

IoT rješenje za monitoring sistema HE „Piva”

Vladimir Šimun
Inženjer za elektro poslove i opremu
HE „Piva“
Plužine, Crna Gora
vladimir.simun@epcg.com

Božo Krstajić
Elektrotehnički fakultet,
Univerzitet Crne Gore
Podgorica, Crna Gora
bozok@ac.me

Sažetak — Cilj ovog rada je da prikaže rezultat primjene Arduino i Raspberry Pi platformi u monitoringu stanja hidroelektrane „Piva“. U prikazanom rješenju je Arduino Mega mikrokontroler korišten za prikupljanje podataka o uklopnim stanjima i alarmima u sistemu sopstvene potrošnje HE „Piva“, a Raspberry Pi mikroracunar je poslužio kao integrator sistema i server za prihvatanje, obradu i slanje podataka. Prezentovano rješenje ostvaruje interakciju sa lokalnim SCADA sistemom i online WEB portalom, a uspješno je implementirano i testirano godinu dana u pomenutom okruženju.

Ključne riječi - monitoring; SCADA; IoT; Arduino; Raspberry Pi;

I. UVOD

Internet stvari (IoT) je paradigma koja označava kombinaciju ugrađenih sistema (embedded system) i komunikacijskih IP sistema. Na taj način se industrijska oprema, zahvaljujući mreži senzora može povezati na Internet. Povezivanje različitih uređaja može biti ostvareno na različite načine čime se omogućava primjena punog spektra komunikacionih tehnologija za međusobnu interakciju različitih sistema. Primjenom koncepta IoT ostvaruju se nove mogućnosti u cilju razvoja sistema upravljanja, monitoringa i pružanja naprednih informacijsko-komunikacijskih usluga.

Primjena IoT koncepta i sistema u industrijskom okruženju je mnogostruka i intenzivna, [1], [2]. Posebno je implementacija mikrokontrolera za potrebe monitoringa elektro-energetskih sistema (EES) i njihovih elemenata aktuelna i sve češće primjenljiva, [1], [2]. Pored mikrokontrolera, sve više se u industrijskim sistemima koriste i mikroracunari u svrhe upravljanja i monitoringa komponenti [3].

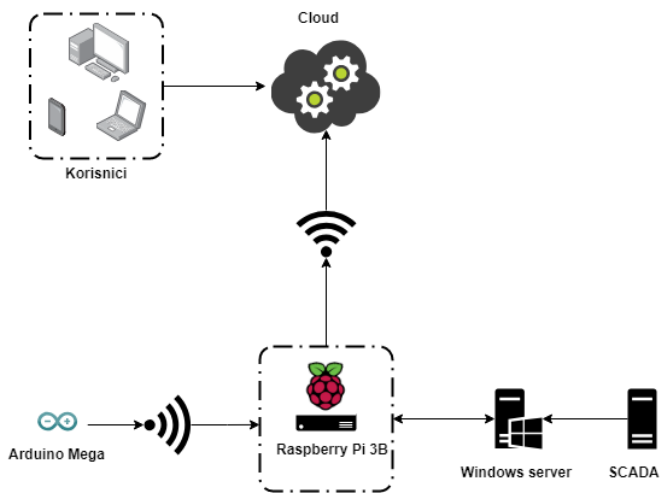
Topologija nekog EES je definisana vezama između komponenti sistema (generatori, transformatori, sabirnice, vodovi i opterećenja) [4]. Ova povezana infrastruktura sačinjava elektroenergetsku mrežu. Topologija ove mreže zavisi od statusa visokonaponskih prekidača, koji služe za povezivanje ili razdvajanje pojedinih komponenti od ostatka sistema. U nekim slučajevima je za potrebe modelovanja sistema, osim statusa prekidača, potrebno znati i vrijednosti parametara pojedinačnih komponenti. Za monitoring sistema u realnom vremenu se najčešće koristi SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistem. Statusi prekidača se dobijaju iz krajnjih stanica (RTU - Remote Terminal Units) SCADA sistema, smještenih u neposrednoj blizini prekidača. Na ulaze krajnjih stanica su povezani kontakti prekidača, tako

da se svaka promjena statusa prekidača registruje. Osim statusa prekidača, monitoring EES podrazumijeva i mjerenja određenih analognih signala. Najčešće se mjere naponi i struje, a u tu svrhu se koriste naponski i strujni transformatori, koji su takođe povezani na krajnje stanice SCADA sistema. Na osnovu podataka o statusima prekidača i vrijednostima pojedinih parametara u sistemu, moguće je praćenje sistema putem SCADA interfejsa. Nemogućnost pristupa SCADA sistemu izvan lokalnog okruženja je prije svega pitanje bezbjednosti, ali i ograničavajući element postojećeg sistema nadzora. Međutim, postoje i drugi ograničavajući elementi SCADA sistema, prije svega cijena koštanja, potrebno vrijeme implementacije i održavanje sistema. Naime, riječ je o skupim rješenjima za čije je održavanje obučen relativno mali broj ljudi. Osim toga, alati za izradu ovih sistema su licencirani, tj. nijesu open-source, što ograničava mogućnost brze nadogradnje sistema u smislu sitnih izmjena angažovanjem sopstvenih resursa i kadrova. Sve ove probleme je moguće relativno lako prevazići upotrebom IoT tehnologija. Pri tome, IoT sistemi mogu da posluži kao brza i relativno jeftina dopuna postojećeg SCADA sistema, a za sada ne i kao njegova zamjena.

U ovom radu je opisana upotreba IoT koncepta za potrebe monitoring HE „Piva” van same elektrane, a prikazane su i mogućnosti primjene IoT uređaja za prikupljanje određenih podataka.

II. DIZAJN PREDLOŽENOG IOT RJEŠENJA

Jedan od glavnih zadataka službi održavanja HE „Piva“ jeste monitoring dijelova sistema koji su u okviru njihovih nadležnosti. Nepostojanje vizuelnog prikaza proizvodnih i ostalih sistema u HE „Piva“, van same elektrane, glavni je motiv koji uslovljava razvoj jedne takve aplikacije. Posebnu pažnju je trebalo posvetiti sistemu sopstvene potrošnje u elektrani koji nije obuhvaćen fazama modernizacije HE „Piva“. Samim tim ovaj sistem nije imao nikakav vid automatskog monitoringa. Prikupljanje podataka o ovom sistemu, njihova obrada i slanje do lokalnog servera bila je moguća primjenom razmatranog IoT rješenja. Pored toga, ni ostale sisteme nadzora i upravljanja nije bilo moguće pratiti van lokalne mreže elektrane, pa se nameće ideja i za prevazilaženjem ovog nedostaka i implementaciju i drugih inovativnih IoT rješenja.



Slika 1. Šema predloženog rješenja.

Na Sl. 1 su prikazani elementi implementiranog rješenja i način njihovog povezivanja. Osnovni elementi sistema su: mikroracunar Raspberry Pi 3B, mikrokontroler za agregaciju i distribuciju podataka Arduino Mega, server za interakciju sa lokalnim SCADA sistemom i cloud portal koji omogućava globalni pristup podacima iz sistema.

Ovim je ostvarena mogućnost da se podaci sa lokalnog SCADA servera preuzmu i pošalju van lokalne mreže, a takođe da se i neki novi podaci, koji nijesu obuhvaćeni SCADA sistemom, prikupe, obrađuju i prate preko Cloud portala, odnosno Interneta. Iz bezbjednosnih razloga, ne postoji mogućnost izmjene ili podešavanja parametara sistema ili parametara SCADA-e sa mikro računara RPi, odnosno Interneta. Korisnici jedino pristupaju Cloud portalu i nikakva vrsta pristupa ovom RPi mikroracunaru, a time i ostalim djelovima sistema u HE „Piva“ nije dozvoljena.

A. Raspberry Pi 3B

Ovaj mikroracunar predstavlja integrator sistema, a služi za prihvatanje podataka koje šalje Arduino, obradu tih podataka, interakciju sa Windows serverom na kome su smješteni podaci sa SCADA servera i slanje određenih podataka na cloud. Povezivanje na mrežu je moguće ostvariti putem Etherneta ili WiFi-ja. U ovom slučaju je Ethernet veza iskorišćena za uzimanje podataka sa SCADA servera, a WiFi služi za komunikaciju sa Arduinoom. Na Raspberry-ju se nalazi instaliran operativni sistem Raspbian, koji predstavlja distribuciju Debian-a namijenjenu upravo Raspberry-ju. Da bi bio moguć web prikaz sistema unutar lokalne mreže, kao i slanje podataka van LAN mreže instaliran je i web server. U ovom slučaju je korišćen Apache web server, a web aplikacija za prikaz podataka je rađena upotrebom Laravel-a [5].

B. Mikrokontroler za agregaciju i distribuciju podataka (Arduino Mega)

Mikrokontroler Arduino Mega je iskorišćen za očitavanje podataka i njihovo prosledjivanje ka Raspberry Pi mikro računaru. Arduino Mega je mikrokontroler koji ima 54 digitalna i 16 analognih pinova. S obzirom da se i analogni pinovi mogu koristiti kao digitalni, moguće je očitavanje do 70

digitalnih signala. Radni napon mu je 5V, a za napajanje se koristi napon 7-12VDC. Sam mikrokontroler nema mogućnost komunikacije sa web serverom, ali je to riješeno korišćenjem dodatnog modula koji obezbjeđuju potrebnu funkcionalnost mikrokontroleru u pogledu željenog prenosa podataka. U konkretnom slučaju je korišćen modul WiFi ESP8266-01 za komunikaciju sa integratorom sistema (RPi). Ovaj modul omogućava WiFi funkcionalnost Arduino, a sa Arduinoom komunicira putem AT komandi [8]. U Tabeli I je dat način povezivanja modula sa Arduinoom. Pogodan je za primjenu i u industrijskim aplikacijama jer može da funkcioniše na temperaturama od -40°C do +125°C, robusan je i pouzdan. Ovaj modul se napaja naponom 2.5-3.6V, a radni napon je 3.3V, pa se nikako ne smije povezivati direktno sa Arduinoom [9]. Potrebno je koristiti ili konvertor napona ili naponski djelitelj.

TABELA I. POVEZIVANJE ARDUINA I ESP8266.

ESP8266-01	
Rx	Na Tx Arduina preko naponskog djelitelja 5/3.3 V
Tx	Na Rx Arduina
Vcc	3.3V napajanje
Gnd	Gnd napajanje
GPIO 0	Na 3.3V preko otpornika 2k
GPIO 2	Na 3.3V preko otpornika 2k
RST	Na 3.3V preko otpornika 10k
CH_PD	Na 3.3V preko otpornika 10k
ARDUINO	
Rx	Na Tx od ESP8266
Tx	Na Rx od ESP8266

C. Windows server

S obzirom da na korišćenom modelu Raspberry-ja nije moguće instalirati Windows SQL server, potrebno je koristiti drugi računar za tu svrhu. Na ovaj računar tj. server se čuvaju podaci iz glavnog SCADA sistema u elektrani, a na istom serveru se čuvaju i podaci koje Arduino očitava i šalje prema Raspberry-ju. Dakle ovaj računar je neka vrsta skladišta mjerenih podataka. Iako bi čuvanje podataka koji stižu sa Arduina bilo moguće i na Raspberry-ju to nije urađeno iz praktičnih razloga, jer se na taj način koristi jedinstvena baza podataka, pa je prilikom programiranja potrebno voditi računa o samo jednoj konekciji. U konkretnom slučaju je korišćen standardni PC računar sljedećih glavnih karakteristika: 2 GB RAM memorije, Intel Core Duo E8550 procesor, hard disk od 200GB, 2 x 100Mb NIC i OS Windows Server 2008 R2 Standard. Ovaj računar ima 2 mrežne kartice jer je povezan na 2 mrežna segmenta i funkcioniše u bridžing modu.

D. Cloud portal

Pristup Raspberry Pi Web serveru van lokalne mreže nije moguć, pa se podaci moraju poslati na neki portal koji je globalno dostupan. U ovom slučaju je za to korišćen www.000webhost.com hosting sajt. Ovaj besplatni hosting dolazi sa unaprijed instaliranim najnovijim verzijama PHP-a i MySQL-a, a omogućava kreiranje i dvije MySQL baze podataka sa najviše 150 tabela, upotrebu cPanela za

jednostavnu manipulaciju fajlovima i još mnoštvo drugih opcija [10]. Na ovom sajtu se nalaze PHP skripte za prihvatanje podataka koje šalje Raspberry Pi, kao i JavaScript fajlovi koji omogućavaju dinamičniji prikaz stanja sistema.

III. IMPLEMENTACIJA RJEŠENJA U HE "PIVA"

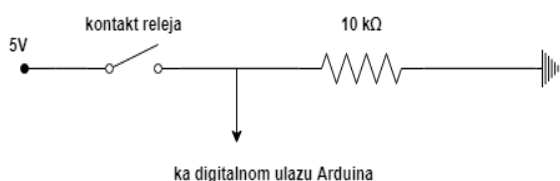
Na Sl. 2 su prikazani ormari galvanskog razdvajanja u komandi HE „Piva“ gdje se nalaze releji galvanskog razdvajanja koji registruju uklopna stanja i alarme u sistemu proizvodnih agregata, razvodnog postrojenja, hidromašinske opreme i sopstvene potrošnje. Kontakti ovih releja se koriste za potrebe lokalne signalizacije u komandi elektrane. Ovo je mjesto gdje se mogu prikupiti i mjeriti željene informacija o pojedinim sistemima ako postoje slobodni kontakti za povezivanje. Upravo je to iskorišćeno za povezivanje na ulaze agregacionog mikrokontrolera u predmetnom rješenju.



Slika 2. Ormar galvanskog razdvajanja s prednje strane (lijevo) i sa zadnje strane (desno).

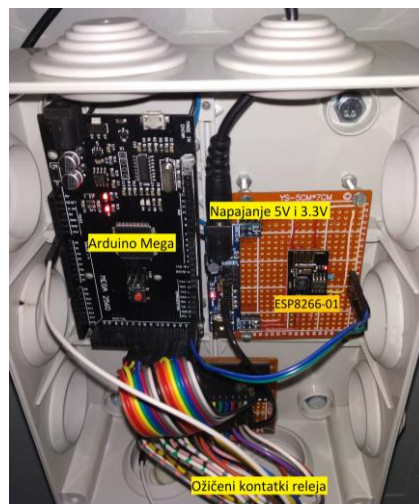
Iz ormara galvanskog razdvajanja su iskorišćeni radni kontakti releja naponskog nivoa 220V DC (Sl. 2 i 3). Ovi kontakti se povezuju na digitalne ulaze Arduinoa i služe za indikaciju prekida napona 5VDC. U slučaju kada relej nije pobuđen, kontakt ostaje otvoren, pa nema napona na digitalnom ulazu Arduinoa. Međutim, u tom slučaju bi ulaz Arduinoa ostao nedefinisan („plutao“) pa se zato koristi *pull-down* otpornik (Sl. 3). Dakle, u predloženom rješenju je svaki od digitalnih ulaza Arduinoa povezan na kontakt releja preko otpornika od 10 kΩ prema masi (Sl. 3). Na ovaj način se vrši akvizicija 19 signala od interesa, od kojih 13 definišu uklopna stanja u sistemu sopstvene potrošnje, a 6 su potrebni alarmi.

Na Sl. 4 je prikazna fotografija sistema za prikupljanje podataka u čijoj je osnovi mikrokontroler Arduino, a isti je smješten u jednoj plastičnoj razvodnoj kutiji kako bi se zaštitio od uticaja industrijskog okruženja.

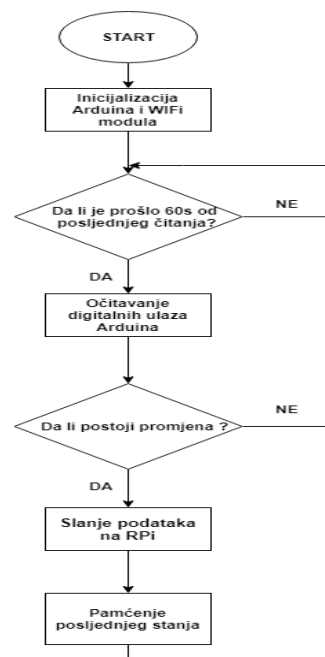


Slika 3. Povezivanje kontakata releja sa digitalnim inputima Arduinoa.

Na Sl. 5 je prikazan algoritam koji je implementiran na Arduino. Svakih 60 sekundi Arduino provjerava da li postoji neka promjena (manipulacija prekidačem ili alarm) u sistemu. Ako postoji podaci se šalju na lokalni server (RPi), a zadnje vrijednosti digitalnih ulaza Arduinoa se pamte.



Slika 4. Finalno rješenje uređaja za prikupljanje podataka.



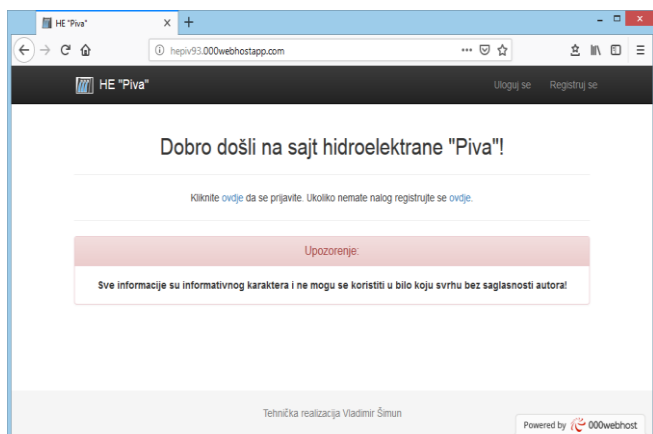
Slika 5. Algoritam koji je implementiran na Arduino.

U slučaju da je potrebno podatke poslati ka Web serveru na RPi, Arduino šalje niz AT komandi prema Wi-Fi modulu. To su komande kojima se realizuje slanje HTTP zahtjeva prema Web serveru koji je podignut na RPi. Za prihvatanje podataka na serverskoj strani je korišten PHP-ov framework Laravel. Osim prikaza u lokalnoj mreži, podatke o sopstvenoj potrošnji, kao i neke podatke o ostalim sistemima moguće je poslati van lokalne mreže. U tu svrhu je iskorištena biblioteka Guzzle, koja je dio Laravel-a. Ova biblioteka omogućava web aplikaciji da šalje HTTP zahtjeve prema bilo kojem uređaju

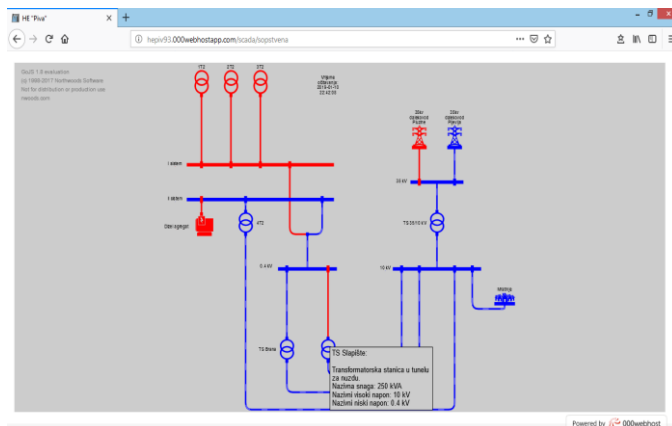
koji ima mogućnost da na taj zahtjev odgovori. Da bi to bilo moguće na Raspberry-ju je kreiran cron job koji svakog minuta uzima podatke iz baze podataka, šalje HTTP zahtjev prema cloud web portalu koji prihvata i podatke prikazuje na željeni način. To omogućava raznim korisnicima da prate sistem ili vrše neku dodatnu obradu podataka.

Na Sl. 6 je prikazana početna strana WEB portala koja omogućava logovanje i pristup raznim korisnicima i kojoj se može pristupiti na adresi <https://hepiv93.000webhostapp.com/>. Za sada su omogućeni uvidi u sledeće elemente predmetnog EES: animirani prikaz sistema sopstvene potrošnje (Sl. 7) i sistema proizvodnje, parametri generatora i dalekovoda (snage, naponi i struje), podaci o proizvodnji (aktuelni, dnevni, mesečni i godišnji), stanje akumulacije (Sl. 8) i tokovi energije prenosnog sistema. Za dinamičniji prikaz podataka je korišten JavaScript biblioteka Go.js [12]. Ova biblioteka omogućava jednostavnu vizuelizaciju pojedinih elemenata i njihovih veza u sistemu..

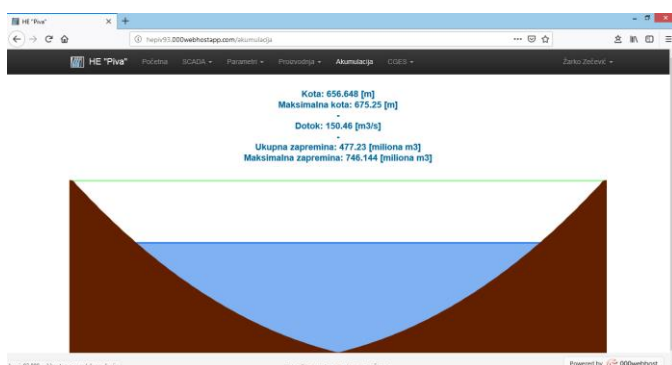
S obzirom da se van lokalne mreže šalju podaci koji nijesu javno dostupni bilo je potrebno implementirati sistem autentifikacije (Sl. 6). Laravel dolazi sa unaprijed pripremljenim sistemom autentifikacije za čiju implementaciju je praktično neophodno samo kreirati bazu podataka za aplikaciju. Osim, sistema autentifikacije, postoji ugrađen i middleware koji filtrira HTTP zahtjeve i korisnike koje nemaju naloge sprečava da pristupe određenim rutama i preusmjerava ih na login stranicu. Osim toga, kreiran je i middleware koji administratoru omogućava pregled registrovanih korisnika.



Slika 6. Strana za pristup WEB portalu za monitoring



Slika 7. WEB prikaz sistema sopstvene potrošnje.



Slika 8. WEB prikaz mjenenog stanja akumulacije.

IV. ZAKLJUČAK

U radu je prezentovano jedno IoT rješenje koje omogućava monitoring EES integracijom mikrokontrolera, mikroracunara, SCADA sistema i alata za vizuelizaciju na cloud platformi. Ovo rješenje za prikupljanje i vizuelizaciju podataka je uspješno implementiran za potrebe HE „Piva“, u upotrebi je godinu dana i dostupno na pomenutoj url adresi. Implementirano rješenje se koristi u svrhu on line praćenja sistema proizvodnje i sopstvene potrošnje, kao i stanju akumulacije i tokova energije.

Sistem je modularan i jednostavan za implementaciju i odražavanje kao i za proširenje u smislu novih parametara za mjerenje, integracije novih hardverskih ili softverskih elemenata i proširenja korisničkih funkcionalnosti i obrade podataka.

LITERATURA

- [1] Sarinda Jayasinghe L., Tariq Iqbal, George Mann, “Low-Cost and Open Source SCADA Options for Remote Control and Monitoring of Inverters,” 2017 IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE).
- [2] Rohit R. Pawar, Priyanka A. Wagh, Dr. S.B.Deosarkar, “Distribution Transformer Monitoring System Using Internet of Things (IoT),” 2017 International Conference on Computational Intelligence in Data Science (ICCIDS).
- [3] Asha John, Richu Varghese, S. Sai Krishnan, Steve Thomas, T. A. Swayambu, P. Thasneem, “Automation of 11 kv Substation using

Raspberry pi," 2017 International Conference on circuits Power and Computing Technologies [ICCPCT].

- [4] Mladen Kezunovic, "Monitoring of Power System Topology in Real-Time," Proceedings of the 39th Hawaii International Conference on System Sciences – 2006.
- [5] Raspberry Pi – Teach, Learn and Make with Raspberry Pi. (Dostupno na: <https://www.raspberrypi.org>).
- [6] Laravel – The PHP Framework for Web Artisans. (Dostupno na: <https://www.laravel.com>).
- [7] Arduino Mega 2560 Rev3. (Dostupno na: <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>).
- [8] ESP8266 AT Command Examples. (Dostupno na: <https://www.espressif.com/en/support/download/documents/chips>).
- [9] ESP8266 – Hardware Design Guidelines. (Dostupno na: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266_hardware_design_guidelines_en.pdf).
- [10] 000webhost – Zero cost website hosting with PHP, MySQL, cPanel and no ads. (Dostupno na: <https://www.000webhost.com>).
- [11] Guzzle, PHP HTTP Client (Dostupno na: <http://docs.guzzlephp.org/en/stable/index.html>).
- [12] GoJS – Interactive JavaScript diagrams in HTML. (Dostupno na: <https://gojs.net/latest/index.html>).

ABSTRACT

The objective of this paper is to present the results of using the Arduino and Raspberry Pi platform for monitoring the hydro power plant "Piva". In the presented solution, the Arduino Mega microcontroller was used to aggregate data on switching states and alarms from self-consumption system HPP "Piva" and Raspberry Pi microcomputer worked as a system integrator and server for accepting, processing and sending data. The presented solution interacts with the local SCADA system and online WEB portals, and it was successfully implemented and tested for one year in the mentioned environment.

IoT SOLUTION FOR MONITORING OF THE HPP "PIVA"

Vladimir Šimun and Božo Krstajić