

Damir Jakus
FESB
damir.jakus@fesb.hr

Josip Vasilj
FESB
jvasili@fesb.hr

Petar Sarajčev
FESB
psarajce@fesb.hr

NAPREDNO BROJILO ELEKTRIČNE ENERGIJE I UPRAVLJANJE POTROŠNJOM BAZIRANO NA ESP8266 MODULU I MQTT PROTOKOLU

SAŽETAK

Na razini EU i Hrvatske počela je zamjena starih brojila s novim naprednim brojlilima koji omogućavaju dvosmjernu komunikaciju između operatora sustava/opskrbljivača i krajnjih korisnika mreže. Uvođenje naprednih brojila („eng. smart meters“) predstavlja prvi korak u realizaciji pametnih elektroenergetskih mreža, tzv. smart grid i predstavlja jedan od prioritarnih projekata na razini EU.

Napredna brojila omogućavaju konstantni nadzor potrošnje električne energije te dostupnost mjernih podataka kako operatorima sustava/opskrbljivačima tako i krajnjim korisnicima. Njihovim uvođenjem, potrošnja električne energije postaje potpuno transparentna te potrošači stječu bolji uvid u karakter potrošnje što u većini slučajeva u konačnici rezultira racionalnijim korištenjem električne energije. Osim toga operatori sustava raspolažu detaljnijim podacima o mreži koji omogućavaju efikasnije planiranje rada, razvoja i održavanja sustava. Boljim uvidom u stanja u mreži stječu se preduvjeti za efikasniji i pouzdaniji pogon mreže, smanjenje gubitaka u mreži, poboljšanje kvalitete električne energije, jednostavnije otkrivanje neovlaštene potrošnje električne energije, precizniji obračun troška za krajnjeg potrošača te niz drugih pogodnosti.

Sa strane potrošača stvaraju se preduvjeti za potencijalne uštede odnosno prihode budući da isti počinju racionalnije trošiti električnu energiju u skladu s ugovorenim tarifnim modelom ali se otvara i mogućnost zarade dodatnog prihoda od sudjelovanja u različitim pomoćnim uslugama sustava. Uključivanje potrošača u pomoćne usluge sustava uz adekvatnu nadoknadu troškova istima predstavlja jedan od nužnih uvjeta za ostvarivanje ambicioznih ciljeva EU u pogledu udjela proizvodnje iz OIE.

U ovom radu opisati će se prototip razvijenog naprednog brojila baziran na ESP8266 modulu s dvosmjernom komunikacijom preko MQTT protokola.

Ključne riječi: napredna brojila, ESP8266, MQTT, dvosmjerna komunikacija, upravljanje potrošnjom

SMART METER AND ENERGY MANAGEMENT WITH ESP8266 MODULE AND MQTT PROTOCOL

SUMMARY

At the EU and Croatia level, old generation energy meters are being replaced with the new more advanced smart meters allowing two-way communication between the system operators /suppliers and the end-users. The installation of smart meters is the first step necessary for achieving and implementing smart power grid concept, and this process is one of the priority projects at EU level.

Smart meters provide constant monitoring of electricity consumption and availability of such metering data both to system operators / suppliers and end-users. By introducing smart meters, electricity consumption becomes completely transparent and consumers gain a better insight into their energy consumption, which ultimately results in more rational use of electricity in most cases. In addition, system operators have more detail network information that enables more efficient planning, development, and maintenance of the system. Better insight into network conditions is a prerequisite for more efficient and reliable network operation, network loss reduction, improvement of power quality indicators, easier detection of unauthorized power consumption, more accurate end-user cost accounting and a host of other benefits.

Potential savings or revenues are also created on consumer side as they start to consume electricity more rationally and more automated according to the agreed tariff models but there is

opportunity of earning additional revenue from participating in various system auxiliary services. Consumer participation in the provision of system ancillary services is necessary condition for achieving the ambitious EU targets regarding RES market share.

In this paper, a prototype of a developed advanced meter based on the ESP8266 module with two-way communication over the MQTT protocol will be described.

Key words: smart meter, ESP8266, MQTT, two-way communication, energy management

1. UVOD

Prema izvješću Međunarodne agencije za energiju, udio rezidencijalnog sektora u ukupnoj potrošnje električne energije u 2015.g. iznosio je 27% na svjetskom nivou [1]. S druge strane sve više kućanstava opredjeljuju se na ugradnju FN modula ponukani sve nižom cijenom takvog oblika proizvodnje električne energije i time postaju aktivni potrošači (eng. prosumers). Postepeno smanjivanje, i u budućnosti ukidanje poticaja za takav oblik proizvodnje električne energije, nužno vodi ka optimiranju potrošnje kućanstva na individualnoj razini kako bi se potrošnja prilagodila raspoloživim proizvodnim resursima i time smanjili mjesečni troškovi prema opskrbljivačima, naravno zadržavajući približno isti ili veći standard života. Da bi se takvi oblici kontrole i realizirali potrebno je imati znatno bolji uvid u način trošenja električne energije kako na razini kućanstava tako i na razini pojedinačnih trošila unutar samog objekta. Stara brojila električne energije ne mogu niti približno odgovoriti takvim uvjetima rada pa je nužna zamjena s novom generacijom naprednih električnih brojila. Treći energetske paket od država članica zahtijeva da osiguraju provedbu naprednih sustava mjerenja za dugoročnu korist potrošača. Dostupni podaci ukazuju da bi napredni sustav mjerenja mogao stajati prosječno 200 EUR do 250 EUR po potrošaču sa uključenim troškovima komunikacijske infrastrukture. Dostupni podaci ukazuju na punu širi raspon kretanja cijena ugradnje naprednih brojila na razini država EU-27 (77 EUR Malta - 766 EUR Češka) [2].

Napredna brojila koja se danas ugrađuju omogućavaju široki raspon informacija krajnjim korisnicima međutim još uvijek jedan od glavnih problema ostaje vezan uz komunikacijske kanale između brojila i tijela zaduženog za prikupljanje podataka. Većina sustava bazirana je na naprednim brojlama koji putem dvosmjerne BPL (eng. *Broadband over power lines*), PLC (eng. *Power Line Communication*), RF (eng. *Radio Frequency*) veze komuniciraju sa konzentatorima podataka koji sakupljaju podatke i dalje ih prosljeđuju centralnom mjernom sustavu na obradu.

U ovom radu predstavljen je prototip naprednog brojila koji putem MQTT protokola preko internet veze komunicira sa konzentatorom podataka (MQTT broker) od kojega se dalje prosljeđuju podaci prema centralnom mjernom sustavu gdje se provodi obrada. Ovakav način komunikacije je dvosmjernan pa je predloženim sustavom omogućena i kontrola potrošnje. Napredno brojilo koje omogućava ovakav oblik komunikacije ostvareno je ugradnjom ESP8266 modula. Razvijeni sustava je prilagodljiv i lako omogućava implementaciju i drugih oblika komunikacije RS 232/485, GSM, RF,...

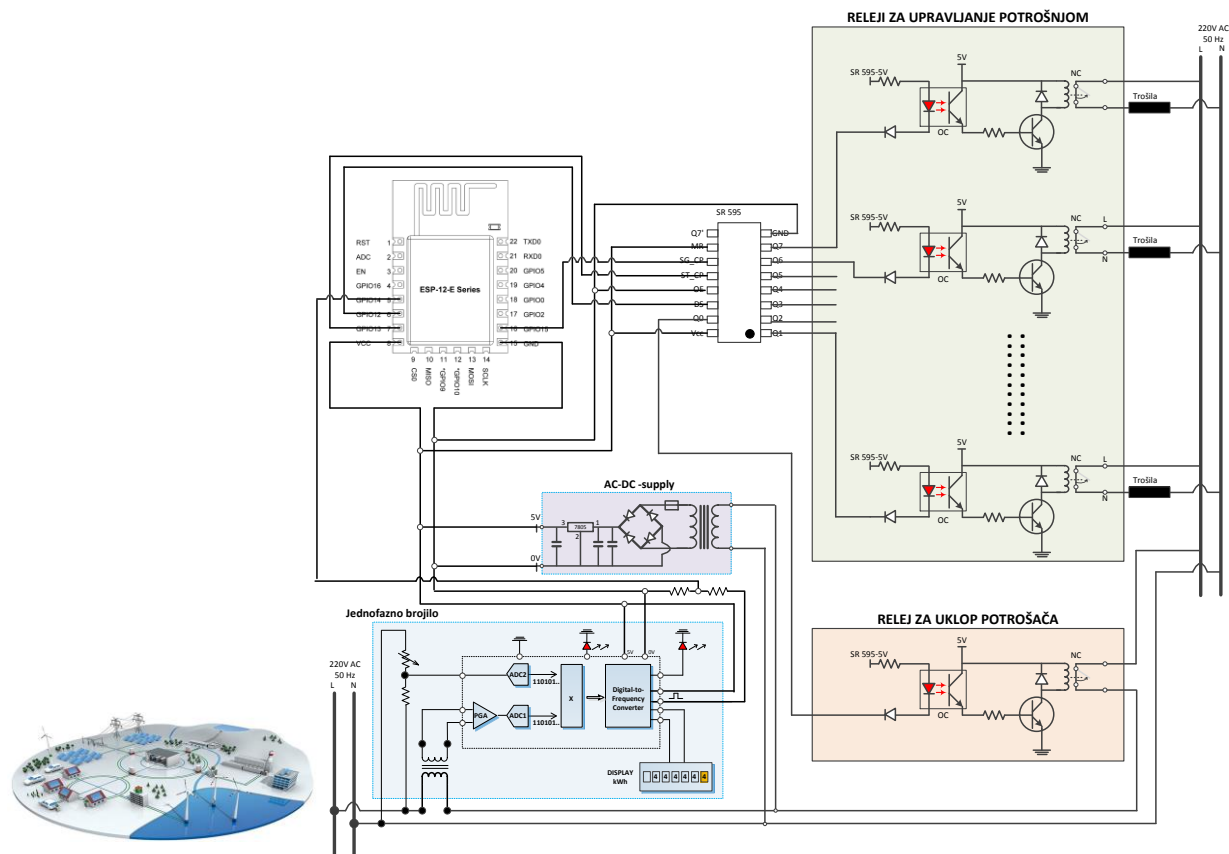
2. PREDLOŽENO RJEŠENJE NAPREDNOG BROJILA

2.1. Načelna shema i mogućnosti prototipa naprednog brojila

Prednost razvijenog sustava očituje se u modularnosti te primjenjivosti na veliki broj postojećih brojila uz njihove manje modifikacije. Razvijeni prototip naprednog brojila putem MQTT protokola omogućuje realizaciju sljedećih funkcija:

- sinkronizaciju vremena s NTP (eng. *Network Time Protocol*) serverom uz automatsku promjenu dnevnih i sezonskih tarifa,
- prikupljanje i ažuriranje podataka o tarifnom modelu te automatski izračun troškova,
- dostavu podataka na cloud servis u realnom vremenu koji se onda dalje prosljeđuju krajnjim potrošačima/opskrbljivaču,
- daljinsko isklapanje potrošača putem glavnog priključnog releja,
- reguliranje potrošnje potrošača putem potrošačkih releja, ograničenje vršne snage,
- automatsku promjenu tarifnog modela, ...

Načelna shema prototipa brojila prikazana je na slici 1.



Slika 1. Načelna shema izrađenog prototipa naprednog brojila

2.2. ESP 8266 WIFI modul

ESP8266 je IC (eng. *Integrated Circuit*) koji je unio pravu malu revoluciju u „makers“ svijetu, a posebno u svijetu IoT-a (Internet of Things). To je kompletan 32-bitni SoC (System on Chip) s ugrađenom flash memorijom, RAMom i EEPROMom koji se može direktno programirati iz Arduino sučelja bez potrebe za dodatnim mikrokontrolerom. Uz sve to najvažnija stavka je da u sebi ima ugrađen WiFi sa 802.11 b/g/n povezošću (AP, STA, AP+STA) što omogućava komunikaciju s chipom i kontrolu uređaja povezanih na njega preko interneta.

Postoje različite izvedbe ESP8266 modula s većom ili manjom funkcionalnosti prilagođeni početnicima i iskusnim stručnjacima. Da bi se formirao funkcionalan razvojni sustav prilagođen početnim korisnicima, novije verzije modula uobičajeno uključuju dodatne komponente, posebice serijski TTL-to-USB adapter (koji se ponekad naziva USB-UART most) i 3.3/5 voltno napajanje. Veći razvojni moduli bazirani na ESP8266 chipu poput NodeMCU modula uobičajeno uključuju USB-UART most i Micro-USB priključak spojen s 3.3V regulatorom napona koji su već integrirani u sam razvojni modul što bitno olakšava i ubrzava prototipiranje različitih rješenja. Kada je razvoj projekta završen, te komponente više nisu potrebne, može se razmotriti i korištenje jeftinijih verzija ESP-xx modula.

2.3. MQTT protokol

MQTT protokol razvili su Andy Stanford-Clark (IBM) i Arlen Nipper (Eurotech, sada Cirrus Link) 1999. godine za praćenje naftovoda kroz pustinju. Osnovne smjernice razvoja bili su usmjerene prema brzini prijenosa, maloj potrošnji baterije budući da su uređaji koristili satelitsku vezu, a to je bilo iznimno

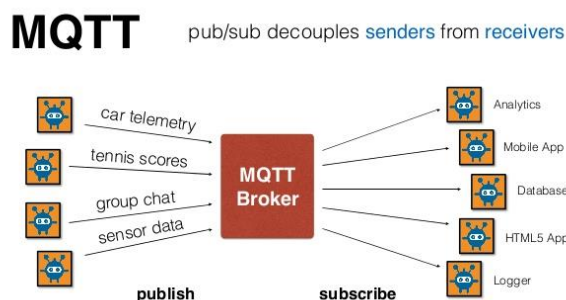
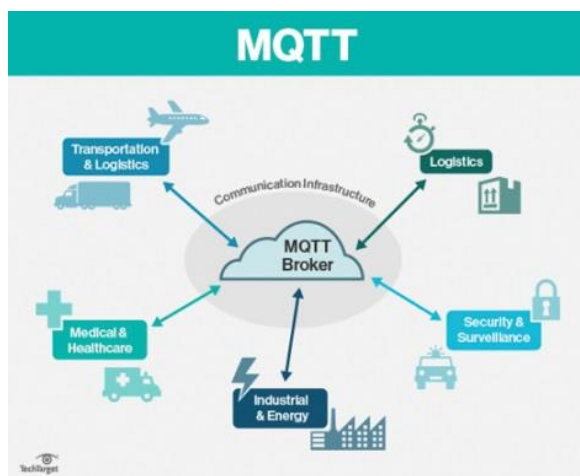
skupo u to vrijeme. Protokol koristi arhitekturu publish /subscribe u kontrastu s HTTP-om request/response paradigmom. Razlika u odnosu na HTTP je da klijent ne mora povući potrebne podatke, već broker automatski proslijeđuje informacije klijentu u slučaju da postoji neka promjena. Stoga svaki MQTT klijent ima trajno otvorenu TCP vezu s brokerom. Ako se ova veza prekine zbog bilo kojeg razloga, MQTT broker može tamponirati sve poruke i poslati ih klijentu kada se ponovno priključi.

Središnja komunikacijska točka je MQTT posrednik(broker) koji je zadužen za slanje svih poruka između pošiljalca i primatelja. MQTT protokol temelji se na načelu objavljivanja poruka i pretplata na teme, što se obično naziva modelom objavljivanja / pretplate. Klijenti se mogu pretplatiti na teme koje se odnose na njih i time primiti sve poruke koje se objavljuju na tim temama. Alternativno, klijenti mogu objavljivati poruke temama, čime one postaju dostupne svim pretplatnicima na njih.

Poruke u MQTT-u objavljuju se na teme. Teme su usmjerivačka informacija posredniku(brokeru). Tema je UTF-8 niz, a sastoji od jedne ili više razina. Temeljna tema za slanje podatka sa brojila električne energije može biti sljedećeg oblika:

šifra_potrošača / potrošnja_radne_snage / max_snaga

S jedne se strane klijent može pretplatiti na točnu temu ili, s druge strane, koristiti zamjenske znakove ("+", "#") za prijavu na više tema.



Slika 2. Ilustracija načina komunikacije korištenjem MQTT protokola

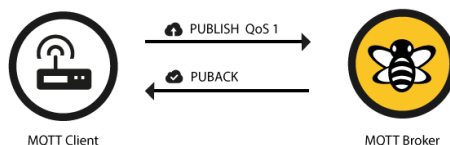
Razina kvalitete servisa (Quality of Service Level) koja predstavlja razinu garancije isporuke objavljenih poruka, može poprimiti 3 vrijednosti [3]:

- Vrijednost **QoS0** (At most once)- poruka je poslana samo jednom bez povratne informacije od primatelja te, bez spremanja i ponovnog slanja od strane pošiljalca.



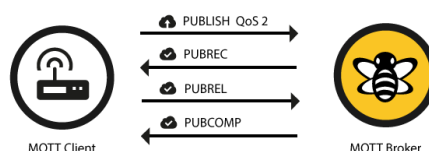
Slika 3. Razina kvalitete servisa QoS0

- Vrijednost **QoS1** (at-least-once delivery)- ova razina garantira da će poruka biti dostavljena primatelju barem jednom, ali može i više puta. Pošiljalac prvo sprema poruku, a zatim ju šalje posredniku koji poruku prosljeđuje svim pretplatnicima i vraća potvrdu o slanju poruke u obliku Puback paketa koji sadrži identifikator paketa objavljene poruke (packetId). Nakon što primi potvrdu o uspješnoj objavi, pošiljalac iz spremnika briše poruku koju je spremio prije same objave.



Slika 4. Razina kvalitete servisa QoS1

- Vrijednost **QoS2**-(exactly-once delivery)-najviša, ali ujedno i najsporija razina kvalitete servisa garantira da je svaka poruka primljena točno jednom. Jamstvo osigurava dva toka podataka između pošiljalca i prijemnika.



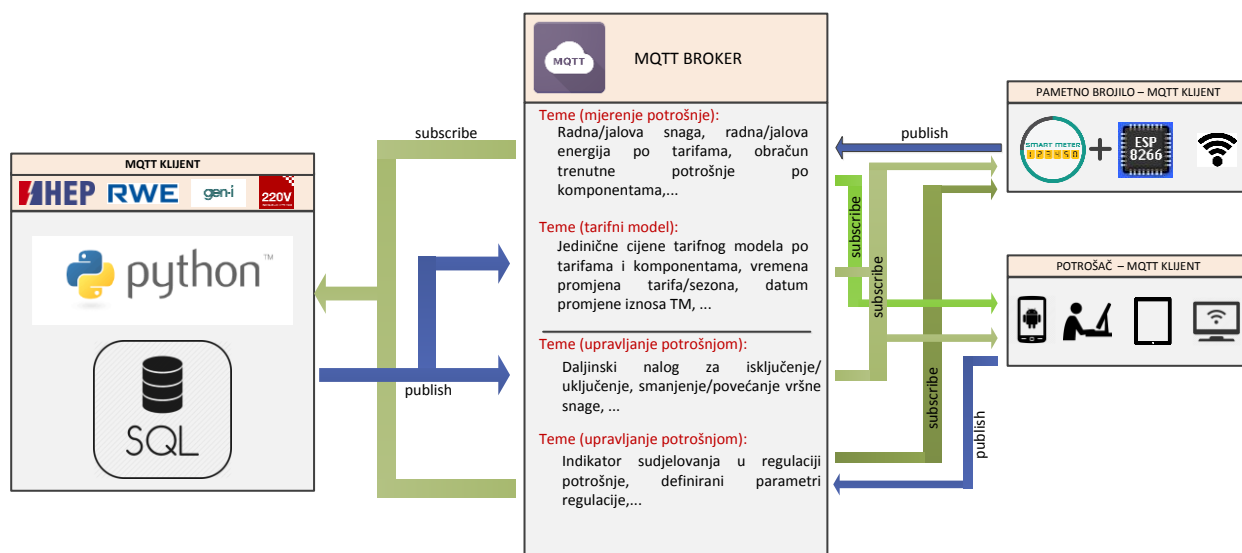
Slika 5. Razina kvalitete servisa QoS2

2.4. Razmjena informacija između potrošača/operatora/opskrbljivača preko MQTT brokera

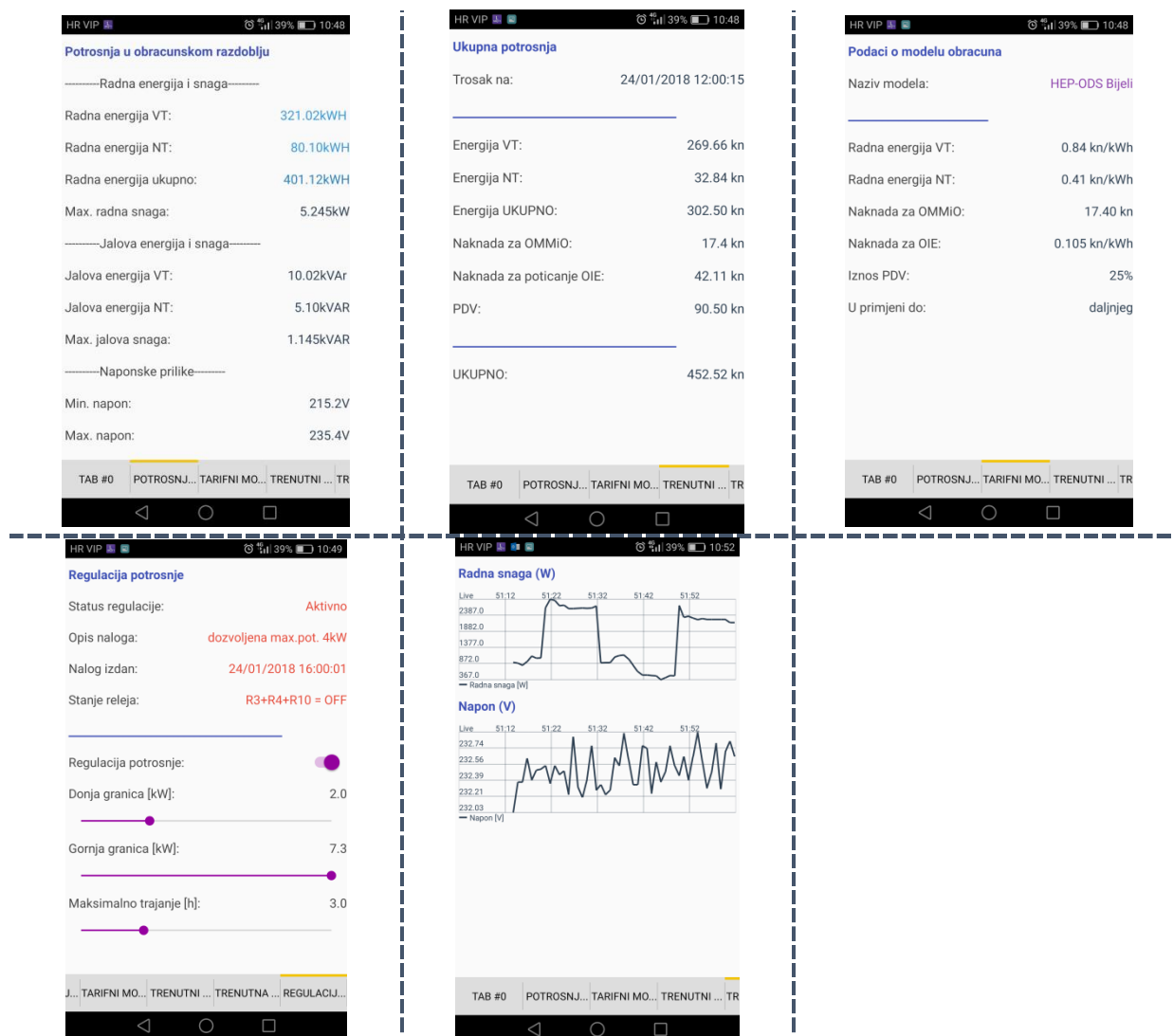
Na slici 6 prikazan je način razmjene informacija između relevantnih subjekata preko posrednog MQTT brokera. Kao što je vidljivo iz prikaza pojedinačni subjekti imaju mogućnost izmjene (publiciranja) pristupa (subscribe) samo određenih tema. Tako primjerice u predloženoj izvedbi napredno brojilo šalje izmjerene podatke prema MQTT brokeru dok ostali subjekti imaju samo mogućnost pristupa tim podacima, ali ne i njihovoj izmjeni. Naravno da to ne mora nužno biti tako izvedeno i ukoliko se želi moguće je dozvoliti izmjenu pojedinačnih vrijednosti (tema) od strane više subjekata. Slično ukoliko pogledamo dio koji se odnosi na upravljanje potrošnjom onda je vidljivo da potrošač putem određenog načina može izabrati sudjelovanje u usluzi upravljanja potrošnjom te definirati okvirne parametre regulacije kao što su:

- Redoslijed isključivanja releja prilikom aktivacije usluge,
- Maksimalni iznos smanjenja i maksimalno trajanje;
- Minimalni iznos opterećenja ispod kojeg nije moguće aktivirati uslugu, ...

Međutim Operator je taj koji zadaje nalog za ograničavanjem i povećanjem potrošnje ukoliko je to moguće, a realizaciju naloga provjera putem mjernih parametara koje šalje napredno brojilo. Unatoč nalogu Operatora, potrošač u svakom trenutku može otkazati sudjelovanje u usluzi upravljanja potrošnjom što Operator or u tom slučaju registrira na sličan način.



Slika 6. Ilustracija načina razmjene podataka preko MQTT brokera

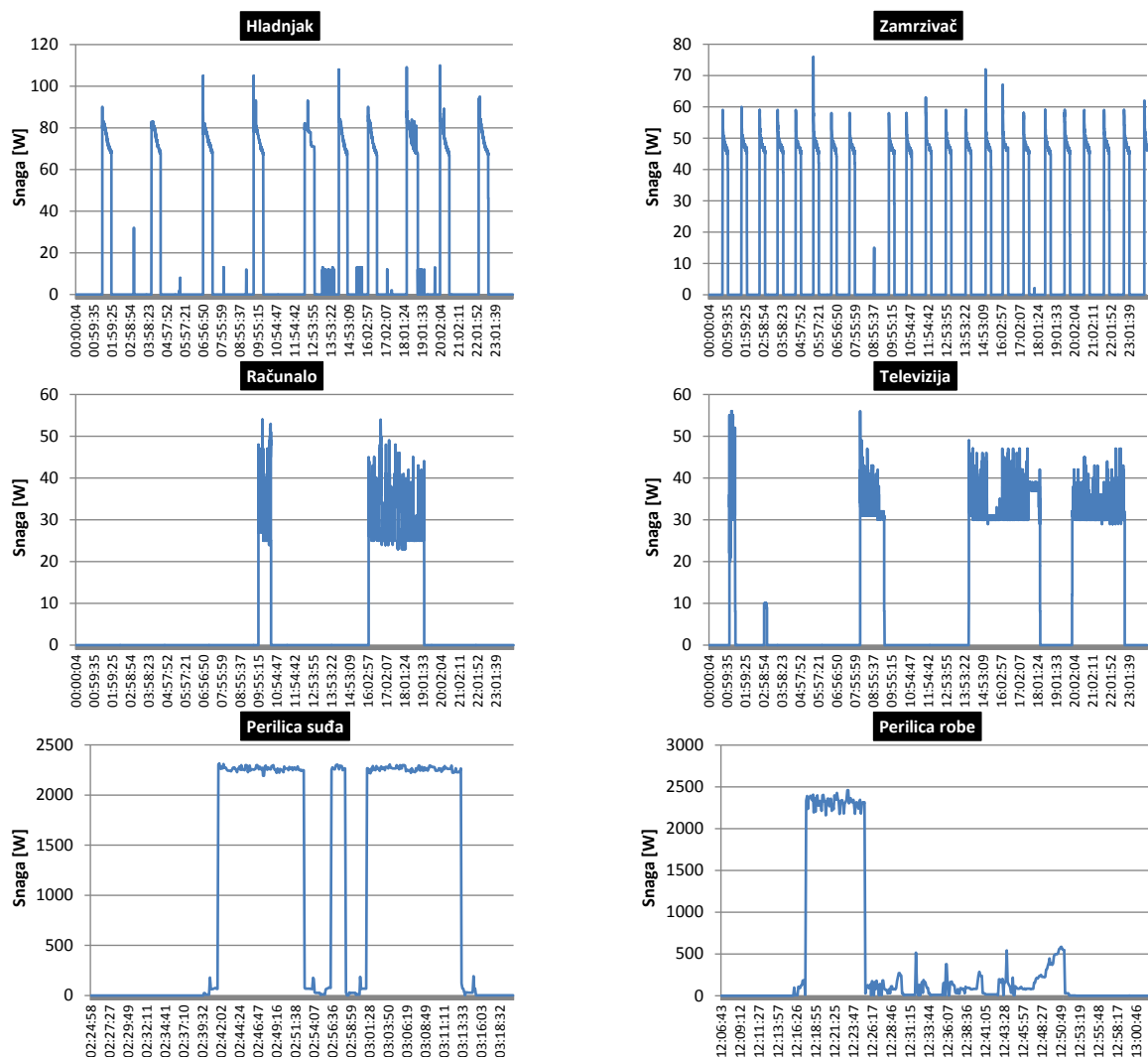


Slika 7. Screenshot aplikacije na Android platformi

3. REZULTATI MJERENJA

Na slici 8. prikazani su rezultati mjerenja potrošnje za neke karakteristične tipove trošila koje pronalazimo u kućanstvima. Iako su na slici prikazane samo vrijednosti promjene radne snage za pojedinačno trošilo, napredno brojilo u ovisnosti o izvedbi mjeri i šalje i ostale podatke poput: napona, struja, frekvencije, jalove snage, radne/jalove energije u oba smjera, ...

Sa slike je vidljivo da određena trošila pokazuju karakteristični uzorak potrošnje koji se kao takav može raspoznati i detektirati u ukupnoj potrošnji na razini potrošača. Danas se upravo ulažu značajni naponi u ovaj aspekt mjerenja i detekcije. Riječ je o takozvanom neinvazivnom nadzoru potrošnje (eng. Non-intrusive appliance load monitoring) pomoću kojeg je moguće temeljem mjerenja sa glavnog obračunskog mjesta raspodijeliti potrošnju po trošilima unutra objekta potrošača. Ovime se onda može ustanoviti dinamika rada pojedinačnog trošila, udio njegove potrošnje ukupnoj mjesečnoj potrošnji ali i druge praktične koristi za potrošače. Spomenute metode identifikacije pojedinačnih trošila u ukupnoj potrošnji bazirane su na metodama poput: skrivenih Markovljevih modela, umjetne inteligencije, strojnog učenja, neuronskih mreža i dubokog učenja,... Daljnji razvoj opisanog sustava ići će upravo u smjeru analize mogućnosti implementacije metoda za dezintegraciju potrošnje po trošilima.



Slika 8. Rezultati mjerenja nekih karakterističnih trošila u kućanstvima

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljeno je rješenje naprednog brojila koji putem ESP8226 modula i MQTT protokola omogućava dvosmjernu komunikaciju između potrošača i operatora/opskrbljivača. Ovakvo rješenje omogućava znatno bolji uvid u način trošenja električne energije kako za operatora/opskrbljivača tako i za krajnjeg korisnika. Predloženo rješenje omogućuje i jednostavno kontrolu potrošnje za korisnike koji su spremni na takav oblik regulacije u diskretnim koracima prema preferiranom redu isključivanja kojeg definira sam korisnik. Sustav je modularan i lako proširiv prema čemu može varirati i raspon mjernih veličina.

Daljnja nadogradnja funkcionalnosti ići će u smjeru implementacije dodatnih mjerenja poput mjerenja kvalitete električne energije ali i programskih unaprjeđenja koja omogućavaju automatsko raspoznavanje trošila iz agregiranih podataka o potrošnji.

5. LITERATURA

- [1] World energy outlook 2017, International Energy Agency
- [2] Benchmarking smart metering deployment in the EU-27 with a focus on electricity, European Commission
- [3] <https://www.hivemq.com/blog/how-to-get-started-with-mqtt>
- [4] José Antonio Hoyo-Montaño ; i dr. ; Jesús Nairn Leon-Ortega: „Overview of Non-Intrusive Load Monitoring: A way to energy wise consumption“, 2016 13th International Conference on Power Electronics
- [5] Ahmed Zoha, Alexander Gluhak, i dr. : „Non-Intrusive Load Monitoring Approaches for Disaggregated Energy Sensing: A Survey“, Sensors 2012, 12, 16838-16866;