

Ivan Galić
HEP-ODS, Elektra Zagreb
Ivan.galic3@hep.hr

Branimir Gabrić
HEP-ODS, Sektor za vođenje sustava
Branimir.gabric1@hep.hr

Josip Janković
HEP-ODS, Elektrodalmacija Split
Josip.jankovic@hep.hr

Kristijan-Frano Čavar
HEP-ODS, Sektor za vođenje sustava
kfcavar@hep.hr

PREGLED ALATA ZA NADZOR STATIČKIH I DINAMIČKIH PARAMETARA DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA

SAŽETAK

U ovom radu bit će opisani različiti alati za praćenje i vizualizaciju dinamičkih parametara unutar distribucijskog sustava, kao i kreiranje izvještaja o njegovim statičkim elementima. Izvještaji pružaju raznolike preglede stanja sustava, uključujući opterećenje svih visokonaponskih (VN) transformatorskih stanica, podatke o javnoj rasvjeti, informacije o sezonskim opterećenjima, dnevnu proizvodnju distribucijskog područja te relevantne podatke iz dnevnika rada. Inicijalni sustav je unaprijeđen dodavanjem indikativne kontrole napona i opterećenja na srednjenaponskim (SN) trafostanicama, koje su sada opremljene sumarnim brojlilima. Osim toga, integrirani su podaci s Internet of Things (IoT) uređaja unutar mreže. Ove nadogradnje omogućavaju detaljniji nadzor i analizu elektroenergetske mreže, čime se dodatno povećava učinkovitost i pouzdanost sustava. Također, kreiran je skup aplikacija kao podrška terenskim jedinicama. Ove aplikacije olakšavaju brzo pronalaženje željene adrese korisnika mreže i pripadnost SN trafostanici, uz izračun ukupne udaljenosti i tipa vodova pri trenutnom uklopnom stanju. Izračuni koji se provode kroz aplikacije također pomažu u kalibraciji zaštitnih uređaja u primarnoj zaštiti. Jedna od aplikacija pruža pregled SCADA događaja u odgovarajućoj transformatorskoj stanici dok je posljednja aplikacija razvijena i kao Android aplikacija. Ovakav pristup izvještavanju omogućava operaterima i inženjerima pristup ključnim informacijama koje su potrebne za održavanje i vođenje elektroenergetske mreže.

Ključne riječi: Digitalizacija distribucijskog sustava, IoT integracija, SCADA nadzor

OVERVIEW OF TOOLS FOR MONITORING STATIC AND DYNAMIC PARAMETERS OF THE DISTRIBUTION SYSTEM

SUMMARY

This paper describes various tools for monitoring and visualizing dynamic parameters within the distribution system, as well as generating reports on its static elements. The reports provide diverse overviews of the system's status, including the load of all high-voltage (HV) transformer stations, public lighting data, seasonal load information, daily production of the distribution area, and relevant data from the operation log. The initial system has been enhanced by adding indicative voltage and load control at medium-voltage (MV) transformer stations, which are now equipped with summary meters. Additionally, data from Internet of Things (IoT) devices within the network have been integrated. These upgrades enable more detailed monitoring and analysis of the power grid, thereby further increasing the system's efficiency and reliability. Furthermore, a set of applications has been created to support field units. These applications facilitate the quick location of the desired customer's address and the corresponding MV transformer station, along with the calculation of the total distance and type of lines in the current switching state. The calculations performed through the applications also assist in the calibration of protective devices in primary protection. One of the applications provides an overview of SCADA events in the corresponding station, while the latest application has also been developed as an Android application. This approach to reporting allows operators and engineers access to key information needed for the maintenance and management of the power grid.

Key words: Digitalization of the distribution system, IoT integration, SCADA monitoring

1. Uvod

Automatizacija procesa izvješćivanja o pogonskim aktivnostima unutar distribucijskog sustava postaje sve važnija zbog potrebe za povećanjem učinkovitosti i pouzdanosti elektroenergetske mreže. Tradicionalni načini izvješćivanja često su zahtijevali mnogo vremena i resursa, što je analizu pogonskih događaja činilo kompleksnijom. Uvođenjem automatiziranih sustava izvješćivanja, operateri i inženjeri mogu brže i preciznije pristupiti relevantnim podacima, što omogućava bolje upravljanje i održavanje mreže. Ovaj rad istražuje različite aspekte automatizacije izvješćivanja, uključujući integraciju IoT uređaja i razvoj aplikacija koje podržavaju terenske jedinice.

2. Aplikacija za kreiranje dnevnih izvještaja o pogonskim stanjima

MJERinfo Panel [1] predstavlja središnju nadzornu ploču unutar MJERinfo ekosustava, dizajniranu da integrira i vizualno prikaže ključne informacije iz različitih distribucijskih sustava HEP ODS-a. Kroz web aplikaciju različite informacije se prikazuju kroz karusel (pokretni kružni panel) koji se automatizmom osvježava novim podacima svakih 10 minuta. Osim centralnog panela čije informacije prikazuju stanje cijele distribucijske mreže HEP ODS-a, kreirani su i paneli s podacima za pojedina distribucijska područja. Karuseli pojedinog panela satkani su od 10-ak različitih ekranskih prikaza koji se u prvom planu aplikacije prikazuju 30 sekundi, a neke od glavnih informacija koje panel donosi su:

1. Karusel prikaz informacija: Informacije se ciklički osvježavaju i prikazuju kroz pokretni kružni panel koji se automatski ažurira svakih 10 minuta, pružajući time najsvježije podatke o mreži.
2. Regionalna specifičnost: Pored centralnog panela koji prikazuje informacije o cijeloj distribucijskoj mreži, postoje i posebni paneli za specifična distribucijska područja kao što su Elektrodalmacija Split, Elektra Zagreb, Elektroslavonija Osijek i Elektra Zadar. Ovo omogućava detaljniji uvid u lokalne energetske tokove i specifičnosti.
3. Vizualizacija geografskih informacija: Panel omogućava geografsku vizualizaciju ključnih informacija, omogućujući korisnicima uvid u raspodjelu i status energetske resursa po teritorijalnim jedinicama.
4. Analiza podataka: Uključuje prikaz dnevnih minimuma i maksimuma, 15-minutne analize podataka, prognostičke modele opterećenja, usporedbu s prethodnim godinama te dijagrame koji obuhvaćaju razdoblje zadnjih 30 dana.
5. Fokus na obnovljive izvore energije: Posebna pažnja posvećena je proizvodnji iz obnovljivih izvora, s prikazima koji sumiraju proizvodnju po tipovima elektrana i daju uvid u maksimalne vrijednosti instalirane snage u stvarnom vremenu.

Korištenje "Panela" omogućuje korisnicima brz i efikasan pristup vitalnim informacijama, podržavajući tako bolje planiranje, nadzor i upravljanje energetske sustavom. Zahvaljujući svojoj integrativnoj funkciji i visokom stupnju automatizacije, ovaj panel predstavlja zanimljiv alat operatera i analitičara unutar HEP ODS-a, optimizirajući kako svakodnevno tako i strateško upravljanje distribucijskom mrežom.

Slika 1. prikazuje kratki dijagram toka aplikacije te prikazuje glavne tehnologije korištene za nastanak istog. Slike 2-4 prikazuju ekranske prikaze aplikacije.



Kreiranje programskih skripti

Putem programskog jezika python kreirau se skripte koje se automatizmom pokreću svakih 10 minuta. Trenutno je aktivno 30 skripti i u planu je nadogradnja. Skripte svoje izlazne podatke upisuju u Mongo DB.

Dodatna Mongo baza

U različite "collectionse" pohranjuju se podaci izračunati u prethodnom koraku. Svakim sljedećim proračunom baza se automatski ažurira.

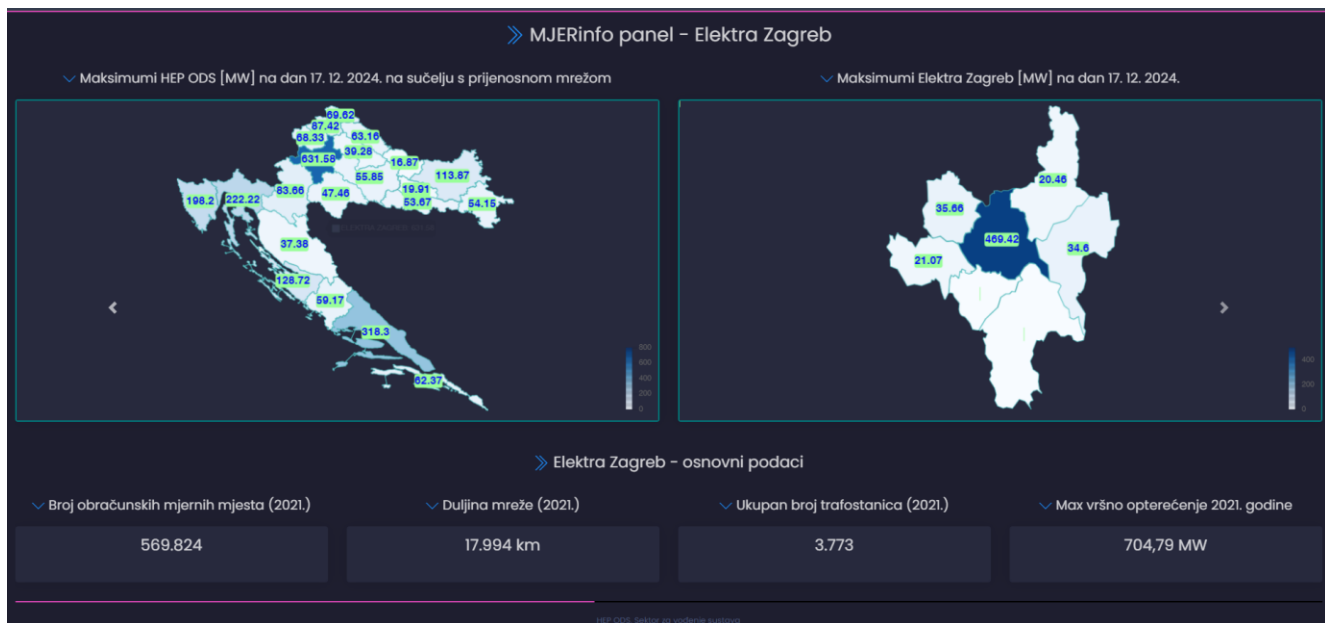
Django Rest Framework

Preuzimanje podataka iz MongoDB te slanje istih u JSON formatu prema korisničkom dijelu aplikacije. Rest server podignut na virtualnom serveru.

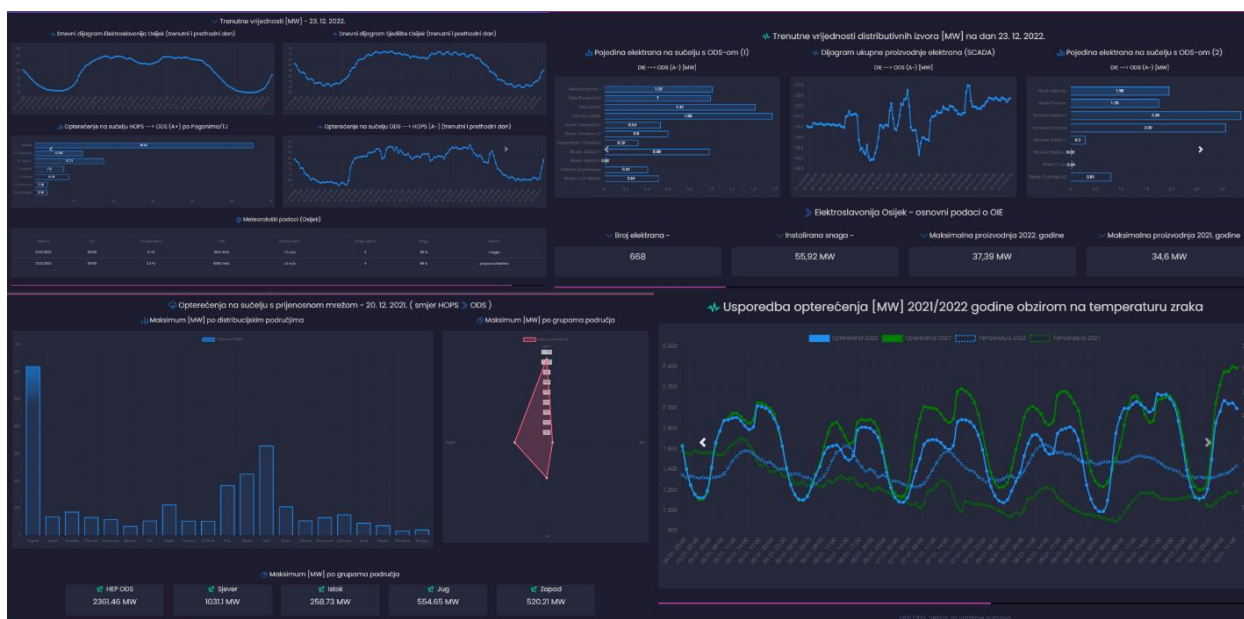
Internet tehnologije

Obrada prethodno opisanih podataka na različite načine koje zahtjeva pojedini ekranski prikaz MJERinfo panel karusela.

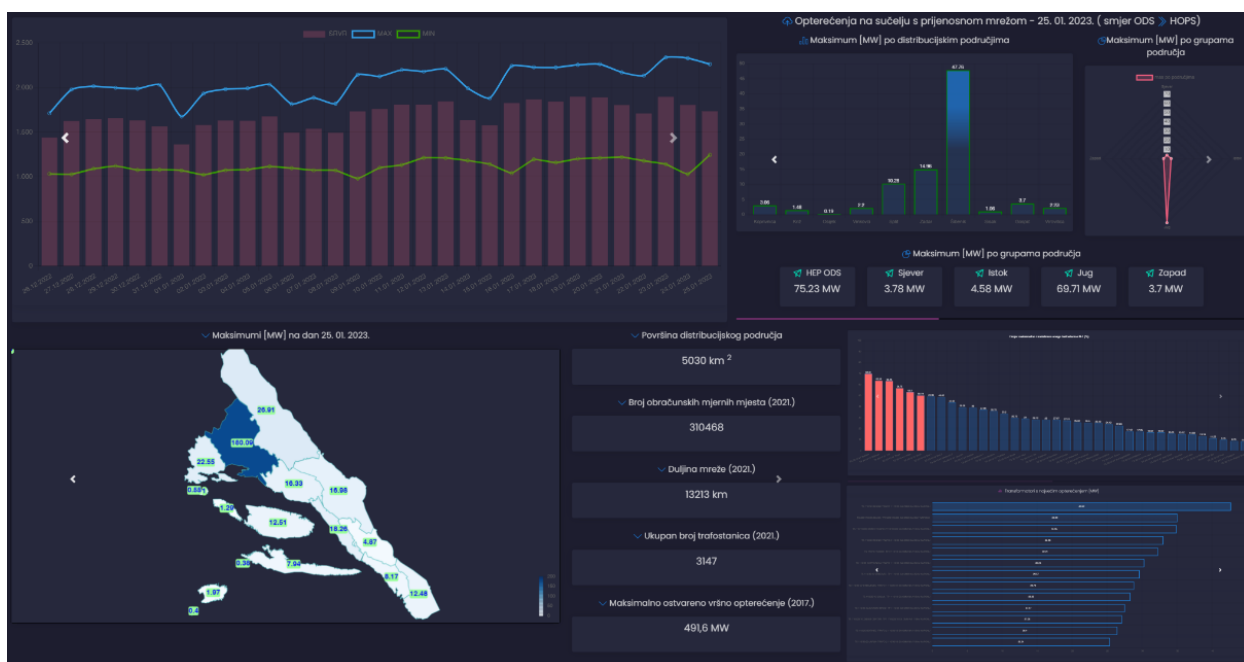
Slika 1. Proces nastanka 'panela'



Slika 2. Primjer ekranskog prikaza panela (a)



Slika 3. Primjer ekranskog prikaza panela (b)

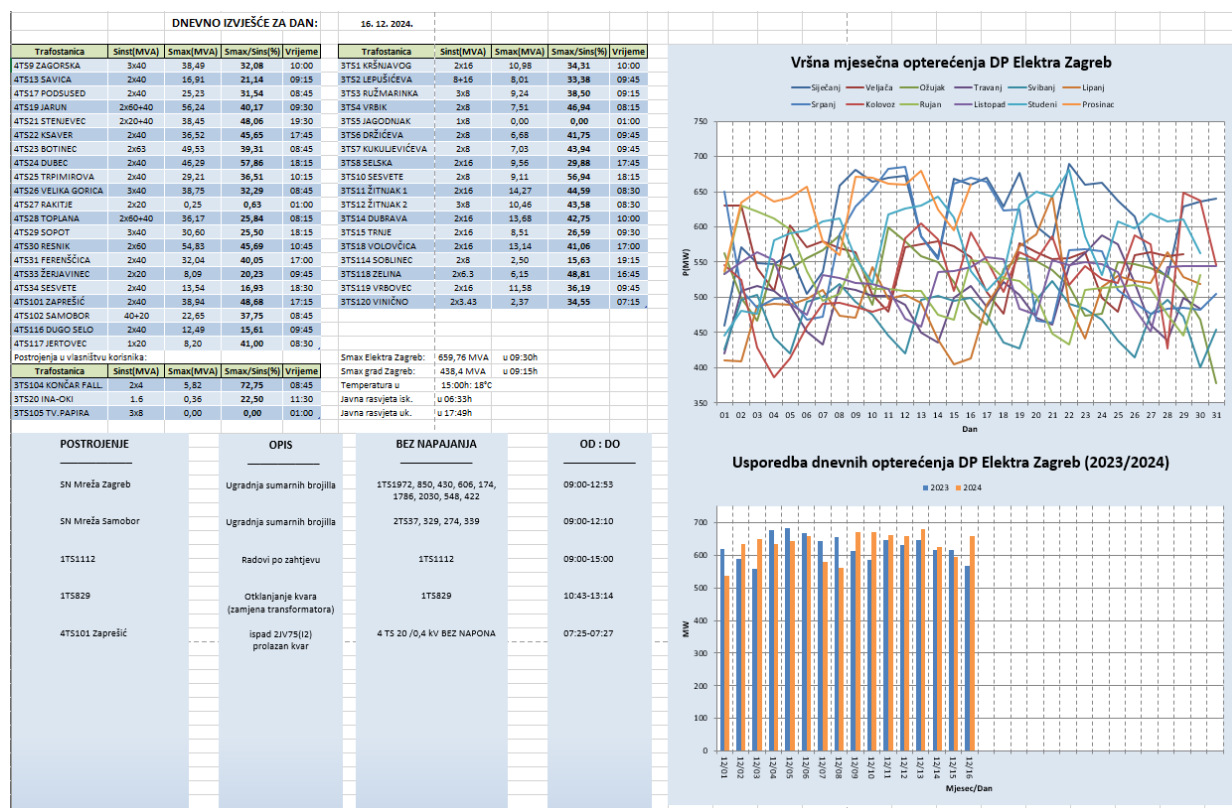


Slika 4. Primjer ekranskog prikaza panela (c)

Za prethodno opisane podatke o dnevnim trenutnim informacijama u sustavu, kreirali smo aplikaciju koja putem automatiziranih programa svakodnevno kreira detaljne izvještaje za distribucijska područja.

Izvještaji uključuju informacije o vršnoj snazi na sučelju s prijenosnom mrežom, kao i na sučelju s distribuiranim izvorima. Također, pružamo tablične prikaze opterećenja pojedinih 110/x kV i 30(35)/x kV trafostanica, što omogućuje precizno praćenje i analizu opterećenja. Vizualizacija izračunatih podataka provodi se putem različitih vrsta grafova, čime se omogućuje jasna i intuitivna prezentacija podataka. Uspoređujemo izračunate rezultate s mjerenjima iz HOPS-a i s rezultatima iz prethodnih godina, što omogućuje praćenje trendova i identifikaciju odstupanja. Analiziramo omjer vršne snage distribucijske mreže u ovisnosti o temperaturi, što je ključno za razumijevanje utjecaja vanjskih uvjeta na mrežu. Također, izračunavamo električnu energiju po danima, što omogućuje detaljan uvid u dnevne varijacije potrošnje. Pratimo udio distribuiranih izvora u cjelokupnom opterećenju DP-a, što je važno za procjenu

integracije obnovljivih izvora energije. Ovi sveobuhvatni izvještaji omogućuju detaljan uvid u rad i učinkovitost distribucijske mreže, te pomažu u donošenju informiranih odluka za optimizaciju sustava i poboljšanje energetske učinkovitosti.



Slika 5. Primjer dnevnog izvještaja

3. Kontrola SN trafostanica kroz analize mjerenja sa sumarnih brojila / IoT uređaja

Integracija sve većeg broja elektrana, posebice onih koje koriste obnovljive izvore kao što su solarna i energija vjetra, postavlja tehničke zahtjeve na stabilnost i pouzdanost mreže. Varijabilnost u proizvodnji energije iz ovih izvora može dovesti do fluktuacija u napajanju koje zahtijevaju napredne metode nadzora i regulacije. To stvara potrebu za rješenjima koja mogu precizno pratiti i upravljati distribucijskom mrežom, osiguravajući da se energetska sigurnost ne ugrožava ni u kojim okolnostima. U tom kontekstu, neophodno je implementirati sofisticirane alate i tehnologije koje mogu učinkovito pratiti i analizirati električnu energiju u realnom vremenu, kako bi se osigurala stabilnost mreže i zadovoljile sve veće potrebe korisnika mreže. Da bi mogli implementirati različiti software, prvo naravno moramo osigurati komunikacijske uređaje po dubini mreže. Tako da je HEP ODS zadnjih godina (naročito kroz projekt SGPP) ugradio preko 7000 sumarnih brojila po 20(10)/0,4kV trafostanicama.

Nastavno na navedena sumarna brojila, kreirana je aplikacija koja omogućava detaljan pregled i praćenje različitih parametara vezanih uz rad transformatora. Ova aplikacija ne samo da prikazuje tokove snaga kroz transformator, već također omogućava praćenje struja kroz sve tri faze. Kontrola napona na fazama je također integrirana, što omogućava sveobuhvatan nadzor nad radom transformatora.

Na slici je prikazana transformatorska stanica s naponskim vrijednostima koje prelaze dozvoljene granice. Ova vizualizacija pomaže operaterima da brzo identificiraju i reagiraju na potencijalne

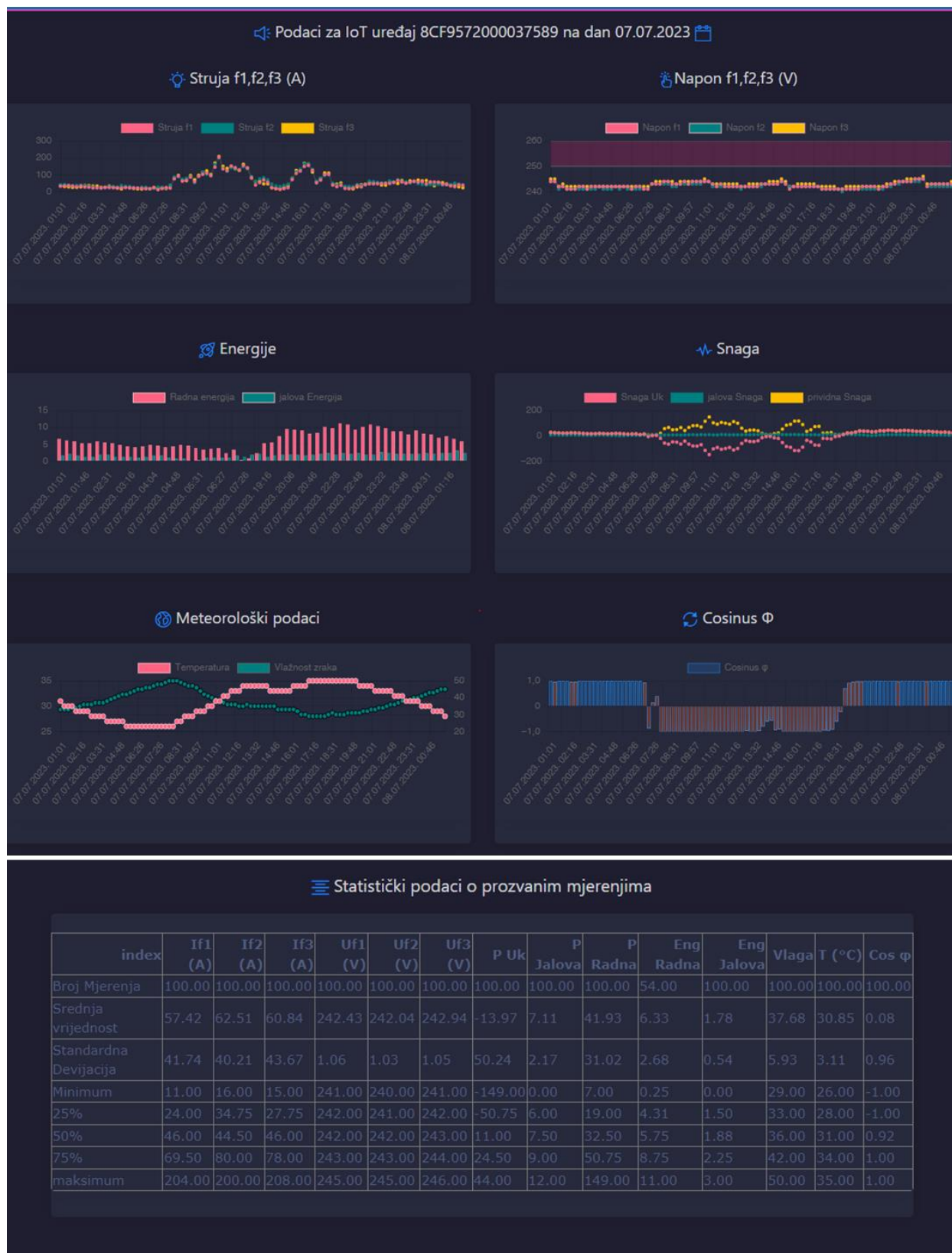
neplanirane događaje u mreži. Dodatno, razvijen je modul unutar aplikacije koji uspoređuje stvarne vrijednosti opterećenja transformatora s njegovim nazivnim podacima. Ovaj modul je posebno koristan jer automatski upozorava operatere ako opterećenje prijeđe kritične vrijednosti. To je od izuzetne važnosti tijekom ljetnih i zimskih mjeseci kada je potrošnja energije obično veća, čime se smanjuje rizik od preopterećenja i mogućih kvarova.

Ova aplikacija i modul zajedno pružaju sveobuhvatan alat za nadzor i upravljanje radom transformatora, osiguravajući stabilnost i pouzdanost elektroenergetskog sustava.



Slika 6. Prikaz podataka iz TS sa sumarnim brojiлом

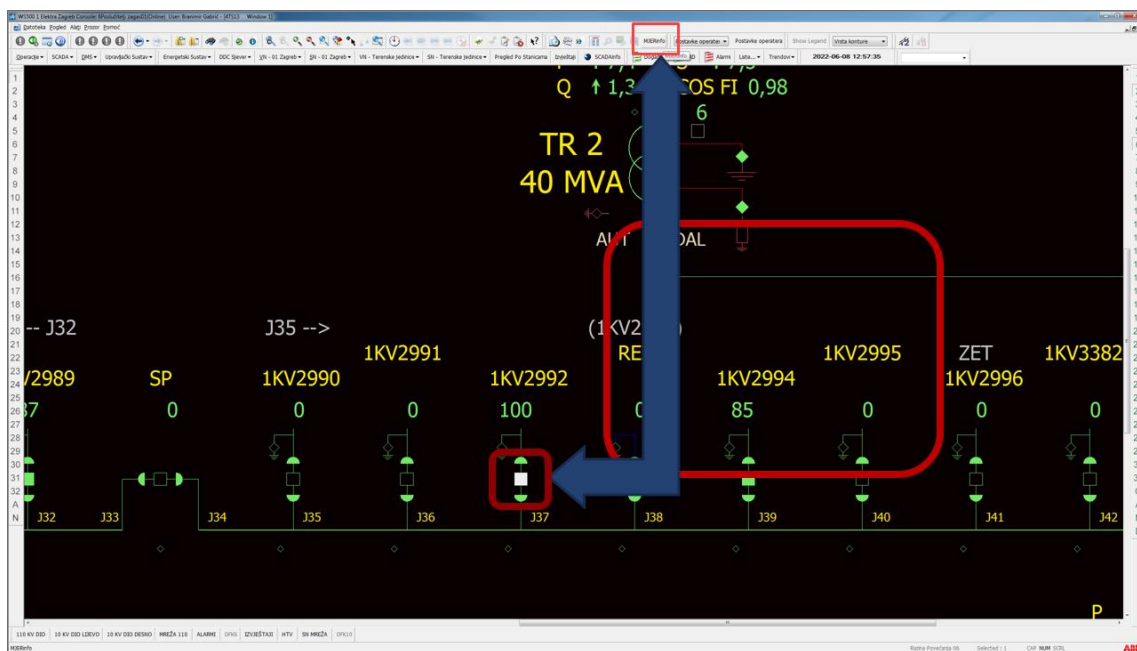
Uvažavajući potencijalno veliku količinu komunikacijskih uređaja u dubini distribucijske mreže za prijenos podataka koji nisu vremenski kritični, a služe u funkciji povećanja osmotrivosti mreže u procesima vođenja pogona, slanje istih standardnim SCADA komunikacijskim protokolom nije ekonomski prihvatljivo. Stoga je HEP ODS primijenio koncept povremenog slanja nekritičnih podataka iz TS 10(20)/0,4 kV prema IoT računalnoj platformi posredstvom LoRAWAN radijske mreže. Krajnji cilj je da sva mjerenja s navedene IoT platforme na kraju završe i u MJERinfo platformi kako bi podaci iz dubine mreže bili dostupni i operatorima na radnim stanicama. Osim toga kreirana je i Web aplikacija koja vizualizira podatke iz TS 10(20)/0,4 kV. U nastavku se nalaze slike ekrana aplikacije.



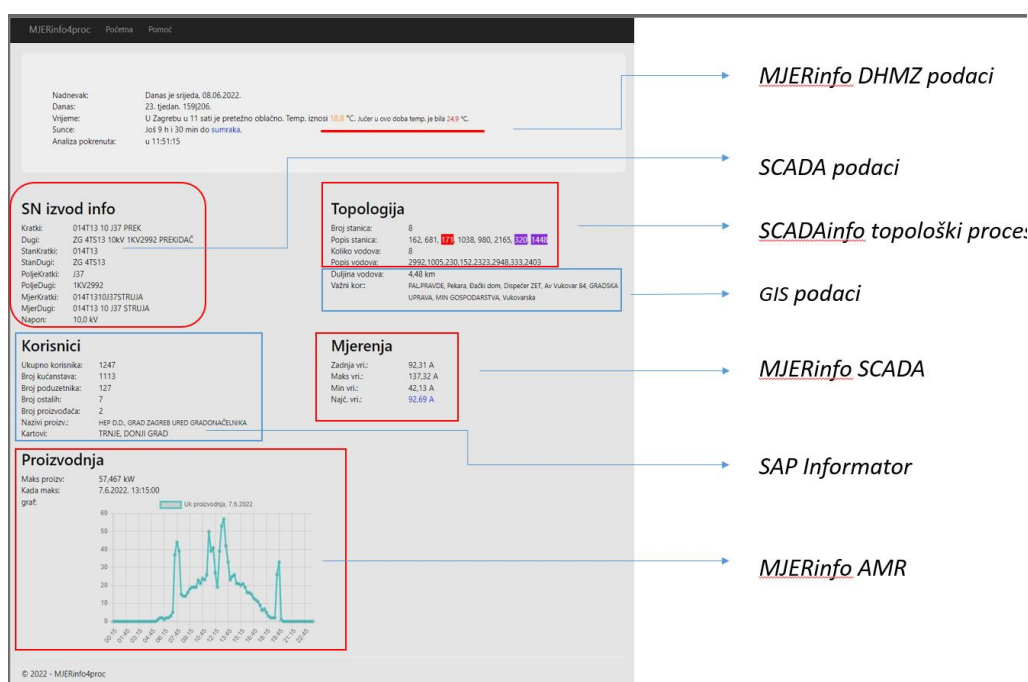
Slika 7. Podaci sa IoT uređaja

4. Tehnički podaci o trafostanicama i uklopnom stanju SN mreže

Uslijed povećanja opsega MJERinfo aplikacija[1] i integracije s ostalim sustavima, kao što su daljinska brojila i GIS, pojavila se potreba za pristupom MJERinfo podacima u procesnoj mreži, konkretno na dispečerskim radnim stanicama. Na temelju te potrebe, razvijen je koncept aplikacije MJERinfo4PROC. Ova aplikacija omogućava dispečerima u Network Manager SCADA sustavu da odaberu mjerenje iz određenog vodnog polja i dobiju sažetak podataka iz poslovne sfere. Slika 9. prikazuje sučelje MJERinfo4PROC web aplikacije. U budućnosti planiramo proširiti ovaj koncept dodatnim podacima potrebnim za napredno vođenje sustava, čime ćemo omogućiti još preciznije i učinkovitije upravljanje energetsom mrežom.



Slika 8. Pokretanje aplikacije na dispečerskoj radnoj stanici



Slika 9. Podaci iz raznih izvora koji opisuju odabrani vod

Također, izrađen je skup aplikacija za podršku terenskim jedinicama Elektre Zagreb. Ove aplikacije olakšavaju brzo pronalaženje željene adrese korisnika mreže i pripadnost SN trafostanici (Slika 10.) te izračun ukupne duljine i tipa vodova pri trenutnom uklopnom stanju (Slika 11.). Izvorište podataka je SAP i GIS. Trenutno uklopno stanje se dohvaća koristeći SCADAinfo MMI okruženje razvijeno unutar tvrtke 2015. godine. Izračuni koji se provode kroz aplikacije pomažu u kalibraciji zaštitnih uređaja u primarnoj zaštiti. Dodatno, prikaz rezultata olakšava zahtjevnije i obimne proračune pristupa novog subjekta u elektroenergetsku mrežu. Dodatno je razvijena Android aplikacija koja instalirana na tabletu ili mobitelu radnicima na poslovima zaštite i mjerenja olakšava prikaz događaja u trafostanici u kojoj trenutno obavljaju zadatak (Slika 12.)

TerenAlati21
Po adresi
Po stanici
Prikaz duljina
Događaji
Mje

anton

Unos

Pogon:
Zagreb

Stanica:
1904

Dohvati po stanici

npr. '1144'

klik ili Enter...

Popis adresa

TS	Tr	Sk	Adr	BrKor
1TS1904	1	1	TRG DRAGE IBLERA 10	155
1TS1904	2	9	TRG DRAGE IBLERA 10	1

156

Slika 10. Prikaz broja korisnika spojenih na odgovarajuću trafostanicu

igalic

Unos

Za dohvat **vodova** iz SCADA sustava

Pogon: **Zagreb**

klik ili Enter...

Unijeti samo broj voda (više odvojiti zarezom),
npr. '2303,151'

Popis kablaskih vodova

Ukupna duljina: **528,01 m**

Sifra	Org	Oznaka	KonNapon	DuljIzmj	DuljIzra	Dionice	Od	Do	akcija
4001004	4001004	1KV2303	10 kV	450,00	461,83	1 XHE 49-A 3x(1x185/25), 20 kV	1TS1455	1TS28	briši
4001004	4001004	1KV151	10 kV	65,00	66,17	1 XHE 49-A 3x(1x185/25), 20 kV	3TS3	1TS2146	briši

Duljina kablaskih vodova po tipovima

Tip voda	Koliko	DuljIzra (m)
XHE 49-A 3x(1x185/25), 20 kV	2	528,01

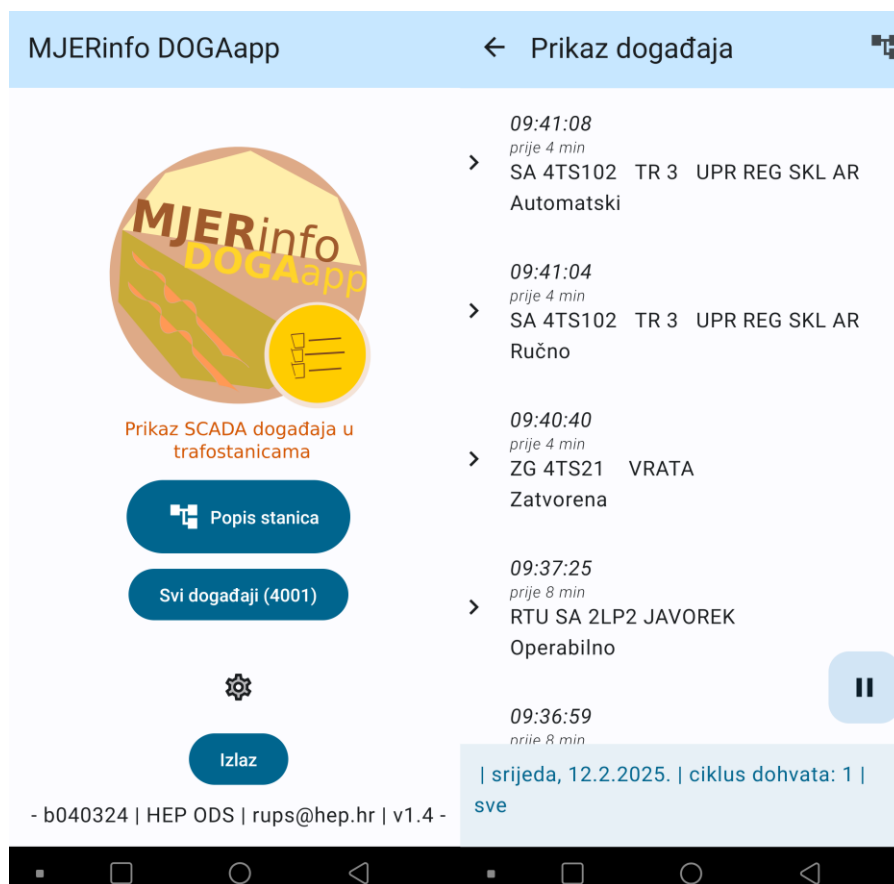
Zadnja izmjena: 24.8.2023.

Slika 11. Prikaz vodova, ukupne duljene i tipa pri trenutnom uklopnom stanju

Za redovne potrebe inženjera koji rade na poslovima relejne zaštite elektroenergetskih postrojenja, razvijena je Android aplikacija koja im omogućava praćenje SCADA događaja u stvarnom vremenu. Ova aplikacija je posebno korisna tijekom različitih manevara koji se provode u svrhu održavanja i popravaka postrojenja.

Kroz aplikaciju, korisnici mogu u stvarnom vremenu pratiti sve promjene koje dolaze u SCADA sustav. To uključuje razne događaje koji se javljaju tijekom rada na terenu. Na taj način, aplikacija značajno olakšava svakodnevni rad i omogućuje bržu reakciju na potencijalne neplanirane događaje

Ova funkcionalnost je ključna za održavanje sigurnosti i pouzdanosti elektroenergetskih postrojenja, jer omogućuje pravovremeno otkrivanje i rješavanje neplaniranih događaja. Inženjeri koje koriste ovu aplikaciju mogu efikasnije obavljati svoje zadatke, što doprinosi ukupnoj učinkovitosti i sigurnosti sustava.



Slika 12. Android aplikacija za odostražni prikaz događaja

Osim navedenih alata, postoje i brojne druge funkcije koje omogućavaju pristup različitim podacima unutar elektroenergetskog sustava. Detaljniji opisi nekih od tih funkcija mogu se pronaći u drugim radovima predstavljenim na ovom savjetovanju.

ZAKLJUČAK

Kako se tradicionalno vođenje elektroenergetskog sustava, gdje energija dolazi prvenstveno iz prijenosne mreže, mijenja s porastom distribucijskih izvora energije, nužna je digitalizacija po dubini mreže. Obrada informacija koje stvaraju razni uređaji, njihova vizualizacija i analiza omogućavaju nadležnima donošenje informiranih odluka. Digitalizacija omogućava precizno praćenje i upravljanje distribucijskom mrežom, što je ključno za stabilnost i pouzdanost sustava. Kombiniranjem podataka o vremenskim serijama mjerenja s tehničkim podacima, različiti dionici, od inženjera na terenu do projektanata sustava, mogu bolje razumjeti i optimizirati rad mreže. Ove promjene ne samo da povećavaju učinkovitost i pouzdanost elektroenergetskog sustava, već i omogućujući bržu reakciju na potencijalne neplanirane događaje čime se osigurava kontinuirana opskrba energijom. Kroz kontinuirani razvoj i implementaciju digitalnih rješenja, HEP ODS odgovara na sve veće zahtjeve modernog društva za energijom, osiguravajući stabilnost i održivost elektroenergetskog sustava, odgovarajući na sve veće zahtjeve modernog društva za energijom.

LITERATURA

- [1] K. F. Čavar, B. Gabrić, I. Periša, "MJERinfo – time series platform", 4th International Conference on Smart Grid Metrology, Cavtat, Croatia, April 2023.