

Andrej Đuretić
„Minel-Schréder d.o.o.” Fabrika svetiljki, Beograd

TIPOVI I PRIMERI IMPLEMENTACIJE KONTROLNIH SISTEMA U TUNELSKOM OSVETLJENJU

Apstrakt

Pored instalacija javnog osvetljenja, kontrolni sistemi uzimaju sve više maha i u tunelskom osvetljenju, imajući u vidu da i tuneli predstavljaju deo javne saobraćajne infrastrukture koju treba osvetliti. Energetska efikasnost i smanjenje potrošnje električne energije predstavljaju globalni trend, a jasno je da smanjenje potrošnje u tunelskim instalacijama može doneti značajne uštede. Sa uplivom LED tehnologije u instalacije tunelskog osvetljenja, omogućena je efikasnija i kvalitetnija kontrola, kako na nivou grupe svetiljki u slučaju jednostavnijih sistema, tako i na nivou pojedinačnih svetiljki kojima je dodeljena jedinstvena adresa u slučaju sofisticiranih sistema upravljanja. Ovaj rad daje presek najčešće korišćenih modela tunelske kontrole i korišćenih komunikacijskih protokola, sa osvrtom na primere realizacija kompanije Minel-Schréder na lokalnom nivou, ali i neke globalne realizacije Schréder Grupe.

Uvod

U poslednje 2 decenije primetan je trend povećanja broja tunela na globalnom nivou, pre svega zbog smanjenja dužine i troškova transporta, a zatim i zbog bolje kontrole saobraćaja, rasterećenja određenih putnih pravaca, smanjenja zagađenja i poboljšanja kvaliteta vazduha, ali i zbog očuvanja izgleda nekih urbanih celina koji bi bio narušen nadzemnom putnom infrastrukturom. Zajedno sa brojem tunela raste i broj instalacija nadzora i upravljanja složenom i raznovrsnom opremom u tunelima (video nadzor, ventilacija, protivpožarne instalacije, osvetljenje, signalizacija, merači zagađenosti vazduha, dinamički sistemi evakuacije, itd...).

Pre nego što se uđe u detaljniji opis sistema upravljanja i nadzora u tunelima (galerijama, podvožnjacima, podzemnim prolazima), treba napomenuti da je LED tehnologija sve više prisutna i krupnim koracima napreduje ka tome da postane dominantna tehnologija i u tunelskom osvetljenju (ona to već nekoliko godina jeste u uličnom i dekorativnom osvetljenju). Prednosti koje donosi implementacija LED umesto konvencionalnih HID (HighIntensityDischarge – izvori sa električnim pražnjenjem u gasovima, u tunelskom osvetljenju najčešće fluorescentni i natrijumovi izvori visokog pritiska) svetiljki, posebno su izražene kada je reč o tunelskoj kontroli. Neke od najvažnijih prednosti date su u nastavku:

- Efikasnost (svetlosna iskoristivost) LED izvora raste iz godine u godinu – efikasnost Schréderovih tunelskih svetiljki iznosi i do 120 lm/W pri struji od 700 mA ili do 130 lm/W pri struji od 500 mA [1]. Gledajući ukupnu efikasnost svetiljki (sa optičkim, termičkim i gubicima u predspojnoj opremi), efikasnost LED svetiljki je veća nego kod svetiljki sa natrijumovim izvorima (efikasnost natrijumovih svetiljki snage 400W (najefikasniji slučaj) ne prelazi 108 lm/W).
- Životni vek LED je značajno veći od natrijumovih izvora. U konkretnom slučaju, za

tunelske LED svetiljke kompanije Schréder nakon 100.000h svetlosni fluks pada na 90% nominalnog fluksa, što znači da se za projektovani faktor održavanja od 0.8 (fluks pada na 80% na kraju eksploatacionog perioda, tj. pre zamene izvora) može očekivati da životni vek bude i veći. Za natrijumove izvore visokog pritiska uzima se da je životni vek prosečno 20.000h samo u slučaju najkvalitetnijih izvora koji se mogu naći na tržištu (obično 16.000h) – 5-struko manji životni vek što značajno utiče na troškove održavanja instalacije osvetljenja (zamena LED izvora se vrši tek nakon približno 20 godina pri radu od približno 11h dnevno).

- LED izvori se mogu dimovati čak do 10% vrednosti inicijalnog svetlosnog fluksa (u približno linearном odnosu opada i snaga izvora), dok zbog fizičkih ograničenja natrijumovi izvori mogu raditi samo do vrednosti od 20% inicijalnog fluksa (ili 35% snage). Tu takođe treba napomenuti da se karakteristike LED izvora ne menjaju značajnije pri ovim nižim nivoima, dok se u slučaju natrijumovih izvora značajno menja indeks reprodukcije boja (pri najnižem nivou od 35% nominalne snage, natrijumovi izvori daju svetlost crvenkaste boje, gotovo monohromatsku sa veoma niskom indeksom reprodukcije). Takođe, efikasnost natrijumovih izvora mnogo više opada prilikom dimovanja nego što je to slučaj sa LED čipovima
- Zahvaljujući dimabilnosti LED izvora, moguće je efikasnije regulisati fluks izvora i ostvariti efikasnije upravljanje čime se mogu postići značajnije uštede električne energije. Takođe, karakteristika LED izvora prilikom dimovanja je takva da fluks opada sporije nego snaga, za razliku od natrijumovih izvora gde snaga opada sporije od svetlosnog fluksa (npr. pri kontrolnom nivou od 20%, u slučaju LED izvora odnos fluks/snaga biće 25% / 20%, dok će kod natrijumovih izvora on biti 20% / 35%. To znači da će, ukoliko se prepostavi referentna snaga od 100W
- LED izvori imaju praktično trenutan odziv prilikom uključivanja i dimovanja, dok kod natrijumovih izvora vreme paljenja iznosi 5-10 minuta do dostizanja nominalnog fluksa (period razgorevanja izvora).
- Treperenje svetlosti (značajan problem kod HID izvora) je izbegnuto, jer LED svetiljke rade u frekventnom opsegu izvan 70-130 Hz.
- LED izvori daju belu boju svetlosti (temperatura boje oko 4000K) koja je prijatnija za ljudsko oko od žute boje (temperatura boje oko 2200K) koju proizvode natrijumovi izvori. Takođe, istraživanja pokazuju da je subjektivni osećaj nivoa osvetljenosti raste kod izvora bele svetlosti (za identične uslove (isti svetlosni fluks), ima se utisak da je nivo osvetljenosti viši kod LED nego kod natrijumovih izvora - tzv. vizuelna efikasnost izvora zasnovana na teoriji mezopskog viđenja).
- Zahvaljujući kvalitetnim drajverima koji omogućavaju rad LED čipova u širokom naponskom opsegu (najčešće 120-280 VAC), fluktuacije mrežnog napona mnogo manje utiču na rad LED nego natrijumovih izvora (primera radi, promena napona od $\pm 5\%$ izaziva promene svetlosnog fluksa od $\pm 17\%$ kod natrijumovih izvora).
- Reprodukcija boje svetlosti je značajno bolja kod LED izvora - Indeks reprodukcije boje (Ra): LED > 70, HID \approx 40 (kod najkvalitetnijih natrijumovih izvora).

- LED izvori startuju praktično sa nominalnom strujom (izuzimajući udarnu struju koja je značajno smanjena kod novijih generacija LED drajvera, a koja ne traje duže od nekoliko ms – npr. najnovija Philips Xi FP serija ima udarnu struju od 53A u trajanju od 300 µs [2] (nekad su išle i preko 100A), dok je kod natrijumovih izvora polazna struja uobičajeno 50% viša od nominalne, što je izuzetno značajno prilikom projektovanja i dimenzionisanja instalacije uličnog osvetljenja).

Generalno, LED tehnologija je znatno osetljivija na temperaturne promene od natrijumovih svetiljki - za temperaturu PN spoja LED čipa od 75°C , svetlosni fluks pada za minimalno 10%. Ipak, treba reći da kod tunelskih instalacija to ne predstavlja takav problem zbog nižih temperatura u tunelskim cevima tokom cele godine (čak i u letnjim mesecima).

U poslednjih 5 godina se primećuje trend porasta projekata i realizacija tunelskih instalacija sa LED svetlosnom opremom, a očekuje se da u narednim godinama LED u potpunosti istisnu HID izvore (sem u onim (sve redim) situacijama kada je zbog obima investicije prihvatljivija primena natrijumovih izvora visokog pritiska u ulaznoj zoni i zoni praga tunela, gde se, zbog potrebe brzog prilagođavanja ljudskog oka na ulazak u zonu mnogo manje sjajnosti od sjajnosti okoline, koristi značajna količina svetiljki većih snaga (ne ispod 200W)). Prema McKinsey analizi iz 2012. godine [3], očekuje se da do 2020. godine čak 74% opreme na tržištu budu LED svetiljke (smatra se da se ove prognoze već sada premašene).

Osnovni tipovi i arhitektura tunelskih kontrolnih sistema

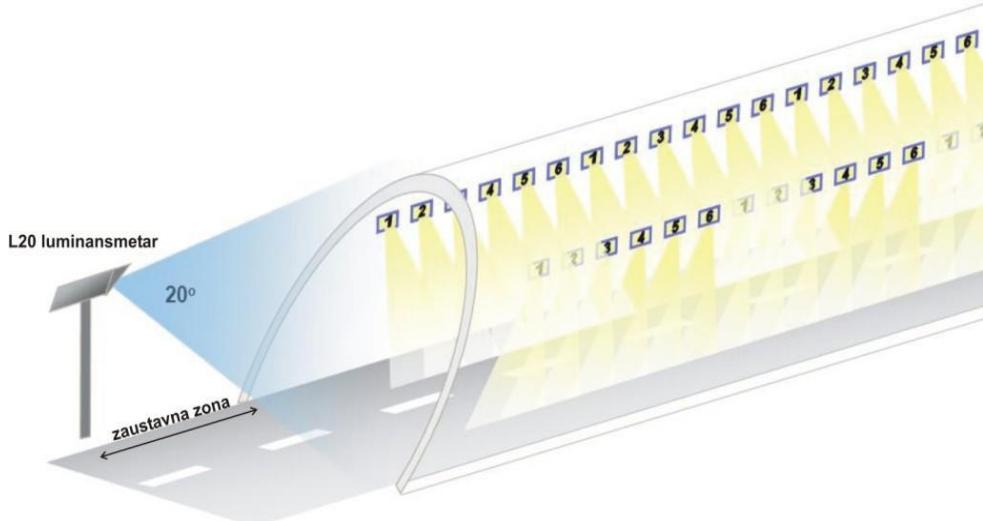
Interesantno je napomenuti da ne postoje standardi u segmentu tunelske kontrole, kao i da većina proizvođača koristi različite (često i zatvorene) protokole za upravljanje, često i neke koji nisu adekvatno rešenje za tunelske instalacije (prosto su preuzeti iz nekih drugih segmenata osvetljenja, iako zahtevi i potrebe nisu isti). Takođe, verovatno i kao posledica nedostatka standarda, ni zahtevi tržišta nisu usaglašeni kada je reč o osvetljenju – neki investitori žele samo jednostavnu funkciju uključenja\isključenja, dok drugi žele sofisticirane opcije (broj radnih sati, javljanje kvara, merenje temperature svetiljke, kontinualna regulacija svetlosnog fluksa,...).

Čest primer iz projektantske prakse je kontrola koja ne tretira spoljne relevantne uticaje (pre svega promenljivu sjajnost okruženja, atmosferske prilike, gustinu saobraćaja,...), već se pomoću programabilnih tajmera i kontaktora izvršava (svakog dana na isti način) određena kombinacija uključenja\isključenja određenih strujnih krugova (*nema dimovanja*). Čak i da je projektom predviđen tip tajmera (uklopnog časovnika ili sl.) sa integrisanim astronomskim satom kojim se tretira promena dužine trajanja noći tokom godine (promena vremena svitanja i sumraka), i dalje ne postoji informacija o trenutnim atmosferskim prilikama (sunčan ili oblačan dan, kišne ili snežne padavine, lokacija tunela i promenljiva sjajnost neposrednog okruženja tunelskog portala u odnosu na položaj Sunca (zidovi, drveće, travnate površine, stene)) koje su od ključnog značaja za subjektivnu percepciju sjajnosti vozača koji se približava tunelu.

Može se reći da je jedina prava tunelska kontrola ona koja tretira uticaj dnevnih promena sjajnosti okolnog neba (okruženja tunelskog portala), za šta je neophodno prisustvo **luminansmetra** (*L20 kamere*, kako se ovaj tip merača sjajnosti naziva u tehnici tunelskog osvetljenja) **kao osnovne ulazne jedinice kontrolnog sistema**. Pre nego što se pređe na

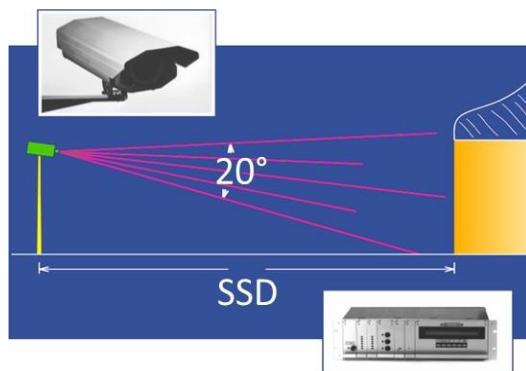
tipove tunelske kontrole, neophodno je objasniti princip rada na kojem počivaju svi kontrolni sistemi, bez obzira na njihovu složenost i performanse.

Zbog nagle promene nivoa sjajnosti pri ulasku u tunel (iz zone visoke sjajnosti u zonu značajno niže), vozač se suočava sa problemom adaptacije vida [4] - iz najjače osvetljene zone praga ulazi u unutrašnju zonu, a nivo sjajnosti postepeno opada u cilju adekvatnog prilagođavanja oka vidnim uslovima. Nivo sjajnosti prilazne zone kao najvažniji ulazni parametar određuje se postavljanjem L20 luminansmetra ispred ulaza u tunel, a prema pravilima propisanim CIE međunarodnim preporukama (na udaljenosti od ulaska u tunel koja je jednaka dužini zaustavnog puta – slika 1 [5]).



Slika 1. Princip rada tunelskih kontrolnih sistema [5]

L20 luminansmetar se upravo tako zove zbog širine vidnog polja vozača koja (iako ograničena prednjim stakлом vozila) iznosi 20° u vidokrugu. Zapravo, L20 kamera vrši simulaciju onoga što vidi vozač na udaljenosti od ulaska u tunel koja je jednaka dužini zaustavnog puta (SSD – Safe Stopping Distance na slici 2). Kamera se postavlja uz ivicu puta (idealno bi bilo da bude na sredini kolovozne trake gde se nalazi i vozač, što je nemoguće), po mogućству na što manjoj visini (računajući da je visina očiju vozača u automobilu približno 1.5m, dok u realnosti kamera nikada ne stoji niže od 2.5-3m, pre svega zbog eventualne krađe veoma skupog uređaja), pri čemu se njen objektiv može smatrati vrhom kupe koja obrazuje prostor vidnog polja od 20° , a horizontalna osa koja prolazi kroz objektiv (sa kojom izvodnice zamišljene kupe obrazuju ugao od 10°) prolazi i kroz vertikalnu osu simetrije ulaza u tunel (slika 2 [6]).



Slika 2. Pozicija L20 kamere [6]

Važno je napomenuti da je osnovni princip tunelskog osvetljenja da se što je više moguće smanji kontrast, tj. razlika u nivou sjajnosti okruženja i ulazne zone tunela, pa se (suprotno od logike uličnog osvetljenja) sa smanjenjem nivoa sjajnosti okruženja (npr. u noćnim časovima), smanjuje i nivo sjajnosti u tunelu koji je uslovљен prvom vrednošću (slika 3 [7]).

| Outside tunnel | Inside entrance of tunnel |
|--|---|
|  bright sun outside |  high luminance inside |
|  cloudy outside |  low luminance inside |

Slika 3. Princip izbora nivoa sjajnosti u tunelu [7]

Ne postoji jasna podela i klasifikacija tunelskih kontrolnih sistema, ali se prema složenosti zahteva mogu podeliti na:

1) AUTONOMNA („STAND-ALONE“) KONTROLA BEZ KOMUNIKACIJE

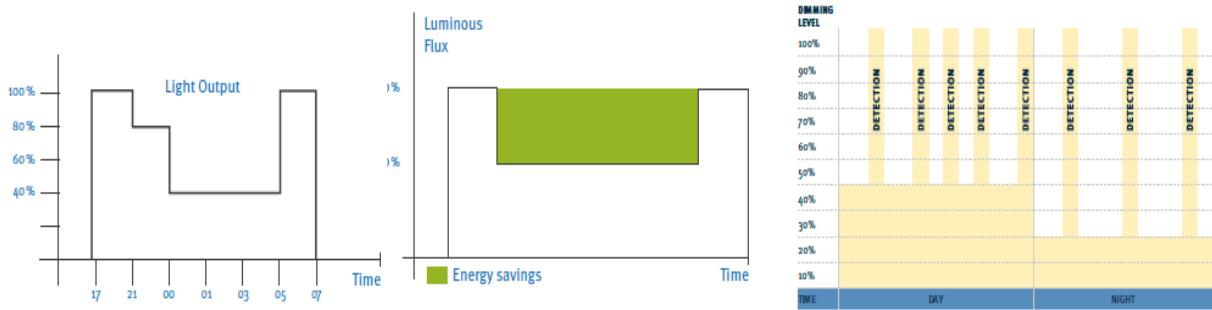
Praktično, ovo je slučaj koji se poklapa sa projektantskom praksom opisanom na strani 3, sa tom razlikom da su, zahvaljujući programabilnim LED drafverima koji postaju deo standardne opreme za tunelske LED svetiljke, funkcije astronomskog sata (ili tajmera) integrisane u LED drafvere (postoje slična rešenje sa tzv. „time based“ reljima i u slučaju HID svetiljki). Svi programabilni drafveri renomiranih proizvođača (Philips, Osram, LG) imaju mogućnost kreiranja višestepenog scenarija dimovanja (najčešće do 5 stepeni, slika 4 [8]) svetiljke aktivacijom te funkcije u samom drafveru (kod svih takvih drafvera postoji interfejs koji se povezuje sa drafverom i PC-jem na kojem se nalazi korisnički softver).

Budući da je rad ovih drafvera autonoman (ne postoji veza sa internetom ili nekim drugim uređajem višeg prioriteta), informacije o trenutku uključenja svetiljki se mogu definisati na dva načina [9]: 1) tzv. „**time based**“ opcija, gde scenario dimovanja startuje od trenutka uključenja instalacije, da bi se zatim izvršavao u programiranih (maksimalno) 5 stepeni rada. Referentna tačka za ovaj slučaj je trenutak uključenja, tj. trenutak kada instalacija dođe pod napon, i 2) tzv. „**astro clock**“ opcija, gde scenario dimovanja startuje u odnosu na tzv. „sredinu noći“ (midpoint), a ta (referentna) tačka se određuje na osnovu astronomskog časovnika zadavanjem tačnih geografskih koordinata i vremenske zone lokacije na kojoj je postavljena instalacija. Ukoliko se željena lokacija ne nalazi u bazi podataka smeštenoj u drafveru, koordinate se unose ručno.

Kod ovih drafvera najčešće postoji i tzv. „**override**“ opcija - ako je funkcija aktivirana, komanda koji npr. stiže sa nekog senzora biće prihvaćena (posle čega se vraća u predefinisani dinamički režim rada). Ti senzori su najčešće detektori pokreta (gde približavanje vozila tunelskom portalu aktivira režim sa višim nivoom sjajnosti) ili fotočelije (gde niža (viša) sjajnost okruženja aktivira režim sa nižim (višim) nivoom sjajnosti. U paru sa override funkcijom se uvek nalazi i tzv. „**hold time**“ opcija – njome se definiše vreme nakon reagovanja senzora posle kojeg drafver nastavlja sa predefinisanim scenarijom dimovanja.

Važno je napomenuti da se dvostepena regulacija (tzv. „bi-power functionality“, slika 4 [8]) može posmatrati i kao jedan vid autonomne kontrole (iako je opisana i za sledeći tip kontrole) ako se koristi na takav način da komandu za prelazak na predefinisani (niži) nivo sjajnosti

daje astronomski sat, a ne kontroler kroz dodatni kontrolni vod (u tom slučaju se više ne bi mogla zvati autonomnom kontrolom, jer bi bio moguć spoljašnji uticaj putem PLC-a).

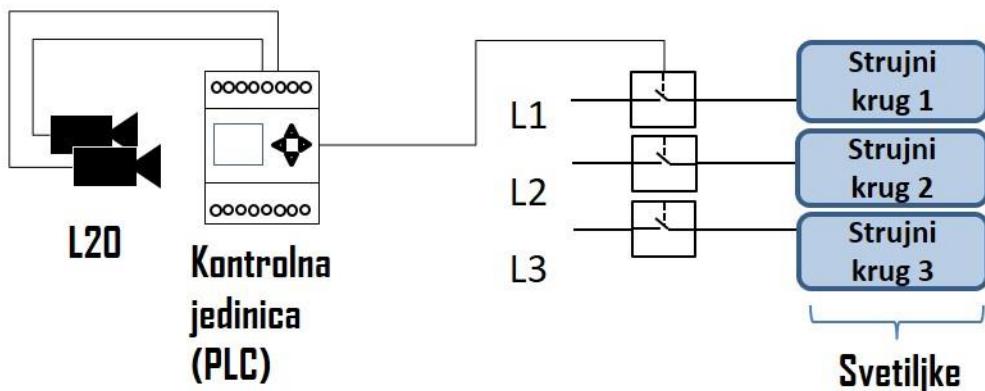


Slika 4. Primeri autonomne kontrole: višestepena regulacija (levo), dvostepena regulacija (u sredini) i povratak na nominalni režim rada (desno) usled detekcije senzora (PIR, radar, kamera) [8]

2) OSNOVNA KONTROLA SA JEDNOSMERNOM KOMUNIKACIJOM

Svetiljke se u skladu sa fotometrijskim projektom raspoređuju u različite strujne krugove, a kontrolom uključenosti/isključenosti određenih strujnih krugova postižu se različiti režimi osvetljenja u tunelu (to su načеšće režimi 100%, 75%, 50%, 25%, bazni dnevni i bazni noćni režim). Ovaj tip kontrole karakteriše **jednosmerna komunikacija** (slika 5 [5]), tj. može se upravljati isključivo grupama svetiljki (strujnim krugovima, ne i pojedinačnim svetiljkama), ali se ne može dobiti povratna informacija o statusu svetiljki niti izmerene električne vrednosti (napon, struja, snaga, aktivna i reaktivna energija).

Osnovna kontrola se dalje može podeliti na **prosto uključenje/isključenje** (slika 5 [5]) i na **dvostepenu regulaciju** (slika 6 [5]), gde je moguće podesiti svetiljke na još jedan nivo (obično 50%) koji se definiše u samom programabilnom LED drajveru (ista ova opcija je prisutna i kod HID svetiljki korišćenjem dvostepenih elektromagnetskih balasta).

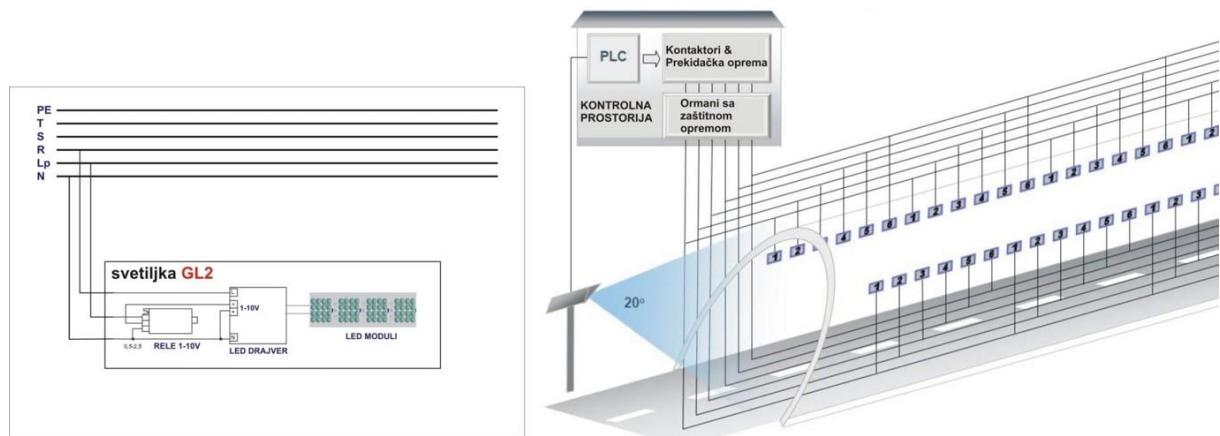


Slika 5. Osnovna kontrola – on/off funkcija [5]

Kao što se može videti na slici 5, sjajnost koju izmeri L20 kamera se šalje centralnoj procesorskoj jedinici (industrijskom PLC kontroleru) koji na osnovu tih podataka reguliše uključenje/isključenje strujnih krugova. L20 kamera obično šalje analogne signale kontroleru putem dvožilnog kabla, a komunikacija je zasnovana na tzv. „strujnoj petlji“ 4-20 mA DC. Između PLC-a i svetiljki ne postoji komunikacija zasnovana na nekom protokolu, već se u sklopu opreme koja ide uz PLC nalaze se i releji čija funkcija je isključivo prekidačka (tzv. „suvi kontakt“ (dry output), tj. relaj isključivo prekida strujni krug (fazni provodnik)). Između

kontrolera i PC-ja postojo komunikacija radi dijagnostike i podešavanja parametara, a ona se ostvaruje putem Etherneta (ili industrijskog Etherneta – npr. Profinet ili Modbus TCP).

Kod dvostepene regulacije, u kolo LED svetiljke se dodaje 1-10V relej koji je povezan sa programabilnim LED drajverom preko kontrolnih ulaza (*kod novih LED drajvera i relej je integralni deo drajvera, pa se ne mora dodavati poseban uređaj sa ovom funkcijom!*). Kod LED drajvera je aktiviran 1-10V interfejs i definisana minimalna vrednost kontrolnog signala (povezivanjem sa računarom) u procentima na koju će svetiljka otići kada relej dobije signal kroz kontrolni vod (u slučaju dvostepene regulacije, pored faze, nule i uzemljenja, potreban je još jedna kontrolna žila koja zatvara kolo preko zajedničkog neutralnog provodnika, slika 6 [5]). Kada se zada komanda kroz kontrolnu dodatnu žilu, svetiljka se dimuje na predefinisanu vrednost (pozitivna logika) ili sa dimovane vrednosti podiže na nominalnu (negativna logika). Dvostepena regulacija dodatno smanjuje nepotrebne gubitke i još više približava stepenastu krivu regulacije idealnoj CIE 88 krivoj adaptacije ljudskog oka.



Slika 6. Osnovna kontrola – dvostepena regulacija [5]

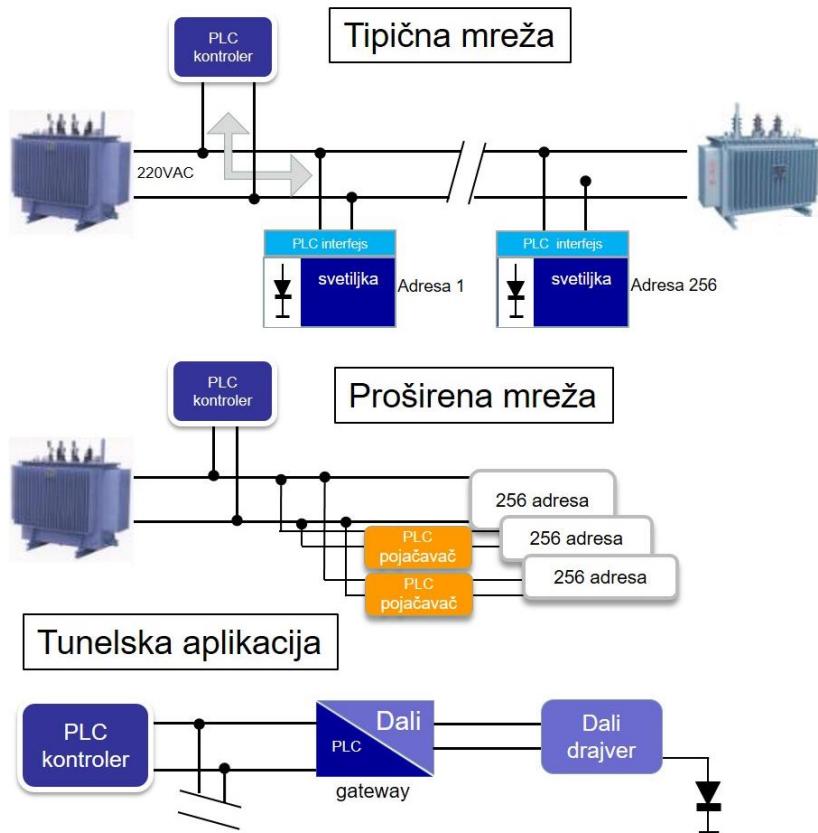
3) NAPREDNA KONTROLA SA MOGUĆNOŠĆU PAMETNE INTEGRACIJE

Napredna tunelska kontrola podrazumeva pre svega **dvosmernu komunikaciju**, tj. mogućnost zadavanja određene komande i povratnu informaciju o njenom izvršenju i statusu pojedinane svetiljke ili grupe svetiljki. Suštinska razlika između napredne i osnovne kontrole leži u činjenici da svaka svetiljka mora imati integriran tunelski kontroler (**gateway** ili prevodilac protokola) radi komunikacije sa uređajima višeg prioriteta (PLC-ovima, master kontrolerima, ...). Princip rada je isti, u smislu da signale koje L20 kamera šalje PLC-u putem 4-20 mA DC strujne petlje određuju režim rada u kojem će biti svetiljke.

Na najnižem hijerarhijskom nivou (komanda koja se daje LED drajverima za kontrolu intenziteta svetla), tunelski kontroleri (nezavisno od proizvođača) najčešće na izlaznoj strani koriste neki od dva najrasprostranjenija metoda kontrole: **1-10V** ili **DALI**. Na ulaznoj strani, za potrebe komunikacije između susednih svetiljki (tunelskih kontrolera) i komunikacije sa industrijskim PLC-ovima koji imaju ulogu master kontrolera (koordinatora sistema), koriste se sledeće tehnike:

- **PowerLineCommunication (PLC)** – PLC (slika 7) je sistem za prenos podataka (metod komunikacije) putem provodnika korišćenog za prenos električne energije. Svi PLC sistemi rade na principu utiskivanja modulisanog signala veće frekvencije (u

Evropi ovi signali moraju biti u opsegu 9 - 148.5kHz) u (najčešće) neutralni provodnik. Jedna od najvećih prednosti ovog sistema ogleda se u činjenici da nije potrebno polagati dodatne kablove između PLC-ova (gateway-a) i tunelskih kontrolera, pa se komunikacija i upravljanje odvijaju preko napojnog niskonaponskog voda. PLC je zasnovana na LonWorks tehnologiji (poznatijoj kao LON protokol – ANSI 709.2), otvorenom standardu koji je svoju primenu često nalazio u industriji, gde je najčešće korišćen protokol **LonTalk**.



Slika 7. PLC komunikacija u tunelskom osvetljenju [10]

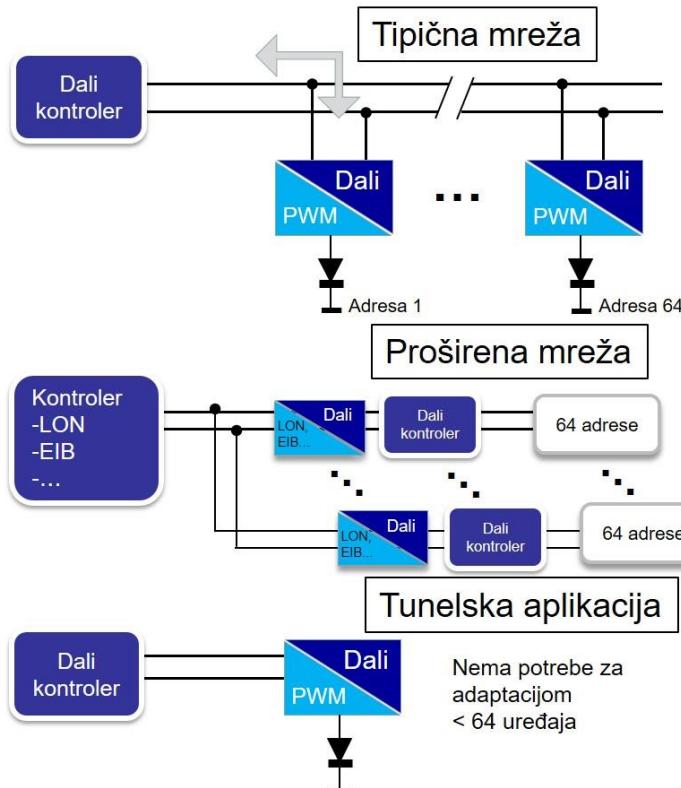
Na slici 7 je prikazan DALI drajver, ali se jednako često (ako ne i češće) na izlaznoj strani nalazi 1-10V kontrola (kao npr. u slučaju Nyx Hemera TLACS sistema). Komercijalni interes za ovaj vid komunikacije se kreće u rasponu je značajan: PLC je imao lošu reputaciju u prošlosti zbog zaprljanja signala i šumova u napojnom kablu, ali zahvaljujući razvoju novih kontrolera i implementacijom PLC pojačavača signala (ripitera) sistem je znatno pouzdaniji.

Mane:

- velika brzina prenosa podataka (2-200Mb/s) može dovesti do interferencije sa ostalim radio signalima
- veoma osetljiv na šum i zaprljanje signala
- transformatori mogu da blokiraju visokofrekventni signal
- za složenije („inteligentnije“) podatke potreban je kompleksniji protokol iznad PLC-a

Primeri: Nyx Hemera TLACS, Umpi Minos, Osram SLC...

- **DALI protokol** – pored činjenice da se DALI koristi na najnižem hijerarhijskom nivou, postoje sistemi koji zasnivaju kompletnu arhitekturu na ovom protokolu. Digital Addressable Lighting Interface (slika 8) je digitalni komunikacijski protokol stvoren od strane najpoznatijih svetskih kompanija (Philips, Osram...) u cilju centralne kontrole sistema osvetljenja u zgradama kao i boljeg povezivanja sa kompleksnijim kontrolnim sistemima. Ovaj protokol je pre svega usmeren ka unutrašnjem osvetljenju, što je jedan od glavnih razloga zašto je komercijalni interes za ovaj način **paralelne komunikacije** mali – protokol nije prilagođen zahtevima tunelskog osvetljenja.



Slika 8. DALI komunikacija u tunelskom osvetljenju [10]

U poslednje vreme pojavljuju se proizvođači (čak i oni kojima je primarni sistem zasnovan na nekom od adekvatnijih metoda komunikacije za tunelsko osvetljenje) koji nude DALI sisteme kontrole (od LED drijvera sa DALI interfejsom do DALI kontrolera koji ima ulogu gateway-a).

Prednosti:

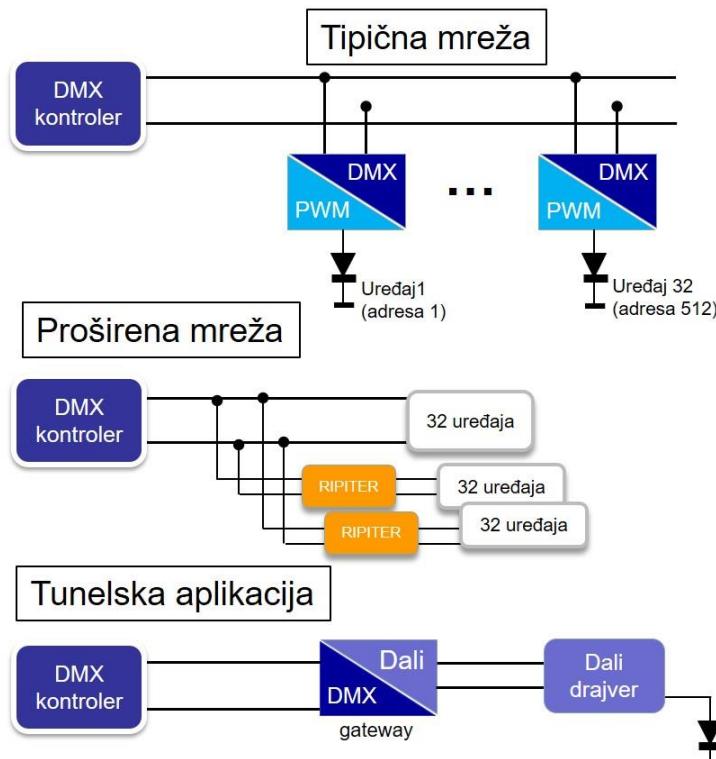
- veliki broj DALI drijvera na tržištu
- podržava dodatne funkcije kao što su: merenje temperature, detekcija kvara, radni sati...

Mane:

- DALI nudi samo 64 adrese i ne postoje mrežne opcije koje dozvoljavaju primenu drugog protokola kada je broj adresa (uređaja) veći od 64
- kompleksna mreža sa mnogo komponenti kada je broj adresa veći od 64
- Slaba imunost na šum u mreži

Primeri: Philips TunneLogic sistem, ...

- **DMX protokol** – DMX 512 (slika 9) je prvi standardni metod digitalnog multipleksa (United States Institute of Theatre Technology, 1988.). Princip digitalnog multipleksa je prenošenje više kanala za višestruku kontrolu jednom žicom koristeći digitalne informacije. Ovaj sistem je napravljen za potrebe lighting show-a (pre svega diskoteke i pozorišta), pa samim tim nije predviđen za tunelske primene. Ovaj protokol ima tu osobinu da je u stanju da prenese 512 kanala jednim kablom, pri čemu koristi, pri čemu koristi **serijsku komunikaciju** za razliku od DALI-ja (paralelna komunikacija).



Slika 9. DMX komunikacija u tunelskom osvetljenju [10]

Prednosti:

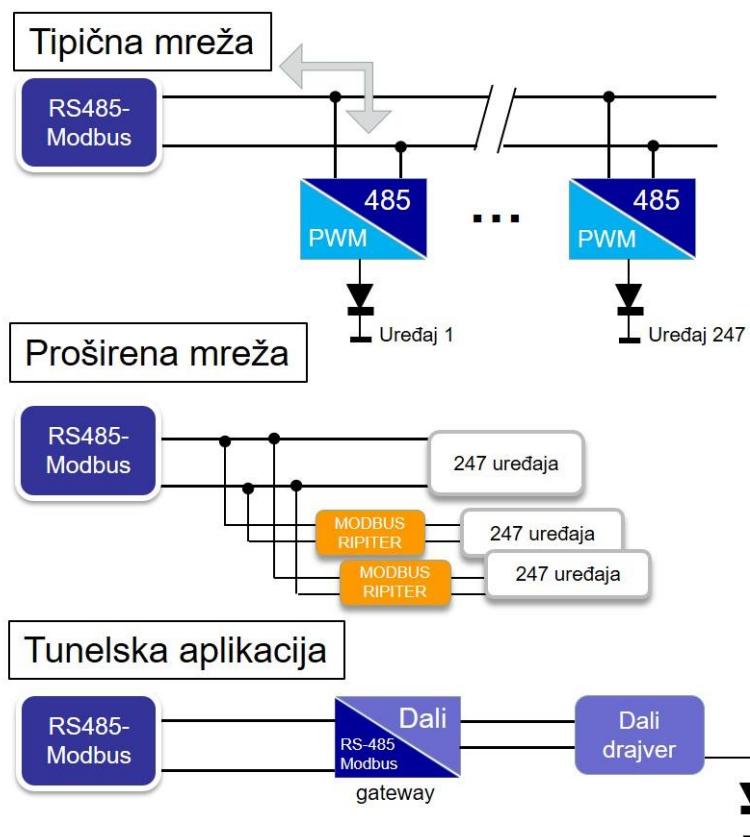
- velika imunost na šum u mreži (RS-485 serijska komunikacija)
- na raspolaganju veliki broj adresa (do 512)
- na tržištu postoji veliki broj DMX-DALI konvertora

Mane:

- sistem ima mnogo više funkcionalnosti nego što je to potrebno u tunelskom osvetljenju
- Primeri: autoru nije poznat niti jedan DMX tunelski sistem ...

- **BUS protokoli putem RS-485 serijske komunikacije** – sa komercijalnog aspekta, može se konstatovati da je ovo zapravo tehnika koja je najpodesnija za tunelsko osvetljenje i da je interesovanje za nju najveće poredeći je sa drugim tehnikama. Za razliku od npr. DALI protokola (paralelno vezivanje na BUS magistralu), svi BUS

protokoli (tzv. „Field Bus“ sistemi [11]) su zasnovani na **serijskoj komunikaciji**, tj. električnom standardu **RS 485** – ovo je metod prenošenja podataka parom žica koje su zajedno uvijene (isprepletane) što daje veliku zaštitu od električnih smetnji (interferencija). RS-485 je samo set pravila koji definiše karakteristike predajnika Rx i prijemnika Tx (npr. naponske nivoje) i nije zadužen za prenos „pametnih“ podataka (adresa, detekcija kvara, temperatura, provera podataka, ...). Za to su zaduženi BUS protokoli koji su dominantni u automatizovanim sistemima, uključujući i tunele. Među mnoštvom protokola izdvaja se MODBUS kao najpoznatiji, a skoro jednakost zastupljen je i PROFIBUS (Schéder u saradnji sa Phoenix Contact koristi INTERBUS protokol za svoj napredni sistem tunelske kontrole). U ovom slučaju će biti predstavljen Modbus protokol kao najzastupljeniji (slika 10).



Slika 10. MODBUS serijska komunikacija u tunelskom osvetljenju [10]

Prednosti:

- može pokriti opremu na velikim udaljenostima (npr. i preko 10 km)
- veoma pouzdan u uslovima viskog nivoa šuma zbog izbalansiranog RS-485 izlaza, ali i zato što Modbus protokol uključuje i provere sigurnosti (tzv. „safety checks“)
- na tržištu postoji veliki broj Modbus pojačavača signala (ripitera)

Mane:

- ne postoje standardni LED drajveri predviđeni za rad sa ovim protokolom

Primeri: Philips Indal B-Scout (RS-485), nepoznato za Modbus, Schréder/Phoenix Contact ATS sistem sa Interbus protokolom...

Bitno je napomenuti da na tržištu postoje kontroleri (gateway-ovi) koji konvertuju MODBUS u 1-10V kontrolu na nivou LED svetiljke, ali još uvek se nije otišlo daleko kada je reč MODBUS – DALI konverziji (Gateway mora da prevede sve DALI informacije (kao npr. kvar, temperatura, radni sati...) na MODBUS ako se želi maksimalno iskorišćenje svih DALI performansi).

I na kraju, tabelarno su prikazani svi pobrojani sistemi komunikacije i date njihove komparativne karakteristike (tabela 1 [11]).

Tabela 1. Komparativne karakteristike različitih tipova komunikacije u tunelima (slika iznad) i numeričke karakteristike za svaki od sistema slika (ispod) [11]

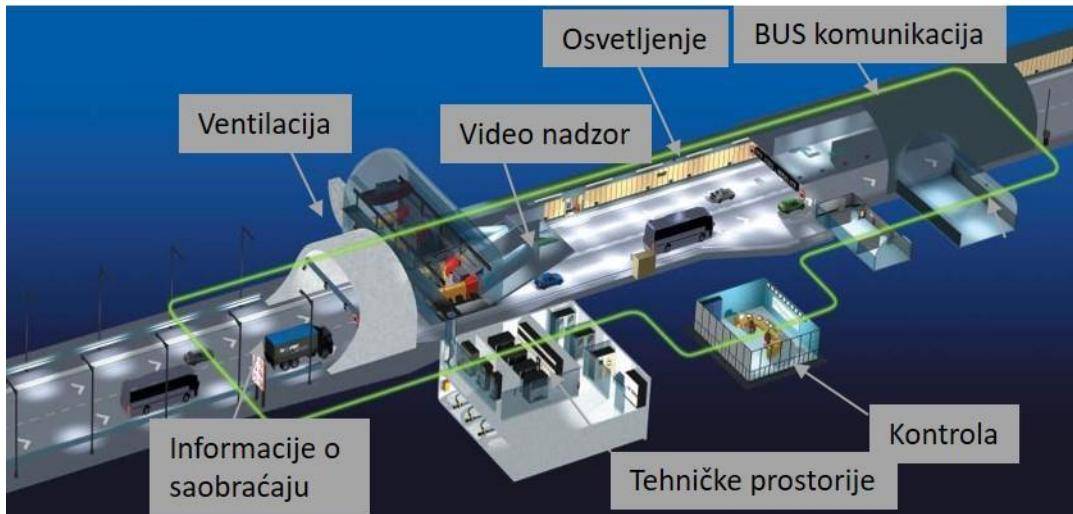
| PROTOKOL | BRZINA | JEDNOSMERNA/ DVOSMERNA KOMUNIKACIJA | IMUNOST NA NIVO ŠUMA | BROJ ADRESA | MAKSIMALNA DUŽINA (UDALJENOST OPREME OD KONTROLERA) | PODESNOT PROTOKOLA ZA TUNELSKIE PRIMENE |
|--------------------|--------|---|-------------------------|-------------|---|--|
| DMX | | | | | | |
| Dali | | | | | | |
| RS485 sa MODBUS-om | | | | | | |
| Powerline | | | | | | |

| KARAKTERISTIKE | DMX | DALI | RS-485 sa MODBUS-om | POWERLINE |
|-------------------------|-------------|---------|---------------------|-------------|
| Brzina | 250kb/s | 1.2kb/s | 2.4-9.36 kb/s | 2-200Mb/s |
| Broj adresa | 512 | 64 | 247 | 256 |
| Maks. udaljenost opreme | 500 | 300 | 1200 | 400 |
| Imunost na nivo šuma | veoma dobra | slaba | odlična | Veoma slaba |

Može se zaključiti da **RS-485 komunikacija sa MODBUS (ili nekim drugim) protokolom izgleda kao najbolje rešenje za tunelske kontrolne sisteme**. Powerline komunikacija takođe predstavlja interesantan izbor sa stanovišta kabliranja (velike investicione uštede u izbegavanju skupih kontrolnih kablova), ali i kao veoma osetljivo rešenje na prisustvo šuma u mreži. Takođe, za potrebe smart komunikacije neophodan je još jedan protokol višeg nivoa koji dolazi iznad Powerline sloja. Postavlja se pitanje da li je bolje razvijati RS-485-DALI gateway ili je bolje razviti RS-485 LED drajver? Sve je više zahteva za različite povratne informacije iz mreže, a primenom 1-10V analognog protokola količina povratnih informacija (tzv „feedback“) je veoma ograničena (potreban je pametni gateway ili pametni LED drajver). Takođe, želja je da se implementira što je moguće jednostavniji protokol, što u svakom slučaju nije DALI koji zahteva dodatno kabliranje i povećava kompleksnost instalacije!

Ovde se treba podsetiti na to da sistemi napredne kontrole (ali i osnovne kontrole, uz ograničenja u vidu jednosmerne komunikacije) mogu postati integralni deo nekog većeg sistema, tj. da se može izvršiti integracija svih različitih sistema u tunelu pod jednom platformom i time omogući upravljanje iz jednog komandnog centra. Napominje se da svaki od prethodno pobrojanih tipova (sistema) tunelske kontrole može raditi samostalno, a upravljanje i nadzor se obično vrši korišćenjem specijalnog softvera putem korisničke stranice sistema koji obezbeđuje sam proizvođač opreme.

Integracija svih sistema prisutnih u tunelima (slika 11) se najčešće vrši pod kontrolnim sistemom SCADA tipa ([12], slika 11).



Slika 11. SCADA integracija tunelskih sistema [7]

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) je sistem koji služi za automatizaciju opštih procesa, odnosno koji se koristi za prikupljanje podataka sa senzora i instrumenata lociranih na udaljenim stanicama i za prenos i prikazivanje tih podataka u centralnoj stanciji u svrhu nadzora ili upravljanja. SCADA koncept zapravo definiše arhitekturu kontrolnog sistema, gde se na osnovnom nivou nalazi mreža PLC-ova ili RTU (Remote Terminal Unit) mikroprocesora koji komuniciraju putem standardnih automatičkih protokola, a na drugom nivou ona predstavlja „čist“ softverski paket (sa grafičkim interfejsom) koji je pozicioniran na samom vrhu hardvera na koji se odnosi. Praktično, SCADA sistemi su programska podrška za nadzor i upravljanje industrijskim procesima. Jedna od bitnih funkcija funkcija SCADA sistema je alarmiranje. Podsistemi za alarne služi za definisanje i prikaz alarmnih stanja u sistemu. Alarmna stanja mogu predstavljati nedozvoljenu ili kritičnu vrednost veličine kao i nedozvoljenu akciju ili komandu operatera. Svaki alarm ima svoje osobine kao što su nivo ozbiljnosti alarma, mesto nastanka, kategorija, poruka koja se vezuje za alarm i slično. Podsistemi za alarne omogućuju promenu stanja alarma putem operacije potvrde i brisanja. SCADA sistemi pružaju brze reakcije na alarne, a primarna svrha SCADA sistema je da unapred daju upozorenje na problem koji može nastati.

Svi tunelski kontrolni sistemi (osvetljenje, detekcija udesa, brzina i gustina saobraćaja, ventilacija, video nadzor, VoIP (Voice over IP) komunikacija) mogu se integrisati pod jednu SCADA platformu (interfejs) zaduženu za realizaciju sistema nadzora, upravljanja i prikupljanja podataka u najrazličitijim procesima. Važno je napomenuti da se komunikacija između PLC-ova i centralnog (SCADA) sistema odvija putem nekog od standardnih otvorenih protokola: Ethernet, Profinet (Industrijski Ethernet), OPC DA/UA, Modbus TCP, Microsoft SQL Server (obezbeđuje vezu sa SQL bazom podataka (serverom) gde se smeštaju prikupljeni podaci), standardni komunikacijski protokoli za SMS ili E-mail, Profibus...

SCADA sistemi su ubrzano usvojili „cloud computing“ model (računarstvo u Oblaku) sa razvojem IoT (Internet of Things) tehnologije i time značajno povećali interoperabilnost, smanjili infrastrukturne troškove i pojednostavili održavanje i integraciju. Kao rezultat toga, SCADA sistemi sada mogu slati izveštaje u približno „real-time“ vremenu. Sa IoT konceptom dolazi do decentralizacije podataka, pa se tradicionalni SCADA sistemi (dosad lokalno

orientisani, što je povlačilo povezivanje grafike u korisničkom interfejsu sa podacima sačuvanim na određenoj PLC memorijskoj adresi) moraju tome prilagoditi. Sada, kada podaci mogu doći od velikog broja senzora, kontrolera i baza podataka, tipično „jedan na jedan“ mapiranje podataka postaje problem, a rešenje predstavlja tzv. „data modeling“ koncept, proistekao iz objektno-orientisanog programiranja.

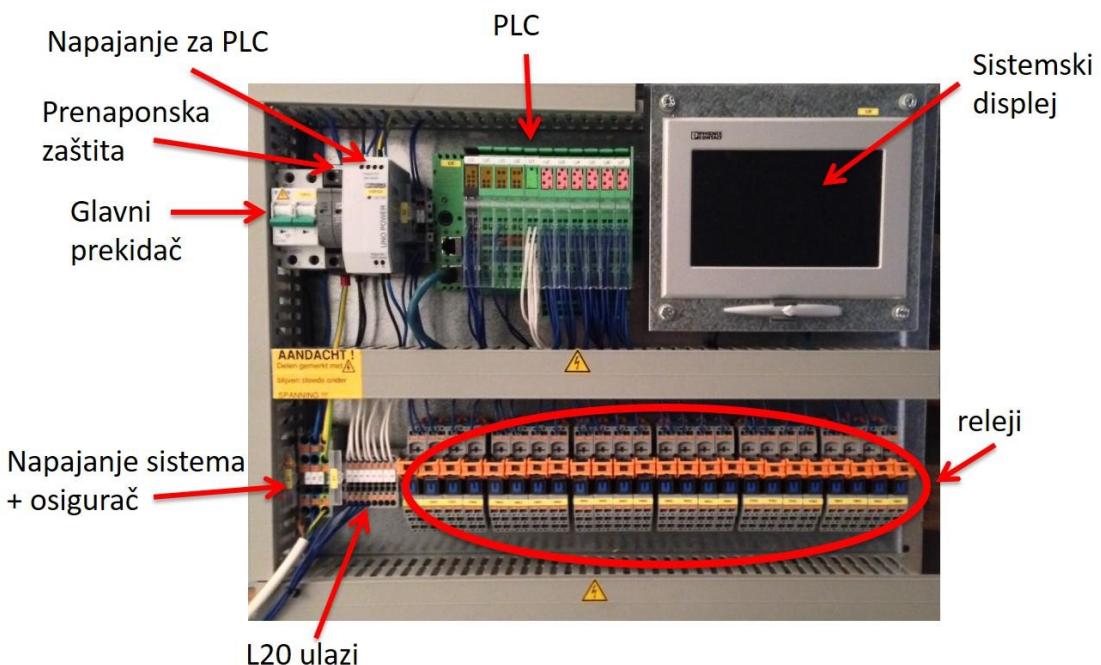
Tunelski kontrolni sistemi Kompanije Schréder

Prepoznavši značaj tunelske kontrole kao nadgradnje osnovne delatnosti projektovanja i prodaje tunelskih (LED) svetiljki, Kompanija Schréder je u saradnji sa kompanijom Phoenix Contact proširila svoj portfolio sa dva sistema – osnovna **BTS** (BasicTunnelSystem) i napredna **ATS** (AdvancedTunnelSystem) **kontrola**.

Ne ulazeći detaljnije u opis svakog od sistema (princip rada u potpunosti odgovara iznad opisanim tipovima 1 i 2), ispod su date samo neke osnovne karakteristike.

BTS sistem

"BTS" (Basic Tunnel Solution, slika 12) je osnovni sistem upravljanja instalacijom osvetljenja u tunelu i na pristupnim putevima (opciono, ako za tim ima potrebe).

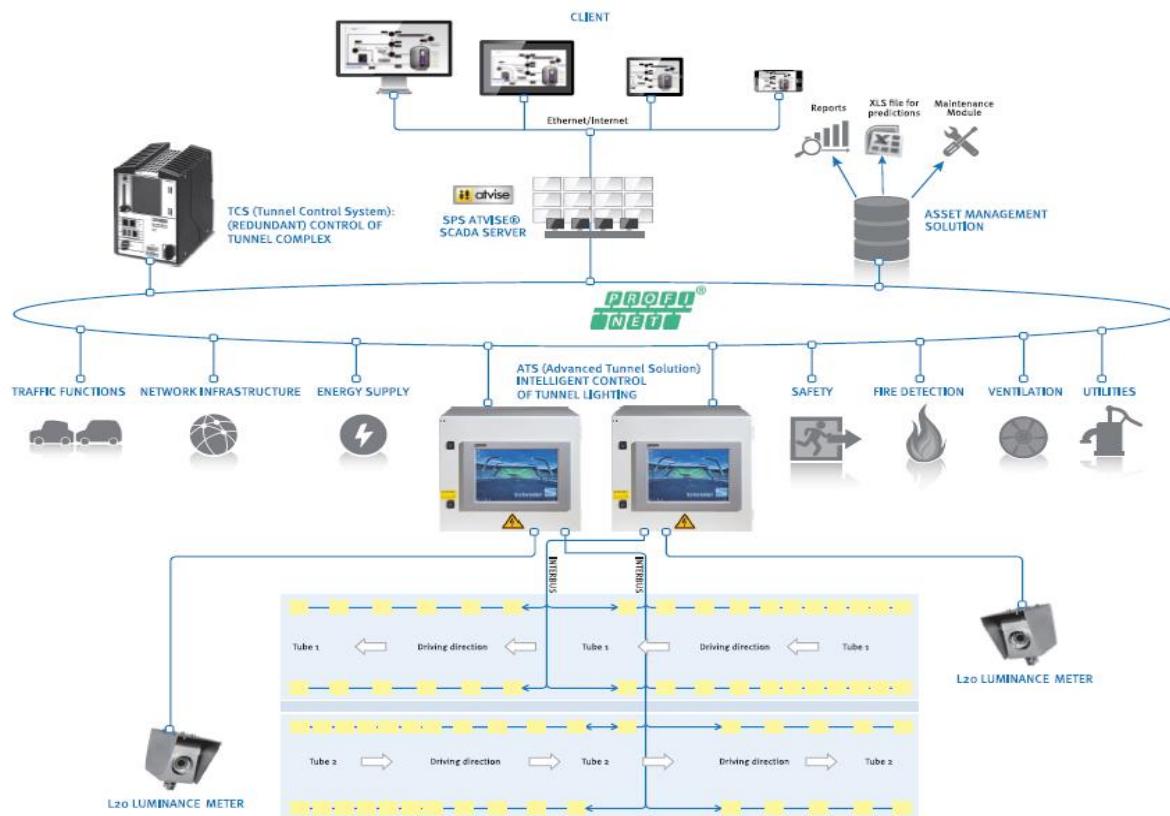


Slika 12. BTS sistem tunelske kontrole

Ovaj sistem ima identičan princip rada kao kontrolni sistemi tipa 2 opisani na strani 6. Sistem se isporučuje kao integralna celina (kabinet sa PLC-om, napajanjem PLC-a, zaštitnom opremom, 4 ulaza za L20 kamere i 24 izlaza (releja) za upravljanje strujnim krugovima), dok je „touch screen“ sistemski displej opciono rešenje (podešavanje parametara sistema je moguće izvršiti putem PC, pristupom na odgovarajuću IP adresu PLC-a (koja se kasnije može i promeniti). Sistem je u ovom trenutku moguće povezati sa nekom SCADA platformom (komandnim centrom) putem Modbus TCP komunikacijskog protokola.

ATS sistem

"ATS" (Advanced Tunnel Solution, slika 13) je napredni sistem upravljanja instalacijom osvetljenja u tunelu i na pristupnim putevima (opciono, ako za tim ima potrebe). Sistem u potpunosti odgovara tipu 3 tunelske kontrole opisanom na strani 7.



Slika 13. ATS sistem tunelske kontrole

L20 luminansmetri (L20 kamere) šalju informaciju ATS kontroleru (PLC-u) o nivou sjajnosti putem analognog signala (4-20mA DC strujna petlja). Komanda se dalje šalje iz ATS-a lokalnim kontrolerima na osnovu L20 signala koji stiže u ATS kontroler. Svaka svetiljka ima integriran lokalni kontroler (LUMGATE – LUMinaire GATEway) koji omogućava da se precizno podešavaju nivoi sjajnosti u skladu sa CIE krivom (kontinualna regulacija koja dovodi do dodatnih ušteda energije). LUMGATE komunicira sa programabilnim LED drajverima putem 1-10V protokola (svaki Lumgate može upravljati do 8 drajvera snage 150W). ATS kontroler (PLC) može da komunicira sa do 240 LUMGATE kontrolera (ukupno 1920 LED drajvera) putem INTERBUS protokola, zasnovanog na RS-485 standardu. ATS se isporučuje u kabinetu, opciono sa „touch-screen“ ekranom koji omogućava lokalnu kontrolu i podešavanje sistema. ATS može raditi kao nezavisna jedinica ili se povezati sa direktno sa kontrolnim sistemom višeg prioriteta, u kom slučaju je neophodan i TCS (Tunnel Control System) kontroler. Ukoliko dođe do kvara u sistemu, ATS obezbeđuje da se svetiljke automatski vrati na nivo 100%! Ako u tunelu postoji potreba za više ATS kontrolera, njihov rad koordinira TCS kontroler. ATS-ovi se povezuju međusobno i sa TCS-om putem PROFINET standarda (standard za industrijski ETHERNET), a TCS omogućava komunikaciju sa SCADA sistemom ako je to potrebno. ATS sistem omogućuje komunikaciju sa svakom pojedinačnom svetiljkom, a regulacijom svetlosnog fluksa (i snage) svake svetiljke

moguće je ostvariti kontinualno praćenje CIE 88 krive adaptacije ljudskog oka, čime se mogu postići dodatne uštede od približno 10% u odnosu na BTS sistem.

Napredni sistem na raspolaganju ima različite funkcije, među kojima su izdvojene najznačajnije:

- Status svake svetiljke ili grupe (ON/ OFF/ dimovanje)
- Svaka svetiljka (tj. Lumgate kontroler) ima posebnu adresu u sistemu
- Trenutna potrošnja električne energije
- Merenja svih relevantnih električnih veličina (U, I, cosφ, broj radnih sati...)
- Detekcija kvara i upozorenje (poruka se šalje u komandni centar)
- Regulacija u skladu sa gustinom saobraćaja i brzinom kretanja vozila (promena nivoa sjajnosti u skladu sa bezbednosnim standardima)
- Regulacija u skladu sa stepenom zaprljanja svetiljki i smanjenja svetlosnog fluksa
- Smanjen je broj strujnih krugova, a posledično i količina kablova
- Kontinualna regulacija (fino podešavanje nivoa sjajnosti u tunelu u skladu sa izmerenim vrednostima sjajnosti okolnog neba putem L20 luminansmetara - 25 režima)

Primeri iz prakse – Minel-Schréder realizacije tunelskih kontrolnih sistema

Iako je urađeno nekoliko projekata sa predviđenom naprednom kontrolom (uz mogućnost integracije sa drugim tunelskim sistemima – SCADA platforma), za sada nije došlo do realizacije istih. Razlog pre svega leži u većem obimu investicije u poređenju sa osnovnom tunelskom kontrolom. Ukoliko ne postoji svest o tome da se implementacijom takvog sistema obezbeđuje pristup svakoj pojedinačnoj svetiljci, povratne informacije o svim procesima uz mogućnost smanjenja rizika i brze detekcije kvara, kao i mogućnost integracije svih instalacija u jednom komandnom centru pod jednom zahjedničkom „Smart City“ platformom, investitor će na to gledati kao na suvišnu investiciju - gledajući samo sa stanovišta smanjenja potrošnje električne energije, prednost ATS sistema nije toliko značajna (ne više od 10%) u odnosu na BTS sistem.

Na slikama 14 i 15 su prikazane dve realizacije kompanije Minel-Schréder sa tunelskim kontrolnim sistemima, jedna na Koridoru Vc (Tuneli 1.Mart i 24.Novembar - BiH), a druga na Koridoru 11 (Tunel Veliki Kik).

Do Septembra 2014. godine je izvedena instalacija osvetljenja u Tunelima Vijenac (1.Mart) i Suhodol (24.Novembar) na Koridoru Vc (deo budućeg autoputa Svilaje – Bioče), što je predstavljalo prvo kompletno tunelsko LED osvetljenje u regionu! U oba tunela je ukupno postavljeno 1277 LED svetiljki (890 x GL2 Compact + 349 x BJ + 38 x BT). U pitanju su bila dva veoma zahtevna tunela, pre svega jer je definisana brzina saobraćaja od 100 km/h, a zatim i zbog velike dužine tunela (u proseku oko 2.8 km). Ovde je primenjen osnovni sistem kontrole sa dvostepenom regulacijom, opisan na stranama 6 i 7. U električno kolo svetiljke dodat je 1-10V relej, povezan sa 1-10V ulazima programabilnog LED drajvera.



Slika 14. Tunel Vjenac – 1.Mart

Tunel Veliki Kik je jedan od 4 tunela na novom autoputu Ljig-Preljina, a pušten je u rad u Septembru 2016. godine. Ovde je primenjen osnovni BTS sistem: dva ormana (BTS kabineta) + dve L20 kamere za svaku od tunelskih cevi. Fotometrijskim projektom je predviđeno 8 strujnih krugova, na osnovu čega je izvršeno podešavanje sistema. Na zahtev investitora, izvršeno je naknadno umrežavanje sa ostalim tunelima i daljinsko upravljanje putem MODBUS TCP protokola.



Slika 15. Tunel Veliki Kik (levo), BTS kabinet (gore desno) i L20 kamera (dole desno)

Literatura

1. Schréder UPD interna baza podataka, <https://upd.schreder.net>
2. Philips Xitanium outdoor LED drivers, LED Driver datasheets, Mart 2017. www.lighting.philips.co.uk/oem-emea/support/technical-downloads,
3. "Lighting the way: Perspectives on the global lighting market", McKinsey analiza, 2. izdanje, Avgust 2012. https://www.mckinsey.de/files/Lighting_the_way_Perspectives_on_global_lighting_market_2012.pdf
4. M.B. Kostić, „Vodič kroz svet tehnike osvetljenja“, Minel-Schréder, 2000.
5. „Tunelska kontrola“, prezentacija za klijente, Podgorica, April 2016.
6. „Smart tunnel lighting management“, Smart Tunnel Lighting - Schréder internal seminar, Maj 2017.
7. „Full Tunnel Solution – Complete segment approach“, Schréder/Phoenix Contact International Sales Convention, Jun 2016.
8. „Tunnels and Underpasses“, Schréder brochure, April 2016., www.schreder.com
9. „Programabilni LED drajveri“, Minel-Schréder interna prezentacija, Novembar 2016.
10. „Tunnel Lighting Protocols - requirements“, Schréder internal seminar, Avgust 2012.
11. „INTERBUS System Technology Basics“, Steven Engineering Inc., 1997., www.stevenengineering.com
12. Jasmin Velagić, „SCADA sistemi“, Predmet: Distribuirani sistemi,Elektrotehnički Fakultet Sarajevo 2012/2013. <http://people.etf.unsa.ba/~jvelagic/laras/dok/lekcijad12.pdf>