

МЕЋУЛАБОРАТОРИЈСКО ПОРЕЂЕЊЕ РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА МАГНЕТСКЕ ИНДУКЦИЈЕ ДИСТРИБУТИВНОГ НАДЗЕМНОГ ВОДА

Маја Грбић¹, Електротехнички институт „Никола Тесла”, Београд, Република Србија
Александар Павловић, Електротехнички институт „Никола Тесла”, Београд, Република Србија
Бранислав Вулевић, ЈП „Нуклеарни објекти Србије”, Београд, Република Србија
Чедомир Белић, ЈП „Нуклеарни објекти Србије”, Београд, Република Србија

1. УВОД

У раду је приказано међулабораторијско поређење резултата мерења магнетске индукције дистрибутивног надземног вода напонског нивоа 35 kV. У међулабораторијском поређењу су учествовале две испитне лабораторије: Лабораторија за испитивања и еталонирање Електротехничког института „Никола Тесла” (у даљем тексту - Лабораторија 1) и ЈП „Нуклеарни објекти Србије” (Лабораторија 2). Поређење је спроведено у циљу праћења перформанси лабораторија учесница.

2. НАЧИН И ПОСТУПАК МЕЋУЛАБОРАТОРИЈСКОГ 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.

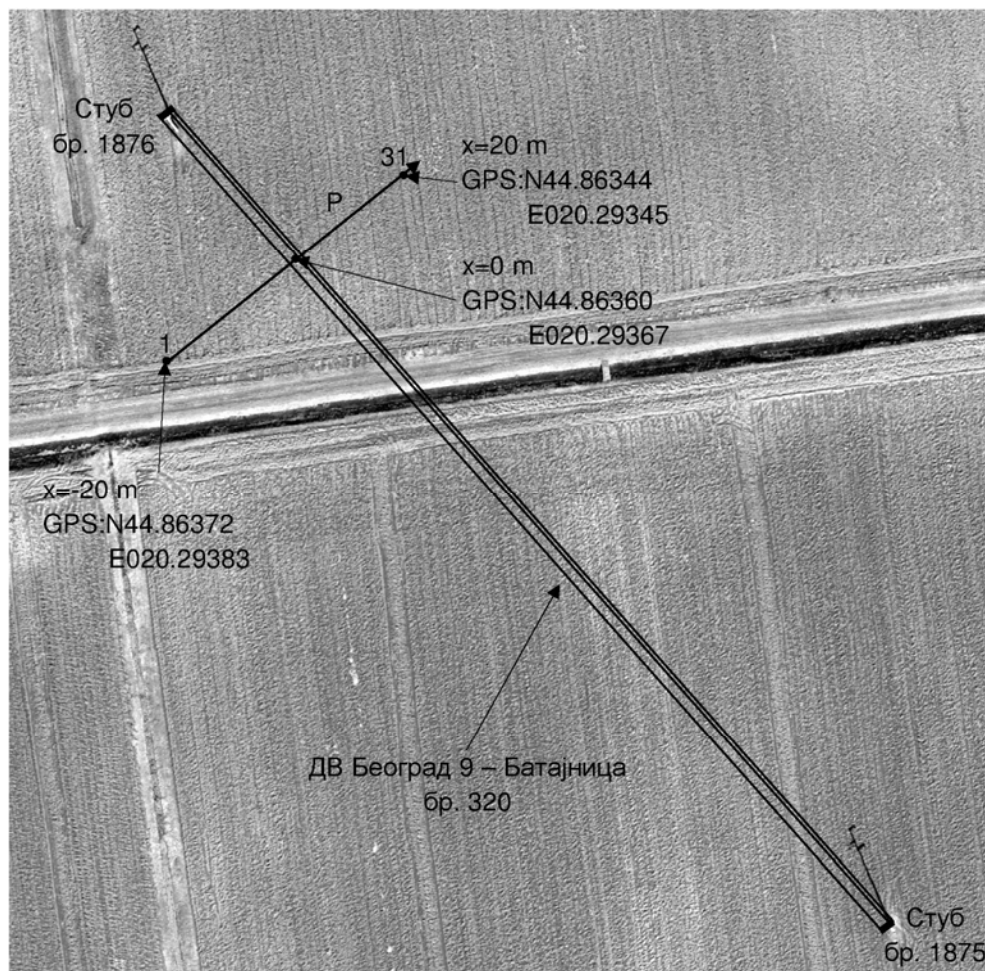
2.2 Мерна опрема

Обе испитне лабораторије поседују исту опрему за мерење магнетске индукције у опсегу ниских учестаности. Мерни систем чине мерни инструмент, који омогућава мерење магнетске индукције у фреквентном опсегу од 5 Hz до 32 kHz и сонда за мерење магнетске индукције. Сонда је сферног облика, површине 100 cm². Оваква сонда обезбеђује истовремено мерење све три просторне компоненте вектора магнетске индукције, на основу чега инструмент приказује њихову резултатну вредност. Обе лабораторије су одабрале режим мерења са примењеним пропусним филтром у фреквентном опсегу 5 Hz±2 kHz.

¹ maja.grbic@icent.org, Електротехнички институт „Никола Тесла”, тел. 011/3952-016, моб. 064/8259-755

2.3 Избор локације за мерење

За одржавање међулабораторијског поређења изабрана је локација која се налази на траси дистрибутивног надземног вода напонског нивоа 35 kV, „Београд 9 – Батајница” бр. 320. Позиција изабраног мерног правца са тачним географским координатама, као и распоред мерних места, приказани су на слици 1.



СЛИКА 1 – ПОЗИЦИЈА ИЗБРАНОГ МЕРНОГ ПРАВЦА И РАСПОРЕД МЕРНИХ МЕСТА

Ознаке на слици 1 имају следеће значење:

P – мерни правац;

x [m] – растојање мерног места на правцу P од хоризонталне пројекције средње фазе на ниво тла.

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 могли да утичу на нивое магнетске индукције.

Ради што вернијег утврђивања просторне расподеле магнетског поља које потиче од испитиваног надземног вода, мерења су спроведена на правцу који је нормалан на осу надземног вода (тзв. латерални профил). Мерни правац је удаљен 38 m од стуба бр. 1876, док укупно растојање између стубова 1875 и 1876 износи 208 m. У следећој табели су дати основни подаци о мерном правцу. Мерења висина фазних и заштитних проводника испитиваног надземног вода, као и растојања од мерног правца до стубова, извршена су уређајем „Vertex Laser VL400”.

ТАБЕЛА 1 – ОСНОВНИ ПОДАЦИ О МЕРНОМ ПРАВЦУ

Правац	Распон између стубова	Подлога (тло)	Висина фазних проводника изнад мерног правца	Међусобно растојање фазних проводника
P	1875-1876	сува земља	$h_1=13$ m; $h_2=11$ m; $h_3=9,7$ m	$d_{12}=3,2$ m; $d_{23}=3,3$ m



СЛИКА 2 – ГЛАВА СТУБА БР. 1876 СА ОЗНАКАМА ФАЗНИХ ПРОВОДНИКА

2.4 Мерна метода

Мерења су вршена дуж мерног правца P који је нормалан на осу надземног вода. Дуж мерног правца је изабрано 31 мерно место, чији је распоред приказан на слици 1. На сваком мерном месту је меморисано 5 вредности магнетске индукције са временским кораком од 6 s. Обе лабораторије су истовремено мериле магнетску индукцију, како би се елиминисало одступање резултата услед промене струје оптерећења надземног вода.

На свим мерним местима спроведено је мерење тренутних ефективних вредности магнетске индукције на висини 1 m од тла.

3. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА

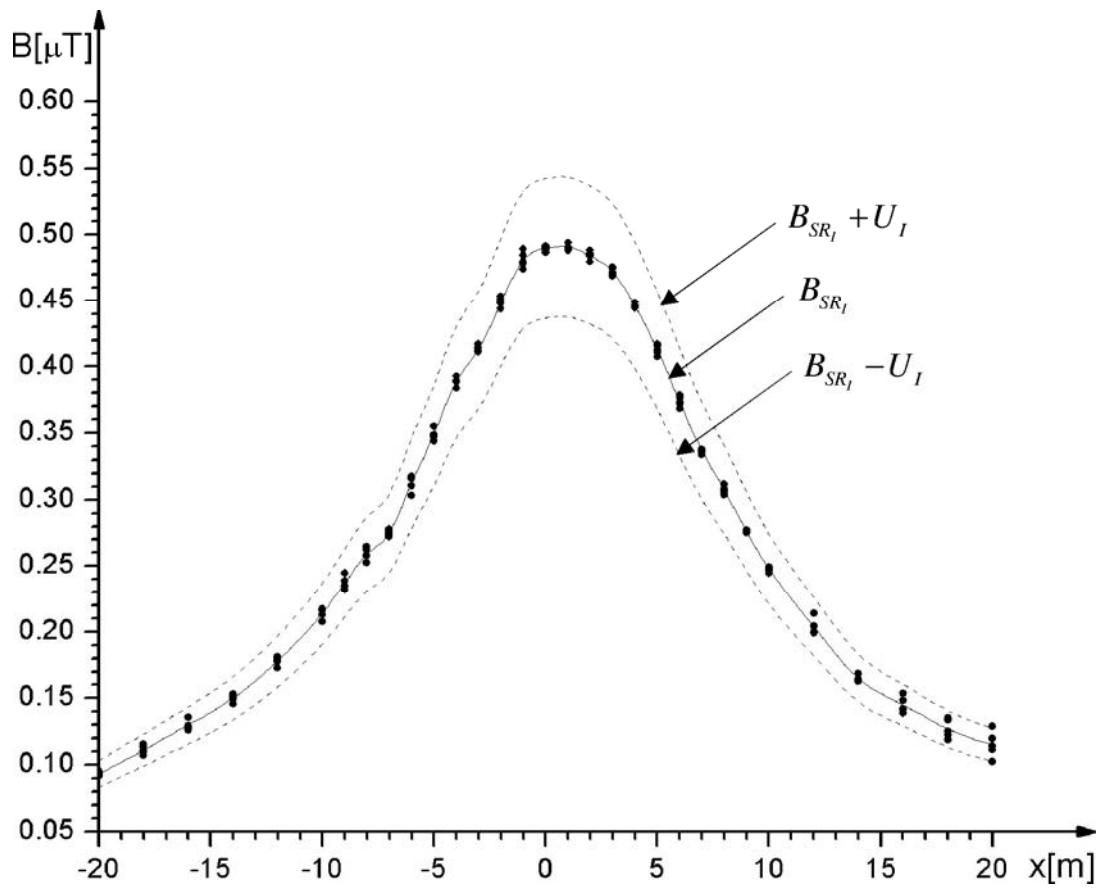
На сваком мерном месту обе лабораторије су истовремено измериле 5 вредности магнетске индукције. На основу ових резултата је за свако мерно место израчуната средња вредност магнетске индукције, за сваку лабораторију посебно, као аритметичка средина 5 измерених вредности.

Након извршених мерења обе лабораторије су, независно једна од друге, процениле сопствену мерну несигурност. Проширена мерна несигурност у случају Лабораторије 1 износи 10,8 % од израчунате средње вредности магнетске индукције у свакој мерној тачки, а у случају Лабораторије 2 - 19,8 %.

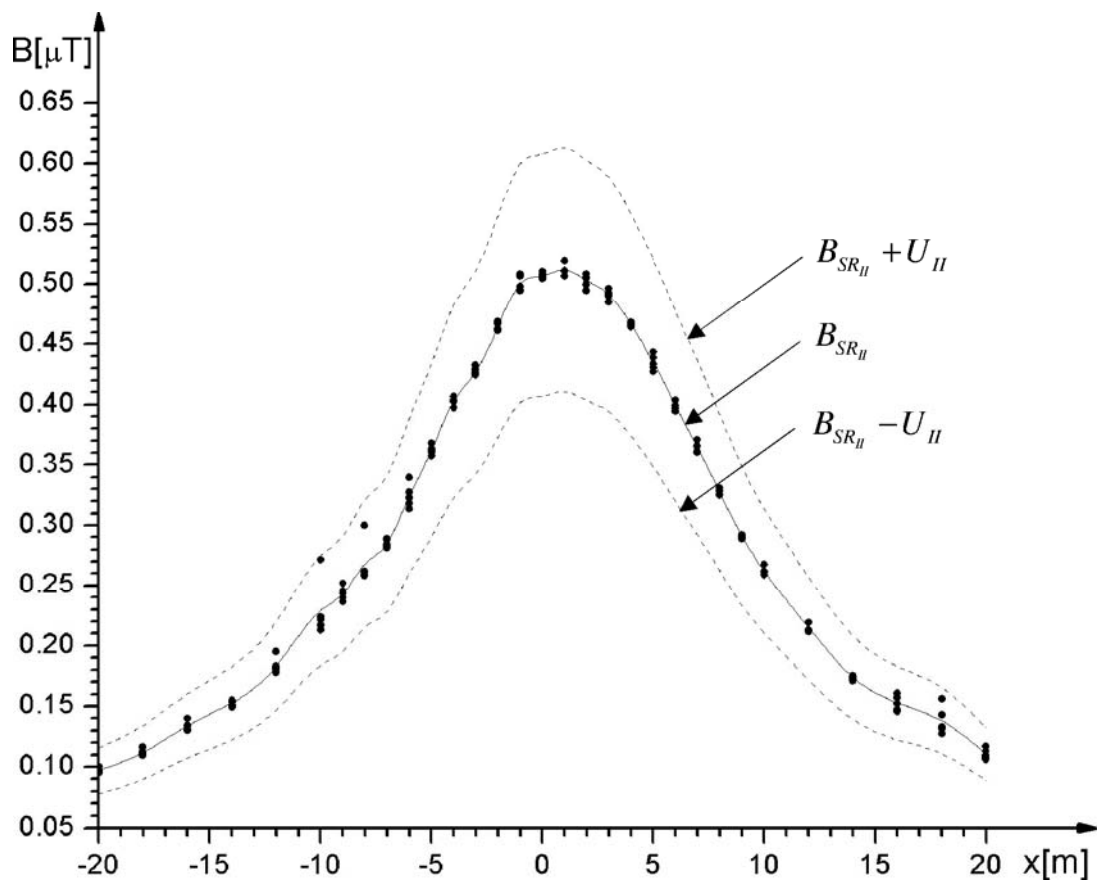
$$U_I [\mu T] = \frac{10.8}{100} \cdot B_{SR_I} [\mu T] \quad (1)$$

$$U_{II} [\mu T] = \frac{19.8}{100} \cdot B_{SR_{II}} [\mu T] \quad (2)$$

Резултати мерења магнетске индукције Лабораторија 1 и 2 приказани су на графиконима 1 и 2, респективно. На графиконима је за свако мерно место приказано свих пет измерених вредности магнетске индукције, израчуната средња вредност магнетске индукције, B_{SR} , као и проширена мерна несигурност израчуната у односу на B_{SR} .

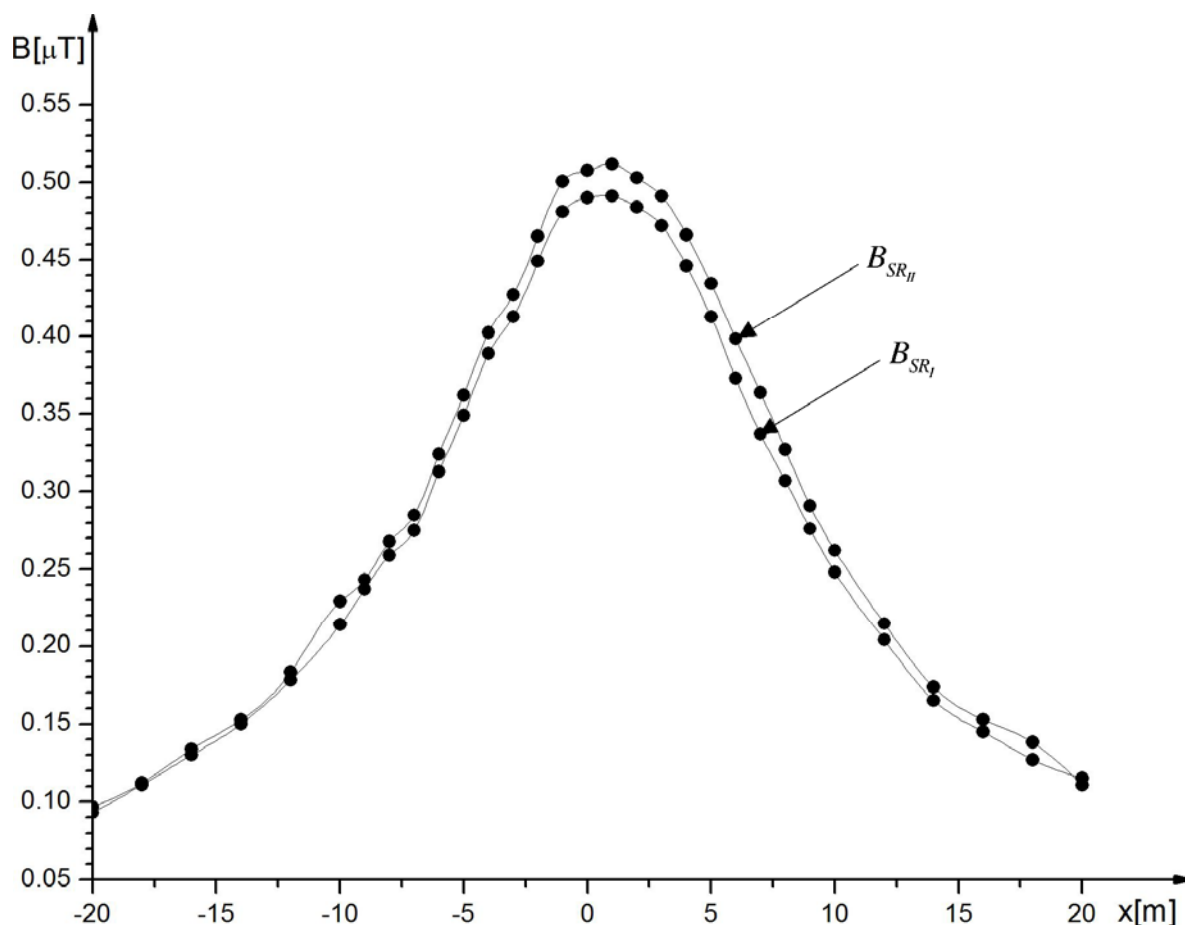


ГРАФИКОН 1 – ПРОСТОРНА РАСПОДЕЛА МАГНЕТСКЕ ИНДУКЦИЈЕ ЛАБОРАТОРИЈЕ 1



ГРАФИКОН 2 – ПРОСТОРНА РАСПОДЕЛА МАГНЕТСКЕ ИНДУКЦИЈЕ ЛАБОРАТОРИЈЕ 2

На графикону 3 је дат упоредни приказ средњих вредности магнетске индукције обе лабораторије, на основу ког се може закључити да постоји одлично слагање мерних резултата.



ГРАФИКОН 3 – УПОРЕДНИ ПРИКАЗ СРЕДЊИХ ВРЕДНОСТИ МАГНЕТСКЕ ИНДУКЦИЈЕ

4. ОЦЕНА РЕЗУЛТАТА МЕЂУЛАБОРАТОРИЈСКОГ ПОРЕЂЕЊА

За оцењивање перформанси лабораторија користи се E_n број, који се израчунава на основу следећег израза:

$$E_n = \frac{B_{SR_i} - B_{ref}}{\sqrt{U_i^2 + U_{ref}^2}} \quad (3)$$

при чему су:

B_{SR_i} - израчуната средња вредност магнетске индукције лабораторије i

B_{ref} - додељена вредност магнетске индукције (усвојена тачна вредност)

U_i - проширена мерна несигурност лабораторије i

U_{ref} - проширена несигурност додељене вредности

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, [5]. Међутим, у описаном случају су обе лабораторије вршиле мерење истовремено, на истим мерним местима и уз коришћење исте мерне опреме. Поред тога, очигледно је да постоји одлично подударање резултата, што се може видети са

графикона 3. Из наведених разлога је у овом случају оправдано за додељену вредност усвојити средњу вредност резултата мерења обе лабораторије, као што је и препоручено у [5]:

$$B_{ref} = \frac{B_{SR_I} + B_{SR_{II}}}{2} \quad (4)$$

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

$$U_{ref} = \frac{U_I + U_{II}}{2} \quad (5)$$

Према [5] критеријум за оцењивање је следећи:

$|E_n| < 1$ - указује на задовољавајуће перформансе

$|E_n| \geq 1$ - указује на незадовољавајуће перформансе и ствара сигнал за предузимање мера.

У табели 2 приказане су средње вредности резултата мерења обе лабораторије, њихова одступања у односу на додељену вредност, као и проширена мерна несигурност.

ТАБЕЛА 2 - УПОРЕДНИ ПРИКАЗ РЕЗУЛТАТА

n	$x [m]$	$B_{SR_I} [\mu T]$	$U_I [\mu T]$	$B_{SR_{II}} [\mu T]$	$U_{II} [\mu T]$	$D_I [\mu T]$	$D_I [\%]$	$D_{II} [\mu T]$	$D_{II} [\%]$
1	-20	0.093	0.010	0.097	0.019	-0.002	-1.885	0.002	1.885
2	-18	0.111	0.012	0.112	0.022	-0.001	-0.478	0.001	0.478
3	-16	0.13	0.014	0.134	0.027	-0.002	-1.467	0.002	1.467
4	-14	0.15	0.016	0.153	0.030	-0.001	-0.855	0.001	0.855
5	-12	0.178	0.020	0.183	0.036	-0.003	-1.491	0.003	1.491
6	-10	0.214	0.024	0.229	0.045	-0.008	-3.422	0.008	3.422
7	-9	0.237	0.026	0.243	0.048	-0.003	-1.280	0.003	1.280
8	-8	0.259	0.028	0.268	0.053	-0.004	-1.690	0.004	1.690
9	-7	0.275	0.030	0.285	0.056	-0.005	-1.758	0.005	1.758
10	-6	0.313	0.034	0.324	0.064	-0.006	-1.772	0.006	1.772
11	-5	0.349	0.038	0.362	0.072	-0.007	-1.858	0.007	1.858
12	-4	0.389	0.043	0.403	0.080	-0.007	-1.719	0.007	1.719
13	-3	0.413	0.045	0.427	0.085	-0.007	-1.703	0.007	1.703
14	-2	0.449	0.049	0.465	0.092	-0.008	-1.774	0.008	1.774
15	-1	0.481	0.053	0.501	0.099	-0.010	-2.003	0.010	2.003
16	0	0.49	0.054	0.507	0.100	-0.009	-1.752	0.009	1.752
17	1	0.491	0.054	0.512	0.101	-0.010	-2.073	0.010	2.073
18	2	0.484	0.053	0.503	0.100	-0.009	-1.909	0.009	1.909
19	3	0.472	0.052	0.491	0.097	-0.010	-1.981	0.010	1.981
20	4	0.446	0.049	0.466	0.092	-0.010	-2.197	0.010	2.197
21	5	0.413	0.046	0.435	0.086	-0.011	-2.547	0.011	2.547
22	6	0.373	0.042	0.399	0.079	-0.013	-3.316	0.013	3.316
23	7	0.337	0.038	0.364	0.072	-0.013	-3.812	0.013	3.812
24	8	0.307	0.034	0.327	0.065	-0.010	-3.177	0.010	3.177
25	9	0.276	0.031	0.291	0.058	-0.007	-2.604	0.007	2.604
26	10	0.248	0.028	0.262	0.052	-0.007	-2.765	0.007	2.765
27	12	0.204	0.023	0.215	0.043	-0.005	-2.546	0.005	2.546
28	14	0.165	0.018	0.174	0.034	-0.004	-2.536	0.004	2.536

n	$x[m]$	$B_{SR_i} [\mu T]$	$U_i [\mu T]$	$B_{SR_{II}} [\mu T]$	$U_{II} [\mu T]$	$D_i [\mu T]$	$D_i [\%]$	$D_{II} [\mu T]$	$D_{II} [\%]$
29	16	0.145	0.016	0.153	0.030	-0.004	-2.592	0.004	2.592
30	18	0.127	0.014	0.138	0.027	-0.006	-4.217	0.006	4.217
31	20	0.115	0.012	0.111	0.022	0.002	1.930	-0.002	-1.930

Ознаке у табели 2 имају следеће значење:

n - редни број мерног места

$D_i [\mu T]$ - разлика средње вредности магнетске индукције лабораторије i (B_{SR_i}) и додељене вредности

$D_i [\%]$ - одговарајућа процентна разлика

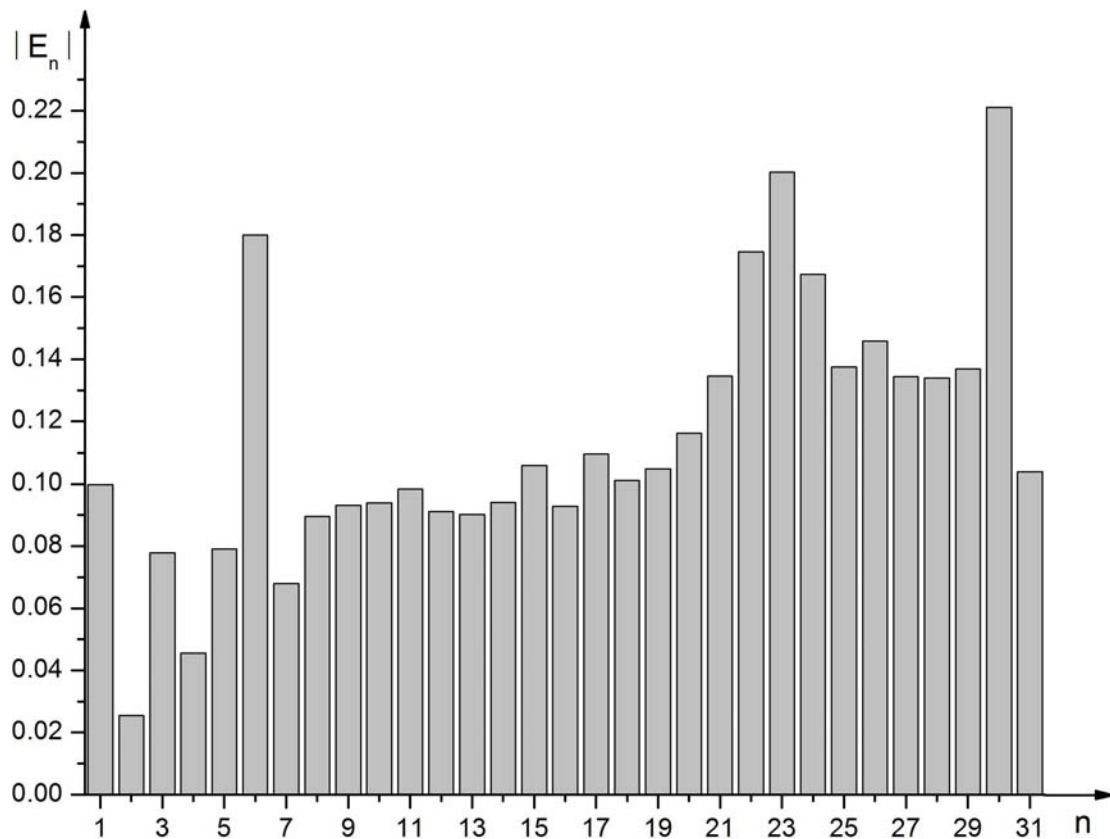
Разлике $D_i [\mu T]$ и процентне разлике $D_i [\%]$, које су уведене као додатни показатељ слагања резултата, израчунате су за свако мерно место применом следећих израза:

$$D_i = B_{SR_i} - B_{ref} \quad (6)$$

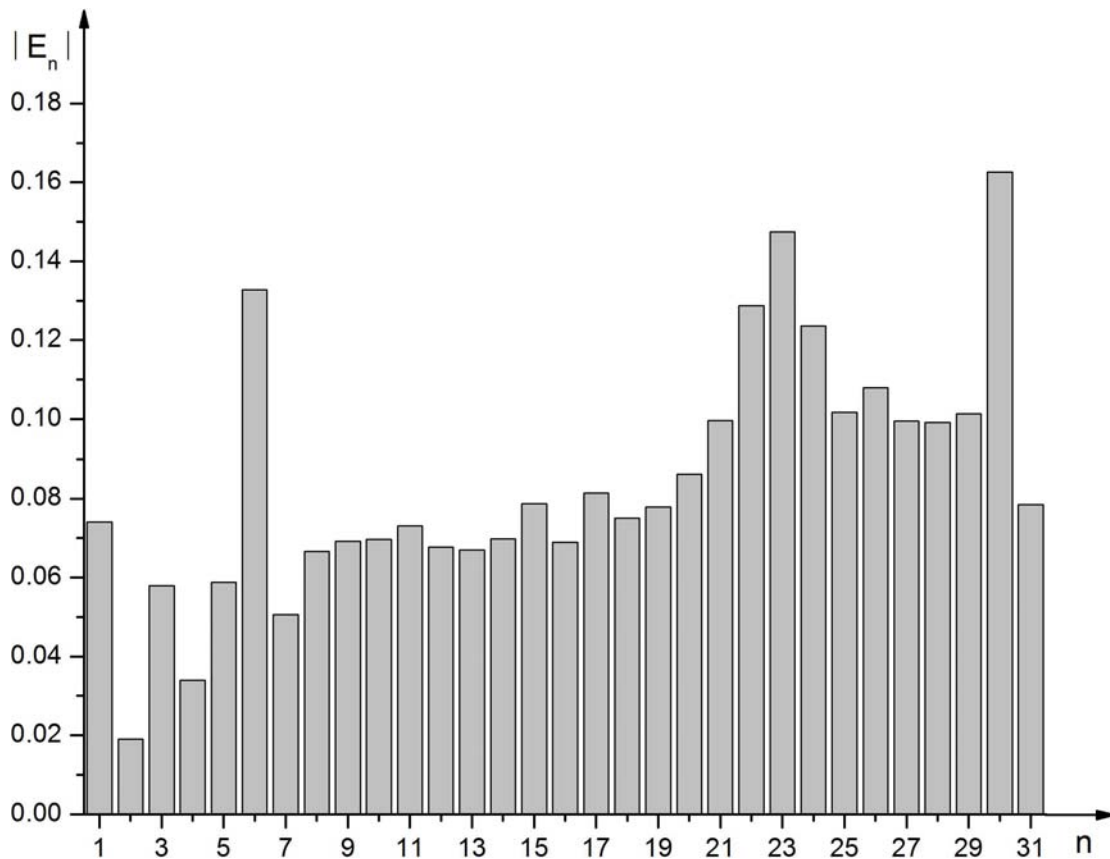
$$D_i [\%] = \frac{B_{SR_i} - B_{ref}}{B_{ref}} \cdot 100 \quad (7)$$

Према подацима из табеле 2, највећа процентна разлика износи 4,2 %, док су на већини мерних места ове разлике мање од 3 %.

На основу резултата приказаних у табели 2 израчунате су вредности E_n броја обе лабораторије, које су приказане на наредним графиконима. Израчунате вредности E_n броја обе лабораторије мање су од 1 на свим мерним местима.



ГРАФИКОН 4 – ИЗРАЧУНАТЕ ВРЕДНОСТИ E_n БРОЈА ЛАБОРАТОРИЈЕ 1



ГРАФИКОН 5 – ИЗРАЧУНАТЕ ВРЕДНОСТИ E_n , БРОЈА ЛАБОРАТОРИЈЕ 2

5. ЗАКЉУЧАК

Међулабораторијска поређења имају велики значај за вредновање перформанси лабораторија и утврђивање разлика међу лабораторијама. Резултати међулабораторијских поређења се такође могу користити за валидацију изјаве о мерној несигурности, као и за стално праћење перформанси лабораторија.

На основу приказаног прорачуна закључује се да су вредности E_n броја мање од 1, на свим мерним местима и за обе лабораторије, што указује на задовољавајуће перформансе. Одлично подударање измерених вредности магнетске индукције може се уочити и на основу израчунатих процентних разлика које су на највећем броју мерних места мање од 3 %.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] IEC Standard 61786:1998, "Measurement of low frequency magnetic and electric fields with regard to exposure of human beings - Special requirements for instruments and guidance for measurements";
- [2] ANSI/IEEE Standard 644:1994, "Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines";
- [3] CIGRE Working Group C4.203: "Technical guide for measurement of Low Frequency Electric and Magnetic Fields near Overhead Power Lines", April 2009.
- [4] „Правила о учешћу у међулабораторијским поређењима и програмима за испитивање оспособљености”, Акредитационо тело Србије, 14.10.2011.
- [5] SRPS ISO/IEC 17043: „Оцењивање усаглашености – Општи захтеви за испитивање оспособљености”, 2011.