

Goran Živković  
HEP ODS d.o.o.  
[Goran.Zivkovic@hep.hr](mailto:Goran.Zivkovic@hep.hr)

## STATISTIKA PRORADE ZAŠTITA KAO POKAZATELJ STANJA POSTROJENJA

### SAŽETAK

Distribucijski sustav svakodnevno je izložen pogonskim poremećajima zbog kojih dolazi do neželjenih prekida isporuke električne energije, a koji se ne mogu u potpunosti spriječiti. Zbog toga se sustavom relejne zaštite daju maksimalno umanjiti posljedice koje ti poremećaji izazivaju. Zajedno sa sustavom daljinskog vođenja čini jednu cjelinu koja omogućuje inženjerima zaštite jednostavan pregled pogonskih događanja na svakodnevnoj bazi. Pogonski događaji slažu se kronološki u liste događaja, a među ostalim informacijama sadrže i prorađu svakog uređaja relejne zaštite postrojenja koje je u sustavu daljinskog vođenja.

Statističkom obradom, na ovaj način prikupljenih podataka, moguće je utvrditi najosjetljivija mjesta distribucijske mreže, odnosno dionice mreže s najvećim brojem kvarova te tako dobivene podatke iskoristiti u planiranju izgradnje ili rekonstrukcije iste.

**Ključne riječi:** pogonski poremećaji, sustav relejne zaštite, statistička obrada

## POWER SYSTEM PROTECTION TRIPPING STATISTICS AS SUBSTATIONS CONDITION INDICATOR

### SUMMARY

The distribution system is daily exposed to operating disorders that cause an unwanted interruption of power supply, and that cannot be completely prevented. Therefore, the power system protection reduces to minimum the consequences that these disorders cause. Together with the remote control system makes a unity that allows protection engineers a simple review of operational events on a daily basis. Operational events are chronological placed in event lists, which, among other information, contain every trip of protection relays in the substations that are in the remote control system.

It is possible, using methods of statistical analysis on collected data, to determine the most sensitive areas of the distribution network, or parts of it with the largest number of failures, respectively, and the obtained results use in the planning of the construction or reconstruction of the distribution network.

**Keywords:** operating disorders, power system protection, statistical analysis

## 1. UVOD

Na području Distribucijskog područja Elektroslovanije Osijek u sustavu daljinskog vođenja je 90 % srednjenaponskih postrojenja. Veći dio njih opremljen je numeričkim uređajima relejne zaštite i terminalima polja. Oni imaju posebno značenje u sustavu relejne zaštite jer se zahvaljujući njihovim mogućnostima oscilografiranja poremećaja u mreži dobiva jasniji uvid u prirodu kvarova. U ostalima postrojenjima nalaze se elektromehanički i statički releji, koji, iako su starije izvedbe, još uvijek uspješno ispunjavaju svoju funkciju, najviše zahvaljujući pravilnom održavanju.

Kroz rad statističkim će se postupcima prikazati prorade zaštitnih uređaja na području Distribucijskog područja Elektroslovanije Osijek (dalje ESO) prikupljene kroz promatrani trogodišnji vremenski period, od 2013. do 2015. godine. Glavni izvor podataka su kronološke liste događaja za postrojenja koja se nalaze u sustavu daljinskog vođenja. Za preostali dio postrojenja podaci su prikupljeni iz dispečerskih izvješća i brojača prorade zaštite na samim uređajima elektromehaničke i statičke izvedbe. Prema dobivenim rezultatima, prikazat će se mjesta u distribucijskom mreži ESO koja su najizloženija kvarovima, uzimajući u obzir okolnosti bitne za nastanak kvarova. Cilj je ovakvog oblika analize sustava relejne zaštite izvući zaključke o stvarnom stanju distribucijske mreže.

## 2. SUSTAV RELEJNE ZAŠTITE ESO

Područje ESO obuhvaća preko 7.400 kilometara mreža i vodova, sedam trafostanica 110/35kV, tri trafostanice 110/(20)10kV, 23 trafostanica 35/10 kV, 21 rasklopišta (20/0.4 kV i 10/0.4 kV) te više od 1.400 trafostanica 10/0.4 kV.

Prve trafostanice na području ESO izgrađene su davne 1955. godine (TS 35/10 kV Centar i TS 35/10 kV Istok) i nalaze se na području grada Osijeka. Kako je većina srednjenaponskih postrojenja ESO građena u drugoj polovici prošloga stoljeća, u dosta postrojenja nalaze se zaštitni uređaji elektromehaničke i statičke izvedbe. Planirane rekonstrukcije rezultirat će uvođenjem svih srednjenaponskih napojnih točaka distribucijske mreže u sustav daljinskog vođenja. Planirani opseg rekonstrukcije postrojenja trebao bi obuhvatiti kompletnu zamjenu primarne i sekundarne opreme te potrebne građevinske radove.

Trenutno u postrojenjima ESO sustav relejne zaštite čini 305 terminalapolja, 73 numerička releja i 694 releja statičke i elektromehaničke izvedbe. Uzevši u obzir da nekoliko releja statičke i elektromehaničke izvedbe čini zaštitu jednog polja, može se reći da je zaštita starije izvedbe preostala u nešto više od 40 % postrojenja ESO. Planski se svako postrojenje sekundarno i primarno ispituje, jednom godišnje ili jednom u nekoliko godina, ovisno o stanju, izvedbi i životnoj dobi postrojenja prema biltenu 263, Pravila o održavanju postrojenja i opreme elektroenergetskih građevina distribucijske mreže. Sekundarnim se ispitivanjem provjerava ispravnost uređaja relejne zaštite, a primarnim funkcionalnost svakog polja. Godišnje inženjeri i tehničari relejne zaštite obave više od 800 ispitivanja. Ovakav način ispitivanja omogućava brzo detektiranje i otklanjanje kvarova na uređajima relejne zaštite.

Pouzdanost relejne zaštite važna je, osim svoje osnovne namjene sprječavanja štete u elementima mreže i zbog točne baze podataka nastale svakodnevnim bilježenjem pogonskih događaja. Obrada prikupljenih podataka koristeći statističke metode predmet je ovoga rada.

## 3. STATISTIČKA ANALIZA

Statistika je kao znanstvena disciplina zaživjela u 19. stoljeću. kombinacijom vjerojatnosti s prikupljanjem podataka. Prvotno se koristila u društvenim, ali se vrlo brzo proširila i na ostale znanstvena područja [1]. U osnovi se bavi prikupljanjem, interpretacijom i prezentacijom podataka, a omogućuje kvalitetniju interpretaciju podataka te neke složenije oblike zaključivanja. Koristeći statističke metode mogu se uočavati zakonitosti, predviđati kretanje neke pojave te lakše identificirati uzročno-posljedične veze različitih pojava.

Statistička obrada započinje opisivanjem i analizom mjerene pojave na razini skupa prikupljenih podataka čime se bavi deskriptivna statistika. Ona ostaje u okvirima prikupljenih podataka koje želi preciznije numerički okarakterizirati te ih slikovno ili tablično prikazati. U daljnjim analizama mogu se koristiti metode inferencijalne statistike koje omogućuju složenije zaključivanje o stanju u široj populaciji na temelju podataka dobivenih mjerenjem na užem skupu podataka [2].

Za kompleksnija statistička predviđanja potrebna je velika baza podataka. Kako bi se pokušalo predvidjeti neku pojavu koristeći statističke metode, preporuča se što veći broj mjerenja. U ovom slučaju

promatrani je period prorada relejne zaštite vrlo kratak pa će se prikupljeni podaci analizirati metodama deskriptivne statistike.

### 3.1. Obrada prikupljenih podataka

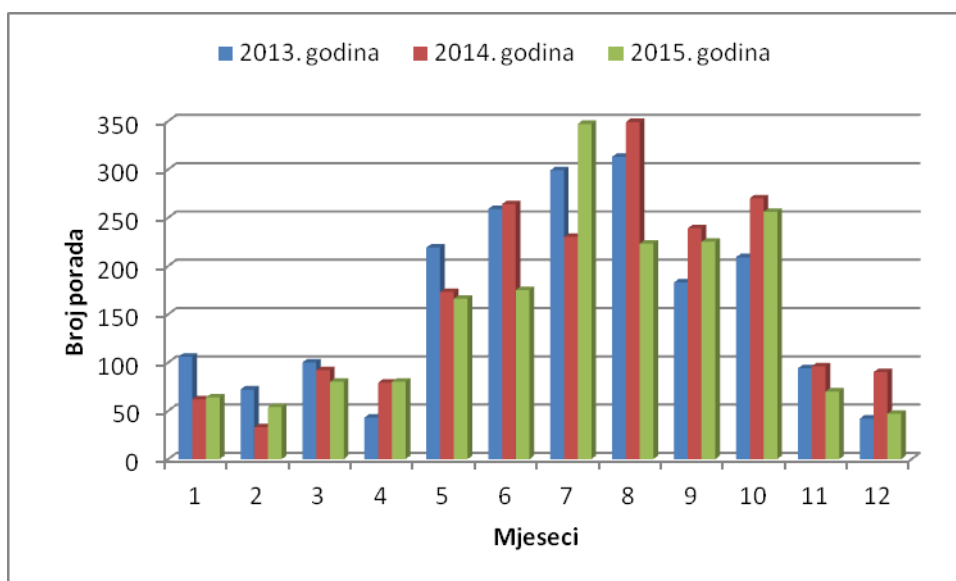
Skup podataka za analizu stanja postrojenja čine prikupljene informacije o proradi relejnih zaštita. Pod pojmom prorade relejne zaštite misli na se svako sklapanje relejnog izlaza zaštitnog uređaja zbog detekcije poremećaja u dijelu mreže koji štiti, preko kojeg se proslijeđuje nalog isklopa na prekidač, odnosno isključuje kvarni element mreže. Pobude zaštitnih funkcija uređaja relejne zaštite nisu uzete u obzir pri ovoj analizi.

Mrežni poremećaji najveći utjecaj imaju na životni vijek primarne opreme polja, odnosno prekidače i mjerne transformatore. Prekidači se nakon određenog broja uklopa/isklopa moraju mijenjati, a svaki pogonski poremećaj dodatno napreže izolaciju mjerne garniture. U dosta postrojenja ESO nalaze se maloljudni prekidači kod kojih je obavezan periodični pregled i zamjena ulja, kao i strujni i naponski mjerni transformatori koji su već dugo u pogonu. Iako se postrojenja redovito održavaju, svaka dodatna analiza može koristiti u preciznijem planiranju održavanja mrežnog sustava [3].

Tablica I. Prorada zaštitnih uređaja na području ESO

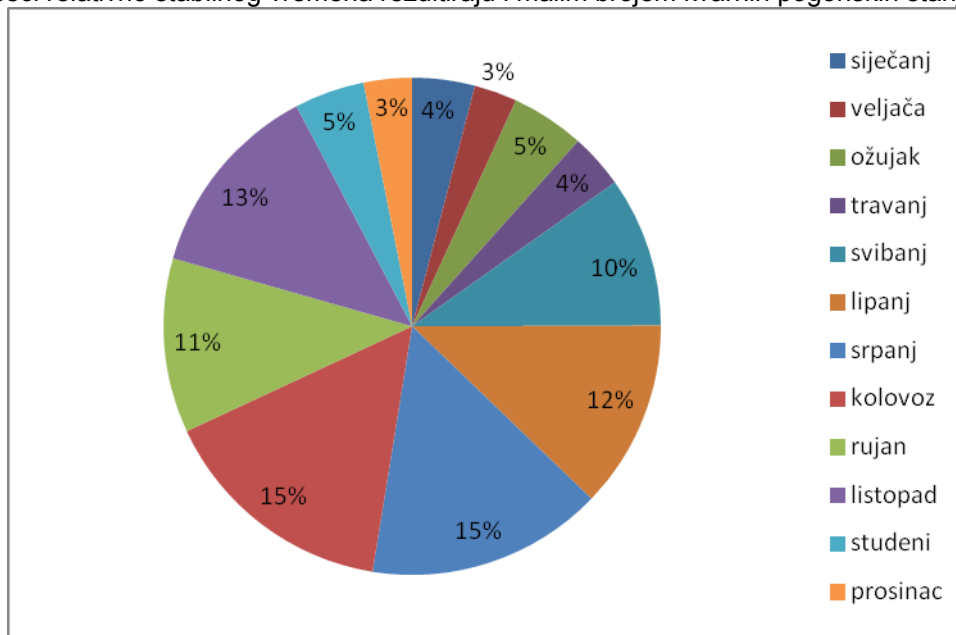
<b>ESO</b> <b>Godina</b>	<b>Mreža 35 kV</b>	<b>Mreža 20 kV</b>	<b>Mreža 10 kV</b>	<b>Ukupno</b>	<b>Mjesečni prosjek</b>
2013.	97	137	1705	1939	161,58
2014.	148	150	1679	1977	164,47
2015.	113	148	1526	1787	148,92
<b>Ukupno:</b>	<b>358</b>	<b>435</b>	<b>4910</b>	<b>5703</b>	<b>158,42</b>

U Tablici I. prikazane su prorade uređaja relejne zaštite u mreži ESO u protekle tri godine. Vidljivo je da se najveći broj većina isključenja događa u mreži 10 kV. Distribucijska je mreža ESO najvećim dijelom izvedena nadzemnim vodičima i u njoj prevladavaju radijalni izvodi, naročito u ruralnim sredinama. Samim time, izložena je utjecaju vremenskih prilika, tako da se najviše pogonskih poremećaja događalo u vrijeme nestabilnih atmosferskih prilika (Slika 1.) tako da su ljetni mjeseci najkritičniji.



Slika 1. Grafički prikaz ukupnog broja prorada po godinama

Ovoj pretpostavci ide u prilog i činjenica da se u promatranom trogodišnjem periodu gotovo trećina isključenja događa u srpnju i kolovozu (Slika 2.) Za njih je simptomatično da u jednom danu dolazi do djelovanja nadstrujne i/ili zemljospojne zaštite u nekoliko postrojenja upravo zbog nestabilnih vremenskih prilika. Mjeseci relativno stabilnog vremena rezultiraju i malim brojem kvarnih pogonskih stanja.



Slika 2. Raspodjela prorada uređaja relejne zaštite u promatranom trogodišnjem periodu

U proteklih nekoliko godina, koliko traje promatranje, zabilježen je vrlo mali broj neselektivnih prorada relejne zaštite kao i vrlo malo kvarova koji su nastali u samim postrojenjima. Također se gotovo svi pogonski poremećaji odnose na vodna polja, dok ispadi su transformatorskih polja rijetki, ukupno se pojavljuju u 0.2 % svih isključenja. Od cjelokupnog broja djelovanja zaštite zemljospojna (usmjerena i neusmjerena) zaštita se aktivira u oko 60 % slučajeva, a nadstrujna zaštita koja je u mreži ESO većinom neusmjerenog karaktera u oko 40 % pogonskih događaja.

### 3.2. Postrojenja ESO s najvećim brojem prorada relejne zaštite

Postrojenja koja su izložena najvećim brojem pogonskim naprezanja zbog mrežnih poremećaja prikazana su u Tablici II. Najopterećenije postrojenje u distribucijskoj mreži ESO je, statistički gledano, TS 35/10 kV Čačinci. TS 35/10 kV Čačinci najistočnije je srednjenaponsko postrojenje ESO i nalazi se na

području Pogona Orahovica. Poremećaji koji ju zahvaćaju većinom su prolazni, odnosno događa se velik broj uspješni automatski ponovnih uklopa (dalje APU). Nedavno je rekonstruirana tako da bi kompletna sekundarna i primarna oprema u sljedećem desetljeću trebala korektno izvršavati svoju funkciju. U TS 110/35/(20)10 kV Našice nalaze se uređaji relejne zaštite elektromehaničke i statičke izvedbe, a većina prekidača malouljne izvedbe tako ih je potrebno redovitije održavati. U narednim godinama realizirat će rekonstrukcija TS 35/10 kV Budimci što jamči pouzdaniji rad postrojenja. Ostale trafostanice relativno su novije izvedbe i u svima se nalazi numerička zaštita, osim TS 110/35/10 kV Beli Manastir u kojem se još većinom nalazi elektromehanička zaštita i stariji tipovi prekidača.

Tablica II. Postrojenja s najvećim brojem prorada zaštitnih uređaja

Redni broj	Postrojenje	Pogonski poremećaji	Isključenja prekidača	Uspješan APU	Definitivni isklup
1.	TS 35/10 kV Čačinci	531	707	347	184 (34,65 %)
2.	TS 110/35/(20)10 kV Našice	414	563	206	208 (50,24 %)
3.	TS 35/10 kV Budimci	407	526	234	173 (42,51 %)
4.	TS 110/35/10 kV Donji Miholjac	295	450	159	136 (46,10 %)
5.	TS 110/(20)10 Đakovo 3	304	396	132	172 (56,58 %)
6.	TS 35/10 kV Kneževi Vinogradi	312	365	231	81 (25,96 %)
7.	TS 35/10 kV Bilje	192	286	100	92 (47,92 %)
8.	TS 35/10 kV Draž	192	234	110	82 (42,71 %)
9.	TS 35/10 kV Laslovo	141	208	95	46 (32,62 %)
10.	TS 110/35/10 kV Beli Manastir	135	164	17	118 (87,41 %)

Sveukupno gledano, iako su izložena velikim brojem prorada zaštitnih funkcija, gotovo su sva najopterećenija postrojenja mogu bez problema obavljati svoje funkcije u narednim desetljećima. Svejedno, svakodnevno su moguće havarije unutar samih postrojenja, uzrokovana primjerice kvarom primarne opreme (pucanjem izolacije strujnog mjernog transformatora i sl.) na koja se vrlo teško može utjecati.

### 3.3. Najizloženiji vodovi ESO

U promatranom vremenskom periodu najviše kvarova događalo se na VP 20 kV Strizivojna (Tablica III.). Za njega je karakterističan velik broj prolaznih kvarova, odnosno uspješnih automatskih ponovnih uklopa, čak 77 %, i to nakon prorade zemljospojne zaštite (u 83 % pogonskih događaja). Dosta problema kod ovog voda uzrokuju prolazne smetnje, tipa čestice prašine u zraku koje nastaju zbog velikog broja poljoprivrednih radova na tom području, a koje uzrokuju ovoliki broj uspješnih APU-ova. Od svih postrojenja s najvećim brojem kvarova, jedino su u tom ugrađeni metalom oklopljeni i plinom izolirani sklopni blokovi, dok su u ostalim vodna polja klasične izvedbe, odnosno raspoređena po ćelijama.

Tablica III. Vodna polja s najvećim brojem prorada zaštitnih uređaja

Redni broj	Vodno polje	Postrojenje	Isključenja prekidača	Udio
1.	VP 20 kV Strizivojna	TS 110/(20)10 Đakovo 3	262	66,16%
2.	VP 10 kV Bračevci	TS 35/10 kV Budimci	226	42,97%
3.	VP 10 kV Crnac	TS 35/10 kV Čačinci	243	34,37%
4.	VP 10 kV Kozjak	TS 35/10 kV Kneževi Vinogradi	163	44,66%
5.	VP 10 kV Feričanci	TS 110/35/(20)10 kV Našice	146	25,93%
6.	VP 10 kV Gutmanovci	TS 35/10 kV Čačinci	142	20,08%
7.	VP 10 kV Zmajevac	TS 35/10 kV Kneževi Vinogradi	140	38,36%
8.	VP 10 kV Prkos	TS 110/35/(20)10 kV Našice	130	23,09%
9.	VP 10 kV Viljevo	TS 110/35/10 kV Donji Miholjac	121	26,89%
10.	VP 10 kV Krndija	TS 35/10 kV Budimci	112	21,29%

Bitno je spomenuti da prorade zaštite na ovom polju čine dvije trećine ukupnih isključenja u cijeloj TS 110/(20)10 Đakovo 3. Slična situacija ponavlja se i u ostalim postrojenjima:

- VP 10 kV Kozjak i Zmajevac (TS 35/10 kV Kneževi Vinogradi) – 83,02 % ukupnih isključenja,

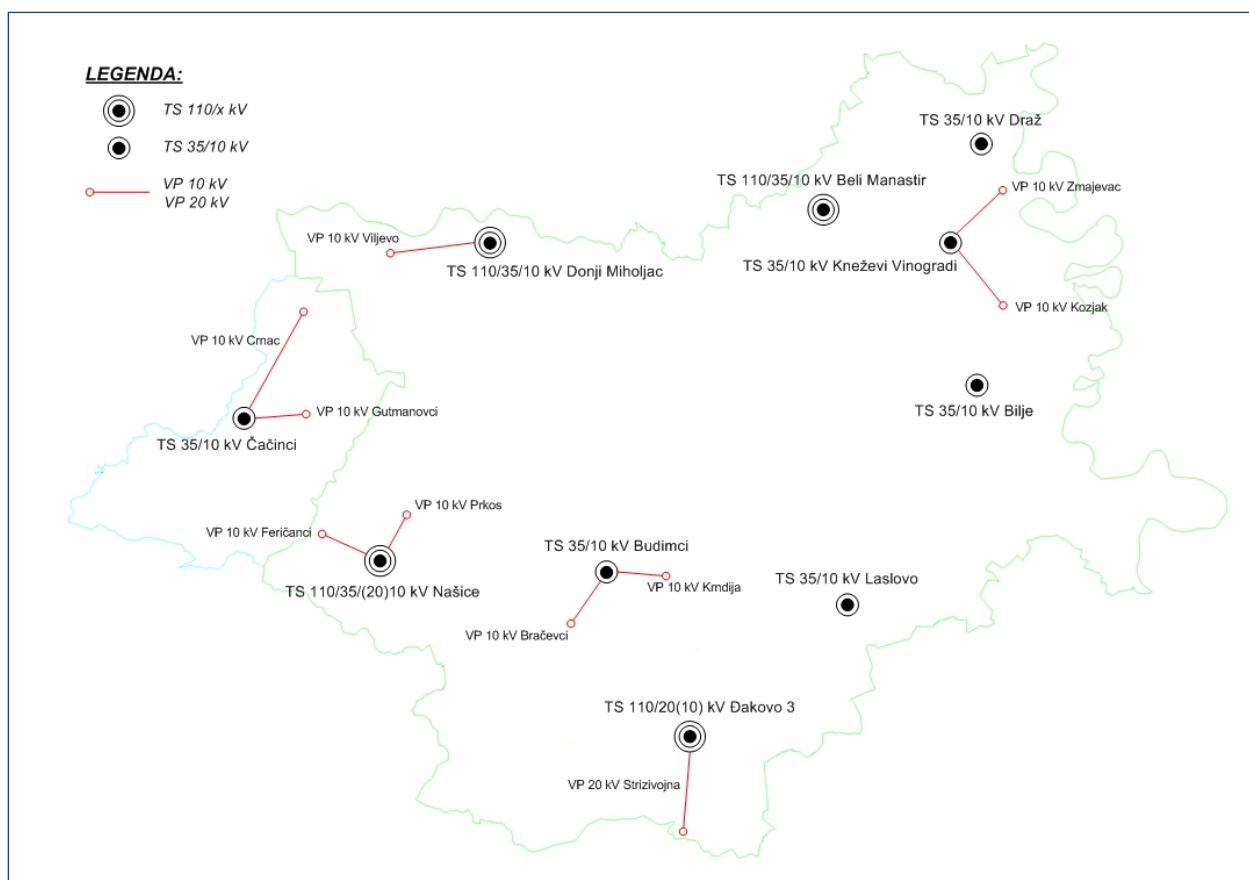
- VP 10 kV Bračevci i Krndija (TS 35/10 kV Budimci) – 64,26 % ukupnih isključenja,
- VP 10 kV Crnac i Gutmanovci (TS 35/10 kV Čačinci) – 54,45 % ukupnih isključenja,
- VP 10 kV Feričanci i Prkos (TS 110/35/(20)10 kV Našice) – 49,02 % ukupnih isključenja.

Vidljivo je da se reakcijom na nekoliko vodova u pojedinom postrojenju može značajno smanjiti broj pogonskih poremećaja, a samim time i naprezanja primarne opreme koja uzrokuju. Postoji nekoliko načina koji bi postigli takav rezultat.

### 3.4. Moguća tehnička rješenja

Prvi korak bi svakako bio rekonstrukcija trase najopterećenijih dalekovoda. Time bi se svakako smanjio broj kvarova na tim dionicama jer bi se polaganjem novih stupova i nadzemne mreže smanjila osjetljivost na prolazne vremenske nepogode. Zbog čvršće konstrukcije dolazilo bi do manjeg dodirivanja vodiča usred nevremena. Druga varijanta uključuje polaganje kabela umjesto nadzemne mreže na najkritičnijim vodnim poljima, na cijelom potezu ili jednom dijelu voda, ali iziskuje velike financijske troškove zbog velike duljine vodova i nije prihvatljivo rješenje.

Optimalno tehničko rješenje krije se možda u postavljanju izoliranih nadzemnih vodiča što je već rađeno u ESO. Dakle, potrebno je napraviti plan rekonstrukcije mreže i dio po dio najosjetljivijih vodova mijenjati. Prostora za razmišljanje i planiranje svakako ima. S druge strane tu je i odgovornost prema kupcima kojima treba osigurati što manje prekida isporuke električne energije. Konačan cilj bi trebao biti što je moguće stabilnija mreža, odnosno mali broj pogonskih smetnji.



Slika 3. Najkritičnije točke distribucijske mreže ESO

## 4. ZAKLJUČAK

Redovitim praćenjem pogonskih događaja te njihovom statističkom obradom uočavaju se kritične točke srednjenaponske mreže. Na neke razloge nastanka poremećaja u mreži ne može se utjecati. Iz tog razloga potrebno je na godišnjoj razini ispitivati postrojenja u cjelini prema Pravilniku o održavanju. U sljedećim bi se godinama trebalo rekonstruirati planirana postrojenja, ali i pokušati reagirati na vodove pod najvećim utjecajem kvarova. Za osiguranje što manjeg broja prekida isporuke električne energije nužno je pravilno održavanje i investiranje u novu primarnu i sekundarnu opremu u samim postrojenjima.

Preciznija predviđanja prorade zaštitnih funkcija u određenoj točki distribucijske mreže ESO pomoću složenijih statističkih modela bit će moguća nakon još nekoliko godina aktivnog bilježenja pogonskih događanja.

## **5. LITERATURA**

- [1] Brückler, Franka Miriam, "Povijest matematike", prezentacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2014.
- [2] Bubić, Andreja, "Osnove statistike u društvenim i obrazovnim znanostima", priručnik, Filozofski fakultet, Sveučilište u Splitu, 2013.
- [3] Izvor podataka: kronološke liste događaja, programski paket IS 500, "ABB"