

Primena Hi kvadrat neparametarskog testa u elektroenergetici u funkciji analiziranja izveštaja

Use of Chi square nonparametric test in power engineering in the function of analyzing reports

Zorica Bogičević^a, Nenad Marković^{b*}

^a Akademiya strukovnih studija kosovsko metohijska, Leposavić, Srbija

Article info

Rewiev paper/ Pregledni rad

Received/ Rukopis je primljen:
22 March, 2022
Revised/ Korigovan:
12 July, 2022
Accepted/ Prihvaćen:
15 August, 2023

DOI:
<https://doi.org/10.5937/bizinfo2301117B>

UDC/ UDK:
519.2:620.9

Abstract

In the paper is present the use of the nonparametric Chi square test on the distribution of the X feature in the power industry, as a new method for analyzing SCADA reports. It is a statistical method for analyzing reports of different types, organizing them, summarizing them and drawing conclusions based on the information they contain. In this particular case, the condition of the power transformer TR2 was tested in the paper, with the corresponding fields: C03-transformer field TRP2 400 kV and D18-transformer field TRP2 220 kV in the substation Obrenovac. The goal of this paper is to describe the importance of statistical mathematical analysis with nonparametric Pearson's Chi square test, which has found use in the field of electric power in order to obtain a new strategy for preventive maintenance of electric power devices.

Keywords: Feature, parameters, statistics, Chi square test, transformer

Sažetak

U radu je prikazana primena neparametarskog Hi kvadrat testa na raspodelu obeležja X u elektroenergetici, kao nova metoda za analiziranje SCADA izveštaja. To je statistička metoda za analiziranje izveštaja različitog tipa, njihovo organizovanje, sažeto prikazivanje i izvlačenje zaključaka na osnovu informacija koje sadrže. U konkretnom slučaju, u radu je testirano stanje energetskog transformatora TR2, uz pripadajuća polja: C03-trafo polje TRP2 400 kV i D18-trafo polje TRP2 220 kV u trafostanici Obrenovac.

Ključne reči: Obeležje, parametri, statistika, Hi kvadrat test, transformator

1. Uvod

U raznim automatizovanim proizvodnim sistemima, SCADA sistemi imaju mogućnost akvizicije podataka. Dizajnirani su za nadzor i kontrolu podataka pružajući tako pouzdano sredstvo za analizu informacija sa više RTU (Remote terminal units) uređaja. Jedan takav sistem je elektroenergetski sistem Srbije. ATLAS-MAX predstavlja savremeni višefunkcijski procesni računar, namenjen za nadzor i upravljanje elektroenergetskim procesom u Republici Srbiji. Projektovan je i realizovan u Laboratoriji za automatiku Instituta "Mihajlo Pupin" na osnovu dugogodišnjeg iskustva u oblasti procesnog upravljanja. Uređaj može da radi autonomno kao nezavisni računarski nadzorni sistem ili kao lokalna stanica povezana u mrežu distribuiranog upravljačkog (SCADA) sistema u skladu sa međunarodnim standardima


IEC 870-51, (EN 60870-5-101:2003/A1:2016) i komunikacionim protokolima LAN TCP/IP. Svaka od ATLAS-MAX komponenta obuhvata dva gradivna dela: osnovni hardver i odgovarajuću programsku podršku (softver).

Na SCADA VIEW 6000 serveru ili na VIEW 6000 MMI računarima se instalira i softver za editovanje baze podataka realnog vremena. Ovi sistemi nam omogućavaju pohranjivanje podacima koje možemo da analiziramo, testiramo i donosimo zaključke koji se unutar svih tih podataka skrivaju kao potencijalno korisna informacija, koja se retko da iskoristiti (Vukadinović & Popović, 2022).

U tu svrhu statistika nam pomaže da donesemo ispravne zaključke i odluke u svetu neodređenosti. Daje nam

*Corresponding author

E-mail address: nen.mark74@yahoo.com

This is an open access paper under the license 

metode za njihovo organizovanje i sažeto prikazivanje i izvlačenje zaključaka na osnovu informacija sadržanih u tim podacima.

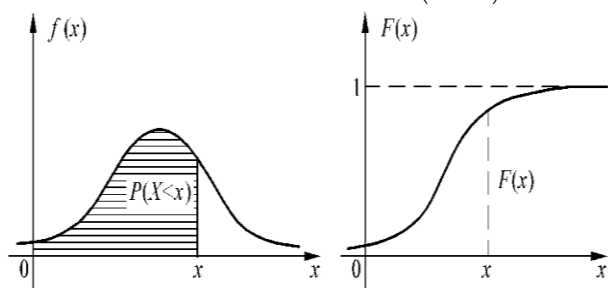
Postoji više metoda statističke matematičke analize. Pirsonov Hi kvadrat test (χ^2)-neparametarski test je jedna od metoda koja je opisana u radu (Merkle, 2016; Vukadinović & Popović, 2019). Ova metoda je primenljiva kako u svim oblastima nauke, tako i u elektroenergetici.

Osnovni koraci prilikom testiranja parametara ovom metodom, mogu se svesti na sledeće:

- postavljanje nulte i alternativne hipoteze;
- određivanje teorijske frekvencije pojavljivanja neke osobine kod posmatranog uzorka u skladu sa postavljenom nultom hipotezom;
- određivanje verovatnoće nastajanja događaja;
- određivanje razlika između opaženog i očekivanog, tako da se izračunava vrednost χ^2 testa;
- prihvatanje ili odbacivanje nulte hipoteze.

U radu je analizirana promena temperature namotaja i ulja pri 24 h-ovnom radu energetskog transformatora. Uzorci su dobijeni iz dnevnog izveštaja i pristupilo se primeni Pirsonovog χ^2 testa (Rajović & Stanojević, 2011; Joksimović, Stojanović, 2019). Kod velikog broja obima od n uzoraka, koriste se asimptotski tačne raspodele koje su uglavnom normalne. Iz tog razloga je za nultu hipotezu uzeta *Gausova*-Normalna raspodela (Slika 1) (Lazarević & Đukić, 2010).

Slika 1. Gustina raspodele f i funkcija raspodele F slučajne promenljive $X : N(m, \sigma^2)$



χ^2 testom se dolazi do zaključka o prihvatanju nulte hipoteze. U slučaju da se odbacuje nulta hipoteza H_0 , onda se postavlja alternativna hipoteza H_1 , koja će biti predmet razmatranja u nekom drugom radu.

2. Pregled literature

Održavanje elektroenergetskih postrojenja je struka koja se razvija decenijama. Temelj struke čini stečeno znanje, a zakoni i tehnički normativi i standardi definišu okvire u kojima se radi. Praktičan rad u visokonaponskim postrojenjima može biti težak i opasan po život (Đurić & Ilić, 2017; Đurić, 2009). Zato je neophodno pridržavati se

odgovarajućih mera zaštite propisanih za ovakav rad i obratiti pažnju na strategiju blagovremenog održavanja elektroenergetskih uređaja (Vaahedi, 2014).

Održavanje elektroenergetskih postrojenja je problematika koja datira još od same njene pojave i njome su se bavili mnogi autori. Ćirić i Mandić u svom radu opisuju problematiku preventivnog i investicionog održavanja distributivnih trafostanica, kao veoma kompleksnu i multidisciplinarnu temu (Ćirić, Mandić, 2015). Kasnije je Radetić na veoma sažet i razumljiv način, kroz praktične primere i lično iskustvo, objasnio značaj u planiranju održavanja elemenata elektroenergetskog sistema u elektromreži Srbije (Radetić, 2017). Plan održavanja je deo godišnjeg programa poslovanja i dobija se objedinjavanjem planova pojedinih pogona i direkcija u okviru prenosa električne energije. Na osnovu tehničkog stanja prenosne mreže i izveštaja iz tekuće godine definiše se detaljan plan redovnog održavanja za narednu godinu.

Sistemi koji omogućavaju akviziciju podataka i generisanje izveštaja su SCADA sistemi. Autori Traku, (Tracu, 2014) i Mini i Daglas (Mini & Douglas, 2020) opisali su osnovne delove ovih sistema na praktičnim primerima koji omogućavaju lakše razumevanje istih kroz slikovitost i realno izlaganje materije. Ovi sistemi omogućavaju prikupljanje podataka koje možemo da analiziramo, testiramo i donosimo zaključke koji se unutar svih tih podataka skrivaju kao potencijalno korisna informacija.

Izveštaji koji se dobijaju putem softverske podrške, puni su različitosti i neodređenosti. Posmatranjem uzoraka i primenom parametarskih i neparametarskih testova u novije vreme bavili su se naši eminentni matematičari: Lazarević, Arandelović, Joksimović, Kovačević-Kostić i ostali (Lazarević & Đukić, 2010), (Arandelović, Mitrović, Stojanović, 2011), (Joksimović, Stojanović, 2019), (Kovačević-Kostić, 2019) čija je uža naučna oblast Statistika i verovatnoća. Unutar svih tih podataka skriva se potencijalno korisna informacija. Potrebno je razumeti podatke, sažeto ih prikazati i posmatrati kako bi došli do zaključaka o njihovom nastajanju. Autori Mustapa i ostali (Mustapa et al., 2011) primenjuju statističku matematičku analizu testiranja hipoteze kod analize kvarova i širenja napona kvara kroz priključke transformatora.

U svojim izlaganjima Behjat i ostali (Behjat et al., 2015) nalaze primenu neparametarskog testa kod analize frekvencijskog odziva za otkrivanje električnih i mehaničkih kvarova kod energetskih transformatora. Studijom slučaja izvršeno je poređenje između parametarskog i neparametarskog testa i rezultati su potvrdili prednost neparametarskog testa. Jedan od takvih neparametarskih testova je i Pirsonov test koji su autori Bogićević i ostali (Bogićević, Marković, Čukarić, Zubac, 2022) primenili kod ispitivanja stanja elektroenergetskih uređaja. Preporuka autora je bila da broj uzoraka bude što veći, kako bi zaključci bili što tačniji.

Iz tog razloga je i nastao ovaj rad, a rezultati su potvrdili da je osim preporuke za što većim brojem uzoraka

neophodno i testirati što veći broj parametara koji ukazuju na nestabilnost u radu transformatora. Dobijen je teorijski model koji je funkcionalan i primenljiv. Cilj autora rada je bio da nasumičnim testiranjem uzoraka koji su dostupni u izveštajima o radu elektroenergetskog sistema, neparametarskim testom, razviju novu metodu u strategiji preventivnog održavanja i planiranja stabilnog rada elektroenergetskog sistema.

3. Statistička analiza stanja transformatora u trafostanici Obrenovac

U celom elektroenergetskom sistemu Srbije je obezbeđen potpuni monitoring nad transformatorskim stanicama naponskog nivoa 110/x kV. Izvršena je revitalizacija sistema za lokalni nadzor i upravljanje u realnom vremenu u napojnim transformatorskim stanicama osavremenjavanjem daljinskih stanica i uvođenjem staničnog SCADA sistema, a u saglasnosti sa zamenom mehaničke zaštite integrisanim upravljačko-zaštitnim relejima (od postojećih 198 transformatorskih stanica, u SCADA sistem je uključeno 189) (Joksović, 2021). Ovi moderni sistemi nam omogućavaju upravljanje, nadzor i akviziciju podataka u bilo kom vremenskom periodu radnog procesa. Dobijene podatke kroz SCADA izveštaje možemo da testiramo i donosimo zaključke koji se unutar

svih tih podataka skrivaju kao potencijalno korisna informacija.

Trafostanica Obrenovac je jedan od takvih automatizovanih sistema od koje smo dobili dnevni izveštaj o radu energetske transformatora. Neophodno je napomenuti da energetske transformatori rade u uslovima promenljivog opterećenja (struje) i promenljive temperature ambijenta pa u praksi postoji problem preciznog proračuna temperature kako ulja tako i izolacije namotaja u svakom trenutku, kao i njihova procena pri planiranom opterećenju. U cilju razvijanja nove metode u strategiji planiranja i održavanja elektroenergetskih uređaja, vođena je studija slučaja, nasumično na energetske transformator TR2, uz pripadajuća polja: C03-trafo polje TRP2 400 kV i D18-trafo polje TRP2 220 kV.

Studija slučaja. Uzorci su dobijeni iz izveštaja na dan 28.10.2021. godine (Tabela 1), za energetske transformator TR2, uz pripadajuća polja: C03-trafo polje TRP2 400 kV i D18-trafo polje TRP2 220 kV. Rezolucija prikaza je 1 h. Ukupan broj posmatranih uzoraka je $n = 50$.

Tabela 1. Tabelarni prikaz promene temperature namotaja i ulja u energetske transformatoru TS Obrenovac 29.10.2021.

*Izveštaj T2
od 28.10.2021. 00:00:00 do 28.10.2021. 23:59:59
rezolucija: 1 sat*

Interval	C03 I4	D18 I4	D18 P	D18Q	D18 U48	Poz. reg. sklopke	T namotaja	T ulja
00:00:00	0.00	90.83	-26.58	-24.41	236.56	----	39.69	39.31
01:00:00	78.43	134.20	-47.08	-28.58	236.16	----	38.88	38.46
02:00:00	60.90	102.97	-30.94	-28.37	256.74	----	38.07	37.65
03:00:00	54.67	93.91	-25.51	-27.72	236.59	----	37.26	37.65
04:00:00	0.00	80.82	-12.58	-29.29	236.87	----	37.26	36.84
05:00:00	57.65	97.14	-25.05	-29.62	237.01	----	37.26	36.84
06:00:00	62.47	105.95	-28.71	-31.00	236.61	----	36.46	36.02
07:00:00	0.00	92.12	-6.58	-34.33	235.51	----	35.59	35.16
08:00:00	66.35	114.28	9.00	-42.98	234.02	----	34.77	35.16
09:00:00	65.09	110.57	5.04	-41.70	233.35	----	34.77	35.16
10:00:00	68.43	118.27	14.76	-42.64	233.37	----	34.77	35.16
11:00:00	60.38	103.63	-4.00	-39.30	233.37	----	38.01	37.60
12:00:00	61.80	105.88	-6.31	-40.40	233.70	----	40.45	40.13
13:00:00	75.79	130.36	-37.91	-35.78	234.36	----	41.29	40.96
14:00:00	78.87	136.11	-42.43	-33.89	235.04	----	42.09	41.77
15:00:00	75.33	129.93	-43.17	-29.98	235.71	----	42.91	41.77
16:00:00	123.33	212.70	-81.21	-32.85	235.75	----	43.71	41.77
17:00:00	107.41	185.00	-68.94	-31.44	236.08	----	43.71	41.77
18:00:00	110.16	189.79	-67.32	-34.84	235.00	----	42.90	41.77
19:00:00	73.33	126.11	-33.35	-37.61	234.47	----	42.90	41.77
20:00:00	77.37	131.19	-36.80	-37.76	234.77	----	42.90	41.77
21:00:00	89.54	152.43	-49.85	-36.54	235.31	----	42.90	41.77
22:00:00	120.18	207.59	-80.53	-29.47	236.30	----	42.90	41.77
23:00:00	143.61	247.17	-98.70	-26.68	236.62	----	42.09	40.17

Linijski graf za izveštaj 'T2' od 28.10.2021. 00:00:00 do 28.10.2021. 23:59:59, rezolucija: 1 sat

Izvor: Autori

Na osnovu dobijenih podataka, metodom matematičke statistike, pristupilo se ocenjivanju raspodele obeležja X u celoj populaciji. Svaka pretpostavka koja se odnosi na

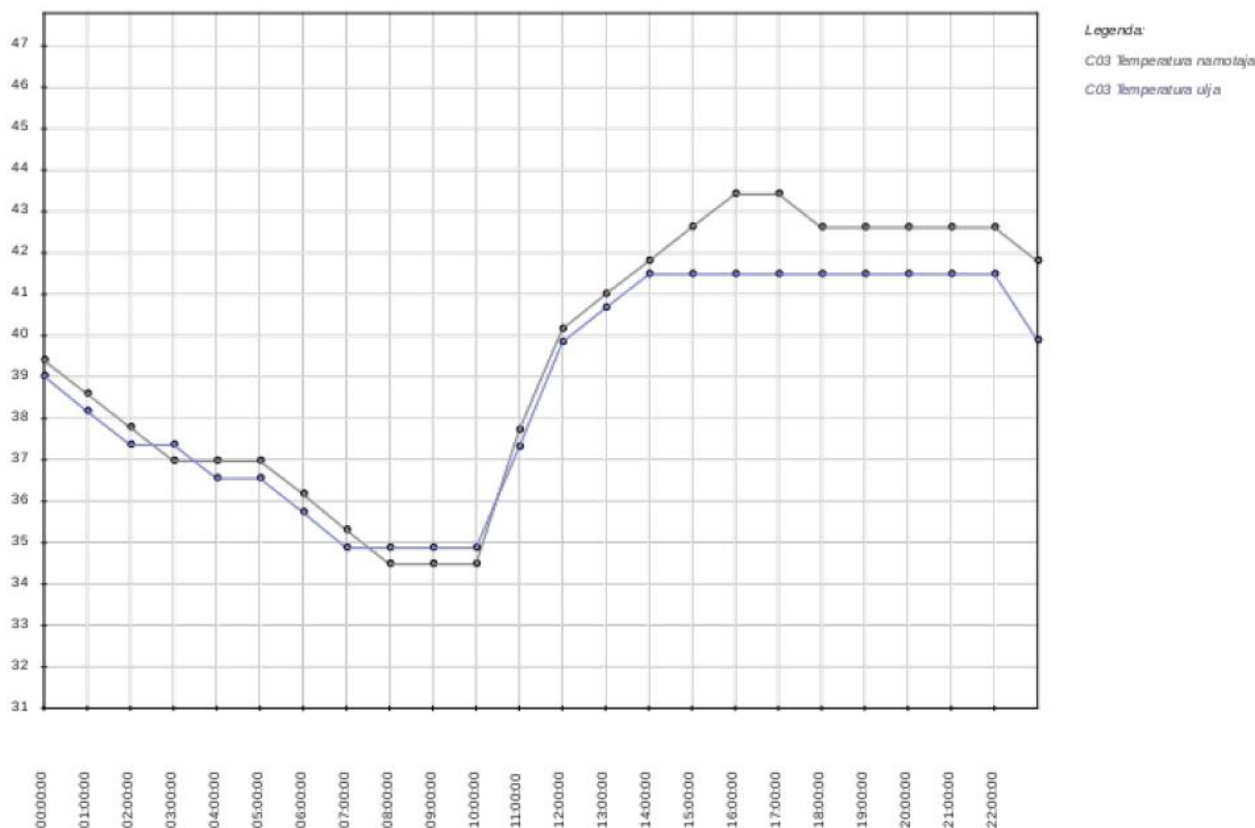
obeležje X zove se statistička hipoteza, a posmatrani postupak njenog verifikovanja zove se statistički neparametarski χ^2 test (Mladenović, 2019).

Kada je obim uzoraka veliki, prelazi se na intervalno sređivanje podataka. Intervalno sređivanje predstavlja formiranje podskupova. Interval $[a, b]$ kome pripadaju sve vrednosti X iz uzoraka, deli se na podskupove (intervale):

$$[a, u_1), [u_1, u_2), [u_2, u_3), \dots, [u_{n-1}, b] \tag{1}$$

Na slici 2 je prikazan grafički prikaz promene temperature namotaja i ulja u transformatoru, gde se vidi da temperature namotaja variraju od 34.77 °C do 42.91 °C, a temperature ulja od 35.16 °C do 41.77°C.

Slika 2. Grafički prikaz promene temperature namotaja i ulja u energetskom transformatoru



Izvor: Autori

Tabela 2. Tabela kontigencije

Interval-vrednost obeležja (x_i)	0-35	35-38	38-40	40-45	Σ
Apsolutna frekvencija (m_i)	5	15	6	24	50
Sredina intervala	17.5	36.5	39	42.5	118
Interval-vrednost obeležja (x_i), Temperatura u (°C)		30-35	35-40	40-45	Σ
Apsolutna frekvencija (m_i), Temperatura namotaja		3	9	12	24

Izvor: Autori

Polazimo od pretpostavke da je raspodela uzoraka saglasna sa Normalnom Gausovom raspodelom, za prag značajnosti $\alpha = 0.05$. Za gustinu raspodele verovatnoće slučajne promenljive $Z: \mathcal{H}(m, \sigma^2)$ uzete su njihove centrirane i nepristrasne ocene date odgovarajućom statistikom, gde je vrednost X_i – sredina intervala. Postavljena pretpostavka je nulta hipoteza H_0 :

$$m = \bar{X}_n = \frac{1}{n} \sum_i X_i n_i - \text{uzoračka sredina} \tag{2}$$

$$\sigma^2 = \bar{S}_n^2 = \left(\frac{1}{n} \sum_i X_i^2 \right) - \bar{X}_n^2 = \frac{1}{n} \sum_i X_i^2 n_i - \bar{X}_n^2 - \text{uzoračka disperzija} \tag{3}$$

Vrednosti uzoračke sredine i uzoračke disperzije u našem slučaju su:

$$\begin{aligned}\bar{x}_{50} &= \frac{1}{50} [(17.5 \cdot 5) + (36.5 \cdot 15) + (39 \cdot 6) + (42.5 \cdot 24)] \\ \bar{x}_{50} &= \frac{1}{50} [(87.5) + (547.5) + (234) + (1020)] \\ \bar{x}_{50} &= \frac{1}{50} 1889 \\ \bar{x}_{50} &= 37.78\end{aligned}\quad (4)$$

$$\begin{aligned}\bar{s}_{50}^2 &= \frac{1}{50} [(17.5^2 \cdot 5) + (36.5^2 \cdot 15) + (39^2 \cdot 6) + (42.5^2 \cdot 24)] - 37.78^2 \\ \bar{s}_{50}^2 &= \frac{1}{50} [1531.25 + 19983.75 + 9126 + 43350] - 1427.32 \\ \bar{s}_{50}^2 &= 52.491 \\ \bar{s}_{50} &= 7.245\end{aligned}\quad (5)$$

Dakle, testiramo hipotezu da je uzorak uzet iz populacije sa $\mathcal{H}(37.780, 7.245^2)$ (Tabela 3).

Tabela 3. Tabelarni prikaz uzoračke sredine i uzoračke disperzije

Interval-vrednost obeležja (x_i)	Uzoračka sredina	Uzoračka disperzija	Standardna greška
0	35	87.5	1531.25
35	38	547.5	19983.75
38	40	234	9126
40	45	1020	43350
	37.780	52.492	7.245

Izvor: Autori

Da bi došli do verovatnoće nastajanja događaja potrebno je naći gornji i donji interval događaja:

$$\begin{aligned}p &= P\{a_1 \leq X^* \leq b_1\} \\ a_1 &= \frac{a - \bar{X}_n}{S_n}, b_1 = \frac{b - \bar{X}_n}{S_n}\end{aligned}\quad (6)$$

Dobijene vrednosti su prikazane u Tabeli 4.

Tabela 5. Verovatnoća nastajanja događaja

Donja granica	Gornja granica	$F(a)$	$F(b)$	$p_1 = F(b) - F(a)$	Tabela III (Lazarević, Đukić, 2010, str. 386)	
0	35	-5.2146	-0.3837	0.349	0.498	0.149
35	38	-0.3837	0.0304	0.16	0.149	0.011
38	40	0.0304	0.3064	0.106	0.011	0.117
40	45	0.3064	0.9965	0.385	0.117	0.338
				1		

Izvor: Autori

Testiranjem nulte hipoteze H_0 , χ^2 testom dobijamo sledeće podatke (Tabela 6).

Granica kritične oblasti je $\chi^2_{r-s-1; \alpha}$ iz uslova u tabeli 6 (Lazarević, Đukić, 2010, str. 388) je:

$$P(\chi^2_{r-s-1} \geq \chi^2_{r-s-1; \alpha}) = \alpha \quad (12)$$

gde je:

$r = 4$ – broj disjunktivnih delova,

Tabela 4. Intervali verovatnoće

Donja granica	Gornja granica	$F(a)$	$F(b)$
0	35	-5.2146	-0.3837
35	38	-0.3837	0.0303
38	40	0.0303	0.3064
40	45	0.3064	0.9965

Izvor: Autori

Vrednost funkcije $F(a_1)$ i $F(b_1)$ uzeta je iz tabele IV (Lazarević, Đukić, 2010, str. 384) gde se funkcija $F(x)$

definiše sa $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx$ i njene vrednosti se

ne mogu dobiti elementarnim putem. U našem slučaju je:

$$\begin{aligned}p_1 &= F(-0.3837) - F(-5.2146) = F(5.2146) - F(0.3837) \\ p_1 &= 0.498 - 0.149 \\ p_1 &= 0.349\end{aligned}\quad (7)$$

$$\begin{aligned}p_2 &= F(0.0304) - F(-0.3837) = F(0.3837) + F(0.0304) \\ p_2 &= 0.149 + 0.011 \\ p_2 &= 0.160\end{aligned}\quad (8)$$

$$\begin{aligned}p_3 &= F(0.3064) - F(0.0304) \\ p_3 &= 0.106\end{aligned}\quad (9)$$

$$\begin{aligned}p_4 &= 1 - p_1 - p_2 - p_3 \\ p_4 &= 0.385\end{aligned}\quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^4 p_i = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1 \quad (11)$$

Dobijene vrednosti za verovatnoću nastajanja događaja su prikazane u Tabeli 5.

$s = 2$ – broj ocenjivanih parametara (m, σ),
 α – nivo značajnosti (rizik).

Ako se testiranjem uzorka χ^2 testom dobije vrednost test statistike veća od tablične, hipoteza se odbacuje, u suprotnom se na osnovu datih podataka i za dati prag značajnosti, hipoteza prihvata.

U našem slučaju, broj disjunktivnih delova je $r = 4$, a broj ocenjenih parametara je $s = 2$. Za prag značajnosti je uzeta vrednost $\alpha = 0.05$ te imamo:

$$P(\chi_1^2 \geq \chi_{1,0.05}^2) = 0.05 \quad (13)$$

Vrednost pročitana iz tabele za prag značajnosti $\alpha = 0.05$ i $\alpha = 0.01$ je:

$$\chi_{1,0.05}^2 = 3.841 \quad (14)$$

$$\chi_{1,0.01}^2 = 6.635 \quad (15)$$

Vrednost dobijena test statistikom je:

$$\chi_1^2 = \frac{(5-17.59)^2}{50 \cdot 0.351} + \frac{(15-8)^2}{50 \cdot 0.160} + \frac{(6-5.29)^2}{50 \cdot 0.105} + \frac{(24-19.10)^2}{50 \cdot 0.382} \quad (16)$$

$$\chi_1^2 = 16.491$$

U ovom delu studije slučaja, vrednost dobijena test statistikom je veća od vrednosti pročitane iz tabele za prag značajnosti $\chi_{1,0.05}^2 = 3.841$ i $\chi_{1,0.01}^2 = 6.635$, što znači

da je pretpostavka o saglasnosti raspodele uzoraka sa Normalnom raspodelom netačna. U vezi sa tom odlukom se definiše greška prvog tipa koja kaže da možemo da učinimo grešku prvog stepena, da odbacimo hipotezu H_0 kada je ona faktički tačna, a verovatnoća te greške je:

$$\alpha = P_{H_0} \{ \hat{v}_n \geq k \} \quad (17)$$

Smisao praga značajnosti (rizik) α je sledeći: "Ako bismo mnogo puta ponovili ovo testiranje onda bismo približno u 1% slučajno pogrešno odbacili nultu hipotezu kada je ona faktički tačna" (Arandelović, Mitrović, Stojanović, 2011; Kovačević-Kostić, 2019). Odbacivanje nulte hipoteze ukazuje na nestabilnost u radu transformatora, ali pošto je studijom slučaja testiran samo jedan parametar, rano je donositi zaključke. Njegovom primenom na druge značajne parametre iz izveštaja, autori u daljem radu imaju za cilj da razviju nove metode kod strategije održavanja i planiranja rada elektroenergetskih sistema.

Tabela 5. Vrednost χ^2 dobijena test statistikom

Interval-vrednost obeležja (x_i)	Sredina intervala	Apsolutna frekvencija (m_i)	Verovatnoća (p_i)	$n \cdot p_i$	$m_i - n \cdot p_i$	$(m_i - n \cdot p_i)^2$	χ^2	
0	35	17.5	0.351	17.598	-12.598	158.722	9.019	
35	38	36.5	0.160	8	7	49	6.125	
38	40	39	0.105	5.297	0.703	0.494	0.093	
40	45	42.5	0.382	19.104	4.895	23.965	1.25	
$n = 50$								
$U, \alpha = \sum_{i=1}^r \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i}$							16.491	

Izvor: Autori

4. Zaključak

SCADA sistemi su u današnje vreme postali sastavni deo gotovo svake industrijske aplikacije. Realizuju se u okviru računarske mreže i omogućavaju nadzor i upravljanje jednog broja lokalnih stanica u mreži koje obavljaju akviziciju podataka.

Programski paket, kao što je SCADA VIEW 6000 razvijen je u Institutu "Mihajlo Pupin" i danas predstavlja okosnicu sistema nadzora i upravljanja u velikom broju kako lokalnih trafostanica tako i velikih industrijskih postrojenja. Koristi se za nadzor, upravljanje, statistiku, arhiviranje podataka i događaja, kao i njihovu analizu.

Cilj rada je bio da opiše značaj statističke matematičke analize uzoraka u energetici i da pronađe njenu primenu u dobijanju nove strategije preventivnog reagovanja u održavanju elektroenergetskih uređaja.

U radu je primenjen χ^2 test na uzorcima iz izveštaja koji se odnose na promenu temperature transformatora u toku rada. Odbacivanje nulte hipoteze ukazuje na uticaj drugih parametara na uravnotežen rad, tako da je neophodno

nastaviti i testiranje drugih parametara. Do konkretnog zaključka o stanju transformatora može se doći samo pod uslovom da se neparametarski test primeni na sve parametre koji ukazuju na nestabilan rad transformatora.

U daljem radu kompletnom analizom autori će doći do novih zaključaka koji dovode do razvoja nove strategije u održavanju elektroenergetskih sistema. Dobijeni teorijski model je funkcionalan i primenljiv za analizu svih parametara koji se nalaze u izveštajima, za koje se pretpostavlja da su ključni uzroci za normalno funkcionisanje elektroenergetskih sistema.

Reference

- Arandelović, I., Mitrović, Z., & Stojanović, V. (2011). *Verovatnoća i statistika*, Zavod za udžbenike, Beograd.
- Behjat, V., Mahvi, M., Rahimpour, E. (2015). *A new statistical approach to interpret power transformer frequency response analysis: Nonparametric statistical methods*, 30th International Power System Conference (PSC), Tehran, Iran. <https://doi.org/10.1109/IPSC.2015.7827740>
- Bogićević, Z., Marković N., Čukarić, A., & Zubac D. (2022), *Analiza korelacione veze između dva parametra u radu*

- transformatora primenom Pirsonovog testa, DQM-POLITEH, Prijedor, Srbija.
- Ćirić, M. R., & Mandić, N. S. (2015). *Održavanje elektroenergetske opreme*, AGM Knjiga, Beograd.
- Đurić, M. (2009). *Visokonaponska postrojenja*, Beopres, Beograd.
- Đurić, M., & Ilić, V. (2017). *Visokonaponska razvodna postrojenja*, AGM Knjiga, Beograd.
- EN 60870-5-101:2003/A1:2016 (AMENDMENT) Telecontrol equipment and systems - Part 5-101: Transmission protocols - Companion standard for basic telecontrol tasks.
- Joksimović, D., & Stojanović, V. (2019). *Verovatnoća i statistika*, Kriminalističko-policijski univerzitet, Beograd.
- Joksović, P. (2021). *Elektronski dispečerski dnevnik u punoj primeni*, Elektrodistribucija, List elektrodistribucije Srbije, br. 1.
- Kovačević-Kostić, I. (2019). *Verovatnoća i statistika sa zbirkom zadataka*, treće izmenjeno i dopunjeno izdanje, Univerzitet Singidunum, Beograd.
- Lazarević, V. D., & Đukić, M. R. (2010). *Inženjerska matematika*, Tehnički fakultet, Čačak.
- Merkle, M. (2016). *Verovatnoća i statistika za inženjere i studente tehnike*, 4. izmenjeno i dopunjeno izdanje, Akademska misao, Beograd.
- Mini, S. T., & Douglas, J. (2020). *Power System Scada and Smart Grids*, Taylor & Francis Group, Oxfordshire United Kingdom.
- Mustapa, R. F., Serwan M. S., Hamzah N., & Zakaria Z. (2011). *Hypothesis testing for fault analysis and the propagation of faulted voltage through transformer connections*, IEEE Student conference on research and development, Universiti Tun Hussein, Malaysia. <https://doi.org/10.1109/SCORED.2011.6148738>
- Mladenović, P. (2019). *Verovatnoća i statistika*, Zavod za udžbenike, Beograd.
- Rajović, M., Stanojević, D. (2011). *Verovatnoća i statistika, teorija i primeri*, 2. izdanje, Akademska misao, Beograd.
- Radetić, R. (2017). *Priručnik za održavanje visokonaponske opreme*, Elektromreža Srbije, Bor.
- Tracu, A. (2014). *SCADA Sistem Fundamentals*, Continuing Education and Development-CED, Woodcliff Lake, USA.
- Vaahedi, E. (2014). *Practical Power System Operation*, IEEE Press, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Vukadinović, S., & Popović, J. (2019). *Verovatnoća i statistika*, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu.