

# Analiza i Optimizacija Životnog Ciklusa SCADA Sustava prema metodologiji norme u izradi - ISA 112

---

Varga, Fran

Master's thesis / Diplomski rad

2024

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:889287>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-19**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni diplomski studij Elektrotehnika**

**ANALIZA I OPTIMIZACIJA ŽIVOTNOG CIKLUSA  
SCADA SUSTAVA PREMA METODOLOGIJI NORME U  
IZRADI – ISA 112**

**Diplomski rad**

**Fran Varga**

**Osijek, 2024.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac D1: Obrazac za ocjenu diplomskog rada na sveučilišnom diplomskom studiju****Ocjena diplomskog rada na sveučilišnom diplomskom studiju**

<b>Ime i prezime pristupnika:</b>	Fran Varga
<b>Studij, smjer:</b>	Sveučilišni diplomski studij Elektrotehnika, Automatizacija
<b>Mat. br. pristupnika, god.</b>	D-1490, 07.10.2022.
<b>JMBAG:</b>	0165083661
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
<b>Sumentor:</b>	mr. sc. Dražen Dorić
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	prof. dr. sc. Damir Blažević
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	Zorislav Kraus, dipl. ing. el.
<b>Naslov diplomskog rada:</b>	Analiza i Optimizacija Životnog Ciklusa SCADA Sustava prema metodologiji norme u izradi - ISA 112
<b>Znanstvena grana diplomskog rada:</b>	<b>Automatizacija i robotika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak diplomskog rada:</b>	International Society of Automation, ISA, je globalno najutjecajnije neprofitno profesionalno udruženje inženjera, tehničara i menadžera koji se bave industrijskom automatizacijom. ISA112 SCADA Systems odbor za standarde aktivno razvija niz ISA standarda i tehničkih izvješća za projektiranje sustava, implementaciju, rad i održavanje sustava nadzora i upravljanja (eng. SCADA), za cjevovode, vodoopskrbu i otpadne vode, energetiku, naftu i plin te druge industrije kako bi se podržao ukupni integritet i pouzdanost ovih sustava. U okviru završnog rada
<b>Datum ocjene pismenog dijela diplomskog rada od strane mentora:</b>	23.09.2024.
<b>Ocjena pismenog dijela diplomskog rada od strane mentora:</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Datum obrane diplomskog rada:</b>	27.9.2024.
<b>Ocjena usmenog dijela diplomskog rada (obrane):</b>	Izvrstan (5)
<b>Ukupna ocjena diplomskog rada:</b>	Izvrstan (5)
<b>Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije diplomskog rada čime je pristupnik završio sveučilišni diplomski studij:</b>	27.09.2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O IZVORNOSTI RADA**

Osijek, 27.09.2024.

Ime i prezime Pristupnika:	Fran Varga
Studij:	Sveučilišni diplomski studij Elektrotehnika, Automatizacija industrijskih sustava
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	D-1490, 07.10.2022.
Turnitin podudaranje [%]:	6

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza i Optimizacija Životnog Ciklusa SCADA Sustava prema metodologiji norme u izradi - ISA 112**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš

i sumentora mr. sc. Dražen Dorić

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. SCADA SUSTAV .....	3
3. ISA112 STANDARD.....	6
3.1. Arhitektura modela SCADA sustava .....	6
3.2. Životni ciklus SCADA sustava .....	8
3.2.1. Kontinuirani radni procesi SCADA sustava .....	10
3.2.2. Standardi SCADA sustava .....	11
3.2.3. Dizajn SCADA sustava.....	12
3.2.4. Razvoj sustava.....	14
3.2.5. Izgradnja / izrada hardvera .....	15
3.2.6. Instalacija / implementacija.....	16
3.2.7. Puštanje u rad / pokretanje .....	17
3.2.8. Rad SCADA sustava .....	19
3.3. Izazovi u primjeni ISA112 standarda.....	20
4. TROŠKOVI TIJEKOM ŽIVOTNOG CIKLUSA SCADA SUSTAVA.....	22
4.1. Isplativost projekta .....	24
4.2. Stvarni primjer troškova tijekom životnog ciklusa SCADA sustava.....	25
ZAKLJUČAK .....	29
LITERATURA.....	30
SAŽETAK.....	32
ABSTRACT .....	33

# 1. UVOD

Sustav nadzorne kontrole i prikupljanja podataka (engl. *Supervisory Control and Data Acquisition* - SCADA) predstavlja ključni element u nadzoru i upravljanju kompleksnim industrijskim procesima i sustavima. Unatoč svojoj važnosti, životni ciklus SCADA sustava često se ne optimizira na način koji bi omogućio maksimalnu efikasnost, pouzdanost i sigurnost sustava. Problem leži u tome što su SCADA sustavi dinamični i skloni promjenama tijekom različitih faza svog životnog ciklusa, koje uključuju dizajn, implementaciju, održavanje, nadogradnju te povlačenje iz upotrebe. Ovaj diplomski rad usmjeren je na analizu i optimizaciju životnog ciklusa SCADA sustava prema normi u izradi ISA112, koja nudi strukturirani pristup upravljanja SCADA sustavom kroz sve faze njegova postojanja.

Norma ISA112 nastoji standardizirati i unaprijediti procese povezane sa SCADA sustavima, s posebnim naglaskom na optimizaciju resursa, smanjenje rizika i poboljšanje operativne efikasnosti. Ovaj rad nastoji istražiti kako primjena ove norme može poboljšati cjelokupni životni ciklus SCADA sustava, od početnog dizajna do povlačenja sustava iz upotrebe.

Osnovni cilj ovog diplomskog rada je identificirati ključne aspekte životnog ciklusa SCADA sustava koji se mogu optimizirati primjenom preporuka iz norme ISA112. To uključuje analizu trenutnog stanja SCADA sustava, prepoznavanje slabih točaka i područja za poboljšanje, te predlaganje konkretnih mjera koje bi se mogle implementirati kako bi se poboljšala efikasnost, sigurnost i održivost sustava. Odbor ISA112 do trenutka pisanja ovog rada nije objavio standard, ali je predstavio svoj cilj i nekoliko dijagrama koji su detaljnije objašnjeni u ovom radu. Osim dijagrama rad je fokusiran na sam životni ciklus SCADA sustava, objašnjene su njegove faze, ali i troškovi koji nastaju za vrijeme jednog takvog ciklusa. Troškovi su detaljnije razjašnjeni i na jednom stvarnom primjeru implementacije SCADA sustava. Također, predstavljeni su i izazovi u primjeni norme ISA112 u različitim industrijskim okruženjima, te kako te izazove prevladati uz minimalne troškove i prekide rada.

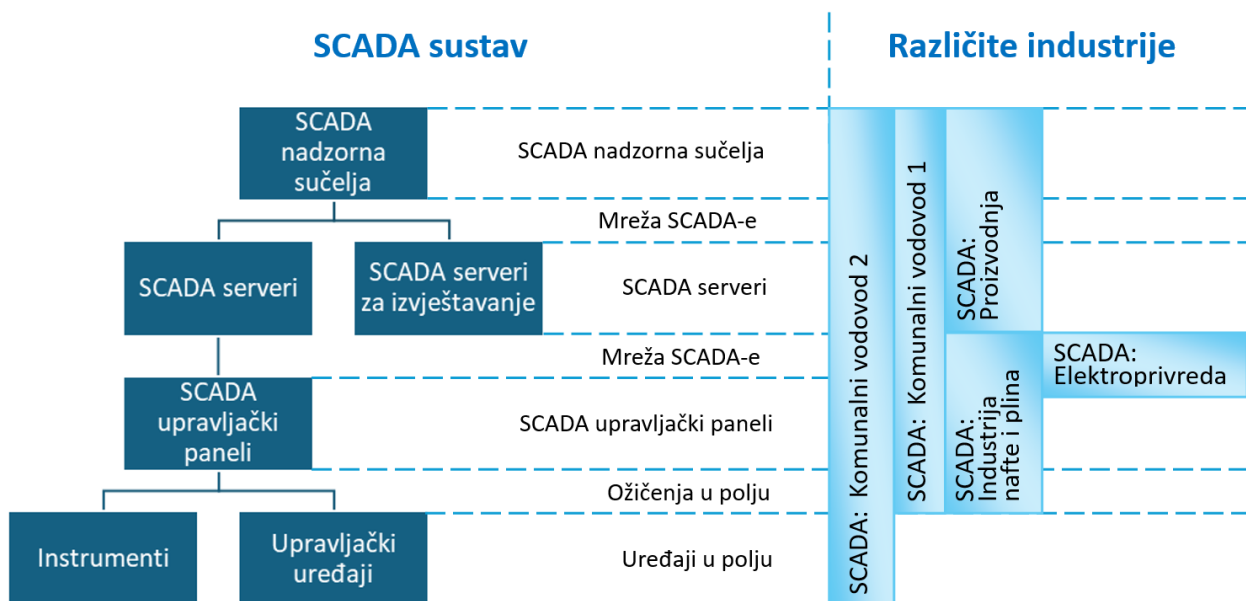
Pregled literature pokazuje da su mnogi autori istraživali pojedine aspekte životnog ciklusa SCADA sustava, ali malo je radova koji su se fokusirali na cjelovitu primjenu normi za optimizaciju ovih sustava. Autori [1] u svom radu optimiziraju dizajn SCADA sustava kako bi postigli efikasniju upotrebu skladišta usporedbom dvije tehnike upravljanja skladištem. Autori [2] napominju važnost korištenja sigurnosnih sustava unutar SCADA sustava, te analiziraju i određuju optimalne lokacije za njihovo korištenje unutar sustava. Autori [3] napominju kako je kreiranjem efikasnijeg softvera moguće smanjiti troškove implementacije SCADA sustava zbog manje potrebe hardverskih resursa čime se postiže jeftiniji i efikasniji sustav. Ovaj rad, stoga, nastoji

popuniti tu prazninu i pružiti preporuke u primjeni norme ISA112 kako bi se optimizirao cijeli životni ciklus SCADA sustava.

Struktura diplomskog rada podijeljena je na nekoliko ključnih poglavlja. U drugom poglavlju daje se detaljna analiza SCADA sustava, s naglaskom na trenutne prakse u upravljanju njihovim životnim ciklusom. Treće poglavlje bavi se normom ISA112, njenim ciljevima, strukturom i dostupnim dijagramima koji se odnose na SCADA sustave. Četvrto poglavlje sadrži opis troškova tijekom životnog ciklusa SCADA sustava i prikaz troškova na jednom stvarnom primjeru.

## 2.SCADA SUSTAV

SCADA sustav je sustav koji se koristi za nadzor, upravljanje i automatizaciju industrijskih procesa u stvarnom vremenu. Prema [4] ISA112 odbor je 2017. godine na sastanku usvojio definiciju koja definira SCADA-u kao sustav koji je kombinacija hardvera i softvera koji se koristi za slanje naredbi i prikupljanje podataka u svrhu nadzora i upravljanja. Također naglašavaju da različite industrije koriste izraz „SCADA“ za označavanje mnogo različitih dijelova sustava koje su specifične za tu pojedinačnu industriju što je prikazano na slici 2.1. Komunalni vodovodi SCADA-u mogu gledati kao cijeli sustav od uređaja koji su direktno povezani sa procesom do samih nadzornih sučelja, u industrijama nafte i plina SCADA-om se smatra dio od ožičenja uređaja povezanih sa procesom do SCADA servera koji nisu uključeni, elektroprivreda SCADA-om smatra samo mrežu upravljačkih panela, dok se u proizvodnji SCADA-om smatra dio od SCADA servera do nadzornih sučelja. Svaka od tih industrija je u pravu kada koristi pojam SCADA unutar vlastitog konteksta. Zbog toga je ova definicija SCADA-e napisana na način da ju mogu koristiti sve industrije.



Slika 2.1. Definicija SCADA-e prema različitim industrijama [4]

Hardver SCADA sustava obično se sastoji od glavne terminalne jedinice koja je obično programibilni logički kontroler (PLC), udaljenih terminalnih jedinica (RTU), senzora i aktuatora o čemu više govori [5]. Naravno u slučaju većih sustava koriste se i različiti komunikacijski uređaji, serveri, operatorski paneli i drugi uređaji. Kako bi hardver obavljao svoju svrhu potrebno je dizajnirati i odgovarajući softver SCADA sustava, te različite softvere za upravljanje alarmima, analizu podataka, sigurnost i autentifikaciju, također potrebno je izraditi i odgovarajuće sučelje



između čovjeka i stroja (HMI) kako bi operateri mogli nadgledati i upravljati sustavom o čemu više govori [6]. SCADA sustavi su u početku bili vrlo jednostavni, izolirani i nezavisni, komunikacija između uređaja bila je ograničena samo na lokane mreže što ih je činilo relativno sigurnima jer su bili fizički odvojeni od vanjskog svijeta. S vremenom kako su računalne mreže evoluirale, SCADA sustavi postajali su sve sofisticiraniji. Uvođenjem interneta u industriju SCADA sustavi više nisu bili izolirani nego su postali dio šire mreže koja je omogućila daljinski nadzor i upravljanje čime se povećala učinkovitost sustava, ali i povećala izloženost sustava na vanjske prijetnje. U početku industrije nisu zadavale veliku važnost kibernetičkoj sigurnosti, međutim s godinama su shvatile da nisu imune na kibernetičke napade. Počeli su se uvoditi sigurnosni protokoli, enkripcija komunikacije i segmentacija mreže koji su s vremenom postali standard SCADA sustava. Današnji SCADA sustavi puno su sigurniji, ali s razvojem novih tehnologija poput umjetne inteligencije i interneta stvari (engl. *Internet of Things* - IoT) sustavi postaju sve složeniji i povezaniji što otvara nove rizike u pogledu kibernetičke sigurnosti o čemu više govori [7]. Budući da je SCADA sustav postao vrlo složen 1992. godine autor je objavio rad [8] u kojem je SCADA sustav podijelio na pet hijerarhijskih razina koje su prikazane na slici 2.2. Sustav se sastojao od razine 0 koja je predstavljala razinu polja, a uključivala je senzore, aktuatori i druge uređaje koji su izravno povezani s procesnim sustavom te služe za prikupljanje podataka o stvarnom stanju sustava. Zatim slijedi razina 1 koja predstavlja upravljačku razinu. Upravljačka razina sastoji se od PLC uređaja koji prikupljaju podatke s razine 0 i koriste ih za automatsko reguliranje procesa.



Slika 2.2. Purdue referentni model sustava nadzora i upravljanja

Razina 2 predstavlja nadzornu razinu koja uključuje sustave za nadzor i prikupljanje podataka (SCADA) te distribuirane upravljačke sustave. Sastoji se od hardvera i softvera koji omogućuju nadzor nad cjelokupnim proizvodnim procesima u stvarnom vremenu. Razina 3 predstavlja

operativnu kontrolu, fokusira se na upravljanje proizvodnim aktivnostima i optimizaciji operacija u proizvodnji. Ova razina obuhvaća softver za upravljane proizvodnim procesima poznat kao MES (engl. *Manufacturing Execution Systems*). MES prati cijeli proces proizvodnje kako bi osigurao da proizvodnja bude sinkronizirana s ostalim poslovnim procesima, što omogućuje bolju kontrolu i optimizaciju proizvodnog procesa. MES upravlja rasporedom proizvodnje, zalihama sirovina i proizvoda, održava kvalitetu, te generira izvještaje o učinkovitosti proizvodnje. Razina 4 predstavlja razinu poslovnog upravljanja koja integrira proizvodne procese s poslovnim sustavima poduzeća. U ovoj razini nalaze se sustavi za upravljanje poslovnim resursima poznati kao ERP (engl. *Enterprise Resource Planning*) koji koordiniraju aktivnosti kao što su planiranje proizvodnje, nabava, distribucija, financije i ljudski resursi. ISA odbor je usvojio i unaprijedio originalni purdue referentni model te je on postao dio standarda ISA95 [9]. Prošireni purdue referentni model također se koristi kao referenca u standardu ISA112 koji je još u izradi, ali je objavljen dijagram arhitekture modela SCADA sustava koji je detaljnije objašnjen u potpoglavlju 3.1. S obzirom na kompleksnost SCADA sustava njegova implementacije u nekom industrijskom okruženju nije nimalo jednostavna jer zahtjeva detaljno planiranje cijelog sustava, određivanje rizika projekta, implementaciju samog sustava, održavanje i nadogradnje što dovodi do velikih troškova te je vrlo važno moći procijeniti isplativost projekta o čemu govori [10].

### **3. ISA112 STANDARD**

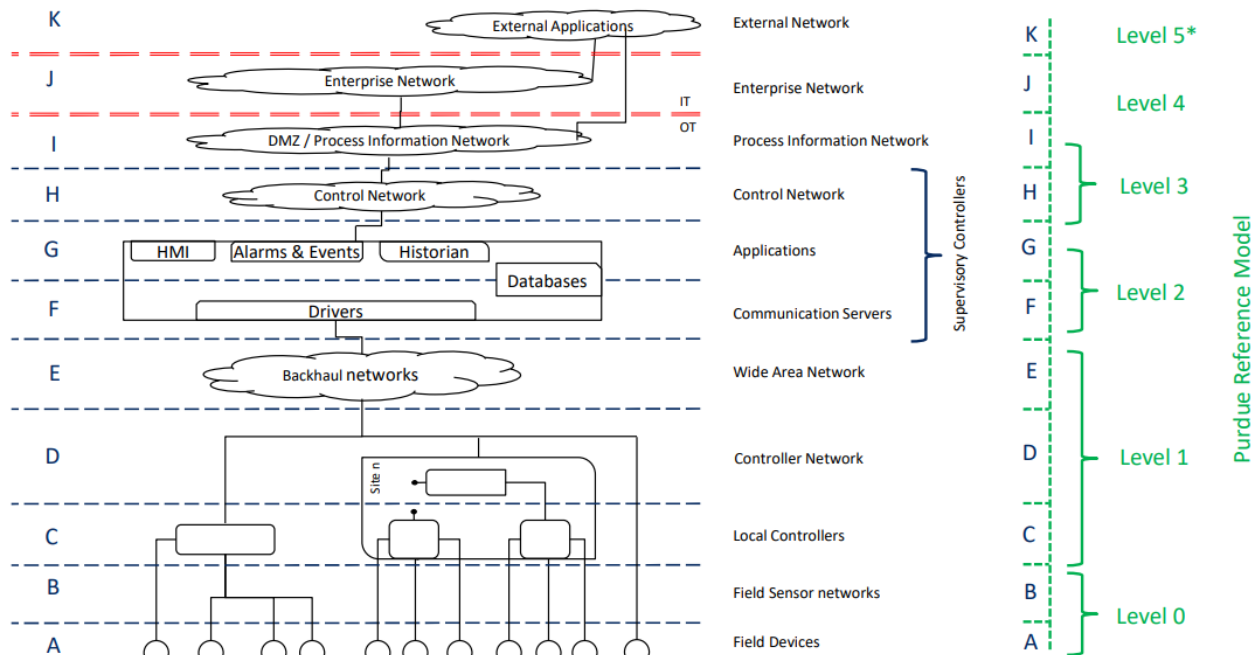
Međunarodno društvo za automatizaciju (engl. *The International Society of Automation – ISA*) je 2016. godine osnovalo odbor za standarde ISA112 SCADA sustava koji aktivno razvija niz ISA standarda i tehničkih izvješća za sustave nadzorne kontrole i prikupljanja podataka. Prema zadnjim podacima ovaj odbor se sastoji od preko 300 članova sa širokim opsegom uloga, industrija i zemljopisnih područja. Odbor se sastoji od dobavljača softvera, dobavljača hardvera, krajnjih korisnika, sistemskih integratora, konzultanata, distributera i vlada koji dolaze iz različitih industrijskih sektora kao što su komunalne i otpadne vode, nafta i plin, cjevovodi, rudarstvo, prijenos i distribucija električne energije, nadzor okoliša, proizvodnja te kontrola prometa. Njihov cilj je razviti niz ISA standarda i tehničkih izvješća koji će dati smjernice za dizajn, implementaciju, rad i održavanje SCADA sustava za cjevovode, vodoopskrbu i otpadne vode, energetiku, naftu i plin i druge industrije kako bi se podržao cjelokupni integritet i pouzdanost ovih sustava, a glavni cilj ISA112 standarda je osigurati zajednički okvir koji se može koristiti za specificiranje, projektiranje, određivanje cijena, izgradnju i održavanje SCADA sustava. ISA112 sastojat će se od tri dijela: 1.dio – Upravljanje životnim ciklusom SCADA sustava, terminologija i dijagrami, 2. dio – Upravljanje životnim ciklusom SCADA sustava, najbolje prakse, 3. dio – Dijagram arhitekture modela SCADA sustava, najbolje prakse. Odbor je planirao prvi dio ovog standarda objaviti početkom 2024. godine, što nisu uspjeli, dok su drugi i treći dio planirali objaviti jednu do dvije godine nakon toga. Do sada su uspjeli definirati što je SCADA sustav, uzimajući u obzir pojedine industrije i regionalne varijacije, objavili su dijagram arhitekture modela SCADA sustava koji je detaljnije opisan u potpoglavlju 3.1, te dijagram upravljanja životnim ciklusom SCADA sustava koji je detaljnije opisan u potpoglavlju 3.2, također su napisali sadržaj za trodijelni SCADA standard.

#### **3.1. Arhitektura modela SCADA sustava**

Odbor ISA112 izdao je dijagram arhitekture modela SCADA sustava koji se može vidjeti na slici 3.1. Iz razloga što se mnogi stručni pojmovi u području automatizacije ne mogu adekvatno prevesti na hrvatski jezik bez gubitka izvornog značenja, dijagrami iz norme ISA112 nisu prevedeni na hrvatski jezik, već su zadržali originalni oblik koji je prikladniji SCADA stručnjacima.

# ISA112 SCADA System Model Architecture Diagram

ISA112 – SCADA Systems Standards Committee – International Society of Automation (ISA) – www.isa.org/isa112/



**Notes:**

- 1 Letters are used to avoid potential conflict with ISA-95 and other "Layer" models.
- 2 Routers and Firewalls between layers as well as other system-specific servers, applications, and workstations are not shown.
- 3 Individual architectures may vary from the above general model. For example, if only local systems are used Level E may not be required.
- 4 Communications for any remote-hosted external applications (Cloud) with lower levels must be done using extreme care.
- 5 The use of direct-connections for remote applications is strongly discouraged. Refer to ISA/IEC-62443 for guidance on an appropriate zone/conduit implementation.
- \* We show a Purdue Level 5. The true Purdue Model only has levels 0-4 because it did not anticipate external applications.

IT = Information Technology  
OT = Operational Technology

Note: This is an interim working draft from the ISA112 SCADA Systems standards committee, as of 2022-01-26. (A previous version was posted on 2020-06-15). This diagram is still subject to change.

Slika 3.1. Dijagram arhitekture modela SCADA sustava [4]

ISA je za razliku od referentnog purdue modela koji se sastoji od 5 razina (0-4) odnosno u ovom slučaju od 6 jer su uključene i vanjske aplikacije, podijelila SCADA sustav na 11 razina koje je označila slovima od A do K kako se ne bi miješale sa slojevima ostalih modela. ISA naglašava kako u ovom dijagramu između razina nisu prikazani nikakvi usmjerivači ni vatrozidi koji bi služili za komunikaciju, nisu prikazani ni ostali serveri, aplikacije niti radne stanice koje su specifične za pojedini sustav. Također navode kako se pojedinačne arhitekture mogu razlikovati od ovog generaliziranog modela, jer ako se recimo radi o nekom lokalnom sustavu razina E možda neće biti potrebna. Razina 0 ili razina polja se u ovom slučaju sastoji od razine A i B. Razina A uključuje samo uređaje u polju, dok razina B predstavlja međusobnu povezanost uređaja iz polja te njihovu povezanost sa upravljačkim uređajima. Razina 1 odnosno upravljačka razina dijeli se tri razine, razinu C, D i E. Razina C obuhvaća lokalne upravljačke uređaje, razina D povezanost odnosno mrežu tih upravljačkih uređaja, dok razina E predstavlja distribuiranu mrežu upravljačkih uređaja na nekom širem području. Razina 2 ili nadzora razina dijeli se na razinu F i G. Razina F predstavlja komunikacijske servere koji omogućuju komunikaciju između nadzora i upravljanja, dok razina G predstavlja softver samog sustava za nadzor i prikupljanje podataka. Razina 3 ili razina

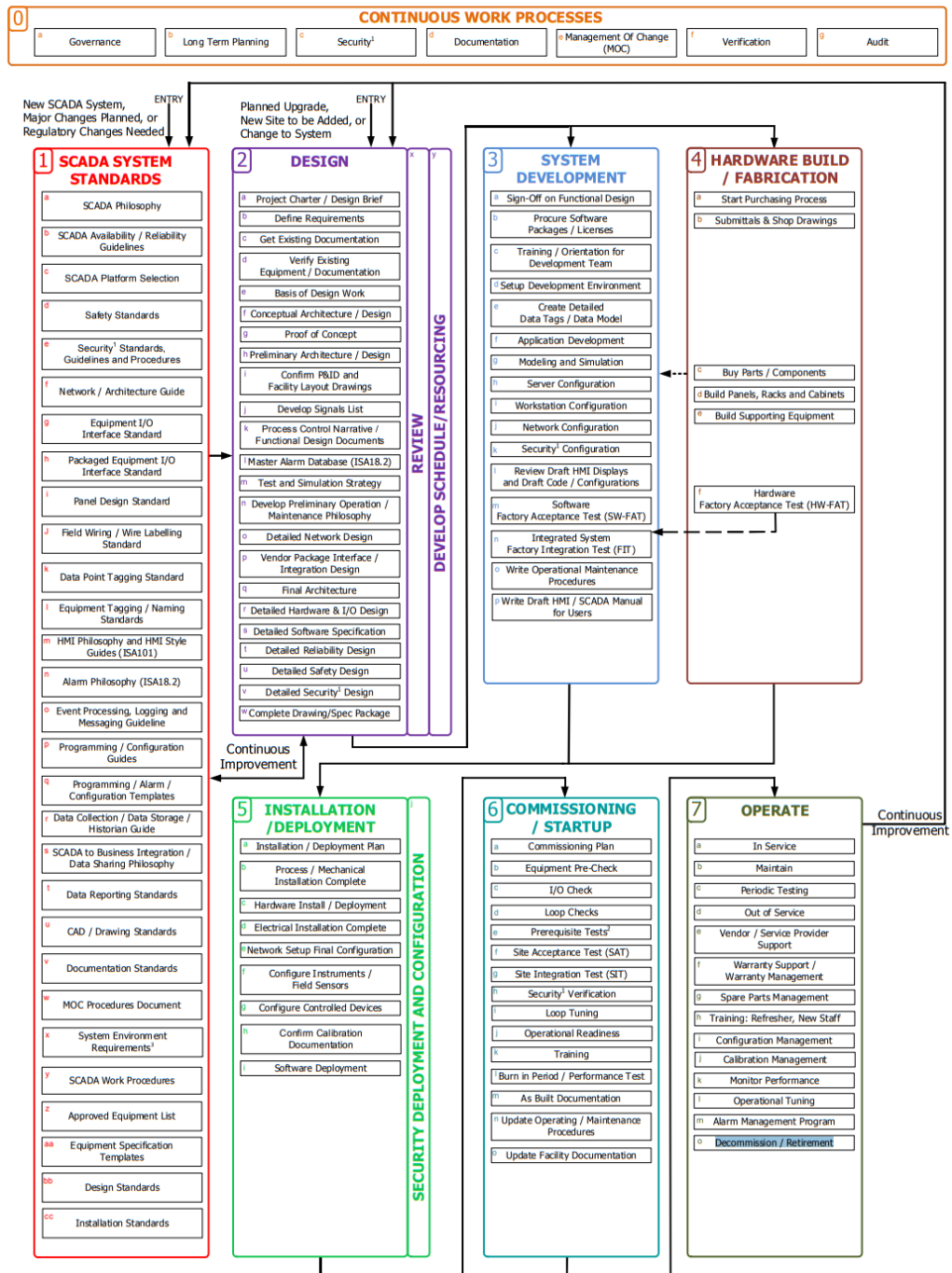
operativne kontrole dijeli se na razine H i I. Razina H predstavlja upravljačku mrežu koja povezuje sustav nadzora i prikupljanja podataka sa sustavom za upravljanje proizvodnim procesima. Razina I predstavlja segment mreže koji povezuje operativni i informacijski dio sustava i služi kao zaštitni sloj između upravljačkih sustava i sustava poslovnih operacija i analize podataka. Razina 4 ili razina poslovnog upravljanja ostaje jednaka te se u standardu pojavljuje kao razina J. Razina 5 koja se ne pojavljuje u izvornom purdue modelu predstavlja vanjsku mrežu SCADA sustava koja omogućuje povezivanje s udaljenim resursima, cloud servisima te vanjskim partnerima. Ova mreža nudi značajne prednosti u smislu fleksibilnosti, skalabilnosti i naprednih funkcija, ali također predstavlja i povećan sigurnosni rizik o kojem treba voditi računa. Ova razina je u ISA112 standardu predstavljena kao razina K.

### **3.2. Životni ciklus SCADA sustava**

Odbor ISA112 izdao je dijagram životnog ciklusa SCADA sustava koji se može vidjeti na slici 3.2.

# ISA112 SCADA System Lifecycle

ISA112 – SCADA Systems Standards Committee – International Society of Automation (ISA) – www.isa.org/isa112/



Notes  
 1) Security includes physical security, operational security, and cybersecurity.  
 2) Prerequisite tests typically include both cold and hot commissioning or dry / wet commissioning as applicable.  
 3) System Environment Requirements can include separate systems for development, testing, training, production, backup, disaster recovery, digital twins, and other uses, as part of development and Management Of Change (MOC) procedures

Note: This is an interim working draft from the ISA112 SCADA Systems standards committee, as of 2022-07-08. (A previous version was released on 2020-06-15.) This diagram is still subject to change.

Slika 3.2. Dijagram životnog ciklusa SCADA sustava [4]

U dijagramu se životni ciklus SCADA sustava dijeli u osam kategorija: kontinuirani radni procesi, standardi SCADA sustava, dizajn sustava, razvoj sustava, izgradnja hardvera, implementacija

sustava, puštanje sustava u pogon te danji rad sustava. U sljedećim podpoglavima detaljnije će biti objašnjene ove kategorije.

### 3.2.1. Kontinuirani radni procesi SCADA sustava

Kako bi SCADA sustav s vremenom ostao učinkovit, pouzdan te u skladu s najnovijim tehnologijama potrebna su stalna praćenja i održavanja, poboljšanja u smislu promjena i nadogradnji te kontinuirana integracija novih tehnologija kako bi sustav držao korak s najnovijim industrijskim trendovima. Na slici 3.3. prikazani su kontinuirani procesi SCADA sustava prema ISA112 dijagramu životnog ciklusa SCADA sustava.

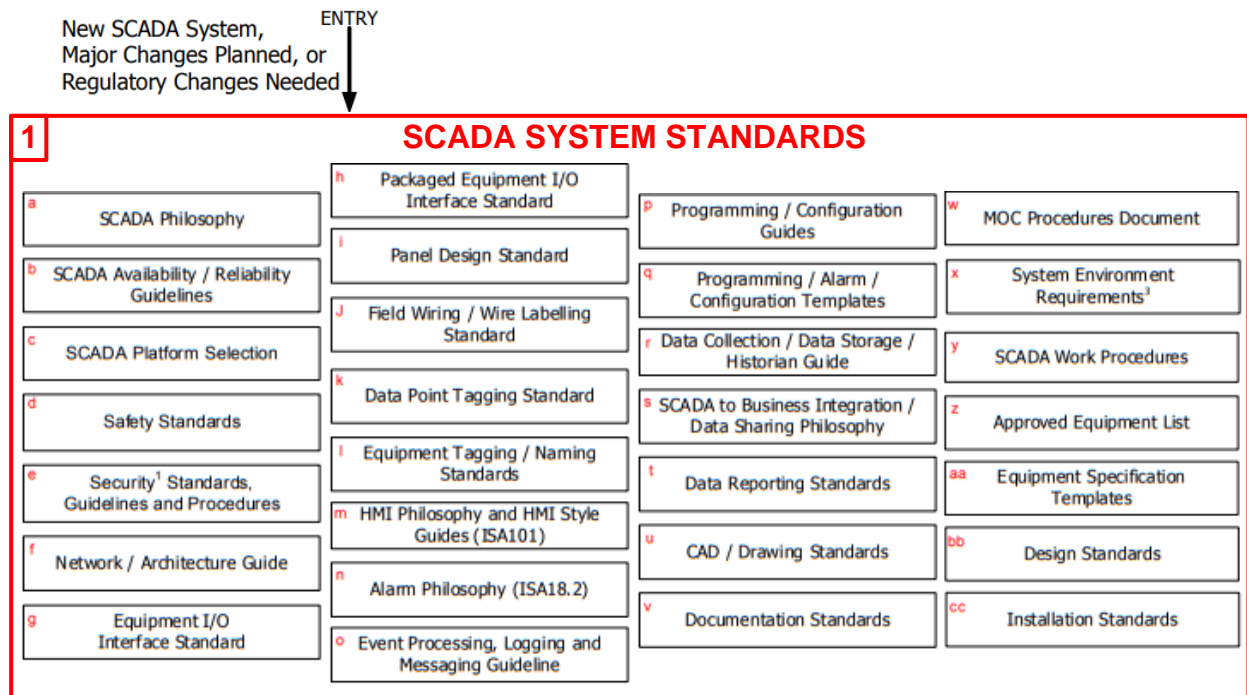


Slika 3.3. Kontinuirani procesi prema ISA112 dijagramu životnog ciklusa SCADA sustava

Kao prvi kontinuirani proces spominje se upravljanje (engl. *governance*) koje se odnosi na procese donošenja i provođenja odluka unutar organizacije, definira tko posjeduje, koristi, plaća i održava SCADA sustav. Zatim se spominje dugoročno planiranje koje se odnosi na razvoj strategija i postavljanje ciljeva u životnom ciklusu SCADA sustava, kako bi sustav ostao relevantan i učinkovit u budućnosti. Planira se za sljedećih 5 do 25 godina, pa čak i duže. Slijedi sigurnost koja se odnosi na stalne mjere fizičke, operativne te kibernetičke sigurnosti. Koriste se različiti sigurnosni protokoli i postupci kako bi se osigurala sigurnost podataka te infrastrukture. Vođenje dokumentacije također je jedan od važnih kontinuiranih procesa. Dokumentaciju sustava o izgradnji, radu i održavanju potrebno je kontinuirano i jasno dokumentirati kako bi sve informacije bile lako dostupne za pregled i reviziju. Također dokumentacija je vrlo važna pri nadogradnji sustava, jer u slučaju nedokumentiranih promjena na sustavu dodatno se otežava nadogradnja tog dijela sustava, što nas dovodi do upravljanja promjena (engl. *Management Of Change* skraćeno MOC). MOC obuhvaća upravljanje, kontrolu te dokumentaciju promjena u sustavu kao što su promjene u korištenoj tehnologiji, promjene postrojenja, procedure ili opreme koje utječu na sustav. Kao sljedeći kontinuirani proces navodi se verifikacija odnosno provjera koja se odnosi na povremene provjere SCADA sustava kako bi se provjerilo radi li sustav na ispravan i dokumentiran način. Zadnja među kontinuiranim procesima navodi se revizija koja se odnosi na povremene provjere koje provjeravaju prate li se i dokumentiraju procesi rada.

### 3.2.2. Standardi SCADA sustava

Pri izradi novog SCADA sustava, pri planiranju velikih promjena na postojećem SCADA sustavu ili u slučaju novih regulatornih promjena ISA112 navodi kako bi se trebali proći svi specifični standardi za krajnjeg korisnika koji će se koristiti tijekom cijelog životnog ciklusa SCADA sustava. Na slici 3.4. prikazani su standardi SCADA sustava prema ISA112 dijagramu životnog ciklusa SCADA sustava.



Slika 3.4. Standardi SCADA sustava prema ISA112 dijagramu životnog ciklusa SCADA sustava

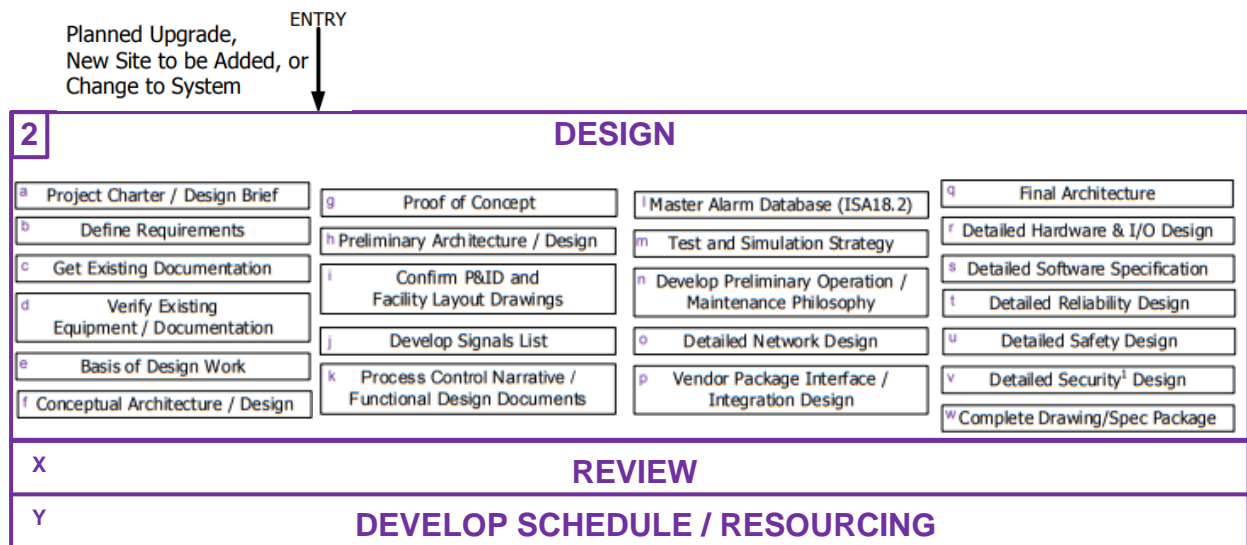
ISA112 navodi različite standarde koji su važni tijekom životnog ciklusa SCADA sustava, navodi se dokument SCADA filozofije, smjernice za dostupnost i pouzdanost te odabir SCADA platforme, ovi standardi odnose se na skup načela i pristupa koji se koriste pri dizajniranju i upravljanju SCADA sustavima, kako bi se ostvarila što bolja pouzdanost i dostupnost sustava uz platformu koja odgovara krajnjem korisniku. Navode se i sigurnosni standardi, smjernice i postupci koji se koriste kako bi zaštitili ljude sustavima automatskog isključivanja, smjericama za sigurno rukovanje opremom, uputama za hitne slučajeve, ali i za zaštitu samog sustava od krađe podataka ili neovlaštenog pristupa sustavu. Ovo obuhvaća i sigurnosne protokole za komunikaciju što naravno zahtjeva sigurnu mrežnu arhitekturu čiji dizajn i implementacija prate određene smjernice koje se također navode od strane ISA112. Prilikom izrade SCADA sustava sva oprema kao i njeni ulazi i izlazi moraju se na jednoznačan i jasan način označiti i imenovati, označavanje žica i podatkovnih točaka također prati određeni standard tijekom izrade SCADA sustava kako bi



osobe koje rade na sustavu u svakom trenutku razumjele na koji način je oprema raspoređena, ožičena te s kojom opremom komunicira. Filozofija sučelja između čovjeka i stroja (engl. *human-machine interface* skraćeno HMI) te njezin stil vrlo su važni u izradi SCADA sustava kako bi operateri mogli efikasno upravljati sustavom te vidjeti sve važne informacije što je pokriveno standardom ISA101. ISA je također razvila standard ISA18.2 za filozofiju alarma unutar sustava kako bi se alarmi realizirali na način koji je najsigurniji za sustav. Osim alarma prilikom izrade SCADA sustava ISA112 nalaže praćenje smjernica za obradu događaja kao i bilježenje te slanje poruka kako bi se kvarovi na sustavu lakše utvrdili i što prije riješili. Također postoje vodiči za programiranje i konfiguraciju kao i predlošci kako bi se u budućnosti program mogao lakše shvatiti i od osoba koje nisu sudjelovale u njegovoj izradi. ISA112 također propisuje praćenje standarda za dijeljenje podataka kao i za pisanje izvještaja o podacima. Prilikom crtanja sučelja potrebno je pratiti određena pravila dizajna kako bi sučelja bila što jasnija i što jednostavnija. Pravila također postoje i kod pisanja dokumentacije kako bi dokumentacija u budućnosti svima bila jasna te kako bi bile navedene sve promjene na sustavu. Vrlo je važno da sustav zadovoljava sve zahtjeve okoliša kako se ne bi ugrozio životni standard. Postupci rada SCADA sustava definiraju skup standardiziranih postupaka i operativnih smjernica koje se primjenjuju tijekom različitih aktivnosti povezanih s radom SCADA sustava. Prije implementacije SCADA sustava također je bitno napraviti popis opreme, uređaja ili komponenti koje su odobrene za korištenje u određenom industrijskom okruženju kako bi se olakšala nabava i upotreba opreme. Za izradu popisa opreme koriste se standardizirani predlošci i obrasci koji zahtijevaju detaljne informacije o korištenoj opremi. Kao zadnje standarde ISA112 navodi standarde za instalaciju koji sadrže skup postupaka, pravila i smjernica za ispravnu i sigurnu instalaciju opreme u sustav.

### **3.2.3. Dizajn SCADA sustava**

Nakon što se odrede svi potrebni standardi prelazi se u fazu dizajna. S ovom fazom se može i početi u slučaju nadogradnji na postojećem sustavu, proširenju sustava ili promjena u sustavu. Ona predstavlja ključni korak u izradi SCADA sustava u kojem se projektira i definira cijeli sustav, što uključuje specifične zadatke i aktivnosti koji su neophodni za pravilno postavljanje i funkcioniranje SCADA sustava. ISA 112 navela je aktivnosti koje bi trebalo odraditi u fazi dizajniranja, a prikazane su na slici 3.5., kako bi se dobio funkcionalan, pouzdan i siguran sustav tijekom cijelog životnog vijeka.



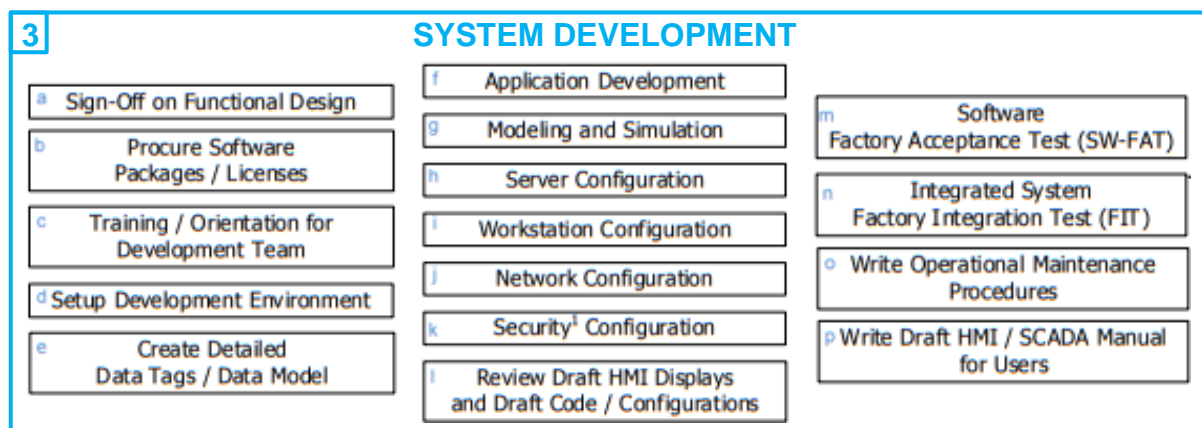
Slika 3.5. Aktivnosti u dizajniranju SCADA sustava prema ISA112 dijagramu životnog ciklusa SCADA sustava

ISA112 navodi različite aktivnosti koje su važne pri dizajniranju SCADA sustava. Kao prve korake navodi izradu sažetka projekta te definiranje zahtjeva projekta. Sažetak projekta definira ciljeve, obujam, resurse i druge ključne elemente projekta, te pruža strukturu i smjernice za vođenje projekta od početka do kraja, dok definiranje zahtjeva projekta obuhvaća identifikaciju, analizu i dokumentiranje zahtjeva koje sustav treba ispunjavati kako bi zadovoljio potrebe i ciljeve korisnika. Nakon definiranja projekta i njegovih zahtjeva potrebno je prikupiti svu postojeću dokumentaciju sustava te provjeriti i potvrditi njenu ispravnost kao i ispravnost opreme kako bi se stekao uvid u prethodne aktivnosti, odluke i informacije koje su relevantne za trenutni projekt. ISA dalje navodi definiranje osnovnih smjernica, zahtjeva i preduvjeta za projektiranje i implementaciju SCADA sustava. Potrebno je razviti konceptualni plan ili dizajn koji opisuje strukturu, organizaciju i ključne komponente sustava. Nakon razrade plana SCADA sustava potrebno je provjeriti valjanost koncepta testiranjem ključnih aspekata i funkcionalnosti kako bi se potvrdilo je li ideja tehnički izvediva. Nakon provjere koncepta donosi se idejno rješenje koje služi kao osnova za daljnji razvoj projekta. Također je potrebno potvrditi P&ID (Dijagrami procesa i instrumentacije) te nacрте rasporeda objekata kako bi se osiguraju da točno prikazuju procesne tokove, instrumentaciju, pumpe, ventile i ostale komponente procesa kao i njihov raspored po prostorijama, komunikacijske puteve, sustave napajanja i ostalu infrastrukturu. Potrebno je razviti listu signala koji će se koristiti u SCADA sustavu koja se sastoji od signala koji se prikupljaju sa senzora te signala koji služe za nadzor i upravljanje. Nakon toga potrebno je razviti dokumente funkcionalnog dizajna sustava te narativ kontrole procesa koji detaljno opisuju načine upravljanja procesom i funkcionalnosti sustava unutar SCADA okruženja. ISA također navodi korištenje

ISA18.2 standarda koji predstavlja strukturiranu bazu podataka koja se koristi za upravljanje alarmima unutar SCADA sustava. Zatim je potrebno izraditi dokumentirani plan strategije testiranja i simuliranja sustava koji opisuje metodologiju, alate i resurse koji će se koristiti za provjeru, testiranje i simulaciju SCADA sustava prije njegove implementacije u stvarno okruženje. Razviti preliminarnu filozofiju rada i održavanja kako bi se definirala osnovna načela i strategije operacija i održavanja SCADA sustava u njegovoj početnoj fazi. Razviti detaljan dizajn mreže koji opisuje detaljnu arhitekturu i konfiguraciju mreže odnosno pruža sveobuhvatan pregled fizičke i logičke strukture mreže, uključujući specifikacije hardvera, topologiju mreže, protokole komunikacije i druge relevantne informacije. Potrebno je izraditi dokument koji opisuje načine integracije vanjskih paketa softvera ili komponenti s postojećim SCADA sustavom. Nakon ovih koraka moguće je razviti konačnu arhitekturu sustava koja opisuje strukturu, komponente, interakcije i odnose unutar sustava, kao i njegove vanjske interakcije s drugim sustavima ili korisnicima. Zatim se za detaljan pregled pojedinih dijelova SCADA sustava izrađuju dokumenti koji pružaju detaljan pregled: hardverskog dizajna te dizajna ulaza i izlaza, softverske specifikacije, dizajna pouzdanosti te fizičke i kibernetičke sigurnosti, te se izrađuje kompletan paket crteža i specifikacija. Na kraju ove faze vrši se pregled dizajna i kreće se u razvoj rasporeda i osiguranje resursa.

### 3.2.4. Razvoj sustava

Nakon razrade dizajna SCADA sustava prelazi se u fazu razvoja samog sustava. Razvoj sustava sastoji se od aktivnosti koje pripremaju sustav za implementaciju. ISA112 tako je objavljenom dijagramu životnog ciklusa SCADA sustava navela korake u razvoju SCADA sustava koje bi trebalo provesti kako bi se dobio funkcionalan, pouzdan i efikasan sustav. Ti koraci prikazani su na slici 3.6.

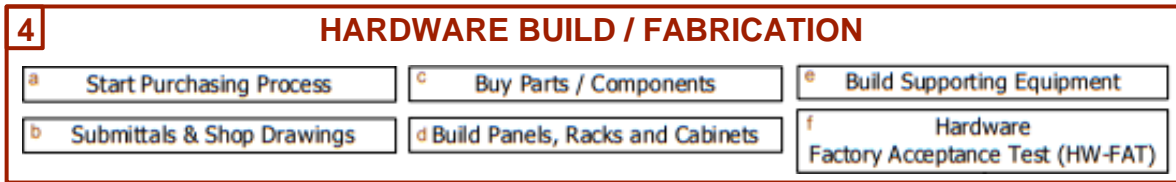


Slika 3.6. Koraci u razvoju SCADA sustava prema ISA112 dijagramu životnog ciklusa SCADA sustava

Kao prvi korak ISA112 navodi formalni proces u kojem relevantne strane potvrđuju i odobravaju funkcionalni dizajn SCADA sustava. Nakon potvrde funkcionalnog dizajna slijedi proces nabave ili provjere softverskih paketa i licenci potrebnih za implementaciju SCADA sustava. Zatim slijedi proces obuke i raspodjele članova razvojnog tima koji će biti odgovorni za razvoj, implementaciju i održavanje SCADA sustava. Obuka će osigurati da članovi tima budu upoznati sa tehničkim zahtjevima projekta, alatima, metodologijama i procesima potrebnim za uspješnu implementaciju sustava. Navodi se i postavljanje razvojnog okruženja koje omogućuje članovima tima da učinkovito razvijaju, testiraju i održavaju softver SCADA sustava. Zatim je potrebno razviti detaljne oznake podataka i modele tih podataka. Što uključuje identifikaciju svih podataka koje sustav treba prikupljati, obrađivati, upravljati i prikazivati, te njihovu organizaciju u logičku strukturu koja olakšava buduće upravljanje podacima unutar sustava. Nakon definiranja svih oznaka kreće se u razvoj softverskog programa koji će se koristiti u SCADA okruženju. Softver omogućuje nadzor, kontrolu, analizu i upravljanje procesima koji se odvijaju u nekom industrijskom okruženju. Nakon razvoja softvera slijedi proces modeliranja i simulacije matematičkih modela koji reproduciraju ponašanje stvarnih procesa. Što omogućuje analizu, testiranja i optimizaciju procesa ili sustava prije njihove implementacije u stvarno okruženje. Zatim se vrši konfiguracija poslužitelja, radnih stanica, mreže i sigurnosti, kako bi se osiguralo da sve unutar SCADA sustava bude povezano, spremno za rad, pouzdano, učinkovito i sigurno. Vršiti se pregled nacrtu HMI zaslona te konfiguracije koda kako bi se provjerile i evaluirale prve verzije čime bi se osiguralo da dizajn sučelja odgovara potrebama korisnika te da je funkcionalnost koda ispravna i u skladu s očekivanjima. Kako bi se potvrdilo da je softverski sustav ispravno razvijen i da zadovoljava sve specificirane zahtjeve i funkcionalnosti, prije isporuke klijentu ili implementacije u stvarno industrijsko okruženje provodi se tvornički test prihvatljivosti softvera. Također se provodi i test tvorničke integracije sustava kako bi se potvrdilo da su svi dijelovi SCADA sustava ispravno povezani i da zajedno funkcioniraju kao cjelina. Na kraju ove faze piše se detaljna procedura održavanja i upravljanja SCADA sustavom tijekom njegovog operativnog vijeka te se izrađuje priručnik za korisnike u kojem postoje detaljne informacije o korištenju sučelja i funkcionalnosti SCADA sustava.

### **3.2.5. Izgradnja / izrada hardvera**

Nakon faze razvoja SCADA sustava prelazi se u fazu izgradnje hardvera. Ova faza sastoji se od nabave, ugradnje i testiranja hardvera. Na slici 3.7. prikazani su koraci prema ISA112 standardu koje je potrebno provesti u ovoj fazi izgradnje SCADA sustava.

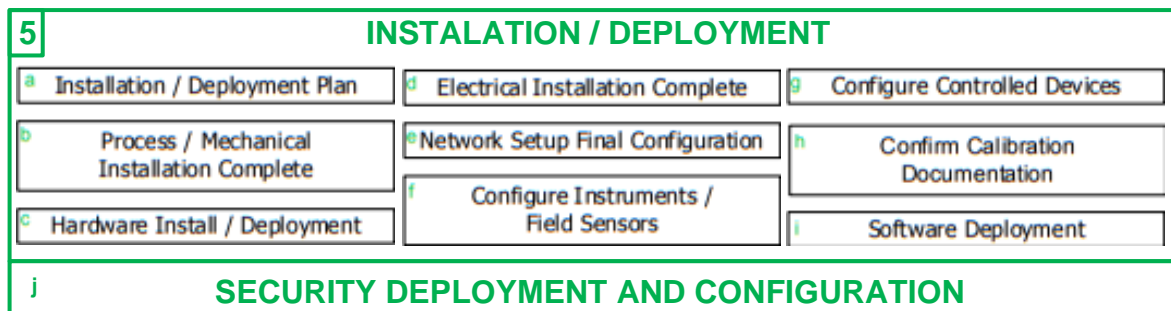


Slika 3.7. Koraci u fazi hardverske izgradnje SCADA sustava prema ISA112 dijagramu životnog ciklusa SCADA sustava

Prvi korak prema ISA112 je započeti postupak nabave potrebnih materijala, opreme i usluga za implementaciju i održavanje SCADA sustava. Ovaj proces uključuje identifikaciju potreba, planiranje nabave, identifikaciju dobavljača te pregovaranje o uvjetima i cijenama. Nakon toga slijedi izrada i dostavljanje radioničkih crteža koji sadrže detaljnu tehničku specifikaciju, crteže i druge relevantne informacije o proizvodima koji će se koristiti u projektu, a šalju se vlasnicima ili nadzornom tijelu zbog odobrenja prije početka radova. Nakon odobrenja započinje se nabava potrebnih dijelova i opreme koja će se koristiti u izgradnji i održavanju SCADA sustava. Zatim se započinje sa izgradnjom električnih panela i ormarića koji će sadržavati svu opremu potrebnu da bi se osigurala funkcionalnost i sigurnost SCADA sustava. Nakon izgradnje ormarića ugrađuje se i sva dodatna oprema potrebna za podršku SCADA sustava. Ova oprema može uključivati komponente kao što su različiti komunikacijski uređaji, instrumenti, kontroleri, pretvarači, sučelja i slično. Zadnji korak nakon izgradnje hardverskog sustava je provesti test tvorničke prihvatljivosti hardvera kako bi se provjerila ispravnost i funkcionalnost hardverskih komponenti prije isporuke hardvera na lokaciju implementacije.

### 3.2.6. Instalacija / implementacija

Nakon hardverske izgradnje prelazi se na fazu implementacije koja se sastoji od instalacije hardvera i softvera na lokaciju i povezivanja svih komponenti kako bi se osiguralo ispravno funkcioniranje sustava. ISA112 je za ovu fazu također razvila nekoliko koraka koje je potrebno pratiti za uspješnu i sigurnu implementaciju, a prikazani su na slici 3.8.

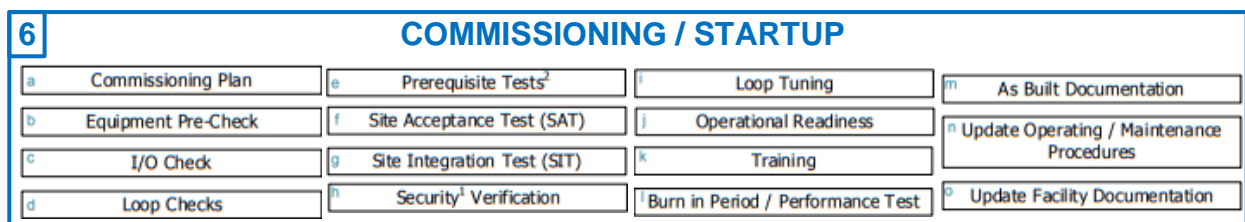


Slika 3.8. Koraci u fazi implementacije SCADA sustava prema ISA112 dijagramu životnog ciklusa SCADA sustava

Prvi korak je razviti plan implementacije koji detaljno opisuje postupak instalacije i implementacije hardvera i softvera SCADA sustava kako bi se osigurala uspješnost ovog postupka. Implementacija se započinje instalacijom procesnih i mehaničkih komponenti SCADA sustava kao što su senzori, ventili, pumpe, sustavi za filtriranje i ventilaciju, te bilo koje druge komponente koje su ključne za operaciju sustava. Zatim slijedi instalacija hardverskih komponenti kao što su kontroleri, grafička sučelja, različiti komunikacijski uređaji, sklopke i drugi uređaji. Nakon instalacije svih komponenti postavljaju se električne instalacije koje se sastoje od kabliranja, spajanja napajanja te povezivanja električne opreme, kako bi sustav bio spreman za testiranje i puštanje u pogon. Zatim se vrši konačna konfiguracija mrežnih postavki i postavljanje sigurnosnih mjera kako bi se osigurala stabilna i sigurna mrežna infrastruktura. Također konfiguriraju se i svi instrumenti, senzori i razni aktuatori, kako bi sustav mogao točno i precizno nadzirati proces i upravljati njime. Nakon konfiguracije svih instrumenata provodi se proces potvrde kojim se osigurava da su svi instrumenti i senzori pravilno kalibrirani prema specificiranim standardima i zahtjevima. Na kraju ove faze vrši se instalacija i konfiguracija softvera SCADA sustava kako bi on bio spreman za operativno korištenje, te se vrši konfiguracija sigurnosti samog sustava.

### 3.2.7. Puštanje u rad / pokretanje

Nakon implementacije SCADA sustava prelazi se na fazu puštanja u rad i provjere funkcionalnosti kako bi se SCADA sustav uspješno pustio u rad. Na slici 3.9. prikazani su koraci koji su navedeni u ISA112 standardu kako bi se SCADA sustav uspješno pustio u rad na siguran i pouzdan način.



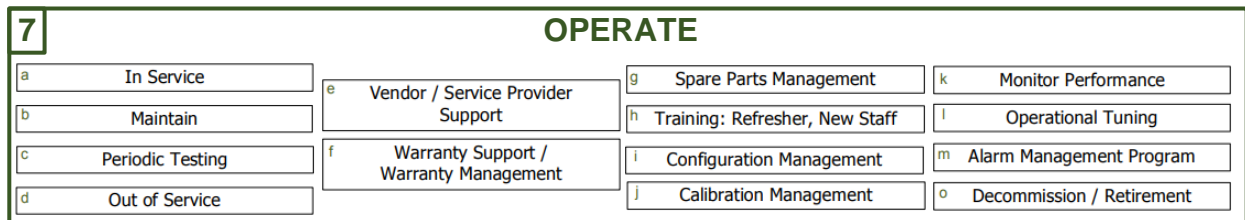
Slika 3.9. Koraci u fazi puštanja u rad SCADA sustava prema ISA112 dijagramu životnog ciklusa SCADA sustava

Prvi korak prema ISA112 je izraditi dokument koji detaljno opisuje postupak i planiranje aktivnosti za provođenje postupka puštanja u rad SCADA sustava. Ovaj dokument osigurava strukturiran i organiziran pristup ovom postupku te identificira korake i resurse potrebne za uspješno puštanje u rad sustava. Zatim se vrši preliminarni pregled opreme i uređaja kako bi se provjerila ispravnost i funkcionalnost opreme prije ikakvih testiranja. Vrši se vizualna provjera opreme, provjera povezanosti opreme, provjera napajanja te osnovne provjere funkcionalnosti.

Vrši se i provjera ulazno/izlaznih signala što osigurava ispravno funkcioniranje komunikacije između SCADA sustava i vanjskih uređaja kao što su senzori, aktuatori i drugi uređaji koji primaju ili šalju podatke SCADA sustavu. Zatim se vrši provjera i testiranje kontrolnih petlji. Kontrolne petlje su temeljni mehanizmi koji omogućuju automatsko upravljanje i regulaciju procesa na temelju povratnih informacija dobivenih iz senzora i drugih ulaznih uređaja. Ova provjera osigurava ispravnost i učinkovitost kontrolnih algoritama te provjerava brzinu, preciznost i stabilnost regulacije. Prvo se vrše testovi preduvjeta kako bi se provjerilo jesu li ispunjeni svi preduvjeti potrebni za uspješno puštanje u rad sustava. Ovi testovi sastoje se od provjere infrastrukture, instaliranog softvera i sigurnosti te testiranja hardvera. Nakon uspješno provedenih testova preduvjeta provode se test prihvatanja na lokaciji te test integracije na lokaciji kako bi se osiguralo da je sustav ispravno implementiran i da zadovoljava specifikacije i zahtjeve kupca, te da svi dijelovi međusobno komuniciraju na očekivan i ispravan način. Ovi testovi sastoje se od provjere funkcionalnosti, provjere performansi, obuke krajnjih korisnika, testiranja integracije i interoperabilnosti SCADA sustava sa ostalim relevantnim sustavima te završnog pregleda sustava. Zatim se potvrđuje sigurnost sustava gdje se provjerava autentifikacija i autorizacija, kontrola pristupa, enkripcija podataka, zaštita od napada, sigurnosna politika, sustav nadzora i prijave, te se identificiraju ranjivosti. Slijedi proces podešavanja kontrolnih petlji, prilagodbom parametara kontrolera, kako bi se postigla optimalna regulacija sustava. Zatim se provjerava spremnost sustava i organizacije za puštanje sustava u rad, provjerava se tehnička spremnost, spremnost osoblja, procesna spremnost, sigurnosna spremnost te dostupnost kontinuirane tehničke podrške. U slučaju da se SCADA sustav sastoji od nekog oblika strojnog učenja prelazi se u fazu učenja sustava, u kojoj se parametri SCADA sustava prilagođavaju stvarnom okruženju. Zatim slijedi razdoblje u kojem se elektronički uređaji ili sustavi testiraju pod opterećenjem kako bi se provjerila njihova pouzdanost, stabilnost i performanse pri radu prije trajnog puštanja u rad. Nakon što se uvjeri da sustav radi ispravno, pouzdano i sigurno prelazi se u izradu dokumentacije koja opisuje stvarno stanje i izgled sustava, a sastoji se od detaljnih slika i shema opreme, detaljne specifikacije opreme, informacija o konfiguraciji sustava, detaljnog pregleda svih promjena, testnih rezultata te svih certifikata i dozvola. Zatim se ažuriraju procedure upravljanja i održavanja sustava kako bi se krajnjem korisniku osigurale sve smjernice koje treba slijediti za pravilno funkcioniranje i održavanje sustava. Kao zadnji korak u ovoj fazi navodi se ažuriranje sve relevantne dokumentacije povezane s postrojenjem ili infrastrukturom u kojoj je implementiran SCADA sustav.

### 3.2.8. Rad SCADA sustava

Nakon puštanja u rad SCADA sustav prelazi u svoju operativnu fazu. Tijekom operativne faze također je potrebno pratiti određene korake koje je propisala ISA112 kako bi sustav bio što dugovječniji, te kako bi cijeli svoj vijek radio ispravno, pouzdano i sigurno. Aktivnosti koje je ISA112 navela za operativnu fazu SCADA sustava prikazani su na slici 3.10.



Slika 3.10. Aktivnosti u operativnom dijelu SCADA sustava prema ISA112 dijagramu životnog ciklusa SCADA sustava

Prvi korak u operativnoj fazi je naravno upotreba sustava za njegovu namijenjenu svrhu kako bi nadzirao i upravljao različitim procesima. Jedna od ključnih aktivnosti tijekom operativne faze je održavanje. Održavanje je kritična aktivnost koja obuhvaća redovite i korektivne mjere koje se poduzimaju kako bi se osigurala neprekidna funkcionalnost, pouzdanost i sigurnost SCADA sustava. Održavanja se sastoje od različitih aktivnosti kao što su preventivno i korektivno održavanje, kalibracija senzora i instrumenata, praćenje performansi i mnoge druge. Kako bi se otkrile moguće nepravilnosti sustava također se provode redoviti testovi i provjere kako bi se provjerila funkcionalnost i sigurnost sustava, njegova redundancija, komunikacijske mreže, regulatorna usklađenost i ostali relevantni dijelovi sustava. Tijekom operativne faze također se pojavljuju i razdoblja kada je sustav izvan funkcije zbog održavanja, nadgradnje ili zamjene. Ova razdoblja mogu biti planirana ili neplanirana u slučaju određenog kvara ili hitne situacije. Važnu ulogu igra i podrška koju pružaju vanjski dobavljači ili pružatelji usluga koji tijekom operativne faze pružaju tehničku podršku, softverska ažuriranja i zakrpe te održavanje i servis opreme. Osim same podrške dobavljači opreme obično pružaju i jamstvo za svoju opremu. Osim popravaka i zamjene tijekom jamstva dobavljači često pružaju i preventivno održavanje za svoju opremu kako bi se osiguralo da oprema ostane u optimalnom radnom stanju te da se smanji rizik od kvarova. Zbog toga vrlo je važno upravljati svim jamstvima, pratiti ih i evidentirati. Upravljanje rezervnim dijelovima također je jedna od aktivnosti tijekom operativne faze SCADA sustava. Dostupnost rezervnih dijelova pruža brz oporavak u slučaju kvara, zbog čega je bitno nabaviti rezervne dijelove na vrijeme, organizirati ih i pratiti kako bi uvijek bili dostupni. Navodi se i kontinuirana obuka postojećeg osoblja te uvođenje novih članova u operacije i održavanje SCADA sustava kako bi osoblje bilo upoznato s najnovijim procedurama, tehnologijama i najboljim praksama te



ispravno upravljalo i održavalo sustav. Tijekom cijele operativne faze potrebno je upravljati svim aspektima konfiguracije sustava kako bi se osigurala njegova konzistentnost, integritet i funkcionalnost tijekom njegovog životnog vijeka. To uključuje praćenje, kontrolu i dokumentiranje svih promjena koje se događaju u hardveru, softveru, mrežama i drugim komponentama SCADA sustava. Osim konfiguracije potrebno je upravljati i kalibracijom instrumenata što uključuje planiranje, izvršavanje, dokumentiranje i održavanje kalibracije instrumenata i drugih uređaja kako bi se osiguralo da očitavanja budu unutar specificiranih tolerancija. Zatim se navodi kontinuirano praćenje i analiza operativnih parametara i performansi sustava kako bi se osiguralo da sustav radi unutar optimalnih granica i prema očekivanjima. Također vrše se i kontinuirane prilagodbe i optimizacija postavki kako bi se ispravila neka odstupanja primijećena tijekom rada. Tijekom operativne faze također je vrlo važno voditi sustavno upravljanje alarmima unutar SCADA sustava, što se odnosi na identifikaciju i klasifikaciju alarma, praćenje i bilježenje istih, analizu alarma te optimizaciju sustava i trajno zapisivanje kritičnih alarma koji mogu pomoći u otkrivanju razloga kvara. Nakon što sustav dosegne kraj svog životnog vijeka zbog starosti, zbog zamjene boljim ili zbog nedostatka potrebe za istim prelazi se u fazu isključenja sustava. Sustav se isključuje planirano, uklanja se i sigurno eliminira sva oprema i komponente kako bi se osigurala sigurnost, zaštita okoliša i pravilno upravljanje resursima.

### **3.3. Izazovi u primjeni ISA112 standarda**

Osim što primjena ISA112 standarda pruža brojne prednosti kao što su poboljšana učinkovitost, sigurnost i usklađenost s industrijskim praksama, ona kod organizacija može dovesti i do niza prepreka koje mogu usporiti ili otežati uspješnu implementaciju standarda. U ovom potpoglavlju analiziraju se ključni izazovi koji proizlaze iz kompatibilnosti s postojećim sustavima, nedostatka stručnjaka, visokih troškova, otpornosti na promjene i regulatornih zahtjeva.

Jedan od najvažnijih izazova u implementaciji standarda ISA112 je kompatibilnost s postojećim sustavima. Mnoge organizacije već koriste starije sustave za industrijsku automatizaciju koji nisu osmišljeni s obzirom na zahtjeve koje postavlja ovaj standard. Ovi sustavi često koriste različite protokole, arhitekture i baze podataka koje možda nisu u skladu s novim standardom. Prilagodba postojećih sustava može zahtijevati značajna ulaganja u nadogradnju ili čak zamjenu cijelog sustava, što može biti financijski i tehnički zahtjevno.

Drugi značajan izazov je nedostatak stručnjaka s odgovarajućim znanjima za implementaciju standarda ISA112. Ovaj standard zahtjeva specifična znanja iz područja industrijske automatizacije, upravljanja bazama podataka i informacijske sigurnosti. Na tržištu rada, osobito u

manjim zemljama poput Hrvatske, može biti teško pronaći dovoljno stručnjaka s iskustvom u ovom području. Nedostatak kvalificiranog osoblja može usporiti proces implementacije jer organizacije moraju dodatno ulagati u obuku postojećih zaposlenika ili angažirati skupe vanjske konzultante.

Izazov predstavljaju i financijski aspekti implementacije ovog standarda. Implementacija može zahtijevati značajne investicije u novu tehnologiju, softver i hardver, kao i obuku zaposlenika. Organizacije koje već posluju s ograničenim budžetima teško mogu opravdati ova ulaganja, osobito ako ne vide neposredan povrat na investiciju. Mala i srednja poduzeća često su najviše pogođena visokim troškovima implementacije. Za njih, početna ulaganja mogu biti neizdrživa, što može rezultirati odustajanjem od implementacije ili kompromisima koji mogu ugroziti učinkovitost i sigurnost sustava.

Promjene u radnim procesima koje donosi implementacija novog standarda mogu izazvati otpor među zaposlenicima. Ovaj otpor može biti uzrokovan traham od nepoznatog, zabrinutošću zbog gubitka radnih mjesta ili promjenama u svakodnevnim operacijama. Otpornost na promjene može ozbiljno ugroziti uspjeh implementacije standarda. Psihološki aspekti ove otpornosti često su podcijenjeni. Na primjer, u tvrtkama koje uvode ISA112 standard, zaposlenici mogu osjećati nesigurnost zbog novih tehnologija ili promjena u načinu rada. Ovaj otpor može se manifestirati kroz smanjenu produktivnost, negativan stav prema novim sustavima ili čak sabotiranje procesa implementacije. Upravljanje promjenama je ključno za prevladavanje ovih izazova. Organizacije trebaju usvojiti strategije koje uključuju transparentnu komunikaciju, uključivanje zaposlenika u proces implementacije i pružanje odgovarajuće obuke kako bi se smanjio otpor i osigurala uspješna prilagodba na novi standard.

Regulatorni zahtjevi također mogu dodatno zakomplicirati implementaciju standarda. Različite industrije podliježu različitim zakonima i propisima, što može zahtijevati dodatne prilagodbe sustava kako bi se zadovoljili svi pravni okviri. Kako bi se osigurala usklađenost s regulatornim zahtjevima, organizacije trebaju provesti detaljnu analizu primjenjivih zakona i propisa, te osigurati da su svi aspekti implementacije standarda ISA112 usklađeni s relevantnim regulativama. Implementacija ovog standarda donosi brojne izazove, ali uz pravilno planiranje, upravljanje promjenama i osiguranjem resursa ovi izazovi mogu biti prevladani. Dugoročne koristi koje donosi implementacija ovog standarda čine ovaj proces vrijednim napora.

## 4. TROŠKOVI TIJEKOM ŽIVOTNOG CIKLUSA SCADA SUSTAVA

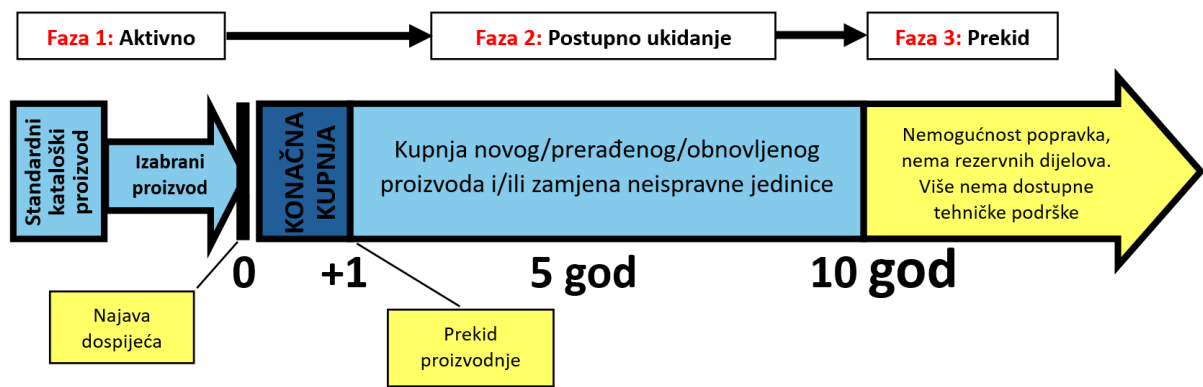
S obzirom da se sam životni ciklus SCADA sustava sastoji od nekoliko faza, njegovi troškovi se prikazuju kroz faze njegova života. Izrada SCADA sustava započinje se fazom planiranja i projektiranja. U toj fazi definiraju se osnovni zahtjevi sustava na osnovu specifičnih potreba industrije odnosno procesa koji će se nadzirati i upravljati. Ključno je analizirati postojeće operacije i izabrati odgovarajuće komponente i tehnologiju koja će se koristiti, također vrlo je bitno procijeniti rizik projekta te izraditi detaljne planove za implementaciju.

Nakon završene faze planiranja i projektiranja započinje faza implementacije koja obuhvaća postavljanje, povezivanje i softversku konfiguraciju opreme u jedinstven sustav. Postavljaju se senzori, aktuatori, centralne upravljačke jedinice, sva potrebna komunikacijska oprema i drugi uređaji koji su obuhvaćeni projektom. Oprema se fizički povezuje žicama ili se konfiguriraju komunikacijski kanali, te se na kraju u sustav instalira odgovarajući softver za nadzor i upravljanje procesima.

Prije puštanja sustava u rad vrši se faza testiranja u kojoj sustav podliježe rigoroznim provjerama kako bi se osigurao ispravan i siguran rad sustava. Ova faza uključuje funkcionalna testiranja kojima se provjerava ispravnost svih funkcija u sustavu, također se vrši provjera sigurnosti i otpornosti kako bi se utvrdilo da je sustav siguran i otporan na kvarove, te se provjeravaju performanse sustava kako bi se provjerilo odgovara li sustav svim zahtjevima.

Troškovi koji nastaju u ovim fazama poznati su kao kapitalni rashodi (CAPEX) i vrlo su značajni jer se vrlo visoki troškovi pokrivaju u malom vremenskom periodu. CAPEX obuhvaća razvojne troškove koji se sastoje od istraživanja i projektiranja te investicijske troškove koji se sastoje od nabave i izvođenja projekta.

Nakon uspješnog ispitivanja sustav se pušta u rad čime počinje operativna faza sustava koja obuhvaća svakodnevnu uporabu SCADA sustava za nadzor i upravljanje procesima. Tijekom operativne faze pojavljuju se i faze održavanja te nadogradnje sustava. Manje nadogradnje obično obuhvaćaju samo nadogradnju softvera, dok se u slučaju zastarjele opreme ili potrebe za boljom, sigurnijom ili efikasnijom opremom uz softver nadograđuje i hardver. Slika 4.1. prikazuje primjer životnog vijeka komponenti SCADA sustava.



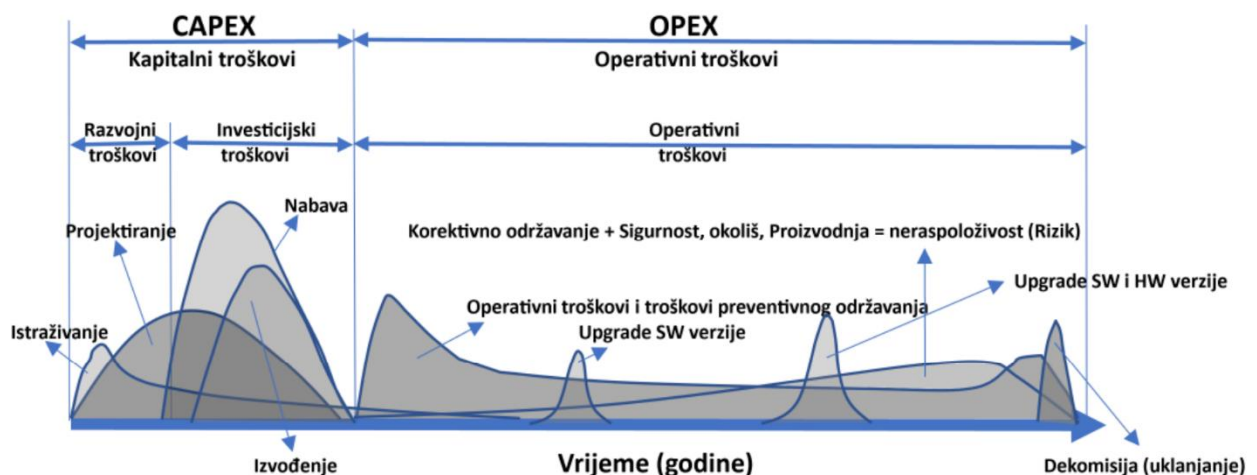
Slika 4.1. Životni vijek komponenti SCADA sustava [11]

Nakon provedenih nadogradnji ponovno je potrebno testirati sustav i obaviti sigurnosne potrebe kako bi se osiguralo da sustav radi na ispravan i siguran način, te da u bliskoj budućnosti neće doći do većih kvarova na sustavu.

Nakon što SCADA sustav dosegne kraj svog životnog ciklusa ili se donese odluka o zamjeni sustava modernijim i efikasnijim sustavom prelazi se u fazu zamjene ili dekomisije. Ova faza uključuje planiranje zamjene starog sustava novim uz svođenje vremena tijekom kojeg će sustav biti izvan funkcije na minimum te sigurno uklanjanje zastarjele opreme.

Troškovi u operativnoj fazi poznati su kao operativni rashodi (OPEX). OPEX se sastoji od troškova nadzora i upravljanja, energetske troškova sustava, troškova održavanja i nadogradnji, troškova obuke samog osoblja te troškova uklanjanja sustava.

Pri planiranju izrade SCADA sustava važno je uzeti sve nabrojane troškove u obzir kako bi se postigla što bolja učinkovitost sustava te izbjegli nenadani troškovi koji mogu dovesti do neisplativosti projekta. Troškovi koji se pojavljuju u jednom životnom ciklusu SCADA sustava ilustrativno su prikazani na slici 4.2.



Slika 4.2. Troškovi unutar životnog ciklusa SCADA sustava [11]

## 4.1. Isplativost projekta

Bilo da se razmišlja o implementaciji novog SCADA sustava ili o nadogradnji postojećeg potrebno je provjeriti isplativost projekta. Svaki projekt rezultira serijom novčanih tokova (engl. *Cash flows*) iz kojih se može utvrditi isplativost projekta. Novčani tok sastoji se od pozitivnih (prihodi) i negativnih (troškovi) protoka. Neto novčani tok računa se za neki vremenski period, obično godinu dana te prikazuje razliku između pozitivnih i negativnih novčanih tokova.

Troškovi projekta dijele se CAPEX koji predstavljaju početna ulaganja kapitala u projekt, ta na OPEX koji predstavlja troškove koji nastaju pri samom radu sustava. OPEX se još dijeli na fiksne i varijabilne troškove gdje fiksni troškovi ne ovise o količini proizvodnje, dok varijabilni ovise.

Prihodi se ostvaruju dodatnom zaradom koja se ostvaruje ili uštedama korištenjem manje količine resursa, manjim trošenjem opreme, manjim radnim satima i drugim uštedama koje sustav pruža.

Također koristi se ostvaruju izbjegavanjem naknada koje bi se inače morale plaćati.

Naravno, točni troškovi i prihodi nekog projekta nisu poznati, stoga ih je potrebno procijeniti. Prvi korak u procjeni troškova trebao bi početi sa idejom koliko kapitala je tvrtka spremna izdvojiti za projekt, kako bi se ugrubo znalo do koje granice troškovi mogu rasti. Sljedeći korak je identificirati sve kategorije koje je potrebno uzeti u obzir pri procjeni troškova. U slučaju modernizacije nekog jako zastarjelog sustava velike su šanse da će se mijenjati sva oprema te da ju svu treba uzeti u obzir od senzora do centralnih računala, te programiranje potpuno novog sustava, dok će se u slučaju proširenja nekog manjeg sustava uzeti u obzir samo nekoliko novih senzora i aktuatora te doraditi već postojeći program sustava. Prema [10] svaka kategorija pri procjeni troškova bi se trebala procijeniti približno jednakom preciznošću kako bi se dobila što bolja preciznost procjene ukupnih troškova.

Kod procjene troškova instrumentacije najbolja praksa je zatražiti ponudu za opremu ili pogledati troškove nedavno nabavljene opreme. Također i za procjenu troškova hardvera i softvera sustava savjetuje se traženje ponude od nekoliko dobavljača. Aplikacijski softver predstavlja vrlo tešku kategoriju za procjenu troškova gdje nije neuobičajeno da stvarni troškovi premaše procjenu i za više od 100%. Vrlo je teško procijeniti troškove kompleksnih i slojevitih sustava. [10] navodi kako je najčešća greška kod procjene troškova to što se troškovi računaju kao suma pojedinačnih dijelova softvera što je pogrešno jer je izrada pojedinačnih softvera obično trivijalna u odnosu na povezivanje svih tih softvera da rade zajedno kao cjelina. Ovdje je također potrebno imati na umu opremu koja se nabavlja, jer u slučaju da je sva oprema od istog proizvođača tada je komunikacija između opreme vrlo jednostavna, međutim kod opreme različitih proizvođača to nije tako, što obično dodatno komplicira stvar te povećava troškove. Troškovi instalacije sustava sastoje se od

troškova rada te troška materijala. Uglavnom su niži od troškova instrumentacije. Ključni faktor pri procjeni troškova instalacije sustava je vrijeme, jer se skraćivanjem vremena zamišljenog za instalaciju sustava znatno povećavaju troškovi rada. Troškove puštanja u rad također je potrebno procijeniti, oni se sastoje od kalibracija, provjere sustava, samog pokretanja te podešavanja. U slučaju da se koriste tehnologije s kojima inženjeri i/ili operateri nisu potpuno upoznati u procjenu troškova potrebno je uključiti i troškove njihove obuke. I na kraju treba uključiti procjenu operativnih troškova koji uključuju sve od troškova svakodnevnog rada sustava, preko održavanja, pa i zamjene opreme kojoj se procjenjuje kraći životni vijek od životnog vijeka SCADA sustava.

## 4.2. Stvarni primjer troškova tijekom životnog ciklusa SCADA sustava

Kako bi se osigurao realan uvid u praktične izazove vezane uz financijske aspekte implementacije i održavanja SCADA sustava, u ovom su potpoglavlju analizirani stvarni podaci koje je ustupila tvrtka ATO Inženjering iz Osijeka koja se bavi automatizacijom industrijskih postrojenja. Analizirani podaci obuhvaćaju troškove projekta koji je započeo 2019. godine, a sastoji se od kompletnog planiranja i izgradnje SCADA sustava, njegovog održavanja tijekom operativne faze, te uklanjanja sustava koje se očekuje 2038. godine.

Projekt je započeo istraživanjem koje je obuhvaćalo inicijalno istraživanje, procjenu potreba te izvedivosti SCADA sustava. Ova faza trajala je dvije godine (2019-2020), a tijekom nje su se obavljale ključne analize i planiranja kako bi se utvrdile potrebne komponente sustava. Troškovi u ovoj fazi iznosili su 5000 € godišnje, odnosno ukupno 10.000 €.

Druga faza je faza dizajna ili projektiranja koja je trajala u razdoblju od 2020.-2023. godine, a uključivala je izradu tehničkog projekta SCADA sustava uključujući hardver, softver, komunikacijske mreže te sigurnosne zahtjeve. Vršni troškovi ove faze pojavljuju se 2021. godine te se postupno smanjuju do kraja 2023. godine. Troškovi su prema godinama prikazani u tablici 4.1., a ukupno iznose 70.000 €.

*Tablica 4.1. Godišnji troškovi tijekom faze dizajna SCADA sustava*

<b>Godina</b>	<b>Troškovi</b>
2020.	10.000 €
2021.	30.000 €
2022.	20.000 €
2023.	10.000 €
<b>Ukupno:</b>	<b>70.000 €</b>

Faza nabave započinje 2022. godine, te obuhvaća nabavu hardverskih komponenti, softverskih licenci, senzora, PLC-a, mrežne i druge ključne opreme potrebne za izgradnju SCADA sustava. Faza nabave trajala je dvije godine, gdje su prve godine troškovi iznosili 200.000 €, dok su sljedeće godine iznosili 150.000 €. Ukupni troškovi ove faze su 350.000 € što ujedno ovu fazu čini najutjecajnijom fazom tijekom kapitalnih rashoda.

Nakon nabave slijedi izgradnja SCADA sustava koja se odvila u razdoblju od 2023.-2024. godine. Uključivala je instalaciju sustava, postavljanje infrastrukture, integraciju hardvera i softvera te testiranje funkcionalnosti SCADA sustava. U 2023. godini troškovi ove faze iznosili su 100.000 €, a u 2024. godini 50.000 €, što ukupno iznosi 150.000 € troškova u fazi izgradnje SCADA sustava.

U 2024. godini nakon izgradnje SCADA sustava sustav postaje potpuno operativan čime završavaju kapitalni rashodi te započinju operativni rashodi. U tablici 4.2. su prikazani kapitalni rashodi po fazama koji ukupno iznose 580.000 €.

*Tablica 4.2. Kapitalni rashodi SCADA sustava u razdoblju od 2019. do 2024.*

<b>Faze CAPEX-a</b>	<b>Troškovi</b>
Istraživanje	10.000 €
Dizajn	70.000 €
Nabava	350.000 €
Izgradnja	150.000 €
<b>Ukupno:</b>	<b>580.000 €</b>

Tijekom operativnog rada sustava pojavljuje se potreba za preventivnim održavanjem svih komponenti SCADA sustava kako bi se osigurala njegova dugoročna funkcionalnost. U samom početku nakon puštanja sustava u rad potrebno je osigurati nešto češće preventivne aktivnosti kako bi se osigurala stabilnost i dugotrajna pouzdanost sustava, što uključuje kalibraciju uređaja, ažuriranje softvera, obuku korisnika i druge aktivnosti zbog kojih su troškovi preventivnog održavanja u početku nešto viši. U ovom primjeru vršni troškovi očekuju se 2026. godine, te se nakon toga stabiliziraju na nešto niži iznos što je prikazano u tablici 4.3., ukupni troškovi se procjenjuju na 510.000 €.

Tablica 4.3. Troškovi preventivnog održavanja SCADA sustava po godinama

<b>Godina</b>	<b>Troškovi</b>
2025.	50.000 €
2026.	100.000 €
2027.-2038.	30.000 € godišnje
<b>Ukupno:</b>	<b>510.000 € (procijenjeno)</b>

Osim preventivnog održavanja potrebno je u obzir uzeti i korektivno održavanje koje se pojavljuje u slučaju popravka i zamjene neispravnih komponenti sustava, prilagodbe softvera ili hardvera uslijed kvara ili u slučaju promjene u operativnim zahtjevima. Prema [11] kvalitetno preventivno održavanje značajno smanjuje potrebu za korektivnim održavanjem, čime se optimiziraju ukupni troškovi održavanja sustava. Što potvrđuju i stvarni podaci iz analiziranog SCADA sustava, gdje su visoki troškovi preventivnog održavanja rezultirali izrazito niskim troškovima korektivnog održavanja. Troškovi korektivnog održavanja variraju između 5000 – 20.000 € godišnje, pa se procjenjuje da će ukupni troškovi korektivnog održavanja iznositi 170.000 €.

Uz održavanje tijekom životnog ciklusa SCADA sustava potrebno je voditi računa o osiguranju SCADA sustava od vanjskih prijetnji (kibernetička sigurnost) te o usklađenosti s regulativnim zahtjevima koji se odnose na zaštitu okoliša. Troškovi koji nastaju kako bi se osigurala sigurnost sustava i okoliša variraju između 10.000 – 40.000 € godišnje, te se ukupno procjenjuju na 320.000 €.

Također očekuje se i nadogradnja softvera sustava nakon 5-10 godina od puštanja u rad čiji troškovi se procjenjuju na 25.000 €. Ovi troškovi uključuju samu uslugu nadogradnje softvera, nabavu potrebnih dodatnih licenci i tehničku podršku.

U tablici 4.4. prikazani su operativni rashodi po fazama koji su ukupno procijenjeni na iznos od 1,025.000 €.

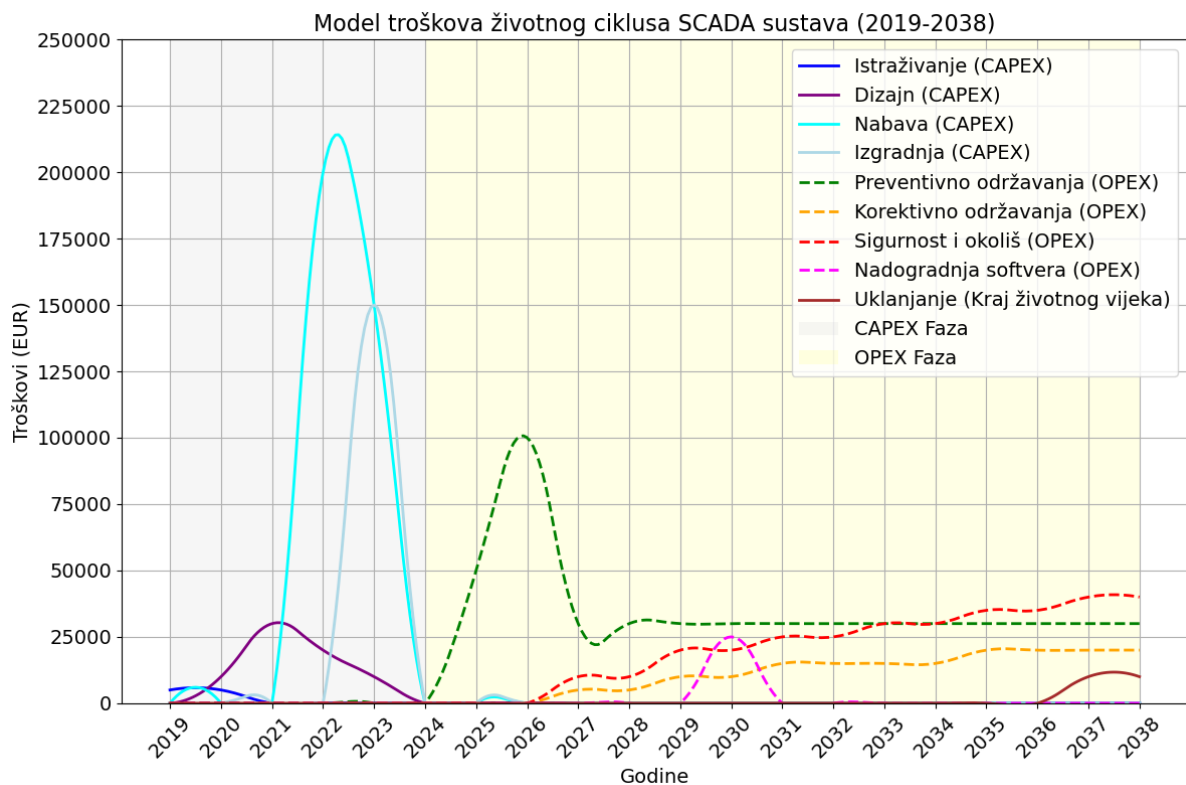
Tablica 4.4. Operativni rashodi SCADA sustava u razdoblju od 2024. do 2038.

<b>Faze OPEX-a</b>	<b>Troškovi</b>
Preventivno održavanje	510.000 €
Korektivno održavanje	170.000 €
Sigurnost i okoliš	320.000 €
Nadogradnja softvera	25.000 €
<b>Ukupno:</b>	<b>1,025.000 €</b>



Na kraju životnog vijeka SCADA sustava sustav se zamjenjuje novim ili se uklanja u potpunosti, što uključuje uklanjanje zastarjelih komponenti, sigurnu migraciju podataka i potencijalnu nadogradnju ili zamjenu sustava. Ovi troškovi se očekuju 2037. i 2038. godine te bi ukupno iznosili 20.000 €.

Na slici 4.3. prikazan je graf koji detaljno prikazuje troškove u razdoblju od 20 godina od početka projekta, s naglašenim velikim inicijalnim kapitalnim troškovima i operativnim troškovima koji se nastavljaju nakon što sustav postane operativan 2024. godine.



Slika 4.3. Primjer stvarnih troškova tijekom životnog ciklusa SCADA sustava.

Ovakav prikaz troškova omogućuje jasniji uvid u dugoročne financijske potrebe SCADA sustava, što je ključno za donošenje strateških odluka i optimizaciju budućih projekata. Rezultati ove analize ukazuju na važnost detaljnog planiranja i procjene troškova tijekom cijelog životnog ciklusa sustava, s posebnim naglaskom na upravljanje operativnim rashodima kako bi se osigurala dugoročna isplativost i efikasnost sustava.

## ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu detaljno je istražen i analiziran ISA 112 standard, s posebnim fokusom na njegovu važnost i primjenu u industrijskom okruženju. Kroz rad su objašnjeni ključni razlozi zašto je standardizacija, koju pruža ISA 112, neophodna za efikasno i sigurno funkcioniranje SCADA sustava. Analizirani su dijagrami standarda dostupni u trenutku pisanja rada, dijagram standardizirane arhitekture SCADA sustava, koji jasno ilustrira strukturirani model SCADA sustava. Također je objašnjen i dijagram životnog ciklusa SCADA sustava, koji daje sveobuhvatan pregled faza kroz koje sustav prolazi od početne ideje do konačnog puštanja u rad te održavanja. Poseban naglasak stavljen je na razradu troškova pojedinih faza životnog ciklusa SCADA sustava. Na temelju prikazanih stvarnih troškova, vidljivo je da je životni ciklus SCADA sustava izrazito kompleksan, kako u tehničkom, tako i u financijskom smislu. Analiza financijskih podataka tvrtke ATO inženjering omogućila je detaljan pregled svih faza, od inicijalnog istraživanja, dizajna i nabave, do operativnih troškova i održavanja tijekom životnog ciklusa sustava. Posebno se ističu visoki kapitalni rashodi tijekom faze dizajna, nabave i izgradnje, koji ukupno iznose 580.000 €. Faza nabave s troškom od 350.000 €, pokazala se kao najznačajniji izdatak, dok su operativni rashodi od 1,025.000 € jasno pokazali potrebu za kontinuiranim ulaganjima u održavanje, sigurnost i usklađenost sustava. Preventivno održavanje, koje igra ključnu ulogu za dugoročnu stabilnost sustava procijenjeno je na visokih 510.000 €, dok su troškovi korektivnog održavanja i sigurnosne mjere procijenjene na 490.000 €. Kroz ovaj primjer prikazana je važnost dobrog planiranja i upravljanja SCADA sustavom kroz sve njegove faze, što čini ISA112 standard ključnim u optimizaciji i strukturiranju SCADA sustava kroz definirane smjernice za arhitekturu, razvoj, održavanje i upravljanje.

Zaključno, ovaj diplomski rad naglašava kako primjena ISA 112 standarda značajno doprinosi boljoj integraciji, većoj sigurnosti te efikasnijem upravljanju SCADA sustavima. Dugoročno ovo vodi do smanjenih operativnih troškova i povećanju ukupne produktivnosti industrije. Ovaj standard pruža industrijskim sustavima da postanu otporniji, skalabilniji i lakši za održavanje, čime se dodatno osigurava njihova pouzdanost i dugoročna održivost.

## LITERATURA

- [1] N. Nadgauda and S. A. Muthukumaraswamy, "Design and Development of Industrial Automated System using PLC-SCADA," 2019 IEEE 10th GCC Conference & Exhibition (GCC), Kuwait, Kuwait, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/GCC45510.2019.1570521239.
- [2] W. Casper, S. Papa and S. Nair, "Security fusion implementation and optimization in SCADA systems," 2012 IEEE Conference on Technologies for Homeland Security (HST), Waltham, MA, USA, 2012, pp. 620-625, doi: 10.1109/THS.2012.6459920.
- [3] S. Phuyal, D. Bista, J. Izykowski, R. Bista, Design and Implementation of Cost Efficient SCADA System for Industrial Automation, (2020), International Journal of Engineering and Manufacturing. 10. 15-28. 10.5815/ijem.2020.02.02.
- [4] International Society of Automation (ISA). (Siječanj 2024) ISA112 - SCADA Systems, dostupno na: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa112> [30.6.2024]
- [5] S. A. Boyer, SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition, 3rd Edition, ISA, Research Triangle Park, 2004.
- [6] K. Wucherer, HMI, The Window to the Manufacturing and Process Industry, IFAC Proceedings Volumes, Volume 34, Issue 16, ISSN 1474-6670, str. (101-108), 2001.
- [7] V. R. Malik, K. Gobinath, S. Khadsare, A. Lakra and S. V. Akulwar, "Security Challenges in Industry 4.0 SCADA Systems – A Digital Forensic Prospective," 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Computer Science Technology (ICAICST), Yogyakarta, Indonesia, 2021, pp. 229-233, doi: 10.1109/ICAICST53116.2021.9497829.
- [8] T. J. Williams, The Purdue Enterprise Reference Architecture: A Technical Guide for CIM Planning and Implementation, Instrument Society of America, Research Triangle Park, 1992.
- [9] International Society of Automation [ISA]. (2010) ANSI/ISA-95.00.01-2010 (IEC 62264-1 Mod) - Enterprise-Control System Integration -- Part 1: Models and Terminology, dostupno na: [ANSI/ISA-95.00.01-2010 \(IEC 62264-1 Mod\) Enterprise-Control System Integration - Part 1: Models and Terminology](https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/ansi-isa-95-00-01-2010-iec-62264-1-mod-enterprise-control-system-integration-part-1-models-and-terminology) [8.8.2024]
- [10] P. G. Friedmann, Automation and Control Systems Economics, 2nd Edition, ISA, Research Triangle Park, 2006.

- [11] D. Dorić, Životni vijek sustava nadzora i upravljanja [Moodle], Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, 2023, dostupno na: [E-kolegij: Sustavi nadzora u industriji \(srce.hr\)](https://e-kolegij.sustavi.nadzora.u.industriji.srce.hr) [17.9.2024.]

## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu istražen je dostupan dio ISA 112 standarda. Opisani su razlozi zašto je standard ISA112 bitan i potreban u industrijskom svijetu. Detaljno je objašnjena arhitektura modela SCADA sustava koja je dana dijagramom u sklopu ISA112 standarda. Prema ISA112 dostupnom dijagramu životnog ciklusa SCADA sustava analizirani su ključni aspekti životnog ciklusa SCADA sustava uključujući faze dizajna, razvoja, izgradnje sustava, njegove nadogradnje i održavanja. Navedeni su izazovi u primjeni ovog standarda, ali i savjeti kako ih izbjeći. Razrađeni su troškovi pojedinih faza životnog ciklusa SCADA sustava, te je objašnjena isplativost cjelokupne implementacije jednog takvog sustava. Na kraju su na jednom stvarnom primjeru prikazani troškovi životnog ciklusa SCADA sustava. Zaključno, ISA112 standard pomoći će stvoriti vrlo sigurne, pouzdane i učinkovite sustave za nadzor i upravljanje.

Ključne riječi: ISA112, SCADA, troškovi, životni ciklus

## **ABSTRACT**

In this paper, the available part of the ISA 112 standard was investigated. The reasons why the ISA 112 standard is important and necessary in the industrial world are described. The architecture of the SCADA system model, which is given in a diagram as part of the ISA112 standard, is explained in detail. According to the ISA112 available diagram of the life cycle of the SCADA system, the key aspects of the life cycle of the SCADA system were analyzed, including the phases of design, development, fabrication of the system, its upgrading and maintenance. Challenges in the application of this standard are listed, as well as advice on how to avoid them. The costs of individual phases of the life cycle of the SCADA system were elaborated, and the profitability of the entire implementation of such a system was explained. At the end, the life cycle costs of the SCADA system are presented on a real example. In conclusion, the ISA112 standard will help create highly secure, reliable and efficient monitoring and management systems.

Keywords: costs, ISA112, life cycle, SCADA