

Kristijan-Frano Čavar  
HEP-ODS, Sektor za vođenje sustava  
[kfcavar@hep.hr](mailto:kfcavar@hep.hr)

Branimir Gabrić  
HEP-ODS, Sektor za vođenje sustava  
[Branimir.gabric1@hep.hr](mailto:Branimir.gabric1@hep.hr)

Igor Bujan  
HEP – ODS, Elektra Bjelovar  
[Igor.bujan@hep.hr](mailto:Igor.bujan@hep.hr)

Štefan Ivičić, mag. ing. el. techn. inf.  
HEP – ODS, Elektra Bjelovar  
[stefan.ivicic@hep.hr](mailto:stefan.ivicic@hep.hr)

Ivan Periša  
HEP – ODS, Sektor za vođenje sustava  
[Igor.bujan@hep.hr](mailto:Igor.bujan@hep.hr)

Mladen Modrovčić  
HEP-ODS, Elektra Bjelovar  
[Mladen.modrovic@hep.hr](mailto:Mladen.modrovic@hep.hr)

## APLIKACIJA ZA INDIKATIVNU KONTROLU NAPONSKIH PRILIKA U ELEKTRANAMA I SN TRAFOSTANICAMA

### SAŽETAK

Integracija sve većeg broja solarnih elektrana, postavlja tehničke zahtjeve na stabilnost i pouzdanost mreže. Varijabilnost u proizvodnji energije iz ovih izvora može dovesti do fluktuacija u napajanju koje zahtijevaju nove 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 podatke iz dubine elektroenergetske mreže, kako bi se osigurala stabilnost mreže i zadovoljile sve veće potrebe potrošača. Zbog navedenog, razvijena je aplikacija za kontrolu napona u elektranama i sumarnim brojlama po srednjenaponskim trafostanicama kroz obradu vremenskih serija mjerenja. Aplikacija pruža korisne uvide u fluktuacije napona, obilježavajući potencijalno problematične visoke i niske vrijednosti koje mogu utjecati na stabilnost i efikasnost opskrbe električnom energijom.

**Ključne riječi:** kontrola napona, elektrane, analize podataka

## APPLICATION FOR INDICATIVE CONTROL OF VOLTAGE CONDITIONS IN POWER PLANTS AND MEDIUM-VOLTAGE SUBSTATIONS

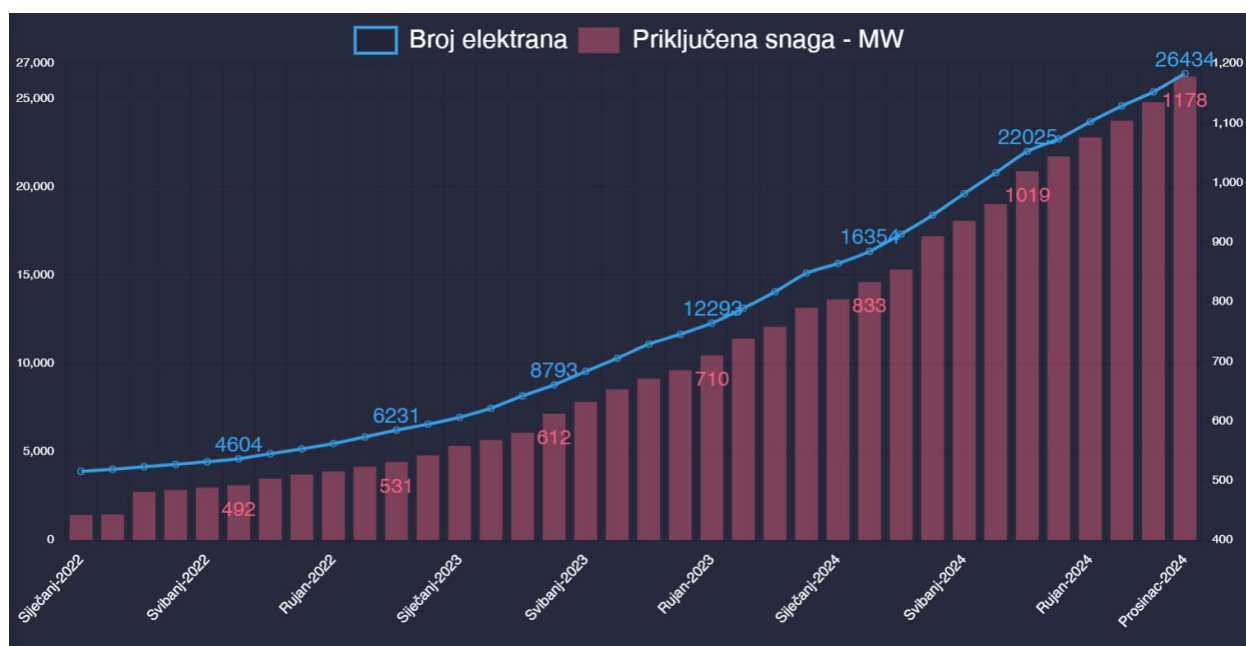
### SUMMARY

The integration of an increasing number of solar power plants imposes technical requirements on the stability and reliability of the grid. The variability in energy production from these sources can lead to fluctuations in the power supply, which require new methods of monitoring and regulation. This creates a need for innovative solutions that can accurately monitor and manage the distribution network, ensuring that energy security is not compromised under any circumstances. In this context, it is essential to implement sophisticated tools and technologies capable of effectively monitoring and analyzing data from deep within the electrical grid to ensure grid stability and meet the growing demands of consumers. As a result, an application has been developed to control voltage in power plants and summary meters at medium-voltage substations through time series data processing. The application provides valuable insights into voltage fluctuations, highlighting potentially problematic high and low values that may affect the stability and efficiency of the electricity supply.

**Key words:** Voltage control, power plants, data analysis.

## 1. UVOD

Posljednjih nekoliko godina, Republika Hrvatska je svjedočila značajnom porastu broja elektrana koje su spojene na nacionalnu 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 2. Koncept aplikacija MJERinfo Analiza DIE

## 2. Indikativna kontrola naponskih prilika u elektranama i SN trafostanicama

Razvijena aplikacija za kontrolu napona u elektranama i SN Trafostanicama (gdje imamo ugrađeno sumarno brojilo) kroz obradu 15-minutnih (negdje i 10-min.) vremenskih serija mjerenja pruža korisne uvide u fluktuacije napona, obilježavajući potencijalno problematične visoke i niske vrijednosti koje mogu utjecati na stabilnost i efikasnost opskrbe električnom energijom.

Dizajnirana na principu *drill down* pristupa, aplikacija omogućuje korisnicima intuitivno pratiti i analizirati podatke na različitim razinama detalja. Kreirana početna stranica na geografskoj podlozi prikazuje elektrane po područjima, omogućujući korisnicima da odaberu željeno područje i dalje istražuju statistike kao što su minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti napona, nazive, lokacije u distribucijskoj mreži, te vremenske periode u kojima je elektrana bila van normalnog naponskog stanja.

Nadalje, aplikacija pruža pregled svih elektrana unutar određenog područja, a kroz daljnji izbor korisnik može detaljnije analizirati stanje odabrane elektrane s mjesečnim, a zatim i dnevnim analizama. Ova aplikacija ne samo da povećava efikasnost nadzornih operacija, već i omogućava operatorima brže reagiranje na potencijalne probleme, čime se znatno doprinosi sigurnosti i pouzdanosti elektroenergetskog sustava.

Aplikacija primjenjuje ovako strukturiranu metodologiju kako bi osigurala precizno i efikasno upravljanje mrežom elektrana. U fazi pretprocesiranja, podaci prolaze kroz niz transformacija kako bi se uklonili eventualni šumovi i interpolirale vrijednosti koje nedostaju. To osigurava da je svaki podatak koji ulazi u analizu čist i pouzdan, što je ključno za ispravne zaključke. Pored toga, podaci se standardiziraju kako bi bili spremni za daljnju obradu i analizu. Sljedeći korak je istraživanje podataka, gdje se koriste algoritmi

za otkrivanje nepravilnosti. Ovi postupci omogućavaju identifikaciju potencijalnih problema u radu elektrana, kao što su previsoki ili preniski naponi, koji mogu ukazivati na ozbiljne tehničke poteškoće ili potrebu za intervencijom. Završna faza uključuje interpretaciju i procjenu rezultata. Aplikacija nudi sučelje bogato vizualizacijama, uključujući grafikone i mape, koje jasno prikazuju stanje napona u realnom vremenu. Korištenjem ovih alata, operatori mogu brzo procijeniti stanje mreže i poduzeti potrebne korake, bilo da se radi o upozorenjima, automatskim kontrolama ili direktnim tehničkim intervencijama na terenu. Sve ove faze čine aplikaciju ne samo alatom za nadzor, već i moćnim sredstvom za upravljanje i optimizaciju performansi elektrana, pružajući ključne informacije koje pomažu u održavanju stabilnosti i pouzdanosti distribucijske mreže.

## 2.1. Korištene tehnologije pri izradi aplikacije

Kako bi osigurala pouzdanost i efikasnost u analizi vremenskih serija mjerenja napona, aplikacija koristi niz modernih tehnoloških rješenja i alata. Svi početni raw podaci pohranjuju se u specijaliziranoj bazi za pohranu vremenskih serija unutar MJERinfo platforme. Ova baza podataka optimizirana je za brzu obradu i pristup velikim količinama podataka koji se kontinuirano generiraju kroz distribucijsku mrežu. Podaci se iz MJERinfo platforme prenose do jezgre aplikacije koristeći API servise, što omogućuje efikasno i sigurno prenošenje podataka u realnom vremenu. Nakon što se podaci dostave aplikaciji, koristi se programski jezik Python za njihovu obradu. Python je izabran zbog svoje fleksibilnosti i obimne podrške za biblioteke koje su specijalizirane za obradu podataka, poput *pandas*, *NumPy*.. Obrada uključuje čišćenje podataka, njihovu transformaciju, analizu te identifikaciju anomalija i trendova.

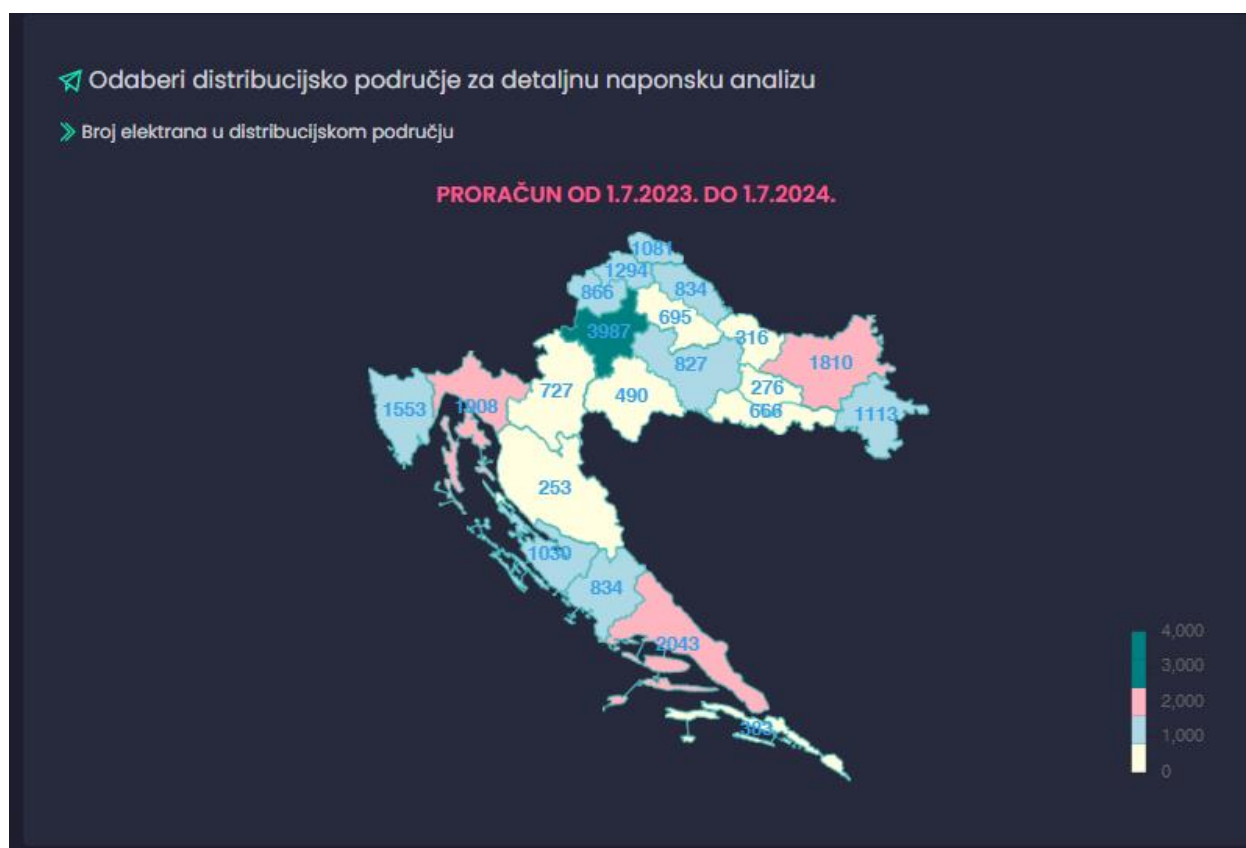
Međurezultati obrade se zapisuju u *MongoDB*, dokumentno orijentiranu bazu podataka, koja je izabrana zbog svoje skalabilnosti i performansi pri radu s velikim količinama nestrukturiranih podataka. *MongoDB* omogućuje brz upit i dohvat podataka koji su potrebni za daljnju analizu i prikazivanje kroz web sučelje. Sam web dio aplikacije razvijen je koristeći *Django framework*. Za izradu korisničkog sučelja koriste se HTML, CSS, i Bootstrap, što aplikaciji daje moderan dizajn. JavaScript se koristi za dinamičke aspekte web sučelja, omogućavajući interaktivnost i poboljšavajući korisničko iskustvo. Također, integrirane su razne JavaScript biblioteke za vizualizaciju podataka, poput *Chart.js* i *Leaflet* za mapiranje, koje omogućuju korisnicima intuitivan prikaz analitičkih podataka.

## 2.2. Korisničko sučelje – vodič kroz aplikaciju

Nakon općeg uvoda u analitičke procese i tehnologije koje koristimo, u sljedećim odjeljcima detaljnije ćemo opisati kako aplikacija funkcionira, koji su njezini glavni moduli i kako korisnicima omogućuje efikasno upravljanje i nadzor nad naponskim prilikama.

Kada korisnici pristupe web adresi aplikacije, prvo što će vidjeti jest interaktivna karta Hrvatske (Slika 3.). Karta omogućuje dinamičan i vizualno privlačan prikaz. Svako područje na karti obilježeno je labelama koji prikazuju broj elektrana unutar tog područja, pružajući korisnicima brz uvid u distribuciju elektrana po Hrvatskoj. Ova funkcionalnost ne samo da poboljšava navigaciju i orijentaciju unutar aplikacije, već i omogućuje korisnicima da na efikasan način dobiju pregled dijela energetske infrastrukture.

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 elektranama unutar odabranog razdoblja analize. Tablica je organizirana kako bi pružila sveobuhvatan pregled ključnih podataka za svaku elektranu, uključujući jedinstveni identifikacijski broj (ID), naziv elektrane, kao i minimum, maksimum i prosječne vrijednosti napona tijekom promatranog razdoblja (Slika 4.).



Slika 3. Primjer početne stranice -interaktivna karta broja elektrana po distribucijskim područjima

Indikativna kontrola napona na elektranama priključenim na distribucijsku mrežu

DP 4021 2024. godina

Odaberi elektranu za dodatnu analizu mjesečnih vremenskih serija

Filter: Pronađi mjerenje napona prema OMM / Naziv Elektrane / TS ID / TS Name / NN Izvod

Legenda: > 253 V 248,4 V - 253 V 241,5 V - 248,4 V 218,5 V - 248,5 V 211,6 V - 218,5 V 207 V - 211,6 V < 207 V

|        | Elektrana  | Maksimum | Srednja vrij. | Minimum | TS ID  | TS Naziv     | NN Izvod | br.dana >253V | br.dana <207V | Obradeno dana |
|--------|------------|----------|---------------|---------|--------|--------------|----------|---------------|---------------|---------------|
| 8138   | ...        | 253.8    | 247.54        | 228.2   | ITS305 | Brestovac-5  | IZVOD 1  | 17            | 0             | 105           |
| 89...  | ...        | 253.6    | 240.98        | 210.2   | ITS603 | Čaglin-3     | IZVOD 4  | 2             | 0             | 94            |
| 74...  | VE...      | 253.0    | 231.06        | 191.0   | ITS26  | Požega-26    | IZVOD 7  | 1             | 24            | 104           |
| 75...  | KITANOV... | 253.0    | 238.99        | 199.0   | ITS335 | Daranovci    | IZVOD 3  | 1             | 3             | 104           |
| 71...  | ...        | 239.0    | 225.58        | 196.0   | ITS301 | Brestovac-1  | IZVOD 2  | 0             | 19            | 104           |
| 71...  | PROMET...  | 238.0    | 222.78        | 201.0   | ITS401 | Pleternica-1 | IZVOD 4  | 0             | 17            | 104           |
| 892... | ...        | 243.7    | 231.11        | 201.1   | ITS39  | Požega-39    | IZVOD 2  | 0             | 12            | 94            |
| 71...  | ...        | 236.0    | 222.56        | 202.0   | ITS534 | Draga-1      | IZVOD 1  | 0             | 12            | 104           |
| 75...  | ...        | 250.0    | 231.57        | 198.0   | ITS26  | Požega-26    | IZVOD 7  | 0             | 6             | 104           |

Slika 4. Prikaz analize napona po elektranama

Boje u tablici koriste se za vizualnu indikaciju statusa napona svake elektrane, primjenjujući koncept semafora:

- Zelena boja ukazuje na napon unutar optimalnih granica,
- Crvena boja označava previsoki napon,
- Plava boja ističe napon ispod minimalno dopuštenih vrijednosti.

Osim naponskih vrijednosti, tablica također prikazuje lokaciju svake elektrane u smislu niskonaponskog izvoda na kojem je spojena te pripadajuće srednjenaponske trafostanice.

Ove informacije su ključne za razumijevanje infrastrukturne povezanosti i potencijalnih točaka opterećenja ili kvarova unutar mreže.

Dodatno, tablica obuhvaća vremenske informacije, prikazujući ukupan broj obrađenih dana za svaku elektranu te broj dana u kojima je elektrana radila iznad ili ispod dopuštenih razina napona. Ovi podaci su izuzetno važni za analizu performansi i pouzdanosti elektrana te omogućavaju korisnicima da učinkovito planiraju održavanje i interveniraju u slučaju potrebe za korektivnim akcijama.

Nakon što korisnik dobije opći godišnji pregled svih elektrana na odabranom području, aplikacija omogućava dodatnu interakciju kroz mogućnost selekcije pojedine elektrane za detaljniji prikaz. Klikom na naziv ili ID željene elektrane, otvara se novi izvještaj koji pruža još dublji uvid u operativne performanse, ovaj put na mjesečnoj razini (Slika 5.).



Slika 5. Mjesečna analiza za pojedinu elektranu

U ovom novom prikazu, tablica koja se pojavljuje sadrži mjesečne podatke za odabranu elektranu, s mjesecom kao indeksom. Svaki redak u tablici predstavlja jedan mjesec iz odabranog razdoblja analize, pri čemu se za svaki mjesec navode minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti napona. Slično kao u inicijalnom izvještaju, boje u tablici indikativno prikazuju stanje napona.

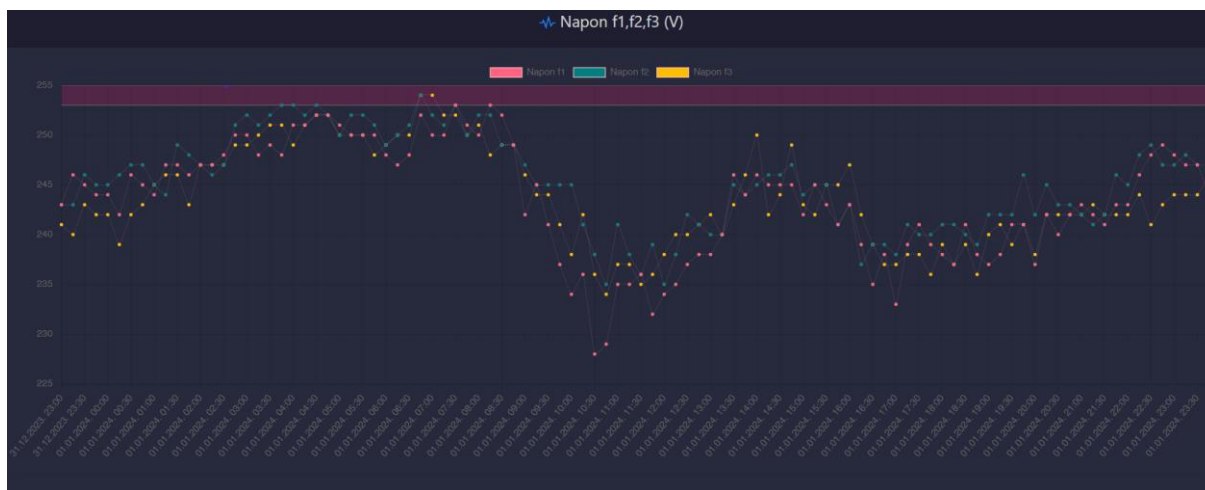
Kao dodatni sloj informacija, za svaki mjesec prikazuje se i broj dana u kojem je napon bio izvan dopuštenih granica, omogućujući korisnicima da prepoznaju obrasce ili ponavljajuće probleme koji bi mogli zahtijevati posebnu pažnju ili tehničku intervenciju.

Ova mjesečna analiza ključna je za učinkovito upravljanje operativnim rizicima i optimizaciju performansi, dajući korisnicima mogućnost da provode temeljitije analize i planiraju preventivne mjere za osiguranje stabilnosti i pouzdanosti elektrane.

Daljnje produblivanje analize omogućeno je kroz interaktivni pristup koji korisnicima dopušta da iz mjesečnog pregleda elektrane odaberu specifični mjesec za detaljniju analizu. Klikom na željeni mjesec, otvara se detaljan dnevni izvještaj za taj mjesec, pružajući precizne podatke o performansama elektrane iz dana u dan za sve 3 faze.

U dnevnom izvještaju, tablica sadržava slične informacije kao i prethodni mjesečni i godišnji izvještaji, ali s dnevnim detaljima. Svaki redak u tablici predstavlja jedan dan unutar odabranog mjeseca, a za svaki dan su navedene minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti napona. Vizualni prikaz stanja napona koristi istu semafor logiku boja.

Nadalje, nakon odabira specifičnog dana u mjesecu, korisnicima se pruža mogućnost da detaljnije istraže dnevne performanse elektrane kroz grafički prikaz. Ovaj prikaz koristi Chart.js, biblioteku za vizualizaciju podataka, koja omogućava jasan i interaktivan prikaz vremenskih serija napona za sve tri faze tokom odabranog dana.



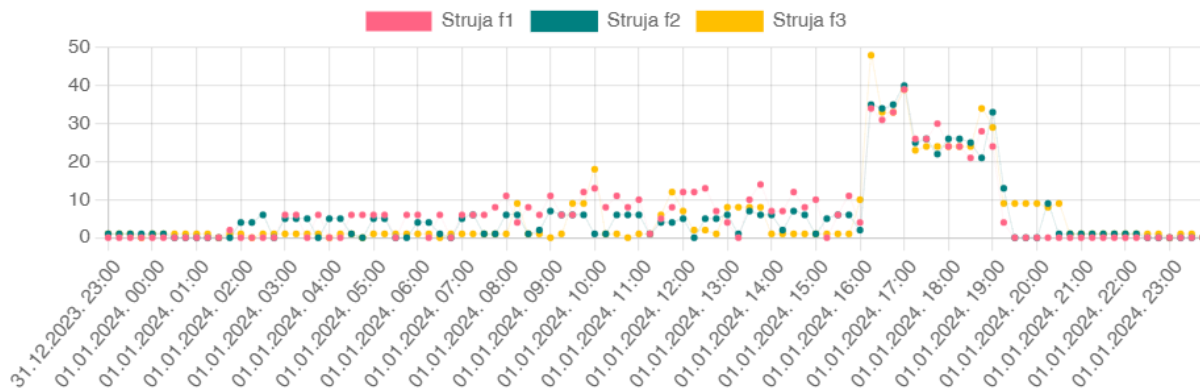
Slika 6. Prikaz vremenskih serija dnevnih vrijednosti napona elektrane

Grafički prikaz organiziran je tako da svaka od tri faze električne energije ima svoju boju, čime se olakšava praćenje i usporedba podataka između faza. Ova različitost boja pomaže u brznoj vizualnoj analizi i identifikaciji potencijalnih problema ili anomalija u naponu.

Posebna pažnja posvećena je vizualnom prikazu previsokih napona. Svaki segment grafikona koji predstavlja previsoke vrijednosti napona omeđen je crvenom bojom, ističući te vrijednosti kako bi korisnici mogli brzo reagirati i preuzeti potrebne mjere. Ovaj vizualni naglasak na kritične vrijednosti omogućava korisnicima da uoče i analiziraju fluktuacije napona u realnom vremenu, što je od ključne važnosti za održavanje stabilnosti i sigurnosti mreže.

Pored detaljnih vremenskih serija napona, aplikacija također pruža korisnicima mogućnost praćenja vremenskih serija struja za sve tri faze, kao i informacije o proizvodnji elektrane i količini energije koju elektrana šalje u distribucijsku mrežu. Ovi dodatni grafovi su integralni dio alata za analizu i pomažu u pružanju sveobuhvatnog pregleda performansi elektrane.

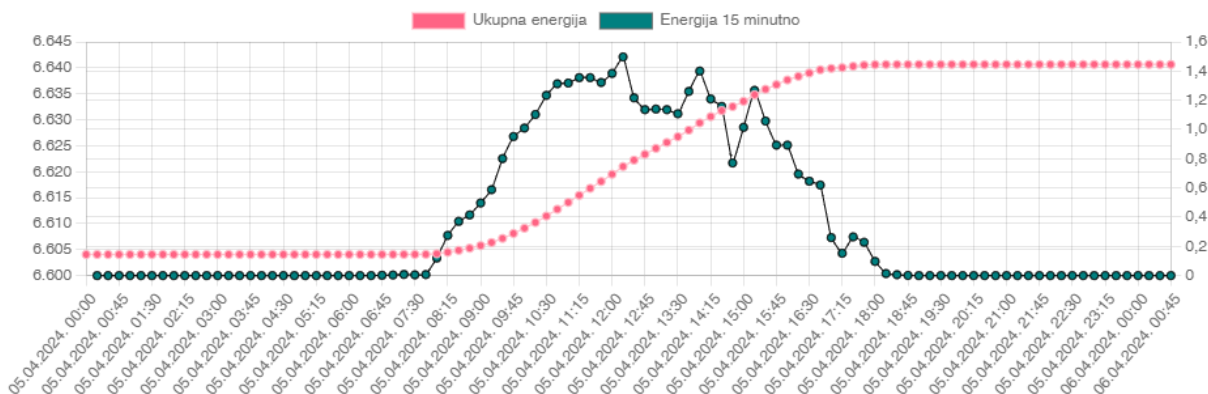
**Grafovi struja (Slika 7.)** - Svaka od tri faze prikazana je zasebnim grafikonom, koji koristi različite boje za svaku fazu kako bi se olakšala interpretacija podataka. Ovi grafovi omogućuju korisnicima da prate trenutne vrijednosti struja, identificiraju moguće probleme s preopterećenjem ili nedovoljnim opterećenjem te analiziraju kako se struje mijenjaju tijekom vremena.



Slika 7. Kretanje struja u elektrani

Nadalje, omogućeno je i simultano praćenje i analizu dvije različite, ali podjednako važne metrike operacija elektrane: proizvodnju električne energije i količinu energije koju elektrana šalje u distribucijsku mrežu. Ovaj kompozitni graf koristi dvije Y osi kako bi efikasno prikazao oba seta podataka na jedinstvenom vizualnom prikazu, omogućavajući korisnicima da na jednostavan način usporede ove dvije metrike.

1. **Lijeve Y osi:** Na ovoj osi prikazana je ukupna količina energije koju elektrana proizvodi. Prikaz na ovoj osi koristi se za praćenje efikasnosti i produktivnosti elektrane, što operaterima omogućava da identificiraju trendove u proizvodnji, analiziraju kako različiti uvjeti rada utječu na proizvodnju energije, i optimiziraju radne uvjete za maksimalnu efikasnost.
2. **Desne Y osi:** Na ovoj osi prikazana je količina energije koja je proizvedena u promatranom danu. Ovaj prikaz je ključan za planiranje i upravljanje energetskim resursima, omogućujući korisnicima da vide kako elektrana doprinosi općoj stabilnosti i pouzdanosti mreže.



Slika 8. Proizvodnja u elektrani

Obje ove vrijednosti prikazane su na istom grafu koristeći različite boje za svaki tip energije, čime se olakšava vizualna analiza i usporedba. Ovakav prikaz štedi prostor i pojednostavljuje interpretaciju podataka te pruža bogat uvid u međusobnu povezanost proizvodnje i distribucije energije unutar elektrane. Korisnici mogu jednostavno pratiti kako promjene u jednoj metrici utječu na drugu, što je neprocjenjivo za sveobuhvatno razumijevanje i upravljanje operacijama elektrane.

Svi ovi grafovi dizajnirani su kako bi bili interaktivni, omogućujući korisnicima zumirati, pregledavati specifične vremenske periode te doći do detaljnih informacije o svakom aspektu operacija elektrane. Integracija ovih složenih analitičkih alata omogućava ne samo praćenje i nadzor, već i dublje razumijevanje dinamike unutar elektrane, što je neophodno za efikasno upravljanje i održavanje.

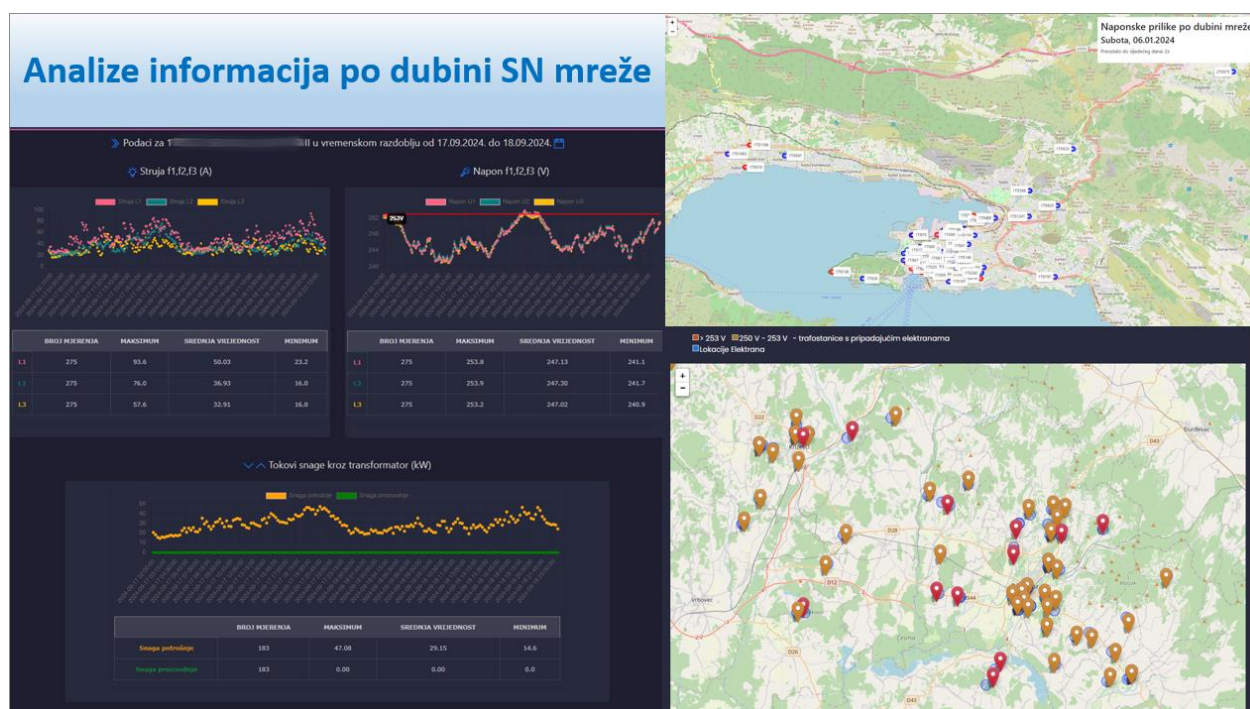
## 2.1. Budući razvoj i proširenja aplikacije

Dok aplikacija trenutno pruža skup alata za analizu i nadzor elektrana, neprestano se teži njezinom unaprjeđenju kako bi se prilagodili rastućim zahtjevima. U nastavku će se istražiti budući planovi i nadogradnje:

1. **Napredna integracija s pogonskim mjerenjima:** Planiramo dodatno obogatiti aplikaciju sa složenijim pogonskim mjerenjima kako bismo osigurali još detaljniji nadzor i analizu operacija unutar elektrana.
2. **Osnova za proračune priključenja:** Aplikacija će poslužiti kao ključna točka za proračune mogućnosti priključenja novih elektrana, što će olakšati planiranje širenja i integracije novih energetske resursa.
3. **Poboljšanje procesa priključenja:** Unaprjeđenje kontrole nad jednostavnim i složenim proračunima u procesima priključenja omogućit će efikasnije i sigurnije upravljanje mrežnim resursima.
4. **Alat za razvoj distribucijske mreže:** Aplikacija će se koristiti kao napredni alat pri planiranju razvoja mreža niskog napona, pružajući strateški uvid u optimizaciju infrastrukture.

Što se tiče planiranog proširenja funkcionalnosti koje smo do sada djelomično implementirali:

- **Sumarna mjerenja:** Implementacija sumarnih mjerenja omogućit će pregled i analizu podataka na višoj razini,
- **GIS informacije:** Planiramo integrirati GIS informacije o elektranama, posebno onima s problematičnim naponima, što će olakšati geografsku lokalizaciju i otklanjanje problema u realnom vremenu.



Slika 9. Analiza sumarnih mjerenja i GIS prikaz elektrana i TS s otkrivenim lošim naponima

Norma EN 50160[1] je europski standard koji definira parametre kvalitete napajanja električnom energijom. Ovaj standard daje smjernice i specifikacije za parametre električne energije koji bi trebali biti ispunjeni kako bi se osigurala stabilna i sigurna isporuka električne energije u elektroenergetskim sustavima. Norma definira dopuštene granice fluktuacija napona u elektroenergetskom sustavu. To uključuje nominalni napon, maksimalni napon, minimalni napon, vrijeme trajanja i amplitude fluktuacija, te brzinu promjena napona.



## 5. ZAKLJUČAK

## 6. LITERATURA

- 10