

UNIVERZA NA PRIMORSKEM  
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN  
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

Zaključna naloga

**Pametna razsvetljava proizvodnih linij**

(Smart lighting system for production lines)

Ime in priimek: *David Škrlj*

Študijski program: *Računalništvo in informatika, 1. stopnja*

Mentor: *izr. prof. dr. Klen Čopič Pucihar*

Somentor: *izr. prof. dr. Matjaž Kljun*

**Koper, avgust 2022**

## Ključna dokumentacijska informacija

Ime in PRIIMEK: David ŠKRLJ

Naslov zaključne naloge: Pametna razsvetljava proizvodnih linij

Kraj: Koper

Leto: 2022

Število listov: 49

Število slik: 25

Število tabel: 6

Število referenc: 22

Mentor: izr. prof. dr. Klen Čopič Pucihar

Somentor: izr. prof. dr. Matjaž Kljun

Ključne besede: pametna razsvetljava, PLK, Android

Izvleček:

Energetsko učinkovita raba energije ne zmanjša le izpusta ogljikovega, ampak tudi zniža stroške. Izračuni kažejo, da gre 20 % celotne porabe energije za razsvetljava. Eden od načinov za prihranek energije je uporaba pametne razsvetljave, pri kateri stopnjo osvetlitve prilagajamo potrebam uporabnikov.

V sklopu zaključne naloge bomo poizkušali zmanjšati porabo električne energije za razsvetljava v podjetju Plama pur, d. o. o. To bomo poizkušali doseči s pomočjo načrtovanja, izdelave in evalvacije sistema, ki zna prilagoditi osvetljenost v prostoru proizvodne linije potrebam delovnega procesa z minimalnimi posegi uporabnikov.

Razviti sistem sestavljata industrijski krmilnik in Androidna aplikacija. Krmilnik upravlja z lučmi, procesira signale senzorjev in stikal. Android aplikacija je namenjena upravljanju razsvetljave, nastavitvam sistemskih parametrov in pregledu statistike porabe energije. Za uspešno realizacijo naloge je bila kot ključni element implementirana povezava industrijskega krmilnika in sistema Android, ki poleg razvitega sistema pametne razsvetljave omogoča tudi poenostavitev diagnosticiranja okvar na velikih postrojenjih.

## Key document information

Name and SURNAME: David ŠKRLJ

Title of the final project paper: Smart lighting system for production lines

Place: Koper

Year: 2022

Number of pages: 49

Number of figures: 25

Number of tables: 6

Number of references: 22

Mentor: Assoc. Prof. Klen Čopič Pucihar, PhD

Co-Mentor: Assoc. Prof. Matjaž Kljun, PhD

Keywords: smart light system, PLC, Android

Abstract:

Efficient use of energy not only reduces carbon dioxide emissions, but also lowers its costs. Calculations show that we use 20 % of energy for lighting. One method to save energy is to use smart lighting, where light level is adjusted to the needs of the users. As a part of this final project, we will try to reduce the consumption of electricity for lighting in the company Plama pur, d. o. o. We will try to achieve this through design, implementation and evaluation of the system that can adjust the lighting in production line area according to the needs of the working process with minimal user intervention.

The developed system consists of an industrial controller and Android application. The controller controls the lights, processes signals from sensors and switches. The Android application is intended for lighting management, settings system parameters and reviewing energy consumption statistics. For the successful realization of the project we need to develop the connection between the industrial controller and Android system. This contribution is important as it could be used to simplify fault diagnostics on machinery on large plants.

# Kazalo vsebine

|          |                                                                                                    |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>UVOD</b>                                                                                        | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>PAMETNA RAZSVETLJAVA</b>                                                                        | <b>2</b>  |
| 2.1      | Literatura . . . . .                                                                               | 2         |
| 2.2      | Definicija . . . . .                                                                               | 3         |
| <b>3</b> | <b>NAČRTOVANJE IZBOLJŠAVE RAZSVETLJAVE V HALI LOGI-<br/>STIKE ROL PODJETJA PLAMA PUR, d. o. o.</b> | <b>6</b>  |
| 3.1      | Proizvodnja rol . . . . .                                                                          | 6         |
| 3.2      | Analiza obstoječe razsvetljave na liniji logistike rol . . . . .                                   | 9         |
| 3.3      | Funkcijske in nefunkcijske zahteve sistema . . . . .                                               | 12        |
| 3.4      | Podatkovni model . . . . .                                                                         | 13        |
| 3.5      | Razsvetljava . . . . .                                                                             | 15        |
| <b>4</b> | <b>IMPLEMENTACIJA SISTEMA PAMETNE RAZSVETLJAVE<br/>INDUSTRIJSKE LINIJE</b>                         | <b>19</b> |
| 4.1      | Podobni sistemi . . . . .                                                                          | 19        |
| 4.2      | Industrijski krmilnik – PLK . . . . .                                                              | 21        |
| 4.2.1    | Zgodovina SIMATIC-a . . . . .                                                                      | 21        |
| 4.2.2    | Programiranje . . . . .                                                                            | 23        |
| 4.2.3    | Implementacija programa pametne razsvetljave del PLK. . . . .                                      | 26        |
| 4.3      | Androidna aplikacija . . . . .                                                                     | 29        |
| 4.3.1    | Izdelava aplikacije . . . . .                                                                      | 32        |
| 4.3.2    | Programska knjižnica MOKA 7 . . . . .                                                              | 33        |
| 4.4      | Dokumentacija . . . . .                                                                            | 34        |
| <b>5</b> | <b>EVALVACIJA SISTEMA</b>                                                                          | <b>36</b> |
| <b>6</b> | <b>ZAKLJUČEK</b>                                                                                   | <b>38</b> |
| <b>7</b> | <b>LITERATURA IN VIRI</b>                                                                          | <b>39</b> |

# Kazalo preglednic

|   |                                                                                                                |    |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Seznam merilnih mest. . . . .                                                                                  | 10 |
| 2 | Izmerjene vrednosti osvetlitve v hali. . . . .                                                                 | 10 |
| 3 | Okvirne vrednosti osvetljenosti glede na zahtevnost vidne naloge [1]. . .                                      | 15 |
| 4 | Priporočene vrednosti vzdrževane osvetljenosti skupnih in servisnih prostorov v poslovnih stavbah [1]. . . . . | 16 |
| 5 | Povzetek karakteristik svetlobnih virov [1]. . . . .                                                           | 17 |
| 6 | Primerjava podatkovnih tipov c++ in iEC61131-3. . . . .                                                        | 26 |

# Kazalo slik in grafikonov

|    |                                                                        |    |
|----|------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Sistem pametne razsvetljave [2]. . . . .                               | 4  |
| 2  | Rola, pripravljena na stiskanje. . . . .                               | 6  |
| 3  | Diagram UML pot role od nastanka do odpreme. . . . .                   | 7  |
| 4  | Diagram UML uporabniških vlog pri proizvodnji rol. . . . .             | 8  |
| 5  | Odvoz rol z viličarjem. . . . .                                        | 8  |
| 6  | Tlorisa hale in merilnih mest. . . . .                                 | 9  |
| 7  | Električni načrt obstoječe razsvetljave (strani 11 in 12). . . . .     | 11 |
| 8  | Diagram UML podatkovnega toka nivo 0. . . . .                          | 13 |
| 9  | Diagram UML podatkovnega toka nivo 1. . . . .                          | 14 |
| 10 | Pametna razsvetljava v hali OI - PLK. . . . .                          | 20 |
| 11 | Pametna razsvetljava v hali KŽ. . . . .                                | 20 |
| 12 | Philips PU20 PLK iz leta 1985. . . . .                                 | 22 |
| 13 | Lestvični diagram - LAD [15]. . . . .                                  | 24 |
| 14 | Primer programa LAD. . . . .                                           | 24 |
| 15 | Primer programa STL. . . . .                                           | 25 |
| 16 | Primer programa FBD [14]. . . . .                                      | 25 |
| 17 | Primer klic FBD. . . . .                                               | 26 |
| 18 | Električni načrt projekta pametne razsvetljave(strani 1 in 2). . . . . | 27 |
| 19 | Funkcija filtra vhodnih signalov. . . . .                              | 28 |
| 20 | Makete pametne razsvetljave. . . . .                                   | 30 |
| 21 | Različice androida [10]. . . . .                                       | 31 |
| 22 | Ikone projekta. . . . .                                                | 32 |
| 23 | Zaslonska slika androidne aplikacije. . . . .                          | 33 |
| 24 | Merilnik porabe električne energije. . . . .                           | 37 |
| 25 | Prikaz statistike prihrankov. . . . .                                  | 37 |

## Seznam kratic

|     |                                                                           |
|-----|---------------------------------------------------------------------------|
| UML | Poenoteni jezik modeliranja (ang. Unified Modeling Language)              |
| LED | Svetleča dioda (ang. Light-Emitting Diode)                                |
| KŽ  | Krožna žaga                                                               |
| OI  | Oblikovani izdelki                                                        |
| PLK | Programabilni logični krmilnik (angl. programmable logic controller, PLC) |
| CPE | Centralna procesna enota (angl. CPU)                                      |
| HMI | Vmesnik človek stroj (angl. Human-Machine Interface)                      |
| OB  | Organizacijski blok (angl. Organization block)                            |
| FB  | Funkcijski blok (angl. Function block)                                    |
| DB  | Podatkovni blok (angl. Data block)                                        |
| LAD | Lestvični diagram, programski jezik (ang. Ladder diagram)                 |
| STL | Lista ukazov, programski jezik (angl. Statement List)                     |
| OS  | Operacijski sistem (ang. Operating system)                                |

# Zahvala

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Klenu Čopiču Puciharju in somentorju izr. prof. dr. Matjažu Kljunu za vso pomoč pri nastanku te naloge, družini za podporo med študijem, podjetju Plama pur, d. o. o., ki je podprlo moj študij, lektorici, ki je slovnično uredila besedilo, ter Roku Šenkincu za nasvete in pomoč pri delu s Siemensovimi krmilniki.



# 1 UVOD

Energetsko učinkovita raba energije ne zmanjša le izpusta ogljikovega dioksida, ampak tudi zniža stroške. Skrb za planet, ekonomski izračuni in splošno družbeno okolje narekujejo odgovorno ravnanje z naravnimi viri. Izračuni kažejo, da gre 20 % celotne porabe energije za razsvetljavo. Energijo za razsvetljavo lahko prihranimo na več načinov. Eden od njih je uporaba svetlobnih teles z večjim izkoristkom, drugi pa je učinkovita oz. smotrna raba energije. Učinkovita raba pomeni, da stopnjo osvetlitve prilagajamo potrebam uporabnikov. Večjim sistemom za nadzor delovanja osvetlitve pravimo pametna razsvetljava. Integracija naravne in umetne svetlobe v kombinaciji z zaznavo prisotnosti je ključ do prihranka energije.

Poleg zaznave prisotnosti je pri večjih objektih, kot je industrijska hala, treba upoštevati potrebe posameznika, čigar delo je omejeno na določen prostor in želeno intenzivnost osvetlitve za opravljanje njegove naloge. Sistem pametne razsvetljave razbremeni uporabnike, saj odpade skrb za upravljanje razsvetljave (prižiganje in ugašanje luči). Primerna osvetlitev je pomembna za zdravje zaposlenih in za kakovostno delovno okolje. Sodobne tehnologije za obdelavo podatkov, pametni senzorji in omrežne tehnologije omogočajo gradnjo kompleksnih sistemov za pametno upravljanje zgradb in s tem tudi razsvetljave. Za dobro načrtovanje sistema za upravljanje razsvetljave so pomembni trije dejavniki, in sicer količina, mesto in čas svetlobe, pri določanju teh faktorjev pa je potrebna temeljita študija potreb uporabnikov. Smiselnost sistema je treba oceniti s primerjavo klasične in pametne razsvetljave. Zastavljen cilj projekta je prihranek energije, pri čemer pa ne sme trpeti delovni proces.

Projekt se osredotoča na nadgradnjo obstoječe razsvetljave z računalniškim krmljenjem. Vhodni podatki sistema so nivo sončne svetlobe, detekcija prisotnosti, signali upravljaljskih stikal in podatki aplikacije (Android) za upravljanje sistema. Kontrolna logika je implementirana v računalniškem programu. Izhod uporabi obstoječo vezavo za nadzor razsvetljave, ki jih krmili računalnik.

## 2 PAMETNA RAZSVETLJAVA

### 2.1 Literatura

Eden najpomembnejših virov o pametni razsvetljavi je Lighting Controls Handbook (Priročnik za kontrolo razsvetljave) [2], ki obravnava tehnike upravljanja nadzora razsvetljave. Pri tem je glavni cilj zmanjšanje porabe energije. Sistem pametne razsvetljave sestavljajo:

- zbiranje vhodnih informacij
- krmilna logika in
- krmiljenje izhoda.

Informacije se zbirajo na več načinov. Najosnovnejša oblika so stikala, ki so na voljo uporabnikom. Ta so lahko fizična ali virtualna na zaslonu, lahko delujejo kot klecna stikala, tipke, na dotik, lahko pa tudi na gesto ali na zvočno komando. Vsak sistem ima na vhodu senzor, skoraj obvezen je senzor svetlobe, pogosto so uporabljeni senzorji za zaznavo prisotnosti. Vhodni podatki so lahko čas razsvetljave, ura v dnevu in datum. Informacije lahko posreduje tudi drugi sistem, kot je na primer registracija prisotnosti. Krmilna logika zbrane informacije obdelava in prilagaja nivo svetlobe. Pravo mero določajo trije kriteriji: količina, mesto in čas svetlobe. V navedenem gradivu je predstavljenih veliko primerov krmiljenja razsvetljave. Osnovno načelo je razčlenitev potreb uporabnikov prostora. Izhod je lahko krmiljen prek relejskih izhodov ali prek zatemnilne vezave (angl. dimmer), lahko pa kombiniramo obe tehniki. Zatemnilna vezava omogoča zvezno regulacijo svetlosti, relejska vezava pa ponuja dve možnosti – prižgano in ugasnjeno.

Avtor navaja tri strategije:

- prava mera svetlobe,
- pravo mesto in
- pravi čas.

Zasnova krmilne logike temelji na študiji potreb uporabnikov. Druga referenčna literatura, iz katere sem črpal podatke za nalogo, je članek z naslovom Methodology

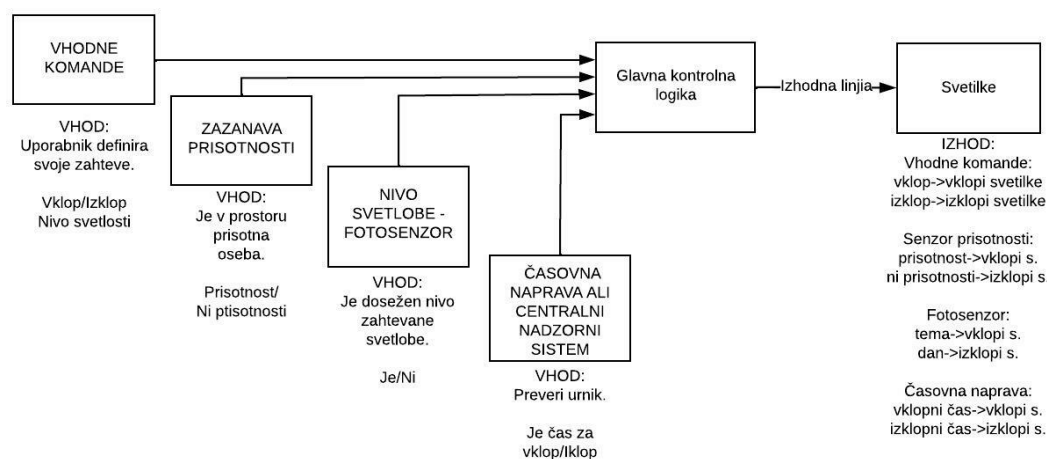
for Comparison of Building Daylighting Systems [4], ki se osredotoča na ovrednotenje vira naravne svetlobe v prostoru glede na različne dejavnike. Avtorji vpeljejo izraz sistemi dnevne osvetlitve (angl. daylighting light systems DLS), pri čemer gre za okna, svetlobnike, prosojne stene in podobno. Obravnava odvisnost nivoja dnevne svetlobe v odvisnosti od različnih dejavnikov, kot so velikost in oblika prostora, zemljepisna orientacija (sever - jug). Integracija dnevne svetlobe je bistveni dejavnik pri zmanjševanju porabe energije. Podobno tematiko obravnava članek Parametric Study in Office Building for Daylighting Performance and Energy Saving [7], le da je usmerjen na sama okna kot vir naravne svetlobe. Članek Energy savings due to occupancy sensors and personal controls: A pilot field study [3] pa predstavlja rešitev pametne razsvetljave, ki temelji na senzorjih zaznave prisotnosti v kombinaciji z registracijo prisotnosti na delovnem mestu. Študija, ki se nanaša na pisarniško okolje, dokazuje, da se je energijska učinkovitost pametne razsvetljave izboljšala tudi do 50 % v primerjavi s klasično razsvetljavo. Podobne rezultate navaja Daylighting Performance and Potential for Electricity Savings by Using Daylighting in Commercial Buildings Located in Florianópolis, Brazil [8]. Članek An analysis of energy-efficient light fittings and lighting controls [5] analizira sistem pametne razsvetljave na primeru šole. Primerja različne pristope regulacije svetilnosti, in sicer v okviru sistema vklop-izklop in zvezne zatemnitve (angl. dimmer). Izsledki tega članka najbolj sovpadajo s temo in rezultati mojega projekta. Avtorja primerjata različne topologije konfiguracije razsvetljave svetilk, ki so razdeljene v linije. Izmerjeni prihranki so bili tudi do 70 % v primerjavi s klasično regulacijo razsvetljave. Šolski pouk poteka večinoma podnevi, zato so lahko prihranki veliki. Na primeru industrijske linije, kjer proizvodnja poteka v treh izmenah, lahko pričakujemo nižje prihranke, saj ponoči potrebujemo vsaj minimalni nivo osvetlitve.

## 2.2 Definicija

Pametna razsvetljava ali angleško lighting control system včasih tudi smart lighting je inteligentna rešitev, ki temelji na komunikaciji med različnimi vhodnimi signali, ki jih povezuje kontrolna logika. Glavni motiv za uporabo pametne razsvetljave je varčevanje z energijo. Cilj je dovolj svetlobe na pravem mestu ob pravem času.

Na trgu je dobavljivih veliko proizvodov za nadzor razsvetljave, ki pa jih lahko samo pogojno uvrščamo med sisteme za pametno razsvetljavo. Največkrat so to senzorji gibanja, ki so lahko vgrajeni v svetilko ali pa so samostojeci in namenjeni za nadzor ene same cone. Pametna razsvetljava je po definiciji omrežje naprav za upravljanje razsvetljave in zato ena svetilka, opremljena s senzorjem ni tak sistem. Obstajajo sistemi za nadzor domačega okolja, imenovani pametna hiša [12], ki nadzoruje delovanje

raznih podsistemov, na primer ogrevanje, klimatizacije, naprave za čiščenje in seveda naprave za nadzor razsvetljave. Ti sistemi postajajo cenovno bolj dosegljivi in se zato uporabljajo v čedalje večji meri. Upravljajo se na več načinov, na primer prek gumbov in stikal, upravljalnih panelov, v zadnjem času pa prevladujejo mobilne aplikacije. Prihranki v domačem okolju so pričakovano veliko nižji kakor v primerih javnih prostorov, vzrok za to pa je, da so stanovalci v domačem okolju praviloma bolj motivirani za varčevanje. Kot zanimivost naj omenim še aplikacijo za, odvrčanje potencialnih vlomilcev, ki emulira prisotnost domačih v hiši z vklopjanem luči, televizorja in zastiranjem oken. Veliko bolj kakor v domačem okolju so sistemi pametne razsvetljave upravičeni v javnih prostorih, namenjenih za večje skupine ljudi, kot so npr. trgovine, šole, zdravstvene ustanove, uradi ipd. Sem spadajo tudi industrijski prostori, za katere je značilno za te je, da isti prostor uporabljajo posamezniki v različnih vlogah, v šolah so to na primer učitelj, učenec, snažilka itd. Pri tem ne moremo pričakovati, da bodo vsi vestno skrbeli za ugašanje luči. Javni prostori so običajno večji objekti, zato je investicija v sistem pametnega nadzora razsvetljave smiselna in ekonomsko upravičena. Lahko gre za celovit sistem, ki nadzira klimatizacijo, vstop v prostor, razsvetljavo ipd. Druga, v praksi najpogostejša možnost, je ločeno upravljanje podsistemov. Za načrtovanje sistema pametne razsvetljave je pomembno dobro razumevanje procesov, ki se dogajajo v prostoru. Treba je dobro preučiti potrebe vseh udeležencev in značilnosti samega prostora. Uporaba diagramskih tehnik najbolj nazorno pokaže dogajanje na obravnavanem območju.



Slika 1: Sistem pametne razsvetljave [2].

Kot je bilo že povedano, je v preučevani literaturi osnovno načelo, da potrebujemo pravo mero svetlobe, na pravem mestu in ob pravem času. Za doseganje tega cilja je

potrebna analiza potreb vsakega uporabnika in vsakega prostora posebej. Definirati je treba vrsto naloge, ki jo bo posameznik opravljal, in mesto dogajanja. Standard določa vrednosti osvetljenost za razne vrste dela in dejavnosti. Kot primer za to sta lahko dežurna medicinska sestra v nočni izmeni in kirurg. Standard določa vrednost 50 lx osvetljenosti hodnikov za vrsto dela, ki ga opravlja medicinska sestra. V operacijski sobi je predpisanih 1000 lx. Za razsvetljavo hodnikov bolnišnic je pametna razsvetljava odlična rešitev, za kirurško dvorano pa je povsem neprimerna. Pri načrtovanju pametne razsvetljave je treba upoštevati še varnostni vidik. V nobenem primeru ne sme zmanjkati svetlobe, medtem ko v prostoru nekdo izvaja neko nalogo. Za skrajni primer pa mora ostati minimalna raven osvetlitve oz. tako imenovana orientacijska ali pohodna razsvetljava. Za izvedbo razsvetljave je treba izbrati ustrezno strojno opremo. Osnova je neka oblika računalnika, ki lahko komunicira z ostalimi elementi sistema. PLK [15] ima veliko vhodov, izhodov in omrežni vmesnik, zato je dobra izbira za tako nalogo. Vhodi so zasnovani za delo s stikali, senzorji in drugimi električnimi napravami, izhodi pa upravljajo električne naprave, med katere uvrščamo tudi svetilke. Večji sistemi večinoma uporabljajo PLK. Namenski moduli, ki imajo že integrirano vso opremo, ki jo potrebuje sistem pametne razsvetljave, so preprostejši za vgradnjo in programiranje. Ideja namenskih modulov je, da jih preprosto vgradimo, nastavimo parametre in poženemo. Njihova pomanjkljivost je omejen nabor funkcionalnosti, prednost pa preprosta uporaba. Obstaja še ena rešitev, to je Digital Addressable Lighting Interface (DALI) [11], ki omogoča komunikacijo s svetili kar prek napajalnih kablov. Svetilke imajo lahko vgrajene še razne senzorje.

# 3 NAČRTOVANJE IZBOLJŠAVE RAZSVETLJAVE V HALI LOGISTIKE ROL PODJETJA PLAMA PUR, d. o. o.

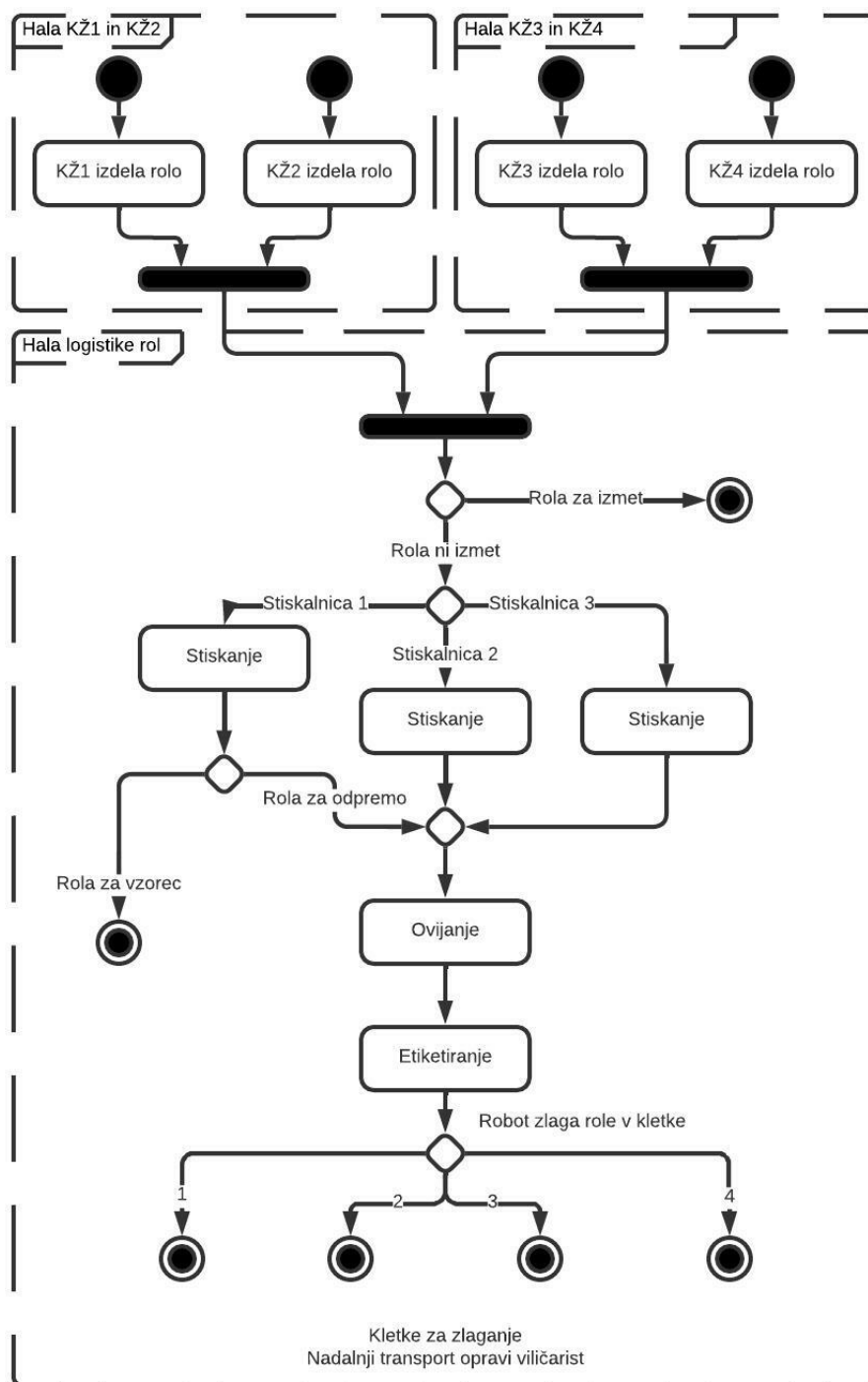
## 3.1 Proizvodnja rol

Rola je tepih poliuretanske pene, ki je navit na kartonski tulec, in predstavlja 40 % celotne proizvodnje podjetja. Dimenzije rol so od 1000 do 2050 mm v dolžino, premer je od 300 do 1800 mm, debelina tepiha je med 1 do 50 mm. Role se razlikujejo glede na tip pene.



Slika 2: Rola, pripravljena na stiskanje.

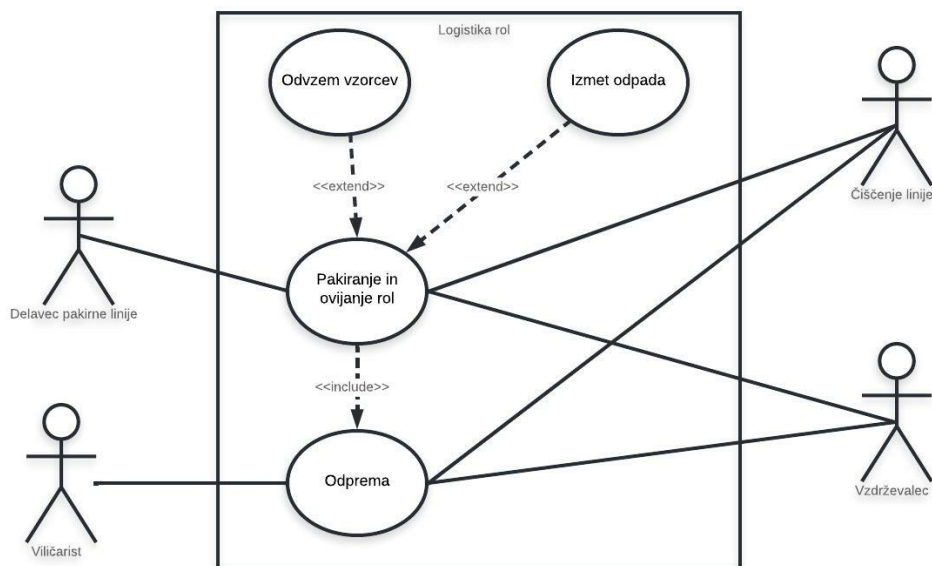
Proizvodnja rol poteka v treh halah. V dveh sta dva stroja – krožni žagi (KŽ), ki iz 60 metrov dolgega bloka režeta role. Povezovalni transporterji prepeljejo role od krožnih žag do hale logistike rol, kjer jih pripravijo za nadaljnji transport. V logistiki role stisnejo na manjši volumen, jih ovijejo v folijo in opremijo z etiketami. Tako pripravljene role robot zлага v štiri kletke. Role v kletkah prevzame voznik viličarja in jih odpremi v skladišče.



Slika 3: Diagram UML pot role od nastanka do odpreme.

Procesi v hali logistike rol so povsem avtomatizirani. Odvoz rol opravlja voznik viličarja približno na vsakih 10 minut. Dvakrat na izmeno oskrbnik linije vstavi novo folijo ali nove nalepke. Enkrat tedensko linijo očistijo. Ostala dela so nepredvidena, običajno gre za vzdrževalne posege. Voznik viličarja opravlja transportna dela z

viličarjem, vzdrževalec opravlja vzdrževalna dela, ostali obiskovalci so drugi udeleženci, ki niso neposredno povezani s procesi v hali.



Slika 4: Diagram UML uporabniških vlog pri proizvodnji rol.

Slika 4 prikazuje akterje na liniji logistike rol in je dobra osnova za analizo potreb po svetlobi na tej liniji. Vsak od uporabnikov ima različne potrebe in zahteve glede razsvetljave.

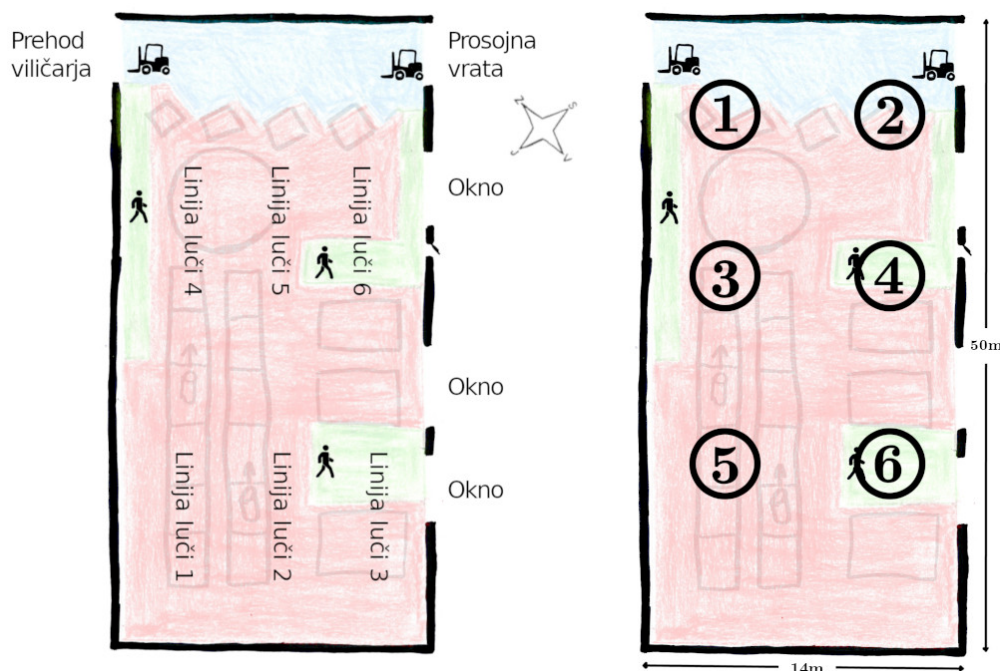


Slika 5: Odvoz rol z viličarjem.



## 3.2 Analiza obstoječe razsvetljave na liniji logistike rol

Hala meri 14 m v širino in 50 m v dolžino, njena višina je med 4,5 in 7,5 m. Sredinska višina je večja zaradi dvokapne strehe. Severna stena meji na dvorišče, ostale stene na druge stavbe. Na dvoriščni strani so tri okna, velika avtomatska vrata oz. prehod za viličarje, osebni prehod in avtomatska vrata za role večjih dimenzij. Nasproti vrat za viličarje v steni, ki meji na drugo halo so še ena vrata, ki viličarjem omogočajo prehod skozi linijo logistike. Na strehi so trije svetlobniki. Meritve dimenzij so bile opravljene z laserskim merilnikom Bosch DLE 70 .



Slika 6: Tlorisa hale in merilnih mest.

Zgornja stran tlorisa je obrnjena na severozahod, okna gledajo na severovzhod, svetlobniki pa na jugozahod. Procesi v hali so popolnoma avtomatizirani, posebnost je le odvoz rol z viličarji. Prisotnost delavca je potrebna pri zamenjavi folije in v primeru nepredvidenih situacij. Zamenjava rol poteka približno dvakrat dnevno, odvisno od vrste parkiranja. Nepredvidene situacije so neželeni dogodki in takrat je potreben vzdrževalni poseg. Največ napak se pojavi zaradi nepravilnega delovanja senzorjev (npr. odtrgani del folije ali pene prekrije senzor). Napako največkrat odpravi operater za večje napake, medtem ko strojelome odpravlja vzdrževalna služba. Hala je z barvami razdeljena na tri območja: modro je območje za viličarje, zeleno za delavce,

varnostno območje pa je v rdeči barvi. Vstop v varnostno območje je mogoč samo ob varnostni zaustavitvi linije in je namenjen vzdrževalnim delom. Leta 2020 je podjetje Plama pur, d. o. o., v celoti obnovilo in nadgradilo oddelek logistike rol in takrat je bila obnovljena tudi razsvetljava. Hala je osvetljena s 33 svetilkami Thorn HIPAK LED10000-840 HF WD GEN3 HE, svetlobni vir je svetleča dioda (LED). Svetilke so razvite za industrijsko okolje. Vz dolž hale so napete tri jeklene vrvi, na katere so obešene svetilke. Svetilke so vidne na sliki 5, njihova postavitve pa na sliki 6. Izmerjena osvetljenost, ki jo proizvedejo svetilke, je med 300 in 500 lx. Meritve svetlobe sem opravil s svetlometerom Beha 93421 digital lux meter. Meril sem na sončen dan, 2. 6. 2022, ob 8. uri, na sončen dan 6. 6. 2022 ob 17.20, na oblačen dan 7. 6. 2022 popoldan in v popolnem mraku, ob prižganih svetilkah, dne 7. 6. 2022. Na sliki tlorisa sem označil šest merilnih točk.

Tabela 1: Seznam merilnih mest.

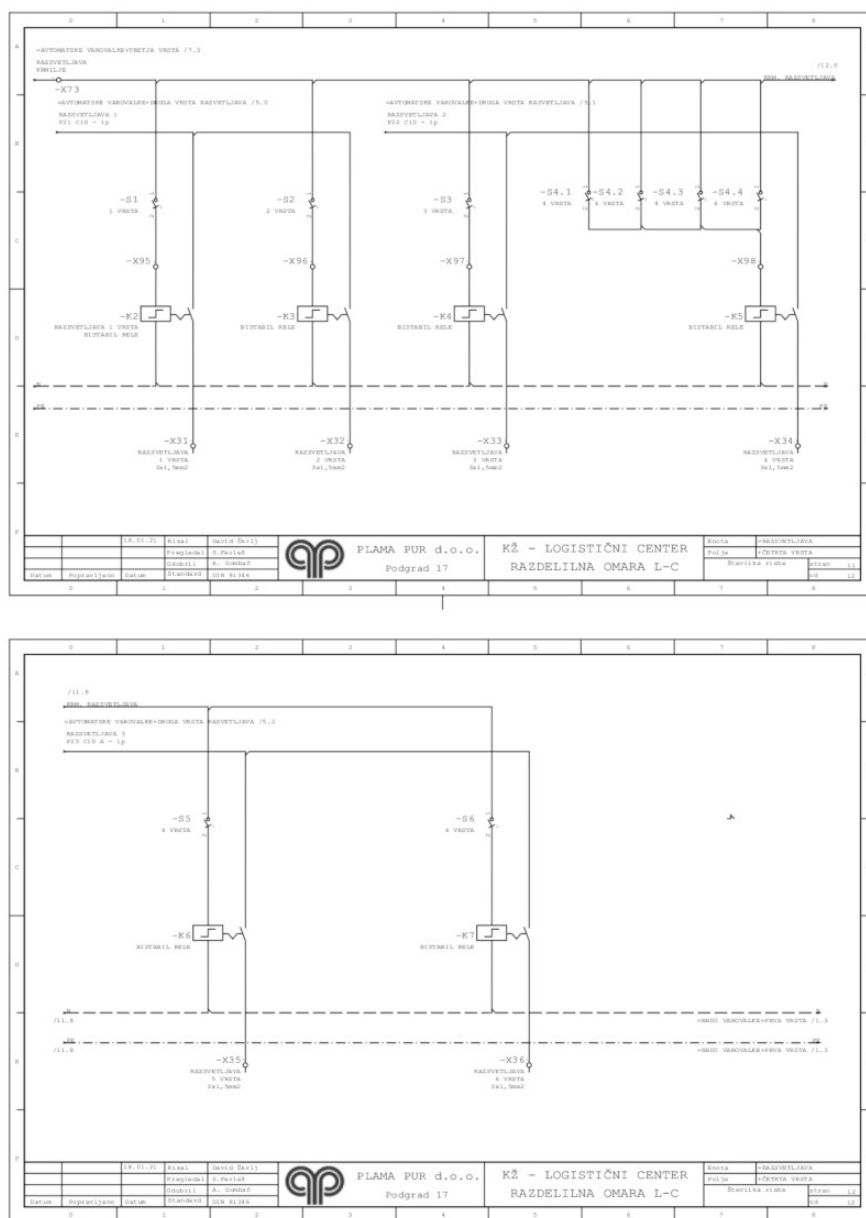
| Pozicija          | Delovno mesto, stroj                |
|-------------------|-------------------------------------|
| 1. Vhod v halo    | viličar, osebni prehod              |
| 2. Izhod iz hale  | viličar, osebni prehod              |
| 3. Leva sredina   | kontrola delovanja                  |
| 4. Desna sredina  | stiskalnica rol 3, ovijalna naprava |
| 5. Izmet odpada   | zaprto območje                      |
| 6. Odvzem vzorcev | stiskalnica rol 1 in 2              |

Tabela 2: Izmerjene vrednosti osvetlitve v hali.

| Merilno mesto     | Dopoldan<br>brez<br>razsve-<br>tljave(lx) | Popoldan<br>brez<br>razsve-<br>tljave(lx) | Oblačen<br>dan rez<br>razsve-<br>tljave(lx) | Noč ume-<br>tna razsve-<br>tljava(lx) |
|-------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Vhod v halo    | 210                                       | 490                                       | 150                                         | 370                                   |
| 2. Izhod iz hale  | 1400                                      | 780                                       | 300                                         | 330                                   |
| 3. Leva sredina   | 159                                       | 150                                       | 60                                          | 300                                   |
| 4. Desna sredina  | 2400                                      | 590                                       | 210                                         | 500                                   |
| 5. Izmet odpada   | 130                                       | 190                                       | 50                                          | 330                                   |
| 6. Odvzem vzorcev | 1180                                      | 800                                       | 250                                         | 460                                   |

Pozicije 2, 4 in 6 so zelo dobro pokrite z dnevno svetlobo, pozicija 1 srednje dobro, poziciji 3 in 5 sta zelo slabo osvetljeni. Svetilke so povezane v šest linij. Vklop in izklop

se vršita s šestimi tipkami. Linije so skicirane na tlorisu s prejšnje strani. Krmilni del je v električni omarici. Vse podrobnosti elektroinstalacije so prikazane v električnem načrtu.



Slika 7: Električni načrt obstoječe razsvetljave (strani 11 in 12).

Poraba linij 1, 2 in 3 je 2 A na eno linijo, ki je sestavljena iz šestih svetilk. Linije 4, 5 in 6 sestavlja po pet svetilk, pri čemer je poraba 1,7 A na linijo. Meritve so opravljene z merilnikom Fluke 325 – true rms clamp meter. Skupna poraba je 11,1 A, kar na letni ravni pomeni 24,309 kWh ob predpostavki, da so svetilke neprestano prižgane.

### 3.3 Funkcijske in nefunkcijske zahteve sistema

Funkcijske zahteve je najlažje definirati s pomočjo uporabniških vlog, prikazanih na sliki 4 oz. na diagramu. Prostor uporablja več oseb z različnimi nalogami. Prvi je delavec na viličarju, ki odvažajo role v skladišče za polnjene tovornjakov. Drugi je delavec, ki stroje oskrbuje z materialom, največkrat gre za menjavanje folije, včasih, v primeru zastoja, pa tudi očisti linijo. Tretji je vzdrževalec, ki nastopi v primeru okvare ali zastoja. Nadrejeni delavec in gasilec nista neposredno udeležena v proizvodnji, saj opravljata drugačne naloge na liniji. Funkcijske zahteve po delavcih:

- sistem osvetli delovišče vozniku viličarja, ko je prisoten, in to periodično vsakih pet minut, osvetlitev potrebuje pol minute v času, ko ni dovolj dnevne svetlobe;
- sistem osvetli delovno mesto delavcu linije, ki dvakrat dnevno menja folijo ali nalepke. Delo traja približno pol ure;
- sistem osvetli halo čistilcu med periodičnim čiščenjem;
- sistem osvetli halo vzdrževalcu med opravljanjem vzdrževalnih del;
- sistem osvetli prehodno pot gasilcu na obhodu, ko ni dovolj zunanje svetlobe.

Ostale funkcijske zahteve:

- sistem mora imeti komande za upravljanje;
- sistem mora imeti možnost spreminjanja nastavitvev;
- sistem mora imeti možnost vpogleda v statistiko delovanja;
- sistem mora imeti jasna navodila za delo in varnostna opozorila

Nefunkcijske zahteve sistema so večinoma povezane z zahtevami za varno delo:

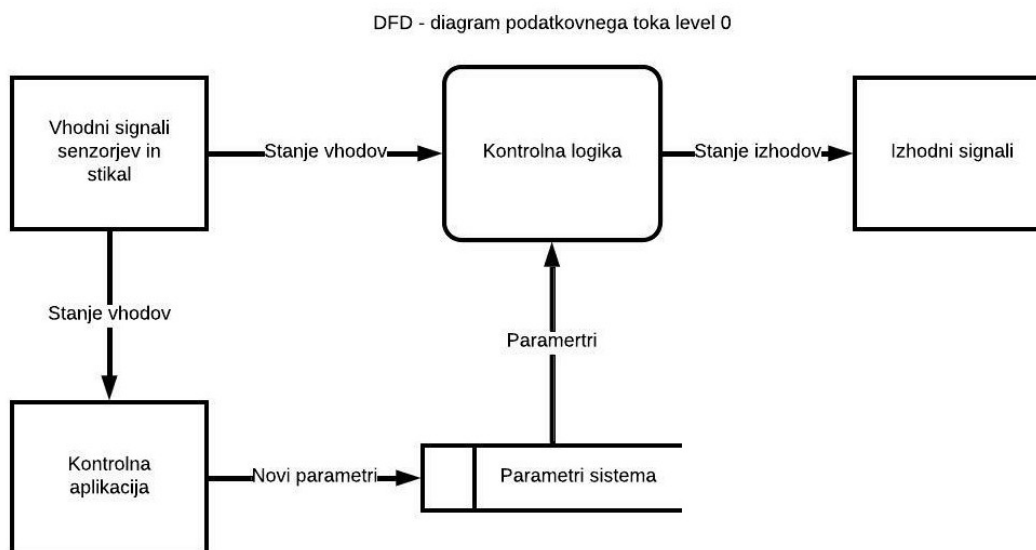
- sistem upošteva vse standarde, zakonodajne norme in druga pravila, povezana z razsvetljavo industrijskih objektov;
- upravljanje sistema mora biti preprosto in logično;
- sistem neprekinjeno obratuje 365 dni v letu;
- v primeru izpada napajanja (izpad električne energije) mora obstajati zasilna razsvetljava;
- ob izpadu delovanja oz. napake v sistemu mora biti omogočeno zasilno delovanje (bypass), na primer ročni vklop razsvetljave;

- poraba energije, ki jo sistem potrebuje za delovanje, mora biti zanemarljiva v primerjavi s prihranjeno električno energijo;
- sistem omogoča mrežno povezavo z drugimi sistemi v podjetju;
- sistem ima dokumentacijo.

Nefunkcijske zahteve bodo večinoma tema poglavja Implementacija sistema, standardi in normativi bodo opisani v podpoglavju Razsvetljava. Pomemben dejavnik je tudi čas, ki ga porabi posamezen delavec na liniji. Voznik viličarja odpelje role približno vsakih pet minut. Nakladanje in odvoz traja v povprečju pol minute. Delavec za oskrbo strojev porabi dvajset minut za zamenjavo folije. Odpravljanje morebitnega zastoja traja eno uro. Občasno je potreben dolgotrajen nadzor, največkrat zaradi posebnosti pri določenem tipu rol, ki ga opravlja delavec linije. Nadrejeni delavec je prisoten po potrebi, medtem ko ima gasilec stalen in v naprej določen urnik obhodov.

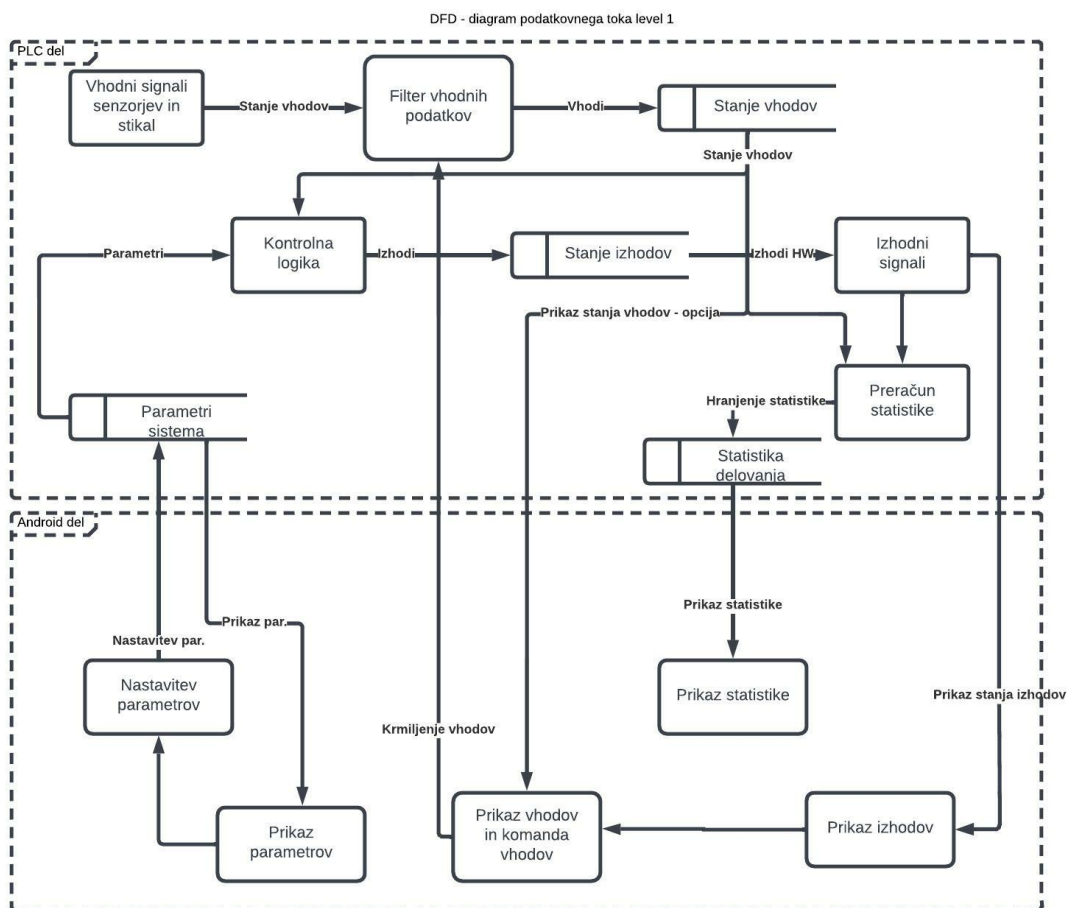
### 3.4 Podatkovni model

Sistem pametne razsvetljave je po definiciji omrežna rešitev, ki iz vhodnih podatkov prek kontrolne logike definira neko izhodno stanje. Vhodni podatki sistema so stanje ročnih komand (stikal), stanje senzorjev prisotnosti, nivo naravne (sončne) svetlobe, komande androidne aplikacije in čas (ura, datum). Kontrolna logika iz vhodnih informacij izračuna stanja izhodov.



Slika 8: Diagram UML podatkovnega toka nivo 0.

Vhodni signali lahko vsebujejo motnje, to pa so napačne vrednosti signala zaradi vplivov okolice. Za električne signale je motnja kratek impulz, ki za trenutek spremeni vrednost signala. Motnje izloči vhodni filter. Tako prečiščene signale shranimo v spominsko mesto stanja vhodov. Krmilna logika na podlagi vhodnih signalov in nastavljenih parametrov izračuna izhodne vrednosti. V procesu za preračun statistike se zajame stanje izhodnih in vhodnih signalov ter izračunajo statistični podatki, na primer porabljena energija, ki se shranijo v permanentno shrambo statistike sistema. Androidna aplikacija dobi podatke, shranjene v parametrih sistema, statistiki delovanja, stanju vhodov in izhodov. Parametre in vrednosti izhodov lahko uporabnik aplikacije spreminja in jih spremenjene ponovno vpiše. Primer za to je bolj razčlenjen podatkovni diagram v nadaljevanju, ki pokaže opisane komponente.



Slika 9: Diagram UML podatkovnega toka nivo 1.

Večinski podatkovni tip je logična vrednost 0 ali 1 velikosti en bit. Najobsežnejša je shramba statistike, kjer se hranijo vrednosti dint velikosti 4 bytov. Diagram podat-

kovnega toka je dober pripomoček za nadaljnji razvoj sistema, saj pokaže strukturo sistema.

### 3.5 Razsvetljava

Razvoj sistema pametne razsvetljave zahteva poznavanje osnov razsvetljave, normativov in standardov. Človeško oko se je skozi evolucijo prilagodilo naravni svetlobi, ki je vedno najboljša izbira. Če je naravne svetlobe premalo, jo zamenja umetna. Najbolj je v rabi električna razsvetljava, ki pa ima seveda tudi slabe strani. Njena največja prednost je svetloba takoj ob vklopu stikala (angl. on demand), slaba stran pa poraba energije in nevarnost za zdravje, če uporabimo neprimerno svetlobo. Do konca 18. stoletja so uporabljali različne svetlobne vire, kot na primer bakle, sveče, oljne svetilke in podobno, vsi pa so temeljili na ognju [21]. Uporaba ognja za razsvetljavo je predstavljala veliko požarno nevarnost. Začetek nove dobe umetne razsvetljave predstavlja Edisonov patent električne svetilke iz leta 1879 [20]. Razvoj svetlobnih virov je zadnjih sto let eksponenten. Razsvetljavo najprej razdelimo na zunanjo in notranjo [1]. Notranje prostore glede na namen rabe razčlenimo na pisarne, proizvodne, izobraževalne, trgovske, prireditvene, zdravstvene in bivalne prostore. Vsaka skupina ima glede razsvetljave specifične zahteve, ki jih je treba upoštevati pri njenem načrtovanju. Obstajajo priporočila, standardi in zakonska regulativa. Za proizvodne prostore veljavna predpisa sta Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih in Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Za doseganje normativov načrtovalci upoštevajo vrednosti iz teh tabel:

Tabela 3: Okvirne vrednosti osvetljenosti glede na zahtevnost vidne naloge [1].

| Vidna naloga                                     | Potrebna osvetljenost (lx) |
|--------------------------------------------------|----------------------------|
| Gibanje na prostem                               | 30                         |
| Gibanje v prostoru, orientacija, občasno bivanje | 100                        |
| Občasno delo                                     | 150                        |
| Opravila pri majhnih zahtevah za vid             | 300                        |
| Opravila pri povprečnih zahtevah za vid          | 500                        |
| Opravila pri večjih zahtevah za vid              | 750                        |
| Opravila pri velikih zahtevah za vid             | 1000                       |
| Opravila pri posebnih zahtevah za vid            | 1500                       |
| Zelo natančne vidne vloge                        | 2000                       |

Tabela 4: Priporočene vrednosti vzdrževane osvetljenosti skupnih in servisnih prostorov v poslovnih stavbah [1].

| Prostor                      | Priporočena vzdrževana osvetljenost (lx) | Dodatna priporočila                                       |
|------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Vhodna veža, avla, recepcija | 200<br>(splošna osvetlitev)              | 300 lx<br>na recepcijskem pultu                           |
| Stopnišča                    | 150<br>(na površini stopnic)             |                                                           |
| Hodniki                      | 100 (na tleh)                            |                                                           |
| Nadzorne in varnostne sobe   | 200<br>(splošna osvetlitev)              | 300 lx v primeru, da osebje pogosto dela brez računalnika |
| Strojnica                    | 200<br>(splošna osvetlitev)              | 200 lx vertikalne osvetlitve na kazalnikih, gumbih ipd.   |
| Delavnice                    | 300<br>(splošna osvetlitev)              | 500 lx na delovnih površinah                              |
| Soba z zasilnim generatorjem | 200<br>(splošna osvetlitev)              | 200 lx vertikalno na generatorju, kazalnikih in gumbih    |
| Skladišča za večje predmete  | 200<br>(splošna osvetlitev)              |                                                           |
| Skladišča za manjše predmete | 300<br>(splošna osvetlitev)              | 200 lx vertikalno na policah                              |

Dobro osvetljen delovni prostor je pomemben zdravje ljudi, za varnost zaposlenih in doseganje zahtevane kakovosti proizvodov. Kot zanimivost naj povem, da je statistično večji del reklamacij povezan z nočno izmeno in mogoče je poleg utrujenosti za to kriva tudi neustrezna razsvetljava.

Poznamo več različnih virov umetne svetlobe. Večinoma se v našem času uporabljajo električne svetilke, naprave, ki pretvori električno energijo v svetlobo. Trg ponuja veliko izbiro različnih svetlobnih virov. Klasičnim svetilom so se pridružile nove oblike, ki so včasih zelo inovativne, npr. samolepilni svetlobni trakovi, svetila, vgrajena v različne materiale, svetleče tkanine ipd. Razvoj tehnologije LED je prinesel v razsvetljavo veliko novih možnosti. Osnova vsake svetilke je svetlobni vir ali sijalka. Najbolj znane oblike sijalk so žarnica z žarilno nitko, fluorescentna cev, halogenska žarnica in svetleče diode. Tabela 5 ponazarja primerjavo osnovnih lastnosti svetlobnih virov.

Tabela pokaže samo glavne parametre, za podrobnejšo analizo je treba upoštevati



Tabela 5: Povzetek karakteristik svetlobnih virov [1].

| Svetlobni vir                    | Električna moč (w) | Življenska doba do 50% odpovedi (ura) | Barvna temperatura (k) | Izkoristek (lm/W) | Indeks barvnega videza |
|----------------------------------|--------------------|---------------------------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
| Navadna žarnica                  | od 20 do 150       | 1000                                  | 2700                   | od 3 do 20        | med 95 in 100          |
| Halogenska žarnica               | od 20 do 2000      | od 2000 do 4000                       | 3000                   | do 25             | med 95 in 100          |
| Fluorescentna sijalka T5         | od 8 do 80         | 24.000                                | med 2700 in 6500       | do 90             | med 80 in 95           |
| Fluorescentna sijalka T8         | od 14 do 70        | 20.000                                | med 2700 in 6500       | do 90             | med 60 in 93           |
| Kompaktna fluorescentna sijalka  | od 5 do 80         | do 20.000                             | med 2500 in 6000       | od 60 do 75       | med 80 in 90           |
| Visokotlačna živosrebrna sijalka | do 1000            | nad 16.000                            | med 3200 in 4000       | do 60             | med 20 in 55           |
| Nizkotlačna natrijeva sijalka    | do 180             | do 16.000                             | 1800                   | do 180            | do 20                  |
| Visokotlačna natrijeva sijalka   | od 50 do 1000      | do 24.000                             | 2000                   | do 130            | med 20 in 65           |
| Kovinsko halogenidna sijalka     | od 20 do 2.000     | od 12.000 do 24.000                   | med 2700 in 4200       | od 67 do 95       | do 95                  |
| Svetleče diode                   | od 1 do 5          | 50.000                                | med 2700 in 6000       | od 50 do 70       | med 60 in 80           |

več parametrov. Pri tem je najpomembnejši izkoristek, to je razmerje med vhodno električno energijo in oddano svetlobo. Pomembno je tudi zavedanje dejstva, da do izgub pride na poti od svetlobnega vira do osvetljenega objekta, običajno je to sistem odbojnih zrcal, leč in zaščitnega stekla. Umazanja ali iztrošena sijalka lahko bistveno poslabša izkoristek. Tretji stolpec prikazuje življenjsko dobo svetlobnih virov. Običajna praksa je, da se svetilke ne zamenja, dokler deluje, kar pomeni zelo slab izkoristek. Ta problem je največji pri fluorescentnih žarnicah, ki so trenutno najbolj razširjena oblika svetlobnih virov. Svetleče diode so v tem primeru superiorne in pri njih se razvoj samo

še nadaljuje. Svetlobna temperatura in indeks barvnega videza sta zelo pomembna podatka, ki pa ju večina uporabnikov sploh ne pozna. Primerjava natrijeve sijalke in navadne žarnice pokaže, da ima natrijeva svetilka 8-krat boljši izkoristek, toda zelo slab indeks barvnega videza, zato je uporabna le za zunanjo razsvetljava cest, pločnikov in podobno. Uporaba take svetilke za precizna dela zagotovo povzroči okvaro vida.

Svetilka je naprava, v katero vgradimo svetlobni vir. V industriji se največkrat uporabljajo podstropne svetilke. Pritrjene so lahko na strop ali pa prosto visijo, njihova konstrukcija običajno omogoča obe možnosti pritrditve. Robustnost in odpornost na zunanje vplive sta pri industrijskih svetilkah pomembnejši od estetskega izgleda. V zadnjem času je vse pomembnejša tudi energetska učinkovitost. V industrijskih halah se uporabljajo širokosnopne svetilke, postavljene na primerni višini. Zadnjih nekaj let se največ uporabljajo svetilke s svetlečimi diodami. Živosrebrnih sijalk ni v prodaji že kakšno desetletje zaradi ekoloških razlogov, vendar so ostale še dobavljive. Energetska učinkovitost razsvetljave je odvisna od dveh dejavnikov, prvi je svetlobni izkoristek svetilk, drugi pa je pravilni režim delovanja svetilk oz. izklopljene svetilke čez dan, ko jih nihče ne potrebuje.

## 4 IMPLEMENTACIJA SISTEMA PAMETNE RAZSVETLJAVE INDUSTRIJSKE LINIJE

Implementacijo sistema pametne razsvetljave sestavljata dva dela: Siemensov industrijski krmilnik – PLK in androidna aplikacija. Povezuje ju brezžična povezava WIFI. Protokol komunikacije ureja programska knjižnica MOKA 7. Del PLK-ja vsebuje vso krmilno logiko in lahko deluje samostojno. Androidna aplikacija služi za prikaz, urejanje nastavitvev in vnos komand.

### 4.1 Podobni sistemi

Najprej pogledjmo podobne rešitve, ki so v podjetju že v uporabi. Preprosta rešitev je senzor gibanja v kombinaciji s svetilko, ki je v uporabi že dalj časa. Njegova edina slabost je veliko vklopov in izklopov, kar zmanjša življenjsko dobo svetilk. Rešitev je primerna samo za prehodne prostore, kot so hodniki.

V hali oblikovalnih izdelkov je že dvanaest let v uporabi sistem pametne razsvetljave. Sestavljajo ga PLK Siemens S7 CPU 313C, ožičenje z releji in stikali ter osebni računalnik za nadzor. Nivo umetne svetlobe se prilagaja dnevni svetlobi in urnikom na posameznih delovnih mestih v hali. Informacijo o delovnih procesih dobi osebni računalnik prek omrežne povezave sistema za spremljanje proizvodnje. V hali je nameščenih 36 svetilk. Vsaka je razdeljena na dva dela, tako da je mogoče vklopiti vsako polovico posebej. Svetilke krmili PLK prek 72 relejev, kar omogoča stopenjsko povečevanje nivoja osvetlitve. Sistem je dobro zasnovan, do težav pa prihaja, ko brez opozorila izklopi razsvetljavo zaradi vnaprej določenega urnika, na primer med odmorom. Druga pomanjkljivost je slaba integracija dnevne svetlobe. Sistem obravnava halo kot enotno območje, kar pa seveda ni res, saj območja v bližini oken dobijo več dnevne svetlobe.

Podoben sistem v hali krožnih žag, sestavljen pa je iz PLK-ja z integrirano napravo HMI. Izraz naprava HMI v besednjaku industrijske avtomatike pomeni napravo za nadzor in vizualizacijo industrijskih procesov [17]. Krmilno omaro sistema za nadzor luči sestavljajo komandne tipke, izbirna stikala in PLK Unitronics Vision 130.



Slika 10: Pametna razsvetljava v hali OI - PLK.



Slika 11: Pametna razsvetljava v hali KŽ.

Sistem integrira nivo zunanje svetlobe, urnike, vnešene v spomin naprave, signale tipk in izbirnih stikal. Hala je razdeljena na deset con, ki se ločeno vklopljajo prek tipk na krmilni omarici. Svetilke je mogoče daljinsko zatemniti (dimmer), kar omogoča brezstopenjsko nastavitvev svetilnosti. Sistem deluje dobro, problem predstavlja preveč različnih izbir in nastavitvev, ki zmedejo uporabnika. Druga pomanjkljivost so urniki, ki jih je težko vnaprej predvideti. Oba sistema sta vzor za pričujoče delo, izboljšave vidim v boljši integraciji dnevne svetlobe in uporabi zaznave prisotnosti namesto sistema

vnaprej določenih urnikov. Dodatna izboljšava je poenostavitev upravljanja oziroma izboljšava uporabniškega vmesnika.

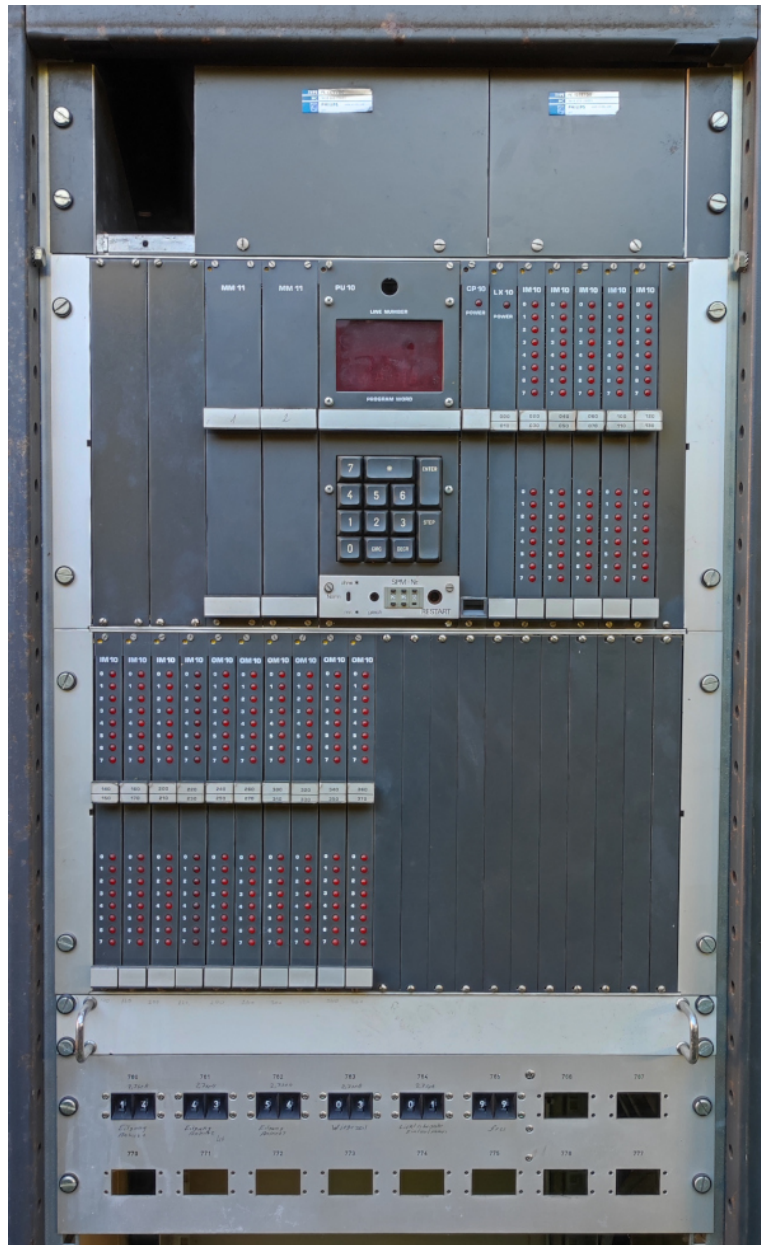
## 4.2 Industrijski krmilnik – PLK

PLK [15] – Programabilni logični krmilnik (angl. Programmable logic controller, PLC) je industrijski računalnik. Zasnovan je robustno za razmere v industrijskem okolju. Namenjen je upravljanju industrijskih procesov, strojev in naprav. Razvoj PLK-ja se osredotoča na zanesljivost in robustnost, procesorska moč ni pomembna. Vsi PLK-ji imajo vhode in izhode, ki so prek ožičenja povezani z drugimi napravami. Izvedba PLK-ja je monolitna naprava ali modularni sistem, ko je komponente mogoče dodajati. Običajno so PLK-ji, nameščeni v električni omari, pritrjeni na letev (angl. rail). Večji sistemi povezujejo več naprav v omrežja. Najpogosteje uporabljana omrežna standarda sta profibus in profinet. Zgodovina PLK-ja sega v pozna 60. leta, ko so se pojavili prvi mikroprocesorji. Leta 1969 je inženir Dick Morley v podjetju GM Hydromatics izdelal napravo Modicon (angl. modular digital controller), ki naj bi bila prvi programabilni krmilnik. Razvoja podobne naprave so se lotili tudi pri podjetju Allen-Bradley, ki pa so bili bolj sistematični in so tako pozneje postavili standard za programiranje PLK-jev IEC 61131-3, ki velja še danes. Pred pojavom PLK-ja so bile v uporabi relejne vezave v kombinaciji z mehanskimi avtomati. Slabosti takega sistema so nezanesljivo delovanje, težavno iskanje napak in velika poraba materiala, prostora ter energije. V nasprotju s PLK-jem si relejna logika ne zapomni napak, saj nima dnevnika preteklih dogodkov. PLK ima še eno veliko prednost pred relejno logiko. Zamudno predelavo ožičenja namreč zamenja hitro in preprosto urejanje kode, ki jo je mogoče preizkusiti v simulatorju. Philips PU20 na sliki 12 je služil za upravljanje regalnega sistema v

Plami, zamenjal ga je S7-400 konec 90-ih let preteklega stoletja. Programiranje prvih PLK-jev je temeljilo na vnosu kode prek numerične tipkovnice in sedem segmentnih displejev, kar je najbolj podobno programiranju v zbirnem jeziku. Tako programiranje je zamudno in podvrženo napakam.

### 4.2.1 Zgodovina SIMATIC-a

Največja akterja s PLK-ji na globalnem trgu sta Siemens in Allen-Bradley. Siemens je začel s svojo linijo SIMATIC in leta 1973 predstavili mikroprocesorski PLK. Krmilniki so bili pred tem tranzistorski. Ime SIMATIC [18] izhaja iz besed “Siemens” in “Automatic”.



Slika 12: Philips PU20 PLK iz leta 1985.

Družine krmilnikov SIMATIC so bile:

- 1958: SIMATIC Version G,
- 1973: SIMATIC S3,
- 1979: SIMATIC S5 in
- 1995: SIMATIC S7.

Kot zanimivosti naj omenim, da je bil zadnji delujoč SIMATIC S5 v našem podjetju zamenjan letos (leta 2022), kar priča o njegovi robustnosti in zanesljivosti. S5 in

S7 so modularno zasnovani in omogočajo nadgradnjo. Vsak sistem potrebuje vsaj eno enoto CPE, ki jo lahko nadgradimo z drugimi enotami iste družine. Zaključeno enoto tvorijo naprave na isti letvi (angl. rack), vsaki komponenti pripada naslov, ki je odvisen od položaja v verigi komponent. V konfiguraciji programskega okolja je treba najprej pravilno konfigurirati priključene module. Orodje za programiranje družine S5 se imenuje STEP 5 in je bilo prvotno zasnovano za operacijski sistem CP/M. Pozneje je Siemens preselil STEP 5 na operacijski sistem MS-DOS. Generacijo S5 je nasledila S7. S7-200, S7-300 in S7-400 so prvi PLK-ji v družini S7 in jih trenutno ne proizvajajo več, se pa še vedno v veliki meri uporabljajo v obstoječih aplikacijah. Najbolj razširjen je bil S7-300, na primer CPU 314. Leta 2012 je Siemens izdelal novo linijo S7-1200 in S7-1500, ki je že po izgledu drugačen od prejšnje generacije. Glavni razliki sta manjša velikost in profinet vodilo (industrijski standard za podatkovno komunikacijo prek industrijskega ethernet), ki zamenja profibus. Za programiranje družine S7 se uporablja STEP 7 do različice V5.x, pozneje postane STEP 7 del programskega paketa TIA Portal [22].

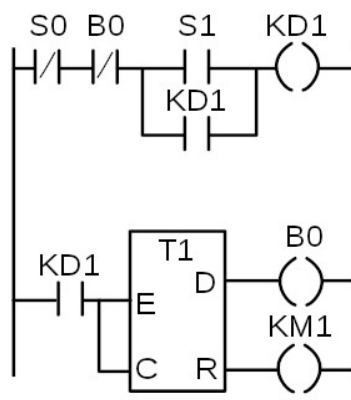
## 4.2.2 Programiranje

Začetki razvoja PLK-ja so omogočali programiranje s pomočjo numerične tipkovnice in prikazovalnika z nekaj numeričnimi znaki. Pisanje kode za tako napravo je bilo zahtevno in dolgotrajno delo, potrebno pa je bilo tudi neprestano razhroščevanje. Pojav osebnih računalnikov je odprl nove možnosti in razviti so bili namenski programi za programiranje PLK-jev. Glede na proizvajalca in družino PLK je treba izbrati ustrezen programski paket. Za delo je običajno potreben še poseben vmesnik. Obstajajo tudi vmesniki za oddaljeno programiranje, tako lahko proizvajalec stroja daljinsko ureja kodo. Novejši PLK-ji uporabljajo standardno računalniško mrežno povezavo, kar bistveno poenostavi povezovanje. PLK je bil v prvi vrsti namenjen elektroinženirjem kot zamenjava za relejna vezja. Programski jezik, razvit za ponazoritev relejske logike, je lestvični diagram (angl. ladder diagram).

Simboli S0, B0, S1, KD1 na sliki predstavljajo diskretne vhode, T1 je programska funkcija, KD1 B0 KM1 so diskretni izhodi. KD1 in B0 sta vhoda in izhoda (angl. binector).

Programski koncept PLK-ja je skladen s standardom IEC 61131-3. Program je razdeljen v bloke. Ti so lahko organizacijski, funkcijski in podatkovni:

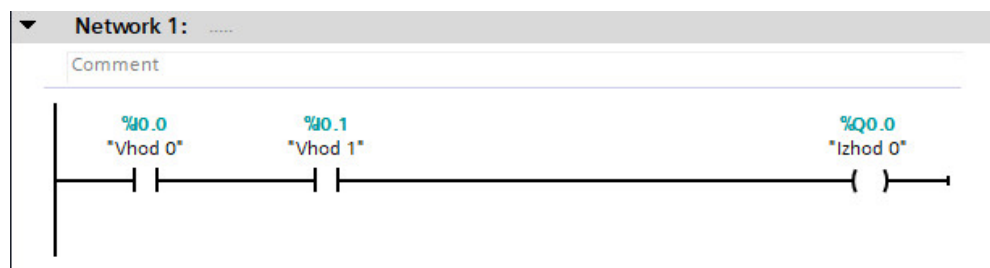
- organizacijski blok je označen kot OBx, x je številka. OB 1 je vhodna točka programa podobno kot glavna (main) funkcija. Obstajajo določeni naslovi blokov, ki so vezani na druge dogodke, na primer na napake (error) ali prekinitve (interrupts), in se izvajajo neodvisno od OB 1;



Slika 13: Lestvični diagram - LAD [15].

- funkcijski bloki FBx ali funkcije FCx so podobne strukture kakor funkcije v programskih jezikih, ki jih kličemo iz druge kode. Funkcijski bloki vsebujejo spremenljivke, ki so veljavne ves čas izvajanja programa, funkcije pa vsebujejo spremenljivke le za enkratni izračun;
- podatkovni bloki DBx so bloki, ki hranijo podatke, podobni so strukturam nekaterih programskih jezikov npr. c struct. Podatkovni bloki služijo tudi za izmenjavo podatkov z drugimi napravami.

STEP 7 uporablja tri programske jezike: lestvični diagram LAD (angl. ladder diagram), strukturirani tekst ST (angl. structured text) in diagram funkcijskih blokov FBD (angl. function block diagram). Vse tri oblike programiranja bom ponazoril s preprostim primerom logične operacije na dveh vhodnih spremenljivkah in izhodu, ki je logična konjunkcija vhodnih spremenljivk. %I0.0 in %I0.1 sta fizična vhoda, %Q0.0 pa fizični izhod na PLK-ju. Boljši predstavi služi lestvični diagram LD v nadaljevanju. Za prezentacijo sem uporabil TIA Portal [22].



Slika 14: Primer programa LAD.

LAD je nastal kot grafična ponazoritev relejnih vezij. Simbola dveh pokončnih črt



predstavljata vhodne vrednosti, simbol levega in desnega oklepaja pa izhod. LAD je pregleden, kar je zelo uporabno pri razhroščevanju programa ali iskanju napak.

Ista funkcija je zapisana tudi kot strukturirani tekst STL v nadaljevanju.

```
▼ Network 2: .....
```

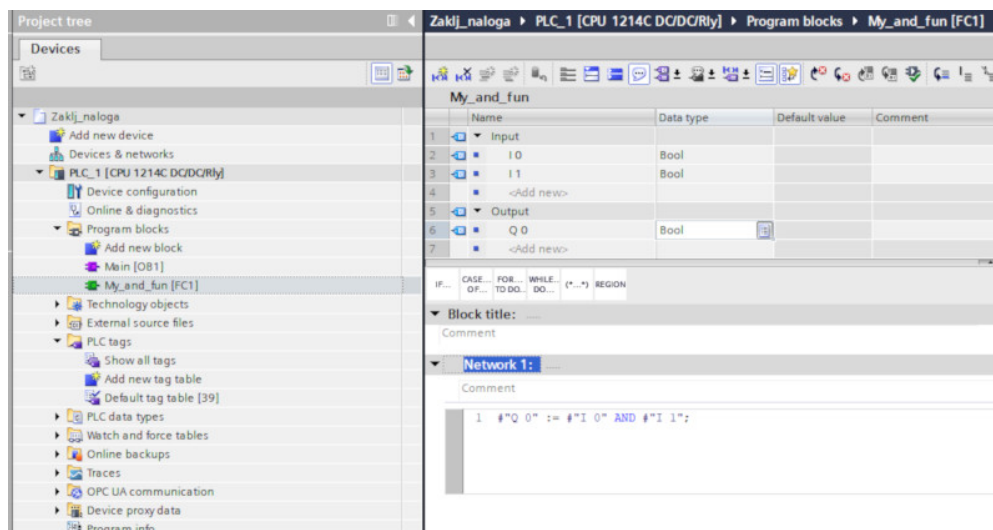
```
Comment
```

```
1 "Izhod 1" := "Vhod 2" AND "Vhod 3";
```

Slika 15: Primer programa STL.

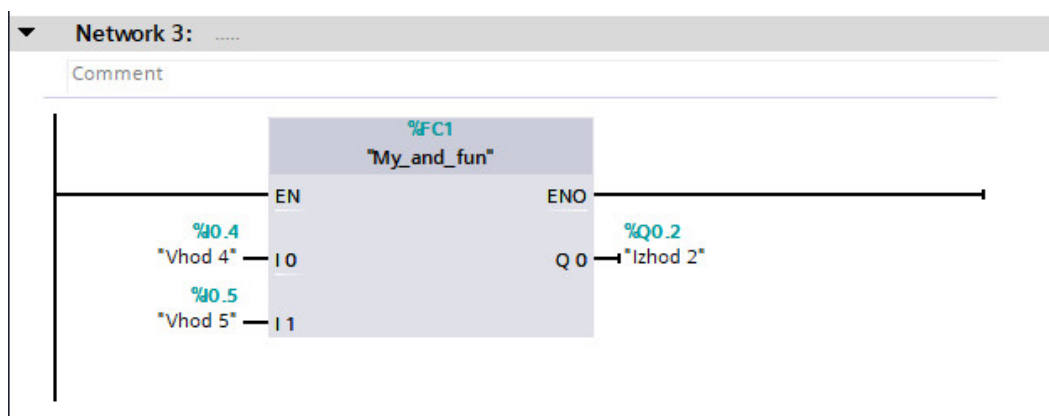
STL je nastal po vzoru programskega jezika Pascal in se uporablja za kompleksnejše izračune z različnimi tipi spremenljivk. Uporablja običajne strukture, na primer IF, FOR, CSAE in programske knjižnice.

Diagram funkcijskih blokov FBD je povezava večfunkcijskih blokov v nov sestavljen blok:



Slika 16: Primer programa FBD [14].

Komunikacija Siemensovega PLK-ja z drugimi napravami poteka prek DB (podatkovnih blokov). Podatkovni tipi, ki jih uporablja okolje STEP 7 se razlikuje od običajnih tipov spremenljivk Intelove arhitekture.



Slika 17: Primer klic FBD.

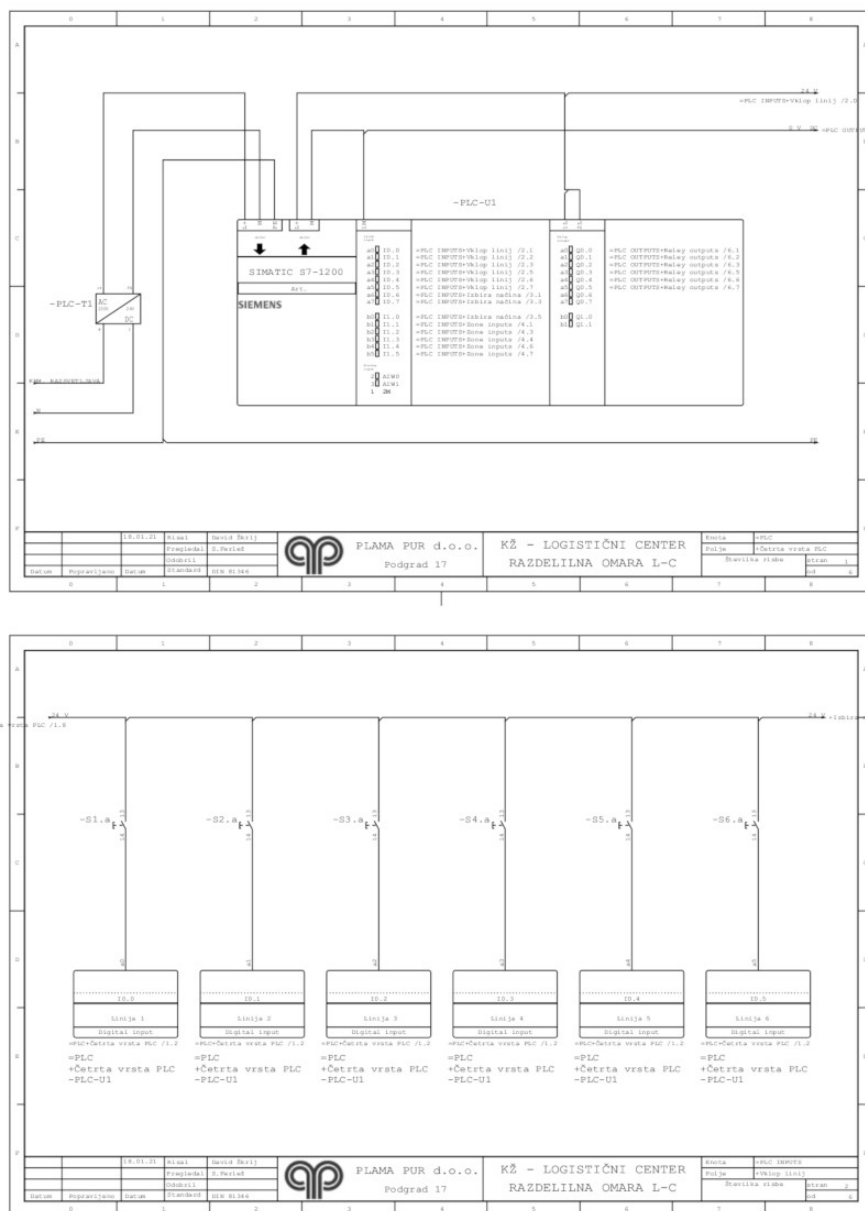
Tabela 6: Primerjava podatkovnih tipov c++ in IEC61131-3.

| Description             | C++           | IEC 61131-3 |
|-------------------------|---------------|-------------|
| Boolean                 | bool          | BOOL        |
| Signed 8-bit Integer    | int8_t        | SINT        |
| Unsigned 8-bit Integer  | uint8_t       | USINT       |
| Signed 16-bit Integer   | int16_t       | INT         |
| Unsigned 16-bit Integer | uint16_t      | UDINT       |
| Signed 32-bit Integer   | int32_t       | DINT        |
| Unsigned 32-bit Integer | uint32_t      | UINT        |
| Signed 64-bit Integer   | int64_t       | LINT        |
| Unsigned 64-bit Integer | uint64_t      | ULINT       |
| 32-bit IEEE Float 2     | float         | REAL        |
| 64-bit IEEE Float       | double        | LREAL       |
| ASCII String            | std::string   | STRING      |
| Time (secs/nsecs)       | ros::Time     | TIME        |
| Time (secs/nsecs)       | ros::Duration | TIME        |

Za pretvorbo podatkovnih tipov v našem primeru opravi programska knjižnica MOKA 7.

### 4.2.3 Implementacija programa pametne razsvetljave del PLK.

Prvi korak implementacije bo izbira strojne opreme. Sledi izdelava elektro dokumentacije. Kompleksno ožičenje je ne mogoče nadzirati brez ustreznega elektro načrta, ki je potreben tudi pri razvoju programske kode. Izdelava elektronačrta je kompleksna naloga. Vezava mora biti električno pravilna, oznake pa smiselne in logične.

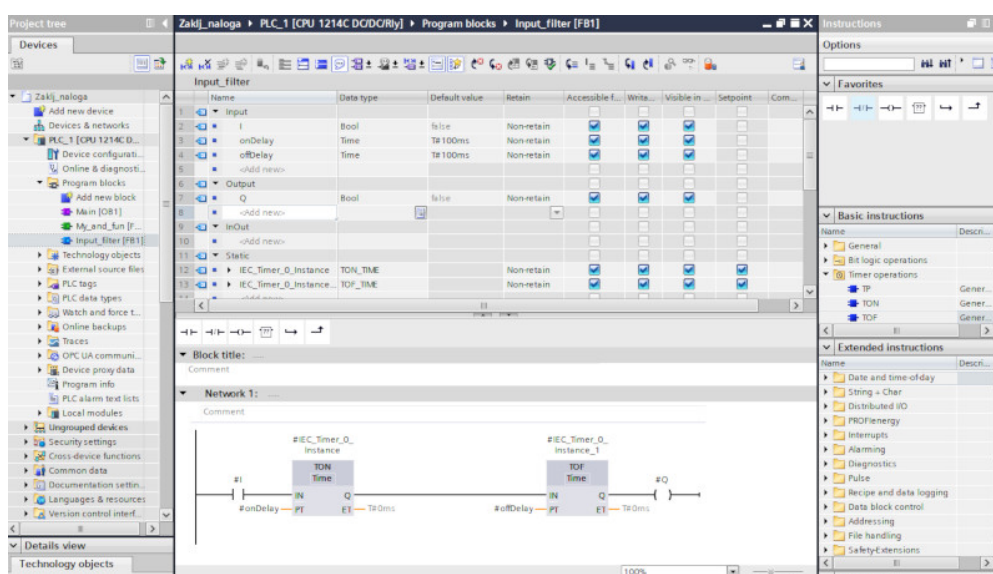


Slika 18: Električni načrt projekta pametne razsvetljave(strani 1 in 2).

Metode programiranja so podrobno opisane v Siemensovem priročniku [19]. Koraki si sledijo tako: odpremo programski paket TIA [16], ustvarimo nov projekt, umestimo strojne komponente, ki bodo v uporabi in začnemo s kodiranjem.

Ideja programa za PLK je predstavljena na sliki 9 – diagram DFD podatkovnega toka. Diagram vsebuje štiri podatkovne shrambe, ki jih v okolju STEP 7 implementiramo kot podatkovni blok – DB ali v tabeli značk (angl. tag table). Procesi iz diagrama so v drevesu funkcijskih blokov – FB. Vhodi in izhodi so povezani s fizičnimi vhodi in izhodi krmilnika, katerim dodelimo imena za večjo preglednost kode. Imena se hranijo v tabeli značk (angl. tag table). Podatki v PLK-ju so lahko shranjeni v začasni ali v trajni pomnilnik. Razlika je, da pri izpadu napajalne napetosti v začasnem po-

mnilniku izgubimo vrednosti, v trajnem pa ostanejo. TIA to možnost imenuje Retain. V primeru projekta se trajno hranijo vrednosti nastavitev, statistika porabe in stanje izhodov. Program začne izvajati kodo iz OB1, ki je vstopna točka, podobno kot funkcija main. Dobra praksa je, da OB1 nima svoje kode, ampak kliče druge FB-je po določenem vrstnem redu. Najprej FB prebere vhode, sledi FB kontrolne logike, na koncu pa vrednosti prenesemo na fizične izhode. Branje vhodov združimo s funkcijo filter vhodov, ki izloči neželene vhodne signale. Podobno se prebere vrednost svetlobnega senzorja, ki je analogni signal napetosti med 0 in 10 V. Signal filtriramo tako, da poiščemo aritmetično sredino stare in nove vrednosti.



Slika 19: Funkcija filtra vhodnih signalov.

Sledi funkcija, ki spremeni vrednost ob vsakem pritisku tipke. Taka rešitev se v industriji pogosto uporablja, ker je bolj praktična za vzporedno vezavo stikalnih elementov. Vezje se imenuje pulzni rele. Tako dobljeni signal predstavlja stanje izhoda za posamezno vrsto luči, kar je že vrednost izhoda v ročnem režimu, ki ga shranimo v spomin. Sledi preračun za polavtomatski in avtomatski režim. Polavtomatski režim ima za vhod ročno stanje za posamezno vrsto luči. Signal, dobljen iz fotosenzorja, program primerja z vnaprej nastavljenimi vrednostmi. Sledi odločitev, katera skupina luči bo prižgana. Avtomatski režim zajame za vhod signale senzorjev prisotnosti poconah. Cona je območje, ki se povezuje z delovnim procesom (cona je na primer območje za transport rol z viličarji). Preden program vklopi luči, preveri še nivo sončne svetlobe. Linijo luči prižge samo v primeru, ko ni dovolj zunanje svetlobe. Program vse tri vrednosti izhodov računa ročno, polavtomatsko in avtomatsko. Vrednosti fizičnih izhodov se določijo na podlagi izbire načina delovanja, ki preslika ustrezne vrednosti

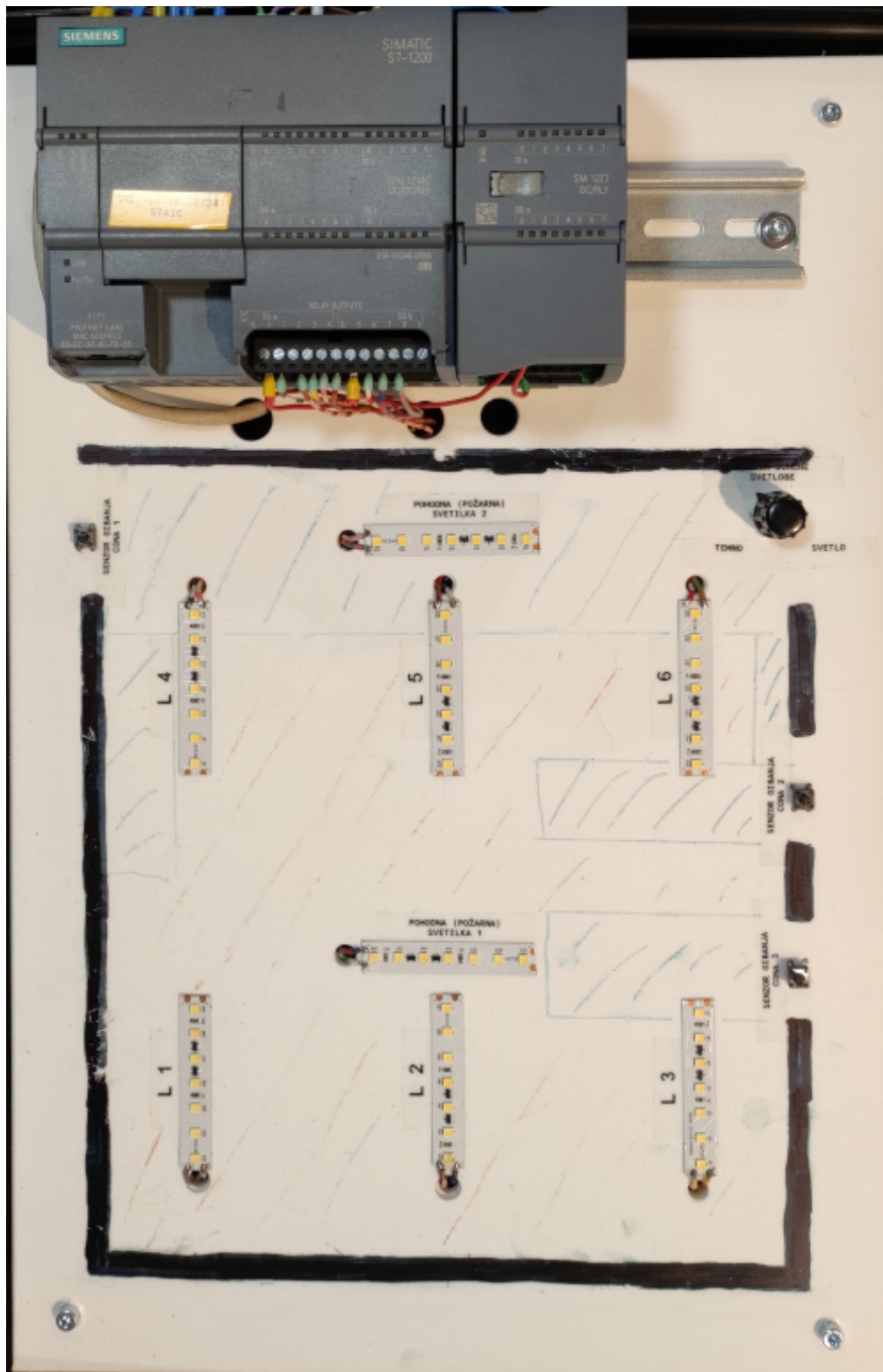
iz spomina na fizične izhode. Pohodne ali orientacijske luči služijo varnosti in delujejo neodvisno od ostalih komand. V primeru, ko ne sveti nobena luč in je zunaj mrak, se prižgeta dve luči.

Na plošči dimenzije 420 x 280 mm sem izdelal maketo razsvetljave. Samolepljiv LED trak predstavlja luči, vrtljiv gumb simulira senzor dnevne svetlobe, mikrostikala pa senzorje gibanja. Na plošči so še PLK v ozadju pa napajalnik in povezava WIFI.

Maketa služi kot pripomoček pri razvoju in preizkušanju programske opreme. Preizkušanje opreme na sami liniji bi motilo proizvodnjo, kar pa je nedopustno. Testiranje na liniji je nemogoče še iz drugega razloga. Vgradnja opreme v električni razdelilnik bo namreč mogoča šele avgusta med kolektivnim dopustom, ko bo mogoč odklop napajalne napetosti. Šele takrat se lahko predvidijo montaža, izdelava končne različice programa in testiranje na realnem sistemu.

### 4.3 Androidna aplikacija

Android [9] je mobilni operacijski sistem, ki temelji na jedru Linux. Namenjen je napravam z zaslonom na dotik. Nosilec razvoja je konzorcij Open Handset Alliance, ki ga podpira Google. Večina različic Androida je lastniških, nadgrajenih iz Android Open Source Project (AOSP), ki je odprtokoden in licenciran pod Apache License. Nameščene kode operacijskega sistema Android običajno ni mogoče spreminjati. Delež sistema Android v segmentu pametnih telefonov je nekaj nad 70 %. Sistem je prenosljiv tudi na druge naprave, na primer na tablične računalnike, igralne konzole, pametne televizorje, digitalne kamere ipd., in je najbolj razširjen operacijski sistem v tem trenutku. Nameščanje programske opreme se vrši prek upravljalnika programskih paketov APK. Za prvo androidno napravo velja HTC dream iz leta 2008. Podjetje Android Inc. je bilo ustanovljeno leta 2003. Zastavljeni cilj podjetja je bil razvoj operacijskega sistema za mobilne naprave. Cilj so bile sprva digitalne kamere. Tržni potencial kamer v primerjavi z mobilnimi telefoni je bil omejen, zato so svojo dejavnost usmerili v razvoj operacijskega sistema za mobilne telefone, ki bi bil konkurenčen takratnima največjima »igralcema« Symbian in Windows mobile. Leta 2005 je podjetje prevzel Google. Nadaljnji razvoj operacijskega sistema je temeljil na jedru Linux, zato pravimo, da sistem Android temelji na Linux-u. HTC dream je bil po zgledu BlackBerryja opremljen s fizično tipkovnico. Novejše naprave so po vzoru Apple iPhone opremljene z zaslonom na dotik. Android je bil nameščen na naprave različnih proizvajalcev, kot so HTC, Motorola, Samsung in drugi. Leta 2010 Google izda svojo serijo telefonov Nexus, ki jih izdelujejo različni proizvajalci. Velik uspeh Androida je spodbudil selitev še na druge naprave. Najprej so bili to tablični računalniki, sledile so različice za pametne televi-



Slika 20: Makete pametne razsvetljave.

zorje, Android Wear, igralne konzole. Odprta zasnova omogoča preprosto prenosljivost sistema na druge naprave. Različice Androida si sledijo po številkah od 1 do 13 in

vsaka od njih ima svoje ime in API level.

6/16/2022 Android version history - Wikipedia

| Name                       | Internal codename <sup>[9]</sup>    | Version number(s)    | API level | Initial stable release date      | Latest security patch date <sup>[4]</sup> | Latest Google Play Services version <sup>[15]</sup> (release date) |                       |                         |                           |
|----------------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------|----------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| Android 1.0                | N/A                                 | 1.0                  | 1         | September 23, 2008               | N/A                                       | N/A                                                                |                       |                         |                           |
| Android 1.1                | Petit Four                          | 1.1                  | 2         | February 9, 2009                 |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android Cupcake            | Cupcake                             | 1.5                  | 3         | April 27, 2009                   |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android Donut              | Donut                               | 1.6                  | 4         | September 15, 2009               |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android Eclair             | Eclair                              | 2.0                  | 5         | October 27, 2009                 |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
|                            |                                     | 2.0.1                | 6         | December 3, 2009                 |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
|                            |                                     | 2.1                  | 7         | January 11, 2010 <sup>[16]</sup> |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android Froyo              | Froyo                               | 2.2 – 2.2.3          | 8         | May 20, 2010                     |                                           |                                                                    | 3.2.25 (October 2014) |                         |                           |
| Android Gingerbread        | Gingerbread                         | 2.3 – 2.3.2          | 9         | December 6, 2010                 |                                           |                                                                    | N/A                   | 10.0.84 (November 2016) |                           |
|                            |                                     | 2.3.3 – 2.3.7        | 10        | February 9, 2011                 |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
|                            |                                     | 3.0                  | 11        | February 22, 2011                |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android Honeycomb          | Honeycomb                           | 3.1                  | 12        | May 10, 2011                     |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
|                            |                                     | 3.2 – 3.2.6          | 13        | July 15, 2011                    |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android Ice Cream Sandwich | Ice Cream Sandwich                  | 4.0 – 4.0.2          | 14        | October 18, 2011                 |                                           |                                                                    |                       |                         | 14.8.49 (February 2019)   |
|                            |                                     | 4.0.3 – 4.0.4        | 15        | December 16, 2011                |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android Jelly Bean         | Jelly Bean                          | 4.1 – 4.1.2          | 16        | July 9, 2012                     |                                           |                                                                    |                       |                         | 21.33.56 (September 2021) |
|                            |                                     | 4.2 – 4.2.2          | 17        | November 13, 2012                |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
|                            |                                     | 4.3 – 4.3.1          | 18        | July 24, 2013                    |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android KitKat             | Key Lime Pie                        | 4.4 – 4.4.4          | 19        | October 31, 2013                 |                                           |                                                                    | October 2017          | 22.15.14 (May 2022)     |                           |
|                            |                                     | 4.4W – 4.4W.2        | 20        | June 25, 2014                    |                                           |                                                                    | ?                     |                         |                           |
| Android Lollipop           | Lemon Meringue Pie                  | 5.0 – 5.0.2          | 21        | November 4, 2014 <sup>[17]</sup> | November 2017                             |                                                                    |                       |                         |                           |
|                            |                                     | 5.1 – 5.1.1          | 22        | March 2, 2015 <sup>[18]</sup>    | March 2018                                |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android Marshmallow        | Macadamia Nut Cookie                | 6.0 – 6.0.1          | 23        | October 2, 2015 <sup>[19]</sup>  | August 2018                               |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android Nougat             | New York Cheesecake                 | 7.0                  | 24        | August 22, 2016                  | August 2019                               |                                                                    |                       |                         |                           |
|                            |                                     | 7.1 – 7.1.2          | 25        | October 4, 2016                  | October 2019                              |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android Oreo               | Oatmeal Cookie                      | 8.0                  | 26        | August 21, 2017                  | January 2021                              |                                                                    |                       |                         |                           |
|                            |                                     | 8.1                  | 27        | December 5, 2017                 | October 2021                              |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android Pie                | Pistachio Ice Cream <sup>[20]</sup> | 9                    | 28        | August 6, 2018                   | January 2022                              | 22.18.20 (June 2022)                                               |                       |                         |                           |
| Android 10                 | Quince Tart <sup>[21]</sup>         | 10                   | 29        | September 3, 2019                | June 2022                                 |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android 11                 | Red Velvet Cake <sup>[22]</sup>     | 11                   | 30        | September 8, 2020                |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android 12                 | Snow Cone                           | 12                   | 31        | October 4, 2021                  |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android 12L                | Snow Cone v2                        | 12.1 <sup>[23]</sup> | 32        | March 7, 2022                    |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |
| Android 13                 | Tiramisu <sup>[23]</sup>            | 13 <sup>[4]</sup>    | 33        | Q3 2022                          |                                           |                                                                    |                       |                         |                           |

**Legend:** ■ Old version ■ Older version, still maintained ■ Latest version ■ Latest preview version

Slika 21: Različice androida [10].

API level je pomemben pri razvoju programske opreme zaradi različic uporabljenih knjižnic in strojne opreme. Android studio je razvojno okolje za razvoj androidnih aplikacij. Obstajajo različice za operacijske sisteme Windows, Mac, Linux in Chrome OS. Za razvoj Google podpira programske jezike Kotlin, Java in C++. Jedro Android studia je urejevalnik kode Intellij- [13]. Za razvoj aplikacije je treba najprej izbrati tip naprave in podprte API levele. Kodo lahko med razvojem preizkušamo na ciljni napravi ali na simulatorju. Za preizkus kode na napravi (telefon) je treba na napravi vklopiti način za razvijalce. Potrebujemo še neke vrste povezavo (običajno je to kabel). Ob zagonu Android studia lahko ustvarimo nov projekt iz obstoječih predlog ali pa odpremo že obstoječi projekt. Na začetku programa je manifest, ki vsebuje vse podatke o projektu. Sledi mapa s kodo. Večinoma se uporabljata programska jezika Java in Kotlin. Naslednja mapa vsebuje vse vire, ki jih uporablja program. To so lahko

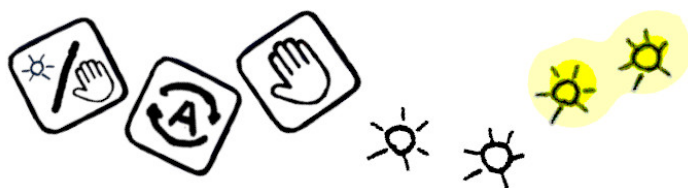
ikone, grafični elementi ipd. Datoteke so večinoma v formatu xml (na primer datoteka strings.xml hrani besedila, ki jih uporablja aplikacija na enem mestu). Zamenjava jezika aplikacije je preprosta, saj je treba zamenjati le datoteko strings.xml. Zadnja mapa je Gradle Scripts, ki je sistem za izgradnjo programske kode, s čimer lahko definiramo različice Androida ciljne naprave.

### 4.3.1 Izdelava aplikacije

Razvoj aplikacije začnemo z ustvarjanjem novega projekta, v tem primeru je to razsvetljavaandroid. S slike 9 (Diagram podatkovnega toka) je razvidno, da aplikacija komunicira s tremi shrambami podatkov. To so nastavitve sistema, statistika delovanja in stanje vhodov. Aplikacija bo imela tri okna: osnovno kontrolno okno, okno nastavitvev in okno statistike. Preklapljanje med okni je izvedeno prek menijske vrstice s funkcijo:

```
publicbooleanonOptionsItemSelected(@NonNullMenuItemitem){}
```

Za grafično podobo sem ročno ustvaril skice in jih uporabil za različne funkcije. Ozadje je tloris hale z zunanjimi stenami, conami in rahlo vidnimi obrisi strojev. Luči so v treh barvah, ki logično ponazarjajo stanje. Prosojna luč predstavlja ugasnjeno luč, črna predstavlja vklopljeno luč, ki pa ne sveti zaradi zadostnega nivoja zunanje svetlobe, rumena predstavlja prižgano luč. Ikone za izbiro načina so roka za ročni način, roka s soncem za polavtomatski način in A za avtomatski način. Aktivna ikona je temna, neaktivni sta prosojni. Drsniki za nastavitvev in prikaz nivoja svetlobe imajo za ozadje barvno podlago, ki se preliva iz črne v rumeno.



Slika 22: Ikone projekta.

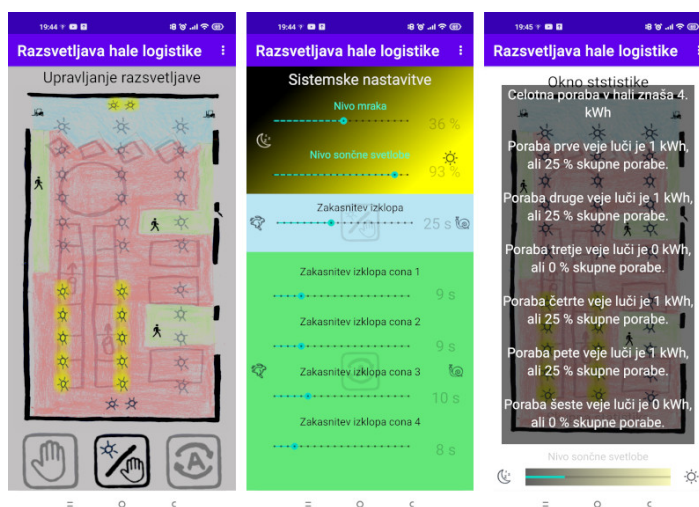
Program sestavljajo trije osnovni razredi, za vsako okno po eden. MainActivity je osnovno okno, SettingWindow je okno nastavitvev in StatisticWindow je okno za prikaz statistike. Vsak od omenjenih razredov ima po eno pripadajočo datoteko layout.xml, v kateri je določen zunanji izgled. Vse tri razrede je treba opredeliti kot aktivnost v manifestu projekta. Uporabnik komunicira s sistemom prek zaslona na dotik. Če želimo, da se s klikom na element na zaslonu izvrši določen ukaz, potrebujemo kodo, ki



poveže operacijski sistem telefona z našo aplikacijo. Taka koda se imenuje poslušalec in je implementiran v funkciji, ki naši kodi posreduje sistemske dogodke.

```
line1.setOnTouchListener(new View.OnTouchListener(){}
```

Klik sproži v aplikaciji dve vrsti akcije, od katerih ena zahteva komunikacijo s PLK-jem, druga pa ne. Menjavanje menijev se dogodi v samem telefonu brez komunikacije s PLK-jem, druga vrsta akcije, kot je na primer prižiganje luči, pa zahteva komunikacijo s PLK-jem. Komunikacijo s PLK-jem opravlja razred PLCcommunication, ki uporabi funkcije knjižnice MOKA 7. Branje in pisanje v PLK-ju opravita funkciji *writeArea* in *readArea*, ki se zaženeta kot nova nit v ozadju. Rezultati branja se shranijo v razred PLCstatus. Siemensov PLK za komunikacijo z drugimi napravami uporablja telegrame. Za boljšo pretočnost je smiselno združiti podatke v en telegram. Aplikacija prebere vse podatke v enem bloku, ki jih potem shrani v razredu PLCstatus. Brez povezave aplikacija ne prikaže pravih podatkov. Namen androidne aplikacije je spreminjanje sistemskih nastavitev in pregled statistike.



Slika 23: Zaslonska slika androidne aplikacije.

Vmesnik je preprost, uporabljati ga je mogoče brez dodatnih navodil. Končno oceno prepustimo uporabnikom.

### 4.3.2 Programska knjižnica MOKA 7

Moka 7 [6] je javanska implementacija knjižnice Snap 7, ki implementira S7Protokol. Projekt domuje na in je licenciran pod Lesser General Public License version 3.0 (LGPLv3). Glavne lastnosti knjižnice so:

- standardna javanska koda brez odvisnosti drugih knjižnic;
- prenosljivost med različnimi platformami, deluje na vseh ethernet vmesnikih, ki jih prepozna Java virtual machine;
- pakirane glave paketov za izboljšanje pretočnosti;
- pomožni razred, ki poskrbi za pretvorbo med podatkovnima formatoma big endian in little endian.

S7 Protokol predstavlja ogrodje Siemensove komunikacije in je ethernetna implementacija, ki temelji na protokolu ISO TCP(RFC1006). Osnova je podatkovni blok PDU (angl. Protocol Data Unit), ki se nanaša na DB v PLK-ju.

S7 protokol je funkcijsko ali instruksijsko orientiran (na primer »preberi iz DB23 byte od 2 do 7«). Vsaka komunikacija se začne z vzpostavljanjem povezave s funkcijo *ConnectTo()*, sledijo različne instrukcije *Read()*, *Write()* in podobno. Dostopamo lahko le do blokov, ki so v PLK-ju opredeljeni kot globalni.

Večji del komunikacije med PLK-jem in androidno napravo poteka z ukazi *ReadArea()* in *WriteArea()*.

## 4.4 Dokumentacija

Predpisi in normativi zahtevajo, da ima vsaka naprava v industriji izdelano dokumentacijo, tudi v primeru preprostih naprav. Obvezna so varnostna opozorila, navodilo za delo, vzdrževanje in električni načrt, če je naprava priklopljena v električno omrežje.

Varnostna opozorila v našem primeru so opozorila za delo z električnim tokom, kar se nanaša predvsem na električno omaro v katero je vgrajen sistem. Drugo navodilo za varno delo je povezano z vzdrževalnimi in čistilnimi deli ter se glasi: »Med vzdrževanjem in čiščenjem uporabi ročni način delovanja!«. Ročni način ne izklaplja luči in tako zagotavlja svetlobo v vseh situacijah.

Sistem je preprost, pa vendar potrebuje nekaj kratkih navodil za delo. Predvsem je treba jasno označiti osnovne značilnosti vsakega režima delovanja posebej. Androidna aplikacija je namenjena vodji proizvodnje in energetiku, ki skrbi in evidentira porabo energije v podjetju. Navodila bodo vložena v posebnem zavihku v aplikaciji. Rednega vzdrževanja sistem ne potrebuje.

Elektro dokumentacija je obvezna za vse naprave, ki uporabljajo električni tok. Sistem pametne razsvetljave bo vgrajen v električni razdelilnik hale logistični center, kot nadgradnja. Izdelava ali nadgradnja električne naprave poteka v treh korakih. Narišemo načrt nove naprave ali nadgradnje, izdelamo novo ožičenje in neskladja popravimo v prvotnem načrtu. Del obstoječega načrta je bil predstavljen na sliki 7,

nadgradnja pa na sliki 18. Zadnja različica načrta ima 18 listov, končna pa bo narejena, ko bo sistem dokončan. Dober načrt je nepogrešljiv pri iskanju napak na napravah in je osnova za varno delo.

## 5 EVALVACIJA SISTEMA

Glavni namen projekta je varčevanje z energijo. Ko bo sistem umeščen v realno okolje, bo potrebna evalvacija prihrankov. V članku so temeljito razdelani različni sistemi pametne razsvetljave in ovrednoteni njihove prihranke. V našem primeru potrebujemo osvetljenost 200 lx za opravljanje del v hali. Iz tabele 2 je razvidno, da naravna osvetlitev dosega veliko večje vrednosti, zato luči lahko izklopimo in tako prihranimo energijo. Prav tako lahko izklopimo luči, ko v hali ni prisoten nič. Prihranek lahko izračunamo s preprosto formulo:

$$\text{Prihranek}[\%] = \left(1 - \frac{\text{Energijska}_p[\text{kWh}]}{\text{Energijska}_o[\text{kWh}]}\right) * 100$$

Pri čemer je  $\text{Energijska}_o$  porabljena energija običajnega sistema in  $\text{Energijska}_p$  porabljena energija pametnega sistema. Upoštevati je treba še pogoj minimalne osvetljenosti  $E > 200lx$ . Prihranek energije je sorazmeren prihranku stroškov razsvetljave. Prihranek bom izmeril na dva načina in rezultate med seboj primerjal.

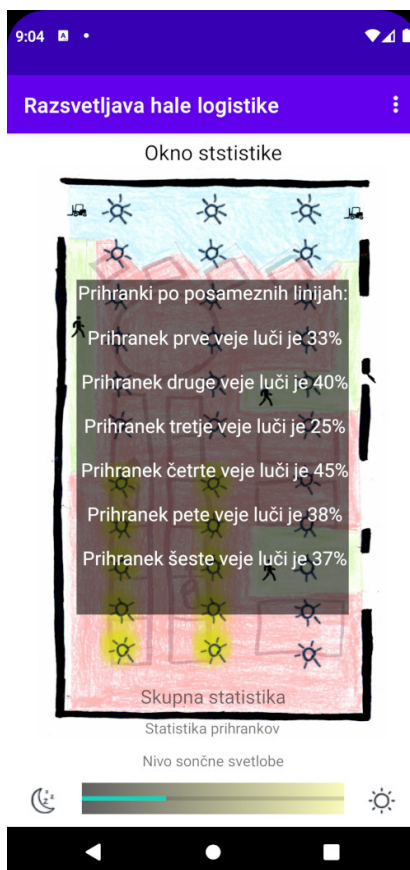
Prva meritev uporablja merilnik električne energije, ki primerja izmerjeno porabo v navadnem načinu in pametnem načinu. Najprimernejši časovni okvir za primerjavo je en dan. Za objektivno meritev izberemo dva dneva s približno enako vremensko situacijo, enako intenzivnostjo delovnega procesa in enakega razmerja noč dan. Ne moremo primerjati sončne sobote v juniju z deževno sredo v novembru. Meritev ponovimo večkrat (na primer 5-krat), za vsak letni čas. Dobljeni rezultat bo predstavljal izmerjeni prihranek energije.

Druga meritev je del aplikacije in je prikazana v statistiki. Če poznamo porabo posamezne linije luči, lahko izračunamo skupno porabo. Treba je sestaviti tabelo z dvema stolpcema: prvi hrani čas za posamezno linijo, ko so bile luči prižgane in predstavlja  $E_o$ , drugi pa hrani čas, ko so luči dejansko svetile. Izračun prihranka je preprost in zahteva le nekaj vrstic kode. Prikazan bo v statistiki.

Nazadnje je treba še ovrednotiti razpoloženje uporabnikov. Sistem ne sme motiti delovnih procesov. Neprimerna osvetlitev lahko pomeni nekvalitetno opravljeno delo in posledično tudi nezadovoljne uporabnike. Razpoloženje uporabnikov bomo preverili v pogovoru z njimi in opazovanjem. Cilj je ohraniti primerno raven osvetlitve, ki je potrebna za delo in zmanjšanje porabe energije.



Slika 24: Merilnik porabe električne energije.



Slika 25: Prikaz statistike prihrankov.

## 6 ZAKLJUČEK

Prvi korak bo instalacija sistema, ki ga opisuje projekt. Montaža in dokončna izdelava sta načrtovani v mesecu avgustu med kolektivnim dopustom. Verjetno bodo potrebne dopolnitve ali popravki na realnem sistemu, kar je običajna praksa pri podobnih projektih. Pričakovane koristi sistema so 30 % prihrank energije, daljša življenjska doba svetilk, prihranjena skrb za upravljanje razsvetljave zaposlenim in olajšan obhod gasilcem. Sledila bo evalvacija prihrankov in ocene uporabnikov delujočega sistema.

Racionalna raba energije je vedno aktualna tema. Vsak doprinos k učinkovitejši rabi energije je premik v pravo smer. V podjetju je še veliko primerov, pri katerih je mogoče izboljšati rabo energije na podoben način, zato v prihodnosti delovnih izzivov ne bo zmanjkalo.

Povezava med sistemom Android in PLK-jem je drugo področje mojega dela v prihodnosti. Diagnostika napak na industrijskih napravah je večkrat zapletena in dolgotrajna. Zastoji na proizvodnji liniji predstavljajo velikanske stroške podjetju, zato je vsaka izboljšava diagnostičnih metod zelo pomembna.

## 7 LITERATURA IN VIRI

- [1] G. BIZJAK, *Razsvetljava*, Založba FE in FRI, 2013. (*Citirano na straneh V, 15, 16 in 17.*)
- [2] C. DILOUIE, *Lighting controls handbook*, Fairmont Press, 2008. (*Citirano na straneh VI, 2 in 4.*)
- [3] A. GALASIU in G. NEWSHAM, Energy savings due to occupancy sensors and personal controls: A pilot field study. *11th International European Conference (2009)* . (*Citirano na strani 3.*)
- [4] M. KONONOVA, M. ZHERLYKINA in A. KONONOV, Methodology for Comparison of Building Daylighting Systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (2020)* . (*Citirano na strani 3.*)
- [5] D. LI, K. CHEUNG, S. WONG in T. LAM, An analysis of energy-efficient light fittings and lighting controls. *Applied Energy* 87 (2010) 558-567. (*Citirano na strani 3.*)
- [6] D. NARDELLA, *MOKA 7*, <https://sourceforge.net/projects/snap7/files/Moka7/>. (Datum ogleda: 4. 7. 2022.) (*Citirano na strani 33.*)
- [7] R. REFAAT, Parametric Study in Office Building for Daylighting Performance and Energy Saving. (2018) . (*Citirano na strani 3.*)
- [8] R. RUPP in E. GHIS, Daylighting Performance and Potential for Electricity Savings by Using Daylighting in Commercial Buildings Located in Florianópolis, Brazil. *Proceedings of The Second International Conference on Building Energy and Environment. Boulder: COBEE-International Conference on Building Energy and Environment (1995)* 1–4. (*Citirano na strani 3.*)
- [9] *Android (operating system)*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Android\\_\(operating\\_system\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Android_(operating_system)). (Datum ogleda: 4. 7. 2022.) (*Citirano na strani 29.*)
- [10] *Android version history*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Android\\_version\\_history](https://en.wikipedia.org/wiki/Android_version_history). (Datum ogleda: 4. 7. 2022.) (*Citirano na straneh VI in 31.*)

- [11] *Digital Addressable Lighting Interface*,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_Addressable\\_Lighting\\_Interface](https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Addressable_Lighting_Interface).  
(Datum ogleda: 4. 7. 2022.) (*Citirano na strani 5.*)
- [12] *Home automation*,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Home\\_automation](https://en.wikipedia.org/wiki/Home_automation). (Datum ogleda:  
4. 7. 2022.) (*Citirano na strani 3.*)
- [13] *IntelliJ IDEA*,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/IntelliJ\\_IDEA](https://en.wikipedia.org/wiki/IntelliJ_IDEA). (Datum ogleda: 4. 7. 2022.)  
(*Citirano na strani 31.*)
- [14] *Pascal (programming language)*,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Pascal\\_\(programming\\_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Pascal_(programming_language)). (Datum  
ogleda: 4. 7. 2022.) (*Citirano na straneh VI in 25.*)
- [15] *Programmable logic controller*,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable\\_logic\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller). (Datum  
ogleda: 4. 7. 2022.) (*Citirano na straneh VI, 5, 21 in 24.*)
- [16] *Programming with STEP 7*, Siemens AG, 2012.  
[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/056/18652056/att\\_70829  
/v1/S7prv54\\_e.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/056/18652056/att_70829/v1/S7prv54_e.pdf). (Datum ogleda: 4. 7. 2022.) (*Citirano na strani 27.*)
- [17] *SCADA*,  
<https://en.wikipedia.org/wiki/SCADA>. (Datum ogleda: 4. 7. 2022.) (*Citirano  
na strani 19.*)
- [18] *Simatic*,  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Simatic>. (Datum ogleda: 4. 7. 2022.) (*Citi-  
rano na strani 21.*)
- [19] *S7-1200 Programmable controller*, Siemens AG, 2012.  
[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/  
att\\_106119/v1/s71200\\_system\\_manual\\_en-US\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att_106119/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf). (Datum ogleda:  
4. 7. 2022.) (*Citirano na strani 27.*)
- [20] *Thomas Edison*,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas\\_Edison](https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Edison). (Datum ogleda: 4. 7. 2022.)  
(*Citirano na strani 15.*)



- [21] *Timeline of lighting technology*,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline\\_of\\_lighting\\_technology](https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_lighting_technology). (Datum ogleda: 4. 7. 2022.) (*Citirano na strani 15.*)
- [22] *Totally Integrated Automation Portal*,  
<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>. (Datum ogleda: 4. 7. 2022.) (*Citirano na straneh 23 in 24.*)