

## Испитивања електричних и магнетских поља у околини трансформаторских станица 110/x kV

Маја Грбић<sup>1</sup>, Александар Павловић, Дејан Хрвић, Бранислав Вулевић

Универзитет у Београду, Електротехнички институт „Никола Тесла”,  
Косте Главинића 8а, 11000 Београд, Србија,

<sup>1</sup> [maja.grbic@ieent.org](mailto:maja.grbic@ieent.org)

**Кратак садржај:** У раду су анализирани нивои електричних и магнетских поља индустријске учестаности који се јављају у околини трансформаторских станица напонског нивоа 110/x kV. Приказани су резултати испитивања јачине електричног поља и магнетске индукције у околини три типичне трансформаторске станице поменутог напонског нивоа. Добијени резултати су упоређени са референтним граничним нивоима прописаним за зоне повећане осетљивости, који износе 2 kV/m за електрично поље и 40  $\mu$ T за магнетску индукцију, у циљу процене изложености становништва овим пољима. Циљ спроведене анализе је доношење закључака о нивоима поља који се јављају у околини поменутих трансформаторских станица, као и оцењивање усаглашености ових нивоа са националном регулативом из области заштите становништва од нејонизујућих зрачења.

**Кључне речи:** трансформаторска станица 110/x kV, електрично поље, магнетска индукција, нејонизујуће зрачење, зона повећане осетљивости.

### 1. Увод

У раду су анализирани нивои електричних и магнетских поља индустријске учестаности (50 Hz) који се јављају у околини трансформаторских станица 110/x kV. Анализа је заснована на резултатима мерења јачине електричног поља и магнетске индукције. Представљени су резултати мерења у околини три типичне трансформаторске станице поменутог напонског нивоа. Добијени резултати су упоређени са референтним граничним нивоима прописаним у Републици Србији у циљу процене изложености становништва овим пољима и оцене усаглашености ових нивоа са националном регулативом из области заштите становништва од нејонизујућих зрачења.

## **2. Кратак преглед националне регулативе у области заштите од нејонизујућих зрачења**

Заштита становништва од нејонизујућег зрачења правно је регулисана у Републици Србији током 2009. године, усвајањем Закона о заштити од нејонизујућих зрачења [1] и шест пратећих правилника, од којих су најважнији [2] и [3]. Тиме је Република Србија испунила захтеве Препоруке 1999/519/ЕС [4], која представља оквир за уједначенију заштиту становништва од нејонизујућег зрачења, којег би требало да се придржавају све земље Европске уније приликом усвајања локалних прописа.

Предмет уређивања Правилника [2] представља ограничење излагања становништва нејонизујућем зрачењу искључиво у тзв. „зонама повећане осетљивости”. Овим правилником утврђени су референтни гранични нивои излагања који за јачину електричног поља износе 2 kV/m, а за магнетску индукцију 40  $\mu$ T. Ови референтни гранични нивои излагања односе се на електрично и магнетско поље индустријске учестаности (50 Hz) у зонама повећане осетљивости (ЗПО). Према [2] зоне повећане осетљивости су „подручја стамбених зона у којима се особе могу задржавати и до 24 сата дневно; школе, домови, предшколске установе, породилишта, болнице, туристички објекти, дечја игралишта; површине неизграђених парцела намењених, према урбанистичком плану, за наведене намене, у складу са препорукама Светске здравствене организације”.

## **3. Мерења електричних и магнетских поља у околини трансформаторских станица 110/x kV**

### **3.1. Мерене величине**

Испитивања нејонизујућих зрачења спроведена су путем мерења тренутних ефективних вредности јачине електричног поља ( $E$ ) и магнетске индукције ( $B$ ). Интензитет ових векторских физичких величина мерен је изотропски, истовременим мерењем све три просторне компоненте вектора поља у дискретним временским тренуцима. Истовремено са вредностима јачине електричног поља и магнетске индукције мерена је и фреквенција поља, која је у свим случајевима износила 50 Hz.

### **3.2. Мерна опрема**

За мерење јачине електричног поља коришћен је уређај који је оптичким каблом повезан са сондом за мерење јачине електричног

поља, која је током мерења била постављена на изолациони носач. Сونда је облика коцке, чија је ивица дужине 10 cm. Оваква сонда обезбеђује истовремено мерење све три просторне компоненте вектора јачине електричног поља, на основу чега инструмент приказује њихову резултантну вредност.

За мерење магнетске индукције коришћен је исти мерни уређај повезан са сондом за мерење магнетске индукције. Ова сонда је сферног облика, површине попречног пресека  $100 \text{ cm}^2$  и такође обезбеђује изотропско мерење.

На оба мерна система је одабран режим мерења са примењеним пропусним филтром у фреквентном опсегу 5 Hz – 2 kHz.

### **3.3. Избор локације и опис примењених поступака при испитивању**

Мерења јачине електричног поља и магнетске индукције вршена су око ограде трансформаторских станица, као и у зонама повећане осетљивости које се налазе у њиховој непосредној близини. Мерења су спроведена са циљем процене највећих нивоа поља који се могу јавити у зонама повећане осетљивости и оцене њихове усаглашености са референтним нивоима.

На свим мерним местима спроведено је мерење ефективних вредности јачине електричног поља и магнетске индукције на висини 1 m од тла.

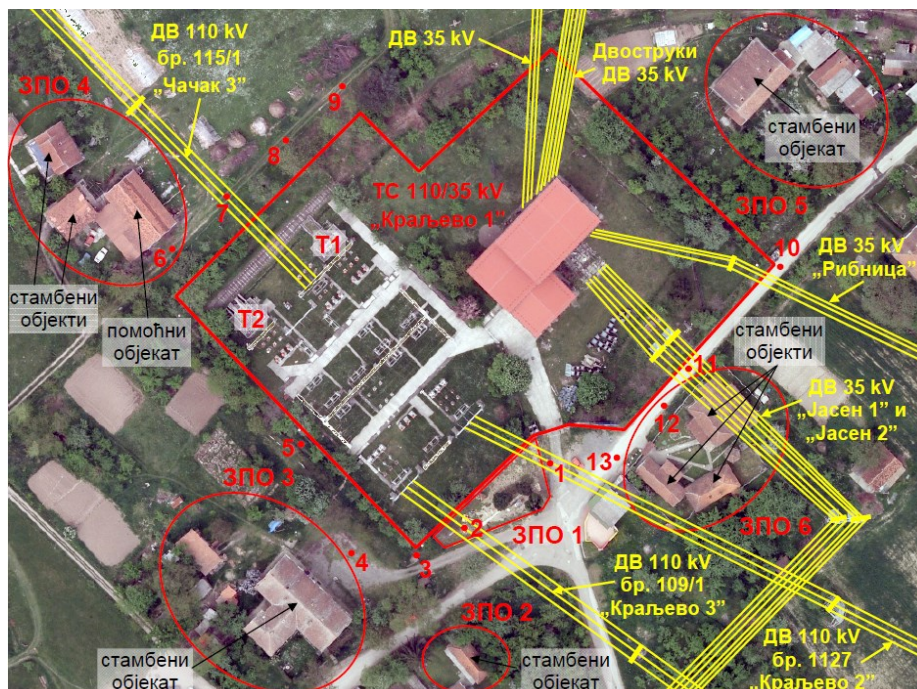
Пошто је магнетско поље директно сразмерно струји која протиче кроз проводнике, у време мерења магнетске индукције бележене су вредности струја оптерећења доминантних извора магнетског поља. Такође су наведена и максимална могућа оптерећења ових извора која су од значаја за процену максималних вредности магнетске индукције. У случају трансформатора, као максимално оптерећење усвојена је назначена вредност струје, док је код надземних водова претпостављено да је максимална струја оптерећења вода једнака краткотрајно дозвољеној струји у зимском периоду,  $I_{ка}$ .

## **4. Резултати мерења јачине електричног поља и магнетске индукције**

### **4.1. Резултати мерења у околини ТС 110/35 kV „Краљево 1”**

Мерења у околини ТС 110/35 kV „Краљево 1” спроведена су на укупно 13 репрезентативних мерних места, која су приказана на слици 1.

У непосредној близини трансформаторске станице налази се шест потенцијалних зона повећане осетљивости [5].



**Слика 1.** Ситуација ТС 110/35 kV „Краљево 1“ са распоредом мерних места

Струје оптерећења доминантних извора магнетског поља у време мерења, као и максималне вредности струја ових извора дате су у табели 1. Ознаке у табели 1 имају следеће значење:

$U_n$  – назначени напон доминантног извора магнетског поља,

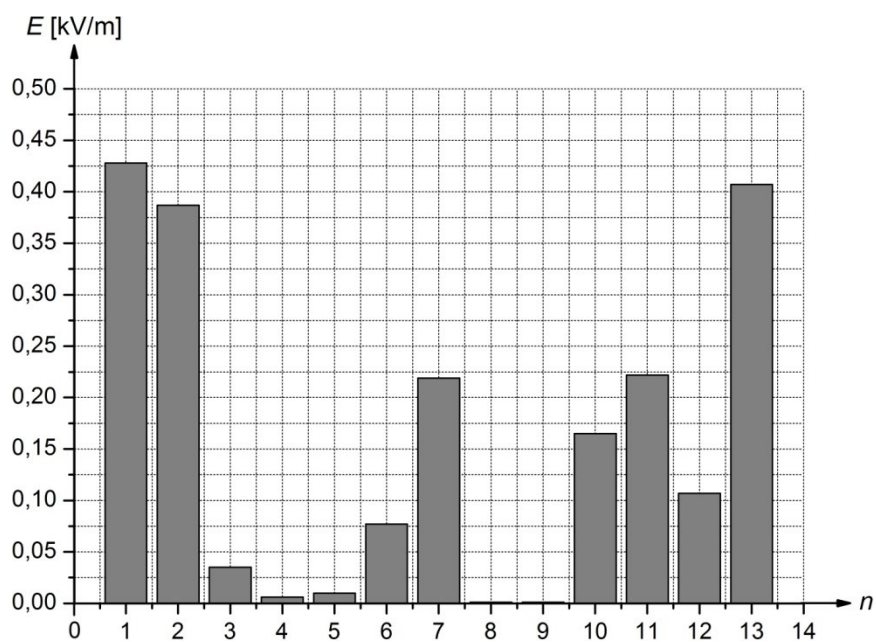
$I$  – струја доминантног извора магнетског поља у време мерења,

$I_{max}$  – максимална струја доминантног извора магнетског поља.

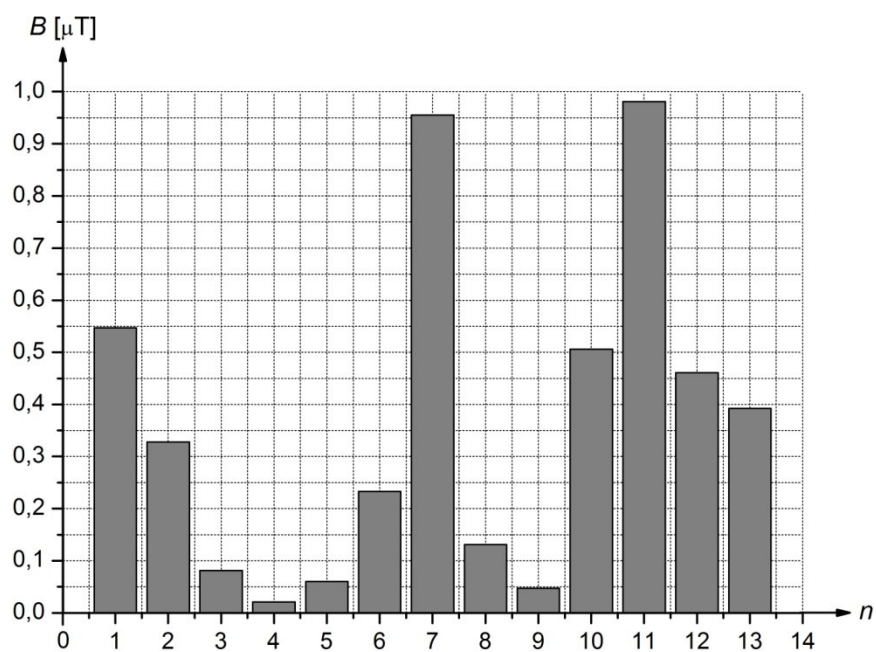
**Табела 1.** Струје оптерећења доминантних извора магнетског поља током мерења у околини 110/35 kV „Краљево 1“

Извор нејонизујућег зрачења	$U_n$ [kV]	$I$ [A]	$I_{max}$ [A]
Трансформатор Т1 110/35 kV	110	35,4	105
Трансформатор Т2 110/35 kV	110	31,1	105
ДВ бр. 1127 „Краљево 2“	110	35,4	650
ДВ бр. 109/1 „Краљево 3“	110	31,1	650
ДВ бр. 115/1 „Чачак 3“	110	108	650

Резултати мерења јачине електричног поља и магнетске индукције приказани су на сликама 2 и 3, где  $n$  означава редни број мерног места.



**Слика 2.** Резултати мерења јачине електричног поља у околини ТС „Краљево 1”



**Слика 3.** Резултати мерења магнетске индукције у околини ТС „Краљево 1”

Највеће вредности јачине електричног поља од 0,43 kV/m и 0,41 kV/m измерене су на мерним местима бр. 1 и 13, која се налазе у непосредној близини надземног вода бр. 1127 „Краљево 2” напонског нивоа 110 kV.

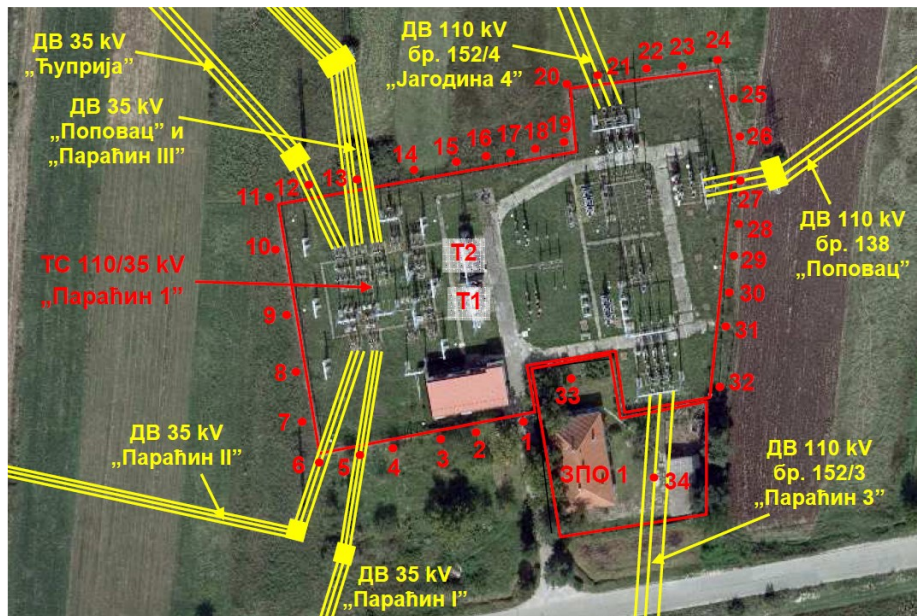
Највећа вредност магнетске индукције од 0,98  $\mu$ T измерена је на мерном месту бр. 11, које се налази у оси двоструког надземног вода „Јасен 1” и „Јасен 2” напонског нивоа 35 kV. Вредност магнетске индукције од 0,96  $\mu$ T измерена је на мерном месту бр. 7, у оси надземног вода бр. 115/1 „Чачак 3” напонског нивоа 110 kV.

На основу приказаних резултата закључује се да су све измерене вредности знатно ниже од прописаних референтних граничних нивоа. Највеће вредности електричног и магнетског поља измерене су на местима увођења надземних водова у трансформаторску станицу, док су на осталим мерним местима измерене вредности практично занемарљиве.

#### 4.2. Резултати мерења у околини ТС 110/35 kV „Параћин 1”

Мерења у околини ТС 110/35 kV „Параћин 1” спроведена су на укупно 34 репрезентативна мерна места (слика 4).

У непосредној близини трансформаторске станице налази се једна потенцијална зона повећане осетљивости [6].



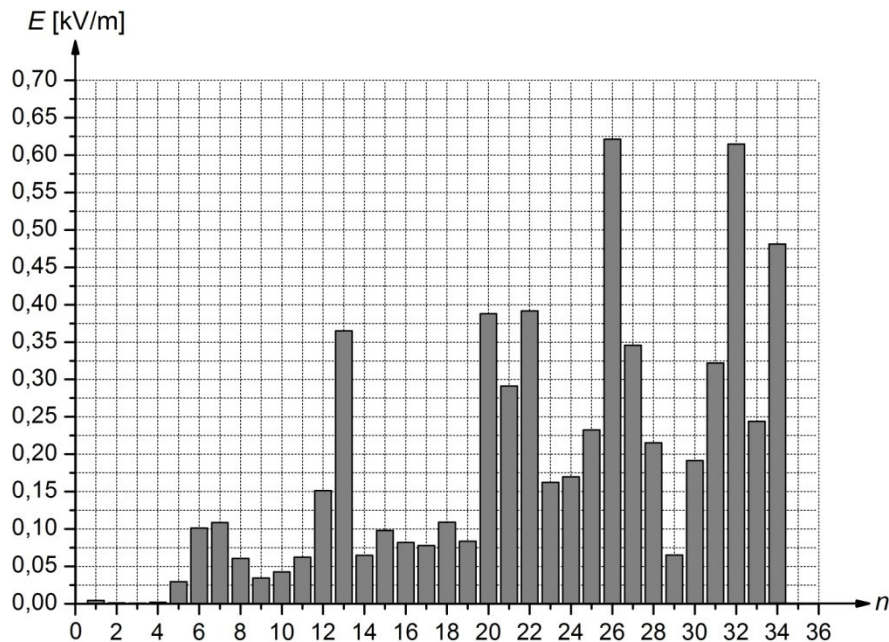
Слика 4. Ситуација ТС 110/35 kV „Параћин 1” са распоредом мерних места

Струје оптерећења доминантних извора магнетског поља у време мерења дате су у табели 2.

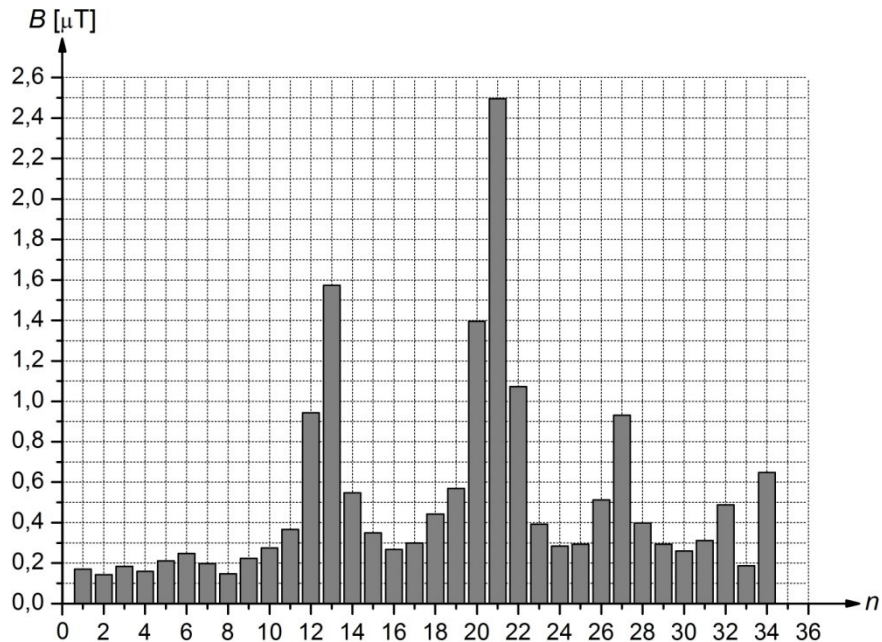
**Табела 2.** Струје оптерећења доминантних извора магнетског поља током мерења у околини 110/35 kV „Параћин 1”

Извор нејонизујућег зрачења	$U_n$ [kV]	$I$ [A]	$I_{max}$ [A]
Трансформатор Т1 110/35 kV	110	30	105
Трансформатор Т2 110/35 kV	110	60	165
ДВ бр. 138 „Поповац”	110	30	650
ДВ бр. 152/3 „Параћин 3”	110	50	650
ДВ бр. 152/4 „Јагодина 4”	110	150	650
ДВ „Параћин I”	35	0	/
ДВ „Параћин II”	35	30	/
ДВ „Параћин III”	35	180	/
ДВ „Поповац”	35	60	/
ДВ „Ћуприја”	35	0	/

Резултати мерења јачине електричног поља и магнетске индукције приказани су на сликама 5 и 6.



**Слика 5.** Резултати мерења јачине електричног поља у околини ТС „Параћин 1”



**Слика 6.** Резултати мерења магнетске индукције у околини ТС „Параћин 1”

Највећа вредност јачине електричног поља од 0,62 kV/m измерена је на мерном месту бр. 26, које се налази у непосредној близини надземног вода бр. 138 „Поповац” напонског нивоа 110 kV. Вредност електричног поља од 0,61 kV/m измерена је на мерном месту бр. 32, које се налази у непосредној близини надземног вода бр. 152/3 „Параћин 3” напонског нивоа 110 kV и сабирница 110 kV.

Највећа вредност магнетске индукције од 2,50 μT измерена је на мерном месту бр. 21, које се налази у оси надземног вода бр. 152/4 „Јагодина 4” напонског нивоа 110 kV. Вредност магнетске индукције од 1,57 μT измерена је на меном месту бр. 13 које се налази у оси двоструког надземног вода „Поповац” и „Параћин III” напонског нивоа 35 kV.

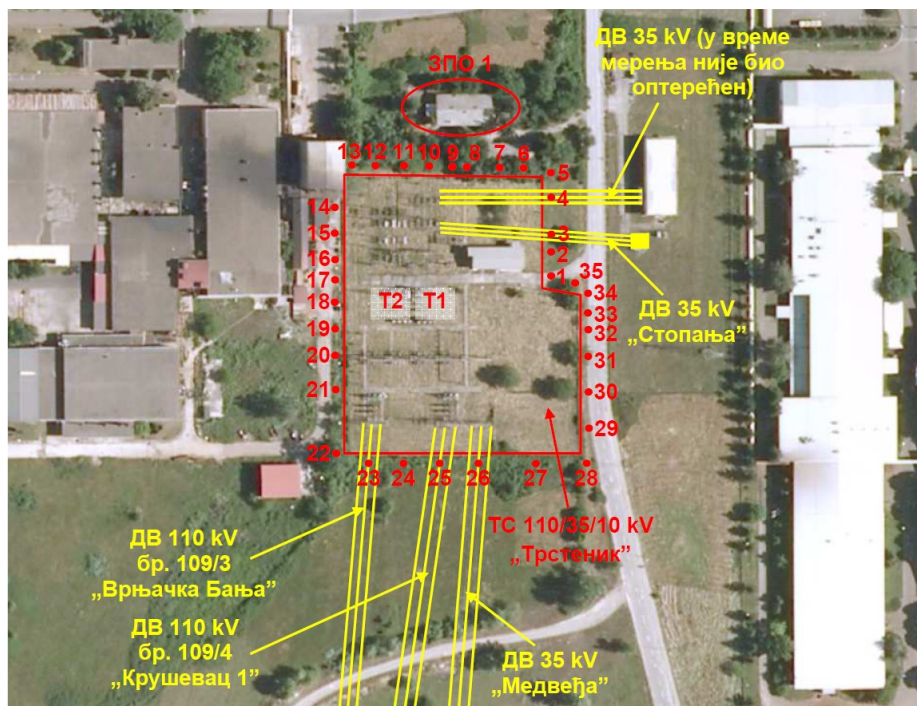
Може се закључити да су све измерене вредности знатно ниже од прописаних референтних граничних нивоа. Највеће вредности електричног и магнетског поља измерене су на местима увођења надземних водова у трансформаторску станицу, док су на осталим мерним местима измерене вредности знатно ниже.



#### 4.3. Резултати мерења у околини ТС 110/35/10 kV „Трстеник”

Мерења у околини ТС 110/35/10 kV „Трстеник” спроведена су на укупно 35 репрезентативних мерних места, која су приказана на слици 7 [7]. На свим другим местима која се налазе на већем растојању од оgrade трансформаторске станице вредности јачине електричног поља и магнетске индукције које потичу од инсталиране опреме ниже су него на репрезентативним мерним местима.

У непосредној близини трансформаторске станице налази се један стамбени објекат који се може сматрати зоном повећане осетљивости. За оцену изложености становништва у овој зони репрезентативна су мерна места 7–11, при чему су нивои поља на овим местима због близине трансформаторске станице виши од нивоа поља у зони повећане осетљивости, тако да су приказани резултати на страни сигурности.



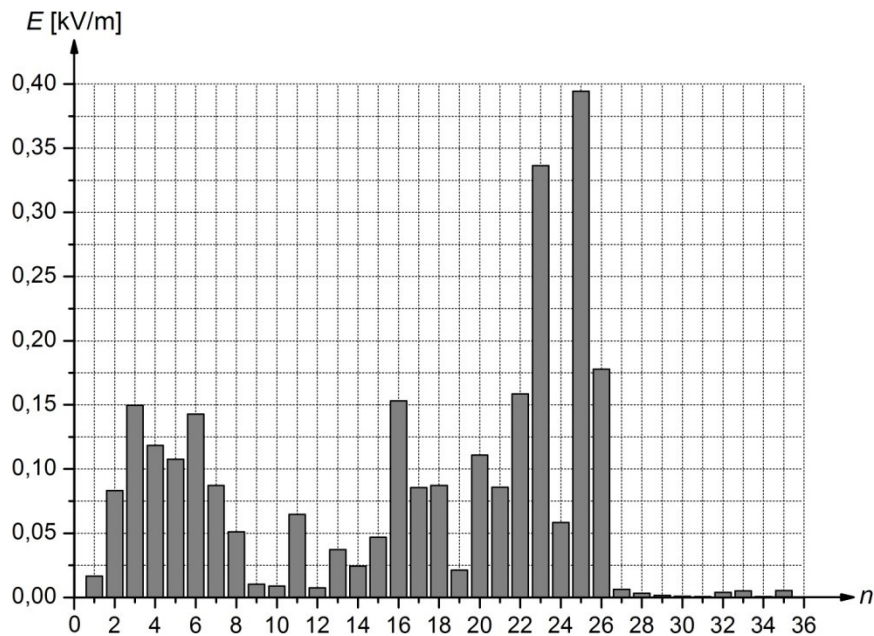
Слика 7. Ситуација ТС 110/35/10 kV „Трстеник” са распоредом мерних места

Струје оптерећења доминантних извора магнетског поља приказане су у табели 3.

**Табела 3.** Струје оптерећења доминантних извора магнетског поља током мерења у околини 110/35/10 kV „Трстеник“

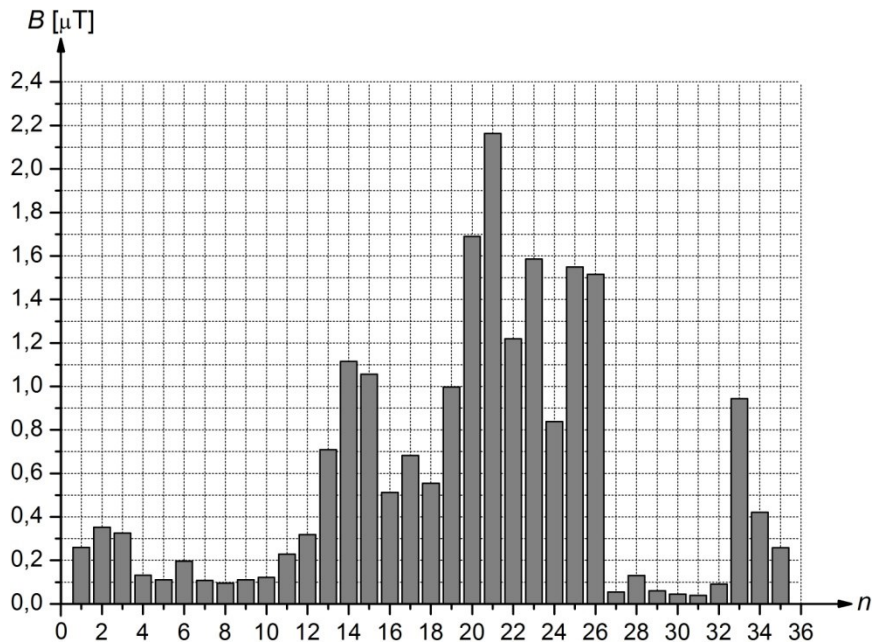
Извор нејонизујућег зрачења	$U_n$ [kV]	$I$ [A]	$I_{max}$ [A]
Трансформатор Т1 110/10 kV	110	37,2	165
	10	373	1815
Трансформатор Т2 110/35 kV	110	53,7	165
	35	179	495
ДВ бр. 109/3 „Врњачка Бања“	110	104,6	650
ДВ бр. 109/4 „Крушевац 1“	110	158,4	880
ДВ „Стопања“	35	179	/
ДВ „Медвеђа“	35	179	/

Резултати мерења јачине електричног поља и магнетске индукције приказани су на сликама 8 и 9.



**Слика 8.** Резултати мерења јачине електричног поља у околини ТС „Трстеник“

Највеће вредности јачине електричног поља од 0,39 kV/m и 0,34 kV/m измерене су на мерним местима бр. 25 и 23, која се налазе у осама надземних водова бр. 109/4 „Крушевац 1” и бр. 109/3 „Врњачка Бања” напонског нивоа 110 kV.



Слика 9. Резултати мерења магнетске индукције у околини ТС „Трстеник”

Највећа вредност магнетске индукције од 2,16  $\mu\text{T}$  измерена је на мерном месту бр. 21, које се налази у непосредној близини сабирница у постројењу напонског нивоа 110 kV. Генерално, највеће вредности магнетске индукције измерене су у зони између мерних места 20 и 26, што је последица близине сабирница 110 kV и надземних водова 110 kV и 35 kV. Вредности магнетске индукције од 1,12  $\mu\text{T}$  и 1,06  $\mu\text{T}$  измерене на мерним местима бр. 14 и 15 потичу од кабловских глава напонског нивоа 35 kV.

Закључује се да су све измерене вредности знатно ниже од прописаних референтних граничних нивоа. Највеће вредности електричног и магнетског поља измерене су на местима увођења надземних водова напонског нивоа 110 kV у трансформаторску станицу, као и у близини сабирница напонског нивоа 110 kV.

## 5. Закључак

У раду су анализирани нивои електричних и магнетских поља индустријске учестаности добијени мерењима у околини три типичне трансформаторске станице 110/x kV. На основу приказаних резултата закључује се да измерене вредности јачине електричног поља и магнетске индукције ни на једном мерном месту нису прекорачиле прописане референтне граничне нивое од 2 kV/m и 40  $\mu$ T који се односе на изложеност становништва нејонизујућем зрачењу у зонама повећане осетљивости. На основу односа струја оптерећења у време мерења и максималних струја оптерећења такође се закључује да вредности магнетске индукције неће прекорачити референтни гранични ниво ни при максималном оптерећењу анализираних трансформаторских станица. Највеће вредности јачине електричног поља и магнетске индукције у околини трансформаторских станица јављају се на местима увођења надземних водова у трансформаторску станицу и то нарочито водова напонског нивоа 110 kV. На местима изван трансформаторских станица где нема надземних водова, нивои електричног и магнетског поља који потичу од инсталиране високонапонске и средњенапонске опреме знатно су нижи од референтних граничних нивоа.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Закон о заштити од нејонизујућих зрачења, *Службени гласник Републике Србије*, бр. 36/09 од 15.05.2009.
- [2] Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима, *Службени гласник Републике Србије*, бр. 104/09 од 16.12.2009.
- [3] Правилник о изворима нејонизујућих зрачења од посебног интереса, врстама извора, начину и периоду њиховог испитивања, *Службени гласник Републике Србије*, бр. 104/09 од 16.12.2009.
- [4] 1999/519/EC: "Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)", OJ L 199, pp. 59–70, 30.7.1999.
- [5] Испитивање изложености људи нејонизујућим зрачењима ниских учестаности у околини ТС 110/35 kV „Краљево 1”, извештај Електротехничког института „Никола Тесла” бр. 316501-Л, наручилац: ЈП ЕПС, „Електросрбија” д.о.о., Краљево, 2016. година.
- [6] Испитивање изложености људи нејонизујућим зрачењима ниских учестаности у околини ТС 110/35 kV „Параћин 1”, извештај Електротехничког института „Никола Тесла” бр. 316521-Л, наручилац: ЈП ЕПС, „Електросрбија” д.о.о., Краљево, 2016. година.
- [7] Испитивање изложености људи нејонизујућим зрачењима ниских учестаности у околини ТС 110/35/10 kV „Трстеник”, извештај Електротехничког института „Никола Тесла” бр. 316503-Л, наручилац: ЈП ЕПС, „Електросрбија” д.о.о., Краљево, 2016. година.

**Abstract:** The levels of non-ionizing radiation (electric and magnetic fields) at power frequency, which occur near 110/x kV substations are analyzed in this paper. The results of electric field strength and magnetic flux density measurements in the vicinity of three typical substations of the aforementioned voltage level are shown. With the purpose of estimating the exposure of the population to these fields, the obtained results were compared to the reference maximum levels set for increased sensitivity areas, which amount to 2 kV/m for electric field and 40  $\mu$ T for magnetic flux density. The objective of the conducted analysis is to reach general conclusions on the levels of electric and magnetic fields, which may occur in the vicinity of the substations mentioned above, and evaluate their compliance with the national regulations on the population protection from non-ionizing radiation.

**Keywords:** 110/x kV substation, electric field, magnetic flux density, non-ionizing radiation, area of increased sensitivity.

## **Electric and Magnetic Field Testing in Vicinity of 110/x kV Substations**

Рад примљен у уредништво: 06.11.2016. године  
Рад прихваћен: 15.12.2016. године

