

Ivica Penić, dipl. ing. el.
HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o.
ivica.penic@hep.hr

Goran Kolačić, mag. ing. el.
HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o.
goran.kolaic@hep.hr

Ivica Hadjina, dipl. ing. el.
HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o.
ivica.hadjina@hep.hr

Nikola Benja, mag. ing. el.
HEP D.D., SIT
nikola.benja@hep.hr

RAZVIJANJE METODA ZA ANALIZU PODATAKA KAKO BI SE OMOGUĆILA BRZA REAKCIJA NA PROMJENE U POTROŠNJI I KVAROVE

SAŽETAK

U radu se predstavlja razvoj i implementacija inovativnih metoda za analizu podataka u s ciljem smanjenja netehničkih gubitaka u mrežama. Fokus je na detekciji promjena u potrošnji električne energije i pravovremenoj identifikaciji nepravilnosti kako bi se minimizirale posljedice na pouzdanost i kvalitetu opskrbe te na netehničke gubitke u mreži. Korištenjem naprednih algoritama za obradu velikih količina podataka, sustav omogućava detekciju anomalija te generira preporuke za operativne odluke. U radu su opisani implementirani scenariji koje su prilagođeni za primjenu u trenutnom SAP sustavu HEP ODS-a. Predstavljeni su rezultati implementacije ovih metoda u pilot-projektu netehničkih gubitaka u HEP ODS-u u stvarnim uvjetima, pri čemu su analizirani podaci iz pametnih brojlara, podaci o očitanjima brojlara. Algoritmi omogućavaju agregaciju podataka te otkrivanje nepravilnosti u obrascima potrošnje te lociranje kvarova i nepravilnosti na obračunskim mjernim mjestima. Uvođenjem ovakvog pristupa moguće je ostvariti značajne uštede u operativnom otkrivanju anomalija u potrošnji te smanjenju netehničkih gubitaka. Zaključno, rad doprinosi razvoju pametnih elektroenergetskih mreža kroz pružanje naprednih alata za podršku operativnom donošenju odluka, ističući važnost digitalizacije i analitike podataka kao ključnih čimbenika energetske tranzicije.

Ključne riječi: netehnički gubici, analitika podataka, pametne mreže, detekcija anomalija, energetska tranzicija

DEVELOPING DATA ANALYSIS METHODS TO ENABLE RAPID RESPONSE TO CONSUMPTION CHANGES AND FAULTS

SUMMARY

The paper presents the development and implementation of innovative methods for data analysis aimed at reducing non-technical losses in power networks. The focus is on detecting changes in electricity consumption and the timely identification of irregularities in order to minimize their impact on supply reliability, service quality, and overall non-technical losses within the network. By applying advanced algorithms for processing large volumes of data, the system enables anomaly detection and generates recommendations to support operational decision-making. The paper describes the implemented scenarios

specifically adapted for integration with the current SAP system used by HEP ODS. It presents the results of the pilot implementation of these methods under real-world conditions, utilizing smart meter data and meter reading records. The algorithms allow for data aggregation and identification of irregularities in consumption patterns, as well as the localization of faults and inconsistencies at metering points. Introducing such an approach provides significant potential for improving the efficiency of anomaly detection and reducing non-technical losses. In conclusion, the paper contributes to the development of smart power distribution networks by offering advanced tools for operational decision support, highlighting the importance of digitalization and data analytics as key enablers of the energy transition.

Key words: non-technical losses, data analytics, smart grids, anomaly detection, energy transition

1. UVOD

Smanjenje netehničkih gubitaka u elektrodistribucijskim mrežama postaje imperativ u kontekstu sve veće digitalizacije i energetske tranzicije. Netehnički gubici, koji uključuju krađe energije, pogreške u mjerenju, manipulacije brojlama i druge nepravilnosti, čine značajan udio ukupnih gubitaka mreže i predstavljaju financijski rizik za elektroenergetske kompanije. Primjena tehnologije pametnih brojila, u kombinaciji s naprednim analitičkim sustavima, otvara nove mogućnosti za njihovo sustavno praćenje i suzbijanje.

U ovom radu predstavljamo projekt implementacije sustava temeljenog na SAS Viya analitičkoj platformi u HEP ODS d.o.o. u suradnji s tvrtkom Comping d.o.o.. Sustav omogućuje integraciju podataka iz brojnih izvora, primjenu algoritama strojnog učenja, napredno vizualno izvještavanje i upravljanje slučajevima. Cilj je omogućiti operativni alat koji u stvarnom vremenu otkriva nepravilnosti, poboljšava učinkovitost intervencija i doprinosi smanjenju netehničkih gubitaka.

2. METODOLOGIJA

2.1. Prikupljanje podataka

Podaci korišteni u analizi obuhvaćaju očitavanja svih tipova brojila, podataka o kvarovima, evidencija o neovlaštenoj potrošnji električne energije, evidencije radnih naloga, izvršitelja te podatke o mjernim uređajima ugrađenim na obračunskim mjernim mjestima. U radu se koristi pristup agregacije podataka iz različitih izvora unutar SAP sustava kako bi se osigurala potpuna slika stanja vezanog uz obračunsko mjerno mjesto. Ključan korak u metodologiji predstavlja ekstrakcija, čišćenje, standardizacija i profiliranje podataka. SAS Studio i SAS/ACCESS komponente omogućuju integraciju i obradu podataka iz SAP i Oracle baza.

2.2. Algoritmi za analizu podataka

Razvijeni su algoritmi za detekciju nepravilnosti u potrošnji temeljeni na modelima strojnog učenja, uključujući metode klasifikacije, klasteriranja i analize vremenskih serija. Posebna pažnja posvećena je skalabilnosti algoritama za obradu velikih količina podataka u stvarnom vremenu. Korištene metode uključuju strojno učenje, regresijske modele, stabla odlučivanja te mrežnu analitiku. Hibridni pristup kombinira pravila, detekciju anomalija i prediktivnu analitiku kako bi se maksimizirala točnost i minimizirao broj lažno pozitivnih detekcija.

2.3. Generiranje i upravljanje upozorenjima

Automatizirana analiza rezultira generiranjem upozorenja koja se rangiraju po prioritetu i usmjeravaju prema istražiteljima. SAS Visual Investigator omogućava analizu svakog upozorenja, uključujući analizu povezanosti entiteta (brojilo, korisnik, adresa, ugovor), vremensku dimenziju i

dokumentaciju slučaja. Trijaža omogućuje klasifikaciju upozorenja, dok se značajna mogu pretvoriti u slučajeve za dublju i detaljniju istragu.

2.4. Vizualna analitika i izvještavanje

Sustav omogućuje korisnicima uvid u podatke kroz interaktivna sučelja SAS Visual Analyticsa. Izvještaji obuhvaćaju KPI-jeve poput broja otkrivenih slučajeva, vrijeme reakcije, učestalost upozorenja i status istraživanja. Vizualizacije uključuju geografske prikaze, mreže povezanosti i vremenske analize. Dodatno, omogućena je integracija sa standardnim uredskim alatima (Excel, PowerPoint) putem dodataka.

3. PILOT PROJEKT HEP ODS

3.1. Opis pilot-projekta

Pilot-projekt proveden je u svim distribucijskim područjima HEP ODS-a. Analizirani su podaci iz SAP sustava za sva obračunska mjerna mjesta. Projekt je uključivao prikupljanje podataka očitavanja sa svih brojila te razvoj prilagođenih modela za analizu nepravilnosti.

3.2. Implemetirani scenariji za automatsku detekciju

Tijekom faze poslovne analize kroz niz poslovnih radionica definirani su izvori podataka, analizirane postojeće kontrole za prevenciju netehničkih gubitaka i poslovni procesi. Poslovne radionice i analiza rezultirali su velikim brojem potencijalnih scenarija za automatsku detekciju netehničkih gubitaka. Kroz daljnju analizu potreba definirano je ukupno 9 scenarija za automatsku detekciju koji su išli u fazu prototipiranja:

1. **Velika odstupanja potrošnje na istom mjernom mjestu (AMR)** - sustav uspoređuje povijesne vrijednosti potrošnje iz pametnih brojila za isto mjerno mjesto. Upozorenje se generira kada dođe do znatnog odstupanja u potrošnji u odnosu na prethodne intervale. Scenarij omogućava rano prepoznavanje manipulacija ili tehničkih pogrešaka.
2. **Velika odstupanja potrošnje na istom mjernom mjestu (ostali kanali bez AMR-a)** - primjenjuje se za mjerna mjesta bez daljinskog očitavanja. Detektiraju se neuobičajene promjene u potrošnji usporedbom s referentnim vrijednostima. Posebno je koristan za područja bez široke primjene pametnih brojila.
3. **Velika promjena potrošnje nakon zamjene brojila** – analizira se odnos potrošnje prije i nakon zamjene brojila. Upozorenje se javlja za velika odstupanja, bilo pozitivna ili negativna. Pomaže u otkrivanju nepravilnosti u konfiguraciji, instalaciji ili namjernim manipulacijama.
4. **Isto očitavanje na više mjernih mjesta na isti datum** – scenarij identificira situacije kada je više različitih mjernih mjesta evidentirano s identičnim vrijednostima očitavanja. Takav obrazac ukazuje na potencijalne greške u očitavanju ili unosu podataka. Omogućuje brzu korekciju unutar sustava.
5. **Nedostaje očitavanje za kupca koji je imao zabilježene izostanke očitavanja u prošlosti, velika potrošnja i koristi snagu veću od EES** – ovaj scenarij kombinira više kriterija: izostanak očitavanja, povijest problema i iznimno visoku trenutnu potrošnju. Identificira potencijalno rizične korisnike čije ponašanje odstupa od norme. Scenarij omogućuje usmjeravanje resursa na slučajeve s većom vjerojatnosti nepravilnosti.
6. **Učestala ručna prepravljanja očitavanja** – prati se broj ručnih intervencija na očitanjima istog mjernog mjesta. Česta prepravljanja ukazuju na mogući pokušaj prikrivanja stvarne potrošnje ili probleme s uređajem. Omogućuje usmjeravanje kontrole na operativno rizična mjesta.

7. **Velike anomalije u rasporedu potrošnje po tarifama** – analizira se odnos potrošnje tijekom niske i visoke tarife. Nagla odstupanja u obrascima potrošnje mogu upućivati na manipulacije ili nepravilno obračunavanje. Scenarij pomaže u detekciji tarifnih zlouporaba.
8. **Jednako stanje očitnog brojila u više navrata** – sustav prepoznaje kada očitano stanje brojila ostaje nepromijenjeno kroz više uzastopnih razdoblja. Takav obrazac upućuje na potencijalni kvar brojila, grešku u sustavu ili zlouporabu. Aktivira provjeru vjerodostojnosti očitavanja sa brojila te kontrolu.
9. **MM sa korekcijama očitavanja sa uređaja i stanja za obračun (negativna potrošnja) + očitana proizvodnja, a mjerno mjesto nije registrirano kao proizvođač** – detektiraju se slučajevi gdje se na mjernom mjestu bilježi proizvodnja i korekcije, iako mjerno mjesto nije evidentirano kao proizvođač. Moguće je da korisnik neovlašteno koristi elektranu ili tehničku neispravnost kod ugradnje brojila. Scenarij doprinosi otkrivanju neovlašteno spojenih elektrana ili neispravne instalacije brojila.

3.3. Rezultati i analiza

U 2024. godini ukupni gubici u distribucijskoj mreži iznosili su 1.379 GWh, što čini 8,05% ukupne ulazne energije u sustav, što je generiralo ukupan trošak od 107,8 milijuna eura. Prosječna jedinična cijena nabave energije za pokriće tih gubitaka iznosila je 78,19 EUR/MWh. Prema podacima iz stručne studije Instituta Hrvoje Požar, tehnički i netehnički gubici otprilike su jednako zastupljeni, s omjerom 50:50. Sukladno toj procjeni, može se zaključiti da su netehnički gubici u 2024. godini iznosili približno 689,5 GWh ili 4,025% ukupne ulazne energije u mrežu. Trošak energije potreban za pokriće samo tih netehničkih gubitaka procjenjuje se na 53,9 milijuna eura. Tijekom iste godine provedeno je ukupno 74.715 fizičkih kontrola priključaka i mjernih mjesta na terenu. Uzimajući u obzir prosječni trošak jedne kontrole (uključujući trošak rada, prijevoz, opremu i druge operativne troškove) od 22,55 EUR po kontroli, ukupan trošak terenskih aktivnosti iznosio je oko 1,68 milijuna eura. Od ukupnog broja kontrola, identificirano je 11.321 tehnički kvar na mjernoj opremi (primjerice, brojila, prebacivači tarife, krivi spojevi i slično) te 589 slučajeva neovlaštene potrošnje električne energije. To znači da je samo u 15% svih provedenih kontrola otkriven netehnički gubitak, što ukazuje na ograničenu učinkovitost klasičnih metoda detekcije. Međutim, značajan iskorak ostvaren je tijekom probnog razdoblja primjene novog sustava temeljenog na SAS tehnologiji, između 25. ožujka i 11. travnja 2025. godine (ukupno 14 radnih dana). U tom je razdoblju automatski otvoreno 376 uredskih istraga na temelju podataka i uzoraka iz sustava. Od toga je u 177 slučajeva isključena sumnja na nepravilnosti, dok je 58 istraga još uvijek u tijeku. U preostalih 141 slučaj, temeljem provedenih terenskih kontrola, potvrđeno je 60 stvarnih nepravilnosti koje se klasificiraju kao netehnički gubici – što predstavlja učinkovitost detekcije od 43%. Usporedimo li to s rezultatima iz 2024. godine, jasno je da novi pristup višestruko povećava učinkovitost otkrivanja – s 15% na 43%. Primjenom tradicionalne metode uz korištenje SAS sustava, za otkrivanje istog broja nepravilnosti bilo bi potrebno izvršiti samo 26.328 terenskih kontrola. To bi predstavljalo trošak od 594.000 eura, što znači da nam novi sustav omogućuje ostvarenje istog rezultata uz troškovnu uštedu od približno 1,086 milijuna eura. Važno je istaknuti kako se u trenutku pisanja ovog rada novi SAS sustav još uvijek koristi u testnom režimu, povezan s kopijama SAP sustava (stanje iz rujna 2024.), a ne s produkcijskim okruženjem. Očekuje se da će rezultati biti još bolji nakon potpune integracije, s obzirom na to da je u međuvremenu implementiran velik broj novih pametnih brojila s funkcionalnošću daljinskog očitavanja. Time se dodatno otvaraju mogućnosti za još preciznije praćenje i proaktivno upravljanje netehničkim gubicima.

4. BUDUĆNOST I NADOGRADNJA SUSTAVA

U narednoj fazi razvoja projekta predviđa se daljnje proširenje funkcionalnosti sustava kroz integraciju SAS analitičke platforme s AMR sustavima. Poseban naglasak bit će na analizi 15-minutnih krivulja opterećenja te 10-minutnih krivulja napona i struja, čime će se omogućiti dublji uvid u dinamičko ponašanje mreže. Cilj je razviti modele koji će automatski prepoznavati odstupanja i anomalije u tim vremenskim nizovima, omogućujući pravovremeno reagiranje na moguće nepravilnosti ili kvarove. Osim toga, planira se i obrada podataka iz knjige događaja pametnih brojila, s ciljem detekcije neuobičajenih stanja i alarmnih situacija. Ovi podaci bit će povezani i uspoređeni s informacijama o prekidima napajanja

iz SCADA sustava, čime se osigurava sveobuhvatan pristup nadzoru i analizi događanja u mreži. Takva višeslojna integracija podataka dodatno će unaprijediti točnost dijagnostike i učinkovitost operativnog odlučivanja. Primjena naprednih analitičkih metoda, hibridne analitike i automatiziranog otkrivanja u elektroenergetskim sustavima otvara brojne mogućnosti za poboljšanje operativne efikasnosti. Implementacija u stvarnim uvjetima pokazala je kako digitalizacija mreže doprinosi boljoj kontroli potrošnje, smanjenju gubitaka te povećanju otkrivenih anomalija u sustavu. Međutim, izazovi poput osiguravanja kvalitete podataka i integracije s postojećim sustavima zahtijevaju daljnja istraživanja ali i potrebu za daljnjom edukacijom korisnika.

5. ZAKLJUČAK

Prikazani rezultati jasno ukazuju na važnost digitalizacije i primjene napredne analitike u smanjenju netehničkih gubitaka u distribucijskim mrežama. U 2024. godini ti su gubici iznosili gotovo 690 GWh, uz financijski teret od 53,9 milijuna eura. Klasične metode kontrole, iako korisne, pokazale su se ograničenima – s uspješnošću detekcije od svega 15%. Uz značajne operativne troškove terenskih aktivnosti, njihova učinkovitost nije zadovoljavajuća za potrebe suvremenog poslovanja. Implementacija novog sustava temeljenog na SAS Viya platformi predstavlja korak naprijed u transformaciji načina upravljanja gubicima. Tijekom kratkog probnog razdoblja u 2025. godini, novi pristup omogućio je trostruko veću učinkovitost u otkrivanju netehničkih gubitaka – čak 43%. Sustav je u stanju automatski prepoznati potencijalne nepravilnosti i generirati upozorenja, čime značajno smanjuje potrebu za nasumičnim i skupim terenskim pregledima. Usporedbom s podacima iz prethodne godine, ostvarena je procijenjena ušteda od više od milijun eura za isti broj otkrivenih nepravilnosti. Time se potvrđuje opravdanost ulaganja u digitalne alate za analizu prikupljenih podataka iz mreža. Sustav u ovom trenutku još uvijek nije povezan s produkcijskim SAP okruženjem, što znači da se dodatna poboljšanja očekuju u narednoj fazi implementacije. Posebno treba istaknuti ulogu novih pametnih brojlara i sustava za daljinsko očitavanje u povećanju preciznosti i automatizacije procesa. Prikazani pristup omogućuje agregaciju i analizu velikih količina podataka u stvarnom vremenu, detekciju anomalija te brzo djelovanje u slučaju sumnje na neovlaštenu potrošnju. Sustav se pokazao robusnim, skalabilnim i prilagodljivim stvarnim operativnim uvjetima. Uvođenje ovakvog rješenja otvara mogućnost standardizacije procesa nadzora i učinkovitijeg upravljanja resursima na razini cijele tvrtke. Nadalje, omogućava prijelaz s reaktivnog na proaktivni model upravljanja mrežom. Osim smanjenja gubitaka, ovakav pristup izravno utječe na povećanje pouzdanosti i kvalitete opskrbe krajnjih korisnika. U konačnici, implementacija ovakvih rješenja predstavlja ključan korak prema modernizaciji i stvaranju pametnih mreža. Digitalna transformacija mrežnih sustava i primjena analitike podataka u realnom vremenu više nisu opcija – već nužnost. Ovaj rad pokazuje kako se tehnološke inovacije mogu konkretno pretočiti u operativnu učinkovitost i financijsku održivost. Budući razvoj sustava uključivat će širu primjenu na nacionalnoj razini, optimizaciju algoritama i integraciju s drugim digitalnim platformama.

6. LITERATURA

- [1] HEP ODS – Interni projektni materijali i plan implementacije
- [2] Comping d.o.o. - Presentacije i dokumentacija vezano uz pilot-projekt
- [3] SAS Institute - SAS Viya Documentation, 2023.