

DOI: [10.46793/CIGRE37.B3.01](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B3.01)**B3.01****POKAZATELJI POUZDANOSTI ELEMENATA VISOKONAPONSKIH RAZVODNIH
POSTROJENJA****RELIABILITY INDICES OF HIGH VOLTAGE SUBSTATIONS COMPONENTS****Vladica Mijailović*, Aleksandar Ranković, Predrag Petrović***

Kratak sadržaj: U radu je dat pregled vrednosti pokazatelja pouzdanosti elemenata razvodnih postrojenja do kojih se došlo u anketama koje su sprovele strukovne međunarodne organizacije i velike elektrodistributivne kompanije. U odnosu na prethodne ankete, ovaj put se došlo do podataka o elementima koji do sada nisu bili obuhvaćeni istraživanjima. Takođe, navedeni su podaci o vremenima isporuke pojedinih elemenata i njihovim cenama.

Ključne reči: Pouzdanost, Anketa, Razvodna postrojenja, Pokazatelji, Rezervna oprema, Jednopolna šema

Abstract: This paper provides an overview of the reliability indices of substations components obtained from surveys conducted by professional international organizations and large electric power distribution companies. Compared to previous surveys, this time data has been gathered for components that had not been included in prior research. Additionally, information on the delivery times and prices of individual substation components is provided.

Key words: Reliability, Survey, Substations, Indices, Spare components, Single-line diagram.

1 UVOD

Pouzdanost se definiše kao sposobnost sistema da obavlja predviđenu funkciju tokom određenog vremenskog perioda, u zadatim uslovima. Jedan sistem se može smatrati pouzdanim ako karakteristični pokazatelji u obavljanju određene funkcije imaju vrednosti koje nisu gore od zahtevanih. Iz prethodnog sledi da se nivo pouzdanosti ocenjuje na osnovu potreba korisnika funkcija koje sistem obavlja, što znači da sa gledišta nekih korisnika sistem može biti pouzdan, a drugih, koji imaju veće zahteve, nepouzdan. Jedan sistem može biti pouzdan u obavljanju jednih, a nepouzdan u obavljanju drugih funkcija. Sistemi bez mogućnosti otkaza ne postoje. Pouzdanost se može povećati dodatnom izgradnjom objekata, primenom automatike i daljinskog upravljanja, ugradnjom kvalitetnije opreme i dr. Razume se, sva prethodno navedena poboljšanja koštaju, tako da se tehnički racionalna rešenja moraju tražiti na osnovu tehničko-ekonomskih analiza koje uzimaju u obzir navedene troškove i troškove korisnika usluga.

Pouzdanost EES-a se procenjuje na osnovu podataka o pouzdanosti pojedinačnih elemenata koji čine sistem. Smisljena analiza zahteva razumne podatke o pouzdanosti elemenata date vrste iz prethodnog, dovoljno dugog, perioda eksploatacije pod zadatim uslovima.

Kvalitet ovih podataka ima suštinsku važnost za tačnost analiza. Međutim, prikupljanje valjanih podataka je skup, naporan i dugotrajan posao.

Podaci koji su izloženi u nastavku rada su rezultat obimnih anketa koje su sprovedene od strane strukovnih međunarodnih organizacija i/ili od strane velikih državnih kompanija. U odnosu na prethodne analize poboljšanje je što su analizirani i elementi koji do sada nisu bili obuhvaćeni u anketama. Takođe, prikazani su i podaci koji pokazuju tretman isporučilaca električne energije prema prema potrošačima kada je u pitanju neprekidnost napajanja i poštovanje preuzetih obaveza.

2 POKAZATELJI POUZDANOSTI ENERGETSKIH TRANSFORMATORA [1, 2, 3, 4]

CIGRE je u anketi iz 2021. obuhvatila 37104 energetska transformatora naznačenog napona $U_n \geq 100 \text{ kV}$. Intenziteti kvarova po naponskim nivoima su dati u Tabeli 1.

Tabela 1: Intenziteti kvarova energetskih transformatora za pojedine naponske nivoe

	Naponski nivo $U \text{ [kV]}$					
	$100 \leq U < 200$	$200 \leq U < 300$	$300 \leq U < 500$	$500 \leq U < 700$	$U \geq 700$	UKUPNO
$\lambda \left[\frac{1}{\text{god}} \right]$	0,0023	0,0028	0,0044	0,0047	0,0146	0,0028

Tokom prvih 20 godina eksploatacije intenzitet kvarova je praktično konstantan. U periodu između dvadesete i dvadeset pete godine počinje da se oseća uticaj starenja, jer intenzitet kvarova raste. Ako se neotkazivost energetskog transformatora modeluje Weibull-ovom raspodelom parametar oblika za transformatore u Evropi je $\beta = 3$, a za jedinice u Americi- $\beta = 2,8$.

Pokazatelji do kojih se došlo na osnovu istraživanja u Norveškoj su navedeni u Tabeli 2.

Tabela 2: Pokazatelji pouzdanosti energetskih transformatora instalisanih u Norveškoj

	$\lambda \left[\frac{1}{\text{god}} \right]$	Trajanje kvara $[h]$	Raspoloživost $A [\%]$
$30 \leq U < 70$	0,00542	6,13	99,99962
$100 \leq U < 150$	0,02320	9,73	99,99742
$130 \leq U < 400$	0,00566	9,66	99,99938
$220 \leq U < 330$	0,03040	7,81	99,99729

U Tabeli 3 je dato relativno učešće pojedinih komponenti energetskog transformatora u nabavnoj ceni, a u Tabeli 4- okvirna vremena isporuke energetskih transformatora datog naponskog nivoa.

Tabela 3: Relativno učešće komponenti energetskog transformatora u nabavnoj ceni

	Komponenta	Učešće u ceni energetskog transformatora, %
1	Namotaji + ulje	30-45
2	Kotao	15-20
3	Regulator napona	10-15

	Komponenta	Učešće u ceni energetskog transformatora, %
4	Ostalo	5-10
5	Jezgro	20-30

Tabela 4: Okvirna vremena isporuke energetskih transformatora datog naponskog nivoa

	Naznačeni napon, kV	Okvirno trajanje isporuke energetskog transformatora, (mesec)
1	35	3-6
2	110	6-9
3	220	9-12
4	400	12-15

3 POKAZATELJI POUZDANOSTI PREKIDAČA, RASTAVLJAČA I ZEMLJOSPOJNIKA

Pouzdanost rasklopne opreme je analizirana u Anketi koju je CIGRE sproveda u periodu 2014.-2017. Podaci o intenzitetima kvarova su navedeni u Tabeli 5. Vremena trajanja isporuke prekidača su u rangu vremena isporuke energetskih transformatora datog naponskog nivoa. Ako je potpisan ugovor sa proizvođačem, što verovatno košta, vreme isporuke se može skratiti za oko 50 %. Zavisno od naponskog nivoa i tipa kvara, pod pretpostavkom da su rezervni delovi raspoloživi, otklanjanje kvara traje $(1 \div 3)$ dana[2, 3, 4].

Tabela 5: Intenziteti kvarova rasklopne opreme

	Element	Intenzitet kvarova $\lambda \left[\frac{1}{god} \right]$
1	prekidač	0,004766
2	rastavljač	0,000391
3	zemljospojnik	0,000292

Pokazatelji pouzdanosti prekidača instalisanih u Norveškoj su navedeni u Tabeli 6.

Tabela 6: Pokazatelji pouzdanosti prekidača instalisanih u Norveškoj

	$\lambda \left[\frac{1}{god} \right]$	Trajanje kvara [h]	Raspoloživost A [%]
$100kV \leq U < 150kV$	0,00180	9,81	99,99980
$220kV \leq U < 330kV$	0,00400	26,67	99,99878
$380kV \leq U < 420kV$	0,00810	19,81	99,99817

Prekidač se, sa stanovišta pouzdanosti, može podeliti na:

- komponente na pogonskom naponu,
- električna kontrolna i pomoćna kola,
- pogonski mehanizam i
- ostalo.

Ova podela je važna radi određivanja optimalne količine rezervnih delova.

U slučaju modelovanja funkcije neotkazivosti mešavinom eksponencijalne i Weibull-ove raspodele parameter razmere α , parameter oblika β , srednje vreme trajanja ispravnog rada m i intenzitet otkaza λ imaju vrednosti date u Tabeli 7. Ovo su podaci do kojih se došlo statističkom obradom eksploatacionih podataka na Tajlandu. Može se zaključiti da su pokazatelji pouzdanosti iz Tabele 7 znatno lošiji od pokazatelja do kojih se došlo u anketi CIGRE i od pokazatelja koji važe za prekidače u Norveškoj.

Tabela 7: Pokazatelji pouzdanosti za pojedine funkcionalne celine prekidača

Funkcionalna celina prekidača	α	β	$m[god]$	$\lambda\left[\frac{1}{god}\right]$
Komponente na pogonskom naponu	19,0644	2,0676	17,1580	0,0960
Električna kontrolna i pomoćna kola	19,5946	1,9474	17,6351	0,0869
Pogonski mehanizam	23,7381	2,114	21,3643	0,0777
Ostalo	21,8984	2,0695	19,7000	0,0642

U zavisnosti od toga da li je komandovanje prekidačem jednofazno ili trofazno relativno učešće pojedinih komponenti u nabavnoj ceni prekidača je dato u Tabeli 8.

Prema [4] od ukupnog broja krupnih kvarova:

- na komponentama na pogonskom naponu se događa 21% kvarova,
- na električnim kontrolnim i pomoćnim kolima se događa 29% kvarova,
- na pogonskom mehanizmu se događa 44,2% kvarova i
- na ostalim delovima prekidača se događa 4,8% kvarova.

Tabela 8: Relativno učešće pojedinih funkcionalnih celina u nabavnoj ceni prekidača

Funkcionalna celina prekidača	Učešće u ceni prekidača, %	
	Jednofazno komandovanje	Trofazno komandovanje
Komponente na pogonskom naponu	50-55	55-60
Električna kontrolna i pomoćna kola	15-20	15-20
Pogonski mehanizam	20-25	10-15
Ostalo	5-10	5-10

4 POKAZATELJI POUZDANOSTI MERNIH TRANSFORMATORA [3, 4]

Prema anketi CIGRE, intenzitet kvarova mernih transformatora je $0,001416 \frac{1}{god}$. Vreme isporuke, zavisno od naponskog nivoa i zahteva korisnika, je $(1 \div 3)$ meseca, a prosečno trajanje otklanjanja kvara $(1 \div 3)$ dana.

Pokazatelji pouzdanosti mernih transformatora instalisanih u Norveškoj su navedeni u Tabeli 9.

Tabela 9: Pokazatelji pouzdanosti mernih transformatora instalisanih u Norveškoj

	$\lambda\left[\frac{1}{god}\right]$	Trajanje kvara $[h]$	Raspoloživost $A[\%]$
$100kV \leq U < 150kV$	0,00080	27,23	99,99975
$220kV \leq U < 330kV$	0,00020	42,57	99,99990
$380kV \leq U < 420kV$	0,00090	40,67	99,99958

5 POKAZATELJI POUZDANOSTI SF_6 -POSTROJENJA I VAZDUHOM IZOLOVANIH POSTROJENJA

Prema anketi CIGRE intenzitet kvarova SF_6 -postrojenja je $0,000807 \frac{1}{god}$.

Pokazatelji pouzdanosti transformatorskih stanica svih tipova prema naponskim nivoima instalisanih u Norveškoj i Švedskoj su navedeni u Tabeli 10, a pokazatelji pouzdanosti kontrolne opreme- u Tabeli 11.

Tabela 10: Pokazatelji pouzdanosti transformatorskih stanica svih tipova instalisanih u Norveškoj i Švedskoj

Naponski nivo razvodnog postrojenja [kV]	$\lambda \left[\frac{1}{god} \right]$	Trajanje kvara [h]	Raspoloživost A [%]
36	0,20439	7,49	99,98251
45	0,20425	3,98	99,99071
66	0,39447	2,85	99,98715
130	0,27976	8,77	99,97201

Tabela 11: Pokazatelji pouzdanosti kontrolne opreme u postrojenjima instalisanim u Norveškoj i Švedskoj

	$\lambda \left[\frac{1}{god} \right]$	Trajanje kvara [h]	Raspoloživost A [%]
$100kV \leq U < 150kV$	0,00750	13,61	99,99883
$220kV \leq U < 330kV$	0,03730	20,43	99,99130
$380kV \leq U < 420kV$	0,04160	17,42	99,99173

6 POKAZATELJI POUZDANOSTI ODVODNIKA PRENAPONA

Prema anketi CIGRE, intenzitet kvarova odvodnika prenapona je $0,000826 \frac{1}{god}$. Podaci o vremenu isporuke i trajanju otklanjanja kvara nisu saopšteni.

7 POKAZATELJI POUZDANOSTI NADZEMNIH I KABLOVSKIH VODOVA [3, 4]

Prema rezultatima prikupljenim u Norveškoj i Švedskoj, pokazatelji pouzdanosti nadzemnih vodova su dati u Tabeli 12, a kablovskih vodova u Tabeli 13. Detaljni podaci, koji se odnose na dužine vodova po naponskim nivoima i kvarove po godinama, dati su u [3].

Tabela 12: Pokazatelji pouzdanosti nadzemnih vodova u Norveškoj i Švedskoj

Naponski nivo nadzemnog voda [kV]	$\lambda \left[\frac{1}{km \cdot god} \right]$	Trajanje kvara [h]	Raspoloživost A [%]
36	0,01728	3,54	99,99930
45	0,00570	4,09	99,99973
66	0,00355	4,78	99,99981
130	0,0142	1,76	99,99972
220	0,00730	3,48	99,99971
400	0,00340	4,14	99,99984

Tabela 13: Pokazatelji pouzdanosti kablovskih vodova u Norveškoj i Švedskoj

Naponski nivo kablovskog voda [kV]	$\lambda \left[\frac{1}{\text{km} \cdot \text{god}} \right]$	Trajanje kvara [h]	Raspoloživost A [%]
36	0,00973	26,72	99,99703
45	0,00688	17,15	99,99865
66	0,00893	2,83	99,99971
130	0,00718	14,52	99,99881
220	0,01575	178,72	99,97613
400	0,02750	453,21	99,85773

8 ŠTETE ZBOG PREKIDA NAPAJANJA [14, 15, 16, 17]

Rezultati analiza pouzdanosti za datu konfiguraciju napajanja su, između ostalog, učestanost i očekivano trajanje prekida napajanja potrošača. Na osnovu ovih podataka i strukture potrošača može se proceniti šteta koju zbog toga trpe isporučilac električne energije i potrošači. U delu koji sledi biće navedeni podaci iz nekoliko inostranih izvora, a koji se odnose na štete kod pojedinih kategorija potrošača.

8.1 Podaci iz Finske

Finci su definisali maksimalnu dužinu trajanja jednog prekida napajanja bez posledica po isporučioaca i visinu kompenzacije koju isporučilac mora da plati potrošačima u zavisnosti od dužine prekida napajanja, zbog pretrpljene štete. Visina kompenzacije predstavlja deo godišnjeg računa potrošača za utrošenu električnu energiju u prethodnoj godini, Tabela 14. Na osnovu godišnje potrošnje električne energije izračuna se prosečna potrošnja po satu. Za cenu električne energije u periodu u kome je došlo do prekida isporuke i prosečne satne potrošnje izračuna se pretrpljena šteta. Iznos koji se isplaćuje potrošaču ne može biti veći od 700 EUR godišnje.

Tabela 14: Visina kompenzacije u zavisnosti od trajanja prekida (isplaćena šteta ne može biti veća od 700 EUR godišnje)

Trajanje prekida, (h)	Visina kompenzacije, (%)
12 ÷ 24	10
24 ÷ 72	25
72 ÷ 120	50
> 120	100

Tokom godina u kojima nije bilo ekstremnih vremenskih neprilika ukupna godišnja šteta koju je elektrodistribucija isplaćivala potrošačima je bila u opsegu $[0,36 \div 2,75] \cdot 10^6 \text{ EUR}$, dok je najveći zbirni iznos koji je elektrodistribucija isplatila potrošačima iznosio $46,79 \cdot 10^6 \text{ EUR}$ za godinu dana.

Vlada je 2013. godine donela nova pravila i povećala nadoknadu koja se isplaćuje potrošačima, Tabela 15. Maksimalna vrednost kompenzacije koju potrošač može da dobije u toku godine sada iznosi 2000 EUR.

Tabela 15: Nadoknade koje se isplaćuju potrošačima u zavisnosti od trajanja prekida

Trajanje prekida, (h)	Visina kompenzacije, (%)
12 ÷ 24	10
24 ÷ 72	25
72 ÷ 120	50
120 ÷ 192	100
192 ÷ 288	150
> 288	200

8.1.1 Kako se određuje šteta usled prekida u napajanju

Faktori koji utiču na visinu štete koju trpe potrošači su brojni: trajanje prekida, karakter prekida (da li je planiran ili iznenađan), vreme kada je došlo do prekida (dan, noć, radni dan, vikend,...) i sezona (leto ili zima). Na drugoj strani, vrsta potrošača (industrijski potrošači, komercijala, domaćinstva, poljoprivredna dobra, komunalna preduzeća) je ključna kada se utvrđuje visina štete. Prema podacima sa Berklija [16], šteta kod svih potrošača raste skoro linearno za prekidne koji traju do 8 sati. Šteta zbog planiranih (najavljenih) prekida je znatno niža nego kada do prekida dođe zbog kvara. Za industrijske i komercijalne potrošače je najznačajniji trenutak prekida napajanja.

Pri planiranju nije dobro računati sa prosečnim vrednostima šteta za industrijske i komercijalne potrošače već svakog treba posmatrati pojedinačno. Naime, nisu im isti proizvodni ciklusi, ne koriste istu opremu, nije isti stepen osetljivosti proizvodnje i dr. Povoljna okolnost pri utvrđivanju visine šteta je što u industriji i komercijali rade profesionalci koji mogu da daju validne podatke, što nije slučaj sa drugim kategorijama potrošača (domaćinstva, poljoprivredna dobra,...). Nekvalifikovani potrošači najčešće odgovaraju bez puno razmišljanja i daju odgovore koji obično idu iz krajnosti u krajnost.

Neprekidnost proizvodnje u industriji je uslovljena neprekidnošću napajanja. Takođe, industrijska proizvodnja "povlači" prodaju, što kao rezultat ima dodatnu vrednost.

U sprovedenim anketama je traženo da ispitanici klasifikuju visinu ukupne štete prema sledećim stavkama:

- gubici zbog izgubljene proizvodnje, sektor (1),
 - troškovi ponovnog pokretanja, sektor (2),
 - šteta zbog uništenih sirovina i repromaterijala, sektor (3),
 - troškovi zbog oštećenja na opremi, sektor (4),
 - troškovi treće strane, sektor (5), i
 - ostali troškovi, sektor (6)
- za trajanje prekida od 1h, 4h i 8h.

Procentualno učešće prethodno navedenih stavki u ukupnoj šteti po pojedinim sektorima industrije je dato u Tabeli 16.

Svi navedeni podaci važe za nenajavljene prekide.

Kada su u pitanju najavljeni (planski) prekidi pri proračunu štete uzimaju se u obzir gubici zbog izgubljene proizvodnje i troškovi ponovnog pokretanja (ostale stavke su izbegnute).

Zavisno od sektora industrije, štete zbog nenajavljenog prekida napajanja su za $(50 \div 100)\%$ od šteta koje se imaju zbog najavljenog prekida napajanja.

Nove metode proračuna ne daju validne podatke o visinama šteta zbog trenutnih prekida.

Potrošači iz kategorije "široka potrošnja" u Finskoj su podeljeni na domaćinstva, vikend-naselja i farme.

Tabela 16: Procentualno učešće po stavkama u ukupnoj šteti po pojedinim sektorima industrije

Sektor	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Prehrambena industrija	50	3	36	1	0	10
Metalska industrija	60	6	5	8	9	12
Proizvodnja papira	58	15	2	4	0	21
Hemijska industrija	43	25	6	0	0	26
Proizvodnja stakla	50	9	4	5	0	32
Drvena industrija	67	12	2	3	12	4
Građevinska industrija	74	12	1	1	5	7
Elektro-industrija	63	7	5	1	3	21

8.1.2 Domaćinstva

Prosečna godišnja potrošnja jednog domaćinstva je $11214,4 kWh$ a prosečno vršno opterećenje je $3,7 kW$. Visine šteta u zavisnosti od trajanja prekida napajanja po jedinici neisporučene snage su:

Trajanje	Neplaniran prekid					Planiran prekid	
	1s	2 min	1h	12 h	36 h	1h	12 h
Šteta, EUR/kW	0,12	0,84	7,8	65,88	196,44	3,72	48

8.1.3 Vikendice

Prosečna godišnja potrošnja u jednoj vikendici je $4378,4 kWh$ a prosečno vršno opterećenje je $2,9 kW$. Visine šteta u zavisnosti od trajanja prekida napajanja po jedinici neisporučene snage su:

Trajanje	Neplaniran prekid					Planiran prekid	
	1s	2 min	1h	12 h	36 h	1h	12 h
Šteta, EUR/kW	0,12	0,24	29,16	90,36	206,76	10,32	95,76

Visine šteta u zavisnosti od perioda godine i doba dana kada je prekinuta isporuka električne energije su:

Deo dana	Zimski period		Letnji period	
	Radni dan	Neradni dan	Radni dan	Neradni dan
	Šteta, EUR/kW		Šteta, EUR/kW	
Ujutro (5,00 ÷ 10,00) h	5,52	4,56	12,12	10,56
Tokom dana (10,00 ÷ 16,00) h	6,38	4,92	12,72	16,56
Uveče (16,00 ÷ 23,00) h	7,56	5,76	13,32	12,36
Tokom noći (23,00 ÷ 5,00) h	4,68	2,16	1,2	1,08

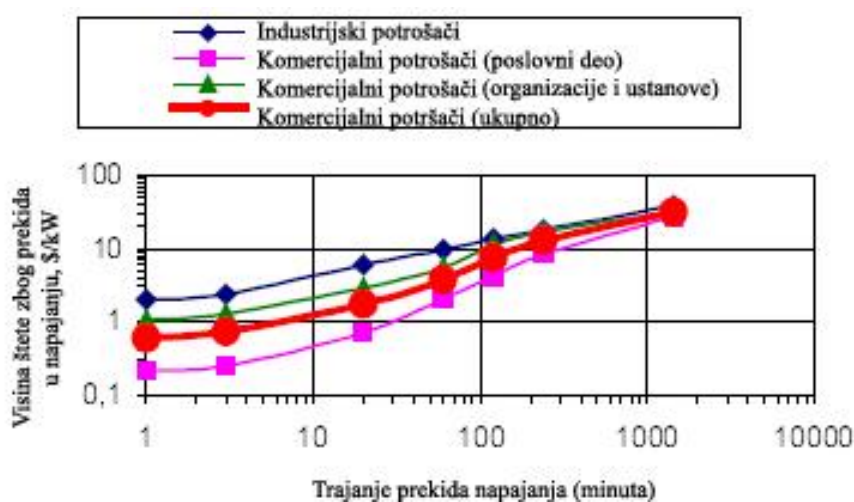
8.1.4 Farme

Prosečna godišnja potrošnja na jednoj farmi je 39563,1 kWh a prosečno vršno opterećenje je 12,8 kW. Visine šteta u zavisnosti od godišnjeg doba i trajanja prekida napajanja po jedinici neisporučene snage su:

	Neplaniran prekid						Planiran prekid
	Šteta, EUR/kW						Šteta, EUR/kW
Godišnje doba	1 s	2 min	1 h	4 h	12 h	36 h	1 h
Zima	0	0,72	12,48	47,04	140,88	383,4	8,88
Proleće	0	0,12	7,44	14,52	71,4	199,8	2,52
Leto	0	0,24	3,6	11,64	69	186,12	2,28
Jesen	0,24	1,08	15,84	33,12	178,08	428,78	3,24

8.2 Podaci iz Grčke

Ankete su rađene za sedam dužina trajanja prekida napajanja: trenutni, 3 min, 20 min, 1 h, 2 h, 4 h i 24 h. Visine šteta za pojedine kategorije potrošača u zavisnosti od dužine trajanja prekida su date na sl. 1.



Sl.1: Visine šteta za pojedine kategorije potrošača u Grčkoj po jedinici ispalne snage u zavisnosti od dužine trajanja prekida

Na gornjoj slici potrošači iz kategorije "komercijala" su razdvojeni u dve grupe: "poslovni deo" (veleprodaja, maloprodaja, hoteli, restorani, barovi) i "organizacije i ustanove" (transport, komunikacije, informatička delatnost, istraživanja, opštinska uprava).

Svi potrošači su najpre klasifikovani na srednjenaponske i niskonaponske. Zatim je svaka kategorija klasifikovana prema načinu plaćanja računa, godišnjoj potrošnji električne energije i statističkoj klasifikaciji (koju vodi Državni zavod za statistiku).

8.3 Podaci iz Italije

Prosečne procenjene štete zbog prekida u napajanju su:

- u domaćinstvima 10 EUR/kWh ,
 - kod industrijskih potrošača 20 EUR/kWh .
- Prosek na nivou države je 19 EUR/kWh .

8.4 Uporedni pregled šteta u pojedinim državama

Prosečne vrednosti šteta koje trpe pojedine kategorije potrošača u evropskim državama su:

Država	Šteta koju trpe domaćinstva, (EUR/kWh)	Šteta koju trpe industrijski potrošači i komercijala, (EUR/kWh)
Irska	40	62
Velika Britanija	$2,5 \div 9$	$4 \div 10$
Norveška	5	$2,5 \div 9$
Holandija	-	10
Hrvatska	-	2,56
Rumunija	-	0,8
Švedska	$2,5 \div 5$	49
Italija	10	20
Slovenija	-	$1 \div 3$
Bugarska	-	2
Finska	-	10

Prema anketi koju je sproveo Berkli univerzitet na 18000 potrošača u SAD (7000 industrijskih i komercijalnih i 11000 domaćinstava) štete u slučaju trenutnih i 2-satnih prekida su:

Kategorija potrošača	Šteta zbog trenutnog prekida (US \$/potrošaču) A	Šteta zbog 2-satnog prekida (US \$/potrošaču) B	B/A
Veliki ind. i komerc. potrošači zimski period, popodne	11000	32000	2,91
Veliki ind. i komerc. potrošači letnji period, popodne	5000	11000	2,20
Mali ind. i komerc. potrošači zimski period, popodne	1300	2400	1,85
Mali ind. i komerc. potrošači letnji period, popodne	900	1200	1,89
Mali ind. i komerc. potrošači vikend	500	1000	2,00

Kategorija potrošača	Šteta zbog trenutnog prekida (US \$/potrošaču) A	Šteta zbog 2-satnog prekida (US \$/potrošaču) B	B/A
Domaćinstva, na jugozapadu države	3,2	4,8	1,5
Domaćinstva, na jugoistoku države	2,3	3,6	1,57
Domaćinstva, na severozapadu države	2,0	2,8	1,40
Domaćinstva, na zapadu države	1,8	2,5	1,39

Treba uočiti da potrošači iz kategorije domaćinstva nisu homogena grupa i da postoje velike razlike u visini prijavljenih šteta. Međutim, relativni odnos visina navedenih šteta je u relativno uskom opsegu.

9 ZAKLJUČAK

U radu je dat pregled pokazatelja pouzdanosti elemenata razvodnih postrojenja i nadzemnih i kablovskih vodova, kao i podataka o štetama kod pojedinih kategorija potrošača, a koje su posledica prekida isporuke električne energije. Prikupljanje ovih podataka je vremenski zahtevan, obiman i skup posao, pa se može postaviti pitanje: čemu ovi podaci služe? Jedan sistem se smatra pouzdanim ako njegovi karakteristični pokazatelji u obavljanju određene funkcije imaju vrednosti koje nisu lošije od zahtevanih, što znači da sa stanovišta nekih potrošača sistem može biti pouzdan, a sa stanovišta drugih, koji imaju veće zahteve, nepouzdan. Da bi se kvarovi, a time i trajanja prekida, sveli na najmanju moguću meru sprovodi se preventivno održavanje, koje se vrši u određenim vremenskim intervalima ili se bazira na proceni stanja opreme ili na osnovu željenog (zahtevanog) nivoa raspoloživosti. Na raspoloživost se utiče, između ostalog, obezbeđivanjem rezervnih pravaca napajanja potrošača i/ili nabavkom rezervne opreme, što su mere koje iziskuju značajna finansijska sredstva.

Proračuni pouzdanosti se zasnivaju na modelima elemenata i sistema koji odražavaju njihove karakteristike i strukturu i na podacima o pokazateljima pouzdanosti elemenata iste ili slične vrste, do kojih se dolazi statističkom obradom podataka iz eksploatacije. analizom pouzdanosti se predviđa ponašanje posmatranog elementa ili sistema u budućnosti korišćenjem podataka iz prošlosti.

Neke od posledica netačnih pokazatelja pouzdanosti su:

- ako su korišćeni suviše optimistički podaci: aktivnosti i stepen sprovođenja preventivnog održavanja će biti ređe od potrebnih, što će uzrokovati veće habanje opreme i češće kvarove. takođe, nivo rezervne opreme će biti niži od potrebnog, što će kao posledicu imati duže trajanje prekida napajanja, odnosno veće štete i kod isporučioaca i kod potrošača.
- ako su korišćeni pesimistički podaci: nivo preventivnog održavanja će biti veći nego što je potrebno, a i količina rezervne opreme će biti veća, što predstavlja nepotreban izdatak.

ZAHVALNICA

Rad je rezultat istraživanja na projektu No. **451-03-136/2025-03/ 200132** koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Vlade Republike Srbije. Autori se najiskrenije zahvaljuju na podršci.

10 LITERATURA

- [1] S. Tenbohlen et al., "Analysis of Major Failures of Power Transformers", (on behalf of Cigre WG A2.62), November 2023.
- [2] Hiroki Ito et al, "CIGRE fourth reliability survey on switching equipment", (On behalf of CIGRE WG A3.48), B3/A3 Colloquium 2023.
- [3] Ying He, High voltage equipment reliability data, Rapport 2023-974, Energiforsk December 2023.
- [4] M. A. Lane, "Transmission Topology Control Circuit Breaker Reliability & Maintenance", ABB, Sweden, 2020.
- [5] T.M. Lindquist et al., "Circuit breaker failure data and reliability Modelling", IET Gener. Transm. Distrib., 2008, Vol. 2, No. 6, doi: 10.1049/iet-gtd:20080127
- [6] T. Suwanasri et al., "Failure Rate Analysis of Power Circuit Breaker in High Voltage Substation", GMSARN International Journal 8, 2014.
- [7] Mehdi Akbari Moghadam et al, "Long-term and multi-objective maintenance scheduling of medium voltage overhead lines based on LP metric method", IET Generation, Transmission & Distribution, doi: 10.1049/gtd2.13139, 2024.
- [8] I. V. Naumov, "Assessment of electric energy transport reliability (as exemplified by JSC "Rosseti Siberia Tyvaenergo" power networks)", Safety and Reliability of Power Industry, doi: 10.24223/1999-5555-2023-16-2-64-72, 2023.
- [9] M. Abbasghorbani et al, "Reliability-Centered Maintenance for Overhead Transmission Lines in Composite Power System", Hindawi International Transactions on Electrical Energy Systems, Volume 2022, doi.org/10.1155/2022/1170269
- [10] H. M. Nemati et al, "Reliability evaluation of power cables considering the restoration characteristic", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 105, February 2019, doi:10.1016/j.ijepes.2018.08.047
- [11] M. Seeger et al, "Trends in High Voltage Switchgear Research and Technology", IEEEJ trans. on electrical and electronic engineering, IEEEJ Trans 2025; doi:10.1002/tee.24244
- [12] Halve, S.S. et al., "A sampling method based on system state transition for distribution system adequacy assessment using distributed generation" Journal of Operation and Automation in Power Engineering 11 (4), 2023.
- [13] Breneman, J.E et al., Introduction to Reliability Engineering. JohnWiley & Sons, 2022.
- [14] Ebeling, C.E, An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering, Waveland Press, 2019.
- [15] Ilaria Losa et al, "Regulation of continuity of supply in the electricity sector and cost of energy not supplied", June 17-19, IEW 2009, Venice, 2009.
- [16] T. Ortmeier et al, "Evaluation of Sustained and Momentary Interruption Impacts in Reliability-Based Distribution System Design", IEEE Trans. on Power Delivery · Nov. 2010., doi: 10.1109/TPWRD.2010.2052075
- [17] Jasper van Castern, "Assessment of Interruption Costs in Electric Power Systems using the Weibull-Markov Model", Department of Electric Power Engineering, Chalmers university of technology Göteborg, Sweden, 2003.