

## НИВОИ НЕЈОНИЗУЈУЋИХ ЗРАЧЕЊА У ОКОЛИНИ ТРАНСФОРМАТОРСКИХ СТАНИЦА 110/Х kV

М. ГРБИЋ, Електротехнички институт „Никола Тесла”<sup>1</sup>, Београд, Република Србија  
Д. ХРВИЋ, Електротехнички институт „Никола Тесла”, Београд, Република Србија  
А. ПАВЛОВИЋ, Електротехнички институт „Никола Тесла”, Београд, Република Србија  
М. ПЕТРОВИЋ, Електротехнички институт „Никола Тесла”, Београд, Република Србија  
Б. ВУЛЕВИЋ, Електротехнички институт „Никола Тесла”, Београд, Република Србија

### 1. УВОД

У раду су анализирани нивои нејонизујућих зрачења (НЈЗ) индустријске учестаности (50 Hz) који се јављају у околини трансформаторских станица 110/х kV. Анализа је заснована на резултатима мерења јачине електричног поља и магнетске индукције у околини неколико трансформаторских станица поменутог напонског нивоа. У циљу процене изложености становништва нејонизујућем зрачењу, добијени резултати су упоређени са референтним граничним нивоима прописаним у Републици Србији. Циљ спроведене анализе је доношење општих закључака о нивоима нејонизујућих зрачења који се могу јавити у околини поменутих трансформаторских станица, као и оцењивање усаглашености ових нивоа са националном регулативом из области заштите становништва од нејонизујућих зрачења.

### 2. КРАТАК ПРЕГЛЕД НАЦИОНАЛНЕ РЕГУЛАТИВЕ У ОБЛАСТИ ЗАШТИТЕ ОД НЕЈОНИЗУЈУЋИХ ЗРАЧЕЊА

Област заштите 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”.

---

<sup>1</sup> Косте Главинића 8а, 011/3952-016, 064/8259-755, [maja.grbic@ieent.org](mailto:maja.grbic@ieent.org)

### 3. ИСПИТИВАЊА НЕЈОНИЗУЈУЋИХ ЗРАЧЕЊА У ОКОЛИНИ ТРАНСФОРМАТОРСКИХ СТАНИЦА 110/Х 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. Сонда 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 cm<sup>2</sup> 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 спроведена су са циљем процене највећих нивоа нејонизујућих зрачења који се могу јавити у зонама повећане осетљивости. Из наведеног разлога, мерења су вршена у зонама повећане осетљивости које се налазе у близини поменутих трансформаторских станица. У случају када у близини нема зона повећане осетљивости, мерења су вршена око ограде трансформаторске станице.

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

Испитивања су спроведена у околини осам трансформаторских станица наведених у табели 1, које су у власништву Привредног друштва за дистрибуцију електричне енергије „Електросрбија” д.о.о., Краљево [5]. У ближој околини ТС „Златибор 2” нема зона повећане осетљивости, па су мерења извршена око ограде трансформаторске станице, како би добијени резултати били на страни сигурности. У случају осталих трансформаторских станица, мерења су извршена у зонама повећане осетљивости које се налазе у њиховој близини.

Табела 1 – Трансформаторске станице у чијој су околини вршена испитивања

Редни број	Назив ТС	Напонски ниво	РП 110 kV	РП 35 kV, 20 kV и/или 10 kV
1.	„Осечина”	110/35 kV	на отвореном	у затвореном
2.	„Очага”	110/35 kV	на отвореном	на отвореном
3.	„Крупањ”	110/35 kV	на отвореном	у затвореном
4.	„Златибор 2”	110/35/10 kV	на отвореном	у затвореном
5.	„Гуча”	110/35 kV	на отвореном	на отвореном
6.	„Шабац 2”	110/35/20 kV	на отвореном	у затвореном
7.	„Јагодина 2”	110/20/10 kV	на отвореном	у затвореном
8.	„Краљево 5”	110/10 kV	на отвореном	у затвореном

## 4. РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА ЈАЧИНЕ ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОЉА И МАГНЕТСКЕ ИНДУКЦИЈЕ

### 4.1 Резултати мерења у околини ТС 110/35/10 kV „Златибор 2”

У непосредној близини трансформаторске станице нема објеката који се могу сматрати зонама повећане осетљивости (слика 1). Из тог разлога мерења су извршена у непосредној околини трансформаторске станице, на укупно 39 репрезентативних мерних места. 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.



Слика 1 – Ситуација ТС 110/35/10 kV „Златибор 2” са распоредом мерних места

Пошто је магнетско поље директно сразмерно струји која протиче кроз проводнике, важно је познавати оптерећења доминантних извора нејонизујућег зрачења у време мерења. Струје оптерећења ових извора у току мерења магнетске индукције приказане су у табели 2. У истој табели наведене су и њихове максималне струје, које су од значаја за процену максималних вредности магнетске индукције, а самим тим и за процену максималне изложености становништва.

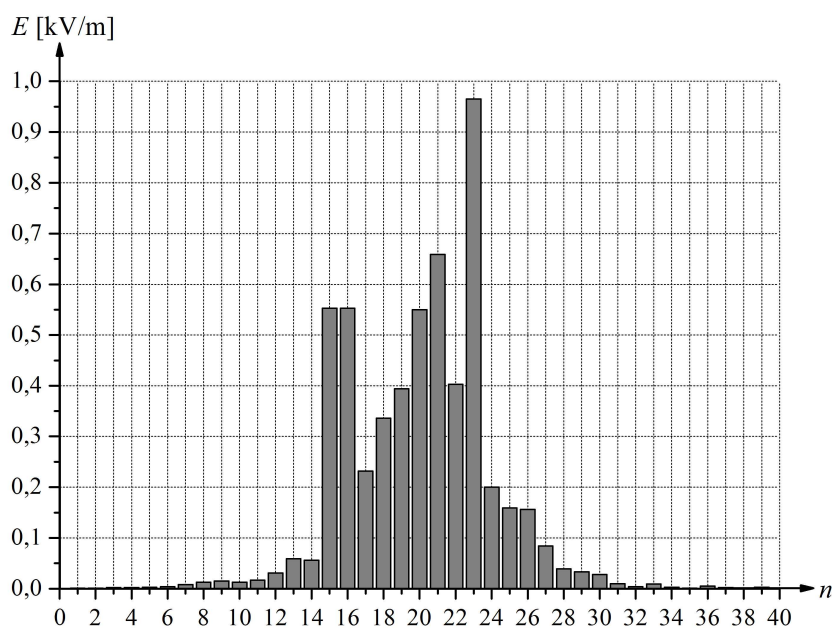
Резултати мерења јачине електричног поља и магнетске индукције приказани су на сликама 2 и 3. На овим сликама  $n$  означава редни број мерног места.

Највећа вредност јачине електричног поља измерена је на мерном месту бр. 23 и износи 0,965 kV/m. Ово мерно место се налази испод спољашње фазе надземног вода бр. 134/5 напонског нивоа 110 kV.

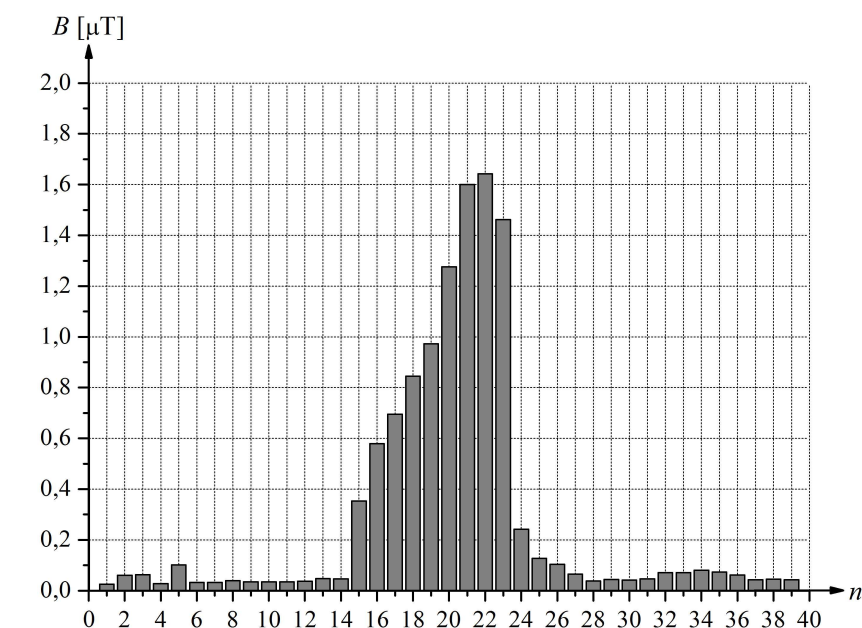
Највећа вредност магнетске индукције измерена је на мерном месту бр. 22 и износи 1,642  $\mu$ T. Ово мерно место се налази испод средње фазе надземног вода бр. 134/5.

Табела 2 – Струје оптерећења доминантних извора нејонизујућих зрачења током мерења магнетске индукције у околини 110/35/10 kV „Златибор 2”

Извор нејонизујућег зрачења	Напонски ниво [kV]	Струја у време мерења [A]	Максимална струја [A]
Надземни вод бр. 134/5	110	92	650
Надземни вод бр. 134/2	110	57	650
Трансформатор Т1	110	37	165
	35	118	495
Трансформатор Т2	110	Ван погона	165
	35		495
Трансформатор Т3	35	Ван погона	132
	10		440
Трансформатор Т4	35	52	132
	10	177	440



Слика 2 – Резултати мерења јачине електричног поља у околини ТС „Златибор 2”



Слика 3 – Резултати мерења магнетске индукције у околини ТС „Златибор 2”

На основу приказаних резултата мерења закључује се да су доминантни извори електричног и магнетског поља у околини анализираних трансформаторских станица надземни водови напонског нивоа 110 kV који су уведени у ову трансформаторску станицу. Највеће вредности електричног и магнетског поља јављају се у непосредној близини места увођења надземних водова у трансформаторску станицу, док су на осталим мерним местима готово занемарљиве.

#### 4.2 Резултати мерења у околини ТС 110/35 kV „Крупањ”

Када у околини трансформаторских станица постоје зоне повећане осетљивости, мерења се врше у овим зонама, што је приказано на примеру ТС 110/35 kV „Крупањ”. У непосредној близини ТС „Крупањ” идентификовано је пет зона повећане осетљивости у којима су спроведена испитивања (слика 4). У свакој зони повећане осетљивости мерење јачине електричног поља и магнетске индукције извршено је на по једном репрезентативном мерном месту на коме је вредност поља највиша у тој зони. На свим другим местима у датој зони повећане осетљивости вредности јачине електричног поља и магнетске индукције ниже су него на репрезентативним мерним местима.



Слика 4 – Ситуација ТС 110/35 kV „Крупањ” са распоредом мерних места

Струје оптерећења доминантних извора нејонизујућих зрачења у току мерења магнетске индукције приказане су у табели 3.

Табела 3 – Струје оптерећења доминантних извора нејонизујућих зрачења током мерења магнетске индукције у околини ТС 110/35 kV „Крупањ”

Извор нејонизујућег зрачења	Напонски ниво [kV]	Струја у време мерења [A]	Максимална струја [A]
Надземни вод бр. 1116	110	65	650
Надземни вод бр. 1176	110	27	880
Трансформатор Т1	110	40	105
	35	120	314
Трансформатор Т2	110	Ван погона	105
	35		314

Резултати мерења јачине електричног поља и магнетске индукције приказани су у табели 4, где  $n$  означава редни број мерног места.

Табела 4 – Резултати мерења јачине електричног поља и магнетске индукције у зонама повећане осетљивости у околини ТС 110/35 kV „Крупањ”

$n$	$E$ [kV/m]	$B$ [ $\mu$ T]
1.	0,101	0,105
2.	0,104	0,103
3.	0,103	0,154
4.	0,282	0,385
5.	0,187	0,253

Највеће вредности јачине електричног поља и магнетске индукције измерене су на мерном месту бр. 4. Доминантни извор нејонизујућих зрачења на овом мерном месту је надземни вод бр. 1116 напонског нивоа 110 kV. На основу односа максималне струје овог далековода (краткотрајно дозвољене струје у зимском периоду) и струје оптерећења у време мерења (табела 3) може се закључити да би максимална вредност магнетске индукције на овом мерном месту износила око 3,9  $\mu$ T, при највећем оптерећењу надземног вода.

На основу резултата приказаних у табели 4 такође се закључује да су измерене вредности јачине електричног поља и магнетске индукције на мерним местима бр. 1 и 2 знатно ниже од прописаних, иако се ова мерна места налазе непосредно поред ограде трансформаторске станице. У близини ових мерних места нема надземних водова, па измерене вредности поља првенствено потичу од високонапонске опреме у разводном постројењу напонског нивоа 110 kV.

#### 4.3 Збирни приказ резултата мерења у околини свих анализираних трансформаторских станица

У табели 5 приказане су највеће измерене вредности јачине електричног поља и магнетске индукције у околини анализираних трансформаторских станица. У случају ТС „Златибор 2” приказане максималне вредности су измерене непосредно поред ограде, док су за све остале трансформаторске станице приказане максималне вредности поља измерене у зонама повећане осетљивости које се налазе у њиховој близини. У табели 5 је за сваку анализирану трансформаторску станицу поред највеће измерене вредности јачине електричног поља и магнетске индукције наведен и доминантни извор нејонизујућег зрачења на датом мерном месту. Такође су наведена оптерећења ових извора у време мерења магнетске индукције, као и максимална могућа оптерећења. У случају надземних водова претпостављено је да је максимална струја оптерећења вода једнака краткотрајно дозвољеној струји у зимском периоду,  $I_{kd}$ .

Ознаке у табели 5 имају следеће значење:

$E_{max}$  [V/m] – највећа измерена вредност јачине електричног поља,

$B_{max}$  [ $\mu$ T] – највећа измерена вредност магнетске индукције,

$I$  [A] – струја оптерећења доминантног извора нејонизујућих зрачења на мерном месту на коме је измерена  $B_{max}$ ,

$I_{max}$  [A] – максимална струја оптерећења доминантног извора нејонизујућих зрачења.

**Табела 5.** Највеће измерене вредности јачине електричног поља и магнетске индукције у околини анализираних трансформаторских станица 110/х кV

Редни број	Назив ТС	$E_{max}$ [kV/m]	$B_{max}$ [μT]	Доминантни извор НЈЗ	$I$ [A]	$I_{max}$ [A]
1.	„Осечина”	0,279	0,646	Двоструки ДВ 110 kV бр. 106А/2 и 106Б/2	45 (ДВ 106А/2) 139 (ДВ 106Б/2)	650
2.	„Очага”	0,100	0,700	Двоструки ДВ 35 kV	10, 140	/
3.	„Крупан”	0,282	0,385	ДВ 110 kV бр. 1116	65	650
4.	„Златибор 2”	0,965	1,642	ДВ 110 kV бр. 134/5	92	650
5.	„Гуча”	0,312	0,330	ДВ 110 kV бр. 1138	150	880
6.	„Шабац 2”	0,610	0,930	ДВ 110 kV бр. 1163	123	880
7.	„Јагодина 2”	0,156	0,326	Опрема у РП 110 kV	T2: 20 (110 kV) 260 (10 kV)	105 (110 kV) 1100 (10 kV)
8.	„Краљево 5”	0,001	0,050	Ван зоне утицаја	T1: 46 (110 kV) 500 (10 kV)	99,2 (110 kV) 1039 (10 kV)

На основу резултата приказаних у табели 5 закључује се да у околини анализираних трансформаторских станица ни на једном мерном месту није измерена вредност јачине електричног поља и магнетске индукције која прекорачује прописане референтне граничне нивое. Нивои нејонизујућих зрачења измерени у зонама повећане осетљивости које се налазе у околини анализираних трансформаторских станица су знатно нижи од прописаних.

Такође се може закључити да су у готово свим анализираним случајевима доминантни извори нејонизујућег зрачења надземни водови уведени у трансформаторску станицу. У случају ТС „Јагодина 2” доминантни извор нејонизујућег зрачења је опрема која се налази у разводном постројењу напонског нивоа 110 kV, пошто се у околини ове трансформаторске станице зоне повећане осетљивости налазе далеко од места увођења надземних водова.

## 5. ЗАКЉУЧАК

У раду су анализирани нивои нејонизујућих зрачења индустријске учестаности добијени мерењима у околини неколико трансформаторских станица 110/х кV. На основу приказаних резултата закључено је да измерене вредности јачине електричног поља и магнетске индукције ни на једном мерном месту нису прекорачиле прописане референтне граничне нивое који се односе на изложеност становништва нејонизујућем зрачењу у зонама повећане осетљивости. Такође се закључује да вредности магнетске индукције неће прекорачити референтни гранични ниво ни при максималном оптерећењу анализираних трансформаторских станица. Највеће вредности електричног и магнетског поља 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 нејонизујућих зрачења 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/ЕС: “Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)”, ОЈ L 199, 30.7.1999, p. 59–70.
- [5] Извештаји Електротехничког института „Никола Тесла” бр. 315308-Л, 315404-Л, 315406-Л, 315408-Л, 315412-Л, 315416-Л, 315418-Л и 315420-Л, наручилац: ЈП ЕПС, Привредно друштво за дистрибуцију електричне енергије „Електросрбија” д.о.о., Краљево, 2015. година.