

Међулабораторијско поређење резултата мерења магнетске индукције надземног вода напонског нивоа 400 kV

Маја Грбић¹, Александар Павловић²

¹ Електротехнички институт Никола Тесла, Универзитет у Београду
Косте Главинића 8а, 11000 Београд, Србија
maja.grbic@ieent.org

² Електротехнички институт Никола Тесла, Универзитет у Београду
Косте Главинића 8а, 11000 Београд, Србија
aleksandar.pavlovic@ieent.org

Кратак садржај: У раду је приказано међулабораторијско поређење резултата мерења магнетске индукције надземног вода напонског нивоа 400 kV, у коме су учествовале три испитне лабораторије. Међулабораторијско поређење је спроведено у циљу обезбеђења поверења у квалитет резултата испитивања. Резултати мерења су анализирани стандардном методом, применом E_n броја, на основу чега је извршено оцењивање лабораторија.

Кључне речи: магнетска индукција, нејонизујуће зрачење, међулабораторијско поређење.

1. Увод

У раду је приказано међулабораторијско поређење резултата мерења магнетске индукције надземног вода напонског нивоа 400 kV. У међулабораторијском поређењу су поред Лабораторије за испитивање и еталонирање Електротехничког института „Никола Тесла“, која је уједно била и координатор међулабораторијског поређења, учествовале још две испитне лабораторије: ЈП „Нуклеарни објекти Србије“ и „Завод за здравствену заштиту радника“. Описано поређење представља прво међулабораторијско поређење спроведено од стране Електротехничког института „Никола Тесла“ као координатора, као и прво међулабораторијско поређење у области испитивања електромагнетског поља индустријске учестаности које је спроведено у Републици Србији.

2. Начин и поступак међулабораторијског поређења

2.1. Мерена величина

Мерена величина је интензитет вектора магнетске индукције (B). Интензитет вектора магнетске индукције мерен је изотропски, истовременим мерењем све три просторне компоненте вектора у дискретним тренуцима времена.

2.2. Мерна опрема

Све три лабораторије су вршиле мерења магнетске индукције у опсегу ниских учестаности применом еталониране мерне опреме.

Лабораторија 1 је за мерење магнетске индукције користила анализатор електромагнетског поља „EFA - 300”, произвођача „Narda Safety Test Solutions” и екстерну сонду за мерење магнетске индукције. Екстерна сонда је сферног облика, површине 100 cm^2 . Описани мерни систем омогућава изотропно мерење магнетске индукције ниске учестаности у фреквентном опсегу од 5 Hz до 32 kHz .

Лабораторија 2 је такође користила уређај „EFA - 300”, произвођача „Narda Safety Test Solutions”, али је уместо екстерне сонде за мерење магнетске индукције коришћена интерна сонда, која је интегрисана унутар самог уређаја.

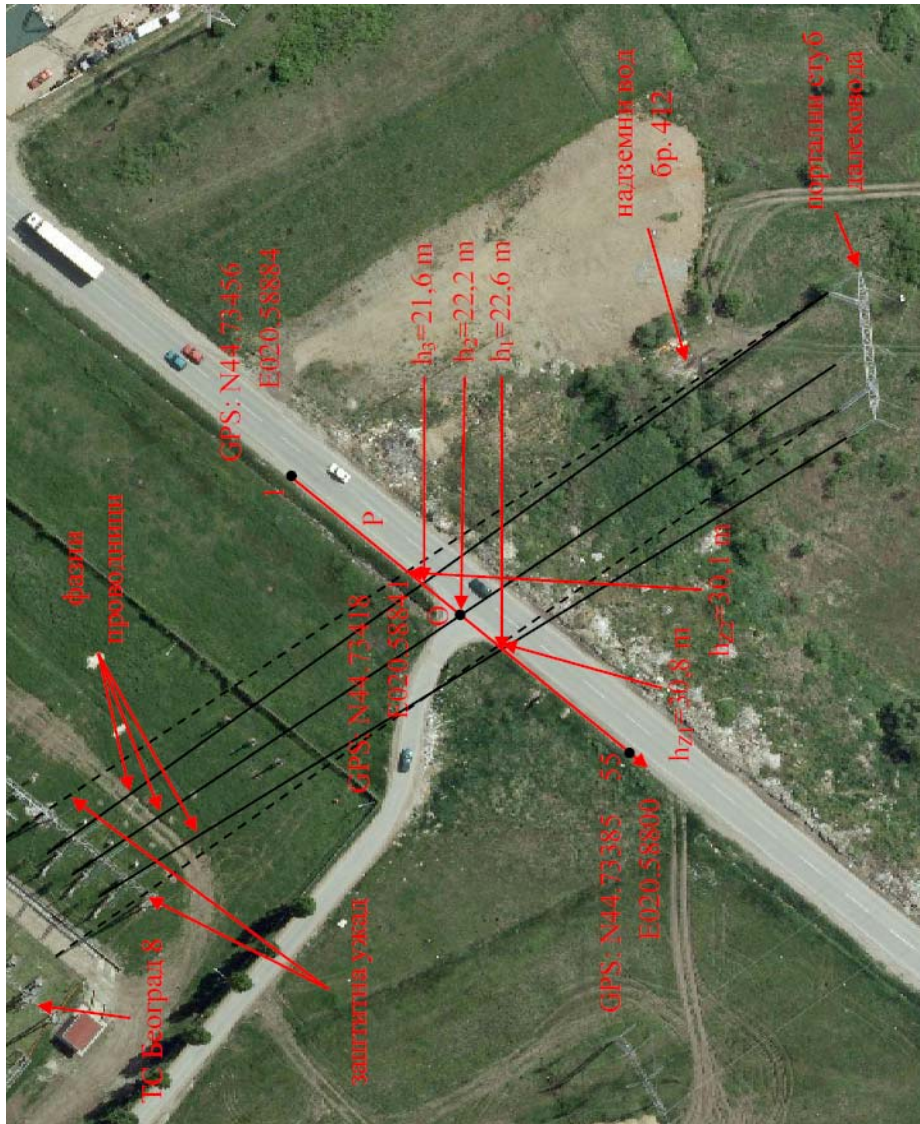
Лабораторија 3 је за мерење користила инструмент MASCHKE ESM – 100, који омогућава мерење магнетске индукције од 10 nT до 10 mT , у фреквентном опсегу од 5 Hz до 400 kHz .

Све три испитне лабораторије су приликом мерења користиле изотропне сонде за мерење магнетске индукције. Изотропна сонда обезбеђује истовремено мерење све три просторне компоненте вектора магнетске индукције, тако да инструмент приказује њихову резултантну вредност.

2.3. Избор локације за мерење

За одржавање међулабораторијског поређења изабрана је локација која се налази на траси надземног вода напонског нивоа 400 kV , „Београд 8 – Обреновац А”, бр. 412. Позиција изабраног мерног правца P

са GPS координатама, као и распоред мерних места, приказани су на слици 1.



Слика 1. *Позиција изабраног мерног правца и мерних места*

На избор локације за мерење примарно је утицала конфигурација терена, при чему је било од интереса да у близини изабраног мерног правца не буде објеката који би својим присуством могли да утичу на нивое магнетске индукције.

Мерења су спроведена на правцу који је приближно нормалан на осу надземног вода (тзв. латерални профил) и који се налази приближно на средини датог распона [1], [2], [3].

У следећој табели су дати основни подаци о мерном правцу. Мерења висина фазних и заштитних проводника испитиваног надземног вода су извршена ласерским даљинометром.

Табела 1. Основни подаци о мерном правцу

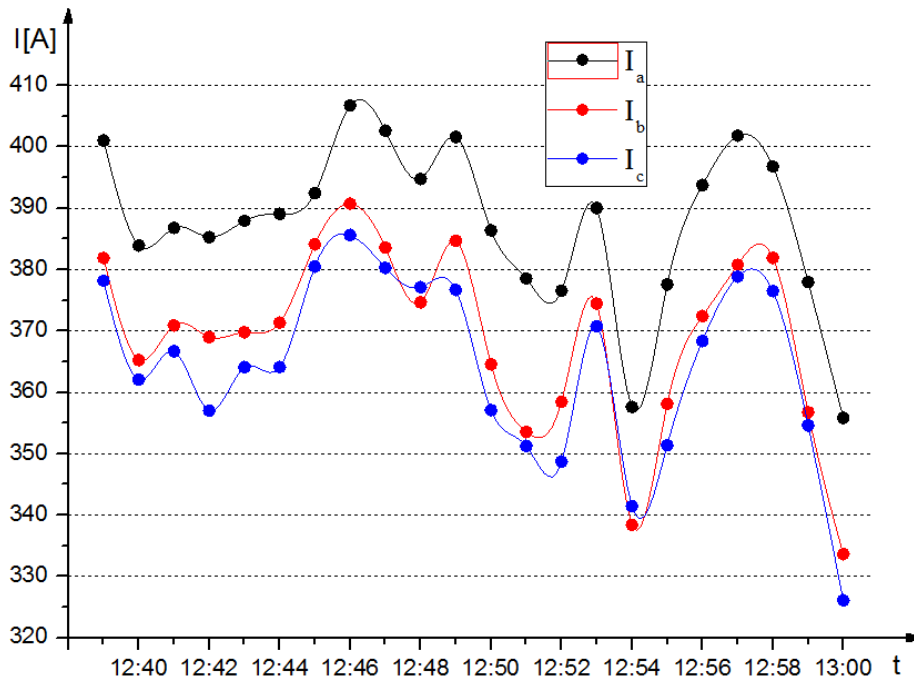
Подлога (тло)	Висина фазних проводника изнад мерног правца	Међусобно растојање фазних проводника	Висина заштитних проводника изнад мерног правца	Међусобно растојање заштитних проводника
влажна земља	$h_1=22,6$ m $h_2=22,2$ m $h_3=21,6$ m	$d_{12}=10$ m $d_{23}=7,6$ m	$h_{z1}=30,8$ m $h_{z2}=30,1$ m	$d_{z1z2}=19,8$ m

2.4. Поступак мерења

Мерења су вршена дуж мерног правца Р који је приближно нормалан на осу надземног вода [1], [2], [3]. Дуж мерног правца је изабрано 55 мерних места, чији је распоред приказан на слици 1. Све три лабораторије су истовремено мериле магнетску индукцију на свим мерним местима, како би се елиминисало одступање резултата услед временске промене магнетске индукције, због промене струје оптерећења надземног вода. На свим мерним местима спроведено је мерење ефективних вредности магнетске индукције на висини 1 m од тла.

2.5. Струјно оптерећење извора зрачења у време мерења

Измерене вредности магнетске индукције у околини надземног вода су сразмерне струјама које су протицале кроз фазне проводнике у време мерења магнетске индукције. Вредности струја оптерећења далековода у време мерења, које су добијене од стране ЈП ЕМС, приказане су на слици 2.



Слика 2. Струје оптерећења далековода у време мерења магнетске индукције

3. Упоредни приказ резултата мерења магнетске индукције

На слици 3 и у табели 2 је дат упоредни приказ резултата мерења магнетске индукције све три лабораторије. Ознаке у табели 2 имају следеће значење:

n – редни број мерног места;

x [m] – хоризонтално растојање мерног места на правцу P од пројекције средње фазе на нивоу тла;

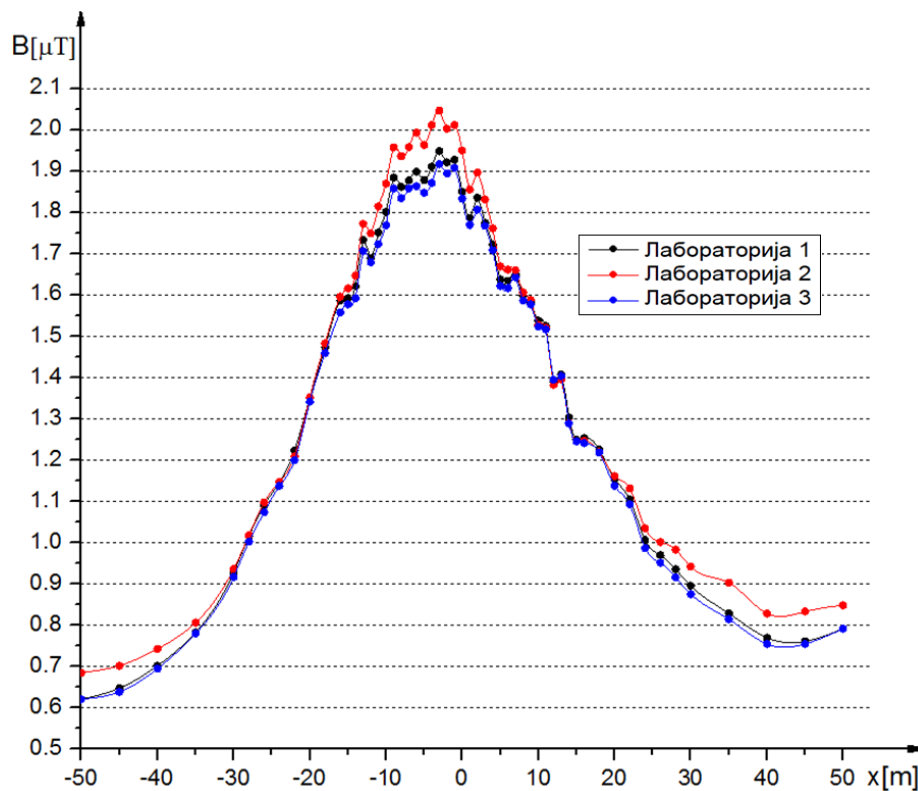
B_i [μ T] – ефективна вредност магнетске индукције лабораторије i .

Табела 2. Упоредни приказ резултата мерења магнетске индукције све три лабораторије

n	x [m]	B_1 [μ T]	B_2 [μ T]	B_3 [μ T]
1	-50	0.620	0.684	0.620
2	-45	0.647	0.701	0.638
3	-40	0.701	0.742	0.694

n	x [m]	B_1 [μ T]	B_2 [μ T]	B_3 [μ T]
4	-35	0.782	0.806	0.779
5	-30	0.927	0.935	0.916
6	-28	1.015	1.017	1.002
7	-26	1.090	1.097	1.073
8	-24	1.146	1.147	1.137
9	-22	1.223	1.209	1.199
10	-20	1.350	1.352	1.341
11	-18	1.473	1.483	1.459
12	-16	1.586	1.595	1.557
13	-15	1.592	1.616	1.577
14	-14	1.621	1.647	1.592
15	-13	1.733	1.772	1.706
16	-12	1.689	1.749	1.679
17	-11	1.751	1.814	1.723
18	-10	1.801	1.869	1.768
19	-9	1.884	1.957	1.858
20	-8	1.861	1.936	1.834
21	-7	1.877	1.958	1.858
22	-6	1.898	1.993	1.863
23	-5	1.878	1.963	1.847
24	-4	1.911	2.012	1.871
25	-3	1.948	2.046	1.917
26	-2	1.921	2.003	1.894
27	-1	1.927	2.011	1.908
28	0	1.850	1.950	1.833
29	1	1.786	1.855	1.769
30	2	1.835	1.896	1.806
31	3	1.774	1.831	1.767
32	4	1.722	1.761	1.708
33	5	1.637	1.669	1.622
34	6	1.634	1.661	1.616
35	7	1.649	1.660	1.642
36	8	1.598	1.606	1.586
37	9	1.581	1.588	1.577
38	10	1.537	1.526	1.523
39	11	1.524	1.520	1.516
40	12	1.388	1.382	1.394
41	13	1.407	1.395	1.403
42	14	1.303	1.289	1.288
43	15	1.249	1.245	1.245
44	16	1.253	1.246	1.241
45	18	1.225	1.219	1.218
46	20	1.154	1.160	1.137
47	22	1.104	1.131	1.092
48	24	1.006	1.035	0.986
49	26	0.969	1.001	0.951

n	x [m]	B_1 [μT]	B_2 [μT]	B_3 [μT]
50	28	0.935	0.982	0.915
51	30	0.895	0.941	0.875
52	35	0.828	0.902	0.814
53	40	0.769	0.828	0.754
54	45	0.760	0.833	0.754
55	50	0.791	0.848	0.791



Слика 3. Упоредни приказ резултата мерења магнетске индукције све три лабораторије

Након спроведеног међулабораторијског поређења лабораторије учеснице су независно извршиле процену мерне несигурности својих резултата. У тексту који следи укратко је описан поступак процене мерне несигурности резултата мерења магнетске индукције Лабораторије за испитивање и еталонирање Електротехничког института „Никола Тесла” [4], [5].

У конкретном случају постоје четири компоненте мерне несигурности које су значајне за прорачун комбиноване мерне несигурности:

u_1 - компонента мерне несигурности услед покретања сензора, чија процењена вредност износи 2 %;

u_2 - компонента мерне несигурности услед временске константе мерног инструмента, чија процењена вредност износи 2 %;

u_3 - компонента мерне несигурности услед амбијенталног магнетског поља, која износи 5 %;

u_4 - компонента мерне несигурности која уважава тачност мерног инструмента, утицај температуре и влажности ваздуха, утицај анизотропије, нелинеарност и фреквентни одзив. Ова компонента мерне несигурности дата је од стране произвођача и износи 3 %.

Све компоненте припадају типу Б израчунавања мерне несигурности, па им се додељује правоугаона расподела, тако да је број степени слободе: $\nu_1=\nu_2=\nu_3=\nu_4=\infty$. Коефицијенти осетљивости су: $c_1=c_2=c_3=c_4=1$.

Комбинована мерна несигурност се израчунава применом израза:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 \cdot u_1^2 + \dots + c_i^2 \cdot u_i^2 + \dots + c_n^2 \cdot u_n^2} \quad (1)$$

који у конкретном случају гласи:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2 + c_3^2 \cdot u_3^2 + c_4^2 \cdot u_4^2} \quad (2)$$

Када се у израз (2) уврсте вредности компонената мерне несигурности и коефицијената осетљивости добија се:

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{5}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{3}{\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{\frac{42}{3}} = 3,742 \quad (3)$$

Проширена мерна несигурност U представља производ комбиноване стандардне мерне несигурности и коефицијента проширења k :

$$U = k \cdot u_c \quad (4)$$

Коефицијент k може имати вредност у интервалу од $\sqrt{3}$ до 3, зависно од усвојене расподеле. С обзиром да је усвојена правоугаона расподела коефицијент проширења има вредност $k = \sqrt{3}$, па проширена мерна несигурност износи:

$$U = k \cdot u_c = \sqrt{3} \cdot 3,742 = 6,481 \% \approx 6,5 \% \quad (5)$$

Процењене вредности проширених мерних несигурности (U) свих лабораторија учесница су дате у табели 3.

Табела 3. Процењене вредности проширене мерне несигурности лабораторија учесница

Лабораторија	U [%]
1	6,5
2	19,8
3	8,9

4. Оцена резултата међулабораторијског поређења

За вредновање (оцењивање) лабораторија користи се E_n број који се израчунава на основу следећег израза [6]:

$$E_n = \frac{x_i - x_{ref}}{\sqrt{U_i^2 + U_{ref}^2}} \quad (6)$$

при чему су:

x_i - измерена вредност лабораторије i ;

x_{ref} - додељена вредност мерене величине (усвојена тачна вредност);

U_i - проширена мерна несигурност лабораторије i ;

U_{ref} - проширена несигурност додељене вредности.

У случају поређења резултата мерења магнетске индукције претходни израз се може написати као:

$$E_n = \frac{B_i - B_{ref}}{\sqrt{U_i^2 + U_{ref}^2}} \quad (7)$$

С обзиром да тачна вредност магнетске индукције није позната, поставља се питање које би вредности B_{ref} и U_{ref} требало усвојити. Када једна испитна лабораторија врши мерење са тачнијом мерном опремом и има знатно нижу мерну несигурност, оправдано је користити њене резултате за процену стварног нивоа мерене величине, [6]. Међутим, у описаном случају су све три лабораторије вршиле мерење истовремено, на истим мерним местима и уз коришћење еталониране мерне опреме

сличних карактеристика. Поред тога, очигледно је да постоји подударање резултата, што се може закључити на основу података датих у табели 2 и на слици 3. Из наведених разлога је у овом случају оправдано за додељену вредност усвојити средњу вредност резултата мерења све три лабораторије, као што је и препоручено у [6]:

$$B_{ref} = \frac{B_1 + B_2 + B_3}{3} \quad (8)$$

За проширену несигурност додељене вредности усвојена је средња вредност проширених мерних несигурности све три лабораторије:

$$U_{ref} = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3} \quad (9)$$

при чему су:

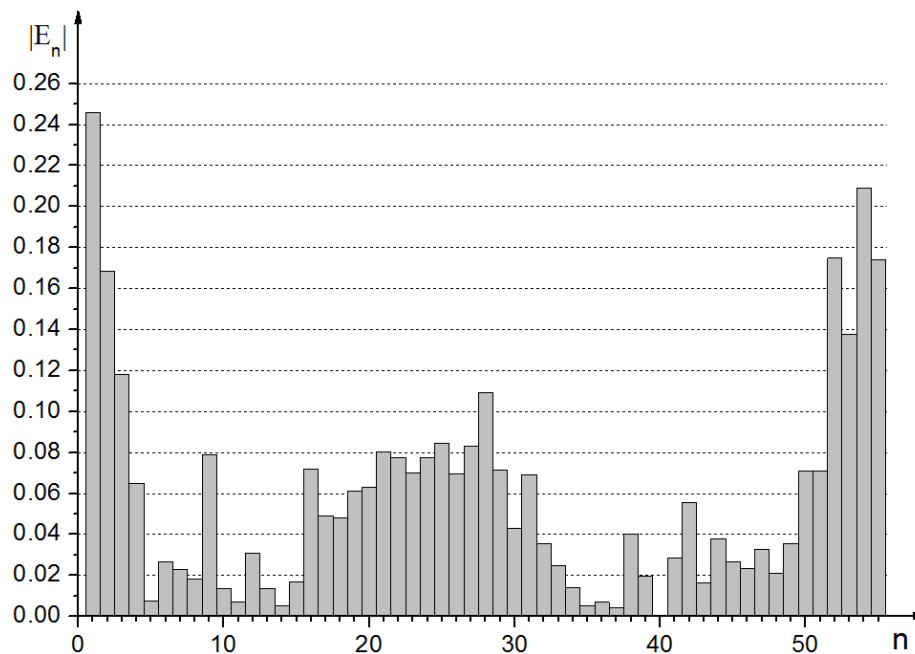
U_1, U_2, U_3 - процењене мерне несигурности лабораторија 1, 2 и 3.

Према [6] критеријум за оцењивање је следећи:

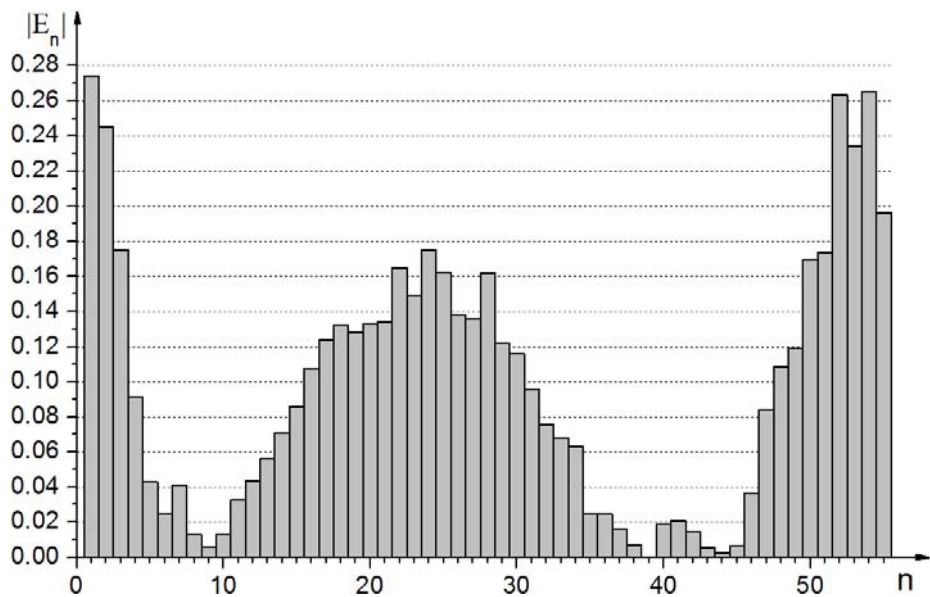
$|E_n| < 1$ - коректан резултат;

$|E_n| > 1$ - незадовољавајућ резултат.

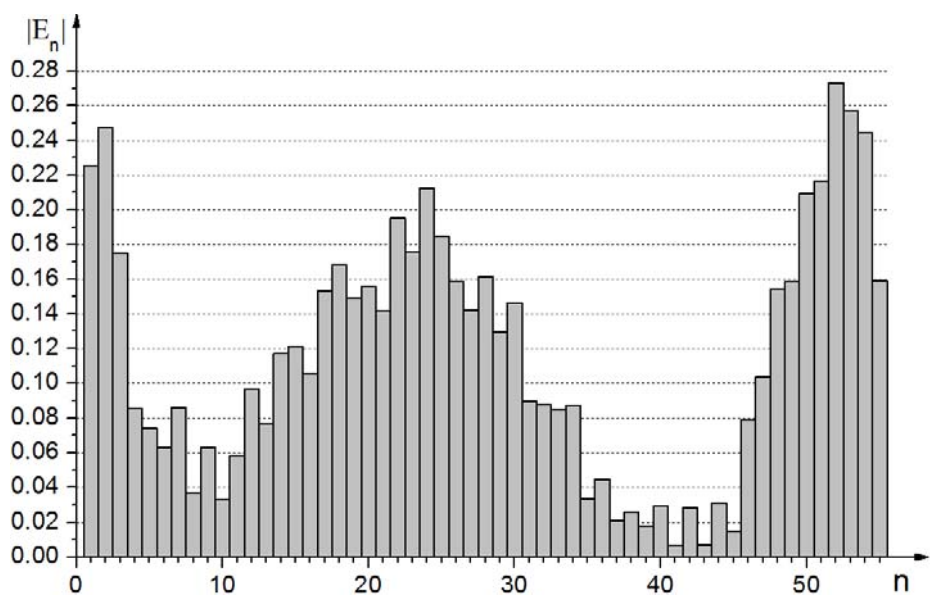
Израчунате апсолутне вредности E_n броја за све три лабораторије су приказане на наредним графицима.



Слика 4. Израчунате апсолутне вредности E_n броја Лабораторије бр. 1



Слика 5. Израчунате апсолутне вредности E_n броја Лабораторије бр. 2



Слика 6. Израчунате апсолутне вредности E_n броја Лабораторије бр. 3

На основу резултата прорачуна закључује се да су вредности E_n броја мање од 1, на свим мерним местима и за све три лабораторије, што значи да су сви добијени резултати коректни [6].

5. Закључак

Међулабораторијска поређења имају велики значај за вредновање перформанси лабораторија и утврђивање разлика међу лабораторијама. Према захтевима Акредитационог тела Србије све акредитоване лабораторије и лабораторије које су поднеле пријаву за акредитацију морају учествовати у доступним и одговарајућим међулабораторијским поређењима. Резултати међулабораторијских поређења се такође могу користити за валидацију изјаве о мерној несигурности, као и за стално праћење перформанси лабораторија. Значај међулабораторијских поређења је такође у обезбеђењу поверења у квалитет резултата испитивања, као и у размени искустава међу лабораторијама учесницама.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Measurement of low frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings - Special requirements for instruments and guidance for measurements*, IEC Standard 61786, 1998.
- [2] *Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines*, ANSI/IEEE Standard 644, 1994.
- [3] CIGRE Working Group C4.203: "Technical guide for measurement of Low Frequency Electric and Magnetic Fields near Overhead Power Lines", April 2009.
- [4] М. Грбић, А. Павловић: „Мерна несигурност при мерењу електричног и магнетног поља индустријске учестаности”, *30. саветовање CIGRE Србија*, Златибор, 2011. година, Зборник радова R C4 07;
- [5] Извештај Електротехничког института „Никола Тесла” бр. 3412018: „Међулабораторијско поређење резултата мерења магнетске индукције ниске учестаности”, 2012. година;
- [6] *Оцењивање усаглашености – Општи захтеви за испитивање оспособљености*, SRPS ISO/IEC 17043, 2011.

Abstract: The paper presents a comparison of measured results of magnetic field near 400 kV overhead power lines obtained by three laboratories. This interlaboratory comparison was performed to ensure confidence in the quality of the test results. The measured results were analysed with standard methods, using E_n number, based on which the evaluation of the laboratories was performed.

Key words: magnetic field, non-ionizing radiation, interlaboratory comparison.

Interlaboratory Comparison of Measuring Results of Magnetic Field near 400 kV Overhead Power Line