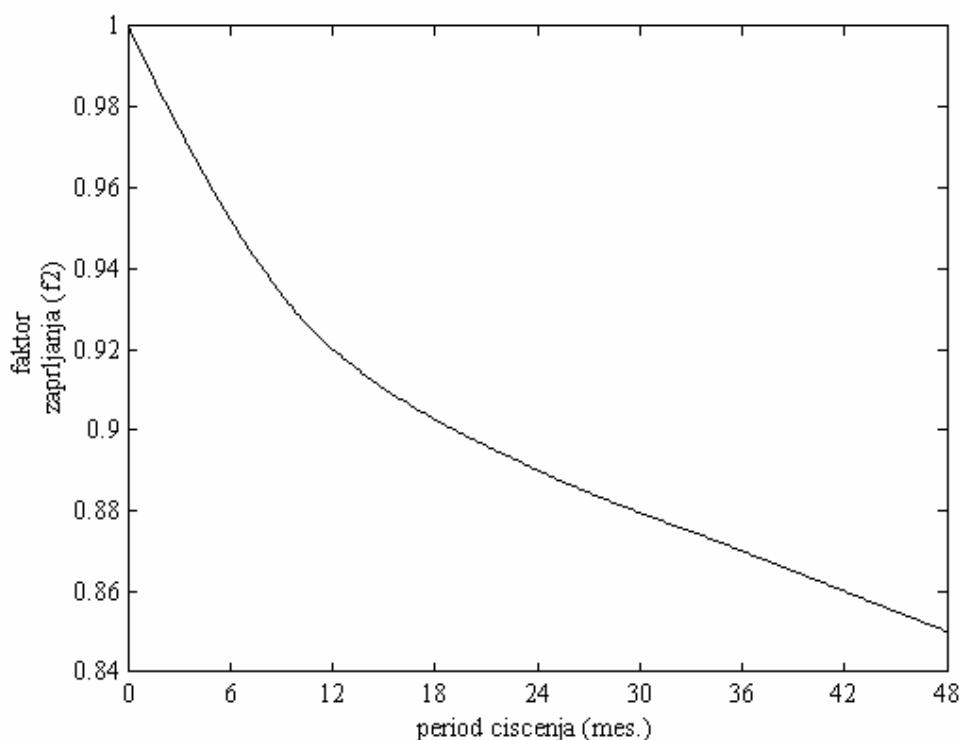


Slika 21. Dijagram opadanja svetlosnog fluksa NaVP izvora tipa MASTER u toku njegove eksploatacije

Sa dijagrama sa sl. 21 može da se zaključi da bi period grupne zamene izvora svetlosti ovog tipa mogao da iznosi 16000 h, odnosno 4 godine (napomenimo da je u istom periodu procenat rano pregorelih izvora manji od

10%). Imajući ovo u vidu, može da se zaključi da faktor starenja izvora svetlosti ovog tipa, koji uvažava opadanje svetlosnog fluksa izvora u toku njegove eksploatacije, iznosi $f_1=0.94$.

U skladu sa Internim standardom EDB iz 2000. god., u uličnom osvetljenju je predviđena upotreba svetiljki stepena mehaničke zaštite najmanje IP65. Dijagram koji prikazuje opadanje faktora zaprljanja ovakvih svetiljki, f_2 (faktora koji uvažava smanjenje svetlosnog fluksa svetiljke usled zaprljanja njenih optičkih delova) u funkciji perioda čišćenja, a za srednji stepen zagađenja okoline, prikazan je na sl. 22.



Slika 22. Zavisnost faktora zaprljanja svetiljki stepena mehaničke zaštite IP65, pri srednjem stepenu zaprljanja okoline, od perioda čišćenja

U trećem poglavlju ove studije je pokazano da je ekonomski najpovoljnije da se svetiljke čiste samo onda kada se grupno menjaju izvori svetlosti. U skladu sa usvojenim periodom grupne zamene NaVP izvora tipa MASTER, period čišćenja svetiljki trebalo bi takođe da iznosi 4 godine (48 mes.). Sa dijagrama sa sl. 22, za period čišćenja svetiljki od 48 meseci, dobija se da faktor zaprljanja ima vrednost $f_2=0.85$.

Projektantska praksa pokazuje da se za faktor održavanja f ($f=f_1 \cdot f_2$) najčešće usvaja vrednost 0.8, ponekad i neopravdano, pre svega sa ciljem da se pri projektovanju instalacije uličnog osvetljenja dobiju što niži investicioni troškovi.

Prethodna analiza pokazuje da je u posmatranom slučaju, za izabrani tip izvora svetlosti i svetiljke, vrednost faktora održavanja od 0.8 potpuno tehnički opravdana, jer je

$$f = f_1 \cdot f_2 = 0.94 \cdot 0.85 = 0.799.$$

Već je rečeno da u zavisnosti od veličine jednosmernog komandnog napona, koji se dovodi na analogni ulaz balasta, svetlosni fluks izvora opadne za određeni procenat u odnosu na nominalnu vrednost.

Sada će biti predstavljen algoritam pomoću koga se određuju procentualno opadanje svetlosnog fluksa, veličina kontrolnog napona i snaga izvora svetlosti, i to kako za režim u kome se imaju zahtevane vrednosti sjajnosti (osvetljenosti) kolovoza, tako i za kasni noćni režim, u kome su ovi zahtevi blaži.

Algoritmom je predviđeno da se period održavanja svetiljki (4 god.) podeli na 8 šestomesečnih perioda. Na početku svakog perioda potrebno je svetlosni fluks izvora smanjiti za određeni procenat u odnosu na nominalnu vrednost. Za određivanje ovih procenata koriste se dijagrami sa sl. 21 i 22.

Sa smanjenjem snage izvora svetlosti, smanjuje se i snaga balasta, što je takođe uzeto u obzir u ovoj analizi. Sledeće tabele daju zavisnost između snage izvora svetlosti i snage odgovarajućeg balasta, uz napomenu da se Datmo MSB sistem primenjuje samo sa NaVP izvorima svetlosti snage 150 W.

	Snaga izvora (W)	Snaga balasta (W)
maksimalna snaga (100%)	150	16
minimalna snaga (35%)	52.5	8.5

	Snaga izvora (W)	Snaga balasta (W)
maksimalna snaga (100%)	250	35
minimalna snaga (50%)	125	20

	Snaga izvora (W)	Snaga balasta (W)
maksimalna snaga (100%)	400	35
minimalna snaga (50%)	200	10

Iako se u tabelama koje se odnose na izvore svetlosti snage 250 i 400 W kao minimalna vrednost snage navodi 50% njene nominalne vrednosti, i izvorima ovih snaga moguće je regulacijom sniziti fluks do 20% Φ_n (35% P_n). Iz poslednje tri tabele, uz pretpostavljenu linearnu zavisnost između posmatranih veličina, mogu se odrediti snage balasta koje odgovaraju proizvoljno smanjenim snagama izvora svetlosti.

Kao što je poznato, osvetljenost (sjajnost) površine kolovoza linearno je srazmerna sa veličinom svetlosnog fluksa svetiljke, Φ_{sv} , koja se menja tokom vremena i čija se minimalna vrednost dobija množenjem početne vrednosti proizvodom faktora f_1 i f_2 .

Program planirane regulacije svetlosnog fluksa treba da obezbedi da se u sredini svakog šestomesečnog perioda postigne pogonska (preporučena) vrednost sjajnosti (osvetljenosti) kolovoza. Naravno, u toku prva tri meseca njena vrednost će biti nešto veća, a u toku preostala tri nešto manja od preporučene. Pošto se vrši regulacija svetlosnog fluksa izvora, Φ_{iz} , u analizi se polazi od izraza za njegovu vrednost na početku svakog šestomesečnog perioda:

$$\Phi_{iz,6k} = \frac{\Phi_n \cdot f}{f_k}, \quad (k=1,2,\dots,8)$$

u kome su:

Φ_n - nominalni svetlosni fluks izvora,

f - faktor održavanja ($f=0.8$),

k - redni broj šestomesečnog perioda, i

f_k - periodni faktor održavanja.

Faktor f_k određen je formulom :

$$f_k = f_{1(6k-6,6k-3)} \cdot f_{2(6k-3)},$$

u kojoj $f_{1(6k-6,6k-3)}$ predstavlja faktor starenja izvora svetlosti posle tromesečnog rada (od početka posmatranog šestomesečnog perioda do njegove sredine, kada treba da se postigne pogonska vrednost relevantnih fotometrijskih veličina).

Korišćenjem dijagrama sa sl. 21, dobijaju se vrednosti faktora $f_{1(6k-6,6k-3)}$ koje su predstavljene u tabeli 3.

Faktor $f_{2(6k-3)}$ predstavlja faktor zaprljanja svetiljki do posmatranog trenutka, ali računato od početka perioda održavanja. Sa dijagrama sa sl. 22 dobijene su vrednosti ovog faktora predstavljene u tabeli 4.

Tabela 3. Vrednosti faktora $f_{1(6k-6,6k-3)}$

k	$f_{1(6k-6,6k-3)}$
1	0.988
2	0.993
3	0.997
4	0.998
5	0.998
6	0.998
7	0.998
8	0.998

Tabela 4. Vrednosti faktora $f_{2(6k-3)}$

k	$f_{2(6k-3)}$
1	0.970
2	0.931
3	0.906
4	0.895
5	0.886
6	0.876
7	0.862
8	0.851

Na osnovu prethodne dve tabele, za periodni faktor f_k dobijaju se vrednosti predstavljene u tabeli 5. Pored njih, date su i vrednosti faktora starenja izvora $f_{1(6k)}$, koji predstavlja faktor starenja na početku k-tog šestomesečnog perioda.

Tabela 5. Vrednosti periodnog faktora f_k i faktora starenja izvora $f_{1(6k)}$

k	Periodni faktor f_k	Faktor starenja izvora $f_{1(6k)}$
1	0.958	1.000
2	0.924	0.982
3	0.903	0.970
4	0.893	0.965
5	0.884	0.960
6	0.874	0.955
7	0.860	0.950
8	0.849	0.945

Svetlosni fluks svetiljke na sredini k-tog šestomesečnog perioda može da se odredi pomoću formule:

$$\Phi_{sv(6k-3)} = \Phi_{iz(6k-3)} \cdot f_{sv} \cdot f_{2(6k-3)},$$

u kojoj $\Phi_{iz(6k-3)}$ predstavlja svetlosni fluks izvora na sredini posmatranog šestomesečnog perioda:

$$\Phi_{iz(6k-3)} = \Phi_{iz,6k} \cdot f_{1(6k-6,6k-3)},$$

dok je sa f_{sv} označen stepen iskorišćenja svetiljke, koji ima konstantnu vrednost, određenu konstrukcionim karakteristikama svetiljke.

Sređivanjem prethodnih izraza, dobija se:

$$\Phi_{sv(6k-3)} = \frac{\Phi_n \cdot f}{f_{1(6k-6,6k-3)} \cdot f_{2(6k-3)}} \cdot f_{1(6k-6,6k-3)} \cdot f_{sv} \cdot f_{2(6k-3)},$$

odnosno:

$$\Phi_{sv(6k-3)} = \Phi_n \cdot f \cdot f_{sv},$$

čime je dobijena vrednost svetlosnog fluksa svetiljke koja obezbeđuje zahtevanu sjajnost (osvetljenost) kolovoza.

Sada se, konačno, može izvesti i izraz za određivanje procentualnog smanjenja svetlosnog fluksa izvora koje treba izvršiti na početku k-tog šestomesečnog perioda:

$$\Delta\Phi_k(\%) = \frac{\Phi_n \cdot f_{1(6k)} - \frac{\Phi_n \cdot f}{f_k}}{\Phi_n \cdot f_{1(6k)}} \cdot 100 = \left(1 - \frac{f}{f_k \cdot f_{1(6k)}}\right) \cdot 100$$

($k = 1, 2, \dots, 8$).

Tabela 6 daje potrebno procentualno smanjenje svetlosnog fluksa izvora $\Delta\phi_k$ ($k=1,2,\dots,8$) na početku svakog šestomesečnog perioda za režim sa projektovanom sjajnošću kolovoza. Uz uvažavanje izračunatog smanjenja svetlosnog fluksa izvora na početku svakog šestomesečnog perioda (u odnosu na njegovu nominalnu vrednost, Φ_n), sa dijagrama sa sl. 6 mogu se očitati kontrolni napon i snaga izvora (kao procenat P_n) koja obezbeđuje dobijanje zahtevane sjajnosti (osvetljenosti) kolovoza. Vrednosti ovih veličina date su u tabeli 7. Za izračunate snage izvora u svakom šestomesečnom periodu

(predstavljene u obliku procenta nominalne aktivne snage, P_n), određene su njima odgovarajuće snage balasta (prikazane u tabeli 8), i to za sve razmatrane izvore (snaga 150, 250 i 400 W).

Tabela 6. Procentualno smanjenje svetlosnog fluksa izvora na početku svakog šestomesečnog perioda

Procentualno smanjenje svetlosnog fluksa	
k	$\Delta\Phi_k(\%)$
1	16.5
2	11.8
3	8.7
4	7.2
5	5.7
6	4.2
7	2.1
8	0.3

Tabela 7. Vrednosti kontrolnog napona i snage izvora kao funkcija smanjenog svetlosnog fluksa izvora

k	Svetl.fluks izvora (%)	Kontrolni napon (V)	Snaga izvora (%)
1	83.5	7.7	86.6
2	88.2	8.2	90.4
3	91.3	8.6	93.0
4	92.8	8.7	94.2
5	94.3	8.9	95.4
6	95.8	9.1	96.7
7	97.9	9.3	98.3
8	99.7	9.5	99.8

Tabela 8. Vrednosti snage balasta kao funkcija smanjenog svetlosnog fluksa izvora

k	150 W	250 W	400 W
1	14.5	31.0	28.3
2	14.9	32.1	30.2
3	15.2	32.9	31.5
4	15.3	33.3	32.1
5	15.5	33.6	32.7
6	15.6	34.0	33.3
7	15.8	34.5	34.2
8	16.0	34.9	34.9

Ovim je u potpunosti definisan režim rada sa “normalnim”, projektovanim fotometrijskim pokazateljima osvetljene saobraćajnice. Kako je u kasnim noćnim satima potrebno ispuniti blaže zahteve, definiše se

parametar X, koji predstavlja procentualno smanjenje sjajnosti saobraćajnice u odnosu na zahtevanu (preporučenu) vrednost. U daljem proračunu X će imati različite vrednosti (od 20% do 70%). Procentualno smanjenje svetlosnog fluksa izvora u kasnim noćnim satima, unutar k-tog šestomesečnog perioda, dato je izrazom:

$$\Delta\Phi_{k,m}(\%) = \frac{\Phi_n \cdot f_{1(6k)} - \frac{m \cdot \Phi_n \cdot f}{f_k}}{\Phi_n \cdot f_{1(6k)}} \cdot 100 = \left(1 - \frac{m \cdot f}{f_k \cdot f_{1(6k)}}\right) \cdot 100,$$

u kome je m faktor određen izrazom:

$$m = 1 - \frac{X}{100}.$$

Sada se za kasni noćni režim definišu:

- procentualna smanjenja svetlosnog fluksa $\Delta\phi_{k,m}$ (tabela 9), i
- snage izvora (kao procenti P_n) - tabela 10, i njima odgovarajuće snage balasta (u W), za izvore snage 150, 250 i 400 W - tabele 11, 12 i 13, respektivno.

Tabela 9. Procentualno smanjenje svetlosnog fluksa u zavisnosti od željene redukcije sjajnosti (osvetljenosti) saobraćajnice

k	Procentualno smanjenje svetlosnog fluksa $\Delta\Phi_{k,m}$					
	X (%)					
	20	30	40	50	60	70
1	33.2	41.5	49.9	58.2	66.6	74.9
2	29.5	38.3	47.1	55.9	64.7	73.5
3	26.9	36.1	45.2	54.3	63.5	72.6
4	25.7	35	44.3	53.6	62.9	72.1
5	24.6	34	43.4	52.9	62.3	71.7
6	23.3	32.9	42.5	52.1	61.7	71.2
7	21.7	31.5	41.2	51	60.8	70.6
8	20.2	30.2	40.2	50.1	60.1	70.1

Tabela 10. Snage izvora svetlosti u zavisnosti od željene redukcije sjajnosti (osvetljenosti) saobraćajnice

k	Snage izvora kao procenti Pn					
	X (%)					
	20	30	40	50	60	70
1	73.1	66.3	59.5	52.7	45.9	39.1
2	76.1	68.9	61.7	54.6	47.4	40.2
3	78.1	70.7	63.3	55.9	48.4	41.0
4	79.1	71.6	64.0	56.5	48.9	41.4
5	80.1	72.4	64.7	57.1	49.4	41.7
6	81.1	73.3	65.5	57.7	49.9	42.1
7	82.4	74.5	66.5	58.5	50.6	42.6
8	83.6	75.5	67.4	59.3	51.2	43.1

Tabela 11. Snage balasta koje odgovaraju izvoru snage 150 W u zavisnosti od željene redukcije sjajnosti (osvetljenosti) saobraćajnice

k	Snage balasta (u W) za izvor snage 150 W					
	X (%)					
	20	30	40	50	60	70
1	12.9	12.1	11.3	10.5	9.8	9.0
2	13.2	12.4	11.6	10.8	9.9	9.1
3	13.5	12.6	11.8	10.9	10.0	9.2
4	13.6	12.7	11.8	11.0	10.1	9.2
5	13.7	12.8	11.9	11.0	10.2	9.3
6	13.8	12.9	12.0	11.1	10.2	9.3
7	14.0	13.1	12.1	11.2	10.3	9.4
8	14.1	13.2	12.2	11.3	10.4	9.4

Tabela 12. Snage balasta koje odgovaraju izvoru snage 250 W u zavisnosti od željene redukcije sjajnosti (osvetljenosti) saobraćajnice

k	Snage balasta (u W) za izvor snage 250 W					
	X (%)					
	20	30	40	50	60	70
1	26.9	24.9	22.8	20.8	18.8	16.7
2	27.8	25.7	23.5	21.4	19.2	17.1
3	28.4	26.2	24.0	21.8	19.5	17.3
4	28.7	26.5	24.2	21.9	19.7	17.4
5	29.0	26.7	24.4	22.1	19.8	17.5
6	29.3	27.0	24.6	22.3	20.0	17.6
7	29.7	27.3	25.0	22.6	20.2	17.8
8	30.1	27.6	25.2	22.8	20.3	17.9

Tabela 13. Snage balasta koje odgovaraju izvoru snage 400 W u zavisnosti od željene redukcije sjajnosti (osvetljenosti) saobraćajnice

k	Snage balasta (u W) za izvor snage 400 W					
	X (%)					
	20	30	40	50	60	70
1	21.5	18.1	14.7	11.3	7.9	4.6
2	23.0	19.5	15.9	12.3	8.7	5.1
3	24.1	20.4	16.6	12.9	9.2	5.5
4	24.6	20.8	17.0	13.2	9.5	5.7
5	25.0	21.2	17.4	13.5	9.7	5.9
6	25.5	21.6	17.7	13.9	10.0	6.1
7	26.2	22.2	18.3	14.3	10.3	6.3
8	26.8	22.7	18.7	14.6	10.6	6.5

Na kraju, potrebno je nešto reći i o režimima rada instalacije uličnog osvetljenja sa kontinualnom regulacijom svetlosnog fluksa. Predviđeno je da instalacija radi po važećem kalendaru paljenja i gašenja javnog osvetljenja u

Beogradu, po kome je svaki mesec podeljen na tri perioda, od po desetak dana (zavisno od broja dana u mesecu). U svakom od ovih perioda ulično osvetljenje se uključuje i isključuje u isto vreme (ova vremena su tačno određena za svaki od predviđenih perioda – videti Prilog).

Program rada instalacije predviđa da sistem, po uključanju, radi sa “normalnim” zahtevima do 23 h, kada se prelazi na dvočasovni režim sa 20% smanjenom sjajnošću. Jedan sat posle ponoći startuje režim koji karakteriše sjajnost koja je X% (X=30,40,...,70) manja od projektovane (pogonske) vrednosti. U zavisnosti od vremena isključenja instalacije osvetljenja, ovaj režim traje ili do 06 h, ili, ako se instalacija isključuje pre 06 h, do trenutka gašenja uličnog osvetljenja. U prvom slučaju, početni režim (sa pogonskom sjajnošću) traje od 06 h do trenutka gašenja uličnog osvetljenja.

Sada će biti predstavljeni rezultati analize koja se odnosi na Starsense sistem, u kojoj su razmatrani i izvori svetlosti snage 150 W (elektronska varijanta) i izvori snage 250 i 400 W (hibridna varijanta). Proračuni su rađeni za deo instalacije uličnog osvetljenja koji je priključen na isti segmentni kontroler (maksimalan broj svetiljki je 100, a maksimalno rastojanje između posmatranih svetiljki i razvodnog ormara 3 km.). Pojedini rezultati ove analize mogu da se primene i na Datmo MSB sistem, ali samo oni koji se odnose na snage izvora svetlosti od 150 W i na deonice ne duže od 800 m.

Parametri u narednim tabelama su:

N - broj stubova, i

n - broj svetiljki po stubu.

Prvo se za pretpostavljeni deo instalacije (koji odgovara jednom segmentnom kontroleru) određuje utrošena električna energija u periodu od godinu dana, koja odgovara instalaciji uličnog osvetljenja u kojoj se ne primenjuje regulacija svetlosnog fluksa:

$$W \text{ (kWh)} = (N \cdot (n \cdot (P_{n,izv} + P_{nb}))) \cdot T_{\check{c},r}.$$

U ovoj formuli, nepoznati parametri imaju sledeće značenje:

$P_{n,izv}$ - nominalna snaga izvora (W),

P_{nb} - nominalna snaga balasta (W), i

$T_{\check{c},r}$ - ukupno vreme rada instalacije javnog osvetljenja u periodu od godinu dana (prema podacima EDB, ono iznosi 4046 h).

Rezultati proračuna predstavljeni su u tabeli 14.

Tabela 14. Godišnja potrošnja električne energije za izvestan broj instalacija uličnog osvetljenja koje sve vreme rade u normalnom režimu

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora (Pn)		
		150 W	250 W	400 W
20	1	13432.72	23062.2	35200.2
20	2	26865.44	46124.4	70400.4
30	1	20149.08	34593.3	52800.3
35	2	47014.52	80717.7	123200.7
40	1	26865.44	46124.4	70400.4
45	2	60447.24	103779.9	158400.9
50	1	33581.8	57655.5	88000.5
50	2	67163.6	115311	176001
60	1	40298.16	69186.6	105600.6
80	1	53730.88	92248.8	140800.8
100	1	67163.6	115311	176001

Za potrebe ove analize je usvojeno da nova instalacija, sa kontinualnom regulacijom svetlosnog fluksa, počinje sa radom 1.VII. Cilj je da se u naredne četiri godine (koliko iznosi period održavanja instalacije uličnog osvetljenja sa NaVP izvorima tipa MASTER) odredi ušteda električne energije, i to kako za svaku godinu pojedinačno, tako i za kompletan period održavanja. Naravno, potrebno je imati na umu da se vrednosti snage izvora svetlosti i odgovarajućeg balasta menjaju svakih šest meseci. Uz sve to, potrebno je izračunati i ukupno vreme rada instalacije u određenom režimu na nivou šest meseci: sa pogonskom sjajnošću, u režimu sa 20% manjom sjajnošću i u režimu sa sjajnošću koja je X% (X=30-70) manja od pogonske.

Formula za izračunavanje utrošene električne energije instalacije uličnog osvetljenja sa kontinualnom regulacijom svetlosnog fluksa, u k-tom šestomesečnom periodu (k=1,2,...,8), glasi:

$$W_k (kWh) = N \cdot \{n \cdot [T_{pk} \cdot (P_{izkp} + P_{bkp}) + T_{20k} \cdot (P_{izk20} + P_{bk20}) + T_{Xk} \cdot (P_{izkX} + P_{bkX})]\}$$

U ovoj formuli su:

- T_{pk} - vreme rada instalacije sa pogonskom sjajnošću saobraćajnice u k-tom šestomesečnom periodu,
- T_{20k} - vreme rada instalacije sa sjajnošću 20% manjom od pogonske u istom periodu,
- T_{Xk} - vreme rada instalacije sa sjajnošću X% manjom od pogonske u istom periodu,
- P_{izkp} - snaga izvora svetlosti u režimu sa pogonskom sjajnošću, za k-ti šestomesečni period,
- P_{bkp} - snaga balasta za isti režim i isti period,
- P_{izk20} - snaga izvora svetlosti u režimu sa sjajnošću 20% manjom od pogonske, za k-ti šestomesečni period,
- P_{bk20} - snaga balasta za isti režim i isti period,
- P_{izkX} - snaga izvora svetlosti u režimu sa sjajnošću X% manjom od pogonske, za k-ti šestomesečni period, i
- P_{bkX} - snaga balasta za isti režim i isti period.

Snage izvora svetlosti u određenom režimu dobijaju se kada se odgovarajuće (procentualne) vrednosti iz tabele 7 (za normalni, projektovani režim) i tabele 10 (za kasni noćni režim), pomnože nominalnom snagom izvora svetlosti.

Za $k=1, 3, 5$ i 7 je:

$$T_{pk}=771.25 \text{ h}, T_{20k}=362 \text{ h} \text{ i } T_{Xk}=814.5 \text{ h},$$

dok je za $k=2, 4, 6$ i 8 :

$$T_{pk}=875.25 \text{ h}, T_{20k}=368 \text{ h} \text{ i } T_{Xk}=855 \text{ h}.$$

U narednim tabelama predstavljeni su rezultati proračuna, dobijeni korišćenjem prethodnih formula i tabela. Za instalacije iz tabele 14 i za svaku godinu perioda održavanja, date su potrošnja električne energije u uličnom osvetljenju sa kontinualnom regulacijom svetlosnog fluksa, kao i ušteda električne energije (izražena u apsolutnim jedinicama (kWh) i procentualno) u odnosu na klasičnu instalaciju - bez regulacije. Na kraju su date i tabele uštede električne energije (u procentima) za ceo period održavanja analiziranih instalacija uličnog osvetljenja (4 godine).

Tabela 15. Potrošnja (kWh) nove instalacije u I godini

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora Pn=150 W				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70
20	1	10482.91	10105.36	9730.37	9352.74	8975.19
20	2	20965.81	20210.71	19460.74	18705.48	17950.38
30	1	15724.36	15158.03	14595.56	14029.11	13462.78
35	2	36690.17	35368.74	34056.30	32734.59	31413.16
40	1	20965.81	20210.71	19460.74	18705.48	17950.38
45	2	47173.07	45474.10	43786.67	42087.33	40388.35
50	1	26207.26	25263.39	24325.93	23381.85	22437.97
50	2	52414.53	50526.78	48651.85	46763.70	44875.95
60	1	31448.72	30316.07	29191.11	28058.22	26925.57
80	1	41931.62	40421.42	38921.48	37410.96	35900.76
100	1	52414.53	50526.78	48651.85	46763.70	44875.95

Tabela 16. Uštede el. energije u I godini (kWh)

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
2949.82	3327.37	3702.35	4079.98	4457.53
5899.63	6654.73	7404.70	8159.96	8915.06
4424.72	4991.05	5553.53	6119.97	6686.30
10324.35	11645.78	12958.23	14279.93	15601.36
5899.63	6654.73	7404.70	8159.96	8915.06
13274.17	14973.14	16660.58	18359.91	20058.89
7374.54	8318.41	9255.88	10199.95	11143.83
14749.08	16636.83	18511.75	20399.91	22287.66
8849.45	9982.10	11107.05	12239.94	13372.59
11799.26	13309.46	14809.40	16319.92	17830.12
14749.08	16636.83	18511.75	20399.91	22287.66

Tabela 17. Uštede el. energije u I godini u procentima

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
21.96	24.77	27.56	30.37	33.18
21.96	24.77	27.56	30.37	33.18
21.96	24.77	27.56	30.37	33.18
21.96	24.77	27.56	30.37	33.18
21.96	24.77	27.56	30.37	33.18
21.96	24.77	27.56	30.37	33.18
21.96	24.77	27.56	30.37	33.18
21.96	24.77	27.56	30.37	33.18
21.96	24.77	27.56	30.37	33.18
21.96	24.77	27.56	30.37	33.18
21.96	24.77	27.56	30.37	33.18

Tabela 18. Potrošnja (kWh) nove instalacije u II godini

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora Pn=150 W				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70
20	1	11033.32	10629.13	10227.60	9819.35	9417.73
20	2	22066.63	21258.27	20455.20	19638.69	18835.46
30	1	16549.97	15943.70	15341.40	14729.02	14126.59
35	2	38616.60	37201.97	35796.60	34367.71	32962.05
40	1	22066.63	21258.27	20455.20	19638.69	18835.46
45	2	49649.92	47831.10	46024.20	44187.05	42379.78
50	1	27583.29	26572.84	25569.00	24548.36	23544.32
50	2	55166.58	53145.67	51138.00	49096.73	47088.65
60	1	33099.95	31887.40	30682.80	29458.04	28253.19
80	1	44133.26	42516.54	40910.40	39277.38	37670.92

Tabela 19. Uštede el. energije u II godini (kWh)

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
2399.41	2803.59	3205.12	3613.37	4014.99
4798.81	5607.17	6410.24	7226.75	8029.98
3599.11	4205.38	4807.68	5420.06	6022.49
8397.92	9812.55	11217.92	12646.81	14052.47
4798.81	5607.17	6410.24	7226.75	8029.98
10797.32	12616.14	14423.04	16260.19	18067.46
5998.51	7008.97	8012.80	9033.44	10037.48
11997.03	14017.93	16025.61	18066.87	20074.95
7198.22	8410.76	9615.36	10840.12	12044.97
9597.62	11214.34	12820.48	14453.50	16059.96
11997.03	14017.93	16025.61	18066.87	20074.95

Tabela 20. Uštede el. energije u II godini u procentima

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
17.86	20.87	23.86	26.90	29.89
17.86	20.87	23.86	26.90	29.89
17.86	20.87	23.86	26.90	29.89
17.86	20.87	23.86	26.90	29.89
17.86	20.87	23.86	26.90	29.89
17.86	20.87	23.86	26.90	29.89
17.86	20.87	23.86	26.90	29.89
17.86	20.87	23.86	26.90	29.89
17.86	20.87	23.86	26.90	29.89
17.86	20.87	23.86	26.90	29.89
17.86	20.87	23.86	26.90	29.89

Tabela 21. Potrošnja (kWh) nove instalacije u III godini

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora Pn=150 W				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70
20	1	11302.91	10884.64	10468.81	10052.17	9633.90
20	2	22605.82	21769.28	20937.63	20104.34	19267.80
30	1	16954.37	16326.96	15703.22	15078.26	14450.85
35	2	39560.19	38096.24	36640.84	35182.60	33718.65
40	1	22605.82	21769.28	20937.63	20104.34	19267.80
45	2	50863.10	48980.88	47109.66	45234.77	43352.55
50	1	28257.28	27211.60	26172.03	25130.43	24084.75
50	2	56514.55	54423.20	52344.06	50260.86	48169.50
60	1	33908.73	32653.92	31406.44	30156.51	28901.70
80	1	45211.64	43538.56	41875.25	40208.69	38535.60
100	1	56514.55	54423.20	52344.06	50260.86	48169.50

Tabela 22. Uštede el. energije u III godini (kWh)

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
2129.81	2548.08	2963.91	3380.55	3798.82
4259.62	5096.16	5927.81	6761.10	7597.64
3194.71	3822.12	4445.86	5070.82	5698.23
7454.33	8918.28	10373.68	11831.92	13295.87
4259.62	5096.16	5927.81	6761.10	7597.64
9584.14	11466.36	13337.58	15212.47	17094.69
5324.52	6370.20	7409.77	8451.37	9497.05
10649.05	12740.40	14819.54	16902.74	18994.10
6389.43	7644.24	8891.72	10141.65	11396.46
8519.24	10192.32	11855.63	13522.20	15195.28
10649.05	12740.40	14819.54	16902.74	18994.10

Tabela 23. Uštede el. energije u III godini u procentima

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
15.86	18.97	22.06	25.17	28.28
15.86	18.97	22.06	25.17	28.28
15.86	18.97	22.06	25.17	28.28
15.86	18.97	22.06	25.17	28.28
15.86	18.97	22.06	25.17	28.28
15.86	18.97	22.06	25.17	28.28
15.86	18.97	22.06	25.17	28.28
15.86	18.97	22.06	25.17	28.28
15.86	18.97	22.06	25.17	28.28
15.86	18.97	22.06	25.17	28.28

Tabela 24. Potrošnja (kWh) nove instalacije u IV godini

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora Pn=150 W				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70
20	1	11634.25	11197.62	10764.32	10333.47	9898.46
20	2	23268.51	22395.24	21528.65	20666.94	19796.93
30	1	17451.38	16796.43	16146.48	15500.21	14847.70
35	2	40719.89	39191.67	37675.13	36167.15	34644.63
40	1	23268.51	22395.24	21528.65	20666.94	19796.93
45	2	52354.14	50389.29	48439.45	46500.62	44543.09
50	1	29085.64	27994.05	26910.81	25833.68	24746.16
50	2	58171.27	55988.10	53821.62	51667.35	49492.32
60	1	34902.76	33592.86	32292.97	31000.41	29695.39
80	1	46537.02	44790.48	43057.29	41333.88	39593.86
100	1	58171.27	55988.10	53821.62	51667.35	49492.32

Tabela 25. Uštede el. energije u IV godini (kWh)

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
1798.47	2235.10	2668.40	3099.25	3534.26
3596.93	4470.20	5336.79	6198.50	7068.51
2697.70	3352.65	4002.60	4648.87	5301.38
6294.63	7822.85	9339.39	10847.37	12369.89
3596.93	4470.20	5336.79	6198.50	7068.51
8093.10	10057.95	12007.79	13946.62	15904.15
4496.16	5587.75	6670.99	7748.12	8835.64
8992.33	11175.50	13341.98	15496.25	17671.28
5395.40	6705.30	8005.19	9297.75	10602.77
7193.86	8940.40	10673.59	12397.00	14137.02
8992.33	11175.50	13341.98	15496.25	17671.28

Tabela 26. Uštede el. energije u IV godini u procentima

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
13.39	16.64	19.86	23.07	26.31
13.39	16.64	19.86	23.07	26.31
13.39	16.64	19.86	23.07	26.31
13.39	16.64	19.86	23.07	26.31
13.39	16.64	19.86	23.07	26.31
13.39	16.64	19.86	23.07	26.31
13.39	16.64	19.86	23.07	26.31
13.39	16.64	19.86	23.07	26.31
13.39	16.64	19.86	23.07	26.31
13.39	16.64	19.86	23.07	26.31
13.39	16.64	19.86	23.07	26.31

Tabela 27. Potrošnja (kWh) nove instalacije u I godini

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora Pn=250 W				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70
20	1	17949.08	17292.52	16643.57	15988.64	15333.79
20	2	35898.15	34585.03	33287.14	31977.28	30667.59
30	1	26923.61	25938.77	24965.36	23982.96	23000.69
35	2	62821.76	60523.81	58252.50	55960.25	53668.27
40	1	35898.15	34585.03	33287.14	31977.28	30667.59
45	2	80770.84	77816.32	74896.07	71948.89	69002.07
50	1	44872.69	43231.29	41608.93	39971.60	38334.48
50	2	89745.38	86462.58	83217.86	79943.21	76668.96
60	1	53847.23	51877.55	49930.71	47965.92	46001.38
80	1	71796.30	69170.07	66574.29	63954.57	61335.17
100	1	89745.38	86462.58	83217.86	79943.21	76668.96

Tabela 28. Uštede el. energije u I godini (kWh)

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
5113.12	5769.68	6418.63	7073.56	7728.41
10226.25	11539.37	12837.26	14147.12	15456.82
7669.69	8654.53	9627.94	10610.34	11592.61
17895.94	20193.89	22465.20	24757.45	27049.43
10226.25	11539.37	12837.26	14147.12	15456.82
23009.06	25963.58	28883.83	31831.01	34777.83
12782.81	14424.21	16046.57	17683.90	19321.02
25565.62	28848.42	32093.14	35367.79	38642.04
15339.37	17309.05	19255.89	21220.68	23185.22
20452.50	23078.73	25674.51	28294.23	30913.63
25565.62	28848.42	32093.14	35367.79	38642.04

Tabela 29. Uštede el. energije u I godini u procentima

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
22.17	25.02	27.83	30.67	33.51
22.17	25.02	27.83	30.67	33.51
22.17	25.02	27.83	30.67	33.51
22.17	25.02	27.83	30.67	33.51
22.17	25.02	27.83	30.67	33.51
22.17	25.02	27.83	30.67	33.51
22.17	25.02	27.83	30.67	33.51
22.17	25.02	27.83	30.67	33.51
22.17	25.02	27.83	30.67	33.51
22.17	25.02	27.83	30.67	33.51
22.17	25.02	27.83	30.67	33.51

Tabela 30. Potrošnja (kWh) nove instalacije u II godini

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora Pn=250 W				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70
20	1	18905.14	18203.71	17506.55	16801.13	16103.97
20	2	37810.29	36407.42	35013.10	33602.25	32207.94
30	1	28357.71	27305.56	26259.83	25201.69	24155.95
35	2	66168.00	63712.98	61272.93	58803.94	56363.89
40	1	37810.29	36407.42	35013.10	33602.25	32207.94
45	2	85073.14	81916.69	78779.48	75605.07	72467.86
50	1	47262.86	45509.27	43766.38	42002.82	40259.92
50	2	94525.71	91018.55	87532.76	84005.64	80519.85
60	1	56715.43	54611.13	52519.65	50403.38	48311.91
80	1	75620.57	72814.84	70026.21	67204.51	64415.88
100	1	94525.71	91018.55	87532.76	84005.64	80519.85

Tabela 31. Uštede el. energije u II godini (kWh)

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
4157.06	4858.49	5555.65	6261.07	6958.23
8314.12	9716.98	11111.30	12522.15	13916.46
6235.59	7287.74	8333.47	9391.61	10437.35
14549.70	17004.72	19444.77	21913.76	24353.81
8314.12	9716.98	11111.30	12522.15	13916.46
18706.76	21863.21	25000.42	28174.83	31312.04
10392.64	12146.23	13889.12	15652.68	17395.58
20785.29	24292.45	27778.24	31305.37	34791.16
12471.17	14575.47	16666.95	18783.22	20874.69
16628.23	19433.96	22222.59	25044.29	27832.92
20785.29	24292.45	27778.24	31305.37	34791.16

Tabela 32. Uštede el. energije u II godini u procentima

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
18.03	21.07	24.09	27.15	30.17
18.03	21.07	24.09	27.15	30.17
18.03	21.07	24.09	27.15	30.17
18.03	21.07	24.09	27.15	30.17
18.03	21.07	24.09	27.15	30.17
18.03	21.07	24.09	27.15	30.17
18.03	21.07	24.09	27.15	30.17
18.03	21.07	24.09	27.15	30.17
18.03	21.07	24.09	27.15	30.17
18.03	21.07	24.09	27.15	30.17
18.03	21.07	24.09	27.15	30.17

Tabela 33. Potrošnja (kWh) nove instalacije u III godini

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora Pn=250 W				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70
20	1	19370.51	18644.97	17925.22	17201.39	16475.85
20	2	38741.02	37289.95	35850.43	34402.77	32951.69
30	1	29055.77	27967.46	26887.82	25802.08	24713.77
35	2	67796.79	65257.40	62738.26	60204.85	57665.46
40	1	38741.02	37289.95	35850.43	34402.77	32951.69
45	2	87167.31	83902.38	80663.47	77406.24	74141.31
50	1	48426.28	46612.43	44813.04	43003.47	41189.62
50	2	96852.56	93224.86	89626.08	86006.93	82379.23
60	1	58111.54	55934.92	53775.65	51604.16	49427.54
80	1	77482.05	74579.89	71700.86	68805.55	65903.39
100	1	96852.56	93224.86	89626.08	86006.93	82379.23

Tabela 34. Uštede el. energije u III godini (kWh)

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
3691.69	4417.23	5136.98	5860.81	6586.35
7383.38	8834.45	10273.97	11721.63	13172.71
5537.53	6625.84	7705.48	8791.22	9879.53
12920.91	15460.30	17979.44	20512.85	23052.24
7383.38	8834.45	10273.97	11721.63	13172.71
16612.59	19877.52	23116.43	26373.66	29638.59
9229.22	11043.07	12842.46	14652.03	16465.88
18458.44	22086.14	25684.92	29304.07	32931.77
11075.06	13251.68	15410.95	17582.44	19759.06
14766.75	17668.91	20547.94	23443.26	26345.41
18458.44	22086.14	25684.92	29304.07	32931.77

Tabela 35. Uštede el. energije u III godini u procentima

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
16.01	19.15	22.27	25.41	28.56
16.01	19.15	22.27	25.41	28.56
16.01	19.15	22.27	25.41	28.56
16.01	19.15	22.27	25.41	28.56
16.01	19.15	22.27	25.41	28.56
16.01	19.15	22.27	25.41	28.56
16.01	19.15	22.27	25.41	28.56
16.01	19.15	22.27	25.41	28.56
16.01	19.15	22.27	25.41	28.56
16.01	19.15	22.27	25.41	28.56
16.01	19.15	22.27	25.41	28.56

Tabela 36. Potrošnja (kWh) nove instalacije u IV godini

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora Pn=250 W				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70
20	1	19945.84	19195.25	18443.04	17693.20	16940.98
20	2	39891.67	38390.51	36886.09	35386.39	33881.97
30	1	29918.76	28792.88	27664.57	26539.79	25411.48
35	2	69810.43	67183.39	64550.65	61926.18	59293.44
40	1	39891.67	38390.51	36886.09	35386.39	33881.97
45	2	89756.27	86378.65	82993.70	79619.38	76234.43
50	1	49864.59	47988.14	46107.61	44232.99	42352.46
50	2	99729.18	95976.27	92215.22	88465.98	84704.92
60	1	59837.51	57585.76	55329.13	53079.59	50822.95
80	1	79783.35	76781.02	73772.18	70772.78	67763.94
100	1	99729.18	95976.27	92215.22	88465.98	84704.92

Tabela 37. Uštede el. energije u IV godini (kWh)

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
3116.36	3866.95	4619.16	5369.00	6121.22
6232.73	7733.89	9238.31	10738.01	12242.43
4674.54	5800.42	6928.73	8053.51	9181.82
10907.27	13534.31	16167.05	18791.52	21424.26
6232.73	7733.89	9238.31	10738.01	12242.43
14023.63	17401.25	20786.20	24160.52	27545.47
7790.91	9667.36	11547.89	13422.51	15303.04
15581.82	19334.73	23095.78	26845.02	30606.08
9349.09	11600.84	13857.47	16107.01	18363.65
12465.45	15467.78	18476.63	21476.02	24484.86
15581.82	19334.73	23095.78	26845.02	30606.08

Tabela 38. Uštede el. energije u IV godini u procentima

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
13.51	16.77	20.03	23.28	26.54
13.51	16.77	20.03	23.28	26.54
13.51	16.77	20.03	23.28	26.54
13.51	16.77	20.03	23.28	26.54
13.51	16.77	20.03	23.28	26.54
13.51	16.77	20.03	23.28	26.54
13.51	16.77	20.03	23.28	26.54
13.51	16.77	20.03	23.28	26.54
13.51	16.77	20.03	23.28	26.54
13.51	16.77	20.03	23.28	26.54
13.51	16.77	20.03	23.28	26.54

Tabela 39. Potrošnja (kWh) nove instalacije u I godini

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora Pn=400 W				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70
20	1	26981.67	25929.16	24883.49	23830.97	22780.09
20	2	53963.35	51858.32	49766.97	47661.94	45560.17
30	1	40472.51	38893.74	37325.23	35746.46	34170.13
35	2	94435.86	90752.06	87092.20	83408.40	79730.30
40	1	53963.35	51858.32	49766.97	47661.94	45560.17
45	2	121417.53	116681.22	111975.68	107239.37	102510.39
50	1	67454.18	64822.90	62208.71	59577.43	56950.22
50	2	134908.37	129645.80	124417.43	119154.86	113900.43
60	1	80945.02	77787.48	74650.46	71492.91	68340.26
80	1	107926.69	103716.64	99533.94	95323.89	91120.35
100	1	134908.37	129645.80	124417.43	119154.86	113900.43

Tabela 40. Uštede el. energije u I godini (kWh)

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
8218.53	9271.04	10316.71	11369.23	12420.11
16437.05	18542.08	20633.43	22738.46	24840.23
12327.79	13906.56	15475.07	17053.84	18630.17
28764.84	32448.64	36108.50	39792.30	43470.40
16437.05	18542.08	20633.43	22738.46	24840.23
36983.37	41719.68	46425.22	51161.53	55890.51
20546.32	23177.60	25791.79	28423.07	31050.28
41092.63	46355.20	51583.57	56846.14	62100.57
24655.58	27813.12	30950.14	34107.69	37260.34
32874.11	37084.16	41266.86	45476.91	49680.45
41092.63	46355.20	51583.57	56846.14	62100.57

Tabela 41. Uštede el. energije u I godini u procentima

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
23.35	26.34	29.31	32.30	35.28
23.35	26.34	29.31	32.30	35.28
23.35	26.34	29.31	32.30	35.28
23.35	26.34	29.31	32.30	35.28
23.35	26.34	29.31	32.30	35.28
23.35	26.34	29.31	32.30	35.28
23.35	26.34	29.31	32.30	35.28
23.35	26.34	29.31	32.30	35.28
23.35	26.34	29.31	32.30	35.28
23.35	26.34	29.31	32.30	35.28
23.35	26.34	29.31	32.30	35.28

Tabela 42. Potrošnja (kWh) nove instalacije u II godini

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora Pn=400 W				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70
20	1	28520.05	27391.14	26270.71	25138.62	24018.19
20	2	57040.10	54782.29	52541.41	50277.25	48036.37
30	1	42780.08	41086.72	39406.06	37707.94	36027.28
35	2	99820.18	95869.00	91947.47	87985.18	84063.65
40	1	57040.10	54782.29	52541.41	50277.25	48036.37
45	2	128340.23	123260.15	118218.18	113123.81	108081.84
50	1	71300.13	68477.86	65676.77	62846.56	60045.47
50	2	142600.25	136955.72	131353.54	125693.12	120090.94
60	1	85560.15	82173.43	78812.12	75415.87	72054.56
80	1	114080.20	109564.58	105082.83	100554.50	96072.75
100	1	142600.25	136955.72	131353.54	125693.12	120090.94

Tabela 43. Uštede el. energije u II godini (kWh)

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
6680.15	7809.06	8929.49	10061.58	11182.01
13360.30	15618.11	17858.99	20123.15	22364.03
10020.23	11713.58	13394.24	15092.36	16773.02
23380.53	27331.70	31253.23	35215.52	39137.05
13360.30	15618.11	17858.99	20123.15	22364.03
30060.68	35140.75	40182.72	45277.09	50319.06
16700.38	19522.64	22323.73	25153.94	27955.03
33400.75	39045.28	44647.47	50307.88	55910.07
20040.45	23427.17	26788.48	30184.73	33546.04
26720.60	31236.22	35717.97	40246.30	44728.05
33400.75	39045.28	44647.47	50307.88	55910.07

Tabela 44. Uštede el. energije u II godini u procentima

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
18.98	22.18	25.37	28.58	31.77
18.98	22.18	25.37	28.58	31.77
18.98	22.18	25.37	28.58	31.77
18.98	22.18	25.37	28.58	31.77
18.98	22.18	25.37	28.58	31.77
18.98	22.18	25.37	28.58	31.77
18.98	22.18	25.37	28.58	31.77
18.98	22.18	25.37	28.58	31.77
18.98	22.18	25.37	28.58	31.77
18.98	22.18	25.37	28.58	31.77
19.98	22.18	25.37	28.58	31.77

Tabela 45. Potrošnja (kWh) nove instalacije u III godini

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora Pn=400 W				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70
20	1	29266.40	28102.56	26945.31	25781.47	24617.62
20	2	58532.80	56205.11	53890.62	51562.93	49235.24
30	1	43899.60	42153.83	40417.96	38672.20	36926.43
35	2	102432.40	98358.95	94308.58	90235.13	86161.67
40	1	58532.80	56205.11	53890.62	51562.93	49235.24
45	2	131698.80	126461.50	121253.89	116016.59	110779.29
50	1	73166.00	70256.39	67363.27	64453.66	61544.05
50	2	146332.00	140512.78	134726.55	128907.33	123088.11
60	1	87799.20	84307.67	80835.93	77344.40	73852.86
80	1	117065.60	112410.22	107781.24	103125.86	98470.48
100	1	146332.00	140512.78	134726.55	128907.33	123088.11

Tabela 46. Uštede el. energije u III godini (kWh)

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
5933.80	7097.64	8254.89	9418.74	10582.58
11867.60	14195.29	16509.78	18837.47	21165.16
8900.70	10646.47	12382.34	14128.10	15873.87
20768.30	24841.75	28892.12	32965.57	37039.03
11867.60	14195.29	16509.78	18837.47	21165.16
26702.10	31939.40	37147.01	42384.31	47621.61
14834.50	17744.11	20637.23	23546.84	26456.45
29669.00	35488.22	41274.46	47093.68	52912.90
17801.40	21292.93	24764.67	28256.21	31747.74
23735.20	28390.58	33019.56	37674.94	42330.32
29669.00	35488.22	41274.46	47093.68	52912.90

Tabela 47. Uštede el. energije u III godini u procentima

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
16.86	20.16	23.45	26.76	30.06
16.86	20.16	23.45	26.76	30.06
16.86	20.16	23.45	26.76	30.06
16.86	20.16	23.45	26.76	30.06
16.86	20.16	23.45	26.76	30.06
16.86	20.16	23.45	26.76	30.06
16.86	20.16	23.45	26.76	30.06
16.86	20.16	23.45	26.76	30.06
16.86	20.16	23.45	26.76	30.06
16.86	20.16	23.45	26.76	30.06
16.86	20.16	23.45	26.76	30.06

Tabela 48. Potrošnja (kWh) nove instalacije u IV godini

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora P _n =400 W				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70
20	1	30194.42	28987.17	27776.58	26574.21	25363.62
20	2	60388.84	57974.33	55553.15	53148.43	50727.25
30	1	45291.63	43480.75	41664.86	39861.32	38045.43
35	2	105680.46	101455.08	97218.02	93009.74	88772.68
40	1	60388.84	57974.33	55553.15	53148.43	50727.25
45	2	135874.88	130442.25	124994.59	119583.96	114136.30
50	1	75486.04	72467.92	69441.44	66435.53	63409.06
50	2	150972.09	144935.83	138882.88	132871.06	126818.11
60	1	90583.25	86961.50	83329.73	79722.64	76090.87
80	1	120777.67	115948.67	111106.31	106296.85	101454.49
100	1	150972.09	144935.83	138882.88	132871.06	126818.11

Tabela 49. Uštede el. energije u IV godini (kWh)

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
5005.78	6213.03	7423.62	8625.99	9836.58
10011.57	12426.07	14847.25	17251.98	19673.16
7508.67	9319.55	11135.44	12938.98	14754.87
17520.24	21745.62	25982.68	30190.96	34428.02
10011.57	12426.07	14847.25	17251.98	19673.16
22526.02	27958.65	33406.31	38816.94	44264.60
12514.46	15532.58	18559.06	21564.97	24591.44
25028.91	31065.17	37118.12	43129.94	49182.89
15017.35	18639.10	22270.87	25877.96	29509.73
20023.13	24852.13	29694.49	34503.95	39346.31
25028.91	31065.17	37118.12	43129.94	49182.89

Tabela 50. Uštede el. energije u IV godini u procentima

Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
30	40	50	60	70
14.22	17.65	21.09	24.51	27.94
14.22	17.65	21.09	24.51	27.94
14.22	17.65	21.09	24.51	27.94
14.22	17.65	21.09	24.51	27.94
14.22	17.65	21.09	24.51	27.94
14.22	17.65	21.09	24.51	27.94
14.22	17.65	21.09	24.51	27.94
14.22	17.65	21.09	24.51	27.94
14.22	17.65	21.09	24.51	27.94
14.22	17.65	21.09	24.51	27.94
14.22	17.65	21.09	24.51	27.94

Tabela 51. Uštede el. energije za period održavanja (T=4 god.) u procentima

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora Pn=150 W				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70
20	1	17.27	20.31	23.34	26.38	29.42
20	2	17.27	20.31	23.34	26.38	29.42
30	1	17.27	20.31	23.34	26.38	29.42
35	2	17.27	20.31	23.34	26.38	29.42
40	1	17.27	20.31	23.34	26.38	29.42
45	2	17.27	20.31	23.34	26.38	29.42
50	1	17.27	20.31	23.34	26.38	29.42
50	2	17.27	20.31	23.34	26.38	29.42
60	1	17.27	20.31	23.34	26.38	29.42
80	1	17.27	20.31	23.34	26.38	29.42
100	1	17.27	20.31	23.34	26.38	29.42

Tabela 52. Uštede el. energije za period održavanja (T=4 god.) u procentima

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora Pn=250 W				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70
20	1	17.43	20.50	23.56	26.63	29.70
20	2	17.43	20.50	23.56	26.63	29.70
30	1	17.43	20.50	23.56	26.63	29.70
35	2	17.43	20.50	23.56	26.63	29.70
40	1	17.43	20.50	23.56	26.63	29.70
45	2	17.43	20.50	23.56	26.63	29.70
50	1	17.43	20.50	23.56	26.63	29.70
50	2	17.43	20.50	23.56	26.63	29.70
60	1	17.43	20.50	23.56	26.63	29.70
80	1	17.43	20.50	23.56	26.63	29.70
100	1	17.43	20.50	23.56	26.63	29.70

Tabela 53. Uštede el. energije za period održavanja (T=4 god.) u procentima

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora P _n =400 W				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70
20	1	18.35	21.58	24.80	28.04	31.26
20	2	18.35	21.58	24.80	28.04	31.26
30	1	18.35	21.58	24.80	28.04	31.26
35	2	18.35	21.58	24.80	28.04	31.26
40	1	18.35	21.58	24.80	28.04	31.26
45	2	18.35	21.58	24.80	28.04	31.26
50	1	18.35	21.58	24.80	28.04	31.26
50	2	18.35	21.58	24.80	28.04	31.26
60	1	18.35	21.58	24.80	28.04	31.26
80	1	18.35	21.58	24.80	28.04	31.26
100	1	18.35	21.58	24.80	28.04	31.26

Sprovedena tehnička analiza je potvrdila značajne mogućnosti uštede električne energije u instalacijama uličnog osvetljenja primenom sistema za kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa Starsense. Primećuje se da procentualne uštede, na nivou perioda održavanja, ne zavise mnogo od snage izvora. Kako poslednje tri tabele pokazuju, one se kreću od 17.27% za režim u kome se u kasnim noćnim satima ima smanjenje sjajnosti od 30% (u odnosu na pogonsku (preporučenu) vrednost), do 31.26% za režim sa 70% smanjenom sjajnošću.

Naredno poglavlje ima za cilj da kroz ekonomsku analizu pokaže koliko je ovaj moderan sistem regulacije svetlosnog fluksa u uličnom osvetljenju ekonomski opravdan.

4.7. Analiza ekonomske opravdanosti upotrebe STARSENSE sistema

Ulazne parametre za ovu analizu predstavljaju cene svih elemenata STARSENSE sistema za kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa u uličnom osvetljenju. Posebno su navedene cene opreme za potpuno elektronsku varijantu (izvori snage 150 W) - tabela 54, a posebno cene opreme za

hibridnu varijantu (izvori snage 250 i 400 W) - tabela 55. Sve cene su bez poreza.

Tabela 54. Cene pojedinih komponenti STARSENSE sistema (elektronska varijanta)

Komponenta	Oznaka	Cena (EUR)
Elektronski kontroler	OLC LON 1-10V 400MAX	287
Priključni element	Phase Coupler LON PLC	235
Segmentni kontroler	LFC 7050/00 (SC LON PLC)	533
Elektronski balast	HID-DV 1-10V 150 SON/CDO	98
Prevodilac	Router/Repeater ili Modem+Serial Access Unit	≈ 250

Tabela 55. Cene pojedinih komponenti STARSENSE sistema (hibridna varijanta)

Komponenta	Oznaka	Cena (EUR)
Elektronski kontroler	OLC LON 1-10V 400MAX	287
Priključni element	Phase Coupler LON PLC	235
Segmentni kontroler	LFC 7050/00 (SC LON PLC)	533
Hibridni kontroler	HID-DVC 1-10V 250/400 SON	57
Dodatna komponenta balasta	BSH2540L36	12
Kondenzator	\	1
Prevodilac	Router/Repeater ili Modem+Serial Access Unit	≈ 250

Potrebno je napomenuti da sastavni deo opreme Starsense sistema za kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa čine programski paket i centralna upravljačka jedinica (PC). Ove komponente su dovoljne za kontrolu rada velikog broja segmentnih kontrolera, a time i svetiljki. Usled toga, njihove cene mogu biti zanemarene u ekonomskoj analizi koja sledi (cena programskog paketa iznosi 1442 EUR).

Potrebno je dati i cenu ormarića u koji se smešta segmentni kontroler, kao i cene rada na montaži dodatne opreme:

- poliesterski ormarić za spoljnu montažu, dimenzija 500x500x350 (mm) - 250 EUR,
- cena rada na ugradnji nove opreme, po svetiljci – 25 EUR, i
- cena rada na ugradnji opreme koja se smešta u ormarić segmentnog kontrolera - 100 EUR.

U tabelama 56 i 57 prikazani su investicioni troškovi (I) nabavke i ugradnje nove opreme za elektronsku i hibridnu varijantu regulacije svetlosnog fluksa. Iz ovih tabela se može videti da je za isti broj svetiljki po segmentnom kontroleru elektronska varijanta nešto skuplja.

Tabela 56. Troškovi nabavke i ugradnje nove opreme (elektronska varijanta)

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora 150 W
		I (EUR)
20	1	10038.00
20	2	18238.00
30	1	14138.00
35	2	30538.00
40	1	18238.00
45	2	38738.00
50	1	22338.00
50	2	42838.00
60	1	26438.00
80	1	34638.00
100	1	42838.00

Tabela 57. Troškovi nabavke i ugradnje nove opreme (hibridna varijanta)

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Snaga izvora 250 ili 400 W
		I (EUR)
20	1	9478.00
20	2	17118.00
30	1	13298.00
35	2	28578.00
40	1	17118.00
45	2	36218.00
50	1	20938.00
50	2	40038.00
60	1	24758.00
80	1	32398.00
100	1	40038.00

Sada se za instalacije uličnog osvetljenja sa kontinualnom regulacijom svetlosnog fluksa mogu odrediti finansijski efekti ušteda električne energije koje su izračunate u tački 4.6, za svaku godinu perioda održavanja, i to računato sa dve cene utrošenog kWh električne energije. Prva predstavlja važeću cenu utrošene električne energije za javno osvetljenje u Beogradu (0.036 EUR/kWh), a druga cenu u razvijenim evropskim zemljama (oko 0.06 EUR/kWh). Naredne tabele prikazuju rezultate proračuna.

		Cene uštede el. energije u I godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 150 W					Cene uštede el. energije u I godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 150 W				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	106.2	119.8	133.3	146.9	160.5	177.0	199.6	222.1	244.8	267.5
20	2	212.4	239.6	266.6	293.8	320.9	354.0	399.3	444.3	489.6	534.9
30	1	159.3	179.7	199.9	220.3	240.7	265.5	299.5	333.2	367.2	401.2
35	2	371.7	419.2	466.5	514.1	561.6	619.5	698.7	777.5	856.8	936.1
40	1	212.4	239.6	266.6	293.8	320.9	354.0	399.3	444.3	489.6	534.9
45	2	477.9	539.0	599.8	661.0	722.1	796.5	898.4	999.6	1101.6	1203.5
50	1	265.5	299.5	333.2	367.2	401.2	442.5	499.1	555.4	612.0	668.6
50	2	531.0	598.9	666.4	734.4	802.4	884.9	998.2	1110.7	1224.0	1337.3
60	1	318.6	359.4	399.9	440.6	481.4	531.0	598.9	666.4	734.4	802.4
80	1	424.8	479.1	533.1	587.5	641.9	708.0	798.6	888.6	979.2	1069.8
100	1	531.0	598.9	666.4	734.4	802.4	884.9	998.2	1110.7	1224.0	1337.3

		Cene uštede el. energije u II godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 150 W					Cene uštede el. energije u II godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 150 W				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	86.4	100.9	115.4	130.1	144.5	144.0	168.2	192.3	216.8	240.9
20	2	172.8	201.9	230.8	260.2	289.1	287.9	336.4	384.6	433.6	481.8
30	1	129.6	151.4	173.1	195.1	216.8	215.9	252.3	288.5	325.2	361.3
35	2	302.3	353.3	403.8	455.3	505.9	503.9	588.8	673.1	758.8	843.1
40	1	172.8	201.9	230.8	260.2	289.1	287.9	336.4	384.6	433.6	481.8
45	2	388.7	454.2	519.2	585.4	650.4	647.8	757.0	865.4	975.6	1084.0
50	1	215.9	252.3	288.5	325.2	361.3	359.9	420.5	480.8	542.0	602.2
50	2	431.9	504.6	576.9	650.4	722.7	719.8	841.1	961.5	1084.0	1204.5
60	1	259.1	302.8	346.2	390.2	433.6	431.9	504.6	576.9	650.4	722.7
80	1	345.5	403.7	461.5	520.3	578.2	575.9	672.9	769.2	867.2	963.6
100	1	431.9	504.6	576.9	650.4	722.7	719.8	841.1	961.5	1084.0	1204.5

		Cene uštede el. energije u III godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 150 W					Cene uštede el. energije u III godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 150 W				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	76.7	91.7	106.7	121.7	136.8	127.8	152.9	177.8	202.8	227.9
20	2	153.3	183.5	213.4	243.4	273.5	255.6	305.8	355.7	405.7	455.9
30	1	115.0	137.6	160.1	182.5	205.1	191.7	229.3	266.8	304.2	341.9
35	2	268.4	321.1	373.5	425.9	478.7	447.3	535.1	622.4	709.9	797.8
40	1	153.3	183.5	213.4	243.4	273.5	255.6	305.8	355.7	405.7	455.9
45	2	345.0	412.8	480.2	547.6	615.4	575.0	688.0	800.3	912.7	1025.7
50	1	191.7	229.3	266.8	304.2	341.9	319.5	382.2	444.6	507.1	569.8
50	2	383.4	458.7	533.5	608.5	683.8	638.9	764.4	889.2	1014.2	1139.6
60	1	230.0	275.2	320.1	365.1	410.3	383.4	458.7	533.5	608.5	683.8
80	1	306.7	366.9	426.8	486.8	547.0	511.2	611.5	711.3	811.3	911.7
100	1	383.4	458.7	533.5	608.5	683.8	638.9	764.4	889.2	1014.2	1139.6

		Cene uštede el. energije u IV godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 150 W					Cene uštede el. energije u IV godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 150 W				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	64.7	80.5	96.1	111.6	127.2	107.9	134.1	160.1	186.0	212.1
20	2	129.5	160.9	192.1	223.1	254.5	215.8	268.2	320.2	371.9	424.1
30	1	97.1	120.7	144.1	167.4	190.8	161.9	201.2	240.2	278.9	318.1
35	2	226.6	281.6	336.2	390.5	445.3	377.7	469.4	560.4	650.8	742.2
40	1	129.5	160.9	192.1	223.1	254.5	215.8	268.2	320.2	371.9	424.1
45	2	291.4	362.1	432.3	502.1	572.5	485.6	603.5	720.5	836.8	954.2
50	1	161.9	201.2	240.2	278.9	318.1	269.8	335.3	400.3	464.9	530.1
50	2	323.7	402.3	480.3	557.9	636.2	539.5	670.5	800.5	929.8	1060.3
60	1	194.2	241.4	288.2	334.7	381.7	323.7	402.3	480.3	557.9	636.2
80	1	259.0	321.9	384.2	446.3	508.9	431.6	536.4	640.4	743.8	848.2
100	1	323.7	402.3	480.3	557.9	636.2	539.5	670.5	800.5	929.8	1060.3

		Cene uštede el. energije u I godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 250 W					Cene uštede el. energije u I godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 250 W				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	184.1	207.7	231.1	254.6	278.2	306.8	346.2	385.1	424.4	463.7
20	2	368.1	415.4	462.1	509.3	556.4	613.6	692.4	770.2	848.8	927.4
30	1	276.1	311.6	346.6	382.0	417.3	460.2	519.3	577.7	636.6	695.6
35	2	644.3	727.0	808.7	891.3	973.8	1073.8	1211.6	1347.9	1485.4	1623.0
40	1	368.1	415.4	462.1	509.3	556.4	613.6	692.4	770.2	848.8	927.4
45	2	828.3	934.7	1039.8	1145.9	1252.0	1380.5	1557.8	1733.0	1909.9	2086.7
50	1	460.2	519.3	577.7	636.6	695.6	767.0	865.5	962.8	1061.0	1159.3
50	2	920.4	1038.5	1155.4	1273.2	1391.1	1533.9	1730.9	1925.6	2122.1	2318.5
60	1	552.2	623.1	693.2	763.9	834.7	920.4	1038.5	1155.4	1273.2	1391.1
80	1	736.3	830.8	924.3	1018.6	1112.9	1227.1	1384.7	1540.5	1697.7	1854.8
100	1	920.4	1038.5	1155.4	1273.2	1391.1	1533.9	1730.9	1925.6	2122.1	2318.5

		Cene uštede el. energije u II godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 250 W					Cene uštede el. energije u II godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 250 W				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	149.7	174.9	200.0	225.4	250.5	249.4	291.5	333.3	375.7	417.5
20	2	299.3	349.8	400.0	450.8	501.0	498.8	583.0	666.7	751.3	835.0
30	1	224.5	262.4	300.0	338.1	375.7	374.1	437.3	500.0	563.5	626.2
35	2	523.8	612.2	700.0	788.9	876.7	873.0	1020.3	1166.7	1314.8	1461.2
40	1	299.3	349.8	400.0	450.8	501.0	498.8	583.0	666.7	751.3	835.0
45	2	673.4	787.1	900.0	1014.3	1127.2	1122.4	1311.8	1500.0	1690.5	1878.7
50	1	374.1	437.3	500.0	563.5	626.2	623.6	728.8	833.3	939.2	1043.7
50	2	748.3	874.5	1000.0	1127.0	1252.5	1247.1	1457.5	1666.7	1878.3	2087.5
60	1	449.0	524.7	600.0	676.2	751.5	748.3	874.5	1000.0	1127.0	1252.5
80	1	598.6	699.6	800.0	901.6	1002.0	997.7	1166.0	1333.4	1502.7	1670.0
100	1	748.3	874.5	1000.0	1127.0	1252.5	1247.1	1457.5	1666.7	1878.3	2087.5

		Cene uštede el. energije u III godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 250 W					Cene uštede el. energije u III godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 250 W				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	132.9	159.0	184.9	211.0	237.1	221.5	265.0	308.2	351.6	395.2
20	2	265.8	318.0	369.9	422.0	474.2	443.0	530.1	616.4	703.3	790.4
30	1	199.4	238.5	277.4	316.5	355.7	332.3	397.6	462.3	527.5	592.8
35	2	465.2	556.6	647.3	738.5	829.9	775.3	927.6	1078.8	1230.8	1383.1
40	1	265.8	318.0	369.9	422.0	474.2	443.0	530.1	616.4	703.3	790.4
45	2	598.1	715.6	832.2	949.5	1067.0	996.8	1192.7	1387.0	1582.4	1778.3
50	1	332.3	397.6	462.3	527.5	592.8	553.8	662.6	770.5	879.1	988.0
50	2	664.5	795.1	924.7	1054.9	1185.5	1107.5	1325.2	1541.1	1758.2	1975.9
60	1	398.7	477.1	554.8	633.0	711.3	664.5	795.1	924.7	1054.9	1185.5
80	1	531.6	636.1	739.7	844.0	948.4	886.0	1060.1	1232.9	1406.6	1580.7
100	1	664.5	795.1	924.7	1054.9	1185.5	1107.5	1325.2	1541.1	1758.2	1975.9

		Cene uštede el. energije u IV godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 250 W					Cene uštede el. energije u IV godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 250 W				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	112.2	139.2	166.3	193.3	220.4	187.0	232.0	277.1	322.1	367.3
20	2	224.4	278.4	332.6	386.6	440.7	374.0	464.0	554.3	644.3	734.5
30	1	168.3	208.8	249.4	289.9	330.5	280.5	348.0	415.7	483.2	550.9
35	2	392.7	487.2	582.0	676.5	771.3	654.4	812.1	970.0	1127.5	1285.5
40	1	224.4	278.4	332.6	386.6	440.7	374.0	464.0	554.3	644.3	734.5
45	2	504.9	626.4	748.3	869.8	991.6	841.4	1044.1	1247.2	1449.6	1652.7
50	1	280.5	348.0	415.7	483.2	550.9	467.5	580.0	692.9	805.4	918.2
50	2	560.9	696.1	831.4	966.4	1101.8	934.9	1160.1	1385.7	1610.7	1836.4
60	1	336.6	417.6	498.9	579.9	661.1	560.9	696.1	831.4	966.4	1101.8
80	1	448.8	556.8	665.2	773.1	881.5	747.9	928.1	1108.6	1288.6	1469.1
100	1	560.9	696.1	831.4	966.4	1101.8	934.9	1160.1	1385.7	1610.7	1836.4

		Cene uštede el. energije u I godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 400 W					Cene uštede el. energije u I godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 400 W				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	295.9	333.8	371.4	409.3	447.1	493.1	556.3	619.0	682.2	745.2
20	2	591.7	667.5	742.8	818.6	894.2	986.2	1112.5	1238.0	1364.3	1490.4
30	1	443.8	500.6	557.1	613.9	670.7	739.7	834.4	928.5	1023.2	1117.8
35	2	1035.5	1168.2	1299.9	1432.5	1564.9	1725.9	1946.9	2166.5	2387.5	2608.2
40	1	591.7	667.5	742.8	818.6	894.2	986.2	1112.5	1238.0	1364.3	1490.4
45	2	1331.4	1501.9	1671.3	1841.8	2012.1	2219.0	2503.2	2785.5	3069.7	3353.4
50	1	739.7	834.4	928.5	1023.2	1117.8	1232.8	1390.7	1547.5	1705.4	1863.0
50	2	1479.3	1668.8	1857.0	2046.5	2235.6	2465.6	2781.3	3095.0	3410.8	3726.0
60	1	887.6	1001.3	1114.2	1227.9	1341.4	1479.3	1668.8	1857.0	2046.5	2235.6
80	1	1183.5	1335.0	1485.6	1637.2	1788.5	1972.4	2225.0	2476.0	2728.6	2980.8
100	1	1479.3	1668.8	1857.0	2046.5	2235.6	2465.6	2781.3	3095.0	3410.8	3726.0

		Cene uštede el. energije u II godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 400 W					Cene uštede el. energije u II godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 400 W				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	240.5	281.1	321.5	362.2	402.6	400.8	468.5	535.8	603.7	670.9
20	2	481.0	562.3	642.9	724.4	805.1	801.6	937.1	1071.5	1207.4	1341.8
30	1	360.7	421.7	482.2	543.3	603.8	601.2	702.8	803.7	905.5	1006.4
35	2	841.7	983.9	1125.1	1267.8	1408.9	1402.8	1639.9	1875.2	2112.9	2348.2
40	1	481.0	562.3	642.9	724.4	805.1	801.6	937.1	1071.5	1207.4	1341.8
45	2	1082.2	1265.1	1446.6	1630.0	1811.5	1803.6	2108.4	2411.0	2716.6	3019.1
50	1	601.2	702.8	803.7	905.5	1006.4	1002.0	1171.4	1339.4	1509.2	1677.3
50	2	1202.4	1405.6	1607.3	1811.1	2012.8	2004.0	2342.7	2678.8	3018.5	3354.6
60	1	721.5	843.4	964.4	1086.7	1207.7	1202.4	1405.6	1607.3	1811.1	2012.8
80	1	961.9	1124.5	1285.8	1448.9	1610.2	1603.2	1874.2	2143.1	2414.8	2683.7
100	1	1202.4	1405.6	1607.3	1811.1	2012.8	2041.7	2342.7	2678.8	3018.5	3354.6

		Cene uštede el. energije u III godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 400 W					Cene uštede el. energije u III godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 400 W				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	213.6	255.5	297.2	339.1	381.0	356.0	425.9	495.3	565.1	635.0
20	2	427.2	511.0	594.4	678.1	761.9	712.1	851.7	990.6	1130.2	1269.9
30	1	320.4	383.3	445.8	508.6	571.5	534.0	638.8	742.9	847.7	952.4
35	2	747.7	894.3	1040.1	1186.8	1333.4	1246.1	1490.5	1733.5	1977.9	2222.3
40	1	427.2	511.0	594.4	678.1	761.9	712.1	851.7	990.6	1130.2	1269.9
45	2	961.3	1149.8	1337.3	1525.8	1714.4	1602.1	1916.4	2228.8	2543.1	2857.3
50	1	534.0	638.8	742.9	847.7	952.4	890.1	1064.6	1238.2	1412.8	1587.4
50	2	1068.1	1277.6	1485.9	1695.4	1904.9	1780.1	2129.3	2476.5	2825.6	3174.8
60	1	640.9	766.5	891.5	1017.2	1142.9	1068.1	1277.6	1485.9	1695.4	1904.9
80	1	854.5	1022.1	1188.7	1356.3	1523.9	1424.1	1703.4	1981.2	2260.5	2539.8
100	1	1068.1	1277.6	1485.9	1695.4	1904.9	1780.1	2129.3	2476.5	2825.6	3174.8

		Cene uštede el. energije u IV godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 400 W					Cene uštede el. energije u IV godini (EUR) za instalaciju sa izvorima snage 400 W				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	180.2	223.7	267.3	310.5	354.1	300.3	372.8	445.4	517.6	590.2
20	2	360.4	447.3	534.5	621.1	708.2	600.7	745.6	890.8	1035.1	1180.4
30	1	270.3	335.5	400.9	465.8	531.2	450.5	559.2	668.1	776.3	885.3
35	2	630.7	782.8	935.4	1086.9	1239.4	1051.2	1304.7	1559.0	1811.5	2065.7
40	1	360.4	447.3	534.5	621.1	708.2	600.7	745.6	890.8	1035.1	1180.4
45	2	810.9	1006.5	1202.6	1397.4	1593.5	1351.6	1677.5	2004.4	2329.0	2655.9
50	1	450.5	559.2	668.1	776.3	885.3	750.9	932.0	1113.5	1293.9	1475.5
50	2	901.0	1118.3	1336.3	1552.7	1770.6	1501.7	1863.9	2227.1	2587.8	2951.0
60	1	540.6	671.0	801.8	931.6	1062.4	901.0	1118.3	1336.3	1552.7	1770.6
80	1	720.8	894.7	1069.0	1242.1	1416.5	1201.4	1491.1	1781.7	2070.2	2360.8
100	1	901.0	1118.3	1336.3	1552.7	1770.6	1501.7	1863.9	2227.1	2587.8	2951.0

Sada se na osnovu izračunatih cena uštede električne energije za svaku godinu perioda održavanja instalacije uličnog osvetljenja (4 godine), mogu izračunati zarade koje instalacija ostvaruje za različite periode eksploatacije i različite godišnje stope aktuelizacije. Analiza se vrši za periode eksploatacije (T) od 24 god. i 28 god., kao i za stope aktuelizacije (p) od 5% i 7.5%.

Pre nego što se tabelarno predstave rezultati, potrebno je dati kraće objašnjenje formule koja se koristi u proračunu.

Neka je sa K_I obeležena ušteta u toku prve godine rada STARSENSE sistema. Svođenjem na kraj perioda eksploatacije, T, ova ušteta postaje:

$$K_I \cdot (1+p)^{T-1}.$$

Ušteta u toku druge godine, K_{II} , svedena na kraj perioda eksploatacije T, iznosi:

$$K_{II} \cdot (1+p)^{T-2},$$

itd.

Ukupna ušteta (K), koja se odnosi na ceo period eksploatacije, dobija se primenom sledeće formule (godišnje uštete ponavljaju se sa periodom održavanja instalacije uličnog osvetljenja (4 god.)):

$$\begin{aligned} K = & K_I \cdot [(1+p)^{T-1} + (1+p)^{T-5} + \dots + (1+p)^3] + \\ & K_{II} \cdot [(1+p)^{T-2} + (1+p)^{T-6} + \dots + (1+p)^2] + \\ & K_{III} \cdot [(1+p)^{T-3} + (1+p)^{T-7} + \dots + (1+p)] + \\ & K_{IV} \cdot [(1+p)^{T-4} + (1+p)^{T-8} + \dots + 1]. \end{aligned}$$

I ukupni investicioni troškovi se svode na kraj perioda eksploatacije T. Njihova svedena vrednost iznosi:

$$I \cdot (1+p)^T.$$

Sada se zarada (Z) može odrediti primenom sledeće formule:

$$Z = K - I \cdot (1+p)^T.$$

U narednim tabelama date su vrednosti zarada (u EUR–ima) za analizirane instalacije uličnog osvetljenja (T=24 god. i 28 god., p=5% i 7.5%).

		Zarada za instalaciju sa izvorima snage 150W za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=5 %					Zarada za instalaciju sa izvorima snage 150W za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=5 %				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-28621	-27968	-27318	-26666	-26014	-26120	-25030	-23948	-22861	-21774
20	2	-51315	-50008	-48709	-47404	-46100	-46312	-44133	-41969	-39794	-37620
30	1	-39968	-38988	-38014	-37035	-36057	-36216	-34582	-32959	-31327	-29697
35	2	-85355	-83067	-80795	-78511	-76229	-76600	-72787	-69000	-65193	-61390
40	1	-51315	-50008	-48709	-47404	-46100	-46312	-44133	-41969	-39794	-37620
45	2	-108049	-105107	-102186	-99249	-96315	-96792	-91890	-87020	-82126	-77236
50	1	-62662	-61028	-59404	-57773	-56143	-56408	-53684	-50979	-48260	-45544
50	2	-119395	-116127	-112881	-109618	-106358	-106888	-101441	-96031	-90593	-85160
60	1	-74008	-72048	-70100	-68142	-66186	-66504	-63236	-59989	-56727	-53467
80	1	-96702	-94087	-91490	-88880	-86272	-86696	-82338	-78010	-73660	-69313
100	1	-119395	-116127	-112881	-109618	-106358	-106888	-101441	-96031	-90593	-85160

		Zarada za instalaciju sa izvorima snage 150W za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %					Zarada za instalaciju sa izvorima snage 150W za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-51666	-50752	-49845	-48932	-48021	-48148	-46625	-45112	-43591	-42072
20	2	-92906	-91078	-89263	-87438	-85615	-85868	-82822	-79797	-76755	-73716
30	1	-72286	-70915	-69554	-68185	-66818	-67008	-64723	-62454	-60173	-57894
35	2	-154765	-151567	-148390	-145196	-142006	-142450	-137119	-131824	-126501	-121184
40	1	-92906	-91078	-89263	-87438	-85615	-85868	-82822	-79797	-76755	-73716
45	2	-196005	-191892	-187808	-183701	-179599	-180171	-173317	-166509	-159665	-152829
50	1	-113526	-111241	-108972	-106690	-104412	-104729	-100921	-97139	-93337	-89539
50	2	-216624	-212055	-207517	-202954	-198396	-199031	-191416	-183851	-176247	-168651
60	1	-134145	-131404	-128681	-125943	-123209	-123589	-119020	-114481	-109919	-105361
80	1	-175385	-171730	-168099	-164449	-160803	-161310	-155218	-149166	-143083	-137006
100	1	-216624	-212055	-207517	-202954	-198396	-199031	-191416	-183851	-176247	-168651

		Zarada za instalaciju sa izvorima snage 250W za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=5 %					Zarada za instalaciju sa izvorima snage 250W za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=5 %				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-24065	-22933	-21807	-20675	-19545	-19729	-17843	-15967	-14080	-12196
20	2	-42202	-39937	-37686	-35422	-33162	-33531	-29757	-26006	-22232	-18465
30	1	-33133	-31435	-29747	-28049	-26353	-26630	-23800	-20986	-18156	-15331
35	2	-69407	-65445	-61506	-57543	-53587	-54234	-47630	-41065	-34461	-27868
40	1	-42202	-39937	-37686	-35422	-33162	-33531	-29757	-26006	-22232	-18465
45	2	-87544	-82449	-77385	-72290	-67204	-68035	-59545	-51104	-42613	-34136
50	1	-51270	-48440	-45626	-42796	-39970	-40432	-35715	-31026	-26308	-21599
50	2	-96612	-90952	-85325	-79664	-74013	-74936	-65502	-56123	-46689	-37270
60	1	-60339	-56942	-53566	-50170	-46779	-47333	-41672	-36045	-30385	-24733
80	1	-78475	-73947	-69445	-64917	-60396	-61135	-53587	-46084	-38537	-31002
100	1	-96612	-90952	-85325	-79664	-74013	-74936	-65502	-56123	-46689	-37270

		Zarada za instalaciju sa izvorima snage 250W za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %					Zarada za instalaciju sa izvorima snage 250W za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-44620	-43037	-41464	-39881	-38301	-38522	-35884	-33262	-30623	-27990
20	2	-78814	-75648	-72501	-69335	-66175	-66618	-61341	-56097	-50820	-45552
30	1	-61717	-59343	-56983	-54608	-52238	-52570	-48613	-44679	-40722	-36771
35	2	-130105	-124564	-119057	-113517	-107986	-108762	-99527	-90349	-81115	-71897
40	1	-78814	-75648	-72501	-69335	-66175	-66618	-61341	-56097	-50820	-45552
45	2	-164298	-157175	-150094	-142971	-135860	-136857	-124985	-113184	-101311	-89459
50	1	-95911	-91954	-88020	-84062	-80112	-80666	-74070	-67514	-60918	-54334
50	2	-181395	-173480	-165613	-157698	-149797	-150905	-137714	-124601	-111410	-98241
60	1	-113008	-108259	-103538	-98790	-94049	-94714	-86799	-78931	-71017	-63115
80	1	-147202	-140870	-134576	-128244	-121923	-122809	-112256	-101766	-91213	-80678
100	1	-181395	-173480	-165613	-157698	-149797	-150905	-137714	-124601	-111410	-98241

		Zarada za instalaciju sa izvorima snage 400W za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=5 %					Zarada za instalaciju sa izvorima snage 400W za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=5 %				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-20117	-18299	-16488	-14670	-12854	-13150	-10119	-7102	-4072	-1046
20	2	-34307	-30670	-27048	-23412	-19781	-20373	-14311	-8275	-2215	3836
30	1	-27212	-24484	-21768	-19041	-16318	-16761	-12215	-7688	-3144	1395
35	2	-55591	-49226	-42888	-36526	-30171	-31206	-20599	-10036	569	11159
40	1	-34307	-30670	-27048	-23412	-19781	-20373	-14311	-8275	-2215	3836
45	2	-69780	-61597	-53449	-45268	-37098	-38429	-24790	-11210	2425	16041
50	1	-41401	-36855	-32328	-27783	-23244	-23984	-16407	-8862	-1287	6277
50	2	-76875	-67782	-58729	-49639	-40561	-42040	-26886	-11797	3353	18482
60	1	-48496	-43040	-37608	-32154	-26708	-27595	-18503	-9449	-359	8718
80	1	-62685	-55411	-48168	-40897	-33634	-34818	-22694	-10623	1497	13600
100	1	-76875	-67782	-58729	-49639	-40561	-42040	-26886	-11797	3353	18482

		Zarada za instalaciju sa izvorima snage 400W za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %					Zarada za instalaciju sa izvorima snage 400W za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-39068	-36525	-33993	-31451	-28913	-29268	-25030	-20811	-16574	-12343
20	2	-67709	-62623	-57560	-52476	-47399	-48109	-39633	-31195	-22721	-14260
30	1	-53388	-49574	-45777	-41964	-38156	-38688	-32332	-26003	-19648	-13302
35	2	-110670	-101771	-92910	-84013	-75129	-76370	-61538	-46771	-31942	-17135
40	1	-67709	-62623	-57560	-52476	-47399	-48109	-39633	-31195	-22721	-14260
45	2	-139311	-127869	-116477	-105038	-93615	-95211	-76142	-57155	-38089	-19051
50	1	-82029	-75672	-69343	-62988	-56642	-57529	-46935	-36387	-25795	-15218
50	2	-153631	-140918	-128260	-115550	-102858	-104632	-83443	-62347	-41163	-20010
60	1	-96350	-88722	-81127	-73501	-65886	-66950	-54237	-41579	-28869	-16177
80	1	-124990	-114820	-104694	-94525	-84372	-85791	-68840	-51963	-35016	-18093
100	1	-153631	-140918	-128260	-115550	-102858	-104632	-83443	-62347	-41163	-20010

		Zarada za instalaciju sa izvorima snage 150W za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=5 %					Zarada za instalaciju sa izvorima snage 150W za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=5 %				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-34426	-33568	-32716	-31860	-31004	-31143	-29713	-28293	-26866	-25440
20	2	-61647	-59931	-58227	-56514	-54803	-55081	-52222	-49381	-46527	-43675
30	1	-48036	-46750	-45472	-44187	-42904	-43112	-40967	-38837	-36696	-34557
35	2	-102478	-99475	-96493	-93496	-90501	-90988	-85984	-81014	-76018	-71027
40	1	-61647	-59931	-58227	-56514	-54803	-55081	-52222	-49381	-46527	-43675
45	2	-129699	-125838	-122004	-118151	-114300	-114926	-108492	-102102	-95679	-89262
50	1	-75257	-73113	-70982	-68841	-66702	-67050	-63476	-59926	-56357	-52792
50	2	-143309	-139020	-134760	-130478	-126200	-126894	-119746	-112646	-105509	-98379
60	1	-88867	-86294	-83738	-81169	-78602	-79019	-74730	-70470	-66188	-61910
80	1	-116088	-112657	-109249	-105823	-102401	-102957	-97238	-91558	-85848	-80144
100	1	-143309	-139020	-134760	-130478	-126200	-126894	-119746	-112646	-105509	-98379

		Zarada za instalaciju sa izvorima snage 150W za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %					Zarada za instalaciju sa izvorima snage 150W za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-67234	-65744	-64267	-62780	-61295	-61359	-58876	-56413	-53935	-51460
20	2	-120544	-117564	-114609	-111635	-108665	-108794	-103827	-98901	-93946	-88995
30	1	-93889	-91654	-89438	-87208	-84980	-85077	-81352	-77657	-73940	-70227
35	2	-200509	-195294	-190122	-184919	-179720	-179946	-171254	-162634	-153961	-145297
40	1	-120544	-117564	-114609	-111635	-108665	-108794	-103827	-98901	-93946	-88995
45	2	-253819	-247114	-240464	-233774	-227090	-227380	-216205	-205122	-193972	-182832
50	1	-147199	-143474	-139780	-136063	-132350	-132511	-126303	-120145	-113951	-107762
50	2	-280474	-273024	-265635	-258202	-250775	-251098	-238681	-226366	-213977	-201600
60	1	-173854	-169384	-164951	-160491	-156035	-156228	-148778	-141390	-133956	-126530
80	1	-227164	-221204	-215293	-209346	-203405	-203663	-193730	-183878	-173967	-164065
100	1	-280474	-273024	-265635	-258202	-250775	-251098	-238681	-226366	-213977	-201600

		Zarada za instalaciju sa izvorima snage 250W za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=5 %					Zarada za instalaciju sa izvorima snage 250W za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=5 %				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-28621	-27135	-25658	-24172	-22689	-22932	-20455	-17994	-15517	-13045
20	2	-50037	-47065	-44111	-41140	-38173	-38658	-33705	-28782	-23830	-18886
30	1	-39329	-37100	-34885	-32656	-30431	-30795	-27080	-23388	-19674	-15965
35	2	-82160	-76960	-71791	-66591	-61399	-62247	-53581	-44965	-36298	-27646
40	1	-50037	-47065	-44111	-41140	-38173	-38658	-33705	-28782	-23830	-18886
45	2	-103576	-96890	-90244	-83558	-76883	-77974	-66831	-55753	-44610	-33486
50	1	-60745	-57030	-53338	-49623	-45915	-46521	-40331	-34176	-27986	-21806
50	2	-114284	-106855	-99470	-92042	-84625	-85837	-73456	-61148	-48767	-36406
60	1	-71452	-66995	-62564	-58107	-53657	-54384	-46956	-39571	-32142	-24726
80	1	-92868	-86925	-81017	-75074	-69141	-70111	-60206	-50359	-40454	-30566
100	1	-114284	-106855	-99470	-92042	-84625	-85837	-73456	-61148	-48767	-36406

		Zarada za instalaciju sa izvorima snage 250W za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %					Zarada za instalaciju sa izvorima snage 250W za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %				
Broj stubova N	Broj svetiljki po stubu K	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-58933	-56705	-54491	-52263	-50039	-50351	-46638	-42948	-39235	-35529
20	2	-103941	-99485	-95057	-90601	-86154	-86777	-79352	-71971	-64545	-57133
30	1	-81437	-78095	-74774	-71432	-68096	-68564	-62995	-57459	-51890	-46331
35	2	-171452	-163656	-155906	-148109	-140325	-141417	-128422	-115506	-102511	-89539
40	1	-103941	-99485	-95057	-90601	-86154	-86777	-79352	-71971	-64545	-57133
45	2	-216460	-206436	-196472	-186447	-176440	-177844	-161136	-144529	-127821	-111143
50	1	-126444	-120875	-115340	-109770	-104211	-104991	-95709	-86483	-77201	-67935
50	2	-238964	-227826	-216755	-205616	-194497	-196057	-177493	-159041	-140476	-121945
60	1	-148948	-142265	-135623	-128940	-122268	-123204	-112066	-100994	-89856	-78737
80	1	-193956	-185046	-176189	-167278	-158383	-159630	-144779	-130017	-115166	-100341
100	1	-238964	-227826	-216755	-205616	-194497	-196057	-177493	-159041	-140476	-121945

		Zarada za instalaciju sa izvorima snage 400W za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=5 %					Zarada za instalaciju sa izvorima snage 400W za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=5 %				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-23440	-21054	-18678	-16292	-13909	-14297	-10320	-6359	-2383	1588
20	2	-39675	-34903	-30150	-25378	-20613	-21389	-13434	-5513	2439	10382
30	1	-31558	-27978	-24414	-20835	-17261	-17843	-11877	-5936	28	5985
35	2	-64028	-55675	-47358	-39008	-30669	-32027	-18106	-4244	9673	23572
40	1	-39675	-34903	-30150	-25378	-20613	-21389	-13434	-5513	2439	10382
45	2	-80263	-69524	-58831	-48095	-37373	-39119	-21221	-3398	14495	32365
50	1	-47793	-41827	-35886	-29921	-23965	-24935	-14992	-5090	4851	14778
50	2	-88381	-76448	-64567	-52638	-40725	-42665	-22778	-2975	16906	36762
60	1	-55911	-48751	-41622	-34465	-27317	-28481	-16549	-4667	7262	19175
80	1	-72146	-62600	-53095	-43551	-34021	-35573	-19663	-3821	12084	27968
100	1	-88381	-76448	-64567	-52638	-40725	-42665	-22778	-2975	16906	36762

		Zarada za instalaciju sa izvorima snage 400W za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %					Zarada za instalaciju sa izvorima snage 400W za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-51118	-47540	-43978	-40400	-36828	-37327	-31364	-25426	-19464	-13510
20	2	-88312	-81156	-74031	-66876	-59732	-60730	-48803	-36928	-25003	-13096
30	1	-69715	-64348	-59004	-53638	-48280	-49029	-40083	-31177	-22234	-13303
35	2	-144103	-131579	-119110	-106590	-94087	-95834	-74962	-54180	-33312	-12474
40	1	-88312	-81156	-74031	-66876	-59732	-60730	-48803	-36928	-25003	-13096
45	2	-181297	-165195	-149163	-133065	-116990	-119237	-92401	-65681	-38852	-12060
50	1	-106909	-97964	-89057	-80114	-71183	-72432	-57523	-42678	-27773	-12889
50	2	-199893	-182003	-164190	-146303	-128442	-130938	-101120	-71432	-41621	-11853
60	1	-125506	-114771	-104084	-93352	-82635	-84133	-66242	-48429	-30543	-12682
80	1	-162700	-148387	-134137	-119827	-105539	-107536	-83681	-59931	-36082	-12267
100	1	-199893	-182003	-164190	-146303	-128442	-130938	-101120	-71432	-41621	-11853

Iz prethodnih tabela može da se zaključi da ne postoje pozitivni finansijski efekti koji bi se ostvarili primenom Starsense sistema, ako se proračun vrši sa trenutno važećom cenom električne energije u našoj zemlji. Isplativa investicija ovog tipa moguća je jedino sa evropskom cenom električne energije, i to za analizirane izvore svetlosti najveće snage (400 W), koji se sve ređe koriste u uličnom osvetljenju. Takođe, godišnja stopa aktuelizacije treba da je minimalna (5%). Naime, već od 30 svetiljki po segmentnom kontroleru (sa izvorima snage 400 W), za stopu aktuelizacije od 5% i uz najveće smanjenje sjajnosti u kasnim noćnim satima (60%-70%), javljaju se pozitivni ekonomski efekti primene Starsense sistema za oba analizirana perioda eksploatacije (24 god. i 28 god.).

Treba napomenuti da su cene elektronskog kontrolera (287 EUR) i elektronskog balasta (98 EUR) još uvek prilično visoke, naročito za naše uslove. Prethodno izloženi pozitivni ekonomski efekti primene sistema Starsense u uličnom osvetljenju postaće još izraženiji kada dođe do najavljenog smanjenja cene kako elektronskog kontrolera, tako i elektronskog balasta. Pomenute elektronske naprave su se tek nedavno pojavile u komercijalnoj izvedbi, što predstavlja glavni razlog njihove visoke cene.

Na kraju je izvršena još jedna analiza. Učinjen je pokušaj da se za cenu utrošenog kWh od 0.06 EUR (evropska cena) izračuna maksimalna cena elektronskog kontrolera (veća od 50 EUR) pri kojoj je upotreba sistema Starsense ekonomski opravdana. Proračun je rađen za instalacije uličnog osvetljenja sa izvorima snage 250 W i 400 W, pri godišnjim stopama aktuelizacije 5% i 7.5% i za periode eksploatacije 24 god. i 28 god. Takođe, razmatrani su samo slučajevi sa najvećim smanjenjem sjajnosti u kasnim noćnim satima ($X=50\%$, 60% i 70%). Kao kriterijum ekonomske opravdanosti usvojeno je da instalacija, uz redukovanu cenu elektronskog kontrolera, ostvaruje zaradu (Z) veću od – 2000 EUR.

Rezultati proračuna su dati u narednim tabelama. U onim slučajevima u kojima je za cenu elektronskog kontrolera proračunom dobijena vrednost manja od minimalne usvojene (50 EUR) na odgovarajućim mestima u tabeli nalazi se crtica.

Iz priloženih tabela može da se zaključi da bi za instalacije uličnog osvetljenja sa bar 50 svetiljki, izvedene sa NaVP izvorima snage 400 W, nezavisno od perioda eksploatacije i stope aktuelizacije (5% ili 7.5%), cena elektronskog kontrolera od 165 EUR bila ekonomski opravdana i pri smanjenju sjajnosti od $X=50\%$. Pri istim ograničenjima, za instalacije uličnog osvetljenja izvedene sa izvorima snage 250 W ekonomski opravdana cena elektronskog kontrolera iznosi 56 EUR.

		Maksimalna cena elektronskog kontrolera za instalacije sa izvorima snage 250 W i periodom eksploatacije T=24 god., pri kojoj je upotreba Starsense sistema ekonomski opravdana					
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Godišnja stopa aktuelizacije p=5 %			Godišnja stopa aktuelizacije p=7.5 %		
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)			Procenat smanjenja sjajnosti X (%)		
		50	60	70	50	60	70
20	1	70	99	128	/	/	57
20	2	100	130	159	/	71	95
30	1	90	120	149	/	59	82
35	2	113	143	172	64	87	110
40	1	100	130	159	/	71	95
45	2	117	147	176	69	92	115
50	1	107	136	165	56	79	102
50	2	119	148	177	70	94	117
60	1	111	140	169	60	84	107
80	1	116	145	174	67	90	113
100	1	119	148	177	70	94	117

		Maksimalna cena elektronskog kontrolera za instalacije sa izvorima snage 400 W i periodom eksploatacije T=24 god., pri kojoj je upotreba Starsense sistema ekonomski opravdana					
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Godišnja stopa aktuelizacije p=5 %			Godišnja stopa aktuelizacije p=7.5 %		
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)			Procenat smanjenja sjajnosti X (%)		
		50	60	70	50	60	70
20	1	207	254	287	121	158	195
20	2	238	285	287	158	195	232
30	1	228	275	287	145	183	220
35	2	251	287	287	174	211	248
40	1	238	285	287	158	195	232
45	2	255	287	287	178	216	253
50	1	244	287	287	165	203	240
50	2	256	287	287	180	217	255
60	1	248	287	287	170	208	245
80	1	253	287	287	176	214	251
100	1	256	287	287	180	217	255

		Maksimalna cena elektronskog kontrolera za instalacije sa izvorima snage 250 W i periodom eksploatacije T=28 god., pri kojoj je upotreba Starsense sistema ekonomski opravdana					
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Godišnja stopa aktuelizacije p=5 %			Godišnja stopa aktuelizacije p=7.5 %		
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)			Procenat smanjenja sjajnosti X (%)		
		50	60	70	50	60	70
20	1	83	114	146	/	/	65
20	2	116	147	179	56	80	105
30	1	105	136	168	/	67	91
35	2	130	162	193	72	97	121
40	1	116	147	179	56	80	105
45	2	134	166	197	77	102	126
50	1	122	154	185	63	88	112
50	2	136	167	199	79	104	128
60	1	127	158	190	69	93	118
80	1	132	164	195	75	100	124
100	1	136	167	199	79	104	128

		Maksimalna cena elektronskog kontrolera za instalacije sa izvorima snage 400 W i periodom eksploatacije T=28 god., pri kojoj je upotreba Starsense sistema ekonomski opravdana					
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Godišnja stopa aktuelizacije p=5 %			Godišnja stopa aktuelizacije p=7.5 %		
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)			Procenat smanjenja sjajnosti X (%)		
		50	60	70	50	60	70
20	1	231	282	287	132	171	211
20	2	264	287	287	171	211	250
30	1	253	287	287	158	197	237
35	2	278	287	287	188	227	267
40	1	264	287	287	171	211	250
45	2	283	287	287	193	232	272
50	1	271	287	287	179	218	258
50	2	284	287	287	195	234	273
60	1	275	287	287	184	224	263
80	1	281	287	287	191	230	270
100	1	284	287	287	195	234	273

Naglasimo još jednom da sprovedena ekonomska analiza nije uzela u obzir pozitivne efekte monitoringa, kao i one koji se ostvaruju u procesu održavanja instalacije uličnog osvetljenja. Istraživanja stručnjaka Philips Lighting-a su pokazala da primena Starsense sistema u uličnom osvetljenju u procesu održavanja može da obezbedi uštede od preko 30%.

4.8. Analiza ekonomske opravdanosti upotrebe Datmo MSB sistema za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa

U tabeli 58 date su cene (bez poreza) Dat-mo Lux opreme koja je neophodna za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa instalacije uličnog osvetljenja. Značajnu komponentu ovog sistema, koji se primenjuje samo za NaVP izvore svetlosti snage 150 W, predstavlja i elektronski balast tipa HID-DV 1-10V 150W SON/CDO, koji proizvodi Philips Lighting. Prema tabeli 54, njegova cena je 98 EUR.

Tabela 58. Cene najznačajnijih komponenti Datmo MSB sistema

Komponenta	Oznaka	Cena (EUR)
Elektronski čip	MSB-C	100
Kontrolna jedinica	MSB-K	750

Cena rada na ugradnji nove opreme po svetiljci iznosi 25 EUR, dok je cena rada na ugradnji nove opreme po kontrolnoj jedinici (MSB-K koncentratoru) 100 EUR.

Potrebno je napomenuti da sastavni deo opreme Dat-mo Lux sistema za kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa čine programski paket i upravljačka jedinica (računar). Ove komponente su dovoljne za kontrolu velikog broja svetiljki, tako da su njihove cene zanemarene u priloženoj ekonomskoj analizi.

U tabeli 59 prikazani su investicioni troškovi, I (takođe bez poreza) nabavke i ugradnje neophodne opreme.

Tabela 59. Troškovi nabavke i ugradnje neophodne opreme

Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Investicioni troškovi I (EUR)
20	1	5310.00
20	2	9770.00
30	1	7540.00
35	2	16460.00
40	1	9770.00
45	2	20920.00
50	1	12000.00
50	2	23150.00
60	1	14230.00
80	1	18690.00
100	1	23150.00

Na osnovu ovih podataka mogu da se odrede finansijski efekti uštede električne energije u toku četvorogodišnjeg perioda održavanja posmatranih instalacija uličnog osvetljenja. Uštede su i u ovoj analizi računane sa cenama kWh od 0.036 i 0.06 EUR.

		Cene uštede el. energije u I godini (EUR)					Cene uštede el. energije u I godini (EUR)				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	106.19	119.79	133.28	146.88	160.47	176.99	199.64	222.14	244.80	267.45
20	2	212.39	239.57	266.57	293.76	320.94	353.98	399.28	444.28	489.60	534.90
30	1	159.29	179.68	199.93	220.32	240.71	265.48	299.46	333.21	367.20	401.18
35	2	371.68	419.25	466.50	514.08	561.65	619.46	698.75	777.49	856.80	936.08
40	1	212.39	239.57	266.57	293.76	320.94	353.98	399.28	444.28	489.60	534.90
45	2	477.87	539.03	599.78	660.96	722.12	796.45	898.39	999.63	1101.59	1203.53
50	1	265.48	299.46	333.21	367.20	401.18	442.47	499.10	555.35	612.00	668.63
50	2	530.97	598.93	666.42	734.40	802.36	884.94	998.21	1110.71	1223.99	1337.26
60	1	318.58	359.36	399.85	440.64	481.41	530.97	598.93	666.42	734.40	802.36
80	1	424.77	479.14	533.14	587.52	641.88	707.96	798.57	888.56	979.20	1069.81
100	1	530.97	598.93	666.42	734.40	802.36	884.94	998.21	1110.71	1223.99	1337.26

		Cene uštede el. energije u II godini (EUR)					Cene uštede el. energije u II godini (EUR)				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	86.38	100.93	115.38	130.08	144.54	143.96	168.22	192.31	216.80	240.90
20	2	172.76	201.86	230.77	260.16	289.08	287.93	336.43	384.61	433.60	481.80
30	1	129.57	151.39	173.08	195.12	216.81	215.95	252.32	288.46	325.20	361.35
35	2	302.33	353.25	403.85	455.29	505.89	503.88	588.75	673.08	758.81	843.15
40	1	172.76	201.86	230.77	260.16	289.08	287.93	336.43	384.61	433.60	481.80
45	2	388.70	454.18	519.23	585.37	650.43	647.84	756.97	865.38	975.61	1084.05
50	1	215.95	252.32	288.46	325.20	361.35	359.91	420.54	480.77	542.01	602.25
50	2	431.89	504.65	576.92	650.41	722.70	719.82	841.08	961.54	1084.01	1204.50
60	1	259.14	302.79	346.15	390.24	433.62	431.89	504.65	576.92	650.41	722.70
80	1	345.51	403.72	461.54	520.33	578.16	575.86	672.86	769.23	867.21	963.60
100	1	431.89	504.65	576.92	650.41	722.70	719.82	841.08	961.54	1084.01	1204.50

		Cene uštede el. energije u III godini (EUR)					Cene uštede el. energije u III godini (EUR)				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	76.67	91.73	106.70	121.70	136.76	127.79	152.88	177.83	202.83	227.93
20	2	153.35	183.46	213.40	243.40	273.51	255.58	305.77	355.67	405.67	455.86
30	1	115.01	137.60	160.05	182.55	205.14	191.68	229.33	266.75	304.25	341.89
35	2	268.36	321.06	373.45	425.95	478.65	447.26	535.10	622.42	709.92	797.75
40	1	153.35	183.46	213.40	243.40	273.51	255.58	305.77	355.67	405.67	455.86
45	2	345.03	412.79	480.15	547.65	615.41	575.05	687.98	800.25	912.75	1025.68
50	1	191.68	229.33	266.75	304.25	341.89	319.47	382.21	444.59	507.08	569.82
50	2	383.37	458.65	533.50	608.50	683.79	638.94	764.42	889.17	1014.16	1139.65
60	1	230.02	275.19	320.10	365.10	410.27	383.37	458.65	533.50	608.50	683.79
80	1	306.69	366.92	426.80	486.80	547.03	511.15	611.54	711.34	811.33	911.72
100	1	383.37	458.65	533.50	608.50	683.79	638.94	764.42	889.17	1014.16	1139.65

		Cene uštede el. energije u IV godini (EUR)					Cene uštede el. energije u IV godini (EUR)				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	64.74	80.46	96.06	111.57	127.23	107.91	134.11	160.10	185.95	212.06
20	2	129.49	160.93	192.12	223.15	254.47	215.82	268.21	320.21	371.91	424.11
30	1	97.12	120.70	144.09	167.36	190.85	161.86	201.16	240.16	278.93	318.08
35	2	226.61	281.62	336.22	390.51	445.32	377.68	469.37	560.36	650.84	742.19
40	1	129.49	160.93	192.12	223.15	254.47	215.82	268.21	320.21	371.91	424.11
45	2	291.35	362.09	432.28	502.08	572.55	485.59	603.48	720.47	836.80	954.25
50	1	161.86	201.16	240.16	278.93	318.08	269.77	335.27	400.26	464.89	530.14
50	2	323.72	402.32	480.31	557.86	636.17	539.54	670.53	800.52	929.77	1060.28
60	1	194.23	241.39	288.19	334.72	381.70	323.72	402.32	480.31	557.86	636.17
80	1	258.98	321.85	384.25	446.29	508.93	431.63	536.42	640.42	743.82	848.22
100	1	323.72	402.32	480.31	557.86	636.17	539.54	670.53	800.52	929.77	1060.28

Na osnovu izračunatih ušteda, moguće je izračunati zarade koje instalacije uličnog osvetljenja ostvaruju za različite periode eksploatacije i različite godišnje stope aktuelizacije. Analiza je izvršena za periode eksploatacije (T) od 24 i 28 god., kao i za stope aktuelizacije (p) od 5% i 7.5%.

		Zarada za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=5 %					Zarada za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=5 %				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-13373	-12719	-12070	-11418	-10766	-10872	-9782	-8700	-7612	-6526
20	2	-24005	-22697	-21399	-20094	-18790	-19002	-16823	-14659	-12484	-10310
30	1	-18689	-17708	-16735	-15756	-14778	-14937	-13303	-11679	-10048	-8418
35	2	-39952	-37665	-35392	-33108	-30826	-31197	-27384	-23597	-19790	-15987
40	1	-24005	-22697	-21399	-20094	-18790	-19002	-16823	-14659	-12484	-10310
45	2	-50584	-47643	-44721	-41784	-38851	-39327	-34425	-29556	-24661	-19772
50	1	-29321	-27686	-26063	-24432	-22802	-23067	-20343	-17638	-14919	-12203
50	2	-55900	-52632	-49385	-46123	-42863	-43392	-37945	-32535	-27097	-21664
60	1	-34636	-32675	-30728	-28770	-26814	-27132	-23864	-20617	-17355	-14095
80	1	-45268	-42654	-40057	-37446	-34838	-35262	-30904	-26576	-22226	-17879
100	1	-55900	-52632	-49385	-46123	-42863	-43392	-37945	-32535	-27097	-21664

		Zarada za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %					Zarada za period eksploatacije T=24 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-24845	-23931	-23023	-22111	-21199	-21326	-19803	-18290	-16769	-15250
20	2	-44868	-43040	-41225	-39400	-37577	-37831	-34784	-31759	-28717	-25679
30	1	-34856	-33486	-32124	-30755	-29388	-29578	-27294	-25024	-22743	-20464
35	2	-74902	-71704	-68527	-65333	-62143	-62587	-57256	-51961	-46638	-41321
40	1	-44868	-43040	-41225	-39400	-37577	-37831	-34784	-31759	-28717	-25679
45	2	-94925	-90813	-86728	-82622	-78520	-79091	-72237	-65430	-58586	-51749
50	1	-54879	-52595	-50325	-48044	-45765	-46083	-42275	-38493	-34691	-30893
50	2	-104937	-100368	-95829	-91267	-86709	-87344	-79728	-72164	-64560	-56963
60	1	-64891	-62149	-59426	-56689	-53954	-54335	-49766	-45227	-40665	-36107
80	1	-84914	-81259	-77628	-73978	-70332	-70839	-64747	-58695	-52612	-46535
100	1	-104937	-100368	-95829	-91267	-86709	-87344	-79728	-72164	-64560	-56963

		Zarada za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=5 %					Zarada za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=5 %				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-15892	-15034	-14182	-13325	-12470	-12609	-11179	-9759	-8332	-6906
20	2	-28451	-26735	-25031	-23319	-21607	-21885	-19026	-16186	-13331	-10479
30	1	-22171	-20885	-19607	-18322	-17039	-17247	-15102	-12972	-10831	-8692
35	2	-47290	-44288	-41306	-38308	-35314	-35800	-30796	-25826	-20831	-15839
40	1	-28451	-26735	-25031	-23319	-21607	-21885	-19026	-16186	-13331	-10479
45	2	-59850	-55990	-52155	-48302	-44451	-45077	-38643	-32253	-25830	-19413
50	1	-34731	-32586	-30456	-28315	-26176	-26524	-22949	-19399	-15831	-12266
50	2	-66129	-61840	-57580	-53298	-49020	-49715	-42567	-35466	-28330	-21200
60	1	-41010	-38437	-35881	-33312	-30745	-31162	-26873	-22613	-18331	-14053
80	1	-53570	-50139	-46731	-43305	-39883	-40438	-34720	-29039	-23330	-17626
100	1	-66129	-61840	-57580	-53298	-49020	-49715	-42567	-35466	-28330	-21200

		Zarada za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %					Zarada za period eksploatacije T=28 god. i stopu aktuelizacije p=7.5 %				
Broj stubova (N)	Broj svetiljki po stubu (n)	Jedinična cena 0.036 EUR/kWh					Jedinična cena 0.06 EUR/kWh				
		Procenat smanjenja sjajnosti X (%)					Procenat smanjenja sjajnosti X (%)				
		30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
20	1	-31415	-29925	-28448	-26961	-25476	-25540	-23057	-20594	-18116	-15641
20	2	-56391	-53411	-50456	-47482	-44512	-44641	-39674	-34748	-29793	-24842
30	1	-43903	-41668	-39452	-37222	-34994	-35090	-31365	-27671	-23954	-20241
35	2	-93855	-88640	-83468	-78264	-73066	-73292	-64600	-55980	-47307	-38643
40	1	-56391	-53411	-50456	-47482	-44512	-44641	-39674	-34748	-29793	-24842
45	2	-118831	-112126	-105476	-98786	-92102	-92392	-81217	-70134	-58984	-47844
50	1	-68879	-65154	-61460	-57743	-54030	-54191	-47983	-41825	-35631	-29442
50	2	-131319	-123869	-116480	-109046	-101620	-101942	-89526	-77211	-64822	-52444
60	1	-81367	-76897	-72464	-68004	-63548	-63741	-56291	-48902	-41469	-34043
80	1	-106343	-100383	-94472	-88525	-82584	-82842	-72909	-63057	-53145	-43243
100	1	-131319	-123869	-116480	-109046	-101620	-101942	-89526	-77211	-64822	-52444

Analizom priloženih tabela može da se zaključi da i relativno niska cena elektronskog čipa, s obzirom na snagu izvora svetlosti od 150 W i visoku cenu elektronskog balasta, ne obezbeđuje finansijsku opravdanost ovakve investicije.

4.9. Zaključak i predlog

Na osnovu sprovedene tehno-ekonomske analize, mogu da se izvedu sledeći zaključci:

1. Ukoliko se u kasnim noćnim i ranim jutarnjim satima svetlotehnička klasa saobraćajnice smanjuje za 2 stepena (kada ME1, ME2 i ME3 klase redom postaju ME3, ME4 i ME5 klase – videti poglavlje 7 ove studije), odnosno ukoliko neophodan nivo sjajnosti kolovoza tada opadne na 50% projektovane vrednosti, ekonomski je najprihvatljivija primena dvostepenih balasta. Komandovanje može da se vrši pomoću kontrolnog kabla (jeftinija varijanta), odnosno pomoću „inteligentnog“ elektronskog uređaja – CHRONOSENSE kontrolera (skuplja varijanta, neophodna u slučaju nepostojanja, odnosno nemogućnosti (neisplativosti) izvođenja kontrolnog kabla).
2. Ne preporučuje se centralna regulacija svetlosnog fluksa, bilo u diskretnoj, bilo u kontinualnoj varijanti, zbog nadostataka i ograničenih mogućnosti primene uređaja na kojima je ona zasnovana (videti tačku 4.2).
3. Ako je dozvoljeno smanjenje nivoa sjajnosti u kasnim noćnim satima manje od 50% projektovane vrednosti, preporučuje se primena pojedinačne kontinualne regulacije svetlosnog fluksa i monitoringa u javnom osvetljenju, uz napomenu da treba sačekati očekivani pad cena pojedinih komponenti sistema, a pre svega onih koje se ugrađuju u svaku svetiljku, odnosno stub.

Predlaže se da se u međuvremenu realizuju sledeće aktivnosti:

1. Da se raspiše javni poziv za izbor sistema za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa i monitoring u javnom osvetljenju, koji treba da ispuni sledeće uslove:
 - a) Sistemom se upravlja iz centra, a moguće su i digitalne komande koje obezbeđuju uključanje, odnosno rad sa 100% svetlosnog fluksa, u slučajevima kao što je drastično smanjenje vidljivosti u dnevnim uslovima, značajno povećanje gustine saobraćaja i tome slično.

- b) Komunikacija između upravljačkog centra i razvodnih ormara u kojima je smeštena oprema za komandovanje i regulaciju obavlja se bežično (pomoću sistema GSM ili GPRS, odnosno njima sličnih sistema).
- c) Komunikacija između razvodnog ormara i svetiljki koje su priključene na strujna kola tog razvodnog ormara vrši se pomoću postojeće kablovske elektroenergetske mreže javnog osvetljenja.
- d) Sistem može da se koristi za Na izvore visokog pritiska snage 150 i 250 W.
- e) Iz centra se komunicira sa svakom svetiljkom posebno (u smislu izdavanja komandi za uključenje, isključenje i redukciju svetlosnog fluksa, kao i u smislu monitoringa njenog rada).
- f) Za svaku svetiljku se sve vreme rada mere napon, struja i faktor snage i izračunavaju utrošena aktivna i reaktivna električna energija.
- g) Na razvodni ormar može da se priključi najmanje 100 svetiljki.
- h) Regulacija svetlosnog fluksa je kontinualna (najveća redukcija iznosi 70% nominalnog fluksa izvora svetlosti).
- i) Povećanje redukovano svetlosnog fluksa na maksimalnu vrednost može da se realizuje unutar 5 s.
- j) Oprema koja se instalira u svetiljku ili stub mora da bude dimenzija koje će omogućiti takvu instalaciju.
- k) Oprema koja se smešta u razvodni ormar mora da stane u prostor čija je prednja površina dimenzija 800 mm x 200 mm.

Ponuđač treba da dostavi relevantne sertifikate svih komponenti sistema i da omogući proveru pojedinih funkcija sistema.

2. Da Uprava Grada Beograda oformi nezavisnu stručnu grupu koja će proučiti sve prispele ponude i za svaki od ponuđenih sistema proveriti relevantne međunarodne sertifikate svih njegovih elemenata. Stručna grupa treba da izvrši i neophodna merenja i testove koji treba da potvrde ispunjenost svih zahteva specificiranih u tački 1 (a-k). Neispunjavanje bilo kog od ovih zahteva bilo bi eliminatorno.

Bodovanje sistema koji ispunjavaju sve zahteve navedene u tački 1 treba da uzme u obzir cenu (čije učešće u ukupnom broju bodova ne treba da je manje od 70%), zavisnost redukovane snage od redukovano svetlosnog fluksa, reference ponuđača iz ove oblasti, rokove i uslove plaćanja.

Napomena: S obzirom na sve veći broj kompanija koje nude sisteme za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa i monitoring u javnom osvetljenju, javni poziv iz tačke 1 obezbedio bi dobijanje pravih informacija ne samo o tehničkim performansama pojedinih sistema, nego i o njihovim realnim cenama.

3. Da se raspiše javni poziv za izbor novog merno-razvodno-komandnog ormana javnog osvetljenja za svaku od dve predložene varijante regulacije svetlosnog fluksa (pomoću dvostepenih balasta i sistema za pojedinačnu kontinualnu regulaciju). Detaljne informacije o ovakvom ormanu, koji je za trofazni sistem i obezbeđuje merenje utrošene električne energije, date su u poglavlju 5 ove studije, u kome su obrazložene i dimenzije iz tačke 1k.

Prilog

Kalendar uključenja i isključenja uličnog osvetljenja u Beogradu

Mesec	Datum		Uključenje u sati	Isključenje u sati	Broj dana	Vreme gorenja sijalice (h)		Mesečno časova gorenja	Vreme za obračun /60 (h)
	od	do				dnevno	10dnevno		
Januar	1.	10.	16.15	7.00	10	14.45	147.30	444.15	444.25
	11.	21.	16.30	6.45	11	14.15	156.45		
	22.	31.	16.45	6.45	10	14.00	140.00		
Februar	1.	10.	17.00	6.30	10	13.30	135.00	365.30	365.50
	11.	21.	17.15	6.15	11	13.00	143.00		
	22.	28.	17.30	6.00	7	12.30	87.30		
Mart	1.	10.	17.45	5.45	10	12.00	120.00	356.30	356.50
	11.	21.	18.00	5.30	11	11.30	126.30		
	22.	31.	18.15	5.15	10	11.00	110.00		
April	1.	10.	19.15	6.00	10	10.45	107.3	303.00	303.00
	11.	21.	19.30	5.30	11	10.00	110.00		
	22.	30.	19.45	5.15	9	9.30	85.30		
Maj	1.	10.	20.00	5.00	10	9.00	90.00	263.30	263.50
	11.	21.	20.15	4.45	11	8.30	93.30		
	22.	31.	20.30	4.30	10	8.00	80.00		
Jun	1.	10.	20.45	4.15	10	7.30	75.00	215.00	215.00
	11.	21.	21.00	4.00	11	7.00	77.00		
	22.	30.	21.00	4.00	9	7.00	63.00		
Jul	1.	10.	21.00	4.15	10	7.15	72.30	240.15	240.25
	11.	21.	20.45	4.30	11	7.45	85.15		
	22.	31.	20.30	4.45	10	8.15	82.30		
Avgust	1.	10.	20.15	4.45	10	8.30	85.00	279.00	279.00
	11.	21.	20.00	5.00	11	9.00	99.00		
	22.	31.	19.45	5.15	10	9.30	95.00		
Septembar	1.	10.	19.30	5.30	10	10.00	100.00	319.30	319.50
	11.	21.	19.00	5.45	11	10.45	118.15		
	22.	30.	18.45	6.00	9	11.15	101.15		
Oktobar	1.	10.	17.30	5.15	10	11.45	117.30	385.00	385.00
	11.	21.	17.00	5.30	11	12.30	137.30		
	22.	31.	16.45	5.45	10	13.00	130.00		
Novembar	1.	10.	16.30	6.00	10	13.30	135.00	414.30	414.50
	11.	21.	16.30	6.15	11	13.45	151.15		
	22.	30.	16.15	6.30	9	14.15	128.15		
Decembar	1.	10.	16.15	6.45	10	14.30	145.00	460.00	460.00
	11.	21.	16.00	7.00	11	15.00	165.00		
	22.	31.	16.00	7.00	10	15.00	150.00		

5. Predlog novog razvodnog ormana, merenje utrošene električne energije i regulacija svetlosnog fluksa u javnom osvetljenju

5.1. Značaj javnog osvetljenja

Javno osvetljenje je od opšteg društvenog značaja. Zadaci koje javno osvetljenje treba da ispuni su raznovrsni, pri čemu je njegov primarni zadatak da svim učesnicima u saobraćaju obezbedi dobre vidne uslove, osećaj bezbednosti i zadovoljavajući vidni komfor.

5.2. Javno osvetljenje kao potrošač električne energije

1. Izvori svetlosti koji se koriste u javnom osvetljenju predstavljaju prijemnike induktivnog tipa, pa se mora vršiti popravka faktora snage. U dosadašnjoj praksi, faktor snage javnog osvetljenja, uz izvršenu kompenzaciju reaktivne snage, iznosio je oko 0.85. Pošto aktivna snaga javnog osvetljenja po pravilu iznosi ispod 1% snage sa kojom distributivna preduzeća isporučuju električnu energiju svojim potrošačima, nisu ustanovljeni stroži kriterijumi koji se tiču minimalne dozvoljene vrednosti faktora snage u javnom osvetljenju. Ako se ovome doda i činjenica da distributivna preduzeća ne naplaćuju isporučenu reaktivnu energiju javnom osvetljenju, može da se zaključi da ni gradske (opštinske) uprave nisu imale jake razloge da od proizvođača svetiljki zahtevaju da faktor snage u javnom osvetljenju bude značajno veći (najmanje 0.95). Faktor snage blizak jedinici može da se postigne ili ugradnjom adekvatnih kondenzatora koji se priključuju paralelno na mrežni napon (kompenzovani spoj), ili primenom elektronskih predspojnih uređaja. Iako poseduju brojne prednosti u odnosu na konvencionalne (elektromagnetne) balaste, elektronski predspojni uređaji, zbog veoma visoke cene (60-100€), retko se primenjuju u javnom osvetljenju.
2. Napajanje i komandovanje javnim osvetljenjem uglavnom se vrši iz slobodnostojećih razvodnih ormana.
3. Za obračun utrošene električne energije koriste se važeći tarifni stavovi za "Javno osvetljenje".

5.3. Pregled postojećeg stanja napojno–komandnih mesta u Beogradu

Napajanje javnog osvetljenja vrši se na jedan od sledećih načina:

1. Preko napojno–komandnog mesta u sklopu niskonaponskog razvoda MBTS.
Broj ovakvih napojno–komandnih mesta u Beogradu iznosi 175.
2. Preko limenog slobodnostojećeg napojno–komandnog ormana tipa ROR–6, koji sadrži opremu za napajanje i upravljanje. Veliki procenat ovakvih ormana je dotrajavao i korodirao.
Broj ovakvih napojno–komandnih mesta u Beogradu iznosi 472.
3. Preko poliesterskog slobodnostojećeg napojno–komandnog ormana tipa ROR–6P. Značajan procenat ovakvih ormana je u dobrom stanju.
Broj ovakvih napojno–komandnih mesta u Beogradu iznosi 285.
4. Preko limenog napojno–komandnog ormana tipa ROR–3. Ovakvi ormani su ili slobodnostojeći, ili se postavljaju na zid MBTS.
Broj ovakvih napojno–komandnih mesta u Beogradu iznosi 152.
5. Preko poliesterskog slobodnostojećeg napojno–komandnog ormana tipa ROR–3P.
Broj ovakvih napojno–komandnih mesta u Beogradu iznosi 305.
6. Preko napojno–komandne grupe u sklopu niskonaponskog razvoda stubne transformatorske stanice.
Broj ovakvih napojno–komandnih mesta u Beogradu iznosi 187.
7. Preko improvizovanog napojno–komandnog mesta koje se nalazi neposredno uz transformatorsku stanicu. Ovakvom rešenju se pribegava u slučajevima u kojima nema dovoljno prostora za postavljanje napojno–komandnog ormana. Primer ovakvog napojno–komandnog mesta prikazan je na slici 5.
Broj ovakvih napojno–komandnih mesta u Beogradu iznosi 150.

5.4. Postojeći način obračuna utrošene električne energije Beogradu

Merenje utrošene električne energije u javnom osvetljenju u Beogradu bilo je uvedeno 1968. god. i trajalo je do 1970. god., kada je ukinuto. U ovom periodu računi za utrošenu električnu energiju javnog osvetljenja zasnivali su se na rezultatima merenja. U okviru objašnjenja za ukidanje ovih merenja navedeni su sledeći razlozi:

1. Veliki troškovi održavanja i očitavanja mernih grupa. Posle svakih šest godina potrebno je da se izvrši baždarenje električnih brojila i da se provere karakteristike strujnih transformatora.
2. Poređenjem potrošnje dobijene merenjem i procenom ustanovljeno je da se greška kreće oko 1%.

Imajući ovo u vidu, merne grupe su demontirane i sav dalji razvoj u smislu postavljanja novih i izmeštanja starih napojno–komandnih mesta bio je u skladu sa ovom odlukom. Posledica ovoga je i činjenica da u razvodnim ormanima javnog osvetljenja ne postoji prostor za smeštaj merne grupe.

Sadašnji način obračuna utrošene električne energije u javnom osvetljenju primenjuje se od 1970. god. i u skladu je sa važećim “Nacrtom odluke o javnom osvetljenju” Gradskog komiteta za stambene i komunalne poslove. Uključivanje i isključivanje javnog osvetljenja vrši se u terminima koji su određeni Nacrtom, a cena utrošene električne energije određuje se prema instalisanoj snazi (u koju, osim snage izvora svetlosti, ulazi i snaga predspojnih sprava), vremenu gorenja i ceni 1kWh električne energije. Ovako izračunata suma umanjuje se za 4% na ime razlike između instalisane snage i pretpostavljenog korišćenja kapaciteta.

5.5. Analiza grešaka kod obračuna utrošene električne energije zasnovanog na pretpostavljenom korišćenju kapaciteta

Greške pri ovakvom obračunu utrošene električne energije mogu da se podele na one koje idu na štetu Grada (opštine), kao potrošača, i one koje idu na štetu elektrodistributivnog preduzeća, kao isporučioca električne energije.

Greške na štetu Grada (opštine), kao potrošača:

1. Poremećaji vremena paljenja i gašenja javnog osvetljenja, pri kojima može da dođe do kasnijeg uključanja, a ranijeg isključenja. Razlozi za ovakve poremećaje mogu da budu nepreciznost ili loša lokacija FOREL-a.
2. Kvarovi na pojedinim električnim komponentama u ormanima za napajanje i komandovanje, kada pojedini reoni ostaju bez javnog osvetljenja.
3. Kvarovi na vodovima ili svetiljkama, kada grupa ili pojedine svetiljke nisu uključene.
4. Kvarovi na elektroenergetskim objektima visokog i srednjeg napona. Ovo su kvarovi u transformatorskim stanicama ili na mreži na koju su one priključene.

5. Kvarovi na FOREL-u ili MTK uređaju.
6. Neažurnost u otklanjanju kvarova u sistemu javnog osvetljenja.
7. Restrikcije.
8. Neažurna evidencija prilikom rekonstrukcije javnog osvetljenja ili zamene tipa sijalice.

U svim nabrojanim slučajevima dolazi do neisporučene, a naplaćene električne energije.

Greške na štetu elektrodistributivnog preduzeća:

1. Greške na uređajima za komandovanje, zbog kojih se javno osvetljenje uključuje ranije, a isključuje kasnije nego što je to predviđeno usvojenim kalendarom.
2. Vremenski uslovi ranijeg mraka zimi i leti, kada FOREL-i ranije uključuju javno osvetljenje. Kod komandovanja pomoću MTK uređaja nema ovakvih grešaka.
3. Greške uključenja javnog osvetljenja u dnevnim satima.
4. Zemljospoj u instalaciji javnog osvetljenja sa vrednošću struje koja ne isključuje napajanje, zbog velikih nominalnih struja osigurača u strujnim kolima javnog osvetljenja.

U svim ovim slučajevima dolazi do isporučene, a nenaplaćene električne energije.

Kako nema preciznih podataka o učestanosti kvarova, najčešćim kvarovima, kao i o broju neispravnih izvora svetlosti, teško je proceniti da li procenat od 4% za koji se umanjuje instalisana električna snaga odgovara Gradu (opštini) ili elektrodistributivnom preduzeću. Pretpostavka za iole korektan obračun na bazi procene bila bi precizna baza podataka, sa redovnim ažuriranjem za svaku svetiljku u sistemu javnog osvetljenja, što sada nije slučaj.

Kako se u EDB i potrošačima malih snaga (reda 1–2kW i manje) uslovljavaju brojila (semaforski uređaji, bilbordi), u sadašnjem sistemu obračuna javnog osvetljenja izostaje “čist račun”, što upućuje na potrebu obračunskog merenja.

5.6. Obračun utrošene električne energije u velikim gradovima Evrope

U velikim gradovima Evrope, kao što su Pariz i Brisel, vrši se merenje utrošene električne energije. Merenje se vrši pomoću mernih grupa smeštenih u

transformatorskim stanicama, koje služe isključivo za javno osvetljenje, ili u posebnim ormanima, gde su merne grupe postavljene zajedno sa opremom za napajanje i komandovanje. U ovim gradovima postoje kompanije koje se staraju o svim vidovima javnog osvetljenja. U javno osvetljenje spadaju osvetljavanje autoputeva, ulica, tunela i podzemnih pešačkih prolaza, dekorativno osvetljenje objekata i parkova, reklame i drugi vidovi javnog osvetljenja. U Parizu je 1986. god. samo instalisana snaga dekorativnog javnog osvetljenja iznosila preko 30MW. Merenje se ne vrši samo u izuzetnim slučajevima u kojima se sa nekog mesta napaja samo nekoliko svetiljki, jer bi ugradnja merne grupe tada bila neekonomična.

5.7. Obračun utrošene električne energije u Zagrebu, Sarajevu i Novom Sadu

Kompletna utrošena električna energija za potrebe javnog osvetljenja u ovim gradovima meri se od momenta nastanka javnog osvetljenja. Instrumenti za merenje utrošene električne energije smešteni su u slobodnostojeće razvodne ormane, zajedno sa opremom za napajanje i komandovanje javnim osvetljenjem.

5.8. Komandovanje javnim osvetljenjem u Beogradu

Komandovanje javnim osvetljenjem u Beogradu vrši se na jedan od sledeća tri načina:

1. Pomoću fotoelemenata, tzv. FOREL–a, koji se sastoje od foto relea i foto ćelija. Lokacija foto ćelije je ključna za efikasno funkcionisanje javnog osvetljenja kojim se komanduje na ovakav način. Postavljanje foto ćelije u senci moglo bi da izazove ranije paljenje, dok bi njegovo postavljanje na mestu koje je izloženo veštačkom osvetljenju moglo da izazove prevremeno gašenje javnog osvetljenja. O ovome treba voditi računa pri montaži fotoelemenata. Još jedan od nedostataka fotoelemenata je nemogućnost da se ostvare različiti režimi rada javnog osvetljenja, tj. da se tamo gde prilike dozvoljavaju vrši redukcija svetlosnog fluksa.
2. Pomoću MTK uređaja. Komandovanje pomoću ovih uređaja je efikasnije i danas se masovno primenjuje. Mesto ugradnje ovih uređaja je napojno–komandni orman. Signal za paljenje šalje se iz komandnog centra, odakle se preko faznih provodnika napojnih kablova razvodnih mesta prenosi do MTK prijemnika, koji preko kontaktora uključuju instalaciju javnog osvetljenja. Prednosti ovakvog načina komandovanja ogledaju se u tome da se tačno u određeno vreme može poslati signal za paljenje, odnosno gašenje javnog osvetljenja, a moguće je ostvariti i više režima rada, odnosno vršiti diskretnu regulaciju svetlosnog fluksa. Korišćenjem ovih uređaja može se vršiti i

promena tarife kod električnih brojila, tj. prelazak sa skupe na jeftinu tarifu, i obrnuto, uz napomenu da se u javnom osvetljenju trenutno primenjuje jednotarifni sistem obračuna utrošene električne energije.

3. Pomoću tzv. “štafetnog” paljenja. Ovaj način komandovanja podrazumeva korišćenje jednog komandnog uređaja (najčešće MTK) za više napojno–komandnih ormana. Komanda za paljenje se prenosi sukcesivno sa ormana na orman, kao štafeta, po čemu je ova vrsta paljenja i dobila ime. Kada se po faznim provodnicima pošalje signal za uključenje javnog osvetljenja, napojno–komandni orman koji poseduje komandni uređaj preko kontaktora uključuje strujna kola osvetljenja koja su priključena na taj razvodni orman. Da bi kontaktori sledećeg ormana došli pod napon, potrebno je (prema šemi na sl. 6) na redne klemme 16 i šinu za zajedničku nulu 13 prethodnog ormana priključiti pobudni kabl – „štafeta“, označen sa 15, koji će se sprovesti do posebnog ulaza sledećeg ormana, predviđenog za prenošenje štafete. Poseban ulaz i poseban izlaz za prenošenje štafete prikazani su na sl. 7. Nedostatak ovakvog vida komandovanja je u tome, što, ukoliko komandni uređaj iz nekog razloga zakaže, ni razvodni ormani iza njega neće dobiti signal za paljenje. U praksi se ovaj tip komande napušta.

5.9. Potrebe za rekonstrukcijom napajanja i komandovanja javnim osvetljenjem u Beogradu

Mnogo je razloga zbog kojih je potrebna rekonstrukcija. Neki od glavnih su:

1. Dotrajalost opreme.

Dok su razvodni ormani od poliestera u relativno dobrom stanju, dotle su mnogi limeni ormani korodirali, pa je njihova zamena neophodna.

Na slikama 1 i 2 prikazan je razvodni orman tipa ROR–6P.



Slika 1. Spoljašnji izgled razvodnog ormana tipa ROR–6P



Slika 2. Unutrašnji izgled razvodnog ormana tipa ROR–6P

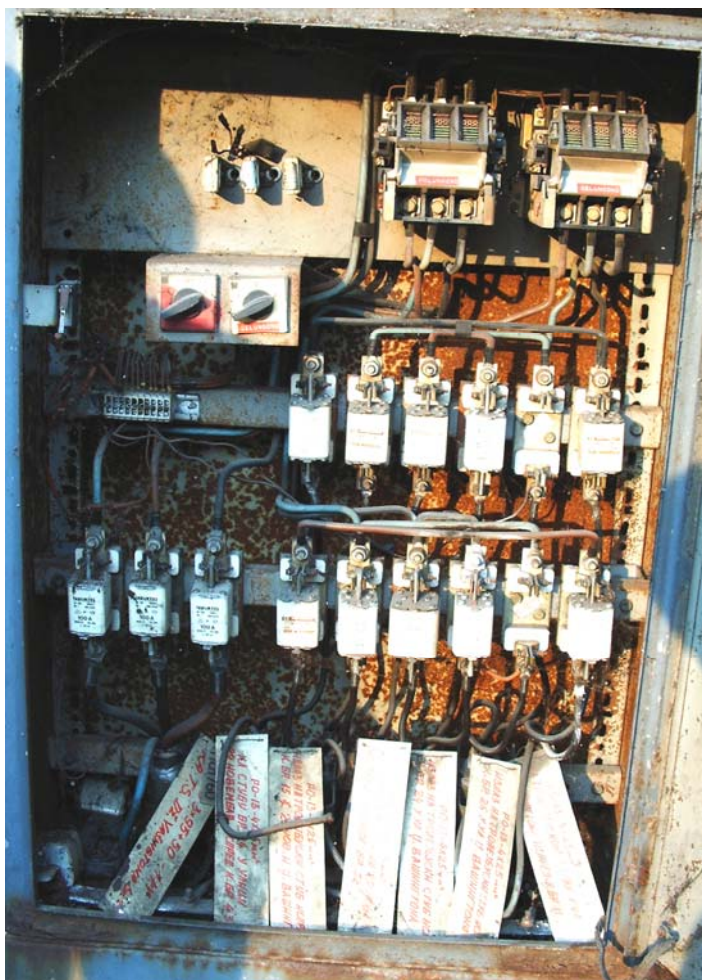
Sa slike 1 se vidi da je ovaj napojno–komandni orman u dobrom stanju, iako se njegovom spoljašnjem izgledu ne poklanja velika pažnja. Korozija je prisutna samo na delu ormana na kome je smeštena bravica. Jedan od nedostataka koji se može uočiti je nepostojanje otvora za ventilaciju. Naime, proboj vlage (uglavnom iz zemlje) i kondenzaciju unutar ormana nije moguće sprečiti. Iako je sam napojno–komandni orman napravljen od poliestera i otporan na koroziju, oprema koja se nalazi unutar njega podložna je koroziji, zbog čega je potrebno predvideti otvore za ventilaciju. Na slici 2 je prikazana unutrašnjost ovog napojno–komandnog ormana, koja je takođe u dobrom stanju. Sa ove slike se može videti da u gornjem levom uglu nema MTK uređaja, tako da ovaj razvodni orman ne predstavlja prvi orman u nizu ormana kod kojih je primenjeno štafetno paljenje.

Na slikama 3 i 4 prikazani su spoljašnjost i unutrašnjost nešto starijeg limenog ormana tipa ROR-6.



Slika 3. Spoljašnji izgled napojno–komandnog ormana ROR–6

Spoljašnjost ovog ormana je potpuno zapuštena. Ipak, sa spoljne strane se ne primećuje korozija u većoj meri. Ovaj orman se nalazi u centru grada, gde se ormanima poklanja više pažnje.



Slika 4. Unutrašnji izgled napojno–komandnog ormana ROR–6

Pogled na unutrašnjost ormana pokazuje značajno prisustvo korozije. Na slici 4 je prikazan limeni razvodni orman sa 6 izvoda. Kod ovog ormana je primenjeno štafetno paljenje, na koje ukazuje odsustvo MTK uređaja. Iz razgovora sa licima koja se staraju o napojno–komandnim mestima zaključeno je da je ovaj orman srednje očuvan, tj. da postoje ormani koji su u daleko gorem stanju. Neki ormani su potpuno korodirali i stoje samo zahvaljujući kablovima. Postoje i ormani koji se nalaze na nepristupačnim mestima, sa otežanim prilazom. Još jedna od zamerki na račun nekih od postojećih ormana je što unutar njih ne postoji svetiljka za osvetljavanje unutrašnjosti ormana.

2. Sistem napajanja javnog osvetljenja je zastareo, jer je decenijama korišćen dvofazni sistem, usvojen sa idejom da omogući dva režima rada:
 - a) Režim kada su obe faze uključene, koji je u funkciji kada je gustina saobraćaja velika, odnosno kada javno osvetljenje treba da ispuni sve kriterijume koji važe za svetlotehničku klasu kojoj saobraćajnica pripada.

- b) Režim kada je jedna faza isključena, koji je u funkciji u kasnim noćnim, odnosno ranim jutarnjim časovima, kada gustina saobraćaja naglo opada, zbog čega saobraćajnica prelazi iz više u nižu svetlotehničku klasu.

Iako je mogućnost primene ova dva režima postojala, nikad se nije primenjivala, jer ovakav koncept ima ozbiljan nedostatak. Isključenjem jedne faze, ravnomernost osvetljenosti (sjajnosti) veoma se narušava. Ovo ne predstavlja problem ukoliko se radi o kratkim deonicama, ali kod dugih deonica izaziva zamor vozača. Prva dva poglavlja ove studije potvrdila su nepobitne prednosti trofaznog nad dvofaznim sistemom napajanja. Zbog toga je predloženo isključivo korišćenje trofaznog sistema u javnom osvetljenju, uz primenu dvostepenih prigušnica ili elektronskih uređaja za kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa. Na ovaj način će moći da se realizuje ušteda električne energije smanjenjem svetlosnog fluksa, bilo diskretno, bilo kontinualno, a da se pri tome ravnomernost osvetljenosti (sjajnosti) ne naruši.

3. Pregledom postojećeg stanja je ustanovljeno da postoje mesta na kojima se napajanje javnog osvetljenja vrši iz niskonaponskih razvodnih tabli transformatorskih stanica, što predstavlja problem.

Transformatorske stanice iz kojih se vrši napajanje javnog osvetljenja predstavljaju vlasništvo distributivnog preduzeća, pa je ulazak u njih moguć samo uz posebnu dozvolu i obavezno prisustvo stručnog lica. Pošto je preduzeće za održavanje javnog osvetljenja u gradu posebna firma, koja više nije u sastavu EDB, ulazak u transformatorsku stanicu radi očitavanja potrošnje ili neke intervencije bio bi komplikovan. Izmeštanjem napajanja u slobodnostojeće napojno–komandne ormane ovaj problem bi se efikasno rešio. Postoji i grupa improvizovanih napojno–komandnih mesta, od kojih je jedno prikazano na slici 5. Ovakva napojno–komandna mesta sreću se na mestima sa deficitarnim prostorom i obično se nalaze neposredno uz transformatorsku stanicu. Veza sa niskonaponskom stranom u transformatorskoj stanici ostvarena je pomoću kablova. Adekvatno rešenje za ovakve situacije predstavlja postavljanje novih razvodnih ormana.



Slika 5. Improvizovano napojno–komandno mesto

4. Potrebno je vršiti merenje utrošene električne energije. U razvodne ormane koji se trenutno koriste, fizički nije moguće smestiti opremu za merenje utrošene električne energije.

5.10. Zašto meriti utrošenu električnu energiju?

Gradovi se svakim danom šire i razvijaju, pa i potreba za električnom energijom raste. U takvoj situaciji nije teško zaključiti zašto je uštedi električne energije potrebno posvetiti posebnu pažnju. Ušteda električne energije u javnom osvetljenju može da se postigne na različite načine: korišćenjem izvora svetlosti sa velikom svetlosnom iskoristivošću, korišćenjem svetiljki sa poboljšanom optikom i stepenom mehaničke zaštite od najmanje IP65, regulacijom svetlosnog fluksa tamo gde je to dozvoljeno, korektnim izborom svetlotehničke klase saobraćajnice, itd. Danas se vrši zamena živinih izvora visokog pritiska, čija je svetlosna iskoristivost do 60 lm/W , a stepen reprodukcije boja $R_a = 45$, natrijumovim izvorima visokog pritiska, čija je svetlosna iskoristivost značajno veća (iznosi do 150 lm/W), dok je stepen reprodukcije boja manji (iznosi $R_a = 23$). Stepem reprodukcije boja natrijumovih izvora visokog pritiska

prihvatljiv je za saobraćajnice sa (pretežno) motornim saobraćajem. Kako natrijumove u odnosu na živine izvore visokog pritiska karakteriše više od dva puta veća svetlosna iskoristivost, prilikom tekućih rekonstrukcija živini izvori snage 400W zamenjuju se natrijumovim izvorima snage 250W ili 150W, dok se živini izvori snage 250W zamenjuju natrijumovim izvorima snage 100W. Još jednu od značajnih prednosti natrijumovih izvora visokog pritiska predstavlja mogućnost regulacije svetlosnog fluksa. Kod ostalih izvora svetlosti sa električnim pražnjenjem ova mogućnost ne postoji, ili je nedovoljno efikasna. Smanjenju svetlosnog fluksa od 50% odgovara smanjenje snage od 35%, čime se postižu značajne uštede energije. Da bi svetlosni fluks mogao da se redukuje na polovinu nominalne vrednosti, potrebno je da svetiljka bude opremljena dvostepenim balastom ili uređajem za kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa. U svetiljci je potrebno izvršiti i kompenzaciju reaktivne energije, na šta proizvođači opreme moraju da se obavežu (faktor snage svetiljki treba da iznosi najmanje 0.95). Šema veza jedne svetiljke kod koje je izvršena kompenzacija reaktivne energije i koja sadrži uređaj koji obezbeđuje 50% redukcije svetlosnog fluksa data je u prilogu ovog poglavlja.

Raznovrsnost tipova izvora svetlosti, zahteva i rešenja u javnom osvetljenju je velika, iz čega proizilaze četiri glavna razloga za merenje utrošene električne energije:

1. Nemogućnost da se potrošnja precizno proceni, s obzirom na raznovrsnost izvora svetlosti i predspojnih uređaja koji se koriste u javnom osvetljenju. Za precizno određivanje potrošnje treba imati precizne podatke o tipovima izvora svetlosti i predspojnih uređaja, njihovom broju i procentu rano pregorelih izvora. Ovo zahteva posedovanje sveobuhvatne baze podataka. Ako se još uzmu u obzir i moguće greške o kojima je bilo reči, nije teško zaključiti da je korektna procena potrošnje električne energije u javnom osvetljenju praktično neizvodljiva.
2. Merenjem se delimično može kontrolisati procenat rano pregorelih izvora. U razvijenim zemljama se zahteva da broj rano pregorelih izvora ni u jednom trenutku ne bude veći od 3%.
3. Uvođenjem merenja, korisnik instalacije javnog osvetljenja ima interes da ostvaruje uštedu, primenom regulacije svetlosnog fluksa. Ako nema merenja, a vrši se regulacija svetlosnog fluksa, jako je teško vršiti procenu potrošnje. Ovo je, između ostalog, još jedan razlog zbog koga se u Beogradu regulacija svetlosnog fluksa skoro uopšte ne primenjuje.
4. Problemi u vezi sa baždarenjem brojila i proverom karakteristika strujnih transformatora, kao jedan od razloga zbog kojih je svojevremeno merenje ukinuto, danas se rešavaju primenom mikroprocesorskih brojila, koja rade precizno i pouzdano. Maksimalna struja koju mogu da podnesu je oko 100A. U praksi, struje po jednom napojno-komandnom mestu ne prelaze ovu

vrednost. Zbog toga je ovakva brojila moguće priključiti direktno, bez strujnih transformatora.

Iz svega napred rečenog treba izvući dva ključna zaključka: potrebu da se pređe na trofazni sistem napajanja i potrebu da se meri utrošena električna energija, uz primenu regulacije svetlosnog fluksa gdegod je to moguće. Oba ova razloga nameću potrebu za novim razvodnim ormanom javnog osvetljenja.

5.11. Nov razvodni orman javnog osvetljenja: varijanta sa regulacijom svetlosnog fluksa pomoću dvostepenih balasta

Nov razvodni orman, šematski prikazan na slici 9, nosi naziv ROMO–6. Za razliku od svojih prethodnika, koji su šematski prikazani na slikama 6 (ROR–6P) i 8 (ROR–3), projektovan je za trofazni sistem napajanja, merenje utrošene električne energije i diskretnu regulaciju svetlosnog fluksa. ROMO–6 sadrži tri odvojena dela:

1. Energetski deo ormana, u koji se uvodi napojni kabl koji povezuje niskonaponsku stranu transformatorske stanice sa razvodnim ormanom. U istom delu ormana može da postoji i poseban izlaz, kojim raspolaže EDB. Ovaj izlaz se može iskoristiti za priključenje saobraćajne signalizacije, novogodišnjeg osvetljenja, bilborda ili nečeg sličnog. U ovom delu ormana se nalaze i ulazni visokoučinski osigurači, tipa N1 (za struje do 250 A). U praksi se nominalne struje njihovih uložaka kreću od 35 A do 160 A. Odavde sledi:

$$S_{\min} = \sqrt{3} \cdot I \cdot U = \sqrt{3} \cdot 35 \cdot 380 = 23.0 \text{ kVA}$$

$$S_{\max} = \sqrt{3} \cdot I \cdot U = \sqrt{3} \cdot 160 \cdot 380 = 105.3 \text{ kVA}$$

Uz uvažavanje činjenice da faktor snage iznosi oko 0.85, može da se zaključi da aktivne snage razvodnih ormana pripadaju opsegu od 20 kW do 90 kW. Tipična snaga po jednom razvodnom ormanu je od 10 kW do 20 kW. Dakle, postavljanjem uložaka od 63 A svakako se omogućava nesmetano napajanje i obezbeđuje izvesna rezerva. Razlog zbog koga se stavljaju osigurači tipa N1 umesto N0 je u tome što podnožja osigurača tipa N1 imaju bolje mehaničke karakteristike (prilikom montaže se manje oštećuju). Razlog zbog koga se u praksi stavljaju ulošci osigurača veće nominalne struje nego što je to potrebno je loša izolacija (na proboj vlage) stubova na kojima se nalaze svetiljke i ormana javnog osvetljenja. Izborom uložaka osigurača značajno veće nominalne struje obezbeđuje se da osigurači ne reaguju na kratkotrajne prolazne zemljospojeve usled vlage. Za ovaj problem treba naći adekvatno rešenje.

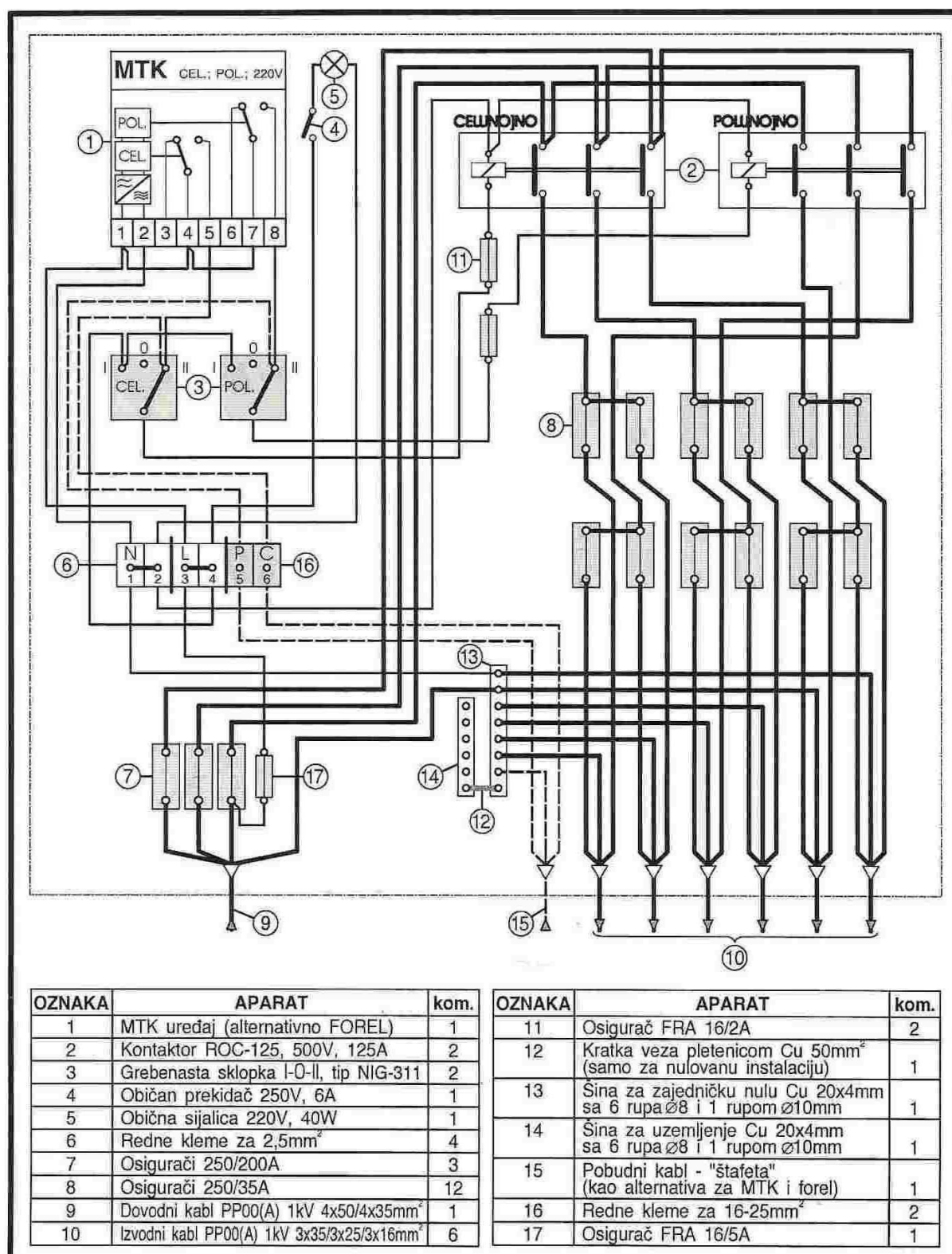
2. Merni deo ormana, predviđen za smeštaj brojila–merne grupe, u kome se nalaze i priključne kleme. Ove kleme imaju mogućnost premošćavanja merne grupe, ukoliko se vrši intervencija na istoj, a da pri tome osvetljenje nesmetano nastavi sa radom. Zatim dolaze “limitatori” (tačnije, automatski prekidači), koje postavlja EDB, prema zahtevanoj snazi (struji). ”Limitatore” je moguće i izostaviti, u dogovoru sa EDB, radi pojednostavljenja opreme. Predviđeno brojilo–mikroprocesorska direktna merna grupa može da radi sa strujama do 100A. Iz tog razloga nije potrebno koristiti strujne transformatore. Unutar kućišta merne grupe nalazi se i modul MTK prijemnika za prebacivanje tarife.
3. Razvodni deo ormana, u kome su smešteni kontaktor za uključenje javnog osvetljenja, dve jednopolne tropoložajne preklopke, MTK uređaj za uključenje i isključenje javnog osvetljenja, kao i za komandu u vezi sa redukcijom snage, i 6 trolnih osiguračkih letvi. Uloga prve tropoložajne preklopke je da omogući sledeće režime: “isključeno”, “ručno” i “automatsko” komandovanje. Druga tropoložajna preklopka, sa istim režimima rada kao i prva, ima funkciju izbora režima rada sistema za redukciju fluksa (snage) u instalaciji javnog osvetljenja. Uloga trolnih osiguračkih letvi je zaštita od prekomerne struje koja može da se javi kao posledica kratkog spoja. Za regulaciju svetlosnog fluksa do svake svetiljke se vodi poseban provodnik, preseka 2.5 mm^2 , koji je u sastavu napojnog kabla. On se u svetiljci priključuje na klemu na koju je priključen uređaj za regulaciju, koji obara svetlosni fluks na polovinu nominalne vrednosti i tako ostvaruje uštedu u snazi (energiji).

5.12. Nov razvodni orman javnog osvetljenja: varijanta sa opremom za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa i monitoring

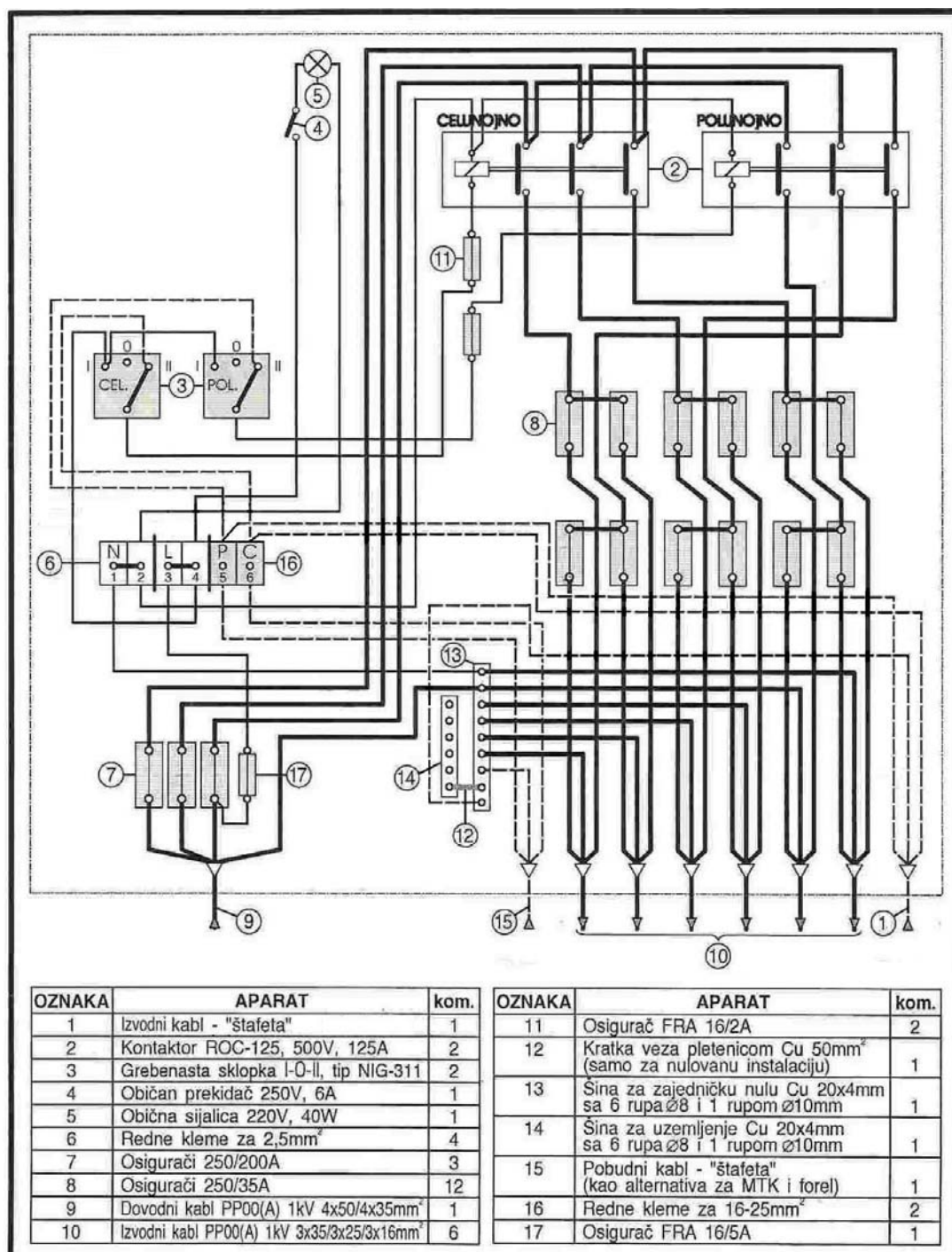
Nov razvodni orman sa opremom za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa, šematski prikazan na slici 10, nosi naziv ROMO-6(K). Energetski i merni deo ovog ormana identični su sa odgovarajućim delovima ormana ROMO-6. Razvodni deo ormana ROMO-6(K) ne sadrži jednopolnu tropoložajnu preklopku za redukciju fluksa, niti komandni kabl. Ne postoje ni redne kleme označene sa 6 na slici 9, a strujna kola osvetljenja ne sadrže poseban provodnik (2.5 mm^2) za prenošenje komandi za redukciju svetlosnog fluksa. MTK prijemnik je jednostavniji (sadrži samo jedan preklopni kontakt).

Na slici 10, skup komponenti za pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa i monitoring prikazan je pomoću pravougaonog simbola sa oznakom UPKR. Komponente Starsense sistema (Philips Lighting), koje se nalaze unutar UPKR i koje su prikazane na slikama 8 i 11 u poglavlju 4 ove studije, predstavljene su i na slici 11. Ove komponente se montiraju na zajedničku šinu, čija dužina iznosi oko 650mm (ukupna dužina svih komponenti iznosi 602mm (MRU=215mm, 8DI=SC=162mm, 3xPHC=

3x21mm=63mm), dok je “visina” svake komponente (oko) 90mm). Pošto još uvek nije izabran isporučilac sistema, u razvodnom ormanu za ovu namenu treba ostaviti prostor čija je prednja površina dimenzija 800mm x 200mm.

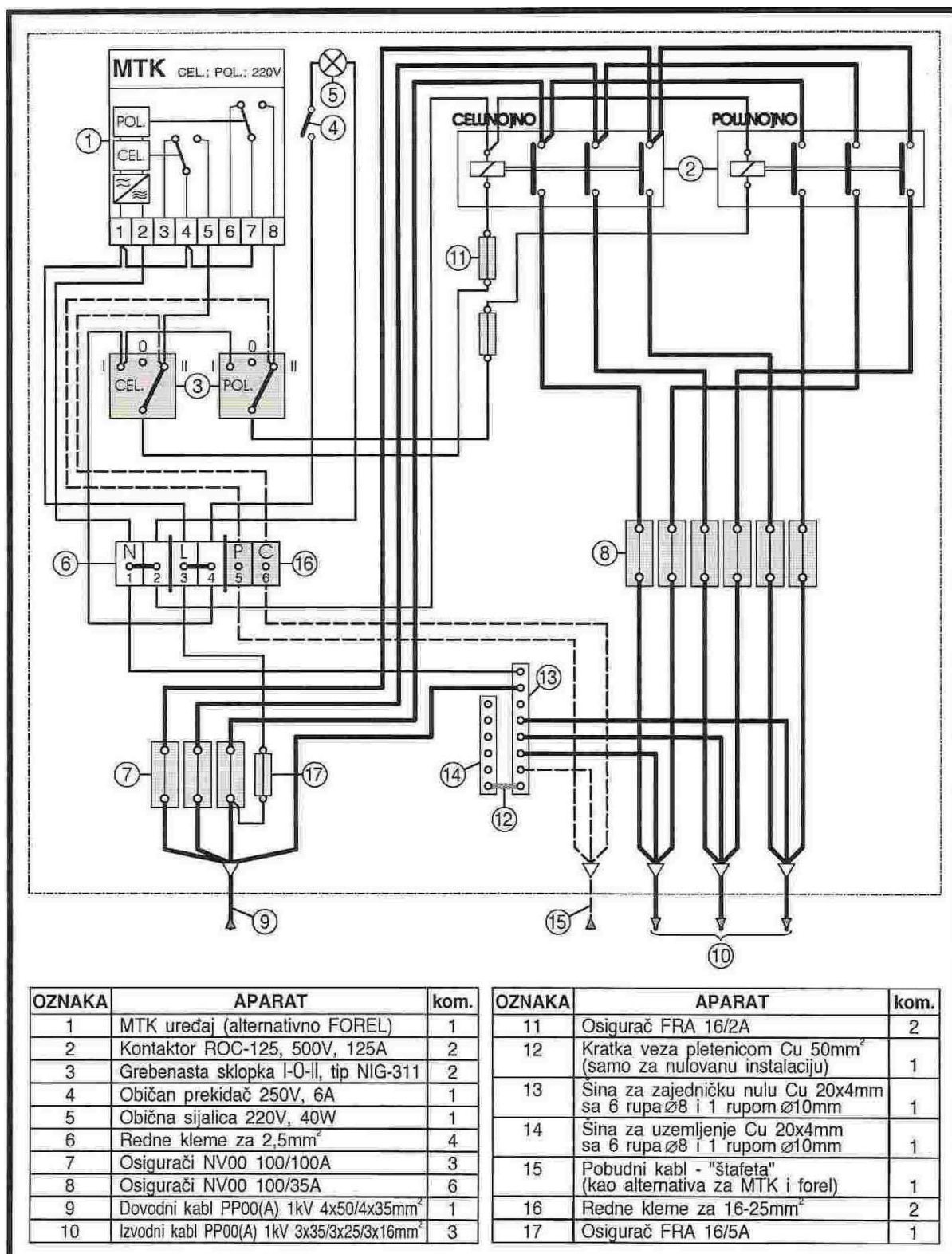


Slika 6. Tropolna šema veza napojno-komandnog ormara ROR-6P sa MTK uređajem i “štafetnim” paljenjem

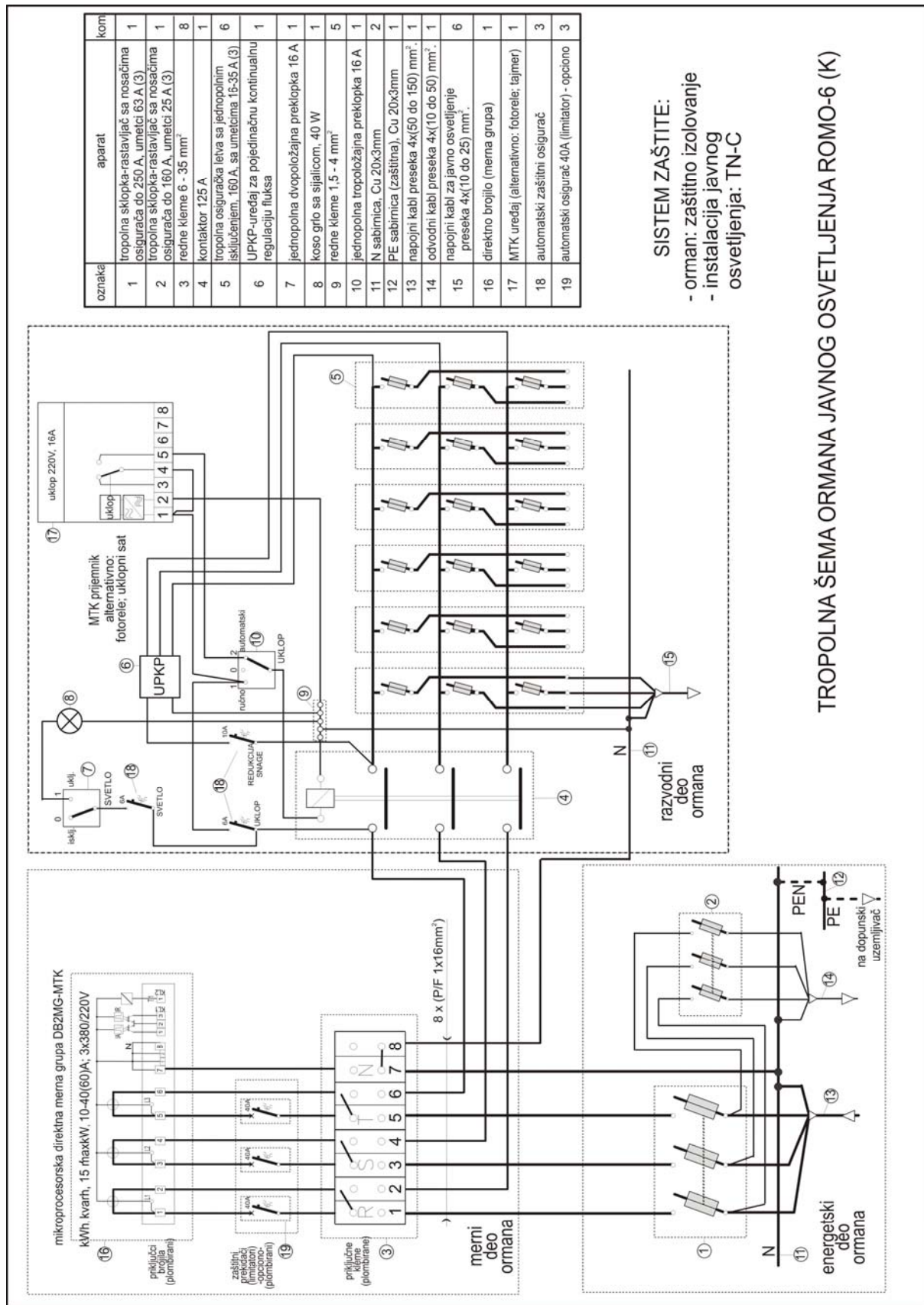


Slika 7. Tropolna šema veza napojno-komandnog ormara ROR-6P bez MTK uređaja, a sa "štafetnim" paljenjem (ovaj ormar nije poslednji u nizu)

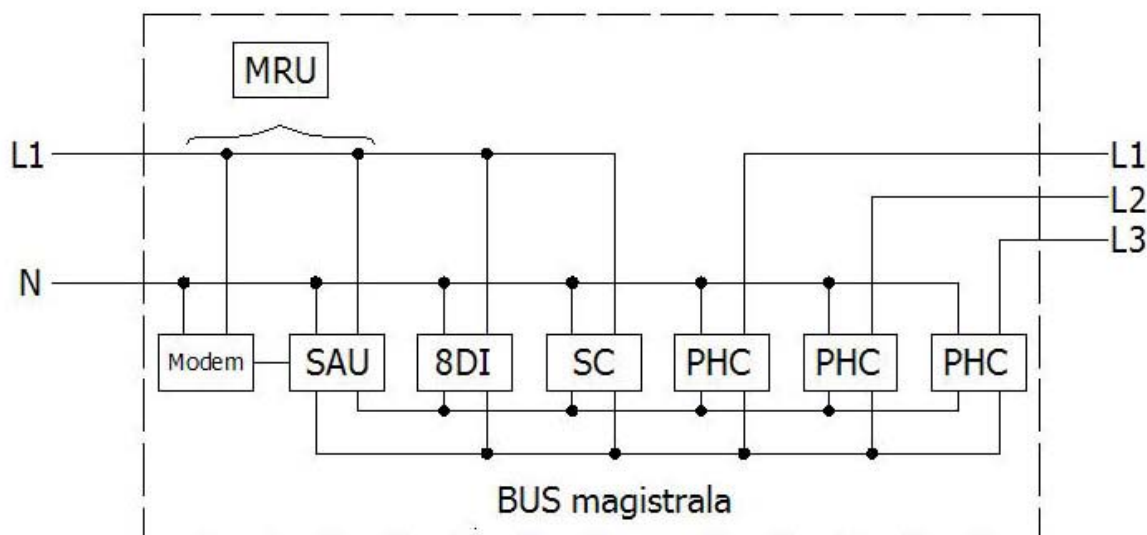
Napomena: pobudni kabl 15 je ulazni, dok je izvodni kabl 1 izlazni.



Slika 8. Tropolna šema veza napojno-komandnog ormara ROR-3



Slika 10. Tropolna šema veza napojno-komandnog ormara ROMO-6(K)



Slika 11. Komponente Starsense sistema koje sadrži UPKR

Osim što su ormani ROMO-6 i ROMO-6(K) podeljeni u tri funkcionalne celine, postoji i poseban ključ za svaku od njih. Ključeve poseduju stručna lica. Montaža celog ormara vrši se na poliesterskoj podlozi koja je u betonskom temelju.

5.13. Uklapanje novoprojektovanog razvodnog ormara u postojeći sistem dvofaznog napajanja javnog osvetljenja u Beogradu

Novoprojektovani napojno-komandni ormani tipa ROMO-6, odnosno ROMO-6(K), instalirali bi se kako u postojećim instalacijama (umesto postojećih razvodnih ormara), tako i u novoprojektovanim instalacijama javnog osvetljenja, kod kojih se na izlaz razvodnog dela ormara vezuju trofazni kablovi strujnih kola osvetljenja. U slučaju korišćenja dvostepenih prigušnica u svetiljkama ovi kablovi bi bili petožilni, pri čemu bi jedna njihova žila (preseka 2.5mm^2) predstavljala provodnik za komandu, odnosno pobuđivanje relea koje u svetiljci prespaja dvostepeni balast. Ovakvi kablovi bi se polagali na onim mestima na kojima postoji ili bi mogla da postoji potreba za 50%-nim smanjenjem svetlosnog fluksa. U slučaju kontinualne regulacije, komanda za redukciju svetlosnog fluksa prenosila bi se faznim provodnicima četvorožilnih kablova do elektronskih uređaja za redukciju svetlosnog fluksa, smeštenih u svetiljkama ili stubovima. Jedna od prednosti trofaznog nad dvofaznim sistemom napajanja javnog osvetljenja je daleko lakše postizanje simetričnog opterećenja, što za posledicu ima manji pad napona u napojnim kablovima instalacije javnog osvetljenja. Kod postavljanja novog na lokaciji starog napojno-komandnog ormara, problem uklapanja postojeće instalacije sa dvofaznim sistemom napajanja rešava se tako što se na izvode osiguračke letve

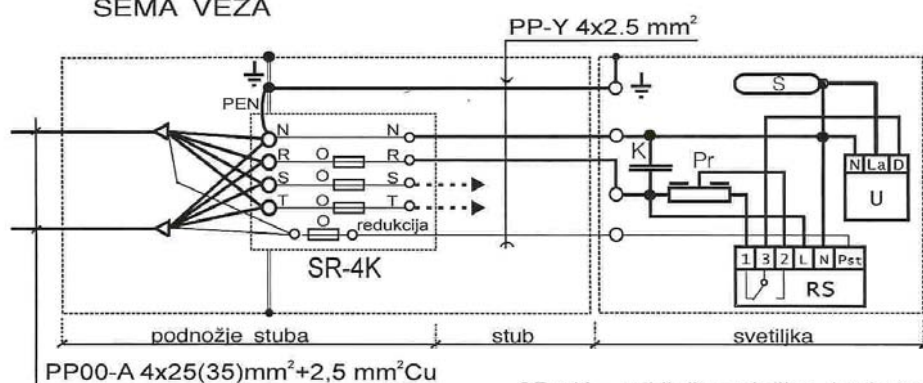
priključuju dva (postojeća) fazna provodnika u kabl. Nesimetrija opterećenja postojeće instalacije treba da se izbegne ravnomernim korišćenjem priključaka pojedinih faza. Regulacija svetlosnog fluksa primenom dvostepenih prigušnica, sa korišćenjem starih kablova bez komandne žile, može da se reši pomoću “inteligentnog” elektronskog uređaja “CHRONOSENSE” (Philips Lighting), koji se postavlja u svaku svetiljku i optimizuje vreme trajanja 50%-ne redukcije.

Literatura

1. Vasilije Blagojević, “Elaborat tehničko–ekonomske analize merenja utrošene električne energije u javnoj rasveti u Beogradu”, Naručio: Skupština Grada Beograda i “Elektro distribucija–Beograd”, 1986.
2. Miomir B. Kostić, “Vodič kroz svet tehnike osvetljenja”, Minel–Schreder, 2000.
3. Miomir B. Kostić, “Osvetljenje puteva”, Minel–Schreder, 2006.
4. Miomir B. Kostić, “Teorija i praksa projektovanja električnih instalacija–drugo, prošireno izdanje”, Akademska misao, 2005.

Prilog

ŠEMA VEZA



SR-4K - priključna pločica (stubni rezdelnik)

S-sijalica, Pr-prigušnica, U-upaljač, K-kondenzator, O-osigurač FRA-16/5A, RS-regulator snage

TEHNIČKI PODACI

svetiljka	natrijumova sijalica vis. pritiska			prigušnica	upaljač	regulator snage svetiljke	kondenz.	snaga svetiljke W	
tip	W	V	klm	tip	tip	tip	μF	u normalnom pogonu	redukovana
ONYX 2N	150	220	17,5	OMBS150ST50%	ZRM1,8-ESB	ZRMU6L/T	20	170	113
ONYX 3N	250	220	33	OGLSU250ST50%	ZRM6-ESB	ZRMU6L/T	35	275	175

SVETILJKA ONYX SA REDUKCIJOM SNAGE IZGLED I ŠEMA VEZA

6. Predlog organizacione šeme tehničke strukture preduzeća zaduženog za održavanje javnog osvetljenja u Beogradu

6.1. Delatnosti preduzeća zaduženog za održavanje javnog osvetljenja u Beogradu

S obzirom da se ova studija bavi organizacionom šemom tehničke strukture preduzeća, ovde će se razmotriti samo njegove tehničke i dispečerske funkcije.

Od tehničkih funkcija treba izdvojiti:

1. Održavanje funkcionalnog javnog osvetljenja

Moderno održavanje funkcionalnog javnog osvetljenja podrazumeva garanciju preduzeća zaduženog za održavanje da će u svakom trenutku obezbediti funkcionisanje ugovorenog procenta instalisane snage, odnosno svetiljki (u evropskim gradovima on iznosi 97-99%). U tom cilju, neophodno je formiranje potrebnog broja izviđačkih ekipa, koje će organizovano obilaziti pojedine gradske celine, i na osnovu čijih izveštaja će se vršiti zamena rano pregorelih izvora svetlosti ili neke druge neophodne intervencije. Pošto više nije održiv sadašnji princip obračuna utrošene električne energije u javnom osvetljenju, koji se zasniva na proceni da prosečna angažovana snaga u javnom osvetljenju iznosi 96% instalisane snage, odnosno na proceni da prosečno samo 4% izvora svetlosti nije u funkciji, u skoroj budućnosti organizovaće se merenje utrošene električne energije. Na osnovu izmerenih vrednosti neće biti teško da se ustanovi da li se ispunjavaju ugovorene obaveze koje preduzeće za održavanje javnog osvetljenja ima prema Gradu.

Drugi uticajan parametar, o kome se do sada nije vodilo računa, jednako je značajan. Naime, zamena izvora svetlosti tek kada pregore danas ne predstavlja prihvatljiv metod održavanja. Drugim rečima, jedino periodična grupna zamena izvora svetlosti može da obezbedi da saobraćajnice budu kvalitetno osvetljene u toku celokupnog perioda

eksploatacije (ne sme se dozvoliti da izvori svetlosti rade dok ne pregore, jer posle određenog vremena njihov svetlosni fluks više ne obezbeđuje ispunjenje minimalnih zahteva koje faktori kvaliteta osvetljene saobraćajnice treba da zadovolje).

Prihvatanje principa obavezne periodične grupne zamene izvora svetlosti značajno redukuje potrebu za angažovanjem izviđačkih ekipa, čiji bi se nalozi odnosili samo na (pojedinačnu) zamenu rano pregorelih izvora svetlosti.

U okviru održavanja funkcionalnog javnog osvetljenja posebnu pažnju treba posvetiti održavanju stubova javnog osvetljenja. Rezultati studije rađene za EDB [1] pokazuju da primena pocinkovanih stubova predstavlja ekonomski isplativije rešenje, o čemu svakako treba voditi računa prilikom rekonstrukcije funkcionalnog javnog osvetljenja u gradu. Međutim, smatramo da preduzeće za održavanje javnog osvetljenja ne treba da obavlja i funkciju bojenja stubova.

2. Održavanje dekorativnog javnog osvetljenja

Iako Grad ulaže velike napore, održavanje dekorativnog javnog osvetljenja u gradu može da se poboljša.

Preduzeće za održavanje javnog osvetljenja treba da obavlja i funkciju održavanja dekorativnog javnog osvetljenja u gradu. Pri tome treba imati u vidu tri stvari:

I Treba usloviti davanje saglasnosti na projekat dekorativnog javnog osvetljenja ispunjenjem zahteva da on mora da sadrži definisane periode grupne zamene izvora svetlosti i čišćenja svetiljki predviđenih u Specifikaciji projekta.

II Treba usloviti davanje saglasnosti na projekat dekorativnog javnog osvetljenja ispunjenjem zahteva da za potrebe održavanja on mora da sadrži opis pristupa svakoj svetiljci.

III S obzirom na činjenicu da se spoljno dekorativno osvetljenje sve češće izvodi pomoću reflektora montiranih na delovima fasade i krova objekta, preduzeće za održavanje javnog osvetljenja mora da poseduje ekipu elektromontera koji će biti osposobljeni za poslove zamene izvora svetlosti i čišćenje svetiljki postavljenih na objektu.

3. Izvođenje radova na rekonstrukciji postojećih i izgradnji novih instalacija javnog osvetljenja

Ova delatnost ne bi predstavljala ekskluzivno pravo preduzeća za održavanje javnog osvetljenja.

4. Uslužne delatnosti (reklamni displeji na stubovima javnog osvetljenja, bilbordi i sl.)

5. Sklapanje ugovora za obavljanje napred specificiranih delatnosti i davanje ponuda za delatnosti br. 3 i 4

Iako se radi o delatnostima pravno-ekonomske službe, one moraju da budu bazirane na tehničkim parametrima koje će pripremati odgovorni inženjer.

Od dispečerskih funkcija treba izdvojiti:

1. Registrovanje prijavljenih kvarova i reklamacija.
2. Hitne intervencije (potrebno je formirati odgovarajuću službu za hitne intervencije u periodu od 22^h do početka radnog vremena u jutarnjim satima).

6.2. Broj i struktura zaposlenih

Potreban broj i struktura zaposlenih zavise od broja i strukture izvršilaca koji su neophodni za realizaciju pojedinačnih funkcija preduzeća za održavanje javnog osvetljenja koje su specificirane u prvom poglavlju ove studije.

6.2.1. Održavanje funkcionalnog javnog osvetljenja

Što se tiče održavanja funkcionalnog javnog osvetljenja, broj neophodnih izvršilaca biće određen na osnovu podataka o broju i tipovima instaliranih izvora svetlosti (videti priloženu tabelu).

Pregled instaliranih svetiljki funkcionalnog javnog osvetljenja na teritoriji Beograda (novembar 2006.)

Red. br.	Svetiljke sa svetlosnim izvorom	Komada
1	sijalice sa užarenim vlaknom	2.564
2	živine sijalice visokog pritiska	40.368
3	natrijumove sijalice visokog pritiska	43.948
4	metal-halogene sijalice	1.034
5	fluorescentne cevi	28
	Ukupno	87.942

Iz priložene tabele može da se vidi da ukupan broj svetiljki (sijalica) iznosi oko 88000. Postojeća struktura izvora svetlosti ne može da se smatra zadovoljavajućom, jer energetske neefikasne živine izvor visokog pritiska i pored značajnih rekonstrukcija uličnog osvetljenja u gradu izvršenih tokom 2005. i 2006. god., u okviru kojih su živine izvor uglavnom zamenjeni natrijumovim, još uvek predstavljaju oko 46% ukupnog broja sijalica. Pomenimo i sijalice sa užarenim vlaknom, koje su apsolutno neprihvatljive u uličnom osvetljenju. Periodi grupne zamene svih pobrojanih tipova sijalica veoma se razlikuju. Za sijalice sa užarenim vlaknom vek trajanja, odnosno period grupne zamene, iznosi samo 1000 h, metal-halogene sijalice treba da se menjaju na 6000 h, živine sijalice na 8000 h (dve godine), a standardni natrijumovi izvor visokog pritiska na 12000 h (tri godine).

Dakle, struktura izvora svetlosti veoma utiče na godišnji broj intervencija (zamena), odnosno na broj izvršilaca. Pri tome, ovaj broj ne treba da se određuje prema postojećem stanju, jer se ono neprekidno menja, odnosno popravlja (samo 2005. godine izvršena je zamena oko 17000 postojećih svetiljki (uglavnom onih sa živinim izvorima), novim, modernim svetiljkama sa energetske najefikasnijim, natrijumovim izvorima visokog pritiska). Međutim, ovakve aktivnosti ne bi smele da se odvijaju stihijno. Naime, finansijski kriterijum i kriterijum energetske efikasnosti ne smeju da budu jedini relevantni kriterijumi. Tako, na primer, za osvetljenje parkova, trgova, šoping centara, šetališnih zona i ostalih mesta na kojima se okuplja veći broj ljudi, kao i za osvetljenje mesta na kojima postoje objekti različitih boja koje treba da budu verno predstavljene i u noćnim satima, neprihvatljiva je primena natrijumovih sijalica (umesto njih mogu da se primene metal-halogeni izvor sa keramičkim gorionikom, a ponekad i kompakt fluo izvor). Može se, dakle, uzeti da će za nekoliko godina struktura sijalica približno odgovarati sledećoj: 70000 NaVP (period

zamene: T=36 meseci), 10000 HgVP (T=24 meseca) i 10000 metal-halogeni izvori (T=18 meseci). Pošto je svaka od službi „Centar“, „Dedinje“ i „Zemun“ odgovorna za približno isti broj svetiljki, primenom odnosa 7:1:1 (natrijumove : živinim : metal-halogenim sijalicama) na svaku od ovih službi, i usvajanjem da rano pregoreli izvori svetlosti približno čine 10% ukupnog broja izvora (nezavisno od tipa izvora), dobija se da će na teritoriji svake od službi „Centar“, „Dedinje“ i „Zemun“ godišnji broj zamena izvora svetlosti približno da iznosi:

$$1.10 \cdot (1/3 \cdot 7/9 \cdot 30000 + 1/2 \cdot 1/9 \cdot 30000 + 2/3 \cdot 1/9 \cdot 30000) = 12833 \text{ sijalice}$$

U okviru održavanja funkcionalnog javnog osvetljenja, a u cilju očuvanja pogonske spremnosti i tehničke sigurnosti, kao i obezbeđivanja što duže funkcionalnosti instalacije javnog osvetljenja i prateće elektroenergetske opreme, izvršioci takođe moraju da vrše:

- zamenu dotrajalih elemenata svetiljki,
- reviziju i remont razvodnih ormana sa kablovskim završnicama, komandi javnog osvetljenja u sklopu TS i zatega,
- zamenu osnova i umetaka osigurača, pločica RPO i RPOV, grla, sprovodnica, poklopaca na stubovima, kablovskih glava, MTK prijemnika,
- obeležavanje kablova,
- pronalaženje kvarova i smetnji na mreži,
- razne opravke (sklopke, prekidači i sl.),
- merenje napona na kontrolnim tačkama, kao i merenje impedanse petlje kvara, itd.

Na osnovu raspoloživih podataka, dobijenih od rukovodstva nekadašnjeg Pogona javnog osvetljenja, može da se proceni da je za zamenu izvora svetlosti i čišćenje svetiljki potrebno oko 70% radnog vremena izvršioca. Takođe, može da se uzme da jedan izvršilac dnevno može da zameni 10 izvora svetlosti (sa čišćenjem svetiljki). Imajući ovo u vidu, svaka od službi „Centar“, „Dedinje“ i „Zemun“ treba da ima po:

$$12\,833 / (0.7 \cdot 230 \text{ radnih dana} \cdot 10 \text{ sijalica/dan}) \approx 8 \text{ elektromontera}$$

Kako je odnos elektromonteri : vozači=2:1, svaka od ovih službi treba da ima po 4 vozača. Svako od njih sledeju i po jedan bravar varilac i kompresorista, kao i po 2 fizička radnika. U okviru svake službe treba da se formira i izviđačka ekipa koju bi činili 1 elektromonter i 1 vozač.

Svaka služba treba da ima šefa, tehničkog referenta i poslovođu, koji treba da budu elektroinženjeri. U sledećoj tabeli prikazana je predložena

tehnička struktura svake od ove tri službe, namenjena održavanju funkcionalnog javnog osvetljenja.

Šef
Tehnički referent
Poslovođa
9 elektromontera
5 vozača
1 bravar varilac
1 kompresorista
2 fizička radnika
Ukupno: 21 osoba

6.2.2. Održavanje dekorativnog javnog osvetljenja

Održavanje spoljnog dekorativnog osvetljenja treba da bude centralizovano (u okviru službe „Centar“). Broj izvršilaca svakako zavisi od broja osvetljenih fasada, odnosno broja upotrebljenih reflektora. U ovom trenutku zahteve za održavanjem spoljnog dekorativnog osvetljenja u gradu mogu da ispune 4 izvršioca (2 elektromontera (osposobljena za rad na fasadi i krovu objekta), 1 vozač i 1 fizički radnik). Sa povećanjem broja dekorativno osvetljenih objekata u gradu povećavaće se i potreba za novim izvršiocima.

6.2.3. Izvođenje radova na rekonstrukciji postojećih i izgradnji novih instalacija javnog osvetljenja

Ovi radovi su predstavljali značajan deo aktivnosti bivšeg Pogona javnog osvetljenja.

Iskustvo elektromontera i reference Pogona javnog osvetljenja predstavljaju vid garancije da će novoformirano preduzeće za održavanje javnog osvetljenja i u novim, komercijalnim uslovima uspešno realizovati ovu svoju funkciju. Međutim, u početnoj fazi treba predvideti manji broj izvršilaca, čiji bi broj, u zavisnosti od tržišnih uslova, kasnije mogao da raste. Zbog toga se za obavljanje ove aktivnosti za svaku od 3 službe predlažu po dve ekipe, pri čemu bi svaku ekupu činila 2 elektromontera, 1 vozač i 1 fizički radnik. Ovim ekipama bi u svakoj službi rukovodio elektroinženjer sa licencom Inženjerske komore Srbije br. 450.

6.2.4. Uslužne delatnosti, sklapanje ugovora i davanje ponuda za komercijalne delatnosti preduzeća za održavanje javnog osvetljenja

Jedan izvršilac (elektroinženjer) bio bi dovoljan.

6.2.5. Dispečerske funkcije

Za registrovanje prijavljenih kvarova, reklamacija i sl. neophodna su dva izvršioca (elektrotehničara) – po 1 u svakoj smeni.

Za hitne intervencije neophodno je da se formira ekipa od 2 elektromontera i jednog vozača, koja treba da ima i elektroinženjera kao šefa (rukovodioca).

6.2.6. Broj i struktura zaposlenih u službama „Centar“, „Dedinje“ i „Zemun“

U sledećim tabelama prikazana je kompletna struktura zaposlenih, koja predstavlja rekapitulaciju prethodne analize.

SLUŽBA «CENTAR»				
Uprava Preduzeća		Odeljenje za tehničku podršku		
Direktor Tehnički direktor		Referent za koordinaciju sa službama održavanja i odnose sa Gradskom upravom Tehničar za informatičku obradu i programiranje Magacioner		
Održavanje funkcionalnog JO	Izvođenje radova	Održavanje dekorativnog JO	Uslužne delatnosti, ponude, ugovori	Dispečerske funkcije
Šef (elektroinženjer) Tehnički referent (elektroinženjer) Poslovoda (elektroinženjer)		2 elektromontera	1 elektroinženjer	1 elektroinženjer
9 elektromontera	1 elektroinženjer	1 vozač		2 elektromontera
5 vozača	4 elektromontera	1 fizički radnik		1 vozač
1 bravar varilac	2 vozača			2 elektrotehničara
1 kompresorista	2 fizička radnika			
2 fizička radnika				

SLUŽBA «DEDINJE»	
Održavanje funkcionalnog JO	Izvođenje radova
Šef (elektroinženjer) Tehnički referent (elektroinženjer) Poslovođa (elektroinženjer)	
9 elektromontera	1 elektroinženjer
5 vozača	4 elektromontera
1 bravar varilac	2 vozača
1 kompresorista	2 fizička radnika
2 fizička radnika	

SLUŽBA «ZEMUN»	
Održavanje funkcionalnog JO	Izvođenje radova
Šef (elektroinženjer) Tehnički referent (elektroinženjer) Poslovođa (elektroinženjer)	
9 elektromontera	1 elektroinženjer
5 vozača	4 elektromontera
1 bravar varilac	2 vozača
1 kompresorista	2 fizička radnika
2 fizička radnika	

6.3. Vozila

Da bi sve napred navedene funkcije preduzeća za održavanje javnog osvetljenja mogle da se realizuju, neophodno je raspolagati odgovarajućom i kvalitetnom mehanizacijom. Ovde će pre svega da se analiziraju potrebe za vozilima sa hidrauličkim platformama.

Priložena tabela, dobijena od rukovodstva bivšeg Pogona javnog osvetljenja (sredinom 2005. god.), pokazuje da stubova čija je visina veća od 9 m ima manje od 5000 (manje od 2000 po službi), kao i da je njihova najveća visina 12 m.

Pregled instaliranih metalnih stubova javnog osvetljenja u Beogradu

R. br.	Naziv instaliranih elemenata		„Centar“	„Dedinje“	„Zemun“
1	Metalni stubovi 4m	kom.	5951	4578	6378
2	Metalni stubovi 6m	kom.	2956	1563	2965
3	Metalni stubovi 8m	kom.	2745	2215	2803
4	Metalni stubovi 9m	kom.	2060	1992	2205
5	Metalni stubovi 10m	kom.	859	968	936
6	Metalni stubovi 11m	kom.	406	481	402
7	Metalni stubovi 12m	kom.	186	243	128
8	Dekoratívni stubovi	kom.	253	#	#

Zbog toga, svaka od službi „Dedinje“ i „Zemun“ treba da raspolaže :

-za potrebe održavanja funkcionalnog javnog osvetljenja sa 3 tzv. „parkovska“ vozila (sa platformama do 9 m), jednim vozilom sa platformom do 12m i jednim vozilom sa platformom do 15 m, i

-za potrebe izvođenja radova sa 2 vozila (jednim sa platformom do 9 m i drugim sa platformom do 15 m).

Pored vozila specificiranih za potrebe službi „Dedinje“ i „Zemun“, služba „Centar“ treba da raspolaže i jednim vozilom sa platformom do 15 m (za potrebe hitnih intervencija), kao i jednim vozilom sa platformom do 23 m (za potrebe održavanja dekorativnog javnog osvetljenja).

Svaka služba treba da poseduje i putničko vozilo (za potrebe izviđačke ekipe).

6.4. Iskustva Budimpešte, Praga i Pariza

Informacije koje slede preuzete su iz studije „Preduzeće za javno osvetljenje“, čiji je autor Mr. Nebojša Radovanović, dipl. ing. el. Napominjemo da su izvršene neophodne ispravke, dopune i preciziranja.

BUDIMPEŠTA

„Decorative and Public Lighting Company of Budapest“

SVETILJKE kom. 190.000

DELATNOSTI:

- održavanje funkcionalnog javnog osvetljenja na teritoriji grada,
- održavanje dekorativnog javnog osvetljenja na teritoriji grada,
- reklame na stubovima JO, bilbordi i sl.,
- izdavanje tehničkih uslova za izradu projekata funkcionalnog i dekorativnog javnog osvetljenja,
- nadzor nad izvođenjem objekata funkcionalnog i dekorativnog javnog osvetljenja,
- saglasnosti na projekte funkcionalnog i dekorativnog javnog osvetljenja,
- tehnički razvoj,
- projektovanje rekonstrukcija postojećeg i izgradnje novog javnog osvetljenja,

ZAPOSLENI:

1. Upravljanje:	VSS 35:	elektroinženjeri	21
		mašinski inženjeri	6
		ekonomisti	5
		pravnici	3
		ostali	65

		ukupno:	100
2. Održavanje	ukupno:		120

	UKUPNO:		220

ORGANIZACIJA ODRŽAVANJA:

Grad Budimpešta je u pogledu održavanja funkcionalnog i dekorativnog javnog osvetljenja podeljen na 4 prostorne celine:

- North Budapest
- Downtown
- South Pest
- South Buda

POSLOVNI PROSTOR:

1 centralna zgrada za upravu, 3 pogona, 1 zajednički centralni magacin.

MEHANIZACIJA:

14 putničkih kola,
20 kamiona,
25 hidrauličkih dizalica do 18 metara.

STRUKTURA KAPITALA:

50% Elektrodistribucija Budimpešte,
50% Gradska uprava Budimpešte.

PRAG

Citelum

SVETILJKE : funkcionalno javno osvetljenje	126.000
dekorativno javno osvetljenje	2.000

UKUPNO	128.000

DELATNOSTI:

- održavanje funkcionalnog javnog osvetljenja na teritoriji grada,
- održavanje dekorativnog javnog osvetljenja na teritoriji grada,
- izdavanje tehničkih uslova za izradu projekata funkcionalnog i dekorativnog javnog osvetljenja,
- nadzor nad izvođenjem objekata funkcionalnog i dekorativnog javnog osvetljenja,
- projektovanje funkcionalnog i dekorativnog javnog osvetljenja.

ZAPOSLENI:

1. Upravljanje, projektovanje i ostali inženjerski poslovi: 43 osobe
 2. Održavanje (preventiva, intervencije i izviđanje): 71 osoba
- Ukupno: 114 osoba

PARIZ

Citelum

SVETILJKE:	ulično osvetljenje	kom. 110.000
	tunelsko osvetljenje i	
	osvetljenje autoputeva	kom. 30.000
	osvetljenje parkova i	
	vrtova	kom. 6.000
	dekorativno osvetljenje	kom. 15.000
	ostalo	kom. 5.000

	Ukupno:	kom. 166.000

DELATNOSTI:

- održavanje funkcionalnog javnog osvetljenja na teritoriji grada (9 gradskih arondismana),
- održavanje dekorativnog javnog osvetljenja na teritoriji grada,
- izdavanje tehničkih uslova za izradu projekata funkcionalnog i dekorativnog javnog osvetljenja,
- nadzor nad izvođenjem objekata funkcionalnog i dekorativnog javnog osvetljenja,
- projektovanje funkcionalnog i dekorativnog javnog osvetljenja.

ZAPOSLENI:

1. Upravljanje, projektovanje i ostali inženjerski poslovi: 27 osoba
2. Održavanje (preventiva, intervencije i izviđanje): 117 osoba

UKUPNO: 144 osobe

Number of light points		PARIS	PRAGUE
Streets		110.000	
Tunnels and expressways		30.000	
Parks and Gardens		6.000	
Total Street light points		146.000	126.000
Decorative Lighting		15.000	2.035
Other light points		5.000	
TOTAL		166.000	128.035

Note : The Prague contract also includes:

Clocks on Street light poles		435
Clocks on towers		57
Urban furniture (type JC Decaux)		316

Total employees :

Management, Engineering and design	27	43
Renovation works, other than maintenance	5	
Maintenance (preventative and corrective, inspections,...)	112	71
TOTAL	144	114

Note : part of the renovation works in Prague are subcontracted, I do not have detailed data about that part

Trucks and vehicles :

Elevators	12	17
Crane Trucks	2	
Specially equipped trucks (defaults detection,...)	3	
Note : All of the electrical network in Paris is underground)		
Light trucks		5
Light vehicles (Directors, Supervisors, Commercial team,...)	38	35
TOTAL	55	57

Notes : In Paris, each light point is inspected visually every 2 weeks

In Prague, each light point is inspected visually every 5 weeks

The default rate in Paris is, according to the latest statistics, 0,35%, for defaults other than vandalism or electrical supply problems

City of Paris : Street Lighting Operation Data

Number of light points

Street light points	110 000
Tunnels and expressways	30 000
Parks and Gardens	6 000
Decorative Lighting	15 000
Others	5 000
TOTAL	166 000

Total employees :

Engineering and design	27
Renovation works, other than maintenance	5
Maintenance (preventative and corrective, inspections,...)	112
TOTAL	144

Trucks and vehicles :

Elevators	12
Crane Trucks	2
Specially equipped trucks (defaults detection,...)	3
<i>Note : All of the electrical network in Paris is underground)</i>	
Light vehicles (Directors, Supervisors, Commercial team,...)	38
<i>Note : There are several persons in charge of maintaining relationships with the 20 local subdistricts in Paris</i>	

Sledeća tabela pregledno pokazuje relevantne podatke koji se odnose na pogone javnog osvetljenja evropskih gradova Budimpešte, Praga i Pariza. Ovi podaci mogu da posluže da se na kraju sprovedene analize izvrši komparacija predloženih i evropskih rešenja.

	Budimpešta	Prag	Pariz
Broj svetiljki funkcionalnog i dekorativnog javnog osvetljenja	190.000	128.000	166.000
Ukupan broj zaposlenih	220 projektovanje i upravljanje: 100; održavanje: 120	114 projektovanje i upravljanje: 43; održavanje: 71	144 projektovanje i upravljanje: 27; održavanje: 117
Broj putničkih vozila	14	35	38
Broj kamiona	20	5	5
Broj hidrauličkih dizalica	25	17	12

Iz tabela u kojima je prikazana rekapitulacija predloženog broja i strukture zaposlenih (poglavlje 2.6) može da se vidi da je za realizaciju svih pobrojanih delatnosti preduzeća za održavanje javnog osvetljenja u Beogradu neophodno da broj zaposlenih iznosi 106. Ako se uzme u obzir da su za funkciju izvođenja radova, koja ne spada u aktivnosti pogona javnog osvetljenja evropskih gradova sa kojima se vrši poređenje, predviđena 27 izvršioca, ukupan broj „tehničkih“ izvršilaca za komparaciju iznosi

$$106-27=79.$$

Ovom broju svakako treba dodati još oko 10 osoba koje je neophodno zaposliti za obavljanje finansijsko-pravnih i ostalih neophodnih aktivnosti.

Imajući u vidu da ukupan broj svetiljki u gradskim opštinama sa kojima je vršena analiza iznosi oko 90.000, može da se zaključi da je, srazmerno posmatrano, predviđeni broj zaposlenih za oko 15% manji nego u Budimpešti i za oko 15% veći nego u Pragu ili Parizu.

Predviđeni broj vozila sa hidrauličkim platformama (bez onih koja su predviđena za izvođenje radova) iznosi 17. Ovaj broj je srazmerno veći od trenutnog broja takvih vozila u Budimpešti, Pragu i Parizu, što je posledica činjenice da je preduzeće za održavanje javnog osvetljenja u gradu podeljeno na 3 posebne službe.

Literatura

[1] Miomir Kostić, Lidija Đokić i Nedžad Hadžiefendić „Tehno-ekonomsko poređenje ankerisanih farbanih i toplo pocinkovanih čeličnih stubova koji se koriste u javnom osvetljenju“, Investitor: EDB, 2004.

[2] Miomir Kostić, Lidija Đokić i Nedžad Hadžiefendić „Rekonstrukcija organizacione šeme tehničke strukture Pogona javnog osvetljenja u gradskim i prigradskim opštinama grada Beograda“, Investitor: EDB, 2005.

7. Izbor svetlotehničke klase saobraćajnice i određivanje fotometrijskih zahteva koje njeno osvetljenje treba da ispuni

7.1. Svetlotehničke klase puteva za motorni i mešoviti saobraćaj (prema CIE 115[1])

Prema važećoj preporuci CIE 115, sve saobraćajnice za motorni i mešoviti saobraćaj svrstane su u pet svetlotehničkih klasa, M1 do M5, a u zavisnosti od kategorije puta i gustine i složenosti saobraćaja, kao i od postojanja sredstava za kontrolu saobraćaja (semafora, saobraćajnih znakova, oznaka na putu, potrebne saobraćajne regulative) i sredstava za odvajanje pojedinih učesnika u saobraćaju. U tabeli 1 dati su tipični primeri saobraćajnica koje pripadaju pojedinim svetlotehničkim klasama. Prateći opisi, koji su dati samo u osnovnim crtama, treba da olakšaju klasifikaciju stvarnih puteva. U tom procesu treba razmatrati sve učesnike u saobraćaju: vozače motornih vozila, motocikliste, bicikliste i pešake.

Tabela 1. Svetlotehničke klase različitih tipova puteva za motorni i mešoviti saobraćaj (prema CIE 115)

Opis puta	Svetlotehnička klasa
Putevi velikih brzina sa odvojenim kolovozima, bez raskrsnica u nivou i sa potpunom kontrolom priključaka i odvojaka, autoputevi, ekspresni putevi. Gustina saobraćaja i složenost trase puta (1. napomena): Velika Srednja Mala	 M1 M2 M3
Putevi velikih brzina sa kolovozom za dva smera vožnje. Upravljanje saobraćajem (2. napomena) i odvajanje (3. napomena) raznih učesnika u saobraćaju (4. napomena): Loše Dobro	 M1 M2
Važne gradske saobraćajnice: gradske arterije i glavni oblasni putevi. Upravljanje saobraćajem i odvajanje raznih učesnika u saobraćaju: Loše Dobro	 M2 M3
Sabirne ulice manjeg značaja, lokalne saobraćajnice, glavni putevi za prilaz naselju. Ulice koje obezbeđuju direktan pristup posedima i izlaze na sabirne ulice. Upravljanje saobraćajem i odvajanje pojedinih učesnika u saobraćaju: Loše Dobro	 M4 M5

NAPOMENA 1: Složenost trase puta se odnosi na infrastrukturu, kretanje saobraćaja i vizuelno okruženje.

Faktori koje treba razmatrati su:

- broj traka i nagibi, i
- znaci i semafori.

Ulazne i izlazne rampe, ulivanje saobraćajnih tokova, trougaona ostrva i tome slično, takođe se moraju uzeti u obzir.

NAPOMENA 2: Upravljanje saobraćajem se odnosi na postojanje semafora, saobraćajnih znakova, oznaka na kolovozu i saobraćajnih propisa. Kada ih nema ili su retki, upravljanje saobraćajem se smatra lošim i obrnuto.

NAPOMENA 3: Odvajanje pojedinih učesnika u saobraćaju se obavlja trakama posebne namene ili ograničavanjem jednog ili više vidova saobraćaja.

NAPOMENA 4: Razni korisnici puta (učesnici u saobraćaju) su vozači automobila, kamiona, autobusa i sporih vozila, kao i motociklisti, biciklisti i pešaci.

Napomenimo da u slučaju privremene promene svetlotehničke klase saobraćajnice (do koje najčešće dolazi usled značajnije promene gustine saobraćaja ili sjajnosti okoline u kasnim noćnim satima), prelazak iz jedne klase u drugu podrazumeva ispunjavanje svih zahteva koji važe za klasu u koju se privremeno prelazi.

Tabela 2, preuzeta iz CIE 115, omogućava da se po svrstavanju posmatranog puta za motorni ili mešoviti saobraćaj u neku od napred definisanih svetlotehničkih klasa (M1 do M5) odrede one granične vrednosti relevantnih svetlotehničkih parametara koje obezbeđuju dobru vidljivost i zadovoljavajući vidni komfor.

Tabela 2. Svetlotehnički zahtevi za puteve za motorni i mešoviti saobraćaj (NZ znači: nema zahteva)

Svetlo- tehnička klasa	Područje primene				
	Svi putevi	Svi putevi	Svi putevi	Putevi sa malo raskrsnica ili bez njih	Putevi sa neosvetljenim pešačkim stazama (staze-putevi P1-P4 iz poglavlja 7.3)
	L_{sr} (cd/m ²) min. (pogonska vrednost)	U_o min.	TI(%) max. (početna vrednost)	U_1 min.	SR min.
M1	2.0	0.4	10	0.7	0.5
M2	1.5	0.4	10	0.7	0.5
M3	1.0	0.4	10	0.5	0.5
M4	0.75	0.4	15	NZ	NZ
M5	0.5	0.4	15	NZ	NZ

U tabeli 2 za svaku svetlotehničku klasu date su minimalne zahtevane vrednosti nivoa, odnosno srednje sjajnosti kolovoza (L_{sr}), opšte i podužne ravnomernosti sjajnosti (redom U_o i U_1) i koeficijenta okruženja (SR), kao i maksimalna dozvoljena vrednost relativnog porasta praga (TI). Pri tome se pod srednjom sjajnošću podrazumeva njena pogonska vrednost (dobijena množenjem početne vrednosti i faktora održavanja), dok se relativni porast praga odnosi na najkritičniji slučaj, odnosno slučaj koji se ima pri početnim uslovima, kada je vrednost parametra TI maksimalna.

Napomenimo da tabela 2 važi samo za suve puteve. U zemljama u kojima je kolovoz vlažan u toku značajnijeg dela godine, potrebno je da se pri projektovanju instalacija osvetljenja puteva vodi računa i o uslovima koje definiše vlažan kolovoz. Tu se pre svega misli na činjenicu da kod vlažnog kolovoza preovladava usmerena refleksija, usled čega se značajno smanjuje opšta ravnomernost sjajnosti.

Saglasno preporuci CIE 47[2], kod ovakvih kolovoza je potrebno pretpostaviti klasu W_4 vlažnog kolovoza i korišćenjem njene standardne r - tabele (date u poglavlju 7.7 reference 3) izračunati opštu ravnomernost sjajnosti (U_o) za izabranu svetiljku i postojeću geometriju uređaja za osvetljenje. Praksa je pokazala da ukoliko je u ovom slučaju ispunjen uslov $U_o \geq 0.15$, može da se smatra da opšta ravnomernost sjajnosti posmatrane površine kolovoza zadovoljava i u vlažnim uslovima.

7.2. Osvetljenje rizičnih područja (prema CIE 115)

Rizična područja se pojavljuju svuda gde se ukrštaju trase vozila, gde one zalaze u područja sa puno pešaka i/ili biciklista, kao i na mestima na kojima postojeći put prelazi u deonicu nestandardne geometrije (manji broj saobraćajnih traka, manja širina traka i tome slično). U ovim područjima se povećava verovatnoća saobraćajnih udesa svih vrsta.

Jedna od uloga osvetljenja puteva je da ukaže na postojanje rizičnog područja i omogući da se jasno uoče ivičnjaci i oznake na putu, njegova trasa, prisustvo ostalih vozila, biciklista i pešaka, kao i da se jasno lociraju eventualne prepreke. Ako ne postoji osvetljenje puta koji vodi ka rizičnom području ili iz njega, treba ga izvesti u skladu sa podacima datim u tabelama 1 i 2, i to na deonici čija dužina treba da obezbedi vožnju u trajanju od najmanje 5 s, a pri brzini saobraćaja koja je predviđena za tu deonicu (na primer, brzini od 80 km/h odgovara dužina deonice od najmanje 110 m).

Gde god je moguće, osvetljenje samog rizičnog područja treba projektovati primenom kriterijuma sjajnosti, koji se koristi za saobraćajnice za motorni i mešoviti saobraćaj. Pri tome, svetlotehnička klasa rizičnog područja treba da bude za jedan stepen veća od najveće svetlotehničke klase puteva koji vode u rizično područje (na primer, treba usvojiti klasu M2 umesto klase M3). Jedino ako neki od prilaznih puteva ima klasu M1, ona ostaje ista i za rizično područje.

U slučaju kratkih deonica, odnosno kratkih vidnih rastojanja, kao i u slučaju postojanja drugih faktora koji onemogućavaju primenu kriterijuma sjajnosti (npr. česte promene položaja vozača, odnosno tačke posmatranja), u jednom delu ili na celom rizičnom području treba primeniti kriterijum osvetljenosti, na osnovu koga je izrađena tabela 3. U njoj je sa E_{sr} označena minimalna zahtevana pogonska vrednost nivoa, odnosno srednje horizontalne osvetljenosti cele površine koju koriste vozila, biciklisti i pešaci (nju čine kolovoz i, ako ih ima, pešačke i biciklističke staze). Sa $U_o(E)$ označena je minimalna zahtevana vrednost opšte ravnomernosti (horizontalne) osvetljenosti, koja se definiše analogno opštoj ravnomernosti sjajnosti.

Pri primeni kriterijuma osvetljenosti, treba se držati pravila da ni u jednom delu rizičnog područja srednja osvetljenost ne sme da bude manja od najveće srednje osvetljenosti puteva koji ulaze u njega. Da bi ono bilo ispunjeno, dovoljno je koristiti tabelu 4, u kojoj su definisane svetlotehničke klase saobraćajnica koje počivaju na kriterijumu osvetljenosti (klase tipa C). One su za pojedina rizična područja date u funkciji svetlotehničkih klasa (tipa M) najvažnijih puteva koji vode do rizičnog područja (na primer, ako je najvažniji put koji ulazi u rizično područje tipa M4, njemu, u skladu sa zahtevima navedenim u tabeli 4, odgovara jedna od klasa C4 ili C3).

Tabela 3. Svetlotehnički zahtevi za rizična područja kod kojih se primenjuje kriterijum osvetljenosti

Svetlotehnička klasa	$E_{sr}(lx)$ na celoj korišćenoj površini pogonski minimum	$U_o(E)$ Opšta ravnomernost osvetljenosti minimum
C0	50	0.40
C1	30	0.40
C2	20	0.40
C3	15	0.40
C4	10	0.40
C5	7.5	0.40

Tabela 4. Primeri određivanja svetlotehničke klase rizičnog područja (klase tipa C)

Rizično područje	Svetlotehnička klasa prema kriterijumu osvetljenosti
Podvoznjaci	C (N) = M (N)
Ukrštanja, trougaona ostrva, rampe, deonice koje se prepliću, područja sa voznim trakama manje širine	C (N-1) = M (N)
Ukrštanje pruge i puta: prosto složeno	C (N) = M (N) C (N-1) = M (N)
Neregulisana raskrsnica sa kružnim tokom: složena ili prostrana srednje složenosti prosta ili mala	C1 C2 C3
Prostori u kojima se obrazuju redovi vozila: složeni ili prostrani srednje složeni prosti ili mali	C1 C3 C5

Napomenimo da upotreba relativnog porasta praga (TI) za kvantitativno vrednovanje snošljivosti fiziološkog blještanja u rizičnim područjima često nije moguća (zbog nemogućnosti izračunavanja srednje sjajnosti kolovoza). Zbog toga se u ovakvim slučajevima preporučuje primena sledećeg kriterijuma: fiziološko blještanje je u granicama prihvatljivog ako svetlosni intenziteti u pravcima koji su određeni uglovima $\gamma = 80^\circ$ i $\gamma = 90^\circ$ (u odnosu na vertikalu okrenutu naniže) nisu redom veći od 30 cd/klm i 10 cd/klm, i to u svim ravnima iz kojih vozač može da vidi svetiljku.

7.3. Osvetljenje puteva za pešački saobraćaj (prema CIE 115)

U ovu grupu puteva spadaju saobraćajnice koje su namenjene bilo isključivo pešačkom saobraćaju, bilo kombinovanom saobraćaju pešaka i sporih vozila bez motornog pogona ili motornih vozila sa veoma malom brzinom vožnje. Zbog toga su za ovakve saobraćajnice definisani posebni svetlotehnički kriterijumi, koji se pre svega zasnivaju na potrebama pešaka.

Kao što je poznato, vidni zadaci i potrebe pešaka u mnogo čemu se razlikuju od onih koje imaju vozači. Brzina kretanja pešaka je mnogo manja i oni su usredsređeni na objekte koji su u njihovoj neposrednoj blizini. Dok vozači objekte na putu vide kao tamne siluete, dotle pešaci obraćaju pažnju kako na teksturu, tako i na izgled površine svakog objekta koji susreću na putu ili pešačkoj stazi. Zbog svega ovoga, svetlotehnički kriterijumi koji se odnose na pešački saobraćaj posebno se definišu.

Što se tiče ulica u stambenim naseljima, njihovim pravilnim osvetljavanjem treba postići prijatan osećaj pešaka i istovremeno obeshrabriti izvršioce kriminalnih dela. Brojne studije (npr. [4-6]) pokazale su da je nakon instaliranja ili rekonstrukcije, odnosno poboljšanja osvetljenja ulica u stambenim naseljima, dolazilo do primetnog smanjenja kriminalnih radnji uperenih protiv ljudi i njihove imovine, kao i do preseljavanja kriminala u susedna područja. Treba naglasiti i da dobro osvetljene ulice smanjuju strah od kriminala, koji može da bude poguban kao i sam kriminal. Ovaj strah negativno utiče na moral stanovnika nekog kraja i odvraća ih da noću izlaze iz svojih kuća. Uz to, manji broj ljudi na ulicama pruža kriminalcima više povoljnih prilika, jer ima manje osoba koje mogu da ih vide ili spreče.

Shodno napred rečenom, osvetljenje puteva za pešački saobraćaj treba da omogući pešacima da uoče prepreke i druge opasnosti na putu, kao i da budu svesni kretanja ostalih pešaka u njihovoj blizini. Zbog toga je potrebno ne samo obezbediti dovoljnu srednju vrednost i ravnomernost horizontalne osvetljenosti, koje se računaju na nivou tla, i to za celu površinu koja se koristi (a koja uglavnom obuhvata pešačke staze i kolovoz), nego i postići potrebnu raspodelu vertikalne osvetljenosti, koja će omogućiti da okolni pešaci mogu da se prepoznaju i da se predupredi eventualan agresivni napad. Pošto se kriterijum vertikalne osvetljenosti pokazao nepraktičnim (zbog velikog broja vertikalnih ravni koje treba uzeti u obzir u svakoj mernoj tački), napravljen je pokušaj da se kvantitativna procena zasnuje na vrednosti polucilindrične osvetljenosti. Iako su istraživanja u ovoj oblasti još uvek u toku, može da se koristi kriterijum da minimalna vrednost polucilindrične osvetljenosti u tačkama koje su u visini lica pešaka ne treba da bude manja od 1 lx za oblasti koje se ne mogu smatrati bezbednim (tada se lice drugog pešaka može prepoznati sa rastojanja od oko 5 m, koje se smatra dovoljnim za izbegavanje napada ili preduzimanje odbrambene akcije). U bezbednim oblastima minimalna vrednost polucilindrične osvetljenosti može da bude manja (0.5 lx za ulice sa većom gustinom pešaka, odnosno 0.3 lx za ulice u mirnijim krajevima).

Iako je fiziološko blještanje mnogo manje kritično za pešake nego za vozače (pešaci se kreću mnogo sporije, pa imaju mnogo više vremena da se adaptiraju na eventualne promene sjajnosti, usled čega se smanjuje verovatnoća da budu tako

zaslepljeni da dođe do sudara sa nekom preprekom na putu kojim se kreću), o njemu svakako treba voditi računa.

Pošto ne postoji međunarodno prihvaćen kriterijum za kontrolu snošljivosti fiziološkog blještanja u pešačkom saobraćaju, predlaže se, pre svega zbog jednostavne primene, primena kriterijuma koji je poznat kao UK Method. Prema njemu, svetiljke koje u donji poluprostor emituju 3.5 klm ili više, u pravcima koji su određeni uglovima $\gamma = 80^\circ$ i $\gamma = 90^\circ$ treba da imaju redom manje od 160 cd/klm i 80 cd/klm, nezavisno od ugla azimuta. Ukoliko je fluks koji svetiljka emituje u donji poluprostor manji od 3.5 klm, ne uvode se nikakva ograničenja.

Može se generalno reći da osvetljavanje vertikalnih površina (fasada) okolnih objekata treba ograničiti, jer ono s jedne strane predstavlja nepotrebno rasipanje energije, a s druge oblik "svetlosnog zagađenja", jer može uzrokovati nepotreban i neželjen prodor svetlosti u okolne stanove, a u pojedinim slučajevima i blještanje koje stanari mogu da osećaju gledajući kroz prozor.

Recimo nešto i o preporukama u vezi sa bojom izvora svetlosti koji se koriste za osvetljavanje ulica stambenih naselja. Naime, naši stanovi su uglavnom osvetljeni primenom izvora svetlosti sa užarenom niti, koje karakteriše topla boja svetlosti ($T \approx 2750$ K). Da bi se postigla usaglašenost boja svetlosti u okviru celog ambijenta (koji čine naši stanovi i ulice), poželjno je da se za osvetljavanje ulica koriste izvori svetlosti čija je temperatura boje približno ista sa temperaturom boje izvora svetlosti sa užarenom niti. Iako postoje živini izvori svetlosti sa temperaturom boje od 3300 K, njihov spektar se veoma razlikuje od spektra inkandescentnih izvora. Zbog toga se preporučuju ili metal-halogeni izvori sa keramičkim gorionikom ili kompaktni fluo izvori, i jedni i drugi tople boje svetlosti. Kompaktni fluo izvori se preporučuju za ulice sa nižom zahtevanom srednjom osvetljenošću, a veoma su pogodni zbog odsustva problema sa blještanjem.

Svetiljke koje se koriste za osvetljavanje šetališnih zona i ulica za pešački saobraćaj izrađuju se u najraznovrsnijim oblicima i pripadaju veoma različitim stilovima. Neke od njih se "nasađuju" na stubove, neke se montiraju pomoću konzola, ima ih koje se pričvršćuju na fasade objekata, kao i onih koje vise obešene o sajle, razapete između fasada naspramnih zgrada.

Visina montaže svetiljki uglavnom zavisi od veličine površine koju treba osvetliti. Nezavisno od toga da li su modernog dizajna ili po izgledu podsećaju na stare gasne svetiljke, ukoliko je neophodno da jedino osvetle putanju u svom neposrednom okruženju, visina njihove montaže treba da iznosi 3-5 m. Ako je potrebno osvetliti prostor veće površine, visina vešanja svetiljki može da iznosi do 8 m.

Svetiljke koje su konstruisane tako da mogu da se montiraju na fasade objekata predstavljaju rešenje u slučajevima kada treba osvetliti ulice u kojima nema mesta za postavljanje stubova, odnosno ulice u kojima bi stubovi narušili postojeći ambijent, koji najčešće čine istorijski i/ili arhitektonski vredni objekti. Za potrebe ovih drugih konstruisane su najraznovrsnije svetiljke u obliku fenjera, tako da je relativno jednostavno izabrati onu koja se harmonično uklapa u eksterijer.

U slučajevima kada treba izbeći postavljanje stubova, a ni fasadne svetiljke ne bi predstavljale odgovarajuće rešenje, treba razmotriti upotrebu visećih svetiljki, obešenih o odgovarajuće sajle. One mogu da stvore utisak svetlećeg krova i da doprinesu

stvaranju intimnog raspoloženja.

Da bi se pojednostavilo definisanje svetlotehničkih zahteva za mnoštvo različitih saobraćajnica za pešački saobraćaj, izvršena je njihova klasifikacija, prikazana u tabeli 5. Uvedeno je sedam svetlotehničkih klasa (P1 do P7). Klasa P1 se odnosi na ulice sa atraktivnim stambenim i drugim objektima, pa se za nju predviđa visoka srednja osvetljenost, neophodna da se istakne atraktivnost celog ambijenta. Preostalih šest klasa je stepenovano prema broju pešaka i biciklista u noćnim satima, kao i prema potrebi da se očuva karakter celog ambijenta. Klase P5, P6 i P7 mogu da se koriste samo ako je zanemarljiv rizik od pojave kriminala. Ukoliko je velika verovatnoća izvršenja kriminalnih dela, potrebno je usvojiti za jedan ili čak za dva stepena višu klasu (na primer, P4 ili čak P3, umesto P5).

U tabeli 6 dati su svetlotehnički zahtevi koje treba da ispuni osvetljenje svake od prvih šest klasa. Oni se odnose kako na pogonsku vrednost srednje horizontalne osvetljenosti cele površine koja se koristi, a sastoji se od površine kolovoza i, ako ih ima, pešačkih i biciklističkih staza, tako i na pogonsku vrednost minimalne horizontalne osvetljenosti te površine. Za klasu P7 je jedino važno da svetli delovi svih svetiljki budu vidljivi, kako bi se postiglo efikasno vizuelno vođenje.

Tabela 5. Svetlotehničke klase za različite tipove puteva u pešačkim zonama

Opis puta	Svetlotehnička klasa
Ulice sa atraktivnim stambenim i drugim sadržajima.	P1
Veliki broj pešaka ili biciklista u noćnim satima.	P2
Umeren broj pešaka ili biciklista noću.	P3
Malobrojni pešaci ili biciklisti noću, isključivo sa susednih imanja.	P4
Malobrojni pešaci ili biciklisti noću, isključivo sa susednih imanja. Važno je sačuvati seoski ili arhitektonski karakter ambijenta.	P5
Veoma mali broj pešaka ili biciklista noću, isključivo sa susednih imanja. Važno je sačuvati seoski ili arhitektonski karakter ambijenta.	P6
Putevi na kojima se zahteva samo vizuelno vođenje koje potiče od direktne svetlosti svetiljki.	P7

Tabela 6. Svetlotehnički zahtevi za puteve sa pešačkim saobraćajem

Svetlotehnička klasa	Horizontalna osvetljenost (lx) na celoj površini (pogonska vrednost)	
	Srednja	Minimalna
P1	20	7.5
P2	10	3
P3	7.5	1.5
P4	5	1
P5	3	0.6
P6	1.5	0.2
P7	Ne primenjuje se	Ne primenjuje se

7.4. Određivanje svetlotehničke klase saobraćajnice prema standardu EN 13201[7]

Određivanje svetlotehničke klase saobraćajnice primenom neke od tabela 1, 3 i 5 skopčano je sa dosta teškoća, jer je, s jedne strane, broj uticajnih faktora mali, a s druge, nisu definisani kvantitativni kriterijumi koji bi subjektivnu procenu projektanta učinili prihvatljivom. Na primer, iz tabele 1 proizilazi da putevi velikih brzina sa odvojenim kolovozima, bez raskrsnica i sa potpunom kontrolom priključaka i odvojaka, mogu imati svetlotehničku klasu M1, M2 ili M3, što zavisi od gustine saobraćaja i složenosti trase puta. Pri tome, ovi parametri se posmatraju kao jedinstven uticajni faktor, čije su kvalitativne (opisne) odrednice: velika, srednja i mala (nikakve kvantitativne (brojne) odrednice nisu definisane).

Evropski standard EN 13201 uvažava uticaj većeg broja faktora, sa kvantitativnim kriterijumima koji se odnose na neke od najvažnijih među njima. Da bi se predstavio algoritam za određivanje svetlotehničke klase saobraćajnice prikazan u ovom standardu, neophodno je da se najpre definišu najvažniji pojmovi koji se u njemu koriste.

Tip učesnika: Kategorija vozila ili osoba koje koriste posmatranu javnu saobraćajnicu. To mogu da budu:

Motorna vozila: Sva vozila na motorni pogon osim sporih vozila.

Spora vozila: Vozila na motorni pogon, zaprežna vozila i ljudi koji jašu životinje, sa ograničenjem brzine do 40 km/h (u nekim zemljama ovo ograničenje iznosi 50 km/h).

Ljudi koji koriste vozila na pedale: Biciklisti ili motociklisti, sa ograničenjem brzine do 50 km/h (u nekim zemljama ovo ograničenje iznosi 40 km/h).

Pešaci: Pešaci ili osobe u invalidskim kolicima.

Tipična brzina glavnog učesnika: Procenjena brzina glavnog učesnika u saobraćaju u relevantnoj oblasti. Za potrebe osvetljenja dovoljna je gruba kategorizacija, tako da se brzina ne meri, nego procenjuje (procenu vrše saobraćajne vlasti). U slučajevima kada je glavni učesnik kombinacija motornih vozila i jednog ili više ostalih tipova učesnika, motorna vozila predstavljaju glavnog učesnika.

Relevantna oblast: Relevantni deo javne saobraćajne površine.

Konfliktna oblast: Relevantna oblast u kojoj se tokovi motornog saobraćaja međusobno ukrštaju ili preklapaju sa tokovima ostalih tipova saobraćaja.

Petlja: Ukrštanje puteva po nivoima, sa jednim ili više odvojaka za prelazak sa jednog puta (nivoa) na drugi.

Raskrsnica: Mesto gde se dva ili više puteva spajaju ili seku u istom nivou. Pored puteva, raskrsnica uključuje i njihovo neposredno okruženje namenjeno saobraćaju.

Protok saobraćaja: Broj vozila koja prođu pored zadate tačke u zadatom vremenskom intervalu u oba smera. U slučaju saobraćajnica sa posebnim kolovozom za svaki smer kretanja vozila i centralnim nevoznim pojasom u okviru koga ne postoji nikakav pešački i ostali saobraćaj, broje se samo vozila koja se kreću u istom smeru.

Težina navigacionog zadatka: Step en napora koji učesnik u saobraćaju mora da učini da bi izabrao željeni put i saobraćajnu traku, ili da bi održao ili promenio brzinu i poziciju na kolovozu. On zavisi od raspoloživih saobraćajnih informacija, u koje spada i vizuelno vođenje koje je obezbeđeno na putu.

Rizik od kriminala: Rizik od izloženosti kriminalu u posmatranoj saobraćajnoj oblasti, upoređen sa rizikom od izloženosti kriminalu u široj oblasti. Ovaj podatak je zasnovan na dokumentaciji kriminalističke statistike.

Složenost vidnog polja: Određuju je vizuelni elementi u vidnom polju učesnika u saobraćaju koji odvlače pažnju, utiču na pogrešnu orijentaciju i smetaju učesnicima u saobraćaju (reklame, dekorativno osvetljene zgrade, osvetljenje sportskih terena i slično). Iako vizuelno vođenje može da bude odgovarajuće, ovakvi vizuelni elementi mogu da izazovu probleme u vezi sa blagovremenim uočavanjem prioriternih objekata, kakve predstavljaju semafori i drugi učesnici u saobraćaju koji, na primer, menjaju pravac kretanja.

Sjajnost okruženja: Procenjen nivo sjajnosti okoline.

Glavni klimatski tip: Klimatski uslovi koji preovlađuju tokom godine.

7.5. Izbor svetlotehničke klase prema EN 13201 – osnovne postavke

Izbor svetlotehničke klase vrši se na sledeći način: najpre se iz tabele 7, a na osnovu tzv. baznih parametara (tipične brzine glavnog učesnika u saobraćaju i tipova svih učesnika u saobraćaju u istoj relevantnoj oblasti) određuje odgovarajuća situacija osvetljenja. Zatim se na osnovu izabrane situacije osvetljenja i specifičnih parametara vrši izbor svetlotehničke klase.

Specifični parametri i njihove moguće opcije prikazani su u tabeli 8.

Specifični parametri mogu da imaju različite vrednosti u toku noći ili u različitim godišnjim dobima (naročito protok saobraćaja i osvetljenost (sjajnost) okruženja). Zbog toga može da se dogodi da za različite periode treba usvojiti različite svetlotehničke klase. U periodima kojima odgovara niža svetlotehnička klasa potreban je niži nivo sjajnosti (osvetljenosti), što stvara uslove za uštede električne energije.

Relevantna oblast zavisi od izabrane situacije osvetljenja. U tekstu koji sledi ona je određena za najčešće saobraćajnice za motorni i mešoviti saobraćaj.

Tabela 7. Skup različitih situacija osvetljenja

Tipična brzina glavnog učesnika (km/h)	Tipovi učesnika u istoj relevantnoj oblasti			Situacija osvetljenja
	Glavni učesnik	Ostali mogući učesnici	Isključeni učesnici	
>60	Motorna vozila		Spora vozila Vozila na pedale Pešaci	A1
		Spora vozila	Vozila na pedale Pešaci	A2
		Spora vozila Vozila na pedale Pešaci		A3
>30 i ≤60	Motorna vozila Spora vozila	Vozila na pedale Pešaci		B1
	Motorna vozila Spora vozila Vozila na pedale	Pešaci		B2
	Vozila na pedale	Pešaci	Motorna vozila Spora vozila	C1
>5 i ≤30	Motorna vozila Pešaci		Spora vozila Vozila na pedale	D1
		Spora vozila Vozila na pedale		D2
	Motorna vozila Vozila na pedale	Spora vozila Pešaci		D3
	Motorna vozila Spora vozila Vozila na pedale Pešaci			D4
Brzina hodanja	Pešaci		Motorna vozila Spora vozila Vozila na pedale	E1
		Motorna vozila Spora vozila Vozila na pedale		E2

Tabela 8. Specifični parametri i njihove opcije

Parametri		Opcije
Oblast u kojoj se saobraćajnica nalazi, kao i njene konstruktivne i geometrijske karakteristike	Razdvojeni kolovozi	Da Ne
	Tip ukrštanja	Petlje Raskrsnice
	Rastojanje između petlji (rastojanje između mostova)	>3 km ≤3 km
	Gustina raskrsnica	<3 raskrsnice/km ≥3 raskrsnice/km
	Konfliktna oblast	Postoji Ne postoji
	Mere za usporavanje saobraćaja (“ležeći policajci”)	Ne postoje Postoje
Karakteristike saobraćajnice sa aspekta korisnika	Dnevni protok motornog saobraćaja (broj vozila)	<4000 4000 do 7000 7000 do 15000 15000 do 25000 25000 do 40000 >40000
	Gustina saobraćaja vozila na pedale	Normalna Velika
	Gustina pešačkog saobraćaja	Normalna Velika
	Težina navigacionog zadatka	Normalna Veća od normalne
	Parkirana vozila	Nisu prisutna Prisutna
	Prepoznavanje lica pešaka	Nepotrebno Potrebno
	Rizik od kriminala	Normalan Veći od normalnog
Uticaji okruženja i spoljašnji uticaji	Složenost vidnog polja	Normalna Velika
	Sjajnost okruženja	Ruralna oblast Urbana oblast Centar grada
	Glavni klimatski tip	Suva klima Vlažna klima

7.5.1. Relevantna oblast za situacije osvetljenja A1, A2 i A3

Ako ne postoje zaustavne trake, pešačke ili biciklističke staze koje se nalaze neposredno uz kolovoz, relevantna oblast je širina celog kolovoza između njegovih spoljnih ivica (ivičnjaka).

Kod puteva sa odvojenim kolovozima za svaki smer vožnje relevantna oblast obuhvata ukupnu širinu puta, koja uključuje i razdvojni (nevozni) pojas (izuzetak čine slučajevi kod kojih je širina razdvojnog pojasa toliko velika da saobraćajnice za svaki

smer vožnje mogu zasebno da se tretiraju (kao pri proračunu koeficijenta okruženja)).

Ako uz kolovoz postoje zaustavne trake, postoje dve mogućnosti:

- a) da se razmatra cela oblast, koju sačinjavaju ukupna širina kolovoza i zaustavne trake, i
- b) da se zasebno razmatra kolovoz, koji sačinjavaju samo vozne trake, a zasebno zaustavne trake.

Ako uz kolovoz postoje pešačke ili biciklističke staze, postoje dve mogućnosti:

- a) razmatra se cela oblast, koju sačinjavaju ukupna širina kolovoza i pešačke ili biciklističke staze, i
- b) zasebno se razmatra kolovoz, a zasebno pešačke ili biciklističke staze (oblast kolovoza je ukupna širina puta između njegovih ivičnjaka).

7.5.2. Relevantna oblast za situacije osvetljenja B1 i B2

Ako ne postoje pešačke ili biciklističke staze koje se nastavljaju na kolovoz, relevantnu oblast predstavlja kolovoz, odnosno površina puta između njegovih ivičnjaka.

Ako postoje susedne pešačke ili biciklističke staze, potrebno je posebno razmatrati kolovoz, a posebno ove staze. Ako postoje pešačke i biciklističke staze koje se nastavljaju jedna na drugu, one se tretiraju kao jedinstvena oblast (površina).

7.5.3. Relevantna oblast za konfliktne oblasti

Ako ne postoje susedne pešačke ili biciklističke staze, relevantnu oblast predstavlja kolovoz, odnosno površina puta između njegovih ivičnjaka. Ako je u određenim situacijama dozvoljeno da vozila prelaze preko centralnog ostrva kružnog toka ili raskrsnice, onda i ostrvo treba da bude uključeno u relevantnu oblast. Mora da se odredi granica između konfliktne oblasti i oblasti prilaznog puta.

Ako postoje susedne pešačke ili biciklističke staze, postoje dve mogućnosti:

- razmatra se cela oblast, pri čemu ona obuhvata ukupnu širinu kolovoza, bankine, pešačku i/ili biciklističku stazu, odnosno celu oblast oivičenu okolnim zgradama, i
- posebno se razmatra kolovoz, a posebno pešačka ili biciklistička staza.

7.5.4. Relevantna oblast u slučajevima kada postoje geometrijske mere za usporavanje saobraćaja

Relevantna oblast u ovakvim slučajevima je samo oblast u kojoj su primenjene ove mere. Granice relevantne oblasti određene su granicama prilaznih puteva.

U slučajevima kada postoje velika rastojanja između susednih geometrijskih mera ("ležećih policajaca"), trebalo bi zasebno razmatrati onoliko relevantnih oblasti koliko ima geometrijskih mera. Ukoliko su ova rastojanja mala, onda ceo kolovoz treba tretirati kao jednu relevantnu oblast, kojoj odgovara jedinstvena svetlotehnička klasa.

7.6. Izbor odgovarajuće svetlotehničke klase saobraćajnice i definisanje zahteva koje njeno osvetljenje treba da ispuni

U okviru skupa situacija osvetljenja A1, A2, A3, B1 i B2 vrši se izbor

svetlotehničke klase tipa ME (ME1 do ME6). Za situacije osvetljenja D1 i D2 vrši se izbor svetlotehničke klase tipa CE (CE0 do CE5), dok se za situacije osvetljenja C1, D3, D4, E1 i E2 vrši izbor svetlotehničke klase tipa S (S1 do S7).

ME klase se primenjuju kod puteva za motorni i mešoviti saobraćaj, na kojima su glavni učesnici u saobraćaju vozači motornih vozila.

Klase CE su takođe namenjene vozačima motornih vozila, ali se odnose na saobraćajnice u rizičnim područjima, kakva su područja u kojima ima puno pešaka i/ili biciklista, složenijih raskrsnica, kružnih tokova ili mesta na kojima postojeći put prelazi u deonicu nestandardne geometrije (npr. sa manjim brojem voznih traka).

Klase S se primenjuju kod površina na kojima su glavni učesnici u saobraćaju pešaci i vozila na pedale (pešačke i biciklističke staze, zaustavne trake, pešačke zone, parkinzi, školska dvorišta itd.).

Takođe su definisane i alternativne, odnosno dopunske klase A, ES i EV. U pojedinim zemljama klase A se primenjuju kao alternativa klasama S. Dopunske klase ES primenjuju se u situacijama u kojima javno osvetljenje treba da omogući identifikaciju osoba ili objekata, kao i u oblastima sa povećanim rizikom od kriminala. Dopunske klase EV primenjuju se u situacijama u kojima je potrebno osvetliti i vertikalne površine (naplatne rampe ili petlje, na primer).

Fotometrijski zahtevi koje treba da ispuni osvetljenje saobraćajnice određene svetlotehničke klase zavise od kategorije korisnika saobraćajnice i od tipa saobraćajne površine. Tako je kod ME klasa potrebno zadovoljiti zahteve u vezi sa srednjom pogonskom sjajnošću, opštom i podužnom ravnomernošću sjajnosti, relativnim porastom praga i koeficijentom okruženja. Kod CE i S klasa kriterijumi koje treba zadovoljiti odnose se na srednju horizontalnu osvetljenost i ravnomernost osvetljenosti, a kod A klasa na srednju i minimalnu polusferičnu osvetljenost. Kod ES klasa relevantna je minimalna polucilindrična osvetljenost, a kod EV klasa minimalna vertikalna osvetljenost. U tabelama 9 – 15 definisani su fotometrijski zahtevi koje treba da ispuni osvetljenje saobraćajnica pojedinih svetlotehničkih klasa. Napomenimo da se MEW klase odnose na saobraćajnice za motorni i mešoviti saobraćaj koje se nalaze u oblastima u kojima dominiraju vlažni klimatski uslovi.

Uzimanjem u obzir relevantnih parametara, korišćenjem tabela 16 – 25 može da se odredi svetlotehnička klasa posmatrane saobraćajnice tipa ME, CE ili S. Postupak je veoma jednostavan. Za svaku situaciju osvetljenja date su po dve tabele, **a** i **b**. Izbor odgovarajuće svetlotehničke klase vrši se tako što se na osnovu relevantnih parametara iz tabele **a** odredi opseg svetlotehničkih klasa koje mogu da odgovaraju datoj situaciji (dobijaju se 3 preporučene svetlotehničke klase). Na osnovu podataka iz tabele **b** vrši se izbor svetlotehničke klase, pri čemu strelica na levo pokazuje da treba izabrati klasu koja se nalazi na levoj strani izabranog opsega, strelica na desno da treba izabrati klasu koja se nalazi na njegovoj desnoj strani, a nula da treba izabrati svetlotehničku klasu koja se nalazi u sredini opsega izabranog u tabeli **a**.

Tabela 9. Fotometrijski zahtevi koji se odnose na svjetlotehničke klase tipa ME

Svjetloteh- nička klasa	Nivo sjajnosti i opšta i podužna ravnomernost sjajnosti za suve kolovozne površine			Fiziološko blještanje	Koeficijent okruženja
	L_{sr} u cd/m ² minimalno pogonsko	U_o minimalno	U_l minimalno	TI [%] ¹⁾ maksimalno početno	SR ²⁾ minimalno
ME1	2.0	0.4	0.7	10	0.5
ME2	1.5	0.4	0.7	10	0.5
ME3a	1.0	0.4	0.7	15	0.5
ME3b			0.6		
ME3c			0.5		
ME4a	0.75	0.4	0.6	15	0.5
ME4b			0.5		
ME5	0.5	0.35	0.4	15	0.5
ME6	0.3	0.35	0.4	15	-

¹⁾ Ako se koriste izvori svjetlosti malih sjajnosti (fluo cevi ili natrijumovi izvori niskog pritiska), maksimalne dozvoljene vrednosti za TI mogu da se povećaju za 5%.

²⁾ Ovaj kriterijum se primenjuje kada se za površine koje se nastavljaju na kolovoz ne primenjuju posebni kriterijumi.

Tabela 10. Fotometrijski zahtevi koji se odnose na svjetlotehničke klase tipa MEW

Svjetloteh- nička klasa	Nivo sjajnosti i opšta i podužna ravnomernost sjajnosti za kolovoze koji su tokom značajnog dela godine vlažni u noćnim satima				Fiziološko blještanje	Koeficijent okruženja
	Suv kolovoz			Vlažan kolovoz		
	L_{sr} u cd/m ² minimalno pogonsko	U_o minimalno	U_l ¹⁾ minimalno	U_o minimalno	TI [%] ²⁾ maksimalno početno	SR ³⁾ minimalno
MEW1	2.0	0.4	0.6	0.15	10	0.5
MEW2	1.5	0.4	0.6	0.15	10	0.5
MEW3	1.0	0.4	0.6	0.15	15	0.5
MEW4	0.75	0.4	/	0.15	15	0.5
MEW5	0.5	0.35	/	0.15	15	0.5

¹⁾ Primena ovog kriterijuma nije obavezna.

²⁾ Ako se koriste izvori svjetlosti malih sjajnosti (fluo cevi ili natrijumovi izvori niskog pritiska), maksimalne dozvoljene vrednosti za TI mogu da se povećaju za 5%.

³⁾ Ovaj kriterijum se primenjuje kada se za površine koje se nastavljaju na kolovoz ne primenjuju posebni kriterijumi.

Tabela 11. Fotometrijski zahtevi koji se odnose na svetlotehničke klase tipa CE

Svetlotehnička klasa	Nivo i ravnomernost horizontalne osvetljenosti	
	E_{sr} u lx minimalno pogonsko	U_o minimalno
CE0	50	0.4
CE1	30	0.4
CE2	20	0.4
CE3	15	0.4
CE4	10	0.4
CE5	7.5	0.4

Napomena: CE klase se uglavnom primenjuju tamo gde izračunavanje nivoa sjajnosti kolovoza nije moguće, odnosno nije praktično (ako je, na primer, rastojanje posmatrača od tačaka proračunskog polja manje od 60 m, ili ako postoji veliki broj relevantnih pozicija posmatrača).

Tabela 12. Fotometrijski zahtevi koji se odnose na svetlotehničke klase tipa S

Svetlotehnička klasa	Nivo i minimalna vrednost horizontalne osvetljenosti	
	E_{sr} u lx ¹⁾ minimalno pogonsko	E_{min} u lx pogonsko
S1	15	5
S2	10	3
S3	7.5	1.5
S4	5	1
S5	3	0.6
S6	2	0.6
S7	/	/
1) Da bi se obezbedila zadovoljavajuća ravnomernost osvetljenosti, stvarna vrednost E_{sr} ne sme da bude više od 50% veća od odgovarajuće vrednosti iz tabele.		

Tabela 13. Fotometrijski zahtevi koji se odnose na svetlotehničke klase tipa A

Svetlotehnička klasa	Nivo i ravnomernost polusferične osvetljenosti	
	E_{hs} u lx minimalno pogonsko	U_o minimalno
A1	5	0.15
A2	3	0.15
A3	2	0.15
A4	1.5	0.15
A5	1	0.15
A6	/	/

Tabela 14. Fotometrijski zahtevi koji se odnose na svetlotehničke klase tipa ES

Polucilindrična osvetljenost	
Svetlotehnička klasa	$E_{SC,min}$ u lx (pogonsko)
ES1	10
ES2	7.5
ES3	5
ES4	3
ES5	2
ES6	1.5
ES7	1
ES8	0.75
ES9	0.5

Tabela 15. Fotometrijski zahtevi koji se odnose na svetlotehničke klase tipa EV

Vertikalna osvetljenost	
Svetlotehnička klasa	$E_{v,min}$ u lx (pogonsko)
EV1	50
EV2	30
EV3	10
EV4	7.5
EV5	5
EV6	0.5

Tabela 16. Situacija osvetljenja A1

a) Preporučeni opseg svetlotehničkih klasa

Glavni klimatski tip	Razdvojeni kolovozi	Tip ukrštanja		Dnevni protok motornog saobraćaja								
		Petlje	Raskrsnice	<15000			15000 do 25000			>25000		
		Rastojanje između susednih petlji (razdaljina između mostova) (km)	Gustina raskrsnica (broj raskrsnica/km)									
		←	o	→	←	o	→	←	o	→		
Suva klima	Da	> 3		ME5	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2	ME4a	ME3a	ME2
		≤ 3		ME4a	ME3a	ME2	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1
			< 3	ME5	ME4a	ME3a	ME5	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2
			≥ 3	ME4a	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1
	Ne	> 3		ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1	ME3a	ME2	ME1
		≤ 3		ME3a	ME2	ME1	ME3a	ME2	ME1	ME2	ME2	ME1
			< 3	ME4a	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1
			≥ 3	ME4a	ME3a	ME2	ME3a	ME2	ME1	ME2	ME2	ME1
	Vlažna klima				Izbor je isti kao u gornjem delu tabele, samo važi za MEW klase.							

b) Izbor svetlotehničke klase iz preporučenog opsega

Konfliktna oblast	Složenost vidnog polja	Težina navigacionog zadatka	Sjajnost okruženja		
			niska	srednja	visoka
Ne postoji	Normalna	Normalna	←	←	o
		Veća od normalne	o	o	→
	Velika	Normalna	←	o	o
		Veća od normalne	o	→	→
Postoji			→ ¹⁾		

¹⁾Kada su u pitanju konfliktne oblasti, preporučuje se proračun sjajnosti. Međutim, ako iz bilo kog razloga nije moguće primeniti kriterijum sjajnosti, može da se primeni kriterijum osvetljenosti. U tom slučaju preporučenu ME klasu treba zameniti odgovaraiućom CE klasom (tabela 26).

Tabela 17. Situacija osvetljenja A2

a) Preporučeni opseg svetlotehničkih klasa

Glavni klimatski tip	Gustina raskrsnica (broj raskrsnica/km)	Dnevni protok motornog saobraćaja					
		<7000			≥ 7000		
		←	o	→	←	o	→
Suva klima	<3	ME5	ME5	ME4a	ME4a	ME3a	ME3a
	≥3	ME5	ME4a	ME3a	ME4a	ME3a	ME2
Vlažna klima		Izbor je isti kao u gornjem delu tabele, samo važi za MEW klase.					

b) Izbor svetlotehničke klase iz preporučenog opsega

Konfliktna oblast	Složenost vidnog polja	Težina navigacionog zadatka	Sjajnost okruženja		
			niska	srednja	visoka
Ne postoji	Normalna	Normalna	←	←	o
		Veća od normalne	o	o	→
	Velika	Normalna	←	o	o
		Veća od normalne	o	→	→
Postoji			→ ¹⁾		

¹⁾Kada su u pitanju konfliktne oblasti, preporučuje se proračun sjajnosti. Međutim, ako iz bilo kog razloga nije moguće primeniti kriterijum sjajnosti, može da se primeni kriterijum osvetljenosti. U tom slučaju preporučenu ME klasu treba zameniti odgovarajućom CE klasom (tabela 26).

Tabela 18. Situacija osvetljenja A3

a) Preporučeni opseg svetlotehničkih klasa

Glavni klimatski tip	Razdvojeni kolovozi	Gustina raskrsnica (broj raskrsnica/km)	Dnevni protok motornog saobraćaja												
			< 7 000			7000 do 15000			15000 do 25000			> 25000			
			←	0	→	←	0	→	←	0	→	←	0	→	
Suva klima	Da	< 3	ME5	ME5	ME4a	ME5	ME4a	ME5	ME4a	ME5	ME4a	ME5	ME4a	ME3b	ME3b
			ME5	ME4a	ME3b	ME5	ME4a	ME3b	ME5	ME4a	ME3b	ME5	ME4a	ME3b	ME2
	Ne	< 3	ME5	ME4a	ME3b	ME5	ME4a	ME3b	ME5	ME4a	ME3b	ME5	ME4a	ME3b	ME2
			ME5	ME4a	ME3b	ME5	ME4a	ME3b	ME5	ME4a	ME3b	ME5	ME4a	ME3b	ME2
Vlažna klima		≥ 3	ME4a	ME3b	ME3b	ME4a	ME3b	ME2	ME3b	ME4a	ME3b	ME2	ME3b	ME2	ME1
Izbor je isti kao u gornjem delu tabele, samo važi za MEW klase.															

b) Izbor svjetlotehničke klase iz preporučenog opsega

Konfliktna oblast	Složenost vidnog polja	Parkirana vozila	Težina navigacionog zadatka	Sjajnost okruženja		
				niska	srednja	visoka
Ne postoji	Normalna	Nisu prisutna	Normalna	←	←	o
			Veća od normalne	o	o	→
		Prisutna	Normalna	←	o	→
			Veća od normalne	o	→	→
	Velika	Nisu prisutna	Normalna	←	o	o
			Veća od normalne	o	→	→
		Prisutna	Normalna	o	o	→
			Veća od normalne	→	→	→
Postoji				→ ¹⁾		
¹⁾ Kada su u pitanju konfliktne oblasti, preporučuje se proračun sjajnosti. Međutim, ako iz bilo kog razloga nije moguće primeniti kriterijum sjajnosti, može da se primeni kriterijum osvetljenosti. U tom slučaju preporučenu ME klasu treba zameniti odgovarajućom CE klasom (tabela 26).						

Tabela 19. Situacija osvetljenja B1

a) Preporučeni opseg svetlotehničkih klasa

Glavni klimatski tip	Mere za usporavanje saobraćaja ("ležeći policajci")	Gustina raskrsnica (broj raskrsnica/km)	Težina navigacionog zadatka	Dnevni protok motornog saobraćaja						
				< 7000			≥ 7000			
				←	o	→	←	o	→	
Suva klima	Ne postoje	< 3	Normalna	ME6	ME5	ME4b	ME5	ME4b	ME3c	
			Veća od normalne	ME5	ME4b	ME3c	ME5	ME4b	ME3c	
		≥ 3	Normalna	ME5	ME4b	ME3c	ME4b	ME4b	ME3c	
			Veća od normalne	ME4b	ME3c	ME2	ME3c	ME3c	ME2	
	Postoje				Izbor kao u gornjem delu tabele, samo umesto MEx klase treba izabrati MEx-1 (za 1 višu) klasu u oblasti u kojoj postoje "ležeći policajci" ¹⁾ (npr. ME2 umesto ME3).					
Vlažna klima				Izbor je isti kao u gornjem delu tabele, samo važi za MEW klase.						

¹⁾ U slučajevima kada je kriterijum sjajnosti nepraktičan za primenu, može da se primeni kriterijum osvetljenosti. U tabeli 26 date su CE klase koje odgovaraju preporučenim ME klasama.

b) Izbor svetlotehničke klase iz preporučenog opsega

Konfliktna oblast	Složenost vidnog polja	Parkirana vozila	Sjajnost okruženja					
			niska		srednja		visoka	
			Protok vozila na pedale		Protok vozila na pedale		Protok vozila na pedale	
			normalan	veliki	normalan	veliki	normalan	veliki
Ne postoji	Normalna	Nisu prisutna	←	o	←	o	o	o
		Prisutna	o	→	o	→	→	→
	Velika	Nisu prisutna	o	o	o	o	o	o
		Prisutna	o	o	→	→	→	→
Postoji			→ ¹⁾					

¹⁾ Kada su u pitanju konfliktne oblasti, preporučuje se proračun sjajnosti. Međutim, ako iz bilo kog razloga nije moguće primeniti kriterijum sjajnosti, može da se primeni kriterijum osvetljenosti. U tom slučaju preporučenu ME klasu treba zameniti odgovarajućom CE klasom (tabela 26).

Tabela 20. Situacija osvetljenja B2

a) Preporučeni opseg svetlotehničkih klasa

Glavni klimatski tip	Mere za usporavanje saobraćaja (“ležeći policajci”)	Gustina raskrsnica (broj raskrsnica/km)	Težina navigacionog zadatka	Dnevni protok motornog saobraćaja					
				< 7000			≥ 7000		
				←	o	→	←	o	→
Suva klima	Ne postoje	< 3	Normalna	ME5	ME5	ME4b	ME4b	ME4b	ME3c
			Veća od normalne	ME4b	ME4b	ME3c	ME4b	ME4b	ME3c
		≥ 3	Normalna	ME4b	ME3c	ME2	ME3c	ME3c	ME2
			Veća od normalne	ME3c	ME3c	ME2	ME3c	ME3c	ME2
	Postoje				Izbor kao u gornjem delu tabele, samo umesto MEx klase treba izabrati MEx-1 (za 1 višu) klasu u oblasti u kojoj postoje “ležeći policajci” ¹⁾ (npr. ME2 umesto ME3).				
Vlažna klima				Izbor je isti kao u gornjem delu tabele, samo važi za MEW klase.					

¹⁾ U slučajevima kada je kriterijum sjajnosti nepraktičan za primenu, može da se primeni kriterijum osvetljenosti. U tabeli 26 date su CE klase koje odgovaraju preporučenim ME klasama.

b) Izbor svetlotehničke klase iz preporučenog opsega

Konfliktna oblast	Složenost vidnog polja	Parkirana vozila	Sjajnost okruženja					
			niska		srednja		visoka	
			Protok vozila na pedale		Protok vozila na pedale		Protok vozila na pedale	
			normalan	veliki	normalan	veliki	normalan	veliki
Ne postoji	Normalna	Nisu prisutna	←	o	←	o	o	o
		Prisutna	o	→	o	→	→	→
	Velika	Nisu prisutna	o	o	o	o	o	o
		Prisutna	o	o	→	→	→	→
Postoji			→ ¹⁾					

¹⁾Kada su u pitanju konfliktne oblasti, preporučuje se proračun sjajnosti. Međutim, ako iz bilo kog razloga nije moguće primeniti kriterijum sjajnosti, može da se primeni kriterijum osvetljenosti. U tom slučaju preporučenu ME klasu treba zameniti odgovarajućom CE klasom (tabela 26).

Tabela 21. Situacija osvetljenja C1

a) Preporučeni opseg svetlotehničkih klasa

Mere za usporavanje saobraćaja (“ležeći policajci”)	Rizik od kriminala	Prepoznavanje lica	Protok vozila na pedale					
			Normalan			Veliki		
			←	o	→	←	o	→
Ne postoje	Normalan	Nepotrebno	S6	S5	S4	S5	S4	S3
		Potrebno	S5	S4	S3	S4	S3	S2
	Veći od normalnog		S4	S3	S2	S3	S2	S1
Postoje			S3	S2	S1	S3	S1	S1
Alternativne A klase uporedivog nivoa svetlosti sa preporučenim S klasama mogu se naći u tabeli 27. Dodatne ES i EV klase koje odgovaraju preporučenim S klasama mogu se naći u tabeli 28.								

b) Izbor svetlotehničke klase iz preporučenog opsega

Sjajnost okruženja		
niska	srednja	visoka
←	o	→

Tabela 22. Situacije osvetljenja D1 i D2

a) Preporučeni opseg svetlotehničkih klasa

Mere za usporavanje saobraćaja (“ležeći policajci”)	Rizik od kriminala	Prepoznavanje lica	Težina navigacionog zadatka	Protok pešaka					
				Normalan			Veliki		
				←	o	→	←	o	→
Ne postoje	Normalan	Nepotrebno	Normalna	CE5	CE5	CE4	CE5	CE4	CE3
			Veća od normalne	CE5	CE4	CE3	CE4	CE3	CE2
		Potrebno	Normalna	CE4	CE4	CE4	CE4	CE4	CE3
			Veća od normalne	CE4	CE4	CE3	CE4	CE3	CE2
	Veći od normalnog	Normalna	CE4	CE4	CE3	CE4	CE3	CE3	
		Veća od normalne	CE4	CE3	CE2	CE3	CE2	CE2	
Postoje				Izbor kao u gornjem delu tabele, pri čemu se CE klase sa rednim brojem ≤4 primenjuju samo u delovima oblasti u kojima postoje “ležeći policajci”.					
Dodatne ES i EV klase koje odgovaraju preporučenim CE klasama mogu se naći u tabeli 28.									

b) Izbor svetlotehničke klase iz preporučenog opsega

Sjajnost okruženja		
niska	srednja	visoka
←	o	→

Tabela 23. Situacije osvetljenja D3 i D4

a) Preporučeni opseg svetlotehničkih klasa

Mere za kontrolu saobraćaja (“ležeći policajci”)	Parkirana vozila	Težina navigacionog zadatka	Protok pešaka i vozila na pedale					
			Normalan			Veliki		
			←	o	→	←	o	→
Ne postoje	Nisu prisutna	Normalna	S6	S5	S4	S5	S4	S3
		Veća od normalne	S5	S4	S3	S4	S3	S2
	Prisutna	Normalna	S5	S4	S3	S4	S3	S2
		Veća od normalne	S4	S3	S2	S3	S2	S1
Postoje			Izbor kao u gornjem delu tabele, pri čemu se S klase sa rednim brojem ≤4 primenjuju samo u delovima oblasti u kojima postoje “ležeći policajci”.					
Alternativne A klase uporedivog nivoa svetlosti sa preporučenim S klasama mogu se naći u tabeli 27. Dodatne ES i EV klase koje odgovaraju preporučenim S klasama mogu se naći u tabeli 28.								

b) Izbor svetlotehničke klase iz preporučenog opsega

Složenost vidnog polja	Rizik od kriminala	Prepoznavanje lica	Sjajnost okruženja		
			niska	srednja	visoka
Normalna	Normalan	Nepotrebno	←	o	o
		Potrebno	←	o	→
	Veći od normalnog		o	→	→
Velika	Normalan	Nepotrebno	o	o	o
		Potrebno	o	→	→
	Veći od normalnog		→	→	→

Tabela 24. Situacija osvetljenja E1

a) Preporučeni opseg svetlotehničkih klasa

Rizik od kriminala	Prepoznavanje lica	Protok pešaka					
		Normalan			Veliki		
		←	o	→	←	o	→
Normalan	Nepotrebno	S6	S5	S4 ¹⁾	S5	S4	S3 ¹⁾
	Potrebno	S5	S4	S3 ²⁾	S4	S3	S2 ²⁾
Veći od normalnog		S3	S2	S1 ²⁾	S2	S1	CE2 ²⁾
1) Alternativne A klase uporedivog nivoa svetlosti sa preporučenim S klasama mogu se naći u tabeli 27.							
2) Dodatne ES i EV klase koje odgovaraju preporučenim S i CE klasama mogu se naći u tabeli 28.							

b) Izbor svetlotehničke klase iz preporučenog opsega

Sjajnost okruženja		
niska	srednja	visoka
←	o	→

Tabela 25. Situacija osvetljenja E2

a) Preporučeni opseg svjetlotehničkih klasa

Rizik od kriminala	Prepoznavanje lica	Protok pešaka					
		Normalan			Veliki		
		←	o	→	←	o	→
Normalan	Nepotrebno	S5	S4	S3 ¹⁾	S4	S3	S2 ¹⁾
	Potrebno	S3	S2	S1 ²⁾	S3	S2	S1 ²⁾
Veći od normalnog		S2	S1	CE2 ²⁾	S2	S1	CE2 ²⁾

1) Alternativne A klase uporedivog nivoa svetlosti sa preporučenim S klasama mogu se naći u tabeli 27.
2) Dodatne ES i EV klase koje odgovaraju preporučenim S i CE klasama mogu se naći u tabeli 28.

b) Izbor svjetlotehničke klase iz preporučenog opsega

Sjajnost okruženja		
niska	srednja	visoka
←	o	→

Tabela 26. Svetlotehničke klase uporedivih nivoa svetlosti

CE0	ME1 MEW1 CE1	ME2 MEW2 CE2	ME3 MEW3 CE3 S1	ME4 MEW4 CE4 S2	ME5 MEW5 CE5 S3	ME6 S4	S5	S6
-----	--------------------	--------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------	----	----

Tabela 27. Alternativne A klase koje su sa aspekta nivoa svetlosti uporedive sa odgovarajućim S klasama

Referentne klase	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Alternativne klase		A1	A2	A3	A4	A5

Tabela 28. Klase ES i EV, dodatne odgovarajućim CE ili S klasama

Referentne klase	CE0	CE1	CE2	CE3 S1	CE4 S2	CE5 S3	S4	S5	S6
Dodatne klase	ES1	ES2 EV3	ES3 EV4	ES4 EV5	ES5	ES6	ES7	ES8	ES9

7.6.1. Uporedna analiza fotometrijskih zahteva sadržanih u preporuci CIE 115 i standardu EN 13201

Analizom tabela 2 i 9 mogu da se uoče kako sličnosti, tako i određene razlike u zahtevima koji se odnose na uporedive svjetlotehničke klase tipa Mi i MEi. Pri tome:

- uporedivim svjetlotehničkim klasama (Mi i MEi) odgovaraju isti nivoi sjajnosti, pri čemu EN 13201 uvodi i klasu ME6 sa najnižim nivoom sjajnosti (0.3 cd/m^2),
- za svjetlotehničke klase ME5 i ME6 zahteva se manja vrednost (0.35), a za ostale ME klase ista vrednost opšte ravnomernosti sjajnosti kao i za klase M1-M5 (0.4),

- za klasu ME3 pooštren je zahtev koji se odnosi na vrednost podužne ravnomernosti sjajnosti, U_1 (u zavisnosti od potklase, U_1 pripada opsegu 0.5 – 0.7, dok za klasu M3 vrednost U_1 iznosi 0.5),
- za klase ME4 i ME5 definisan je zahtev koji se odnosi na podužnu ravnomernost sjajnosti, koji ne postoji za klase M4 i M5,
- za klasu ME3 ublažen je zahtev koji se odnosi na relativni porast praga (njegova maksimalna dozvoljena vrednost za klase ME3 i M3 redom iznosi 15% i 10%), i
- za klase ME4 i ME5 definisan je zahtev koji se odnosi na koeficijent okruženja, koji ne postoji za klase M4 i M5.

7.6.2. Primer izbora svetlotehničke klase

Posmatra se saobraćajnica na kojoj su glavni učesnici u saobraćaju motorna vozila, tipičnih brzina većih od 60 km/h, a ostali mogući učesnici spora vozila, vozila na pedale i pešaci. Na osnovu ovih baznih parametara, iz tabele 7 se određuje odgovarajuća situacija osvetljenja - u ovom slučaju A3.

Neka specifični parametri imaju sledeće vrednosti:

- razdvojeni kolovozi,
- glavni klimatski tip: suvi,
- prisustvo raskrsnica gustine manje od 3 raskrsnice po km,
- dnevni protok saobraćaja: 30000 vozila,
- nema konfliktnih oblasti i parkiranih vozila,
- normalna težina navigacionog zadatka,
- normalna složenost vidnog polja, i
- visoka sjajnost okruženja (ulica u centru grada).

Preporučuje se svetlotehnička klasa ME3b (tabela 18). Ako bi pri istim ostalim uslovima sjajnost okruženja bila srednja, trebalo bi izabrati klasu ME4a.

8. Finalni rezultati i zaključci

Osnovni rezultati i zaključci studije su:

1. Trofazni sistem napajanja javnog osvetljenja poseduje sve prednosti u odnosu na dvofazni, koji se decenijama primenjivao u javnom osvetljenju u Beogradu. Trofazni sistem omogućava manji pad napona na napojnoj deonici i povoljniji raspored opterećenja po fazama. U najvećem broju slučajeva, primenom trofaznog sistema moguće je povećati dužinu napojne deonice koja karakteriše dvofazni sistem za više od 50%. Za isti broj stubova na napojnoj deonici, preseki provodnika u trofaznom sistemu značajno su manji od odgovarajućih preseka u dvofaznom, što donosi uštede od preko 47%.

Prilikom projektovanja i izvođenja trofazne instalacije, da bi realizovano rešenje imalo parametre prema proračunu, nužno je da se priključenje svetiljki na pojedine faze vrši ciklično. U tu svrhu, treba primenjivati priključne pločice koje imaju takvu mogućnost, pri čemu u svakom stubu kablovi treba da se priključuju po istom redosledu faza. Postavljanje kablova (prilikom montaže stubova) sa ukrštanjem faza (iz razloga ograničenja u priključnim pločicama) nije dobro rešenje, jer ostavlja veliki prostor za grešku.

Prilikom dimenzionisanja trofazne instalacije javnog osvetljenja treba voditi računa ne samo o padu napona, nego i o efikasnosti TN sistema zaštite.

U prvom i drugom poglavlju redom su izvedene formule za izračunavanje pada napona i proveru efikasnosti TN sistema zaštite u trofaznom sistemu instalacije javnog osvetljenja.

2. Optimalno održavanje javnog osvetljenja predstavlja kombinaciju periodične grupne i pojedinačne zamene rano pregorelih izvora svetlosti, uz napomenu da svetiljke treba da se čiste samo pri grupnim zamenama izvora svetlosti. Pošto stručna literatura iz ove oblasti ne nudi informaciju o periodima grupne zamene izvora svetlosti koji se koriste u javnom osvetljenju, izvršena je detaljna analiza koja za sve relevantne izvore svetlosti i svetiljke daje ne samo period grupne zamene, nego i faktor održavanja, koji značajno utiče kako na investicione, tako i na

eksploatacione troškove instalacije javnog osvetljenja. Ovi podaci su pregledno predstavljeni u tabeli 3 trećeg poglavlja.

3. Kad god je to moguće, a u cilju racionalne potrošnje električne energije, treba omogućiti smanjenje snage, odnosno redukciju svetlosnog fluksa svetiljki.

Ukoliko se u kasnim noćnim i ranim jutarnjim satima svetlotehnička klasa saobraćajnice smanjuje za 2 stepena (kada ME1, ME2 i ME3 klase redom postaju ME3, ME4 i ME5 klase), odnosno ukoliko neophodan nivo sjajnosti kolovoza tada opadne na 50% projektovane vrednosti, ekonomski je najprihvatljivija primena dvostepenih balasta. Komandovanje može da se vrši:

- pomoću kontrolnog kabla (jeftinija varijanta, koja se podrazumeva za sve nove instalacije, jer «peti» - komandni provodnik, preseka samo 2.5 mm², u sastavu kabla sa četiri energetska provodnika, zanemarljivo povećava ukupnu cenu kabla), ili
- pomoću „inteligentnog“ elektronskog uređaja – CHRONOSENSE kontrolera (skuplja varijanta, neophodna kod postojećih instalacija kod kojih nije moguće (nije isplativo) izvođenje posebnog kontrolnog kabla).

Ne preporučuje se centralna regulacija svetlosnog fluksa, bilo u diskretnoj, bilo u kontinualnoj varijanti, zbog nadostataka i ograničenih mogućnosti primene uređaja na kojima je ona zasnovana.

Ako je dozvoljeno smanjenje nivoa sjajnosti u kasnim noćnim satima manje od 50% projektovane vrednosti, preporučuje se primena pojedinačne kontinualne regulacije svetlosnog fluksa i monitoringa u javnom osvetljenju, uz napomenu da treba sačekati očekivani pad cena pojedinih komponenti sistema, a pre svega onih koje se ugrađuju u svaku svetiljku, odnosno stub. Predlaže se da se u međuvremenu sprovede javni poziv (detaljno opisan u tački 4.9) koji treba da obezbedi dobijanje pravih informacija kako o tehničkim performansama pojedinih sistema koji se trenutno nude na tržištu, tako i o njihovim realnim cenama.

4. U poglavlju 5 date su šeme veza dva nova merno-razvodno-komandna ormana javnog osvetljenja, koji su za trofazni sistem i omogućavaju merenje utrošene električne energije (i aktivne i reaktivne!). Prvi je predviđen za rad sa svetiljkama sa dvostepenim balastima, a drugi za rad sa sistemima za

pojedinačnu kontinualnu regulaciju svetlosnog fluksa i monitoring u javnom osvetljenju.

5. Uprava Grada treba da zahteva od isporučilaca svetiljki da faktor snage iznosi najmanje 0.90.

6. U poglavlju 6 specificirane su delatnosti koje treba da obavlja preduzeće zaduženo za održavanje javnog osvetljenja u Beogradu, uz predlog optimalnog broja i strukture zaposlenih, kao i potrebne mehanizacije (potrebnog broja vozila svih neophodnih tipova).

7. U poglavlju 7 detaljno je predstavljena procedura za izbor svetlotehničke klase posmatrane saobraćajnice. Priložene su i tabele za određivanje fotometrijskih zahteva koje, u zavisnosti od usvojene svetlotehničke klase, osvetljenje saobraćajnice treba da ispuni. Pravilan izbor svetlotehničke klase saobraćajnice je od posebnog značaja, jer ona dominantno utiče kako na investicione, tako i na eksploatacione troškove instalacije javnog osvetljenja.