

Marko Bošnjak
HELB d.o.o.
marko.bosnjak@helb.hr

Zdravko Ivčić
HELB d.o.o.
zdravko.ivcic@helb.hr

Tomislav Geceg
HELB d.o.o.
tomislav.geceg@helb.hr

NAPREDNA MJERNA INFRASTRUKTURA U ZATVORENOM DISTRIBUCIJSKOM SUSTAVU

SAŽETAK

Ovaj članak opisuje sustav za upravljanje mjernim podacima ("SUMP"), napredni koncept za upravljanje podacima o električnoj energiji i aplikaciju Pidgeon koja je razvijena za Raspberry Pi. Pidgeon je razvijen za prikupljanje, pohranjivanje i prijenos podataka s brojila. Pidgeon automatski otkriva brojila, provjerava njihovo stanje, prikuplja mjerenja visoke frekvencije uzrokovana i pohranjuje ih u lokalnu relacijsku bazu podataka prije prijenosa na cloud poslužitelja.

Arhitektura SUMP-a omogućuje centralizirano upravljanje podacima s više lokacija, a aplikacija nudi korisnicima prilagođeno sučelje za praćenje i analizu potrošnje električne energije. Uz optimizaciju frekvencije mjerenja i otpornost na prekide, SUMP omogućuje precizno praćenje, analizu i optimizaciju potrošnje, što doprinosi učinkovitijem upravljanju energetske resursima.

Sustav je osmišljen s naglaskom na fleksibilnost, pouzdanost i skalabilnost, čineći ga vrijednim alatom za održivi razvoj i buduće energetske projekte.

Ključne riječi: zatvoreni distribucijski sustav, napredno mjerenje, IoT

ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE IN A CLOSED DISTRIBUTION SYSTEM

SUMMARY

This article describes System for Meter Management ("SUMP"), an advanced energy management system and the Pidgeon application developed for Raspberry Pi. Pidgeon is designed to collect, store, and transmit meter data. Pidgeon automatically detects meters, checks their status, high-frequency sampling measurements, and stores them in a local relational database before transferring them to a cloud server.

The SUMP architecture enables centralized data management from multiple locations, and the application provides a simple interface for monitoring and analyzing electricity consumption. In addition to optimizing measurement frequency and resilience to outages, SUMP enables precise monitoring, analysis, and optimization of consumption, which contributes to the efficient management of energy resources.

The system was designed with flexibility, reliability, and scalability in mind, making it a valuable tool for sustainable development and future energy projects.

Key words: closed distribution system, advanced metering, IoT

1. UVOD

Zatvoreni distribucijski sustav predstavlja specifičan oblik distribucije energije unutar određenih geografskih ili funkcionalnih granica, koji je u jednoj točki, putem obračunskog mjernog mjesta, priključen na javnu elektroenergetsku mrežu. Ovakvi sustavi omogućuju distribuciju električne energije unutar ograničenog prostora, koji posredno napaja dva ili više korisnika koji obavljaju određenu poslovnu djelatnost, poput industrijskih kompleksa, trgovačkih i poslovnih centara. U takvim sustavima, energija se isporučuje samo korisnicima unutar tog specifičnog područja, a direktan pristup korisnika distribucijskom sustavu nije moguć iz tehničkih i/ili ekonomskih razloga. Zatvoreni distribucijski sustavi u Republici Hrvatskoj moraju biti usklađeni s važećim zakonodavstvom, uključujući tehničke standarde i regulaciju, kako bi se osigurala sigurnost opskrbe i zaštita krajnjih korisnika.

U ovom članku, detaljno će se razmotriti tehničke komponente i izazove implementacije mjerne infrastrukture zatvorenih distribucijskih sustava, uključujući optimizaciju efikasnosti, napredne sustave mjerenja i upravljanja te ulogu koju igraju u osiguravanju stabilnosti energetske opskrbe. Također dan je osvrt na tehničke smjernice koje je potrebno pratiti pri planiranju i implementaciji ovih sustava, kako bi se postigla maksimalna pouzdanost i dugoročna održivost.

2. ZAKONSKI OKVIR

Zakonom o tržištu električne energije [1], kojim je prenesena *Direktiva (EU) 2019/944* [2], definirano je da je zatvoreni distribucijski sustav ("ZDS") sustav koji distribuira električnu energiju, različit od distribucije električne energije, a koji se nalazi unutar zemljopisno ograničene industrijske ili trgovačke lokacije ili lokacije sa zajedničkim uslugama kao što su: gospodarske zone i to: proizvodno-industrijski kompleksi, brodogradilišta, robni terminali, poduzetnički centri i dr., trgovački i poslovni centri i to: shopping centri, uredski prostori, objekti sajamskih priredbi i dr., zdravstveno-rehabilitacijski objekti i to: bolnice, poliklinike, lječilišni centri i dr., hotelsko-turistički objekti i to: hoteli, kampovi, odmarališta, sportsko-rekreacijski centri i dr., prometno-logistički sustavi i to: pomorske/riječne luke i terminali, nautičke marine, zračne luke, željeznički kolodvori, autobusni terminali, specifična cestovna infrastruktura, punionice električnih vozila, skladišni prostori i dr., zone posebne namjene i to: carinske zone, znanstvenoistraživački centri i dr.

Operator ZDS-a je energetski subjekt koji obavlja energetske djelatnosti operatora zatvorenog distribucijskog sustava ("OZDS"). Operator ZDS-a priključuje svakog pojedinog korisnika ZDS-a putem zasebnog obračunskog mjernog mjesta ("OMM"). U dosadašnjoj praksi za operatora se koristi oznaka Operator ZDS-a, a za djelatnost koristimo skraćeno OZDS.

Korisnici ZDS-a plaćaju Operatoru ZDS-a naknadu za korištenje zatvorenog distribucijskog sustava u skladu s odredbama ugovora o korištenju ZDS-a i tarifnom modelu. Operator ZDS-a dužan je na pojedinom ZDS-u primjenjivati istu tarifnu metodologiju za istu kategoriju korisnika ZDS-a. Operator ZDS-a dužan je:

1. voditi, održavati i razvijati siguran, pouzdan i učinkovit zatvoreni distribucijski sustav
2. priključiti na zatvoreni distribucijski sustav građevinu pravne i fizičke osobe koja ispunjava uvjete iz Zakona te koja je izgrađena na temelju građevinske dozvole ili drugog akta za građenje ili za koju je ishodište rješenje o izvedenom stanju, unutar prostora zatvorenog distribucijskog sustava
3. izdati posebne uvjete priključenja u postupku za izgradnju, dogradnju ili rekonstrukciju građevina unutar zatvorenog distribucijskog sustava
4. osigurati korisnicima priključenim na zatvoreni distribucijski sustav propisanu kvalitetu opskrbe električnom energijom
5. pratiti pokazatelje sigurnosti opskrbe i kvalitete opskrbe električnom energijom
6. voditi evidenciju podataka potrebnih za utvrđivanje pokazatelja kvalitete opskrbe električnom energijom
7. distribuirati električnu energiju na temelju sklopljenih ugovora s korisnicima sustava
8. osigurati objektivne, jednake i transparentne uvjete pristupa zatvorenom distribucijskom sustavu
9. na razini zatvorenog distribucijskog sustava osigurati mjerenje potrošnje električne energije i očitavanje mjernih uređaja
10. održavati mjerne uređaje te prikupljati i obrađivati mjerne podatke s obračunskih mjernih mjesta korisnika mreže, u skladu s odredbama Zakona i drugim propisima
11. voditi registar obračunskih mjernih mjesta za mjesta isporuke na zatvorenoj distribucijskoj mreži
12. na zahtjev korisnika zatvorenog distribucijskog sustava, davati jasne i precizne informacije

13. osigurati prihvaćanje reklamacija s obzirom na pristup i korištenje zatvorene distribucijske mreže i mehanizam za učinkovito rješavanje pritužbi i izvansudsko rješavanje sporova
14. osigurati zaštitu povjerljivosti podataka koje je saznao u obavljanju djelatnosti operatora zatvorenog distribucijskog sustava.

2.1. Mjerni standard u ZDS-u

Stav je autora i stručne javnosti, iako nigdje nije jasno zakonski definirano, da korisnici ZDS-a moraju imati barem istu kvalitetu usluge kao u javnoj distribucijskoj mreži gdje je jedini operator u Hrvatskoj HEP ODS. Ne predviđa se da će unutar ZDS biti priključeni korisnici na visokom naponu, ali je moguće da će ZDS biti priključen na prijenosnu mrežu. Prema tome primjenjuju se barem isti standardi kvalitete mjerenja kao u javnoj distribucijskoj mreži u najvećoj mjeri, odnosno primjenjuju se isti ili viši standardi gdje je moguće. Slično kao u *Mrežnim pravilima distribucijskog sustava* [3] koristiti se idući standard:

Na obračunskim mjernim mjestima Korisnika ZDS-a s priključkom na niskom naponu, priključne snage do uključivo 50 kW, u izravnom mjerenju, mjerila moraju imati najmanje sljedeće standardne mjerne značajke:

- brojila za izravno mjerenje radne energije i snage u dva smjera,
- brojila za mjerenje jalove energije u četiri kvadranta,
- razred točnosti brojila za mjerenje radne energije B,
- razred točnosti brojila za mjerenje jalove energije 3,
- mjerenje i pohranjivanje krivulje opterećenja,
- omogućavanje pristupa mjernim podacima putem izlaza brojila te
- prikupljanje podataka putem sustava za upravljanje mjernim podacima.

Na obračunskim mjernim mjestima Korisnika ZDS-a s priključkom na niskom naponu, priključne snage veće od 50 kW, u poluizravnom mjerenju, mjerila moraju imati najmanje sljedeće standardne mjerne značajke:

- strujni mjerni transformator razreda točnosti 0,5S uz faktor sigurnosti 5 ili 10,
- brojila za mjerenje radne energije i snage u dva smjera,
- brojila za mjerenje jalove energije u četiri kvadranta,
- razred točnosti brojila za mjerenje radne energije 0,5S,
- razred točnosti brojila za mjerenje jalove energije 2,
- mjerenje i pohranjivanje krivulje opterećenja,
- omogućavanje pristupa mjernim podacima putem izlaza brojila te
- prikupljanje podataka putem sustava za upravljanje mjernim podacima.

Na obračunskim mjernim mjestima Korisnika ZDS-a s priključkom na srednjem naponu, u neizravnom mjerenju, mjerila moraju imati najmanje sljedeće standardne mjerne značajke:

- naponski mjerni transformatori razreda točnosti 0,5,
- strujni mjerni transformator razreda točnosti 0,5S uz faktor sigurnosti 5 ili 10,
- brojila za mjerenje radne energije i snage u dva smjera,
- brojila za mjerenje jalove energije u četiri kvadranta,
- razred točnosti brojila za mjerenje radne energije 0,5S,
- razred točnosti brojila za mjerenje jalove energije 2,
- mjerenje i pohranjivanje krivulje opterećenja,
- omogućavanje pristupa mjernim podacima putem izlaza brojila te
- prikupljanje podataka putem sustava za prikupljanje mjernih podataka.

Na obračunskom mjernom mjestu potrebno je koristiti brojilo električne energije koje ima tipno odobrenje i važeću ovjeru. Na obračunskom mjernom mjestu potrebno je koristiti mjerne transformatore koji imaju tipno odobrenje i važeću ovjeru. Niže je navedena tehnička regulativa koja je primjenjiva na mjerila na obračunskim mjernim mjestima:

- *Zakon o mjeriteljstvu NN 74/14, 111/18, 114/22*
- *Pravilnik o tehničkim i mjeriteljskim zahtjevima koji se odnose na mjerila NN 21/16*

- *Pravilnik o visini i načinu plaćanja naknade za mjeriteljske poslove koje obavlja Državni zavod za mjeriteljstvo ili ovlašteno tijelo NN 121/14, 66/18, 133/20, 150/22*
- *Pravilnik o postupku ispitivanja brojila električne energije namijenjenih za uporabu u kućanstvu, trgovini i lakoj industriji NN 4/19*
- *Pravilnik o mjeriteljskim i tehničkim zahtjevima za statička brojila djelatne električne energije razreda točnosti 0,2 S i 0,5 S NN 81/05, 11/06*
- *Pravilnik o mjeriteljskim i tehničkim zahtjevima za statička brojila jalove električne energije razreda točnosti 2 i 3 NN 81/05, 11/06*
- *Pravilnik o ovjernim razdobljima za pojedina zakonita mjerila i načinu njihove primjene i o umjernim razdobljima za etalone koji se upotrebljavaju za ovjeravanje zakonitih mjerila NN 133/20*
- *Pravilnik o načinu na koji se provodi ispitivanje tipa mjerila NN 24/17*
- *Pravilnik o mjeriteljskim i tehničkim zahtjevima za mjerne transformatore u mjernim grupama za mjerenje električne energije NN 11/06*

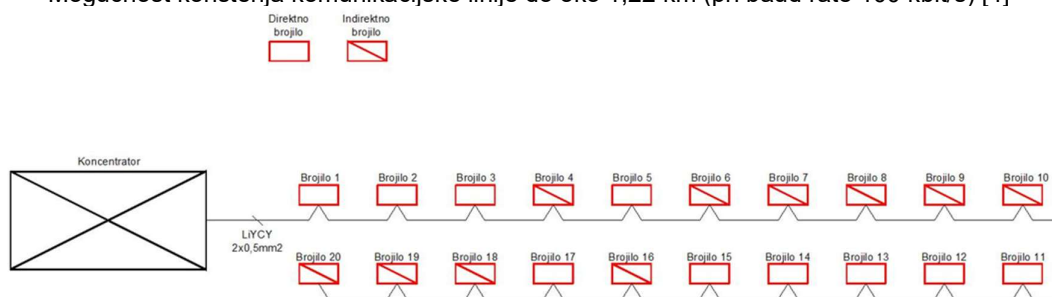
3. MJERNA OPREMA HARDVERSE KOMPONENTE

Za potrebe vođenja zatvorenih distribucijskih sustava i obračuna mjernih podataka potreban je sustav za upravljanje mjernim podatcima (SUMP). SUMP mora pouzdano očitavati mjerne podatke, izdavati račune, omogućiti obračun, te omogućiti detaljni uvid u trenutačno stanje sustava. SUMP se sastoji od mjernih uređaja i opreme, komunikacijskih i računalnih uređaja te softvera. Proizvod je u potpunosti rezultat rada tima odgovornog za razvoj i istraživanje. Podloga za razvoj SUMP-a su napredna tehnička rješenja. Osnovno načelo SUMP-a je da nije vezan uz niti jednog proizvođača mjerila već je univerzalno primjenjiv za mjerila različitih proizvođača.

SUMP je dizajniran tako da omogućava djelatnicima Operatora ZDS-a neprekidno praćenje stanja potrošnje električne energije te pogonskog statusa ZDS-ova, što omogućava odgovarajuću razinu pouzdanosti isporuke električne energije. S druge strane SUMP omogućava ostalim korisnicima (Korisnik ZDS-a, Vlasnik ZDS-a) uvid u potrošnju električne energije, u gotovo realnom vremenu, čime im je osigurano transparentno korištenje mreže ZDS-a. Pristup i korištenje SUMP-a omogućen je s pomoću web stranice.

Na slici 1 prikazana je oprema koja se ugrađuje na lokaciji. U praksi se koristi LiYCY kabel zbog zaštite od elektromagnetskih smetnji, međutim moguće je koristiti i druge komunikacijske kabele. Upotrebljava se komunikacijski protokol RS-485, što ima više pogodnosti:

- Široka rasprostranjenost tehnologije kod proizvođača brojila i komunikacijskih uređaja
- Pouzdana i jeftina implementacija
- Jedan master uređaj za više slave brojila
- Korištenjem upletenih parica značajno se smanjuju elektromagnetske smetnje
- Jednostavna nadogradnja s novim brojlilima
- Mogućnost korištenja komunikacijske linije do oko 1,22 km (pri baud rate 100 kbit/s) [4]



Slika 1. Pregledna shema mjernog sustava

Minimalan skup veličina koje trebaju pohranjivati i mjeriti je preuzet iz *Pravila o mjernim podacima* [5] i [3] prikazan je u tablici I.

Tablica I. Minimalni skup mjernih veličina

Radna energija u pozitivnom smjeru (potrošnja)	Jalova energija u negativnom smjeru
Radna energija u negativnom smjeru (proizvodnja)	Jalova energija po kvadrantima (I, II, III, IV)
Radna snaga u pozitivnom smjeru (potrošnja)	Jalova snaga u pozitivnom smjeru
Radna snaga u negativnom smjeru (proizvodnja)	Jalova snaga u negativnom smjeru
Jalova energija u pozitivnom smjeru	Jalova snaga po kvadrantima (I, II, III, IV)

3.1. Brojila električne energije

Brojila električne energije imaju funkciju mjerenja i pohranjivanja kumulativnih vrijednosti. Digitalna brojila zapisuju trenutne i kumulativne vrijednosti u svoje digitalne registre. Budući da je tehnički moguće redovito očitavati veći broj vrijednosti od minimalno postavljenog u tablici I bez značajnog dodatnog opterećenja, isto je i poželjno. Za potrebe djelatnosti OZDS-a potrebno je sa sekundarnih OMM-a prikupljati barem fazne vrijednosti struje, napona, radne i jalove snage, te kumulativne registre energije. U ponudi brojila na tržištu koja koriste Modbus RTU komunikaciju imaju standardno baud rate od 9600 do 115200 baud/s. U tablici II je popis registara koji se s brojila očitavaju daljinski. Rezolucija od npr. 0.1 znači da brojilo može mjeriti fizikalnu veličinu do prve decimale. Tipovi registara po tipu podatka:

- u32 - pozitivni 32-bitni cijeli broj,
- s32 - 32-bitni cijeli broj,
- u64 - pozitivni 64-bitni cijeli broj.

Tablica II. Primjer registara za daljinsko očitavanje

Rezolucija	Mjerna veličina	Tip podatka	Mjerna jedinica
0.1	Napon L1	u32	V
0.1	Napon L2	u32	V
0.1	Napon L3	u32	V
0.01	Struja L1	u32	A
0.01	Struja L2	u32	A
0.01	Struja L3	u32	A
0.01	Radna snaga L1	s32	W
0.01	Radna snaga L2	s32	W
0.01	Radna snaga L3	s32	W
0.01	Jalova snaga L1	s32	VAr
0.01	Jalova snaga L2	s32	VAr
0.01	Jalova snaga L3	s32	VAr
10	Ukupno preuzeta radna energija L1	u64	Wh
10	Ukupno preuzeta radna energija L2	u64	Wh
10	Ukupno preuzeta radna energija L3	u64	Wh
10	Ukupno isporučena radna energija L1	u64	Wh
10	Ukupno isporučena radna energija L2	u64	Wh
10	Ukupno isporučena radna energija L3	u64	Wh
10	Ukupno preuzeta jalova energija L1	u64	VArh
10	Ukupno preuzeta jalova energija L2	u64	VArh
10	Ukupno preuzeta jalova energija L3	u64	VArh
10	Ukupno isporučena jalova energija L1	u64	VArh
10	Ukupno isporučena jalova energija L2	u64	VArh
10	Ukupno isporučena jalova energija L3	u64	VArh
10	Ukupno preuzeta radna energija	u64	Wh
10	Ukupno isporučena radna energija	u64	Wh
10	Ukupno preuzeta jalova energija	u64	VArh
10	Ukupno isporučena jalova energija	u64	VArh
10	Ukupno preuzeta radna energija T1	u64	Wh
10	Ukupno preuzeta radna energija T2	u64	Wh

Na mjerila iz usklađenog područja, odnosno na brojila **djelatne električne energije** razreda točnosti A, B i C namijenjena za uporabu u kućanstvu, komercijalnoj uporabi i lakoj industriji, primjenjuju se temeljni i posebni zahtjevi propisani *Pravilnikom o tehničkim i mjeriteljskim zahtjevima koji se odnose na mjerila* [6] (transponirana *Direktiva 2014/32/EC*). Na temelju odredbi navedenog Pravilnika, brojila djelatne električne energije za koja je proveden postupak ocjenjivanja sukladnosti prema jednom od propisanih modula ocjenjivanja sukladnosti provedenom od strane tijela za ocjenjivanje sukladnosti (prijavljeno tijelo - „notified body“) i označena su oznakom prve ovjere Europske unije, odnosno oznakom sukladnosti (oznaka CE i dodatna mjeriteljska oznaka popraćena identifikacijskim brojem prijavljenog tijela) mogu se slobodno staviti na tržište i u uporabu na području Republike Hrvatske.

Ako se radi o kombi brojilu koje se u području zakonskog mjeriteljstva koristi za mjerenje potrošnje djelatne i jalove električne energije, tada se u smislu stavljanja brojila **jalove električne energije**

(neusklađeno područje) na tržište RH, primjenjuju odredbe članka 33. *Zakona o mjeriteljstvu* [7], kojima je propisano da Državni zavod za mjeriteljstvo neće sprječavati stavljanje na tržište i/ili na raspolaganje na tržištu zakonitih mjerila iz neusklađenog područja koja pružaju istu razinu zaštite, ali nisu u potpunosti usklađena s hrvatskim tehničkim normama ili specifikacijama, a koja su na propisan način proizvedena i/ili stavljena na raspolaganje na tržištu u drugoj državi članici Europske unije ili u Turskoj ili u državi potpisnici Sporazuma o Europskom gospodarskom prostoru ili državi koja je u tom smislu sklopila sporazum o međusobnom priznavanju s Republikom Hrvatskom, te da se na mjerila koja se u neusklađenom području stavljaju na tržište i/ili na raspolaganje na tržištu unutar granica Republike Hrvatske primjenjuju odredbe *Uredbe (EU) 2019/515* [8]. Sukladno odredbama *Uredbe (EU) br. 2019/515*, koje se izravno primjenjuju na sve gore navedene države, Republika Hrvatska, kao država članica Europske unije, dužna je prihvaćati sva zakonita mjerila koja se zakonito stavljaju na tržište u drugoj državi članici na temelju važećih tipnih ispitivanja čak i ako su takva mjerila proizvedena i/ili stavljena na tržište u skladu s tehničkim propisima koji nisu u potpunosti usklađeni s trenutačno važećim nacionalnim podzakonskim aktima.

Za stavljanje u uporabu u području zakonskog mjeriteljstva za mjerila iz neusklađenog područja, dakle za područje jalove energije kod kombi brojila električne energije, potrebno je provesti postupak ovjere u Republici Hrvatskoj, a kojim će se utvrditi sukladnost mjerila s odobrenim tipom te propisanim tehničkim i mjeriteljskim zahtjevima [9].

3.2. Strujni i naponski mjerni transformatori

Brojila imaju tipično strujno naponske kontakte dimenzionirane za direktno mjerenje struje od 63 A, 80 A, 125 A i napona od 400 V (3 x 230 V). Ako je potrebno mjeriti struje i napone većih iznosa mora se koristiti uređaj koji visoku struju/napon smanjuje prema fiksnom omjeru na razine koju su prihvatljive za brojila. Takvi uređaji su strujni i naponski mjerni transformatori. Budući da se mjerni transformatori u ZDS-u koriste u svrhu obračuna električne energije, trebaju biti visokog standarda kvalitete te sukladni tehničkoj regulativi RH.

Za strujne mjerne transformatore koji su tipno odobreni na temelju isprave o odobrenju tipa mjerila izdane od strane neke od institucija država članica Europske unije nadležnih za zakonsko mjeriteljstvo nije potrebno od Državnog zavoda za mjeriteljstvo ishoditi rješenje o odobrenju tipa mjerila u svrhu stavljanja istih na tržište Republike Hrvatske.

Ovjeravanje transformatora može obaviti jedno od ovlaštenih tijela za ovjeravanje zakonitih mjerila koji su ovlašteni od strane Državnog zavoda za mjeriteljstvo za ovjeravanje mjernih transformatora, a popis kojih je dostupan na stranicama Državnog zavoda za mjeriteljstvo [10].

3.3. Procesno upravljački modul

Procesno upravljački modul služi za dvosmjernu komunikaciju s brojlilima, upravljanje tarifama te daljinski prijenos mjernih i kontrolnih veličina kao i signala za upravljanje putem različitih komunikacijskih kanala. Procesno upravljački modul može imati i dodatne funkcije:

- ugrađeni sklop za vođenje točnog vremena i mogućnost daljinske sinkronizacije,
- mogućnost prikupljanja i/ili pohranjivanja mjernih i kontrolnih podataka,
- mogućnost daljinskog konfiguriranja brojila,
- alarmiranje ovisno o signalima s brojila ili direktnim mjerenjem na modulu te
- standardna sučelja za daljinsku i lokalnu komunikaciju.

Kao osnova modula koristi Raspberry Pi 4 Model B, 4 GB. Temperatura okoline za vrijeme rada treba biti u granicama od 0°C do 50°C, te je potrebno voditi računa o zadovoljavanju tog uvjeta. Ako se modul nalazi u izrazito nepovoljnoj okolini potrebno je dodati kućište s termalnom pastom za disipaciju topline s procesora na (preferencijalno metalno) kućište. Lokalna pohrana podataka osigurana je korištenjem SSD diska od 1 TB veličine memorije. Na takav način postiže se redundancija pohrane u slučaju kvara na cloudu kao i kvara na routeru.

Dio modula je sučelje za RS-485 komunikaciju koje ima mogućnost povezivanja do 50 brojila bez gubitaka kvalitete komunikacije. Modul ima široki raspon prihvatljivih brzina prijenosa od 300 do 921600 baud/s. Također, prema standardu ima 120 omski otpornik na kraju linije radi gušenja refleksijskih valova. Ovakva konfiguracija omogućava brzinu čitanja pojedinog brojila sa svim registrima iz tablice II od otprilike

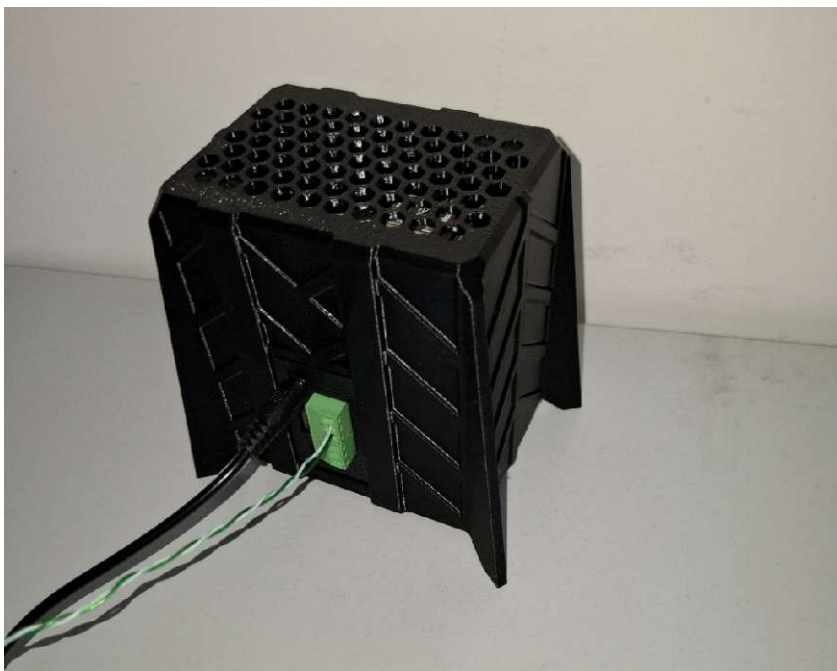
0,3 s. To znači da ako je u komunikacijskoj liniji npr. devet brojila svako brojilo će imati očitavanje svih veličina otprilike svakih 2,7 sekundi.

Za zaštitu od kratkotrajnih prekida napajanja dodane su dvije Li-ion baterije u ulozu UPS-a. Ugrađene su dvije punjive baterije za ukupni kapacitet od 5200 mAh, što je redundancija od otprilike 3 sata, međutim može se lako skalirati s još više baterija za najzahtjevnije uvjete.

Dio modula je i 4G router i modem u jednom uređaju koji omogućava pristup internetu. LTE tehnologija sa 150 Mb/s brzine download i upload brzinom od 50 Mb/s je i više nego dovoljna propusnost.

Kako bi se osigurala potrebna razina fizičke zaštite cijeli modul se stavlja u posebno dizajnirano kućište. Kućište je izrađeno po mjeri i proizvedeno koristeći tehniku 3D printanja. Otporno je na većinu mehaničkih naprezanja i zagrijavanja modula. Dizajn omogućuje pasivno hlađenje bez potrebe za ventilatorom.

Jedino što modul treba za rad je priključak na punjač i priključak na RS-485 komunikacijsku liniju na kojoj se nalaze brojila što uvelike olakšava servis i puštanje u pogon. Na slici 2 prikazan je sastavljeni modul.



Slika 2. Procesno upravljački modul u kućištu

4. SOFTVER I GRAFIČKI PRIKAZ

Pidgeon (hrv. golub pismonoša) je aplikacijski dio SUMP-a baziran na Raspberry Pi-u, dizajniran za prikupljanje i upravljanje podacima o električnoj energiji s različitih lokacija. To je ključna komponenta SUMP-a, koja omogućuje prikupljanje i prijenos podataka iz mjernih uređaja. Glavne značajke su:

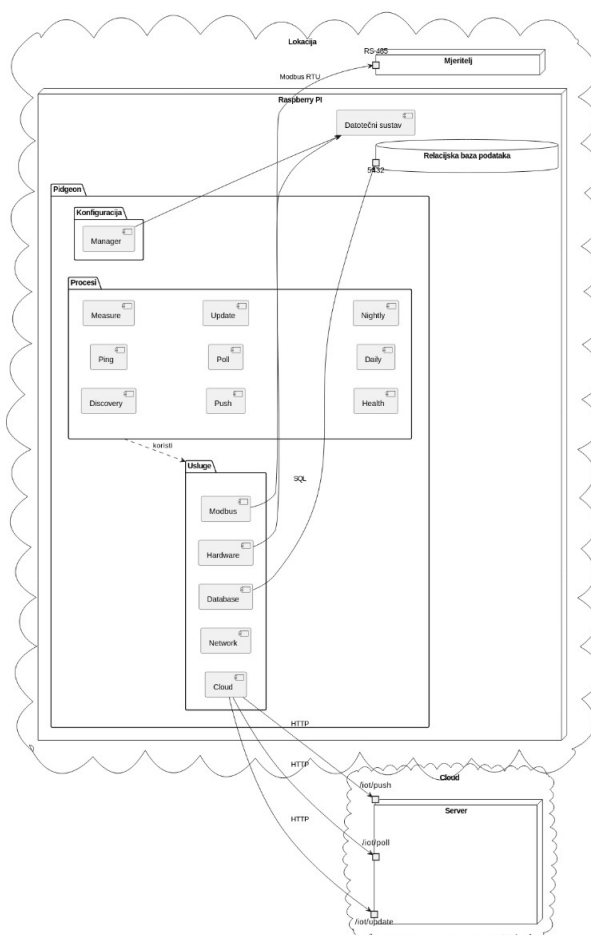
- **Pronalaženje brojila:** Pidgeon automatski otkriva mjerne uređaje koje prepoznaje na fizičkoj komunikacijskoj mreži lokacije,
- **Provjere stanja:** Redoviti pingovi i provjere stanja osiguravaju ispravno funkcioniranje mjernih uređaja i samog Pidgeona,
- **Prikupljanje podataka:** Pozadinski procesi preuzimaju električna mjerenja visoke frekvencije uzrokovana kako bi osigurali točne i aktualne podatke u skoro stvarnom vremenu (eng. near real time),
- **Lokalno pohranjivanje:** Mjerenja se pohranjuju u lokalno instaliranu bazu podataka, koja služi kao međuspremnik (eng. buffer) prije slanja podataka na poslužitelja,
- **Komunikacija s poslužiteljem:** Pidgeon šalje mjerenja na poslužitelja i provjerava ima li ikakvih izmjena u konfiguraciji na poslužitelju.

Automatskim optimiziranjem učestalosti preuzimanja mjerenja, Pidgeon osigurava najtočnije i najnovije podatke. Ovi podaci su preduvjet za generiranje točnih informacija o naplati i pružanje vrijednih podataka za budući razvoj, istraživanje i analizu.

4.1. Arhitektura Pidgeona

Arhitektura Pidgeona dizajnirana je za učinkovito prikupljanje i upravljanje podacima o električnom napajanju. Dijagram na slici 3 pruža vizualni prikaz arhitekture sustava. Raspberry Pi pokreće Pidgeon aplikaciju, koja je podijeljena na tri glavna paketa: Konfiguracija, Usluge i Procesi.

- **Konfiguracija:** Ovaj paket sadrži komponentu Manager, odgovornu za upravljanje konfiguracijom aplikacije.
- **Usluge:** Ovaj paket sadrži nekoliko servisnih komponenti:
 - **Hardware:** Integrira s fizičkim hardverom Raspberry Pi-a,
 - **Network:** Upravljanje mrežnim komunikacijama,
 - **Modbus:** Upravljanje Modbus protokolom za komunikaciju s brojilima,
 - **Database:** Upravljanje lokalnom relacijskom bazom podataka,
 - **Cloud:** Upravljanje komunikacijom s cloud poslužiteljem.
- **Procesi:** Ovaj paket sadrži različite procese koje Pidgeon pokreće:
 - **Discovery:** Otkriva brojila na mreži,
 - **Ping:** Redovito provjerava stanje brojila,
 - **Measure:** Preuzima električna mjerenja iz registara s brojila,
 - **Health:** Provjerava stanje Pidgeona i pohranjuje ga u lokalnu bazu podataka,
 - **Push:** Šalje mjerenja na cloud poslužitelja,
 - **Poll:** Provjerava pri cloud poslužitelju ažuriranje konfiguracije,
 - **Update:** Ažurira poslužitelja o stanju brojila i Raspberry PI-a.



Slika 3. Dijagram arhitekture Pidgeona

4.2. Instalacija

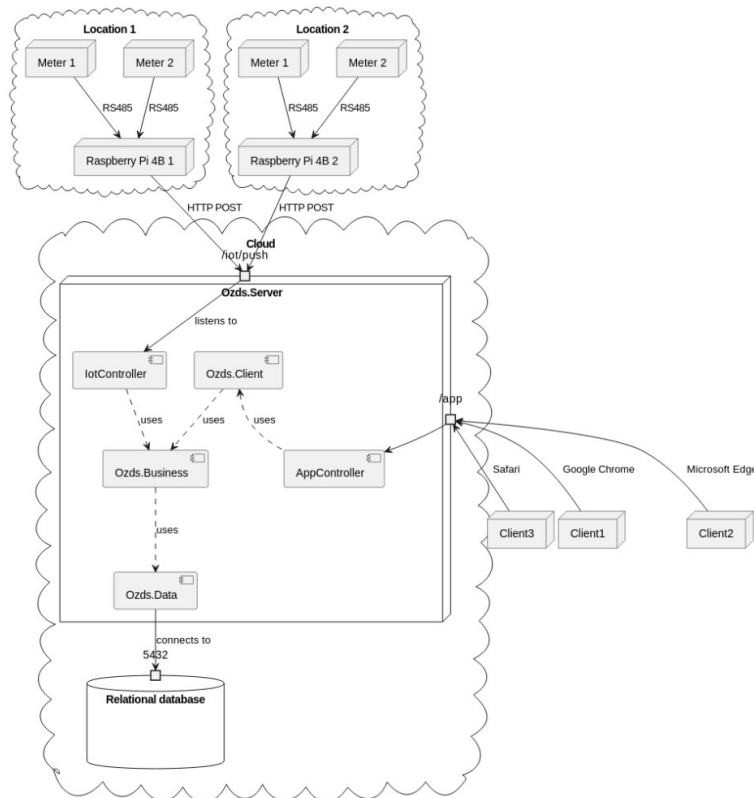
Instalacija Pidgeona sadržava nekoliko koraka, evo pregleda procesa:

- 1) **Generiranje tajni (zaporki):** Skripta u repozitoriju koristi sops i openssl za generiranje tajni za određeni Raspberry Pi. Ovaj korak je ključan za osiguravanje komunikacije između uređaja i poslužitelja.
- 2) **Kreiranje ISO slike:** Druga skripta u repozitoriju koristi nix build za kreiranje ISO slike za uređaj. Ova slika sadrži Pidgeon aplikaciju i sve njene ovisnosti.
- 3) **Umetanje tajnog ključa:** Tajni ključ generiran u koraku 1 umeće se u sliku s pomoću skripte u repozitoriju. Tajni ključ se koristi za dešifriranje tajni generiranih u koraku 1 tijekom pokretanja.
- 4) **Sastavljanje uređaja:** ISO slika se zapisuje na SSD, koji se zatim ugrađuje u ostatak modula, a kabel za napajanje se priključuje.

4.3. Arhitektura SUMP-a

Arhitektura aplikacije SUMP-a je koncipirana kao distribuirani sustav s više lokacija. Sustav se sastoji od poslužitelja koji pokreće aplikaciju, relacijske baze podataka i više lokacija s brojlama prikazano na slici 4. Brojila su povezana s poslužiteljem putem Raspberry Pi uređaja koji djeluje kao posrednik. Poslužitelj prima podatke od brojila i pohranjuje ih u bazu podataka. Poslužitelj također poslužuje web aplikaciju klijentima, koja je podijeljena u tri glavna dijela:

- Ozds.Data: Sloj za pristup podacima,
- Ozds.Client: Klijentska aplikacija,
- Ozds.Business: Poslovna logika.



Slika 4. Graf implementacije za OZDS

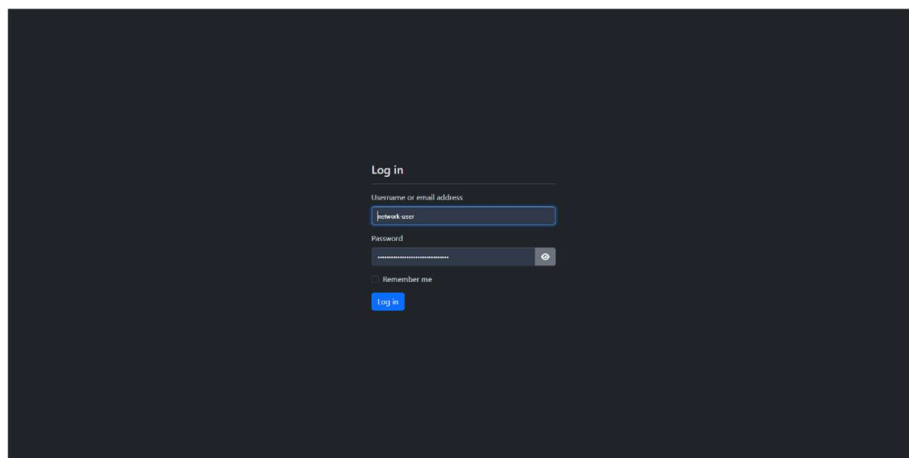
Raspberry Pi uređaji (posrednici) sadrže Pidgeon program koji kontinuirano čita mjerenja s brojila, grupira ih u određenom intervalu i šalje ih na cloud poslužitelja. Program se pokreće putem servisa koji je konfiguriran da se pokrene pri pokretanju sustava i ponovno pokrene u slučaju neuspjeha. Mjerenja se pohranjuju u lokalno instaliranu relacijsku bazu podataka. Mjerenja se šalju na poslužitelja putem posredničkih uređaja preko jednostavnog REST API-ja. Krajnja točka prihvaća poruke u JSON formatu gdje se koriste vremenske oznake prema ISO 8601.

4.4. Korisničko sučelje

Na stranici za prijavu korisnici započinju svoju sesiju, kako je prikazano na slici 5. Nakon prijave, korisnik je preusmjeren na stranicu prilagođenu njegovim potrebama, na temelju vrste korisnika, dopuštenjima za lokacije i OMM-a za koje su odgovorni.

Osnovna podjela pristupa u aplikaciji je podijeljena na tri dijela:

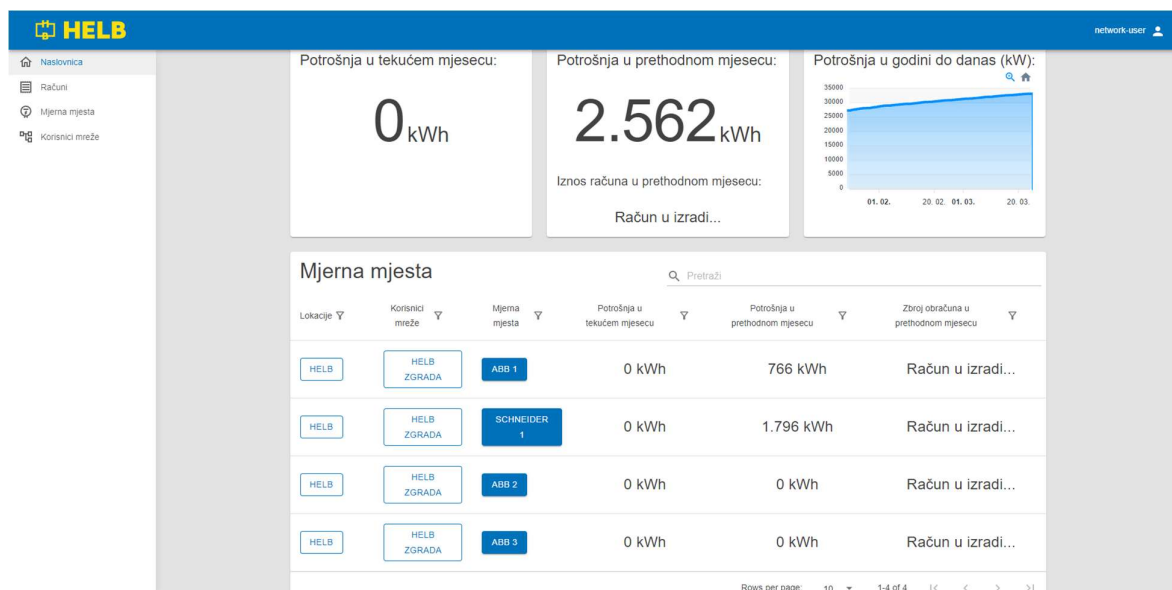
- Korisnik ZDS-a – ima pristup svim podacima za vlastito OMM ili više njih
- Vlasnik ZDS-a – ima pristup svim podacima za sva OMM koja se nalaze na njihovoj lokaciji/ama
- Operator ZDS-a – ima pristup svim podacima za sva OMM pod njegovim upravljanjem, ima ovlasti promjene podataka



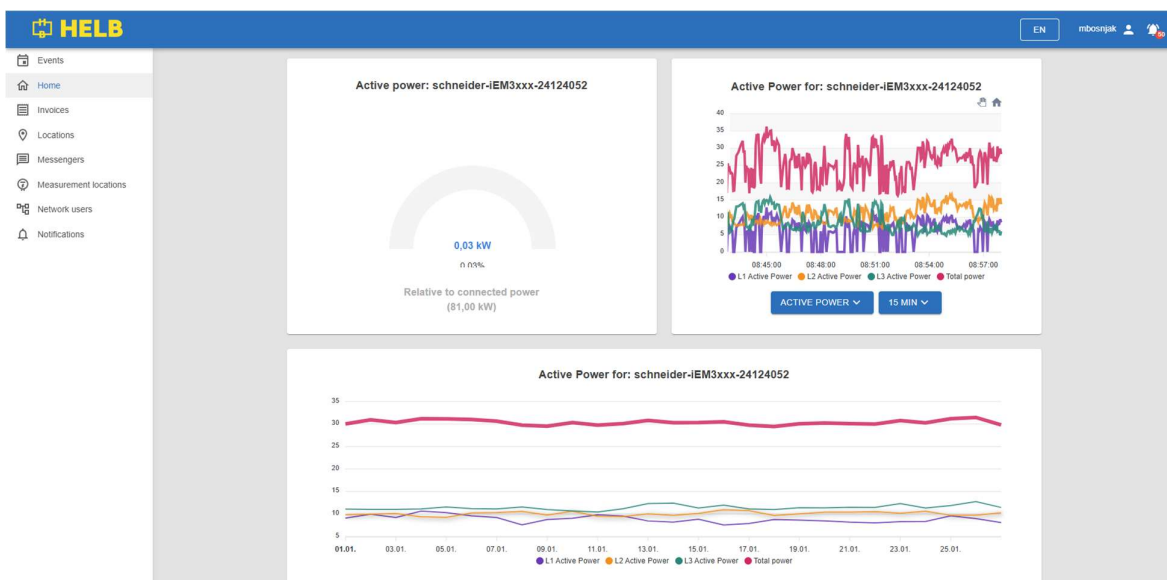
Slika 5. Zaslon za prijavu

Nakon prijave na korisničkom sučelju korisnik ZDS-a može vidjeti na slici 6 agregirane podatke o mjerenju potrošnje za tekući mjesec, prethodni mjesec i grafikon potrošnje tijekom dužeg razdoblja. Ispod agregiranih vrijednosti nalazi se tablica s lokacijama mjerenja koje prikazuju potrošnju pojedinačnih mjernih lokacija u tekućem i prethodnom mjesecu, te ukupne obračune u prethodnom mjesecu.

Klikom na imena lokacija, mrežnih korisnika ili mjernih lokacija, korisnici se preusmjeravaju na detaljan pregled tih entiteta. Odabirom lokacije i korisnici mreže preusmjerava se na pregled podataka o korisniku i privilegijama. Klikom na mjerna mjesta preusmjerava se na detaljan pregled pojedinačnih mjernih lokacija.

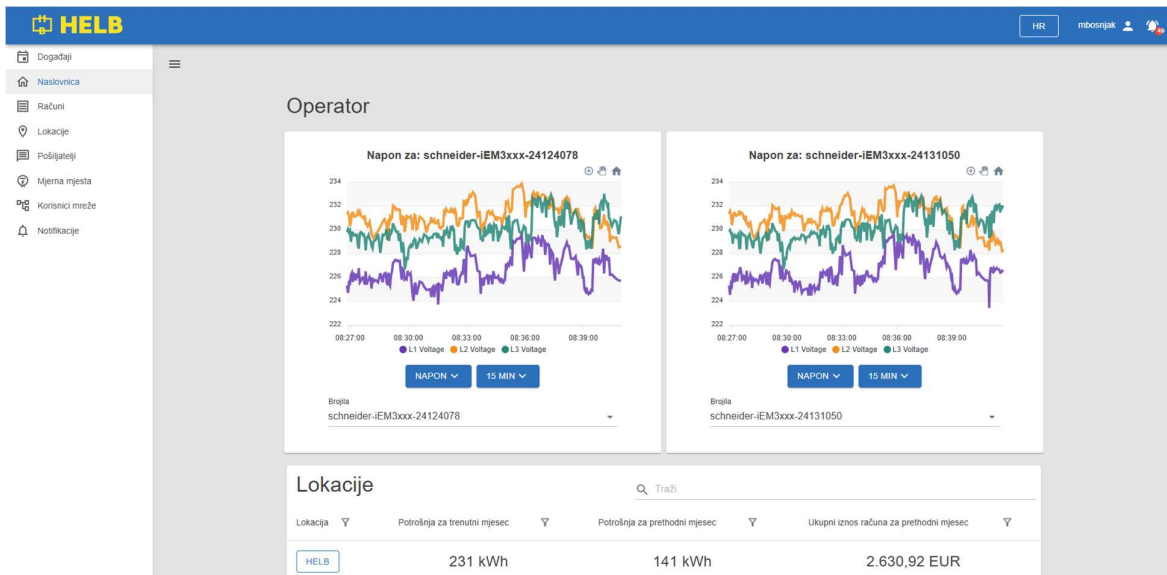


Slika 6. Nadzorna ploča korisnika ZDS-a



Slika 7. Detaljni uvid u potrošnju jednog brojila

Kada se klikne na jednu od mjernih lokacija, postaju vidljivi detaljni podaci o toj mjernoj lokaciji, prikazano na slici 7. Ovaj zaslon dostupan je svim korisnicima neovisno o navigaciji i privilegijama. Drugim riječima, stranice koje nisu ograničene na specifičnu ulogu. Grafikon s desne strane pokazuje mjerenja za posljednjih četvrt sata, pola sata, sat i šest sati, i može prikazivati vrijednosti za napon, struju, aktivnu snagu, reaktivnu snagu i prividnu snagu. Graf se ažurira kontinuirano, ovisno o zadanom intervalu, čim poslužitelj dobije mjerenja. Pokazivač na lijevoj strani pokazuje trenutnu snagu i uspoređuje je s priključnom snagom. Na slici 8 prikazan je nadzorna ploča operatora ZDS-a koji u svakom trenutku ima uvid u sva OMM-a kojima upravlja. Mogu se paralelno prikazivati mjerni podatci za dva brojila, a ispod mjerni podatci za sve lokacije u trenutnom i prethodnom mjesecu, kao i ukupni iznos izdanih računa za tu lokaciju.



Slika 8. Nadzorna ploča operatora ZDS-a

5. ZAKLJUČAK

SUMP predstavlja napredno rješenje za učinkovito prikupljanje i upravljanje podacima o električnoj energiji. Njegova modularna arhitektura i suvremena tehnologija omogućuju visoku razinu prilagodljivosti i pouzdanosti u različitim scenarijima primjene. Automatsko pronalaženje brojila po konfiguraciji, redovite provjere stanja, te gotovo trenutačno prikupljanje i prijenos podataka pružaju odlične alate za optimizaciju potrošnje električne energije i održivo upravljanje energetske resursima.

Implementacija Pidgeona na Raspberry Pi platformi dokazuje da se visoka razina funkcionalnosti može postići korištenjem pristupačnih i prilagodljivih hardverskih rješenja. Lokalno pohranjivanje podataka osigurava otpornost u slučaju prekida komunikacije, dok centralizirano pohranjivanje na poslužitelj omogućuje analizu velikih količina podataka u stvarnom vremenu. Integracija s cloud infrastrukturom dodatno povećava fleksibilnost sustava i omogućuje pristup podacima s bilo koje lokacije.

Korisničko sučelje SUMP-a je intuitivno i prilagođeno potrebama različitih korisnika, omogućujući lako praćenje potrošnje i detaljnu analizu podataka. Ovakav pristup omogućava Operatoru ZDS-a bolje donošenje odluka, identificiranje potencijalnih problema i optimizaciju potrošnje.

SUMP se utvrđuje kao sustav koji može značajno unaprijediti praćenje potrošnje električne energije, pružajući korisnicima ne samo podatke o trenutačnom stanju, već i vrijedne uvide za dugoročno planiranje i analizu. U budućnosti, uz kontinuirani razvoj i prilagodbu novim tehnološkim trendovima, SUMP ima potencijal postati neizostavan alat u upravljanju energijom i promicanju održivog razvoja.

6. LITERATURA

- [1] *Zakon o tržištu električne energije, NN 111/21, 83/23, 17/25*
- [2] *Direktiva (EU) 2019/944 Europskog parlamenta i Vijeća od 5. lipnja 2019. o zajedničkim pravilima za unutarnje tržište električne energije i izmjeni Direktive 2012/27/EU*
- [3] *Mrežna pravila distribucijskog sustava, NN 74/18, 52/20*
- [4] *Bob Dobkin, John Hamburger, "Analog Circuit Design", Newnes, 2015, ISBN 9780128000014*
- [5] *Pravila o mjernim podacima, interni akt HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o. (primjenjuju se od 1. 7. 2008.)*
- [6] *Pravilnik o tehničkim i mjeriteljskim zahtjevima koji se odnose na mjerila, NN 21/16*
- [7] *Zakon o mjeriteljstvu, NN 74/14, 111/18 i 114/22*
- [8] *Uredba (EU) 2019/515 Europskog parlamenta i Vijeća od 19. ožujka 2019. o uzajamnom priznavanju robe koja se zakonito stavlja na tržište u drugoj državi članici i stavljanju izvan snage Uredbe (EZ) br. 764/2008*
- [9] <https://dzm.gov.hr/istaknute-teme/zakonsko-mjeriteljstvo/ovjeravanje-mjerila/popis-ovlastenih-tijela-za-ovjeravanje-zakonitih-mjerila-prema-dodacima-uredbe/13-brojila-elektricne-energije-804/804>
- [10] <https://dzm.gov.hr/istaknute-teme/zakonsko-mjeriteljstvo/ovjeravanje-mjerila/popis-ovlastenih-tijela-za-ovjeravanje-zakonitih-mjerila-prema-dodacima-uredbe/14-mjerni-transformatori-805/805>