

Osijek, 15. - 18. svibnja 2016.

Ružica Kljajić, mag.ing.el.  
Elektrotehnički fakultet Osijek  
[ruzicakljajic1@gmail.com](mailto:ruzicakljajic1@gmail.com)

Prof.dr.sc. Srete Nikolovski  
Elektrotehnički fakultet Osijek  
[srete@efos.hr](mailto:srete@efos.hr)

## UTJECAJ OGRANIČENJA SNAGE PRIJENOSA NA VODOVIMA PRIJENOSNE MREŽE NA POKAZATELJE POUZDANOSTI DISTRIBUCIJSKE MREŽE

### SAŽETAK

Elementi elektroenergetskoga sustava su podložni raznim vanjskim utjecajima zbog čega se vremenom smanjuje njihova pouzdanost čime se narušava kvaliteta opskrbe potrošača. U ovom radu su definirani osnovni pojmovi i pokazatelji iz teorije pouzdanosti. Pokazatelji se dijele na pokazatelje orijentirane potrošaču, sustavu te one koje se odnose na energiju i opterećenje sustava. Distributivne mreže su najrasprostranjenije u sustavu te su zbog toga i najviše izložene prekidima. Na primjeru 35 kV i dijela 110 kV mreže Slavonije je promatran slučaj osnovnog opterećenja i određeni su pokazatelji pouzdanosti 35 kV mreže.

Nakon toga je spoj distributivne i prijenosne mreže predstavljen prijenosnim vodom s mogućim ograničenog kapaciteta prijenosnog voda i konačno je analiziran slučaj zagušenja tog prijenosnog voda. Usporedbom ta tri slučaja može se ustanoviti što se zapravo događa s pokazateljima pouzdanosti distribucijske mreže u uvjetima zagušenja na vodovima u prijenosnoj mreži. Pokazani su za sva tri slučaj sljedeći pokazatelji pouzdanosti

**Ključne riječi:** pouzdanost, pokazatelji pouzdanosti, zagušenje prijenosnog voda

## INFLUENCE OF POWER TRANSMISSION LIMITATIONS IN TRANSMISSION GRID ON RELIABILITY INDICES IN DISTRIBUTION GRID

### ABSTRACT

The elements of the power system are subjected to various external influences which continuously affects their reliability and disrupts the quality of supply. This paper defines basic terms and indicators related to reliability theory. The indicators are divided into consumer-oriented, system oriented, and those related to energy and load of the system. Distribution networks are widespread in the system and are therefore the most exposed to failures. For example were observed basic load case and reliability indices of part of Slavonian grid, ie. 35 kV and 110 kV part of grid.

After that connection between distribution and transmission grid was replaced with transmission line with possible restricted capacity of line and finally congestion of this transmission line was analyzed. Comparing this three cases it can be identified what happens with distribution grid reliability indices in terms of congestion on transmission lines. For all three cases are shown characteristic indices.

**Key words:** reliability, reliability indices, transmission line congestion

## 1. UVOD

Elektroenergetski sustav ima zadaću opskrbiti krajnje potrošače električnom energijom i uključuje proizvodne, prijenosne i distributivne kapacitete. Isporučena energija mora biti dostupna potrošaču u svakom trenutku i zadovoljavajuće kvalitete što često nije slučaj. Zbog strukture sustava, koja uključuje veliki broj elemenata (generatora, transformatora, zaštitnih uređaja,...) kvarovi i prekidi su neizbježni. Svaki od tih elemenata ima svoj životni vijek koji je određen njegovom konstrukcijom, radnim uvjetima te brojnim drugim čimbenicima koji utječu na ispravnost rada. Budući da se modernizacijom postrojenja te reorganizacijom elektroenergetskih sustava posebna pažnja posvećuje upravo kvaliteti i neprekidnosti opskrbe, poseban naglasak se stavlja na pouzdanost. Pouzdanost komponente je matematička vjerojatnost da će komponenta zadovoljavajuće raditi tijekom predviđenog vremenskog razdoblja uz definirane radne uvjete.[1] Za elektroenergetski sustav to bi značilo da je sustav sposoban isporučiti energiju u određeno periodu uz poštivanje dozvoljenih naponskih odstupanja i nazivne frekvencije. Pouzdanost se dijeli na tri kategorije: dostatnost (sposobnost sustava da napaja sve potrošače električnom energijom), sigurnost (sposobnost odupiranja iznenadnim poremećajima koji mogu dovesti do raspada sustava i ispada elemenata iz pogona) te cjelovitost (sposobnost sustava da radi u interkonekciji sa susjednim elektroenergetskim sustavima)[1]. Sustav je dostatan kada je proizvedena električna energija dovoljna za pokrivanje potrošnje i gubitaka koji nastaju tijekom prijenosa. Energija se mora transportirati bez preopterećenja opreme te biti isporučena uz poštivanje uvjeta o dozvoljenom padu napona. Pouzdanost se provjerava u statičkim i dinamičkim uvjetima, odnosno provjerava se zadovoljava li se N-1 uvjet te ponašanje sustava u slučaju kvara.[2]

Osnovni pokazatelji pouzdanosti su srednja frekvencija zastoja i srednje vrijeme trajanje zastoja i raspoloživost, odnosno neraspoloživost. Osim osnovnih postoje dodatni pokazatelji i dijele se na pokazatelje orijentirane na potrošače i pokazatelje orijentirane opterećenju i energiji. Pokazatelji orijentirani na potrošače su:

- Pokazatelj prosječne učestalosti prekida sustava (eng. *System Average Interruption Frequency Index - SAIFI*) predstavlja srednji broj prekida napajanja jednog potrošača
- Pokazatelj prosječne učestalosti prekida potrošača (eng. *Customer Average Interruption Frequency Index - CAIFI*) predstavlja broj potrošača na koje je utjecao kvar u odnosu na ukupni broj potrošača
- Pokazatelj prosječnog trajanja prekida sustava (eng. *System Average Interruption Duration Index - SAIDI*) predstavlja prosječno zbirno trajanje prekida napajanja
- Pokazatelj prosječnog trajanja prekida napajanja potrošača (eng. *Customer Average Interruption Duration Index-CAIDI*) predstavlja prosječno trajanje prekida napajanja potrošača
- Pokazatelj prosječne učestalosti prekida napajanja potrošača (eng. *Average System Interruption Frequency Index - ASIFI*) predstavlja omjer energije koja nije isporučena zbog prekida i ukupne isporučene energije
- Pokazatelj prosječne učestalosti prekida napajanja potrošača (eng. *Average System Interruption Duration Index - ASIDI*) predstavlja omjer trajanja prekida i ukupne isporučene energije
- Pokazatelj prosječne raspoloživosti napajanja (eng. *Average Service Availability Index-ASAI*)
- Pokazatelj prosječne neraspoloživosti napajanja (eng. *Average Service Unavailability Index - ASUI*)

Pokazatelji orijentirani opterećenju i energiji:

- Neisporučena energija (eng. *Energy Not Supplied - ENS*)
- Prosječna neisporučena energija (eng. *Average Energy Not Supplied - AENS*)
- Pokazatelj prosječnog ograničenja potrošača (eng. *Average Customer Curtailment Index - ACCI*) je omjer ukupne neisporučene energije i ukupnog broja pogođenih potrošača

	Snaga [MW]	Broj prekida [1/god]	Trajanje prekida [h]
Transformator 1	2,5	0,01	12
Transformator 2	4	0,013	16
Transformator 3	8	0,015	16
Transformator 4	30	0,02	4

<b>Transformator 5</b>	40	0,03	5
------------------------	----	------	---

Tablica II. Ulazni podaci o pokazateljima pouzdanosti vodova

<b>Napon [kV]</b>	<b>Lokacija</b>	<b>Duljina [km]</b>	<b>Učestalost prekida opskrbe [1/god]</b>	<b>Očekivano trajanje prekida [h/god]</b>
110	Našice cement -Nasice	10	0,3	0,6
110	Osijek 1 -Osijek 2	8,04	0,2412	0,04824
110	Osijek 1- Osijek 3	4,23	0,846	0,0846
110	Osijek 4/110- Osijek 3	4,86	0,972	0,0972
110	Osijek 1 - Našice Cement	64	12,8	1,28
110	Osijek 4 - Našice Cement	43,47	8,694	0,8694
110	TS D. Miholjac – D. Miholjac	20	0,6	0,12
110	TS Valpovo - Valpovo 2	20	0,6	0,12
110	TS Našice - Našice 110	20	0,6	0,12
35	OLT A-Osijek 1	4,429	0,886	0,0886
35	OLT A-Osijek 1	4,929	0,986	0,0986
35	Našice – Budimci	17,71	3,542	0,3542
35	B. Manastir – K. Vinogradi	8,395	0,25	0,025
35	K. Vinogradi-Bilje	14,79	0,2499	0,0334
35	Osijek 2 – OLT	3,5	0,7	0,6
35	Bilje –Centar	7	1,4	0,14
35	Centar - Gornji grad	7	1,4	0,14
35	Gornji grad-Zapad	1,384	0,2786	0,02786
35	Zapad-Retfala	2,144	0,4288	0,04288
35	Zapad-Retfala	2,3	0,46	0,046
35	Centar - Donji grad	3,1	1,3051	0,75565
35	Donji grad - Osijek 2	1,335	0,09538	0,009538
35	Donji grad - Osijek 2	3,5	0,65555	0,642439
35	Osijek 2 –Standard	0,97	0,24997	0,15498
35	OLT – Centar	1,335	0,267	0,0267
35	Samatovci - Valpovo 1	14,335	2,867	0,2867
35	Centar – Jug	1,698	0,3396	0,03396
35	Jug - Osijek 1	4,98	0,1	0,01
35	Retfala - Osijek 4	1	0,2	0,02
35	Osijek 1 – Samatovci	14,132	2,8264	0,28264
35	Valpovo 1- Valpovo 2	2,637	0,17615	0,26123
35	Valpovo 2- Crnkovci	9,704	0,249975	0,0249975
35	Crnkovci - Donji Miholjac	11,6	2,32	0,232

35	Osijek 1 Čepin	7,917	0,7497	0,5698
35	Čepin – Budimci	23,328	4,6656	0,46656
35	Osijek 1 35 – Istok	6,257	1,2514	0,12514
35	Istok – Šećerana	1,884	0,3768	0,03768
35	Šećerana - Osijek 2	1,9	0,38	0,038
35	Valpovo 2 - Valpovo 2	3,457	0,6914	0,06914
35	Zapad - OLT 1	4,929	0,9858	0,09858
35	Zapad - OLT 1	4,429	0,8858	0,08858

Razmatrati će se tri slučaja:

1. opći slučaj bez utjecaja zagušenja prijenosne mreže
2. utjecaj prijenosne mreže
3. zagušenje iz prijenosne mreže.

U sva tri slučaja doprinos nadomjesnih mreža u vidu isporučene energije će biti isti. U "osnovnom slučaju", nadomjesna mreža je izravno spojena na odgovarajuće sabirnice i u tablici III. su navedeni rezultati simulacije.

Tablica III. Pokazatelji pouzdanosti osnovnog slučaja

<b>System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)</b>	5,383365 1/potr,god*
<b>Customer Average Interruption Frequency Index (CAIFI)</b>	6,029363 1/potr,god
<b>System Average Interruption Duration Index (SAIDI)</b>	1,546 h/Ca**
<b>Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)</b>	0,287 h
<b>Average System Interruption Frequency Index (ASIFI)</b>	4,579711 1/god
<b>Average System Interruption Duration Index (ASIDI)</b>	1,177042 h/god
<b>Average Service Availability Index (ASAI)</b>	0,9998234869
<b>Average Service Unavailability Index (ASUI)</b>	0,0001765131
<b>Energy Not Supplied (ENS)</b>	178,793 MWh/god
<b>Average Energy Not Supplied (AENS)</b>	6,385 MWh/potr,god
<b>Average Customer Curtailment Index (ACCI)</b>	3,910 MWh/potr,god
<b>System Energy Shed (SES)</b>	3,091 MWh/god

\* 1/potr,god (1/potrošača,godišnje) - Broj godišnjih prekida po potrošaču

\*\* h/potr,god (h/potrošača,godišnje) - Broj sati godišnjih prekida po potrošaču

Ukupna neisporučena energija iznosi 178 MWh/godišnje. Trajanje prekida po potrošaču je 0,287 sati, odnosno 1,546 sati po potrošaču godišnje. U drugom slučaju je prijenosna mreža spojena sa distributivnom preko nadzemnog voda duljine 20 kilometara. Vod je zračni, ALČE 240/40 mm<sup>2</sup>, maksimalna struja je 530 A. Svi ostali pokazatelji ostaju isti. U tablici 2 su prikazani rezultati za taj slučaj.

Tablica IV. Pokazatelji pouzdanosti za vod bez zagušenja

<b>System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)</b>	5,511923 1/Ca
<b>Customer Average Interruption Frequency Index (CAIFI)</b>	6,173354 1/Ca
<b>System Average Interruption Duration Index (SAIDI)</b>	1,572 h/Ca
<b>Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)</b>	0,285 h
<b>Average System Interruption Frequency Index (ASIFI)</b>	4,640019 1/a
<b>Average System Interruption Duration Index (ASIDI)</b>	1,183635 h/a
<b>Average Service Availability Index (ASAI)</b>	0,9998205771
<b>Average Service Unavailability Index (ASUI)</b>	0,0001764229
<b>Energy Not Supplied (ENS)</b>	179,794 MWh/a
<b>Average Energy Not Supplied (AENS)</b>	6,421 MWh/Ca

<b>Average Customer Curtailment Index (ACCI)</b>	3,932 MWh/Ca
<b>System Energy Shed (SES)</b>	2,938 MWh/a

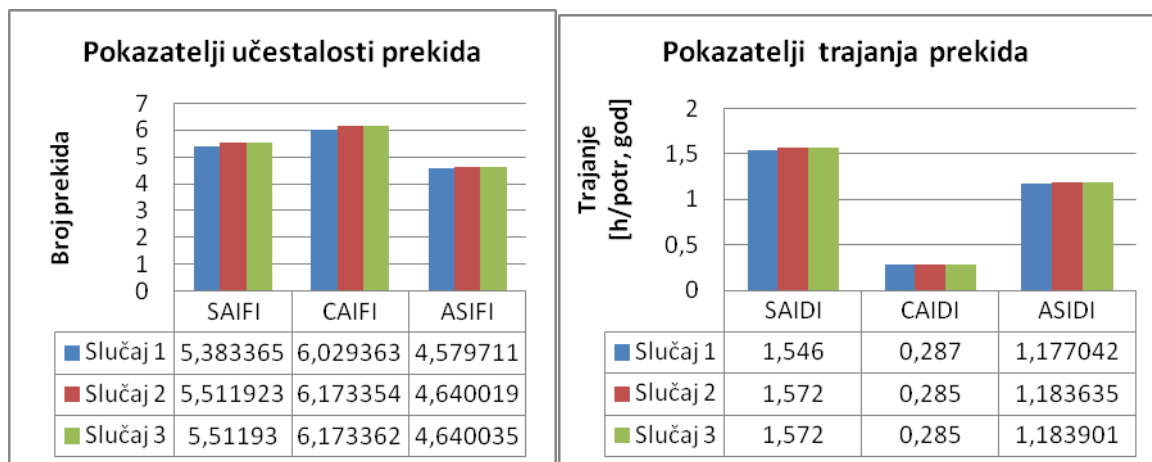
Na osnovu podataka se vidi da se iznos neisporučene energije povećava, odnosno pokazatelji su lošiji u odnosu na slučaj kada se promatra izravan utjecaj prijenosne mreže na distributivnu. Učestalost i trajanje prekida su također povećani za 2,3%. Raspoloživost sustava je smanjena za 0,00029%, a neisporučena energija je veća za 0,56%.

U trećem slučaju je ograničena prijenosna moć voda kojim prijenosna mreža napaja distributivnu. Maksimalna struja je ograničena na 350 A, odnosno manja je za 66%. Novi pokazatelji su dani u tablici 5.

Tablica V. Pokazatelji pouzdanost za zagušeni vod

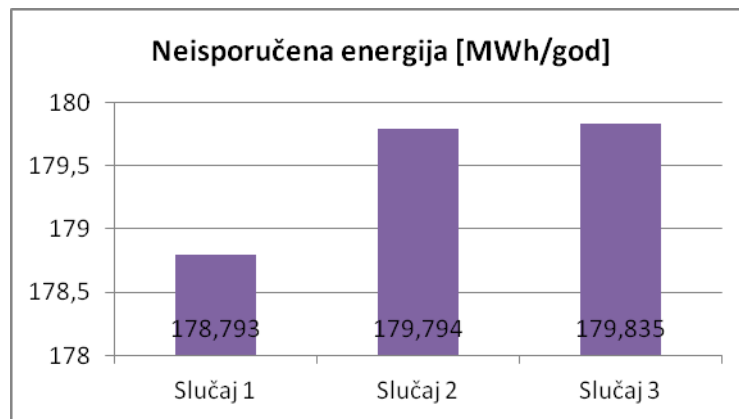
<b>System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)</b>	5,511930 1/potr,god
<b>Customer Average Interruption Frequency Index (CAIFI)</b>	6,173362 1/potr,god
<b>System Average Interruption Duration Index (SAIDI)</b>	1,572 h/potr,god
<b>Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)</b>	0,285 h
<b>Average System Interruption Frequency Index (ASIFI)</b>	4,640035 1/god
<b>Average System Interruption Duration Index (ASIDI)</b>	1,183901 h/god
<b>Average Service Availability Index (ASAI)</b>	0,9998205632
<b>Average Service Unavailability Index (ASUI)</b>	0,0001794368
<b>Energy Not Supplied (ENS)</b>	179,835 MWh/god
<b>Average Energy Not Supplied (AENS)</b>	6,423 MWh/potr,god
<b>Average Customer Curtailment Index (ACCI)</b>	3,933 MWh/potr,god
<b>System Energy Shed (SES)</b>	2,978 MWh/god

Pokazatelji su u odnosu na prethodni slučaj neznatno lošiji, međutim postoji znatna razlika u odnosu na slučaj izravnog utjecaja na distributivnu mrežu. Prekidi su češći i duže traju, a neisporučena energija je veća.



Slika 2. Grafička usporedba pokazatelja učestalosti prekida i trajanja prekida

Slika 2 prikazuje međusobne odnose pokazatelja učestalosti trajanja prekida (SAIFI, CAIFI, ASIFI) te pokazatelje trajanja prekida (SAIDI, CAIDI i ASIDI). Razlika u učestalosti prekida je puno jasnija nego za trajanje prekida. Zbog ograničenja programskog paketa u kojem je rađena simulacija, maksimalno zagušenje vodova je do 66%, nakon čega nije moguće dobiti valjane rezultate bez promjene konfiguracije mreže i promjene parametara postojećih vodova (dodatni paralelni vodovi, drugi presjek voda). Ukupna neisporučena energija je prikazana slikom 3 i tu se jasno vide odstupanja između tri promatrana slučaja. Ograničenjem prijenosne moći voda se u skladu sa očekivanjima, povećava neisporučena energija.



Slika 3. Neisporučena energija

Prema podacima Hrvatskog operatera distributivnog sustav, SAIFI za grad Osijek u 2014. godini iznosi 5,15. SAIDI je 563,56 minuta, a CAIDI 109,43 minute. [3]

### 3. ZAKLJUČAK

Pouzdanost elektroenergetskog sustava postaje sve značajnija stavka u planiranju i optimizaciji rada. Nakon otvaranja tržišta električne energije električna energija se počinje smatrati robom koju treba prodati krajnjem potrošaču i prekidi se moraju svesti na minimum. Pravilnim planiranjem i održavanjem sustava se povećava pouzdanost sustava. Većina kvarova se događa u distributivnim mrežama, koje su daleko najrasprostranjenije i najviše izložene raznim vanjskim utjecajima. U ovom radu je analizirana pouzdanost dijela prijenosne i distributivne mreže Slavonije. Iako je zbog programskog paketa analiza bila ograničena (ograničeni broj sabirnica), pokazatelji pouzdanosti su u skladu sa očekivanjima. Ukupna neisporučena energija je manja od 200 MWh godišnje.

Također je analiziran utjecaj prijenosne mreže na distributivnu. Analiza je provedena za tri slučaja spoja sa distributivnom mrežom: izravni spoj te spoj preko dodatnog voda, odnosno analizira se utjecaj zagušenja na pokazatelje pouzdanosti. Za slučaj zagušenja se povećava iznos neisporučene energije, a prekidi se događaju češće nego u slabo opterećenoj mreži.

### LITERATURA

- [1] S. Nikolovski: „Osnove analize pouzdanosti elektroenergetskog sustava“, Elektrotehnički fakultet Osijek, 1995.
- [2] L. L. Grigsby: „Electric Power Engineering Handbook - second edition“, Taylor & Francis Group, LLC., 2006.
- [3] HEP Operator distribucijskog sustava, godišnje izvješće 2014. (<http://www.hep.hr/ods/publikacije/godisnje2014.pdf>)
- [4] D. Hrkec, A. Pavić, D. Vidović, M. Bošković: „Pokazatelji pouzdanosti napajanja električnom energijom u distribucijskoj mreži“, Šibenik, 2008.
- [5] S. Nikolovski, M. Vukobratović: „Utjecaj nove plinske elektrane KKE 500 na pouzdanost prijenosne mreže istočne Hrvatske“ 12. savjetovanje HRO CIGRÉ Šibenik, 2015
- [6] DlgSILENT Power Factory 15.0 User Manual, Gomaringen, 2015