

Danijel Davidović^{1*}, Dalibor Crnoja¹, Sreten Davidov²

Identifikacija faza i prekida u niskonaponskim mrežama na osnovu podataka o događajima registrovanim u pametnim brojilima

¹ Elektro Ljubljana d. d., Ljubljana, Slovenija² EIMV, Ljubljana, Slovenija

Stručni rad

Ključne poruke

- Pametna brojila omogućavaju podatke za kontrolu i monitoring NN mreža
- Pametna brojila mogu omogućiti alarme o prekidima na NN mreži u realnom vremenu
- Podaci u realnom vremenu će omogućiti dalju optimizaciju procesa detekcije prekida

Kratak sažetak

Operatori distributivnog sistema (ODS) suočavaju se sa raznim izazovima u niskonaponskim (NN) mrežama, koji rezultiraju nepredvidljivim varijacijama opterećenja i napona. Da bi imao daljinsko praćenje NN mreža, ODS mora digitalizovati NN mreže uvođenjem pametnih brojila. Pametna brojila su ključna za NN mreže jer omogućavaju praćenje i kontrolu različitih veličina i funkcija poput napona, struje, snage, potrošnje, alarma itd. Pametna brojila su sve naprednija i danas mogu pružati podatke u skoro realnom vremenu. Takvi podaci omogućavaju ODS-u da otkrije različite događaje na NN mreži, kao što su prekidi, preopterećenja, neuravnoteženost faza i slično. Pored toga, uz komunikaciju u realnom vremenu putem pametnih brojila, ODS može osigurati kontinuitet procesa.

Ovaj rad predstavlja identifikaciju faza i prekida u NN mrežama na osnovu podataka u vezi sa događajima koje registruju pametna brojila. Očekivani doprinosi rada su:

- povezivanje događaja iz podataka pametnih brojila sa događajima uključenja i isključenja kako bi se utvrdili jedinstveni prekidi za izveštavanje;
- mogućnost identifikacije faza za korisnike sa jednofaznim priključkom korišćenjem informacija o prekidima u napajanju;
- korišćenje informacija iz pametnih brojila u realnom vremenu i ispitivanje pouzdanosti komunikacije pri agregiranju podataka o prekidima na NN mrežama.

Ključne reči

Alarmi, brojila, događaji, identifikacija faza, NN mreže, prekidi

Primljeno: 29. oktobar 2024.

Recenzirano: 20. maj 2025.

Izmenjeno: 5. jun 2025.

Odobreno: 6. jun 2025.

*Korespondirajući autor: Danijel Davidović, 00386 30 716 818

Imejl: Danijel.Davidovic@elektro-ljubljana.si

Napomena:

Ovaj članak predstavlja proširenu, unapređenu i dodatno recenziranu verziju rada „Identifikacija faza i ispada u NN mrežama zasnovana na događajima sa podacima pametnih brojila“, nagrađenog u Stručnoj komisiji STK-4 Distribuirana proizvodnja i efikasno korišćenje električne energije, na 14. Savetovanju CIRED Srbija, Kopaonik, 16-20. septembra 2024.

1. UVOD

Pametna brojila sa svim dostupnim podacima i pametnim funkcijama vode digitalizaciju u niskonaponskim (NN) mrežama. Pametna brojila mogu doneti veliku vrednost operatorima distributivnog sistema (ODS) i krajnjim korisnicima. U današnje vreme, pametna brojila se koriste za praćenje NN mreža, uključujući otkrivanje odstupanja napona, prekida mrežnih linija, grešaka, kao i tehničkih i netehničkih gubitaka itd., [1]. Pametna brojila su naši senzori u NN mreži, a njihovo korišćenje nam omogućava da procenimo vitalne varijable NN mreže, kao što su naponi i snaga. Elektro Ljubljana d. d. svakodnevno prikuplja podatke sa pametnih brojila u mernom centru. Sa većine digitalnih brojila podaci se prikupljaju jednom dnevno, a sa nekih pametnih brojila podaci se prikupljaju gotovo u realnom vremenu putem tačka-tačka (*point-to-point*, P2P) komunikacije mobilne mreže. Izvedena merenja se prikupljaju, analiziraju i koriste u različite svrhe. Osnovna svrha je izračunavanje potrošnje i generisane snage, dok se drugi metrički podaci koriste za kvalitet snabdevanja električnom energijom, [2]. Za monitoring NN mreže na nekim od transformatorskih stanica trenutno se koriste alarmi i registrovani događaji. Događaji su istorijski podaci koji se koriste za identifikaciju faza i kontrolu incidenata u NN mreži koji su se već desili. Događaji mogu biti podeljeni u više grupa. Događaji u vezi sa kvalitetom električne energije mogu poslužiti za pružanje većeg zadovoljstva potrošačima, pogotovo ukoliko se događaji analiziraju pomoću veštačke inteligencije, [3]. Alarmi su informacije u realnom vremenu koje omogućavaju lokalizaciju prekida u NN mreži. Alarmi omogućavaju optimizaciju procesa u budućnosti. Korišćenjem alarma moguće je detektovati ispade u NN mreži i informaciju iskoristiti za obaveštenje svih potrošača koji su zbog ispada ostali bez električne energije. Sistem koji šalje informacije potrošačima o ispadima pomoću podataka sa pametnih brojila i algoritama za analizu tih podataka već uspešno koriste neke od distribucija. Jedna takva distribucija je iz Skandinavije gde pametna brojila šalju alarme usled ispada i ta ista obaveštenja dobijaju potrošači, [4]. Dalje, alarmi omogućavaju i bolje definisanje lokacije ispada i vrstu kvara. Sa alarmima će ubuduće biti moguće automatsko kreiranje naloga za rad i smanjivanje dužine trajanja prekida napajanja. Upotrebom nove veštačke inteligencije biće omogućena automatizacija koja se danas čini nedostupnom.

Svrha ovog rada je da podstakne proces koji će omogućiti razumevanje parametrizacije pametnih brojila, kako bi se videlo kako se događaji aktiviraju i da se otkrije da li postoje mogući pomaci u vremenu od strane pametnog brojila. Na taj način, komunikacija i kvalitet isporuke podataka mogu se proveriti i povezati sa ADMS-om (*Advanced Distribution Management System*), aktiviranim incidentima sa događajima koji su se dogodili na strani pametnog brojila. Na primer, incident zabeležen na srednjenaponskom izvodu može se potvrditi događajima registrovanim u pametnim brojlama na NN mreži. Događaji mogu biti planirani i neplanirani. Podaci iz pametnih brojila otkrivaju događaje koji su se desili u NN

mreži i mogu se koristiti za kontrolu i monitoring NN vodova.

U ovom radu predstavljamo povezivanje događaja registrovanih u pametnim brojlama sa uključivanjem i isključivanjem napajanja, kako bismo odredili jedinstvene događaje prekida za izveštavanje. Naš cilj je odrediti moguću identifikaciju faza korisnika sa jednofaznim priključkom na mrežu, koristeći informacije o uključivanju i isključivanju napajanja ili događaje prekida faza. Na kraju, koristićemo informacije o alarmima iz pametnih brojila u realnom vremenu i istražiti pouzdanost komunikacije pri agregiranju podataka o prekidima NN vodova. U budućnosti se na analiziranom području očekuje veća upotreba pametnih brojila koja mogu da šalju podatke i alarme u realnom vremenu. Na taj način lakše će biti uporediti podatke pametnih brojila sa mernih mesta potrošača sa podacima pametnih brojila u transformatorskoj stanici. Zbog tačnijih informacija u realnom vremenu identifikacija faza biće mnogo lakša. Isto tako, ubuduće se očekuje mnogo veća upotreba veštačke inteligencije u smislu analiza podataka i automatizacije definisanja incidenata u NN mreži.

Rad je strukturiran na sledeći način: u Poglavlju 2 predstavljamo kako radimo identifikaciju ispada na osnovu događaja, u Poglavlju 3 opisujemo alarme događaja i u Poglavlju 4 dajemo zaključke ovog rada.

2. IDENTIFIKACIJA ISPADA NA OSNOVU DOGAĐAJA

Informacije pametnih brojila o registrovanim događajima obećavajuće su za monitoring NN mreže, jer pružaju podatke o različitim incidentima u NN mrežama. Događaji mogu pružiti informacije o odstupanjima napona, pa čak i o prekidima u napajanju, [5]. Događaji su istorijski podaci i obično se koriste za analizu prošlih incidenata ili za sprečavanje prekida ili incidenata u budućnosti. U Elektro Ljubljani d. d. koristimo događaje i za kontrolu izveštavanja o prekidima i za identifikaciju faza na pametnom brojlilu. Identifikacija faza može se obezbediti i sa analizom 10-minutnih dijagrama napona. Što je veća granularnost podataka napona, to je lakše uraditi identifikaciju jednofaznih potrošača. Za takve analize preporučeno je upotrebljavati jednominutni dijagram napona. Ti isti podaci mogu se upotrebiti i za detekciju drugih grešaka u NN mreži, [6].

2.1 Povezivanje događaja iz podataka pametnih brojila sa uključivanjem i isključivanjem napajanja radi utvrđivanja jedinstvenih događaja prekida za izveštavanje

U Elektro Ljubljani d. d. pokušavamo da povežemo incident na terenu sa podacima pametnih brojila. Događaji mogu biti planirani zbog radova na održavanju u NN mreži ili neplanirani prekidi. Istorijski podaci pametnih brojila omogućavaju nam da analiziramo prošle incidente. Od dostupnih podataka pametnih brojila koristimo događaje o isključivanju napajanja, uključivanju napajanja, nedostatku napona po fazama i o normalnom naponu po

fazama. Svi događaji se prikupljaju sa vremenskim oznakama. Na primer, ako na transformatorskoj stanici dobijemo ADMS-ov izveštaj o kvaru na jednoj fazi, događaji sa pametnih brojila mogu pokazati da je zapravo došlo do potpunog prekida na celoj NN liniji sa transformatorske stanice. Na taj način detektujemo i možemo kontrolisati netačne ADMS-ove izveštaje koje dostavljaju radnici na terenu o incidentima, a daljom analizom možemo čak detektovati povezanost faza pametnih brojila i priključaka korisnika sa jednom fazom.

2.2 Moguća identifikacija faza korisnika sa jednom fazom korišćenjem informacija o uključivanju i isključivanju napajanja ili događajima prekida faza

Ovaj rad istražuje izvodljivost identifikacije korisnika sa jednofaznim priključkom analizom informacija o uključivanju i isključivanju napajanja, kao i o događajima

u vezi sa prekidima faza. Istražujući obrasce u prekidima snabdevanja, kao što su uzastopni događaji isključivanja napajanja ili prekidi faza, cilj nam je da utvrdimo na koju od faza sistema su priključeni monofazni korisnici. Ovi događaji nam pružaju dragocene uvide za efikasno upravljanje i optimizaciju NN mreže, čime se poboljšava pouzdanost usluga i zadovoljavaju jedinstvene potrebe korisnika sa jednofaznim priključkom.

Da bismo utvrdili na koju fazu je povezan korisnik sa jednofaznim priključkom, bilo je potrebno testirati i razumeti parametrizaciju pametnog brojila. Na primer, ako se registruje događaj prekida faze, registracija pametnog brojila za korisnike sa jednom fazom (L1), Slika 1, aktivira se događajem isključivanja napajanja i ponovnog uspostavljanja napajanja jedne faze, ali ne dolazi do evidentiranja događaja isključivanja napajanja potrošača.

Za trofazno pametno brojilo, na Slici 2 možemo videti da ukoliko je jedna faza isključena, vrednost napona opada na nulu.

	Time	Event ID	Event description
1	09.04.2024 08:47:03	232	Power Down Phase L1
2	09.04.2024 08:49:14	235	Power Restored For L1
3	09.04.2024 08:49:14	88	Phase sequence reversal

Slika 1. Isključivanje napajanja kod jednofaznih potrošača

Time	Status	3; 1-0:32.7.0*255; 2 [V]	3; 1-0:52.7.0*255; 2 [V]	3; 1-0:72.7.0*255; 2 [V]
09.04.2024 08:46:40	Daylight Saving Time Active	240	240	239,9
09.04.2024 08:46:50	Daylight Saving Time Active	240,1	240,1	240,1
09.04.2024 08:47:00	Daylight Saving Time Active	240,2	240,2	240,2
09.04.2024 08:47:10	Daylight Saving Time Active	0	240,6	240,5
09.04.2024 08:47:20	Daylight Saving Time Active	0	240,7	240,6
09.04.2024 08:47:30	Daylight Saving Time Active	0	241	240,9
09.04.2024 08:47:40	Daylight Saving Time Active	0	240,9	240,8
09.04.2024 08:47:50	Daylight Saving Time Active	0	238	237,9
09.04.2024 08:48:00	Daylight Saving Time Active	0	238	238
09.04.2024 08:48:10	Daylight Saving Time Active	0	238,1	238,1
09.04.2024 08:48:20	Daylight Saving Time Active	0	238,1	238
09.04.2024 08:48:30	Daylight Saving Time Active	0	237,8	237,7
09.04.2024 08:48:40	Daylight Saving Time Active	0	237,6	237,6
09.04.2024 08:48:50	Daylight Saving Time Active	0	237,8	237,8
09.04.2024 08:49:00	Daylight Saving Time Active	0	237,4	237,4
09.04.2024 08:49:10	Daylight Saving Time Active	0	237,4	237,4
09.04.2024 08:49:20	Daylight Saving Time Active	237,2	237,1	237,1
09.04.2024 08:49:30	Daylight Saving Time Active	237,4	237,4	237,4
09.04.2024 08:49:40	Daylight Saving Time Active	237,3	237,3	237,3

Slika 2. Napon faze opada na nulu u slučaju prekida jedne faze

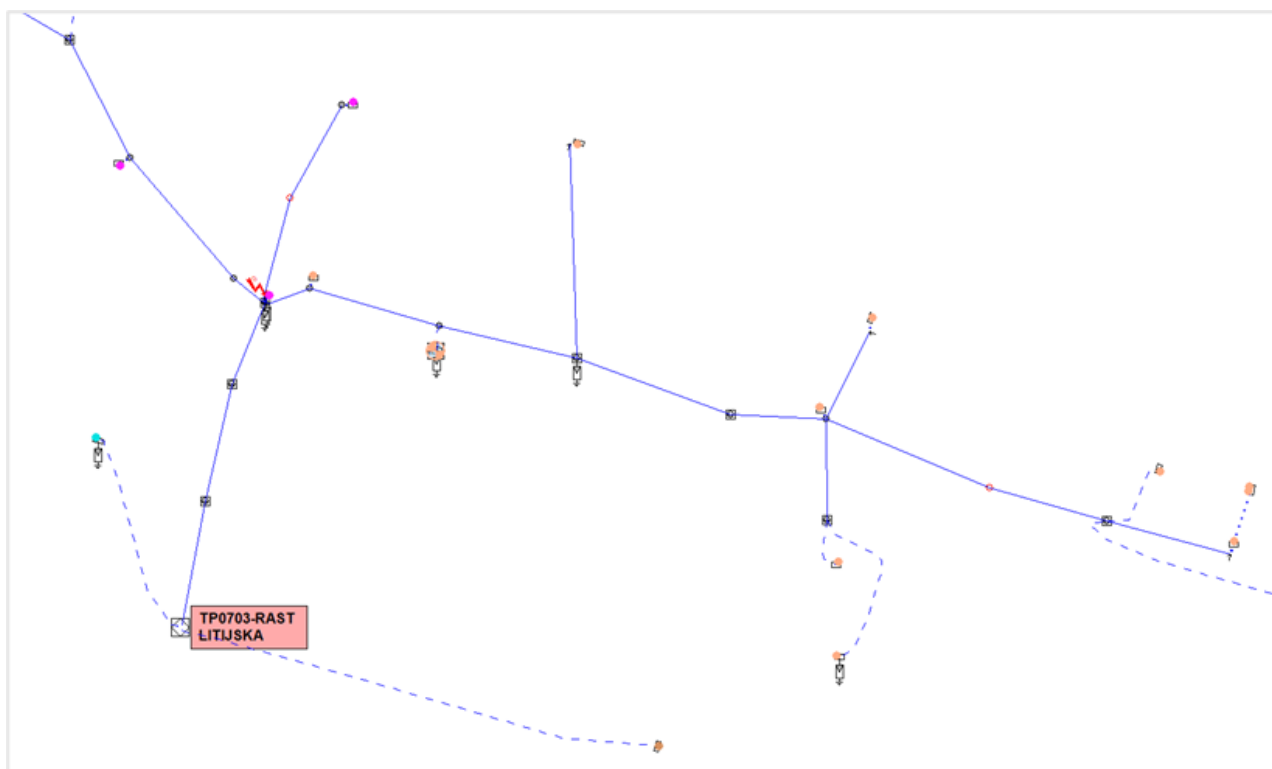
Kada se faze isključuju jedna po jedna, konačni događaj isključivanja napajanja stvara se kada su sve tri faze isključene. Ovaj događaj se zatim šalje u centar upravljanja. To nam omogućava da efikasnije postavljamo upite i pretražujemo bazu podataka za konkretne događaje, čime možemo odrediti fazu na koju je povezan korisnik sa jednofaznim priključkom. Na Slici 3 možemo videti konkretne događaje isključivanja napajanja kada se faze isključuju jedna po jedna.

7	09.04.2024 09:12:11	232	Power Down Phase L1
8	09.04.2024 09:13:15	233	Power Down Phase L2
9	09.04.2024 09:14:26	234	Power Down Phase L3
10	09.04.2024 09:14:26	1	Power down
11	09.04.2024 09:14:48	2	Power up
12	09.04.2024 09:14:48	88	Phase sequence reversal
13	09.04.2024 09:14:49	235	Power Restored For L1
14	09.04.2024 09:14:49	236	Power Restored For L2
15	09.04.2024 09:14:49	237	Power Restored For L3

Slika 3. Konačni događaj isključivanja i ponovnog uključivanja napajanja

3. IDENTIFIKACIJA DOGAĐAJA ZASNOVANA NA ALARMIMA

Identifikacija događaja zasnovana na alarmima moguća je za pametna brojila koja omogućavaju prikupljanje informacija u realnom vremenu. U našem slučaju, odlučili smo da testiramo alarme na transformatorskoj stanici („Rast litijska”) sa 15 mernih tačaka. Na Slici 4 možemo videti transformatorsku stanicu sa tri NN izvoda. Na svakoj od mernih tačaka su instalirana pametna brojila sa 4G modulima koji omogućavaju prenos informacija u realnom vremenu. Cilj je bio da se pokaže mogućnost detekcije prekida sa alarmima i identifikacija faza.



Slika 4. Niskonaponska transformatorska stanica „Rast litijska”

B1	Power resume	☒
B2	Voltage missing phase L1	☒
B3	Voltage missing phase L2	☒
B4	Voltage missing phase L3	☒
B5	Voltage normal phase L1	☒
B6	Voltage normal phase L2	☒
B7	Voltage normal phase L3	☒

Slika 5. Odabrani događaji za aktiviranje alarma

3.1 Korišćenje informacija iz pametnih brojila sa alarmima u realnom vremenu za utvrđivanje pouzdanosti komunikacije u agregiranju prekida niskonaponskih dovodnih linija

Da bi detektovale alarme, distributivne kompanije moraju pripremiti odgovarajući sistem, *Head-End-System* (HES) i pametna brojila kako bi uspostavile komunikacioni put za informacije u realnom vremenu. U slučaju Elektro Ljubljane d. d. smo u HES postavili funkcionalnosti „*Push-on-Alarm*” (PoA) i „*Push-on-PowerDown*” (PoPD) za P2P brojila.

Svrha PoA je slanje alarma u HES, čim se oni pojave u registru alarma. Kada HES primi određeni alarm, aktivira se proces koji resetuje deskriptor i registre, čita sve događaje sa brojila i čuva ih u bazi podataka (*Data Base*, *DB*). Alarmi će biti aktivirani i poslani HES-u kada se dogodi jedan od sledećih događaja prikazanih na Slici 5.

Unutar alarma, događaj „Potpuni prekid napajanja” nije uključen, jer se šalje kao PoPD koristeći funkcionalnost „*last gasp*”, i dalje je označen kao alarm. Pošto je brojilo nedostupno u trenutku „Potpunog prekida napajanja”, ne možemo aktivirati čitanje događaja. HES šalje obaveštenje ADMS-u, a čim se brojilo poveže na mrežu APN (*Access Point Name*), ostali alarmi se šalju, a proces za čitanje svih događaja se aktivira.

Sa ovakvim informacijama u realnom vremenu, ADMS omogućava praćenje NN mreže uz pomoć pametnih brojila i HES-a. Na Slici 6 možemo videti obaveštenje HES-a o poslatom alarmu. Na Slici 7 možemo videti primere alarma koji su testirani na transformatorskoj stanici na jednoj mernoj tački.

NotificationPushAlarm		3. 04. 2024 09:16:37	3. 04. 2024 09:16:39		
PushNotifikacija	Succeeded	3. 04. 2024 09:16:37	3. 04. 2024 09:16:39	100% (1/1)	100% (1/1)
31985	Succeeded	3. 04. 2024 09:16:37	3. 04. 2024 09:16:39	100% (1/1)	100% (1/1)

Slika 6. Slanje „Push” obaveštenja ADMS-u

Alarms (14)					
Alarms					
Date	Name	Id	Data	Description	
18.03.2024 09:02:16	PowerDown	1000	Push Power Down Data	Power down	
19.03.2024 06:18:08	PowerUp	1001		Power up	
19.03.2024 06:18:08	VoltageDownPhaseL1	1002		Missing voltage L1	
19.03.2024 06:18:08	VoltageNormalPhaseL1	1008		Voltage L1 normal	
19.03.2024 06:18:08	AlarmOn	1167		Alarm occurred	

Slika 7. Alarmi na HES-u

Kroz testiranje na transformatorskoj stanici (TS) imali smo različite test-scenarije:

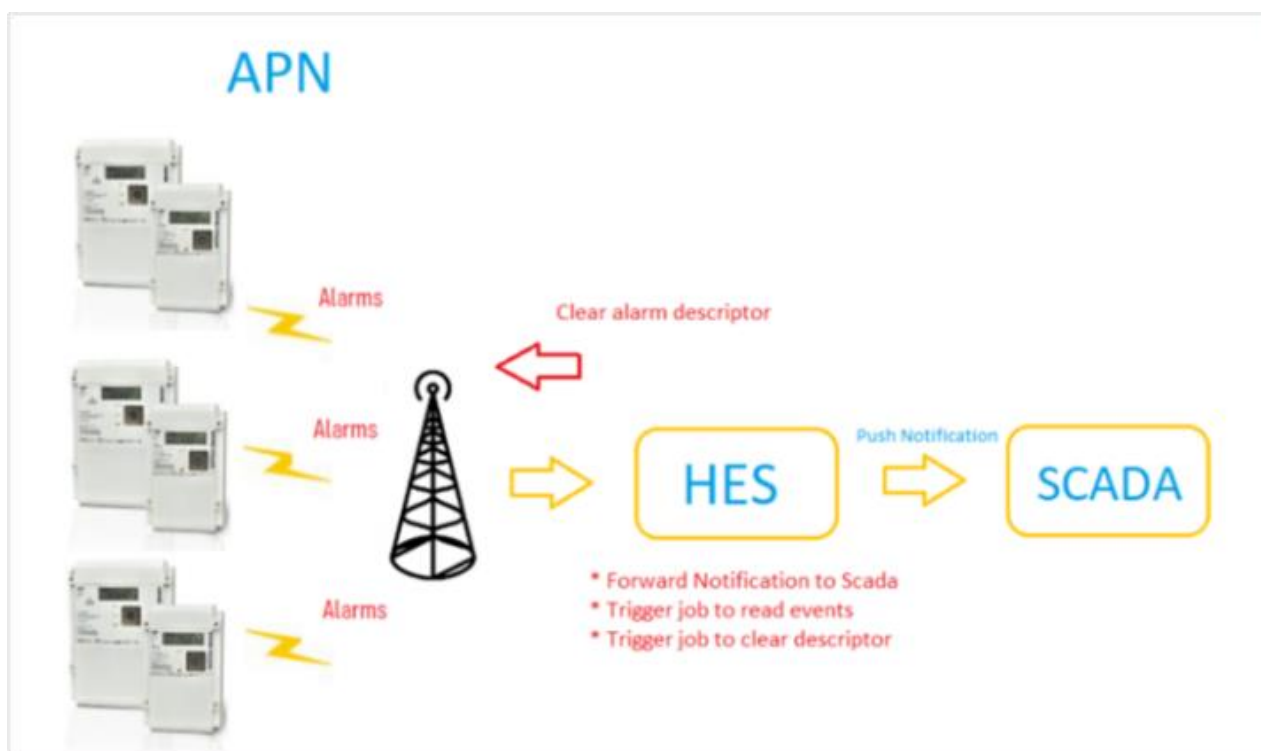
- prekid napajanja na jednoj mernoj tački;
- prekid jedne faze na jednoj mernoj tački;
- prekid NN linije sa TS;
- prekid jedne faze na NN liniji sa TS;
- prekid dve faze na NN liniji sa TS;
- prekid napajanja TS.

Svi testovi su bili uspešni, i u svakom test-scenariju dobili smo alarme u ADMS-u koji su ispunili naš cilj. Sa ovakvim informacijama, prekidi će u budućnosti biti

detektovani odmah kada se dogode, omogućavajući našim radnicima na terenu da smanje vreme oporavka u NN mreži.

3.2 Komunikacioni put

Na Slici 8 možemo videti uspostavljeni komunikacioni put za alarme pametnih brojila u slučaju Elektro Ljubljane d. d. Očekuje se da će se svakodnevno prikupljati oko 5.000 alarma, što će pomoći ADMS-u u praćenju i upravljanju distributivnom mrežom. Da bi se upravljalo ovakvim brojem alarma, sistem će zahtevati dodatnu automatizaciju i integraciju sa sistemom za radne naloge.



Slika 8. Komunikacioni put

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavili smo mogućnosti za utvrđivanje prekida i identifikaciju faza koristeći istorijske podatke pametnih brojila. Takođe, prikazali smo unapređenje prikupljanjem podataka u realnom vremenu. Sa podacima u realnom vremenu dobijamo još korisnije informacije koje omogućavaju dalju automatizaciju procesa. Bez automatizacije sistema za obradu alarma i sistema radnih naloga, monitoring mernih podataka u realnom vremenu, kao što su alarmi, biće nemoguć. Sve funkcionalnosti savremenih ADMS-ova za vođenje i upravljanje mrežom jesu (ili će biti) zavisni od ulaznih podataka pametnih brojila. U budućnosti se očekuje da će podaci o prekidima automatski generisati radne naloge, a informacije će se slati i potrošačima. Ovom informacionom automatizacijom smanjićemo nepotrebne telefonske pozive, optimizovati procese detekcije prekida i, što je najvažnije, povećati kvalitet napajanja i zadovoljstvo potrošača. Sa faznom identifikacijom ostvarujemo dalje poboljšanje digitalnog modela distributivne NN mreže i ravnomerniju raspodelu opterećenja po fazama.

BIOGRAFIJE

Danijel Davidović je rođen 1994. godine u Ljubljani. Diplomirao je na Fakultetu za elektrotehniku Univerziteta u Ljubljani godine 2016. i iste godine posle diplomiranja zaposlio se u Elektro Ljubljani d. d., u odeljenju za merenje. Tu radi i danas kao vođa odeljenja za merne sprave. Godine 2022. stekao je i zvanje master poslovnih nauka na Ekonomskom fakultetu Univerziteta u Ljubljani. ORCID: 0009-0009-1967-3276.

LITERATURA

- [1] Khazaei M., Stanković L., Stanković V., 2019, Trends and Challenges in Smart Metering, Chapter in the Book, University of Strathclyde
- [2] Vafeiadis T., et al, 2019, Anomaly Detection in Smart Meters, 14th Conference of Slovenian Energetics (CIGRE-CIRED), 2019, Laško (Slovenia)
- [3] Sanchez T. M., et. al., Fault Detection in Low Voltage Networks with Smart Meters and Machine Learning Techniques, International Conference & Exhibition on Electricity Distribution (CIRED), 2019, Madrid (Spain)
- [4] Marie-Cecile Alvarez-Herault, et al., 2019, Monitoring and Control of LV Networks, Report CIRED WG 2019-5
- [5] Prado J. G., Gonzalez A., Riano S., Adopting Smart Meter Events as Key Data for Low-voltage Network Operation, 24th International Conference & Exhibition on Electricity Distribution (CIRED), 2017, Glasgow (UK) 924-928
- [6] Andrew U., et al., Phase Identification Using Smart Meter Data, International Conference on Electricity Distribution (CIRED), 2023, Rome (Italy)

Dalibor Crnoja je rođen 1979. godine u Ljubljani, gde je i stekao zvanje inženjer telekomunikacija i zaposlio se u Telekomu Slovenija, gde je radio 13 godina. Godine 2019. zaposlio se u Iskraemeku, gde se prvi put sreo sa konceptom pametnog merenja. Od 2023. nastavlja svoju radnu karijeru u Elektro Ljubljani d. d. ORCID: 0009-0007-0758-4837.

Sreten Davidov je rođen u Negotinu, Severna Makedonija, 1989. godine. Diplomirao je na FEIT-u u Skoplju, 2012. godine, a master studije je završio na Fakultetu za elektrotehniku Univerziteta u Ljubljani 2014. godine i doktorirao na istom fakultetu iz područja elektrotehnike i elektroenergetike 2018. godine. Trenutno radi u EIMV-u u Ljubljani, Slovenija. ORCID: 0000-0003-3584-5073.

Danijel Davidović^{1*}, Dalibor Crnoja¹, Sreten Davidov²

Event-Based Identification of Phases and Outages in LV Networks with Smart Meter Data

¹ Elektro Ljubljana d.d., Ljubljana, Slovenija,

² EIMV, Ljubljana, Slovenija,



Professional article

Highlights

- Smart meters provide data for monitoring and control of LV networks.
- Smart meters can enable real-time alarms for outages in the LV network.
- Real-time data will allow further optimization of the outage detection process in DNOs.

Abstract

DNOs are facing various challenges on the LV grid. Challenges result in more unpredictable variations of loads and voltage. To get remote monitoring over the LV grid DNOs need to enable digitalization of the LV network with implementation of smart meters. Smart meters are vital for the LV network since voltage, current, consumption, power to different alarms, and additional functions can be used to monitor and control the LV feeders and users. Moreover, smart meters are still improving. Today they are capable to provide data near real-time. With such data DNOs can detect various events on the LV network like outages, overloads, phase imbalance, etc. Furthermore, with real-time smart meter communication, DNOs may ensure contingency and continuity of the processes.

This paper will further present an event-based identification of phases and outages in LV networks with smart meter data. The expected contributions of the paper are the following:

- i) Linking the events on smart meter data with power-up, power-down to determine unique outage events for reporting.
- ii) Possible phase identification of single-phase users using the power-up, power down information or phase outages events.
- iii) Using smart meter information from real-time alarming and find communication reliability in aggregating LV feeder outages.

Keywords

Alarms, Events, LV network, Meters, Outages, Phase-identification

Note:

This article represents an expanded, improved and additionally peer-reviewed version of the paper "Event-Based Identification of Phases and Outages in LV Networks with Smart Meter Data", awarded by Expert Committee EC-4 Distributed Generation and Efficient Use of Electricity at the 14th CIRED Serbia Conference, Kopaonik, September 16-20, 2024

Received: October 29th, 2024

Reviewed: May 21st, 2025

Modified: June 5th, 2025

Accepted: June 6th, 2025.

*Corresponding author: Danijel Davidović, +386 30 716 818

E - mail: Danijel.Davidovic@elektro-ljubljana.si