

Међулабораторијско поређење резултата мерења и прорачуна јачине електричног поља надземног вода напонског нивоа 35 kV

Маја Грбић¹, Александар Павловић¹, Бранислав Вулевић²

¹ Електротехнички институт „Никола Тесла“, Косте Главинића 8а,
11000 Београд, Србија
maja.grbic@ieent.org, aleksandar.pavlovic@ieent.org

² ЈП „Нуклеарни објекти Србије“, Мике Петровића Аласа 12-14,
11351 Винча, Србија
banevul@gmail.com

Кратак садржај: У раду је приказано међулабораторијско поређење резултата мерења и прорачуна јачине електричног поља дистрибутивног надземног вода напонског нивоа 35 kV, у коме су учествовале три испитне лабораторије. Међулабораторијско поређење је спроведено у циљу обезбеђења поверења у квалитет резултата испитивања. Резултати су анализирани стандардном методом, применом E_n броја, на основу чега је извршено оцењивање лабораторија.

Кључне речи: јачина електричног поља, нејонизујуће зрачење, међулабораторијско поређење.

1. Увод

У раду је приказано међулабораторијско поређење резултата мерења и прорачуна јачине електричног поља дистрибутивног надземног вода напонског нивоа 35 kV. У међулабораторијском поређењу су поред Лабораторије за испитивање и еталонирање Електротехничког института „Никола Тесла“ (Лабораторија 1), која је била и координатор међулабораторијског поређења, учествовале још две испитне лабораторије: Лабораторија 2 и Лабораторија 3. Све три лабораторије су вршиле испитивање јачине електричног поља путем мерења, док је Лабораторија 1 поред тога извршила и испитивање путем прорачуна. Према подацима којима располажу аутори рада, описано поређење представља прво међулабораторијско поређење резултата мерења и

прорачуна јачине електричног поља индустријске учестаности које је спроведено у Републици Србији, као и једно од првих поређења спроведених од стране Електротехничког института „Никола Тесла” као координатора. Према захтевима Акредитационог тела Србије све акредитоване лабораторије и лабораторије које су поднеле пријаву за акредитацију морају учествовати у доступним и одговарајућим међулабораторијским поређењима [1].

2. Начин и поступак међулабораторијског поређења

2.1. Испитивана величина

Величина која је предмет испитивања је интензитет вектора јачине променљивог електричног поља ниске учестаности, E .

2.2. Мерна опрема

Све три испитне лабораторије су приликом мерења користиле еталонирану мерну опрему и изотропне сонде за мерење јачине електричног поља. Изотропна сонда обезбеђује истовремено мерење све три просторне компоненте вектора јачине електричног поља у дискретним тренуцима времена, тако да инструмент приказује њихову резултантну вредност.

2.3. Прорачун јачине електричног поља

Прорачун је заснован на упрошћеној анализи у две просторне димензије коришћењем теореме огледања, при чему су усвојене одређене претпоставке.

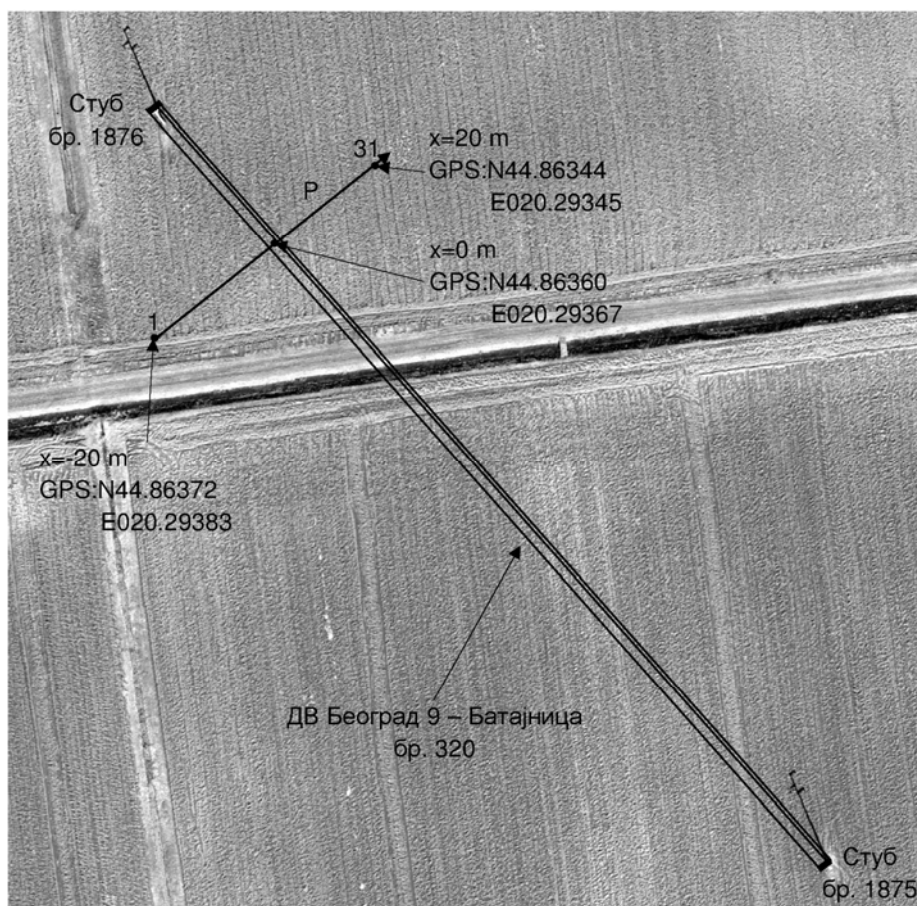
Надземни вод је моделован скупом бесконачно дугих, праволинијских проводника и њиховим ликовима у складу са теоремом огледања. Проводници су међусобно паралелни и паралелни површини земље. Тло је моделовано бесконачном проводном равни. Усвојено је да је пермитивност ваздуха једнака пермитивности вакуума и да је независна од промене амбијенталних услова (влажности, температуре).

Програм за прорачун јачине електричног поља надземних електроенергетских водова детаљно је описан у [2].

2.4. Избор локације за међулабораторијско поређење

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 испитног правца P са GPS координатама, као и распоред испитних места, приказани су на слици 1.

Ознаке на слици 1 имају следеће значење:
 P – правац дуж ког се врше испитивања јачине електричног поља;
 x [m] – хоризонтално растојање испитног места на правцу P од осе надземног вода.



Слика 1. Позиција испитног правца

Испитивања су спроведена дуж правца P који је приближно нормалан на осу надземног вода (тзв. латерални профил) [3, 4, 5].

На избор локације за међулабораторијско поређење примарно је утицала конфигурација терена, при чему је било од интереса да у близини изабраног испитног правца не буде објекта који би својим присуством могли да утичу на ниво електричног поља.

У следећој табели су дати основни подаци о испитном правцу. Мерења висина фазних проводника и растојања између проводника испитиваног надземног вода извршена су ласерским даљиномером. Стубови број 1875 и 1876 између којих су вршена испитивања су типа „јела”.

Табела 1. Основни подаци о испитном правцу

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

2.5. Поступак испитивања

Испитивања су вршена дуж правца P који је приближно нормалан на осу надземног вода [3, 4, 5]. Дуж правца је изабрано 31 испитно место, чији је распоред приказан на слици 1. На сваком испитном месту вршена су мерења и прорачун јачине електричног поља.

На сваком испитном месту је извршено 10 мерења јачине електричног поља, при чему је временски интервал између појединачних мерења био 6 s. На свим испитним местима је спроведено мерење ефективних вредности јачине електричног поља на висини 1 m од тла. Приликом мерења јачине електричног поља мерна сонда је била постављена на изолациони носач и повезана са мерним инструментом оптичким каблом у циљу смањења утицаја испитивача на резултате мерења. Описану методологију примењивале су све лабораторије учеснице. Лабораторије учеснице нису вршиле мерења истовремено, већ са растојањем од неколико метара, како би се спречила одступања резултата услед неуниформности поља.

3. Упоредни приказ резултата

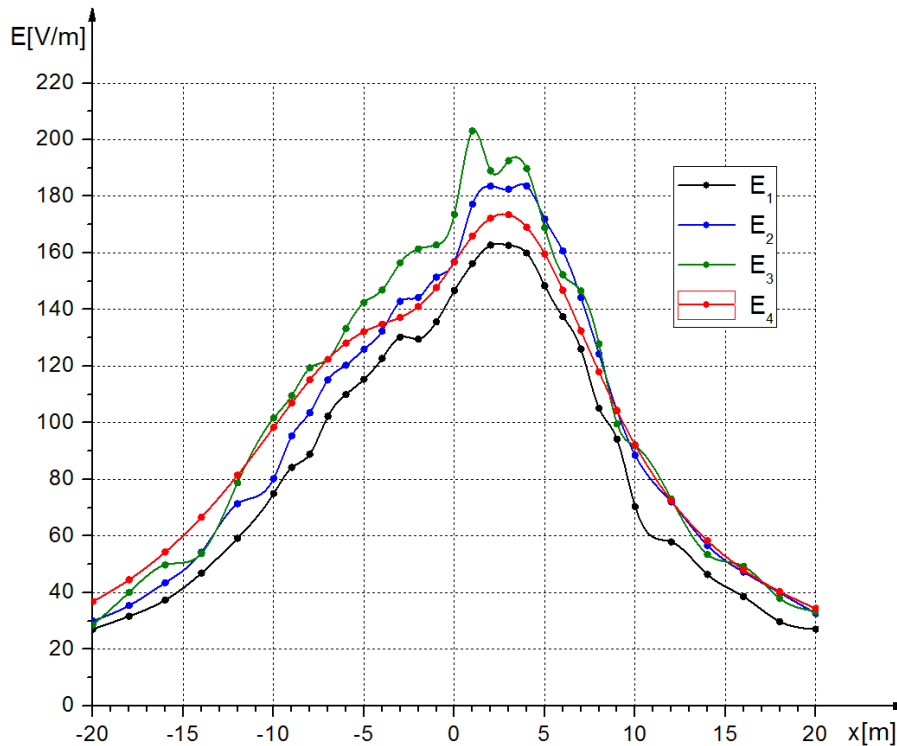
На слици 2 и у табели 2 је дат упоредни приказ добијених резултата. Ознаке у табели 2 имају следеће значење:

n – редни број испитног места;

E_1, E_2, E_3 [V/m] – вредности јачине електричног поља лабораторија 1, 2 и 3, које су за сваку лабораторију израчунате као аритметичка средина 10 измерених ефективних вредности јачине електричног поља на једном испитном месту;
 E_4 [V/m] – вредности јачине електричног поља добијене путем прорачуна.

Табела 2. Упоредни приказ резултата

n	x [m]	E_1 [V/m]	E_2 [V/m]	E_3 [V/m]	E_4 [V/m]
1	-20	27.07	30.01	28.60	36.85
2	-18	31.65	35.46	40.10	44.55
3	-16	37.38	43.48	49.80	54.34
4	-14	46.90	54.27	53.80	66.62
5	-12	59.22	71.43	78.80	81.51
6	-10	75.00	80.28	101.70	98.40
7	-9	84.19	95.38	109.60	107.01
8	-8	88.90	103.51	119.40	115.18
9	-7	102.27	115.18	122.40	122.39
10	-6	110.00	120.33	133.30	128.13
11	-5	115.37	125.97	142.50	132.17
12	-4	122.70	132.37	146.90	134.82
13	-3	130.21	142.90	156.50	137.22
14	-2	129.55	144.28	161.40	141.09
15	-1	135.63	151.43	162.80	147.73
16	0	146.74	156.87	173.60	156.77
17	1	156.20	177.22	203.10	165.94
18	2	162.77	183.64	189.00	172.26
19	3	162.68	182.53	192.60	173.52
20	4	159.96	183.62	189.80	169.06
21	5	148.42	171.97	168.90	159.64
22	6	137.46	160.68	152.30	146.85
23	7	126.02	144.19	146.60	132.46
24	8	105.17	124.31	127.90	117.96
25	9	94.24	104.20	99.60	104.34
26	10	70.39	88.52	91.80	92.14
27	12	57.91	72.03	73.10	72.49
28	14	46.39	56.67	53.50	58.33
29	16	38.61	47.28	49.30	48.06
30	18	29.78	39.94	38.00	40.37
31	20	27.07	32.61	33.40	34.42



Слика 2. Упоредни приказ резултата

На основу измерених и израчунатих вредности јачине електричног поља приказаних у табели 2 и на слици 2, може се закључити да постоји слагање добијених резултата.

Након спроведеног међулабораторијског поређења лабораторије учеснице су независно извршиле процену несигурности својих резултата [6, 7]. Процењене вредности проширених несигурности (U) које се придружују резултатима мерења и прорачуна износе: $U_1 = 15,60 \%$, $U_2 = 9,42 \%$, $U_3 = 28,86 \%$ и $U_4 = 11,36 \%$.

4. Оцена резултата међулабораторијског поређења

За вредновање резултата међулабораторијског поређења користи се E_n број који се израчунава на основу следећег израза [8]:

$$E_{n_i} = \frac{E_i - E_{ref}}{\sqrt{U_i^2 + U_{ref}^2}} \quad (1)$$

при чему су:

E_{ref} – додељена вредност јачине електричног поља (усвојена тачна вредност);

U_{ref} – проширена несигурност додељене вредности.

Тачна вредност јачине електричног поља није позната, па се поставља питање које би вредности E_{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 [8]. Међутим, када све лабораторије врше испитивања са опремом сличне тачности може се користити средња вредност њихових резултата за процену тачне вредности [8]. У описаном случају су све три лабораторије вршиле мерење на истим испитним местима и уз коришћење еталониране мерне опреме сличних карактеристика. Поред тога, очигледно је да постоји подударане резултата, што се може закључити на основу података датих у табели 2 и на слици 2.

Одступање резултата прорачуна у односу на резултате мерења јачине електричног поља би било очекивано када би у близини испитног правца P постојали објекти који би својим присуством могли да утичу на ниво и расподелу поља, пошто коришћени прорачун нема могућност моделовања ових објеката. У случају када би поље било пертурбисано услед присуства околних објеката, коришћење резултата прорачуна за процену додељене вредности јачине електричног поља не би било погодно. Пошто је локација за спровођење међулабораторијског поређења изабрана управо тако да се избегне присуство ових објеката, резултати прорачуна се могу користити у процени додељене вредности јачине електричног поља.

Из наведених разлога је у овом случају оправдано за додељену вредност усвојити средњу вредност резултата испитивања добијених мерењима и прорачуном:

$$E_{ref} = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4}{4} \quad (2)$$

За проширену несигурност додељене вредности усвојена је средња вредност свих проширених несигурности:

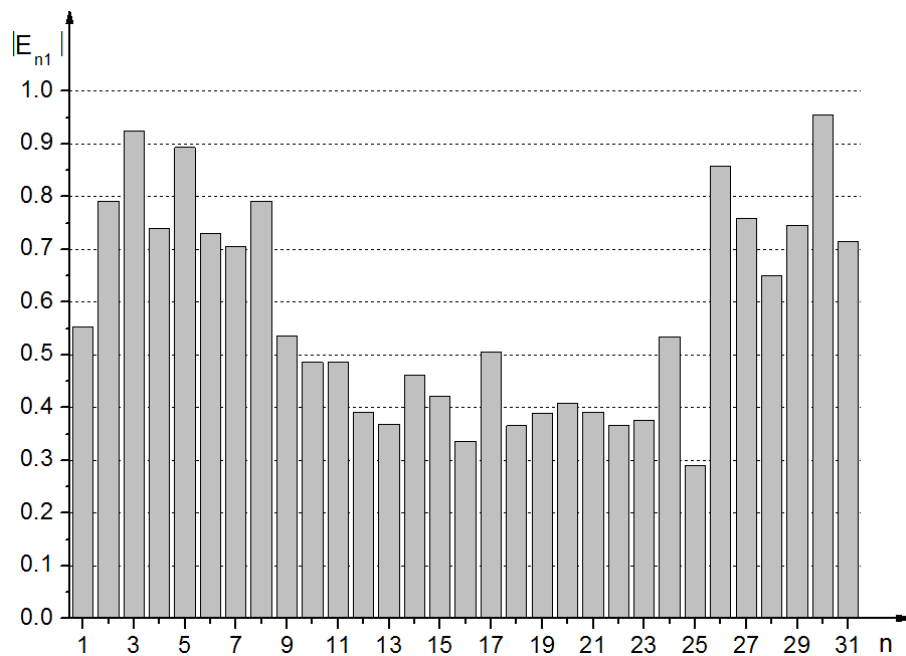
$$U_{ref} = \frac{U_1 + U_2 + U_3 + U_4}{4} \quad (3)$$

Према [8] критеријум за оцењивање је следећи:

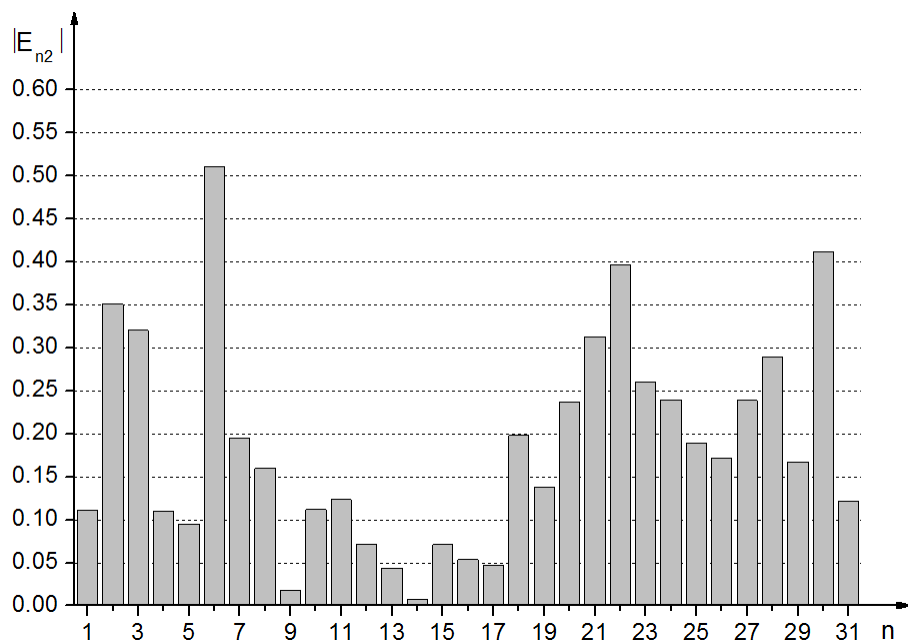
$|E_n| < 1$ - коректан резултат;

$|E_n| > 1$ - незадовољавајућ резултат.

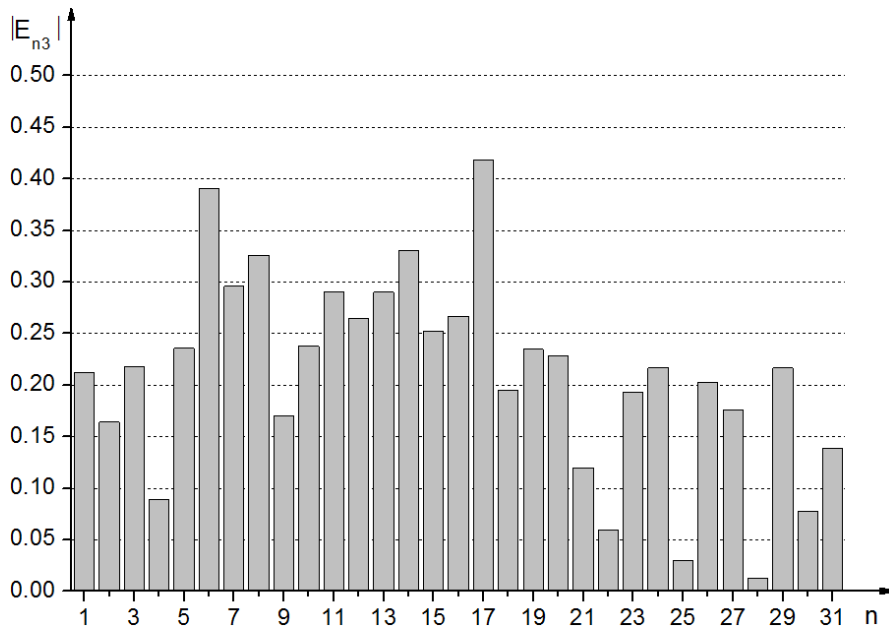
Израчунате апсолутне вредности E_n броја графички су приказане на сликама 3 - 6.



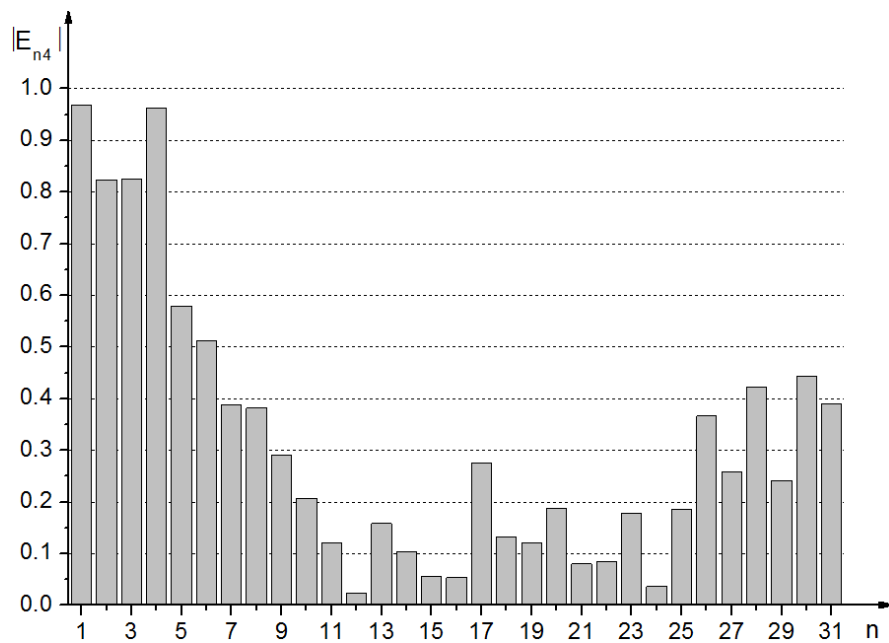
Слика 3. Израчунате апсолутне вредности E_n броја Лабораторије бр. 1



Слика 4. Израчунате апсолутне вредности E_n броја Лабораторије бр. 2



Слика 5. Израчунате апсолутне вредности E_n броја Лабораторије бр. 3



Слика 6. Израчунате апсолутне вредности E_n броја Лабораторије бр. 1 које се односе на резултат прорачуна

5. Закључак

На основу приказаних резултата 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 [8]. Овај закључак се односи на резултате мерења и резултате прорачуна јачине електричног поља.

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

ЛИТЕРАТУРА

- [1] „Правила о учешћу у међулабораторијским поређењима и програмима за испитивање оспособљености”, Акредитационо тело Србије, 14.10.2011.
- [2] Маја Грбић: „Мерење и прорачун електричног и магнетског поља надземних водова у циљу процене изложености људи овим пољима”, Мастер рад, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, 2012.
- [3] *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.
- [4] *Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines*; ANSI/IEEE Standard 644:1994.
- [5] CIGRE Working Group C4.203: “Technical guide for measurement of Low Frequency Electric and Magnetic Fields near Overhead Power Lines”, April 2009.
- [6] Маја Грбић, Александар Павловић: „Мерна несигурност при мерењу електричног и магнетног поља индустријске учестаности”, 30. саветовање CIGRE Србија, Златибор, 2011. година, Зборник радова R C4 07
- [7] Извештај Електротехничког института „Никола Тесла” бр. 3412054: „Међулабораторијско поређење резултата мерења јачине електричног поља ниске учестаности”, 2012. година

- [8] *Оцењивање усаглашености – Општи захтеви за испитивање оспособљености*, SRPS ISO/IEC 17043, 2011.

Abstract: This paper presents an interlaboratory comparison of the measuring and calculation results of electric field strength near 35 kV overhead power line, in which three testing laboratories participated. This interlaboratory comparison was undertaken for the purpose of ensuring confidence in the quality of the test results. The measuring and calculation results were analysed with standard method, using E_n number, based on which the valuation of the laboratories was performed.

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

Interlaboratory Comparison of Measuring and Calculation Results of Electric Field Strength near 35 kV Overhead Power Line

Рад примљен у уредништво 16.9.2013. године
Рад прихваћен 24.10.2013. године

