

Anton Marušić
HEP-ODS, Elektra Zagreb
anton.marusic@hep.hr

Mladen Modrovčić
HEP-ODS, Elektra Bjelovar
mladen.modrovacic@hep.hr

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

Srećka Pletikosa
HEP-ODS, Služba za informatiku
srecka.pletikosa@hep.hr

APLIKACIJA ZA PRAĆENJE DISTRIBUIRANIH IZVORA ENERGIJE PO NISKONAPONSKIM IZVODIMA

SAŽETAK

S obzirom na značajan porast broja elektrana koje su spojene na nacionalnu distribucijsku mrežu u Republici Hrvatskoj, te očekivanim nastavkom ovog procesa rasta broja distribuiranih izvora energije, prepoznata je potreba za efikasnim sustavom praćenja i upravljanja lokacijama spoja elektrana s distribucijskom mrežom kako bi se osigurala stabilnost i pouzdanost energetske mreže. Kako bi se odgovorilo na ovaj izazov, razvijena je aplikacija koja omogućuje detaljan pregled elektrana na distribucijskoj mreži Republike Hrvatske od niskonaponskog izvoda elektrane pa do srednjenaponske trafostanice, uključujući i planirane projekte.

Rezultati koje aplikacija generira mogu značajno doprinijeti različitim procesima unutar distribucijskog sustava, od preciznih proračuna do učinkovitog planiranja mreže, što ga čini zanimljivim i korisnim alatom za digitalizaciju i automatizaciju analize podataka distribucijske mreže u Republici Hrvatskoj.

Ključne riječi: Digitalizacija, automatizacija, distribucijska mreža

APPLICATION FOR MONITORING DISTRIBUTED ENERGY SOURCES ON LOW- VOLTAGE FEEDERS

SUMMARY

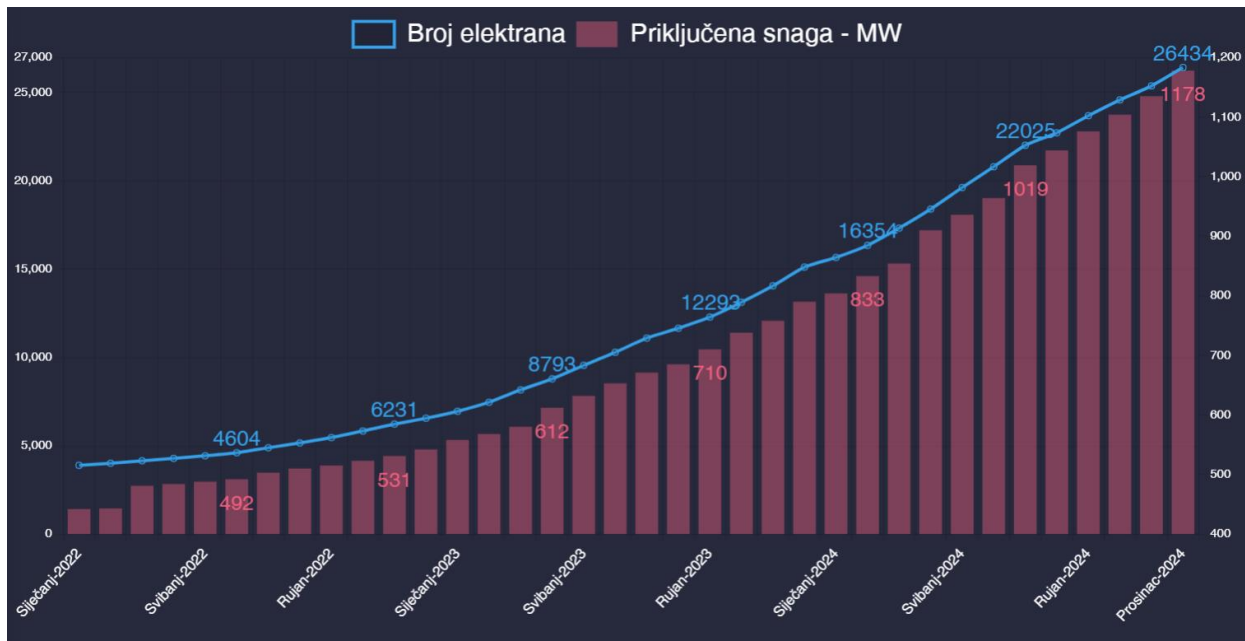
Given the significant increase in the number of power plants connected to the national distribution network in the Republic of Croatia, and the expected continuation of this growth in distributed energy sources, the need for an efficient system to monitor and manage the connection points of power plants to the distribution network has been recognized, in order to ensure the stability and reliability of the energy grid. To address this challenge, an application has been developed that provides a detailed overview of power plants on the distribution network of the Republic of Croatia, from the low-voltage connection point of the power plant to the medium-voltage transformer station, including planned projects.

The results generated by the application can significantly contribute to various processes within the distribution system, from precise calculations to efficient network planning, making it an attractive tool for the digitalization and automation of data analysis in the distribution network of the Republic of Croatia.

Key words: Digitalization, automation, distribution network

1. UVOD

Posljednjih nekoliko godina Republika Hrvatska je svjedočila značajnom porastu broja elektrana koje su spojene na distribucijsku mrežu HEP ODS-a (Slika 1.). Ovaj značajan rast rezultat je ubrzanih investicija u obnovljive izvore energije i šire potrebe za raznovrsnostima energetske resursa, koje su u skladu s nacionalnim strategijama i europskim smjernicama održivog razvoja. S obzirom na težnju k postizanju energetske neovisnosti, ovaj trend ne samo da se očekuje nastaviti, već će se vjerojatno i pojačati u nadolazećim godinama, potaknut novim tehnološkim inovacijama, te sve strožim regulatornim zahtjevima.



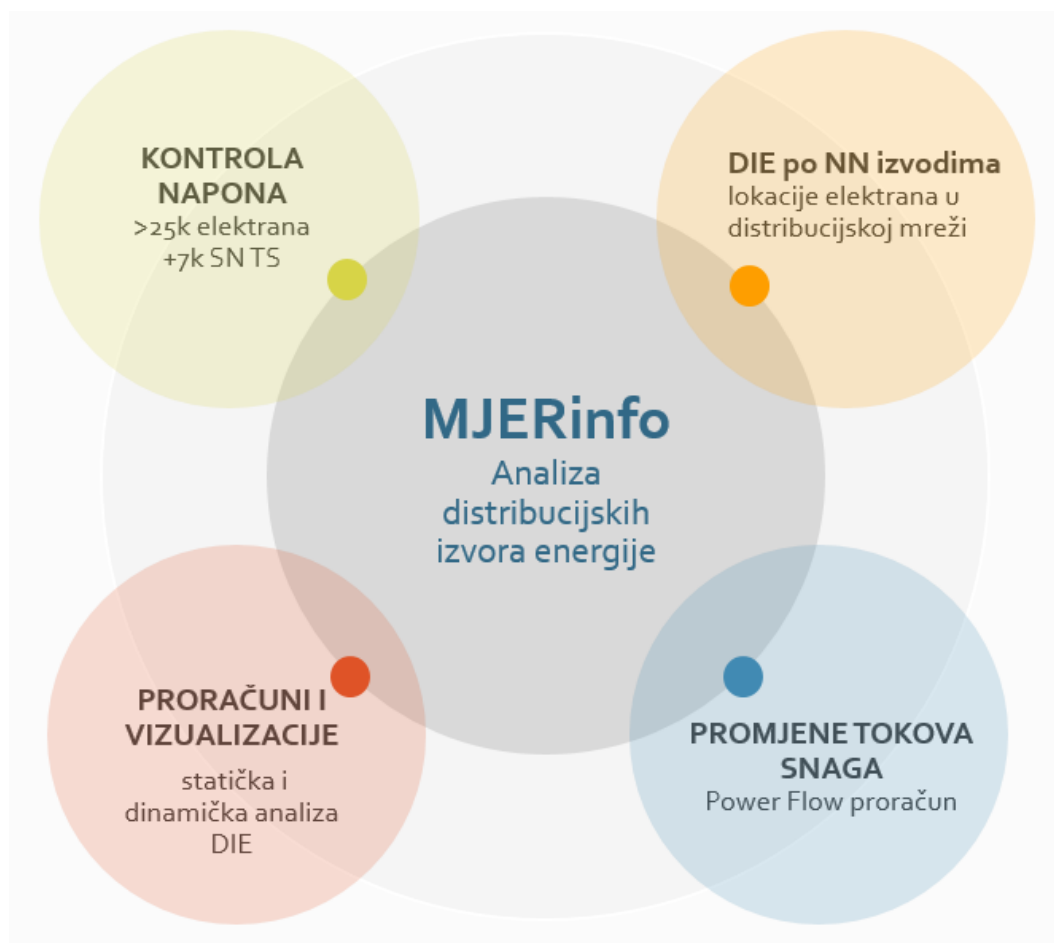
Slika 1. Rast broja elektrana spojenih na distribucijsku mrežu (2021-2024)

Integracija sve većeg broja elektrana, posebice onih koje koriste obnovljive izvore kao što su solarna i energija vjetrova, postavlja tehničke zahtjeve na stabilnost i pouzdanost mreže. Varijabilnost u proizvodnji energije iz ovih izvora može dovesti do fluktuacija u strujno naponskim okolnostima u mreži koje zahtijevaju napredne metode nadzora i regulacije. To stvara potrebu za inovativnim 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 elektroenergetske veličine u mreži u realnom vremenu, kako bi se osigurala stabilnost mreže i zadovoljile sve veće potrebe potrošača.

Sektor za vođenje sustava HEP ODS-a već dugi niz godina aktivno razvija i implementira sustave analize procesnih informacija kroz različite aplikacije [1]. Među njima se posebno izdvaja **MJERinfo** platforma, koja je postavila temelje za daljnji razvoj aplikacija u „data science“ (eng.) svijetu. Na temelju stečenih iskustava, trenutno se radi na razvoju novog modula pod radnim nazivom **‘MJERinfo – DIE analize’** čiji je koncept prikazan na Slici 2..

Ovaj modul uključuje niz aplikacija, a jedna od njih je i aplikacija za praćenje distribuiranih izvora energije po niskonaponskim izvodima koja će biti detaljnije predstavljena u nastavku.



Slika 2. Koncept aplikacija MJERinfo Analiza DIE

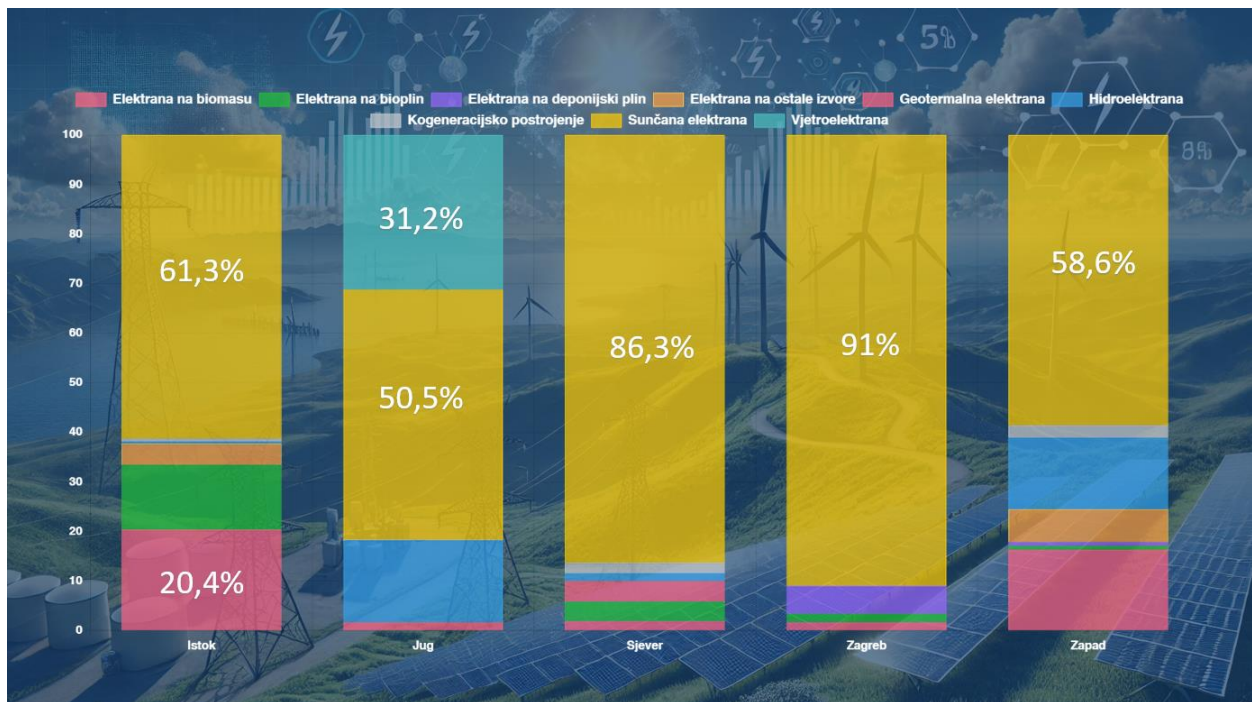
2. Aplikacija za prikaz spoja elektrana na distribucijsku mrežu u Republici Hrvatskoj

2.1. Ideja i potreba za kreiranjem aplikacije

Na ideju inženjera iz Elektre Zagreb, gdje postoji ogroman rast solarnih elektrana (Slika 3.) priključenih na distribucijsku mrežu HEP ODS-a, krenulo se u razvoj aplikacije koja bi olakšala procese priključenja novih elektrana. Bilo je potrebno razviti sustav koji će na brz i jednostavan način za svaku elektranu, sadašnju ili buduću, pronalaziti niskonaponski izvod na koji će se elektranu priključiti ili je već priključena.

Na taj način inženjeri koji planiraju mrežu mogu uvidjeti stanje već spojenih elektrana i potrošača na izvodu na kojem je potreban priključak. Nakon proračuna statičkih uvjeta u mreži, elektrane i niskonaponske izvođe smo povezali s vremenskim serijama mjerenja, uključujući podatke o mjerenjima s pametnih brojila u elektranama, čime smo dobili dodatne informacije o opterećenju na izvodima i naponskim uvjetima na istima.

Korelacijom između ovih podataka dolazimo do dodatne koristi - "mjesto istine" koje se koristi pri daljnjim proračunima tokova snaga u distribucijskom sustavu. Također, sustav omogućuje unos obračunskog mjernog mjesta bilo kojeg kupca, pri čemu aplikacija uzima u obzir prethodno navedene parametre i pruža proračun validacije napona i opterećenja na niskonaponskom izvodu kupca. Aplikacija se trenutno koristi na području Elektre Zagreb, ali budući da je kreirana modularno, omogućeno je njezino korištenje na razini cijelog HEP ODS-a.



Slika 3. Dominacija solarnih elektrana (priključeno MW) – Elektra Zagreb, ~ Studeni 2024

2.2. Tehnologije pri izradi aplikacije

Aplikacija koristi niz modernih tehnologija koje omogućuju učinkovito upravljanje podacima i vizualizaciju rezultata. Podatke o sadašnjim i budućim elektranama preuzimamo iz SAP baze podataka, informacije o potrošačima na niskonaponskim izvodima iz TS SN/NN uzimamo iz Informatora, dok za podatke o vremenskim serijama mjerenja s elektrana koristimo platformu MJERinfo.

Korelacije i spajanje između navedenih baza vršimo pomoću programskog jezika Python, koji je odabran zbog svoje fleksibilnosti i bogatog ekosustava dodatnih funkcionalnosti. Za analizu podataka korištena je data science biblioteka Pandas, koja omogućuje učinkovito rukovanje velikim skupovima podataka i izvođenje složenih analiza. Za modeliranje i analizu mrežnih struktura, aplikacija koristi NetworkX, biblioteku specijaliziranu za rad s grafovima, što omogućuje prikazivanje i analizu odnosa između elektrana, niskonaponskih izvoda i trafostanica. Matplotlib je korišten za vizualizaciju podataka i prikazivanje grafikona, što korisnicima omogućuje lakše razumijevanje informacija.

Na strani web aplikacije, korišten je Django, popularni framework za izradu sigurnih i skalabilnih web aplikacija, koji omogućuje brzo razvijanje aplikacije i učinkovito upravljanje korisničkim sučeljem.

2.3. Kroz korisničko sučelje – vodič kroz aplikaciju

Nakon općeg uvoda u analitičke procese i tehnologije koje koristimo, u sljedećim odjeljcima detaljnije ćemo opisati kako aplikacija funkcionira i koji su njezini glavni moduli.

Kada korisnici pristupe web adresi aplikacije, prvo što će ugledati jest interaktivna karta Hrvatske (Slika 4.). Karta je izrađena pomoću Chart.js biblioteke, koja omogućuje dinamičan i vizualno privlačan prikaz. Svako područje na karti obilježeno je oznakama podataka koje prikazuju broj elektrana unutar tog područja, pružajući korisnicima brz uvid u distribuciju elektrana po Hrvatskoj. Klikom na željeno područje, automatski se otvara novi prozor koji nudi analizu za sve elektrane locirane u tom području. Nakon što korisnik odabere željeno područje i otvori prozor godišnje analize, predstavljen mu je ekranski prikaz koji uključuje tablicu sa svim niskonaponskim izvodima unutar odabranog distribucijskog područja.



Slika 4. Primjer početne stranice - interaktivna karta broja elektrana po distribucijskim područjima

Tablica je organizirana kako bi pružila pregled ključnih podataka za svaki izvod, uključujući nadređenu transformatorsku stanicu SN/NN i nadređenu pojnu točku TS VN/SN pri normalnom uklopnom stanju. Za svaki izvod aplikacija prikazuje trenutni broj elektrana i njihovu priključenu snagu (zelena nijansa u tablici), broj planiranih elektrana i planiranu priključenu snagu (žuta nijansa), te broj kupaca i njihovu priključnu snagu (plava nijansa). Kako bi korisnik lakše navigirao kroz podatke, omogućeni su filteri po NN izvodu, transformatorskoj stanici SN/NN i pojnoj točki, TS VN/SN. Slika 4. prikazuje ekranski prikaz opisanog.

Status i Projekcije Elektrana prema Niskonaponskim Izvodima i Trafostanicama

Niskonaponski Izvod: SN trafostanica: VN trafostanica:

☒ Aktivne elektrane ☒ Planirane elektrane ☒ Potrošači

NAZIV IZVODA	SN TS	VN TS	BROJ	KW	BROJ	KW	BROJ	KW
HORVATOVA	2TS5022 INA KLARA	4TS23 BOTINEC	1	3.68	0	0.0	19	198.69
NO 42	2TS5022 INA KLARA	4TS23 BOTINEC	3	16.9	0	0.0	144	936.64
NO 23	2TS5022 INA KLARA	4TS23 BOTINEC	0	0.0	1	90.0	1	251.0
SKS OREŠKOVIČEVA ULICA 3B	2TS5022 INA KLARA	4TS23 BOTINEC	0	0.0	1	40.0	2	89.6
SVETOKLARSKA	2TS5095 KLARA1	4TS23 BOTINEC	2	18.0	3	28.3	56	497.69
UTINJSKA	2TS5095 KLARA1	4TS23 BOTINEC	1	4.68	1	10.0	51	497.4
MRKŠINA ISTOK	2TS5096 KLARA3	4TS23 BOTINEC	3	19.65	0	0.0	69	568.55
MRKŠINA PREMA CRKVI	2TS5096 KLARA3	4TS23 BOTINEC	1	6.5	0	0.0	57	311.54
MRKŠINA PREMA PRUZI	2TS5096 KLARA3	4TS23 BOTINEC	1	2.19	0	0.0	27	207.52
ŠENOINA	2TS5096 KLARA3	4TS23 BOTINEC	1	3.65	0	0.0	50	394.4
GLOGOVEČKA JUG - V. PROVENI PUT	2TS5111 KLARA2	4TS23 BOTINEC	3	30.6	1	15.0	51	536.99

Slika 5. Prikaz kupaca, aktivnih i budućih elektrana po NN izvodu

Dalje, korisnik ima mogućnost odabrati niskonaponski izvod ili srednjenaponsku trafostanicu koji su predmet analize. Nakon odabira, otvara se prozor u kojem su prikazane sve elektrane povezane na odabranu trafostanicu ili izvod. Ovdje se nalaze podaci o svim elektranama, bilo da su trenutne ili planirane, uključujući informacije o njihovim priključnim snagama, statusima i ostalim relevantnim podacima.

▼ Putanja	▼ Broj instaliranih	▼ kW Instalirano TS	▼ Instalacija	▼ Broj Planiranih elektrana	▼ kW Planiranih	▼ Instalacija Planiranih
1->2TS276 Bizek I 56->4TSI7 PODSUSED	1.0	4.0	4000163161.0	2.0	20.0	4000163135.0, 4000158560.0
2->2TS276 Bizek I 56->4TSI7 PODSUSED	1.0	13.0	4000179758.0	0.0	0.0	0
3->2TS276 Bizek I 56->4TSI7 PODSUSED	1.0	10.0	4000163385.0	2.0	20.0	4000592686.0, nemamID
5->2TSI571 BIZEK III 26->4TSI7 PODSUSED	1.0	3.68	4000173171.0	0.0	0.0	0
8->2TSI571 BIZEK III 26->4TSI7 PODSUSED	1.0	10.98	4000425610.0	1.0	9.9	4000173111.0
2->2TSI571 BIZEK III 26->4TSI7 PODSUSED	0.0	0.0	0	1.0	50.0	4000043467.0

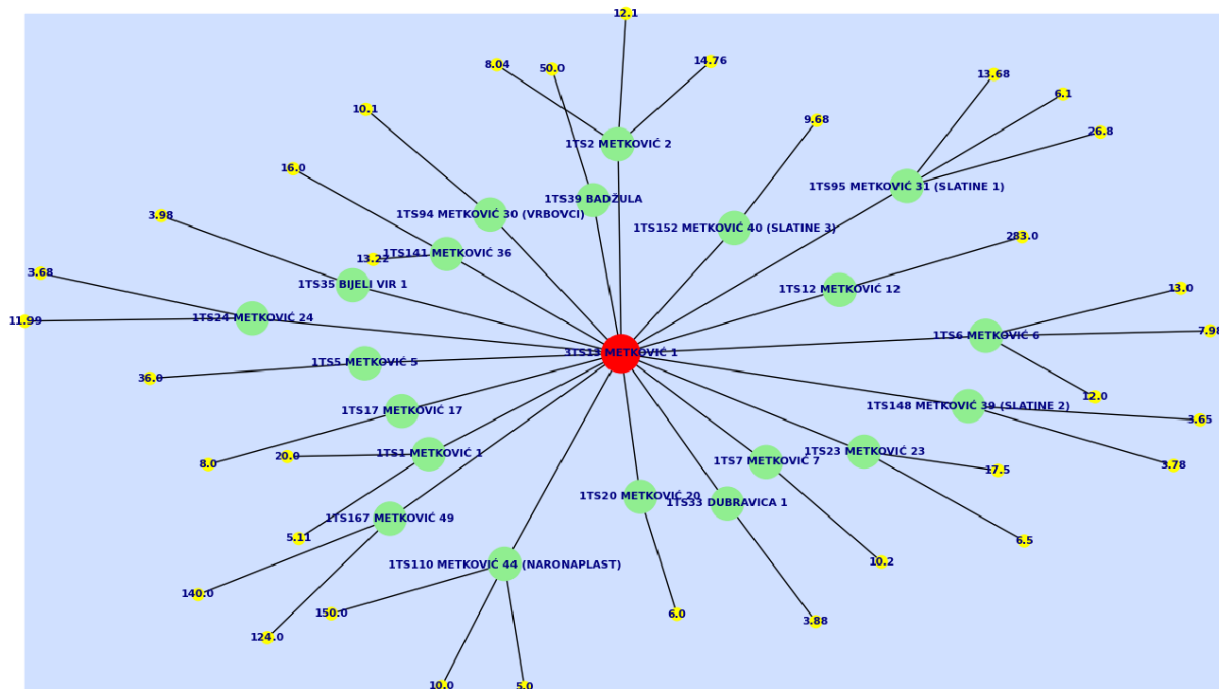
Slika 6. Trenutne/buduće elektrane po NN izvodu

🔗 Aktivne i planirane elektrane po SN trafostanici				
▼ SN TS	▼ INSTALACIJA	▼ OPIS ELEKTRANE	▼ NAPON PRIKLJUČKA	▼ INSTALIRANA SNAGA KW
2TS5095 KLARA1	4000059134.0	sunčana elektrana	0,4kV	10.0
2TS5095 KLARA1	4000059163.0	TRING D.O.O.	0,4kV	4.68
2TS5095 KLARA1	4000099019.0	Obiteljska kuća s elektranom	0,4kV	11.0
2TS5095 KLARA1	4000159684.0	Obiteljska kuća s elektranom	0,4kV	13.7
2TS5095 KLARA1	4000159710.0	sunčana elektrana	0,4kV	8.0
2TS5095 KLARA1	4000161562.0	Obiteljska kuća s elektranom	0,4kV	10.0
2TS5095 KLARA1	4000249493.0	Obiteljska kuća s elektranom	0,4kV	3.6
/	/	/	/	60.98

Slika 7. Elektrane na transformatorskoj stanici SN/NN

2.4. Proračuni po visokonaponskim trafostanicama

Iako je glavna ideja aplikacije bila prikazati događanja na niskom naponu, aplikacija se može iskoristiti i za praćenje spajanja elektrana na visokonaponske izvode u normalnom uklopnom stanju. Stoga smo razvili funkcionalnost koja grupira elektrane prema srednjonaponskim trafostanicama, a zatim ih locira prema nadređenoj visokonaponskoj trafostanici. Na slici 7. prikazan je primjer sumirane priključene snage elektrana raspoređenih prema srednjonaponskim trafostanicama, s gravitirajućom 35/10kV trafostanicom koja se nalazi u središtu prikaza.



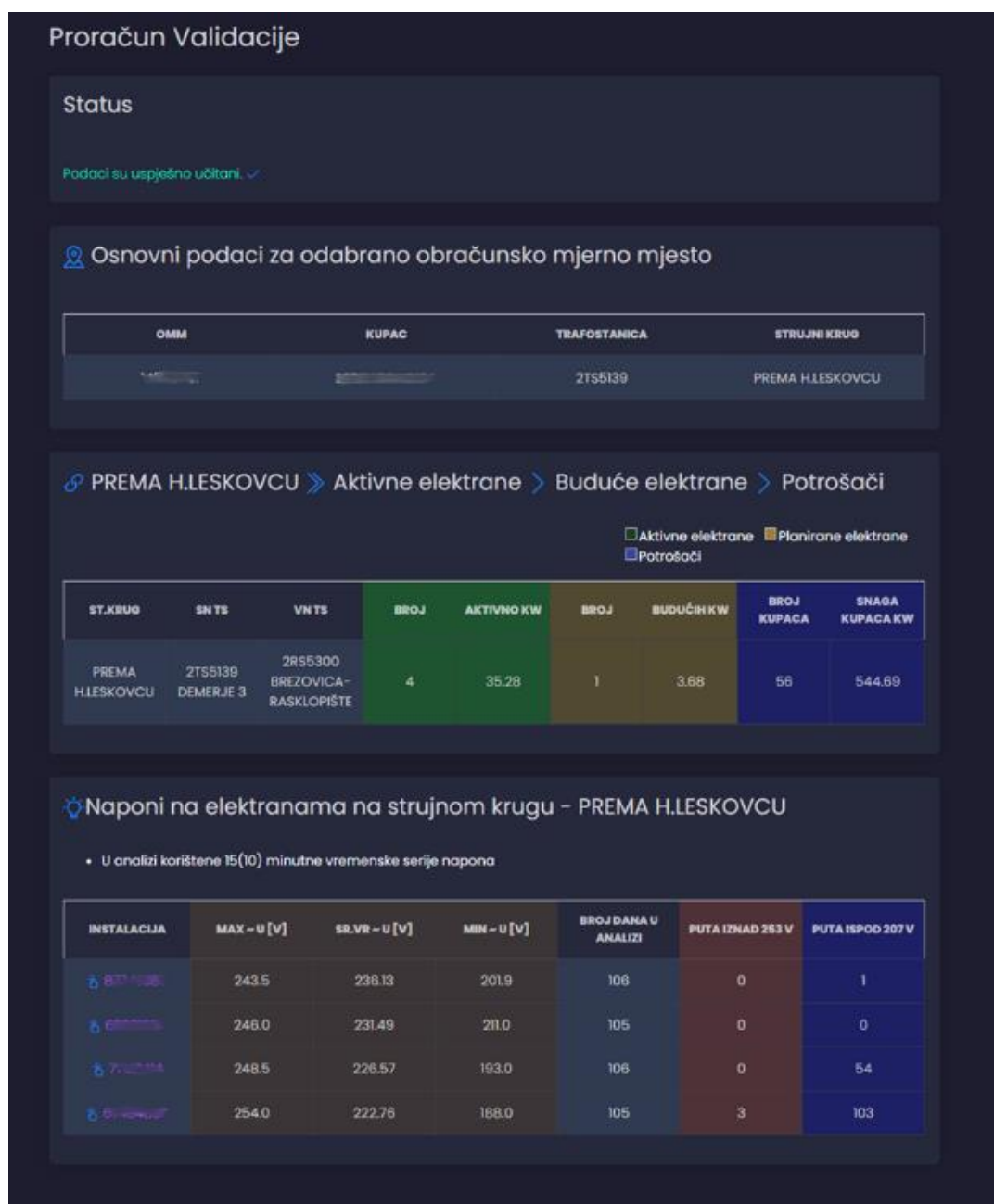
Slika 8. Graf trenutnih elektrana priključenih na pojedine SN TS pojedne točke 3TS Metković 1

2.5. Brza provjera stana NN izvoda

Nakon što je sve prethodno isprogramirano došli smo do mogućnosti uvođenja nove funkcionalnosti koja korisnicima, a u budućnosti i kupcima, omogućava brzu provjeru NN izvoda za svakog kupca HEP ODS-a. Ovom funkcionalnošću, korisnici bi mogli upisati broj svog OMM (oko 2,5 milijuna kupaca spojenih na distribucijsku mrežu) i dobiti brzu validaciju o mogućnosti spajanja novih elektrana na njihov izvod. Validacija će ovisiti o trenutnoj instaliranoj snazi ostalih korisnika na istom izvodu, trenutnom stanju postojećih elektrana, te elektranama koje su već u postupku priključenja na mrežu.

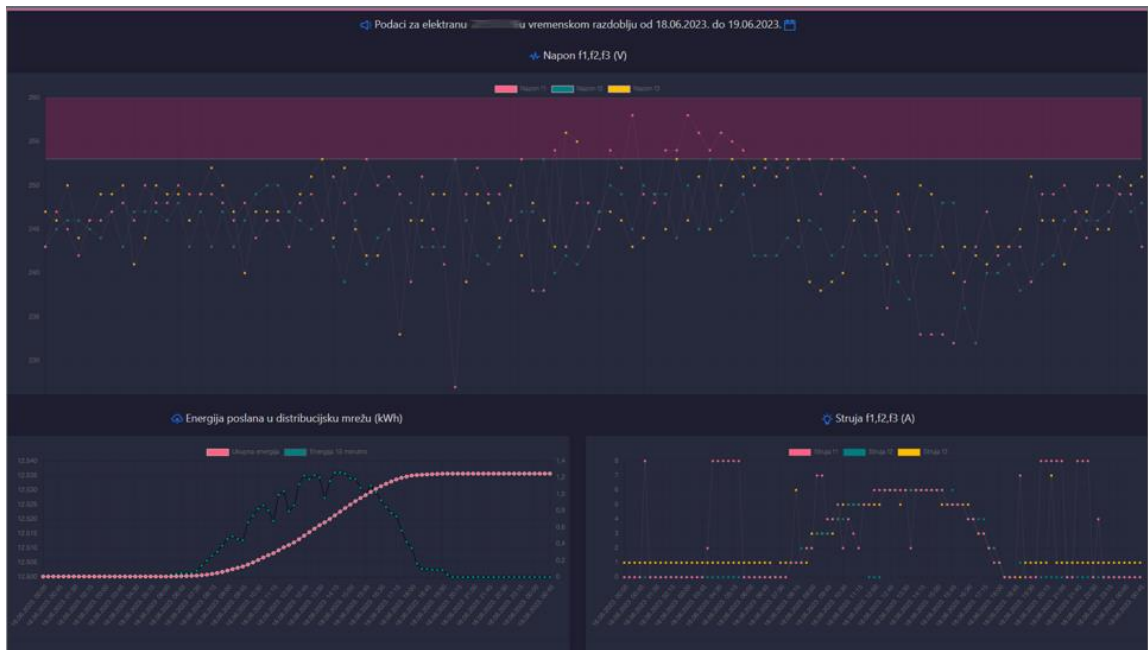
Aplikacija dalje nudi spoj na vremenske serije opterećenja i naponskih prilika elektrana koje se nalaze na istom NN izvodu. Slika 9. prikazuje rezultat aplikacije nakon upisa broja obračunskog mjerenog mjesta kupca.

Dodatno, kroz sinergiju s drugim aplikacijama unutar MJERinfo sustava, korisnici će moći pristupiti informacijama o vremenskim serijama elektroenergetskih veličina pojedinih SN/NN trafostanica (Slika 11.) na koje se niskonaponski izvod dalje spaja.



Slika 9. Ekranski prikaz rezultata aplikacije nakon unosa OMM korisnika

Daljnje istraživanje NN izvoda omogućeno je na način da se može pristupiti vremenskim serijama napona, struja, i opterećenja elektrana ili srednjenaponskoj stanici ukoliko ista ima napredno brojilo. Jedan takav primjer se nalazi na slici 10.



Slika 10. Vremenske serije napona, struja i proizvodnje elektrane



Slika 11. Prikaz informacija iz TS sa sumarnim brojiom

3. ZAKLJUČAK

Digitalizacija i analiza podataka iz distribucijskog sustava ključni su faktori za unaprjeđenje stabilnosti, pouzdanosti i fleksibilnosti elektroenergetskih mreža, osobito u kontekstu sve veće integracije obnovljivih izvora energije. Kroz implementaciju naprednih alata, omogućena je učinkovita integracija vremenskih serija mjerenja sa statičkim podacima o elektranama, što doprinosi boljoj predvidljivosti i optimizaciji rada mreže.

Trenutno je aplikacija za prikaz spoja elektrana na distribucijsku mrežu u fazi testiranja kod kolega iz Elektre Zagreb koji su specijalizirani za napredne proračune i energetske analize. Ova faza testiranja ključna je za provjeru performansi aplikacije u stvarnim uvjetima i identifikaciju eventualnih nedostataka ili potrebnih poboljšanja. Plan je ponuditi istu aplikaciju za cijelu Hrvatsku kako bi se omogućilo sveobuhvatno praćenje i upravljanje distribucijskom mrežom širom zemlje.

U perspektivi, ova aplikacija će pružati sveobuhvatan pregled spoja elektrana na distribucijsku mrežu Republike Hrvatske, omogućujući korisnicima da prate, analiziraju i simuliraju različite scenarije unutar energetske sustava. Grupiranjem i sumiranjem podataka, pružanjem REST servisa, te vođenjem mreže i DMS proračuna, aplikacija ima perspektivu postati moderan alat za upravljanje i optimizaciju distribucijske mreže.

Uz suradnju s relevantnim dionicima i stručnjacima iz područja energetike, implementacija ove aplikacije za cijelu Hrvatsku će biti korak prema stvaranju modernog, održivog i efikasnog energetske sustava koji može odgovoriti na izazove budućnosti.

4. LITERATURA

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