



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika
Modul: Elektroenergetska učinkovitost in elektroinstalacije

IMPLEMENTACIJA SCADA SISTEMA ZA CELOVIT NADZOR NAD DELOVANJEM HIDROELEKTRARNE FUŽINE

Mentor: mag. Robert Rauch,

Kandidat: Matjaž Blažin

Lektorica: Lucija Hrženjak, prof. slov. in biol.

Ljubljana, december 2024

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Robertu Rauchu.

Hvala g. Boštjanu Kokolju iz podjetja Electrical, tehnično svetovanje, Boštjan Kokolj, s. p., za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Hvala podjetju Papirnica Vevče, d. o. o., lastniku hidroelektrarne.

Zahvaljujem se tudi lektorici Luciji Hrženjak, da je moje diplomsko delo jezikovno in slovnično pregledala.

IZJAVA

Študent Matjaž Blažin izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Roberta Raucha.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne: _____

Podpis: _____

POVZETEK

Hidroelektrarna Fužine je v fazi večje nadgradnje sistemov upravljanja. Po končani prenovi bo elektrarna nadgrajena po načelih četrte industrijske revolucije – povezana bo z internetom.

Glavni del naloge obsega sestavo SCADA-zaslonov, ki jih operater potrebuje za dnevno upravljanje agregatov in drugih povezanih naprav. Z novim sistemom in programsko opremo InteliSCADA Runtime je mogoče naprave nadzorovati in deloma tudi upravljati na daljavo.

KLJUČNE BESEDE

- Hidroelektrarna
- industrije 4.0
- SCADA

SUMMARY

The Fužine Hydroelectric Power Plant is undergoing a comprehensive upgrade of its management systems, aligning with the principles of the Fourth Industrial Revolution. Upon completion, the plant will be internet-connected, enabling advanced device monitoring and control. A key aspect of the project involves creating SCADA screens required by operators for effective daily management of generators and associated equipment. The implementation of the new system and IntelliSCADA Runtime software allows for remote monitoring and partial device control.

KEYWORDS

- Hydroelectric Power Plant
- Industry 4.0
- SCADA

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Namen in cilj naloge	3
1.2	Omejitev naloge	3
2	TEORETIČNE OSNOVE IN PREGLED LITERATURE	4
2.1	Lastnosti sodobnih sistemov SCADA	5
2.2	Strojna oprema sistema SCADA	5
2.3	Programska oprema sistema SCADA	7
2.4	Varnost sistemov SCADA	8
2.4.1	Grožnje sistemom SCADA	8
2.4.2	Napadi na industrijske nadzorne sisteme	8
3	SISTEM SCADA HIDROELEKTRARNE FUŽINE	9
3.1	Uporabljena strojna in programska oprema	9
3.1.1	Uporabljena strojna oprema	9
3.1.2	Uporabljena programska oprema	13
3.2	Vmesnik SCADA	15
3.2.1	InteliSCADA DESIGNER	15
3.2.2	Delovanje programa za izdelavo grafičnega vmesnika SCADA.....	18
3.3	Izdelava strani SCADA	22
3.3.1	Postopek za zagon in za ustavitev agregata	26
3.4	Uporabniški vmesnik InteliSCADA Runtime	27
4	SKLEP	29
5	ZAKLJUČEK	30
6	LITERATURA, VIRI	31

KAZALO SLIK

Slika 1: Grad Fužine in reka Ljubljanica pred izgradnjo elektrarne.....	1
Slika 2: Elektrarna danes.....	2
Slika 3: Tipični sistem SCADA.....	6
Slika 4: Krmilnik Intelisys 2000	9
Slika 5: Razširitveni modul IO 8/8.....	10
Slika 6: Modul Inteli AIN8	11
Slika 7: InteliVision 5.2, zaslon HMI z zadnje strani.....	12
Slika 8: InteliVision 5.2, zaslon HMI s sprednje strani.....	12
Slika 9: HTML-vmesnik	13
Slika 10: Trije zaslone mobilne aplikacije.....	14
Slika 11: Program za izdelavo strani SCADA	15
Slika 12: Začetna stran programa InteliSCADA DESIGNER.....	16
Slika 13: Okno za dodajanje naprav	17
Slika 14: Okno za izbiro tipa povezave in za vnos podatkov naprave	17
Slika 15: Urejevalnik grafike	18
Slika 16: Možnosti levega stolpca urejevalnika.....	19
Slika 17: Nastavljanje parametrov izbranega inštrumenta	19
Slika 18: Meni za izbiro merjene količine	20
Slika 19: Izbira nastavljivih parametrov SCADA	20
Slika 20: Vstavljanje aktivnega elementa sistema SCADA	21
Slika 21: Način vpisovanja vrednosti v aktivni element SCADA.....	21
Slika 22: Izdelan vmesnik SCADA za zaslon z resolucijo 2560 pik × 1440 pik.....	22
Slika 23: Glavno stikalo na regulacijski omari agregata	23
Slika 24: Predogled zaslona SCADA z aktivnimi podatki	24
Slika 25: SCADA-zaslon z aktivnimi podatki, pripravljen za uporabo	27
Slika 26: Okvir za prikaz trendov desno in seznam alarmov levo v SCADA Editor ..	28

KRATICE IN AKRONIMI

- SCADA: angl. supervisory control and data acquisition, nadzorni sistem za zbiranje podatkov in nadzor
- LAN: angl. local area network, lokalno omrežje
- HMI: angl. Human-Machine interface, vmesnik med človekom (upravljavcem) in strojem

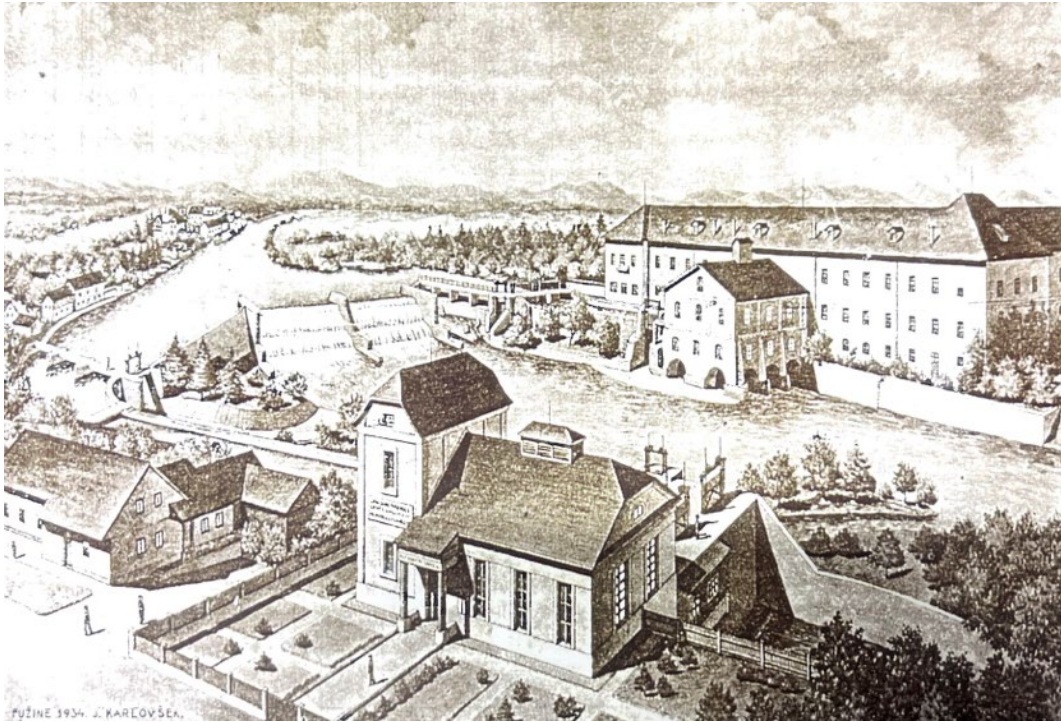
1 UVOD

Elektrarna Fužine je locirana na reki Ljubljanica pri Gradu Fužine, Rusjanov trg 7, Ljubljana. Že pred izgradnjo elektrarne so v fužinskem gradu izkoriščali padec reke in energijo reke izkoriščali za pogon mlinskih kamnov.



*Slika 1: Grad Fužine in reka Ljubljanica pred izgradnjo elektrarne
(Vir: Elektrarna Fužine, 1975)*

Hidroelektrarna je začela obratovati 14. aprila 1897 in je bila prva slovenska elektrarna na izmenični tok. Priklopljena je bila na prvi daljnovod dolžine 3,1 kilometra na razdalji iz Fužin do Vevč, na njem sta bila prvič v Sloveniji uporabljena trifazni izmenični tok in prenos električne energije napetosti 3 kV. Vsa proizvedena elektrika se še danes porabi za izdelavo papirja v Papirnici Vevče.



Slika 2: Elektrarna danes
(Vir: Elektrarna Fužine, 1934)

Elektrarna ima vgrajene tri agregate: dva na levem in enega na desnem bregu Ljubljanice. Je tipična rečna pretočna elektrarna, ki za jezom vzdržuje višino zgornje vode tako, da je razlika v padcu čim večja. Akumulacija za jezom je sicer majhna, prehodna in pride do izraza med upadanjem pretoka in pri nižjih pretokih reke. Objekt izkorišča predvsem naravno akumulacijo reke Ljubljanice, saj se reka napaja iz notranjske regije, kjer ležita presihajoče Cerčniško jezero in Planinsko polje. Ti akumulaciji se napolnita v spomladanskem in jesenskem deževnem obdobju. Reka se hkrati napaja tudi iz hudournikov iz Polhograjskih dolomitov z Gradaščico in Malim grabnom.

Ob visokih pretokih, nad $50 \text{ m}^3/\text{s}$, je treba znižati jezovni nivo tako, da presežek vode odteče mimo turbin. Maksimalni pričakovani pretok reke, ki ga prepuščajo jezovna naprava in dodatne zapornice, je $490 \text{ m}^3/\text{s}$.

V idealnih pogojih je višina padca 5,8 m. Za obratovanje z maksimalno močjo potrebuje skupaj z izgubami pretok okrog $50 \text{ m}^3/\text{s}$. Spada med male elektrarne. V idealnih pogojih je skupna nazivna moč 3025 kVA, realna oziroma koristna izhodna moč pa je trenutno $580 \text{ kW} + 600 \text{ kW} + 820 \text{ kW}$ oziroma 2 MW.

1.1 Namen in cilj naloge

Elektrarno so skozi čas večkrat obnovili in posodobili. Zadnja posodobitev hidroelektrarne Fužine pred 21 leti je na dveh od treh agregatov zajemala spremembo krmilnih sistemov z mehanske na elektronsko in računalniško regulacijo generatorjev in jezovnih naprav. Tretji agregat je bil nov, vgrajen leta 1987 skupaj s krmiljenjem z analognim računalniškim sistemom.

Zaradi okvar, slabe učinkovitosti, zastarelosti in nezdržljivosti sistemov se je lastnik odločil za prenovo regulacijskih sistemov vseh treh agregatov in jezovnih naprav tako, da bodo krmiljeni z enega mesta. Prenova bo potekala v več fazah.

Najprej bodo zamenjali krmilni sistemi za upravljanje vseh treh agregatov in nato še krmilni sistemi za upravljanje jezov. Prenova bo zajemala tudi povezavo vseh prenovljenih sistemov v sistem SCADA. Za doseganje največje možne kompatibilnosti bodo implementirali sistem krmilnikov in programske opreme SCADA istega proizvajalca.

Cilj naloge je po menjavi regulacijske opreme izdelati projekt sistema SCADA tako, da bodo vsi relevantni podatki vseh povezanih naprav jasno vidni na enem zaslonu. Cilj projekta je upravljanje naprav tako lokalno kot tudi na daljavo.

1.2 Omejitev naloge

Krmilniki in sistem SCADA izbranega proizvajalca so nov izdelek, razvit iz krmilnika, namenjenega za potrebe dizelskih agregatov. Ker še ni popolnoma razvit in optimiziran za hidroelektrarne, pričakujemo nekatere omejitve, ki jih bodo s popravki programske opreme postopoma odpravljali.

2 TEORETIČNE OSNOVE IN PREGLED LITERATURE

Nadzorni sistem za zbiranje podatkov in nadzor (angl. supervisory control and data acquisition, SCADA) je sistem naprav, ki vključuje računalnike, omrežno podatkovno komunikacijo in grafične uporabniške vmesnike za visoko raven nadzora nad stroji in procesi. Vključuje tudi senzorje in druge naprave, kot so programirljivi logični krmilniki, ki se povezujejo s procesno opremo ali s stroji.

Operaterski vmesniki, ki omogočajo spremljanje in izdajo procesnih ukazov, kot so spremembe nastavitvenih točk krmilnikov, se obravnavajo prek računalniškega sistema SCADA. Podrejene operacije, kot so logika za nadzor v realnem času ali izračuni krmilnikov, izvajajo omrežni moduli, povezani s senzorji in aktuatorji na terenu.

Koncept SCADA je bil razvit kot univerzalno sredstvo za daljinski dostop do različnih lokalnih krmilnih modulov, ki so lahko od različnih proizvajalcev in omogočajo dostop prek standardnih avtomatizacijskih protokolov. V praksi so veliki sistemi SCADA postali podobni razdeljenim nadzornim sistemom po funkciji, saj uporabljajo več načinov za povezavo z obrati. Lahko nadzorujejo velike procese, ki obsegajo več lokacij, in delujejo na velikih razdaljah. SCADA je eden najpogosteje uporabljenih vrst industrijskih nadzornih sistemov.

Lozar (2021) je ugotovil, da so najzgodnejši sistemi SCADA s pomočjo števcov in panelov procese nadzirali z daljinskim pritiskanjem na gumbe in na tak način upravljali tehnološke procese. Prisotnih je bil veliko delavcev, ki so nadzirali proizvodnjo. Z razvojem in oddaljevanjem lokacij proizvodnje in upravljanja so bili v pomoč releji in časovniki. Njihova vgradnja pomeni zmanjšanje potrebnega števila delavcev za nadzor. Konfiguracija in odpravljanje težav sta bila težavna, zato so se postopki avtomatizacije v industriji razvijali naprej.

Z razvojem interneta in računalniških sistemov v osemdesetih in devetdesetih letih prejšnjega stoletja se je začela implementacija računalniških sistemov v sisteme SCADA. Različna podjetja so izdelovala različne sisteme, kar pa je pomenilo, da sistemi med seboj niso bili združljivi. »Za te sisteme se je pojavil izraz 'Distributed Scada systems'« (Lozar, 2021, str. 3).

Na prelomu tisočletja so se začeli pojavljati odprti sistemi SCADA, ki so omogočali povezavo opreme različnih dobaviteljev. »Prenovljen in odprt sistem se je imenoval 'Networked SCADA system'« (Lozar, 2021, str. 3).

Hiter razvoj IT-tehnologije, standardizacija protokolov, uporaba podatkovnih baz SQL in uporaba interneta danes omogočajo dostop do informacij v realnem času na kateri

koli točki na svetu. Uporaba podatkovnih baz pa omogoča tudi shranjevanje zgodovinskih podatkov na podlagi analiz teh zapisov ročno ali samodejno optimizacijo proizvodnih procesov.

Lozar (2021) je ugotovil, da sistemi za beleženje zgodovine obstajajo že zelo dolgo. Najprej so temeljili na valjih, po katerih so tekli papirnati trakovi, nanje so se zapisovali pomembni podatki. V elektrarni Fužine so imeli tak sistem za sledenje vodostaju že od šestdesetih let prejšnjega stoletja, zapis proizvodnje pa so na trakove beležili še konec osemdesetih let.

2.1 Lastnosti sodobnih sistemov SCADA

Ilijevka (2023) je ugotovila, da sistemi SCADA lahko podpirajo tudi posebne funkcije, v večini pa se uporabljajo za:

- zajem podatkov: »temelji na sistemu odjemalec–strežnik in industrijskih protokolih,« (Ilijevka, 2023, str. 21), odjemalcem omogoča dostop do podatkov, ki se nahajajo v oddaljenih terminalnih enotah ali programirljivih logičnih krmilnikih;
- nadzor in daljinsko vodenje: to je glavni namen sistemov SCADA. Računalnik z namensko programsko opremo zbira podatke povezanih naprav, jih obdeluje in procesira, nato pa pošilja navodila povezanim napravam in aktuatorjem ter tako optimizira delovanje procesov;
- podatke v realnem času in zgodovinske podatke: gre za tiste podatke, na podlagi katerih se izvajata analiza in primerjava glede na pretekle trende;
- beleženje dogodkov: del sistema SCADA lahko beleži podatke in dogodke industrijskega procesa. Beleži lahko tudi alarme in tudi nastavitve ter odzive, ki jih vnaša operater procesa. Na podlagi zgodovinskih podatkov se v grafu izrišejo tudi trendi proizvodnje;
- alarme: na pomembne dogodke, ki odstopajo od normalnega delovanja procesa, ki ga nadzorujemo s sistemi SCADA, opozarjajo alarmi. Lahko so nastavljeni tako, da ob določeni vrsti napake sistem SCADA sam ustavi proces, lahko pa se prikažejo le kot opozorilo, ki operaterju olajša delo;
- poročila: beleženje zgodovine omogoča tudi avtomatsko sestavo in pošiljanje poročil o učinkovitosti sistema in proizvodnje.

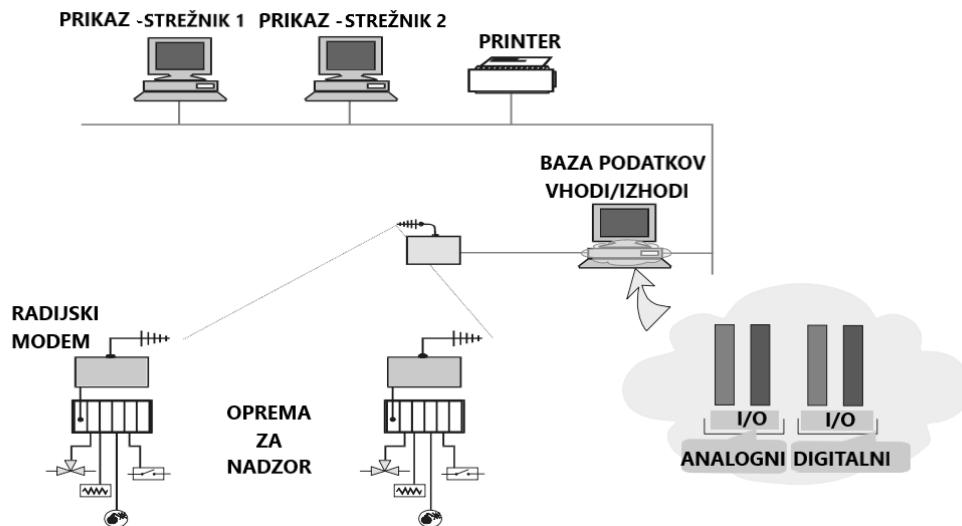
2.2 Strojna oprema sistema SCADA

»SCADA sistem je sestavljen iz številnih terminalnih enot, ki zbirajo podatke in jih pošiljajo nazaj na glavno postajo preko komunikacijskega sistema. Glavna postaja prikaže zbrane podatke in operaterju omogoča izvajanje nadzornih nalog na daljavo. Natančni in pravočasni podatki omogočajo optimizacijo procesa. Ostale prednosti so

učinkovitejše, zanesljivejše in predvsem varnejše izvajanje operacij. Posledično je uporaba teh sistemov cenejša v primerjavi z ne-avtomatiziranimi sistemi» (Lozar, 2021, str. 7).

Sestavni deli strojne opreme tipičnega sistema SCADA so:

- tipala, ki zbirajo podatke o procesu (termometri, položaji loput, merilniki pretokov idr.),
- komunikacijski sistemi (radijski valovi, žična omrežja, optična omrežja, lahko tudi satelitske povezave),
- procesorji, ki obdelujejo prejete podatke in upravljajo sisteme,
- serverji, ki beležijo zgodovino procesov,
- prikazovalniki in enote za nastavljanje sistemov (programska oprema, ki se prikazuje na zaslonu operaterja),
- aktuatorji, ki spreminjajo nastavitve in tako upravljajo industrijske procese.



Slika 3: Tipični sistem SCADA
(Vir: Lozar, 2021, str. 8)

2.3 Programska oprema sistema SCADA

Podjetja običajno za svojo strojno opremo proizvajajo tudi prilagojeno programsko opremo, kljub temu da so običajno sistemi izdelani tako, da je možna povezava tudi s strojno opremo drugih proizvajalcev.

Z uporabo programske opreme proizvajalca strojne opreme običajno dobimo izdelek, ki ga je mogoče v kratkem času prilagoditi in uporabiti v industrijskem procesu. Preprosto, poceni in hitro je odpravljanje težav, po drugi strani pa pomeni odvisnost od enega poslovnega partnerja. Tak sistem lahko poimenujemo zaprti sistem.

Po drugi strani odprti sistemi omogočajo povezavo naprav različnih proizvajalcev. Ti sistemi so običajno bolj prilagodljivi, vendar je v primeru težav te težje odpraviti. Pojavijo se lahko delne nezdržljivosti posameznih sistemov in zamudno iskanje vzrokov za napačno delovanje sistemov. Citect in WonderWare sta primera odprtega sistema SCADA.

»Programska oprema SCADA distribuira, obdeluje in prikazuje podatke. Na ta način pomaga operaterjem analizirati podatke in sprejemati pomembne odločitve. V primeru, da pride v procesu do več napak, operater zaustavi proces in preko vmesnika HMI pregleda podatke, da ugotovi vzrok težave. Ugotovi lahko, katera naprava je v okvari, odpravi napake in tako prepreči nadaljnje napake v procesu« (Lozar, 2021, str. 8).

Glavni nameni programske opreme SCADA:

- nazorno prikazovanje trenutnega stanja industrijskega procesa,
- uporabniški vmesnik za vnašanje nastavitvev procesa,
- prikazovanje alarmov in trendov,
- avtomatska izdelava baze podatkov zgodovine in dostop do teh podatkov,
- izdelava avtomatskih poročil.

Primeri odprte programske opreme SCADA so:

- mySCADA,
- PROMOTIC Visualization software,
- IGGS,
- SIELCO sistemi,
- FreeSCADA,
- ARGOS,
- Mango automation,
- IntegraXor.

2.4 Varnost sistemov SCADA

V sodobnem času je vedno bolj pomembna varnost sistemov. Izpostavljeni so sistemi, povezani z internetom, in tudi tisti, ki z internetom niso povezani. Kraja poslovnih skrivnosti in podatkov ter tudi različne metode z izsiljevanjem lahko naredijo veliko škodo v proizvodnji in tudi zmanjšajo konkurenčno prednost, kar se na koncu izrazi kot finančna škoda.

2.4.1 Grožnje sistemom SCADA

»ISO standard (ISO27000 2014) za informacijsko-komunikacijsko tehnologijo definira grožnjo kot neželeni incident, ki lahko povzroči škodo sistemu ali organizaciji. Prejšnji (ISO22399 2007) standard, ki izhaja s področja pripravljenosti na incidente in upravljanja neprekinjenosti delovanja, grožnjo opredeli kot potencialni vzrok neželenega incidenta, ki lahko povzroči škodo posameznikom, sistemu ali organizaciji, okolju ali skupnosti« (Lozar, 2021, str. 11).

2.4.2 Napadi na industrijske nadzorne sisteme

Sistemi SCADA so del kritične infrastrukture, ne glede na to, ali so javni ali zasebni. Pomembno je, da jih zaščitimo pred grožnjami in napadi.

V preteklosti je veljalo, da uporaba zaprtih omrežij in nestandardnih protokolov pomeni dovolj visoko stopnjo zaščite pred vdori. »Načrtovalci so se zanašali, da napadalec ne bo prepoznal notranje strukture in delovanja sistema (varnost zaradi zakritosti)« (Lozar, 2021, str. 11). Takšna oblika zaščite je veljala za primerno do pojava programske opreme Stuxnet (tako imenovan vdor »črva«). Izkazalo se je, da niti nepovezanost z internetom ne pomeni dovolj visoke stopnje varnosti, saj lahko napadalci vdrejo v sistem tudi od znotraj, sistem proučijo in nato izvedejo napad.

3 SISTEM SCADA HIDROELEKTRARNE FUŽINE

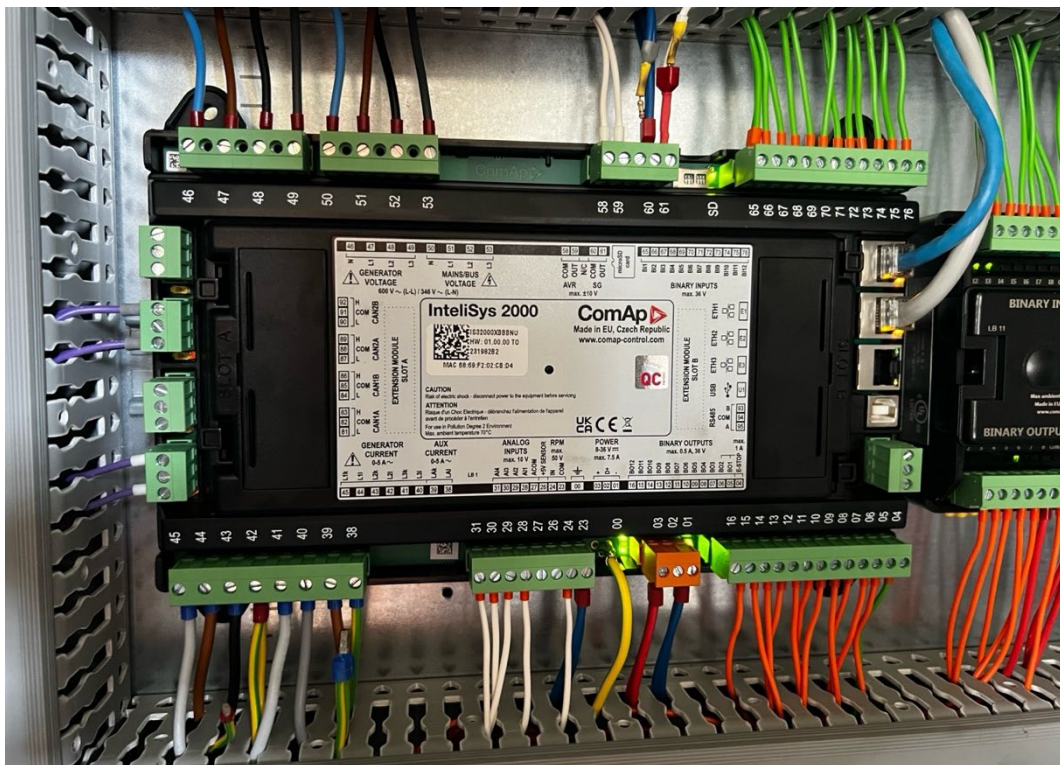
Opisu uporabljene strojne in programske opreme v nadaljevanju naloge sledi opis sestave zaslonskega vmesnika SCADA za prenovljene agregate in povezavo z glavnimi stikali elektrarne.

3.1 Uporabljena strojna in programska oprema

Sistem SCADA, ki ga je lastnik izbral za upravljanje hidroelektrarne Fužine, ni zaprti sistem. Nanj je mogoče priklopiti tudi naprave drugih proizvajalcev. Kljub temu se je naročnik odločil, da bo pri prenovi opreme sledil enemu proizvajalcu. To po eni strani pomeni dobro podporo v primeru nepravilnega delovanja in pomoč pri reševanju težav, po drugi strani pa odvisnost od proizvajalca in njegove trenutne poslovne politike.

3.1.1 Uporabljena strojna oprema

Za krmiljenje vsakega od agregatov je bil vgrajen v krmilno omaro krmilnik InteliSys 2000 podjetja ComAp (slika 4).



Slika 4: Krmilnik InteliSys 2000
(Lastni vir)

Podjetje ComAp je razvilo krmilnik za uporabo z napravami za proizvodnjo električne energije s sinhronskimi ali asinhronskimi generatorji, vključno s plinskimi generatorji in kogeneracijskimi sistemi za proizvodnjo toplote in elektrike. Zagotavlja učinkovito delovanje programirljivih logičnih krmilnikov (PLC), modularno razširljivost in prilagodljivost nadzornih algoritmov. V našem primeru je bilo treba uporabiti dva razširitvena modula Intel IO8/8, ki uporabniku ponujata dodatne binarne vhode (slika 5). Že sam krmilnik ima tudi TPC/IP-vhod, ki omogoča povezavo v sistem SCADA brez dodatnih modulov.



Slika 5: Razširitveni modul IO 8/8
(Lastni vir)

Uporabili smo tudi dva modula Intel AIN8, ki uporabniku omogočata razširitev števila analognih vhodov za senzorje in dodajanje vhodov za impulze RPM, ki jih je mogoče priključiti na krmilnik (slika 6).



Slika 6: Modul Intel AIN8
(Lastni vir)

Krmilnik z razširitvami omogoča zajem vseh potrebnih podatkov agregata in krmiljenje vseh potrebnih parametrov za učinkovito delovanje. Vsak sistem potrebuje tudi vmesnik med človekom (upravljalcem) in strojem (angl. Human-Machine interface, HMI), to je zaslon. Uporabili smo napravo Intel Vision 5.2, različico, ki je prilagojena za nadzor delovanja sistemov za proizvodnjo električne energije. S kontrolerjem IntelSys 2000 je povezan po protokolu TCP/IP (slika 7 in slika 8).



Slika 7: IntelliVision 5.2, zaslon HMI z zadnje strani
(Lastni vir)

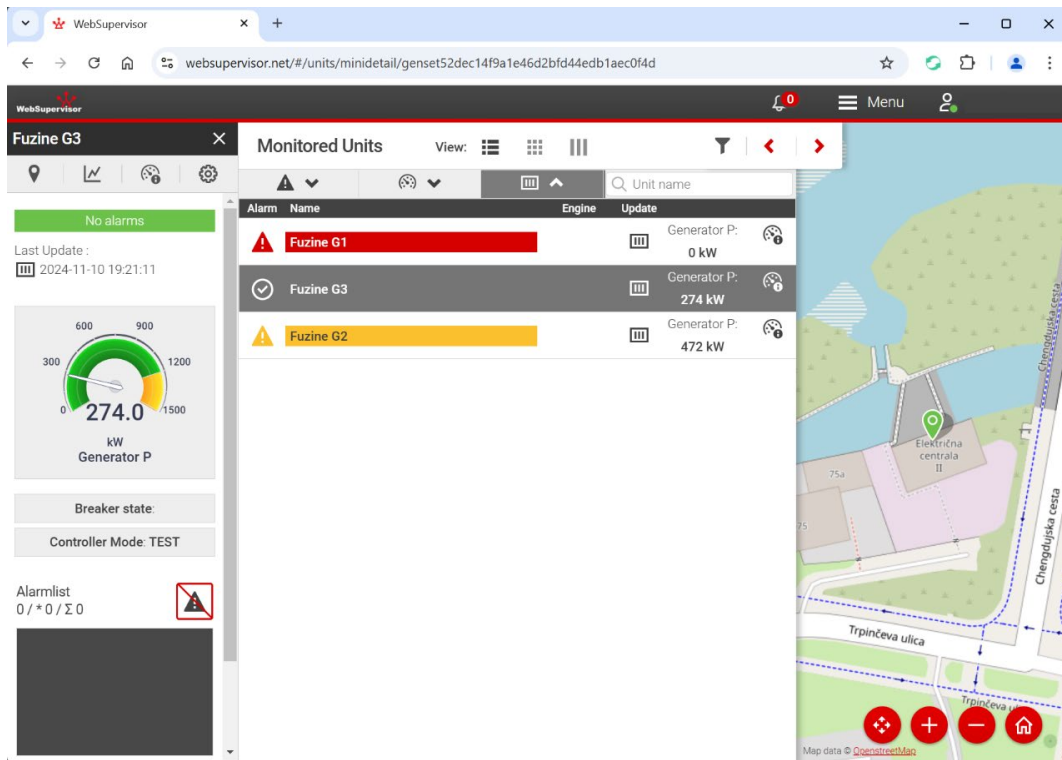


Slika 8: IntelliVision 5.2, zaslon HMI s sprednje strani
(Lastni vir)

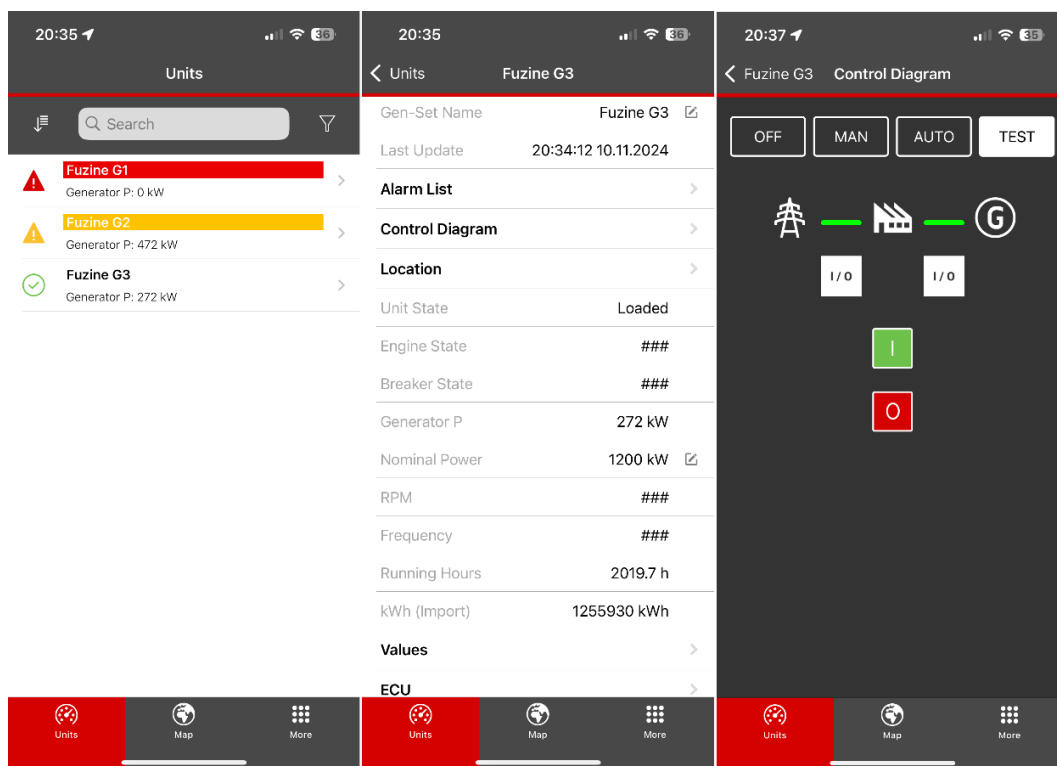
3.1.2 Uporabljeni programska oprema

Podjetje ComAp ima za upravljanje sistemov razvite tri rešitve, ki temeljijo na sistemu SCADA:

1. spletno aplikacijo, dostopno preko HTML-vmesnika, dostopno na naslovu websupervisor.net (slika 9),
2. mobilno aplikacijo za naprave z operacijskima sistemoma Android in Apple (slika 10),
3. program InteliSCADA, ki ga sestavimo po meri in nato z njim operater nadzoruje in vodi obratovanje naprav (slika 11).

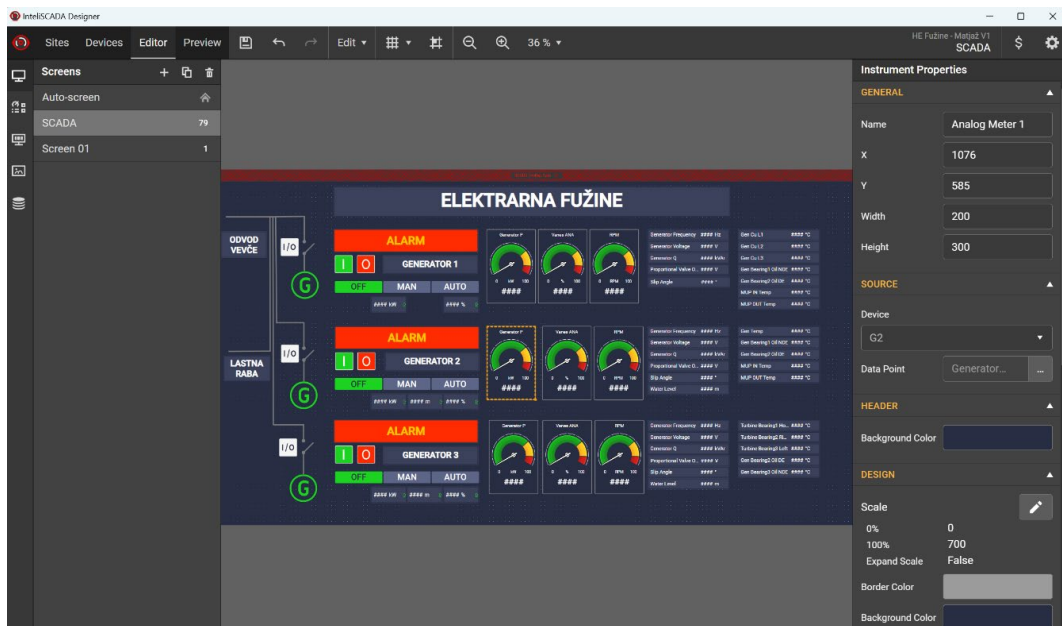


Slika 9: HTML-vmesnik
(Lastni vir)



Slika 10: Trije zasloni mobilne aplikacije
(Lastni vir)

Z mobilno aplikacijo (slika 10) nadziramo trenutno proizvodnjo, na podstrani vsakega agregata nekatere podrobnosti, možni sta tudi ustavitev ali zagon naprave. Ker nekateri podatki v aplikaciji za upravljanje elektrarne na daljavo manjkajo, nekaterih pa je preveč in ker mobilna aplikacija ni prilagodljiva, bomo s programsko opremo InteliSCADA DESIGNER izdelali prikaz trenutnega delovanja in upravljanja celotnega sistema z relevantnimi podatki.



Slika 11: Program za izdelavo strani SCADA
(Lastni vir)

Cilj je, da bi bili vsi podatki kolikor se da pregledni. Ker sta izgradnja in obnova celotnega kontrolnega in regulacijskega sistema potekali v več fazah in skozi daljše obdobje, v diplomskem delu prikažemo izgradnjo sistema SCADA v delu, zajemajoč naprave elektrarne, ki jih je že mogoče upravljati s sistemom: delovanje in upravljanje agregatov 1, 2 in 3 ter povezavo z glavnimi stikali za povezavo na 6-kV električno omrežje. Komunikacija sistema SCADA neposredno z glavnimi stikali sicer ni predvidena, so pa na voljo informacije o položaju stikala iz krmilnika Intelisys 2000.

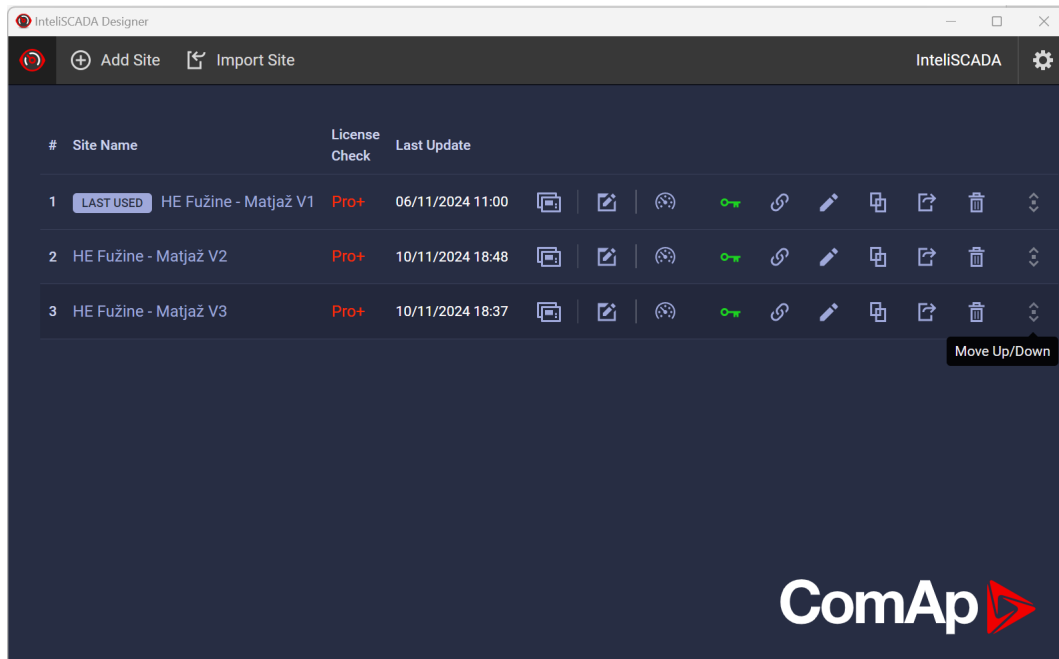
3.2 Vmesnik SCADA

Za sestavo zaslona SCADA po meri potrebujemo dva programa. Inteliscada DESIGNER uporabimo, da pripravimo postavitev posameznih podatkov, gumbov in nastavitev na zaslon. Inteliscada RUNTIME je program, v katerega uvozimo izdelani zaslon. Z njim operater upravlja in nadzira proizvodni proces.

3.2.1 Inteliscada DESIGNER

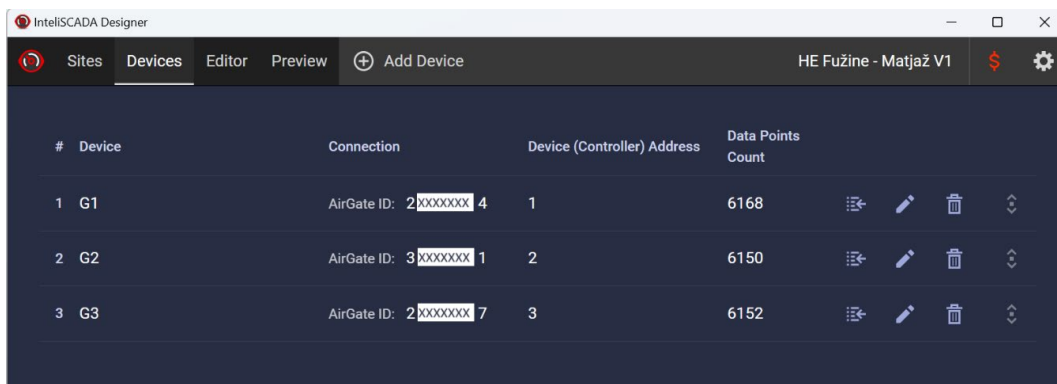
Osnovna stran programa omogoča izdelavo popolnoma novega ali uvoz že izdelanega projekta (slika 12). Imenu, vrsti licence in datumu zadnje spremembe sledijo možnosti, da projektu dodamo naprave (slika 13). Sledijo gumbi za urejanje pogleda, predogled, možnost zaklepa posameznega projekta. S klikom na piktogram za spletno povezavo dobimo povezavo za uvoz projekta v program Inteliscada RUNTIME. Pod ikono svinčnika lahko posameznemu projektu spremenimo ime, vrsto

licence in nekatere druge podrobnosti. Sledijo še ikone za kopiranje, izvoz projekta in brisanje projekta ter ikona, ki omogoča razvrščanje projektov.



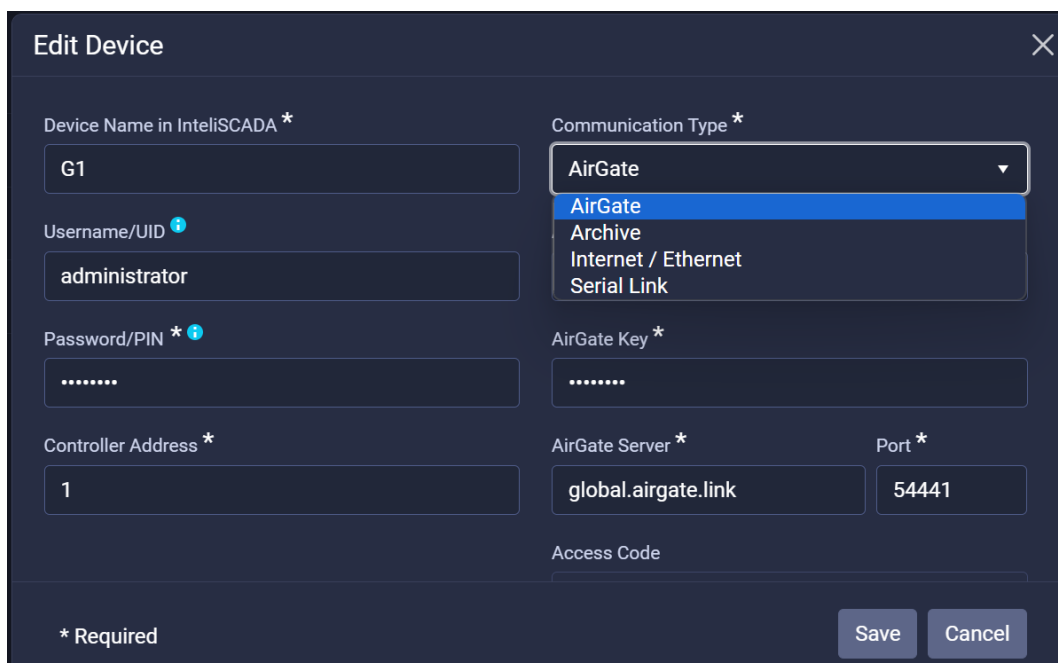
Slika 12: Začetna stran programa IntelliSCADA DESIGNER
(Lastni vir)

S klikom na gumb »Add Device« dodamo naprave. V našem primeru so to trije agregati, označeni z G1, G2 in G3. Pri dodajanju naprave izberemo tip povezave. Če je naprava povezana z internetom, lahko uporabimo način »Airgate« ali »Internet«. V primeru, da naprave niso povezane na internet, lahko povežemo naprave v načinu lokalne mreže ali prek serijskega porta (slika 14). V našem primeru smo uporabili način Airgate. To je protokol, ki temelji na oblčnih storitvah, ki jih proizvajalec najema pri ponudniku Microsoft. To je danes dokaj pogost način, saj tako zagotovimo varnost in zanesljivost, hkrati pa ponudniku ni treba investirati v serverje in njihovo vzdrževanje. Strošek najema oblčnih storitev proizvajalec prevali na uporabnike v obliki periodičnega mesečnega ali letnega zaračunavanja uporabe oblčnih storitev.



#	Device	Connection	Device (Controller) Address	Data Points Count
1	G1	AirGate ID: 2XXXXXXXXX 4	1	6168
2	G2	AirGate ID: 3XXXXXXXXX 1	2	6150
3	G3	AirGate ID: 2XXXXXXXXX 7	3	6152

Slika 13: Okno za dodajanje naprav
(Lastni vir)



Edit Device

Device Name in IntelISCAD *
G1

Username/UID ⓘ
administrator

Password/PIN * ⓘ
.....

Communication Type *
AirGate
Archive
Internet / Ethernet
Serial Link

AirGate Key *
.....

Controller Address *
1

AirGate Server *
global.airgate.link

Port *
54441

Access Code

* Required

Save Cancel

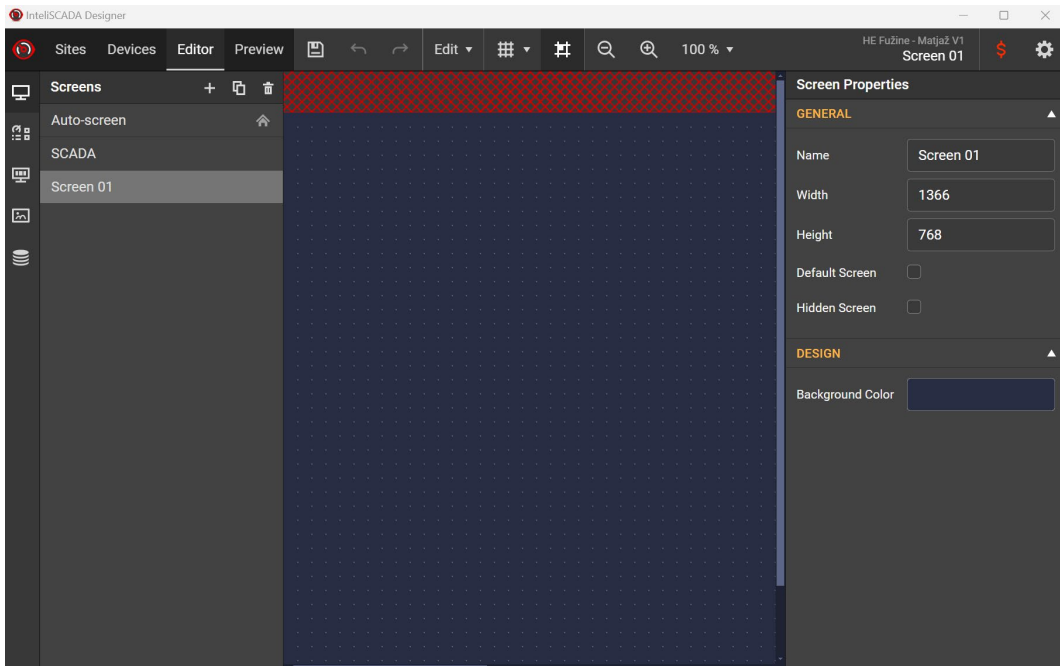
Slika 14: Okno za izbiro tipa povezave in za vnos podatkov naprave
(Lastni vir)

Za vzpostavitev povezav AirGate potrebujemo uporabniško ime in geslo, ki ga nastavi administrator oziroma proizvajalec opreme. Vsak krmilnik IntelliSys 2000 ima določen naslov Airgate in ključ AirGate. Nastavimo še imena naprav in naslove kontrolerjev. Drugi podatki so že izpolnjeni. Po potrditvi podatkov je naprava povezana v program.

Po potrditvi podatkov sistem poišče napravo in uvozi njene podatkovne točke. Število teh in tudi uspešnost in pravilnost prej opisanih nastavitvev so razvidni v stolpcu »Data points count« (slika 13).

3.2.2 Delovanje programa za izdelavo grafičnega vmesnika SCADA

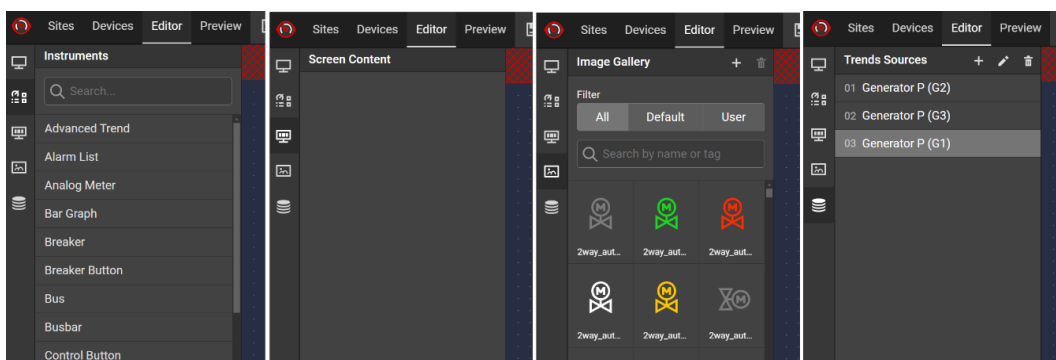
S klikom na gumb »Editor« odpremo urejevalnik (slika 15). V desnem stolpcu zaslon poimenujemo in nastavimo ločljivost zaslona, ki bo namenjen upravljanju s sistemom. Srednje polje je prazen zaslon, v katerega bomo postavili izbrane elemente.



Slika 15: Urejevalnik grafike
(Lastni vir)

V levem stolpcu je polje (slika 15), ki prikazuje seznam zaslonov, ki jih bomo razporedili na zaslone operaterja. Stolpec se spreminja glede na potrjeno ikono skrajno levo. Na izbiro so z vrha navzdol (slika 16):

- baza instrumentov,
- seznam uporabljenih elementov,
- seznam grafik,
- viri trendov.

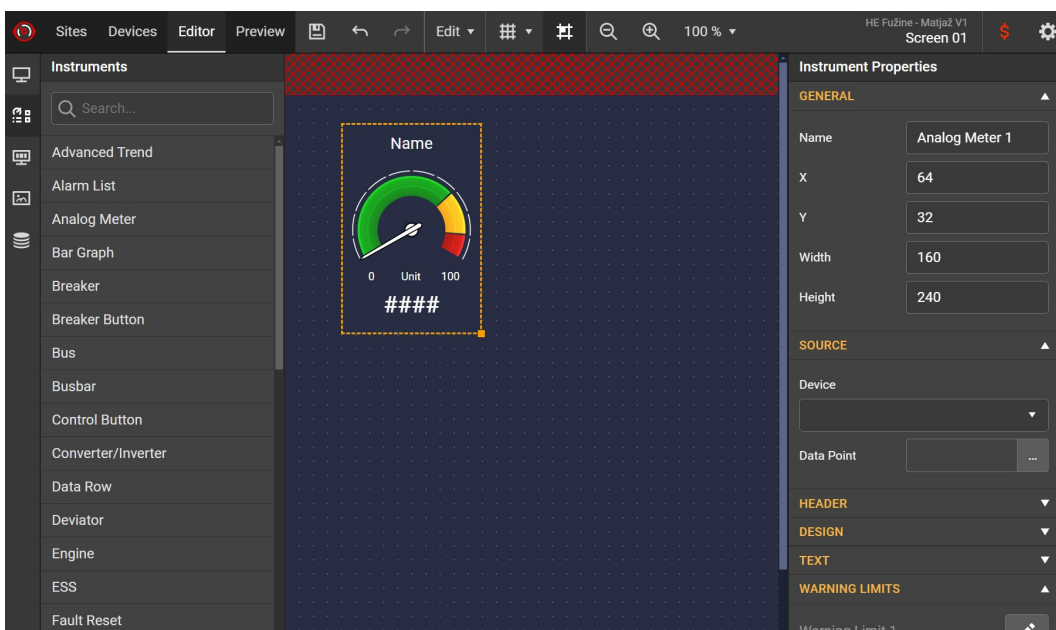


Slika 16: Možnosti levega stolpca urejevalnika
(Lastni vir)

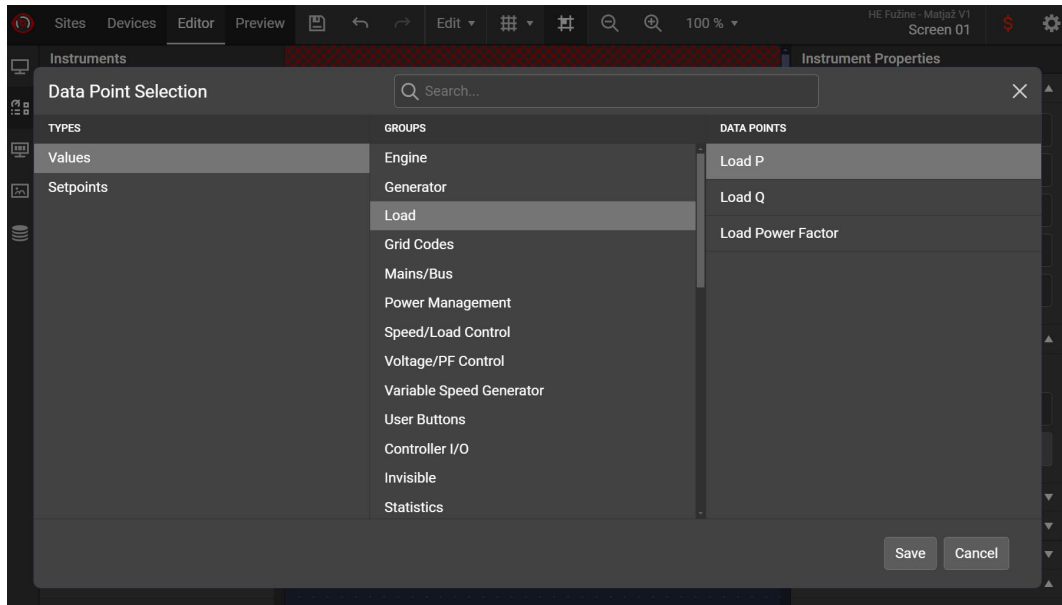
Komponente, ki jih potrebujemo, s funkcijo »vleci in spusti« postavimo na zaslon. Ob tem se v skrajno desnem stolpcu odprejo možnosti, ki so na voljo (slika 17). Funkcije in možnosti se spreminjajo glede na element, ki ga uporabimo.

Analognemu kazalniku lahko nastavimo ime komponente, položaj, velikost, napravo, za katero bo kazalnik kazal (source/device), nato pa nastavimo »data point«, odpre se novo podokno, kjer med vrednosti (»Values«) nastavimo, katero merjeno količino bo merilnik prikazoval (slika 18).

V nadaljevanju sledi oblikovanje ozadja in napisov, nato pa opozorilne vrednosti, s katerimi določimo meje, pri katerih se prožijo alarmi. Primer za tak merilnik je število obratov generatorja. Na primer, generator 2 ima nazivno število obratov 375 v minuti.

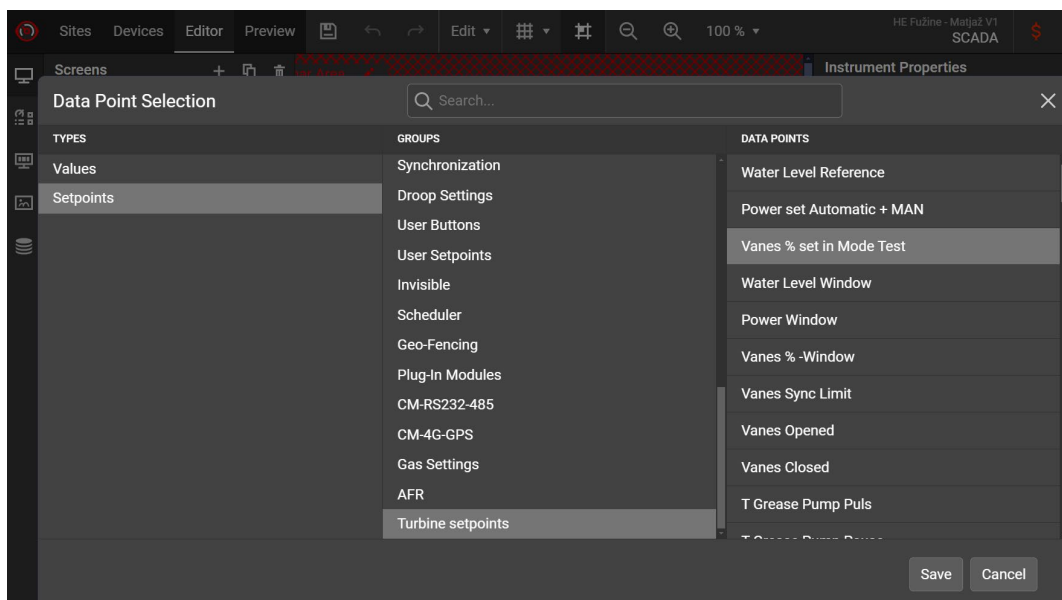


Slika 17: Nastavljanje parametrov izbranega inštrumenta
(Lastni vir)



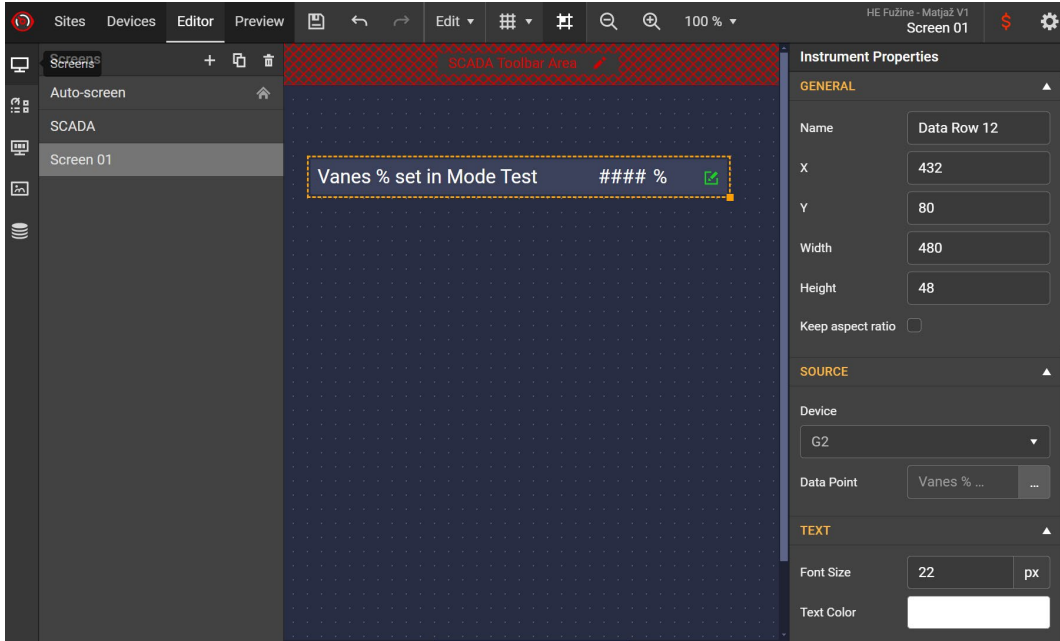
*Slika 18: Meni za izbiro merjene količine
(Lastni vir)*

V istem meniju izberemo tudi aktivne komponente, to so tiste, ki jih uporabimo za nastavljanje posameznih parametrov naprave. V primeru hidroelektrarne je to odprtje lopatic, kar je poimenovano kot »setpoint/turbine setpoints« z imenom »Vanes % set in Mode Test!« (slika 19).

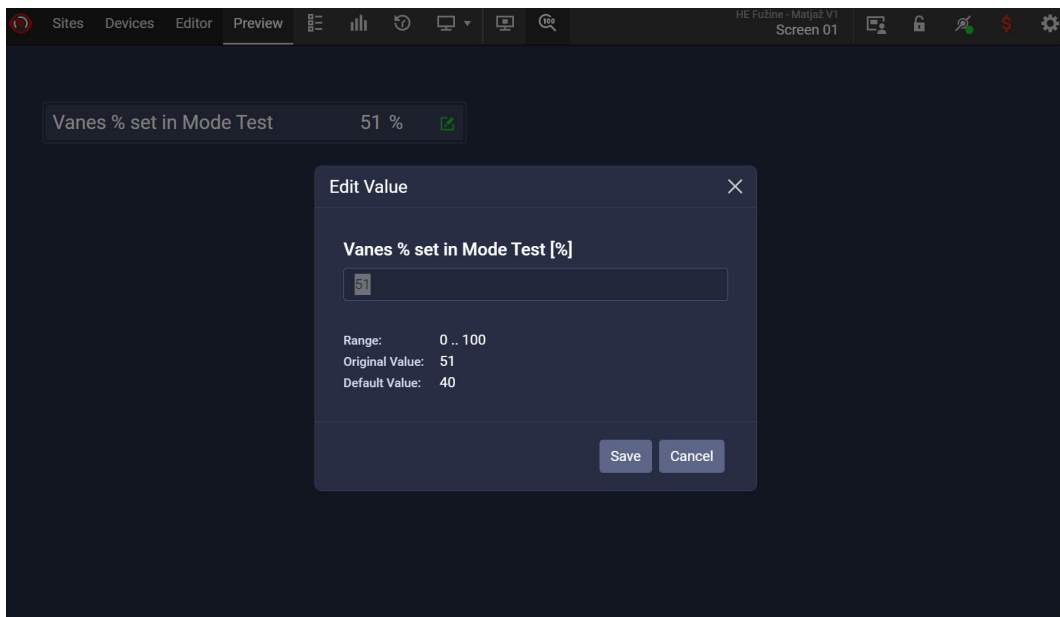


*Slika 19: Izbira nastavljivih parametrov SCADA
(Lastni vir)*

Z izbiro te komponente dobimo okvir z opisom funkcije (slika 20). Da je aktivnega značaja, vemo zaradi zelenega piktograma na desni stani okvirja, ki ga lahko v predogledu kliknemo. Pojavi se okno, v katerem lahko nastavimo vrednost; v prikazanem primeru odprtost lopatic v odstotkih (slika 21).



Slika 20: Vstavljanje aktivnega elementa sistema SCADA
(Lastni vir)



Slika 21: Način vpisovanja vrednosti v aktivni element SCADA
(Lastni vir)

3.3 Izdelava strani SCADA

Za potrebe diplomskega dela smo izdelali uporabniški vmesnik SCADA z vsemi potrebnimi podatki in nastavitvami delovanja agregatov elektrarne. Za agregat 1 vmesnika SCADA ni mogoče preizkusiti. To bomo storili pozneje, potem ko bo naprava spet predana v redno obratovanje.

Agregata 2 in 3 obratujeta, zato lahko zanju iz kontrolerjev takoj dobimo podatke, odzivata se tudi na nastavitve.

Izbrali smo resolucijo 2560 pik × 1440 pik glede na zaslon, predviden za uporabo. Nanj smo postavili v nadaljevanju navedene elemente, ki jih opisujemo v stolpcih od leve proti desni.

Levi stolpec (slika 22) predstavlja shemo, ki aktivno prikazuje stanje delovanja generatorjev, položaj generatorskih stikal in povezavo naprave v omrežje. Stanje omrežja in stanje lastne rabe nista aktivna elementa.



Slika 22: Izdelan vmesnik SCADA za zaslon z resolucijo 2560 pik × 1440 pik (Lastni vir)

Naslednji stolpec predstavlja polje za alarm, ki je nastavljen tako, da se pojavi in utripa v primeru, ko naprava javlja napako, zaradi katere obratovanje ni mogoče. V alarmu je ustavljen tudi agregat.

Pod alarmom sta gumba za zagon (zeleni gumb I) in ustavitvev (rdeči gumb O) agregata. Zeleni gumb I je nastavljen tako, da je agregat mogoče zagnati na sistemu

SCADA le, če je na glavni kontrolni omari stikalo v položaju »Automatic« (slika 23). Takrat naprava celoten postopek in vklop v omrežje izvede samodejno.



Slika 23: Glavno stikalo na regulacijski omari agregata
(Lastni vir)

Rdeči gumb »Stop« na zaslonu SCADA je nastavljen tako, da omogoča odklop agregata iz omrežja, naprava pa ostane na nazivnih obratih. Servisni položaj »Stop« in »Manual« na glavni omari (slika 23) ne dovolita oddaljenega zagona ustavitve in upravljanja. Razlog je varnostni. Zakaj je tako, je navedeno v nadaljevanju. Naročen je servis agregata. Serviser ustavi agregat in izvaja popravilo nekega sistema. Zagon agregata na daljavo zaradi morebitne pomanjkljive komunikacije je lahko zanj smrtno nevaren.

Popolne zaustavitve z gumbom OFF vrstico nižje na zaslonu SCADA nismo aktivirali, saj je treba biti do popravila zavor pri popolni ustavitvi prisoten ob napravi. Obstaja namreč nevarnost, da se naprava ne bi ustavila popolnoma. Manjši obrati agregata od nazivnih obratov pri strojih z drsnimi ležaji ne zagotavljajo več ustreznega mazanja in posledično obstaja tveganje za poškodbe ležajev ali v skrajnem primeru odpoved delovanja zaradi prevelikega trenja.

Izbira načinov delovanja OFF, MAN, AUTO in TEST je stikalo, ki ima programsko napako; v načinu sestavljanja zaslona SCADA (slika 22) kaže le tri od štirih stikal, v predoglednem načinu (slika 24) pa je tudi način TEST.



Slika 24: Predogled zaslona SCADA z aktivnimi podatki
(Lastni vir)

Stikala OFF, MAN, AUTO in TEST imajo drugačne funkcije od napisanih. V prihodnje pričakujemo popravek programov tako, da bo napise na njih možno popraviti.

Način **OFF** je, kot smo že navedli, začasno izklopljen.

Način **MAN** je sprogramiran tako, da agregat glede na nastavljeno moč v kW sam odpira in zapira lopatice turbine. V tem načinu je količina proizvedene električne energije določena v kilovatih, naprava pa sama po potrebi odpre oziroma zapre lopatice.

Način **AUTO** bo po nastavitvi sond deloval tako, da bomo nastavili želeni nivo zgornje vode. V primeru, da se bo pretok reke zmanjšal oziroma povečal in nivo znižal oziroma zvišal, bo agregat v tem načinu sam zmanjšal ali povečal odprtost lopatic.

Način **TEST** predstavlja odprtost turbinskih lopatic v odstotkih. V primeru aktivnosti tega načina določimo odstotek odprtosti turbinskih lopatic, količina proizvedene energije pa je odvisna od razlike med višino spodnje in zgornje vode (padca) in od morebitne zamašenosti rešetk.

Vse, kar je v nastavitvah potrebno za uporabo tega stikala za izbiro načina obratovanja, je, da določimo, kateremu agregatu bo pripadal.

Pod vsakim stikalom sta podatek o trenutni nastavitvi in zelena ikona, preko katere nastavimo želeno vrednost v kW, m oziroma %. Na sredino zaslona smo za vsak agregat postavili tri najpomembnejše analogne merilnike, ki od leve proti desni prikazujejo trenutno moč agregata, koliko so odprte lopatice turbine in število obratov generatorja.

Desno od analognih merilnikov so v stolpcu za posamezni generator še drugi pomembni podatki. Od zgoraj navzdol si sledita »Frekvenca generatorja« in »Napetost generatorja«. »Generator Q« je podatek o količini jalove energije, ki jo proizvaja generator. Nova avtomatika generatorja 1 in 3 samostojno popravlja vzbujalni tok tako, da je jalove energije čim manj. Generator 2 ima do vzpostavitve avtomatike še staro ročno vzbujanje, pri njem je treba s spremembo moči ročno popraviti tudi vzbujanje.

Podatek »Proportional valve Output« je kontrolni podatek, ki se spreminja med spreminjanjem moči generatorja. Če povečamo moč, bomo med odpiranjem lopatic turbine opazili napetost do +5 V, pri zmanjšanju pa napetost do -5 V.

Razdelek »Slip angle« je sinhronizacijski podatek, ki se spreminja med zagonom agregata, ko avtomatika z odpiranjem in zapiranjem lopatic turbine lovi sinhronizacijski kot, ki mora biti za vklop v omrežje poravnan z zunanjo frekvenco na odvodnem daljnovodu.

Agregata 2 in 3 bosta imela možnost avtomatskega uravnavanja proizvodnje glede na višino zajetja (način TEST), zato zanj potrebujemo tudi višino vode.

Skrajno levi stolpec pri vseh treh agregatih so meritve različnih temperatur:

- pri agregatu 1 spremljamo temperature statorjev generatorja, temperature posameznih ležajev generatorja, MUP IN ter MUP OUT pa predstavljata temperaturo vstopnega in izstopnega olja iz multiplikatorja agregata;
- pri agregatu 2 kontroliramo temperaturo ohišja generatorja, temperaturo levega in desnega generatorskega ležaja in temperaturo vstopnega in izstopnega olja iz multiplikatorja agregata;
- pri agregatu 3 spremljamo temperaturo ohišja generatorja in dva generatorska ležaja, poleg tega izvajamo kontrolo temperature še pri dveh turbinskih ležajih.

3.3.1 Postopek za zagon in za ustavitev agregata

Sistem je nastavljen tako, da deluje enako pri zagonu tako preko sistema SCADA kot preko zaslona na stikalni omari.

1. Glavno stikali na omari (slika 23) iz položaja »stop« prestavimo v »avtomatic«.
2. Pritisnemo zeleni gumb (zavora se sprostí, lopatice turbine se odpirajo in sistem generator naprave odpre do nazivnih obratov).
3. Drugi pritisk na zeleni gumb zažene sinhronizacijo z omrežjem in po uspešni sinhronizaciji izvede vklop agregata v omrežje.

Pri ustavitvi imamo dve možnosti. Če gumb na omari prestavimo v položaj »stop«, naprava izvede hitri postopek za ustavitev agregata.

1. Glavno stikalo izklopi agregat iz omrežja, hkrati pa ...
2. ... servisni ventil začne hitro zapirati lopatice turbine do 0 % odprtja.
3. Ko se število obratov dovolj zmanjša, se vklopi zavora, ki dokončno ustavi agregat.

Druga možnost zaustavitve je z rdečim gumbom 0.

1. Prvi pritisk odklopi agregat iz omrežja, vendar ostane na nazivnih obratih.
2. Drugi pritisk na rdeči gumb 0 začne zapirati lopatice turbine do 0 % odprtja.
3. Ko se število obratov dovolj zmanjša, se vklopi zavora, ki dokončno ustavi agregat.

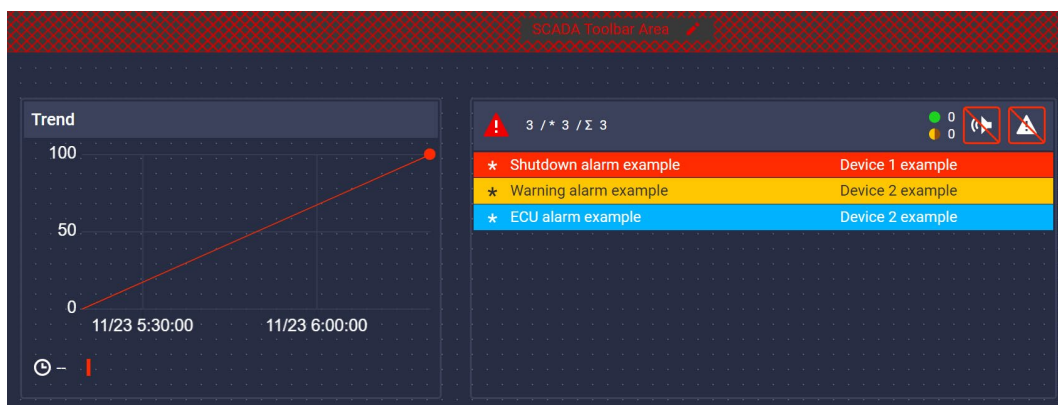
3.4 Uporabniški vmesnik InteliSCADA Runtime

Izdelan iz preizkušen zaslon smo izvozili iz programa Designer in ga uvozili v program Runtime (slika 25). Od programa za izdelavo se na prvi pogled le malo razlikuje. V zgornji vrstici je njegova ikona modre barve, poleg tega ni gumbov »devices«, »editor« in »preview« oziroma »naprave«, »urejevalnik« in »predogled«. Bistvena razlika je, da omogoča, da je uporabniški zaslon aktiven in pripravljen na uporabo ves čas. Je poenostavljen in osredotočen le na interakcijo upravljavca elektrarne z napravami.



Slika 25: SCADA-zaslon z aktivnimi podatki, pripravljen za uporabo (Lastni vir)

Programska oprema SCADA Runtime omogoča tudi funkciji seznama aktivnih alarmov (slika 26, levi okvir) in trendov (slika 26, desni okvir), vendar jih nismo uporabili zaradi omejitev licenc, ki so na voljo. Končne verzije zaslonov, ki bodo v uporabi po koncu posodobitve elektrarne, bodo vsebovale tudi trende in sezname aktivnih alarmov.



Slika 26: Okvir za prikaz trendov desno in seznam alarmov levo v SCADA Editor (Lastni vir)

4 SKLEP

Novo vgrajene regulacijske naprave močno poenostavljajo upravljanje s posameznim agregatom. Ena omara s sodobnim krmilnikom, razširitvenimi moduli in zaslonom, ki so med seboj povezani z LAN-povezavami, nadomeščajo velike in zapletene analogne in tudi starejše digitalne sisteme za obratovanje agregata. Naprave so z nekaj nastavitvami že povezane v oblačne sisteme in zanje lahko hitro po meri izdelamo sistem SCADA. Za izdelavo sistema SCADA je dovolj, da vemo, katere podatke in nastavitve potrebujemo na zaslonu. S postavitvijo stikal, instrumentov in merilnih točk z metodo povleci in izpusti je mogoče hitro sestaviti uporaben sistem za upravljanje hidroelektrarne.

Prednost takega pristopa je cena, saj so takšni sistemi že zaradi manjše porabe časa zelo konkurenčni. Velika prednost je tudi prilagodljivost. Operaterju elektrarne dajejo možnost, da popravi, doda ali spremeni SCADA-zaslon za upravljanje glede na potrebe in preference.

Ker je sistem nov, ima tudi nekatere ugotovljene pomanjkljivosti, ki pa jih izvajalec obnove skupaj s podjetjem, ki je razvilo uporabljene produkte, postopoma rešuje in rešitve implementira z nadgradnjami programske opreme, ki potekajo na daljavo, po internetu.

5 ZAKLJUČEK

Predstavljena prenova v hidroelektrarni Fužine je dober primer nadgradnje industrije v tako imenovano industrijo 4.0. Naprave, ki delujejo že več kot sto let, so po zadnji nadgradnji povezane v oblak in so s tem postale tako imenovane internet stvari oziroma pametne tovarne.

Še vedno potrebujejo upravljavca, saj marsikaterega procesa ni mogoče avtomatizirati ali pa bi bil strošek avtomatizacije prevelik. Po obnovi je upravljanje bolj zanesljivo, ažurno in odzivno na spremembe. Nadzor na daljavo je lažji, deloma tudi upravljanje.

Pri sestavljanju zaslonov sistema SCADA za elektrarno Fužine smo ugotovili, da so sodobni sistemi zelo prijazni uporabniku in nezahtevni za uporabo. Osnovni gradniki so na voljo v knjižnici. Ko ga izberemo, mu določimo napravo in podatek, ki bo gradnik predstavljal. Povlečemo ga na zeleno mesto na zaslonu in element je pripravljen. Glede na naravo podatka z nekaj kliki določimo maksimalne in minimalne vrednosti, velikosti itn.

Omejitev sistema je trenutno poimenovanje posameznih elementov, trenutna verzija tega ne omogoča. Smo pa proizvajalcu že poslali nekatere pripombe, poudarjene tudi v diplomskem delu. V prihodnje pričakujemo popravke programske opreme.

6 LITERATURA, VIRI

Lozar, M. (2021). *Postavitev in povezava SCADA sistema in PLK krmilnika za nadzor procesov po načelih Industrije 4.0*. Pridobljeno 17. 12. 2024 z naslova <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=149532&lang=slv>

Ilievska, F. (2023) *Povezava med ravnema SCADA in MES na liniji za kontrolo kakovosti*. Pridobljeno 17. 12. 2024 z naslova <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=176624&lang=slv>

Wikipedia. (2022). *SCADA*. Pridobljeno 17. 12. 2024 z naslova <https://en.wikipedia.org/wiki/SCADA>,

SoftwareforEnterprise.us. (2024). *SCADA software list – free, open source and commercial*. Pridobljeno 17. 12. 2024 z naslova: <https://www.softwareforenterprise.us/list-of-free-and-open-source-scada-m2m-systems/>

ComAp a.s. (b.l.). *InteliSys 2000*. Pridobljeno 17. 12. 2024 z naslova <https://www.comap-control.com/products/controllers/paralleling-gen-set-controllers/intelisis/intelisis-2000/>

Wikipedia. (2022). *Hidroelektrarna Fužine*. Pridobljeno 17. 12. 2024 z naslova https://sl.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrarna_Fužine

Digitalne vsebine kulturne dediščine Slovenije. (b.l.). *Hidroelektrarna Fužine*. Pridobljeno 17. 12. 2024 z naslova http://www.eheritage.si/DDC/DDC_018_047_RJIYEXWVDRVCVLEPXRBGHXMTNYIPEUV.pdf

ComAp a.s. (b.l.). *WebSupervisor*. Pridobljeno 17. 12. 2024 z naslova <https://www.comap-control.com/products/software-tools/monitoring-tools/online-monitoring-tools/websupervisor/>

ComAp a.s. (b.l.). *InteliSCADA*. Pridobljeno 17. 12. 2024 z naslova <https://www.comap-control.com/products/software-tools/monitoring-tools/pc-monitoring-tools/inteliscada/>