

НИВОИ НЕЈОНИЗУЈУЋИХ ЗРАЧЕЊА У ОКОЛИНИ ТРАНСФОРМАТОРСКИХ СТАНИЦА 110/10 kV СА ПОСТРОЈЕЊИМА ИЗОЛОВАНИМ ГАСОМ SF₆ У ДИСТРИБУТИВНОМ ПОДРУЧЈУ БЕОГРАД

Милица ТАУШАНОВИЋ, Добривоје СТАНОЈЕВИЋ
ОДС „ЕПС Дистрибуција” д.о.о., Београд, Република Србија
Дејан ХРВИЋ, Маја ГРБИЋ, Александар ПАВЛОВИЋ
Универзитет у Београду, Електротехнички институт „Никола Тесла”, Београд, Република Србија

КРАТАК САДРЖАЈ

У раду су анализирани нивои нејонизујућег зрачења ниских учестаности у околини трансформаторских станица 110/10 kV са постројењима изолованим гасом SF₆, које су смештене у централним градским зонама. У њиховој непосредној околини налазе се стамбени објекти, који се категоришу као потенцијалне зоне повећане осетљивости, као и пословни објекти. Анализа је заснована на резултатима мерења магнетске индукције у околини поменутих трансформаторских станица. На основу измерених вредности магнетске индукције и оптерећења доминантних извора зрачења у тренутку мерења процењена је максимална изложеност особа у случају да извори раде у максималном погонском режиму. У циљу процене изложености становништва нејонизујућем зрачењу добијене вредности су упоређене са референтним граничним нивоима прописаним у Републици Србији. Циљ спроведене анализе је сагледавање нивоа нејонизујућег зрачења који се могу јавити у околини трансформаторских станица са постројењима изолованим гасом SF₆ и провера усаглашености ових нивоа са националном регулативом из области заштите становништва од нејонизујућих зрачења.

Кључне речи: трансформаторска станица, SF₆, нејонизујуће зрачење, магнетска индукција.

ABSTRACT

The levels of power frequency non-ionizing radiation which occur in the vicinity of 110/10 kV SF₆ gas-insulated substations located in urban areas are analyzed in this paper. Residential structures, categorized as potential areas of increased sensitivity, as well as business structures, are located in the vicinity of these substations. The analysis is based on the results of magnetic flux density measurements in the vicinity of SF₆ gas-insulated substations. On the basis of the measured values of magnetic flux density and load currents of the main magnetic field sources, the maximum exposure of people, which corresponds to the case when these sources are loaded with their rated load, is estimated.

With the purpose of estimating the exposure of the general public to non-ionizing radiation, the obtained results are compared to the reference levels prescribed in the Republic of Serbia. The objective of the performed analysis is reaching general conclusions on the levels of non-ionizing radiation which may occur in the vicinity of SF₆ gas-insulated substations and evaluation of compliance with the national regulations on protection of the general public from non-ionizing radiation.

Keywords: substation, SF₆, non-ionizing radiation, magnetic flux density.

УВОД

У раду су анализирани нивои нејонизујућег зрачења ниских учестаности у околини трансформаторских станица 110/10 kV са постројењима изолованим гасом SF₆, које су по правилу смештене у централним градским зонама. У њиховој непосредној околини налазе се стамбени и пословни објекти, као и јавне површине, односно подручја на којима је реално очекивати присуство и боравак становништва. Анализа је заснована на резултатима мерења магнетске индукције у околини трансформаторских станица са постројењима изолованим гасом SF₆. Извори нејонизујућег зрачења се у овим трансформаторским

milica.tausanovic@epsdistribucija.rs
dobrivoje.stanojevic@epsdistribucija.rs
dejan.hrvic@ieent.org
maja.grbic@ieent.org
aleksandar.pavlovic@ieent.org

станицама налазе унутар објеката. Због познатог ефекта екранизације, вредности јачине електричног поља изван објеката су занемарљиве и у овом раду нису анализирани. На основу измерених вредности магнетске индукције и оптерећења доминантних извора магнетског поља у тренутку мерења процењена је максимална изложеност особа у случају да доминантни извори раде у максималном погонском режиму. У ситуацијама када је особа изложена истовременом деловању већег броја извора магнетске индукције неопходно је издвојити један или више извора који највише доприносе укупној изложености и који се сматрају доминантним изворима. У циљу процене изложености становништва нејонизујућем зрачењу, добијени резултати су упоређени са референтним граничним нивоима прописаним у Републици Србији. Циљ спроведене анализе је сагледавање нивоа нејонизујућег зрачења који се могу јавити у околини трансформаторских станица са постројењима изолованим гасом SF₆ и провера усаглашености ових нивоа са националном регулативом из области заштите становништва од нејонизујућих зрачења.

ПРЕГЛЕД НАЦИОНАЛНЕ РЕГУЛАТИВЕ У ОБЛАСТИ ЗАШТИТЕ ОД НЕЈОНИЗУЈУЋИХ ЗРАЧЕЊА

Област заштите становништва од нејонизујућег зрачења правно је регулисана у Републици Србији 2009. године, усвајањем Закона о заштити од нејонизујућих зрачења [1] и шест пратећих правилника, од којих су најзначајнији [2] и [3]. Предмет уређивања Правилника [2] представља ограничење излагања становништва нејонизујућем зрачењу искључиво у такозваним „зонама повећане осетљивости” (ЗПО). Према одредбама Правилника [2] референтни гранични ниво излагања за јачину електричног поља износи 2 kV/m, а за магнетску индукцију 40 μT. Наведени референтни гранични нивои се односе на електрично и магнетско поље индустријске учестаности (50 Hz) у зонама повећане осетљивости. 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”.

Усвојени Закон [1] и пратећи правилници не регулишу заштиту становништва на јавним подручјима (површинама), односно местима у урбаним и руралним срединама на којима није ограничен приступ становништву, а која нису категорисана као зоне повећане осетљивости.

МЕРЕНЕ ВЕЛИЧИНЕ, ЛОКАЦИЈЕ И ПОСТУПАК ИСПИТИВАЊА

У околини трансформаторских станица испитивања су спроведена изотропским мерењем ефективних вредности магнетске индукције (*B*). На свим мерним местима је осим вредности магнетске индукције истовремено мерена и фреквенција поља, која је при свим мерењима износила 50 Hz.

Мерења магнетске индукције спроведена су у склопу првих испитивања нејонизујућег зрачења, дефинисаних Правилником [3], у околини трансформаторских станица датих у табели 1, које су у власништву ОДС „ЕПС Дистрибуција” д.о.о. Београд, Дистрибутивно подручје Београд. Резултати испитивања нејонизујућег зрачења у унутрашњости трансформаторских станица, спроведених у циљу оцене изложености радника дати су у [4,5].

ТАБЕЛА 1 – Списак трансформаторских станица у чијој околини су вршена испитивања

Редни број	Назив ТС	Напонски ниво	Зоне од интереса
1.	„Београд 14 – Калемегдан”	110/10 kV	5 ЗПО; јавна површина (приступачан простор и тротоар испред ТС)
2.	„Београд 15 – Славија”	110/10 kV	4 ЗПО; јавне површине (приступачан простор и јавни паркинг поред ТС)
3.	„Београд 36 – Обилић”	110/10 kV	3 ЗПО; јавне површине (тротоар испред ТС, полигон ауто-школе иза ТС и асфалтирана стаза поред ТС)
4.	„Београд 40 – Сава Центар”	110/10 kV	Нема ЗПО; јавне површине (тротоар испред ТС и приступачан простор испред три пословне зграде)

Заједничке карактеристике наведених трансформаторских станица су следеће:

- позициониране су у централним градским зонама,

- енергетски трансформатори, високонапонска и средњенапонска расклопна опрема смештени су унутар објеката и
- до поменуте опреме долазе искључиво кабловски водови напонских нивоа 110 kV и 10 kV.

Мерења магнетске индукције су спроведена по обиму сваке од трансформаторских станица на висини од 1 m изнад тла, на јавним површинама доступним становништву, као и у зонама повећане осетљивости које се налазе у близини ових трансформаторских станица. На основу ових мерења изабрана су репрезентативна мерна места и то на местима где су измерене највеће вредности магнетске индукције. На сваком репрезентативном мерном месту спроведена су мерења магнетске индукције на три висине (0,5 m, 1 m и 1,5 m) и као меродавна вредност за поређење са референтним нивоом из Правилника [2] усвајана је средња вредност измерених вредности магнетске индукције на наведеним висинама [6]. Мерења на три висине су послужила и код утврђивања доминантног извора магнетске индукције на датом репрезентативном мерном месту, првенствено ако је извор енергетски кабл. Утврђивање доминантног извора за свако репрезентативно мерно место је важно због процене највећих нивоа магнетске индукције који се могу јавити на том месту и то поређењем вредности струје оптерећења датог извора у време мерења и његове максималне струје.

Пошто је магнетско поље директно сразмерно струји која протиче кроз проводнике, струје оптерећења доминантних извора I су праћене у току мерења магнетске индукције. За процену максималних вредности магнетске индукције, а самим тим и за процену максималне изложености становништва, од значаја је и однос ове струје и максималне струје датог извора I_{max} .

РЕЗУЛТАТИ МЕРЕЊА

Резултати мерења у околини трансформаторске станице 110/10 kV „Београд 14 – Калемегдан”

Трансформаторска станица „Београд 14” се налази у склопу пословно-енергетског објекта „Калемегдан”. У непосредној близини трансформаторске станице идентификовано је пет зона повећане осетљивости, у којима су спроведена мерења (слика 1). У свакој зони повећане осетљивости мерење магнетске индукције извршено је на по једном репрезентативном мерном месту на коме је вредност поља највиша у тој зони (репрезентативна мерна места 4–8). Мерења магнетске индукције спроведена су и на јавној површини, на тротоару испред трансформаторске станице, на местима на којима се очекују највише вредности магнетске индукције (репрезентативна мерна места 1–3).



СЛИКА 1 – Распоред репрезентативних мерних места у околини ТС 110/10 kV „Београд 14 – Калемегдан”

Струје оптерећења доминантних извора магнетске индукције у време испитивања дате су у табели 2. Резултати мерења магнетске индукције B , дати су у табели 3, где n означава редни број репрезентативног мерног места [7].

Највећа вредност магнетске индукције у зонама повећане осетљивости измерена је на репрезентативном мерном месту 4 (ЗПО 1) и износи 0,71 μT .

Највећа вредност магнетске индукције на јавним површинама испред трансформаторске станице измерена је на репрезентативном мерном месту 3 и износи 1,63 μT . Ово мерно место се налази испред трансформаторске станице 10/0,4 kV која је у склопу трансформаторске станице 110/10 kV „Београд 14 – Калемегдан”. На основу положаја мерног места 3 закључено је да измерена вредност магнетске индукције на овом мерном месту примарно потиче од опреме инсталиране у трансформаторској станици 10/0,4 kV.

ТАБЕЛА 2 – Струје оптерећења доминантних извора током мерења магнетске индукције у околини ТС 110/10 kV „Београд 14 – Калемегдан”

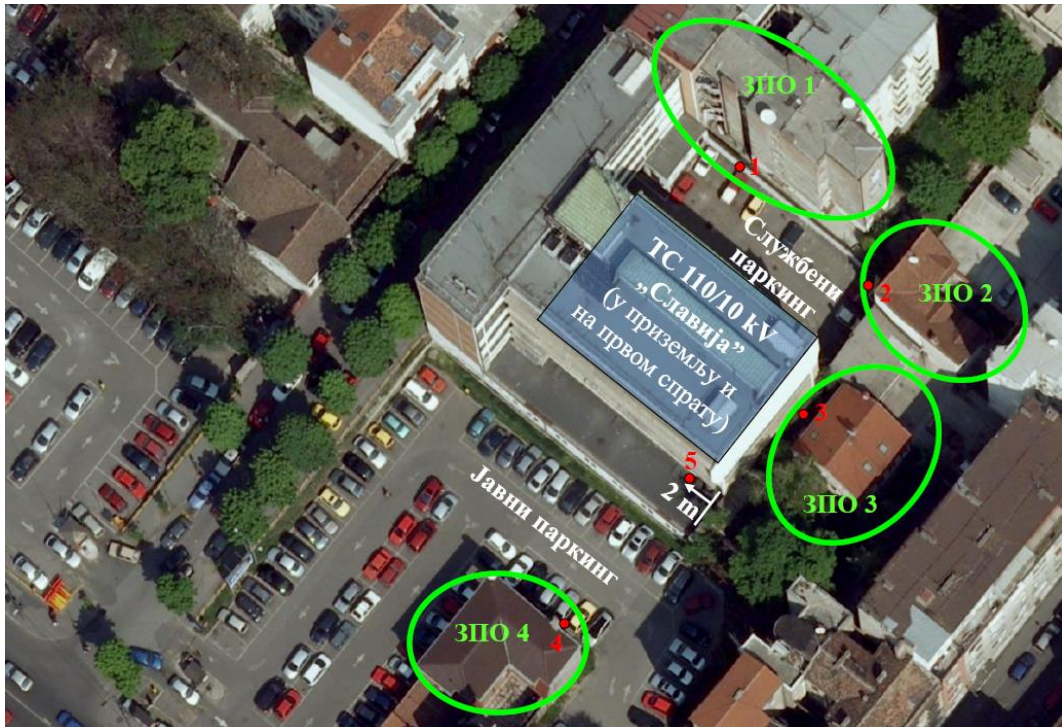
Извор нејонизујућег зрачења	Напонски ниво [kV]	I [A]	I / I_{max} [%]
Трансформатор Т1	110	74	≈35
	10	800	
Трансформатор Т2	110	74	≈35
	10	800	
Кабловски вод бр. 1250	110	148	≈17
Кабловски вод бр. 1216	110	Ван погона	/

ТАБЕЛА 3 – Резултати мерења магнетске индукције у околини ТС 110/10 kV „Београд 14 – Калемегдан”

n	B [μT]
1	1,42
2	1,48
3	1,63
4	0,71
5	0,32
6	0,22
7	0,38
8	0,15

Резултати мерења у околини трансформаторске станице 110/10 kV „Београд 15 – Славија”

Трансформаторска станица „Београд 15” се налази у склопу пословно-енергетског објекта „Славија”. У непосредној близини трансформаторске станице идентификоване су четири зоне повећане осетљивости у којима су спроведена мерења (слика 2).



СЛИКА 2 – Распоред репрезентативних мерних места у околини ТС 110/10 кV „Београд 15 – Славија”

У свакој зони повећане осетљивости мерење магнетске индукције извршено је на по једном репрезентативном мерном месту на коме је вредност поља највиша у тој зони (репрезентативна мерна места 1–4). Мерења магнетске индукције спроведена су и на приступачном простору и јавном паркингу поред трансформаторске станице.

Струје оптерећења доминантних извора магнетске индукције у време испитивања дате су у табели 4, а резултати мерења магнетске индукције у табели 5 [8].

ТАБЕЛА 4 – Струје оптерећења доминантних извора током мерења магнетске индукције у околини ТС 110/10 кV „Београд 15 – Славија”

Извор нејонизујућег зрачења	Напонски ниво [кV]	I [A]	I / I_{max} [%]
Трансформатор Т1	110	80	≈38
	10	850	
Трансформатор Т2	110	53	≈25
	10	580	
Кабловски вод бр. 1151	110	130	≈15
Кабловски вод бр. 1216	110	30	≈4

ТАБЕЛА 5 – Резултати мерења магнетске индукције у околини ТС 110/10 кV „Београд 15 – Славија”

n	B [μT]
1	0,08
2	0,29
3	1,16
4	0,05
5	0,10

Највећа вредност магнетске индукције у зонама повећане осетљивости измерена је на репрезентативном мерном месту 3 (ЗПО 3, у дворишту стамбеног објекта) и износи 1,16 μT.

Највећа вредност магнетске индукције на јавним површинама испред трансформаторске станице измерена

је на репрезентативном мерном месту 5 и износи $0,10 \mu\text{T}$. Ово мерно место се налази на приступачном простору уз трансформаторску станицу, према јавном паркингу.

Резултати мерења у околини трансформаторске станице 110/10 kV „Београд 36 – Обилић”

Трансформаторска станица „Београд 36” се налази у склопу пословно-енергетског објекта „Обилић”. У непосредној близини трансформаторске станице идентификоване су три зоне повећане осетљивости, у којима су спроведена мерења (слика 3). У свакој зони повећане осетљивости мерење магнетске индукције извршено је на по једном репрезентативном мерном месту на коме је вредност поља највиша у тој зони (репрезентативна мерна места 1–3). Мерења магнетске индукције спроведена су и на јавним површинама, као што су тротоар, полигон ауто-школе и асфалтирана стаза поред трансформаторске станице, на местима на којима се очекују највише вредности магнетске индукције (репрезентативна мерна места 4–9). Струје оптерећења доминантних извора у време испитивања дате су у табели 6, а резултати мерења магнетске индукције у табели 7 [9].

Највећа вредност магнетске индукције у зонама повећане осетљивости измерена је на репрезентативном мерном месту 1 (ЗПО 1) и износи $0,41 \mu\text{T}$.

Највећа вредност магнетске индукције на јавним површинама измерена је на репрезентативном мерном месту 9 и износи $1,89 \mu\text{T}$. Ово мерно место се налази поред оградe трансформаторске станице, ка полигону ауто-школе.



СЛИКА 3 – Распоред репрезентативних мерних места у околини ТС 110/10 kV „Београд 36 – Обилић”

ТАБЕЛА 6 – Струје оптерећења доминантних извора током мерења магнетске индукције у околини ТС 110/10 kV „Београд 36 – Обилић”

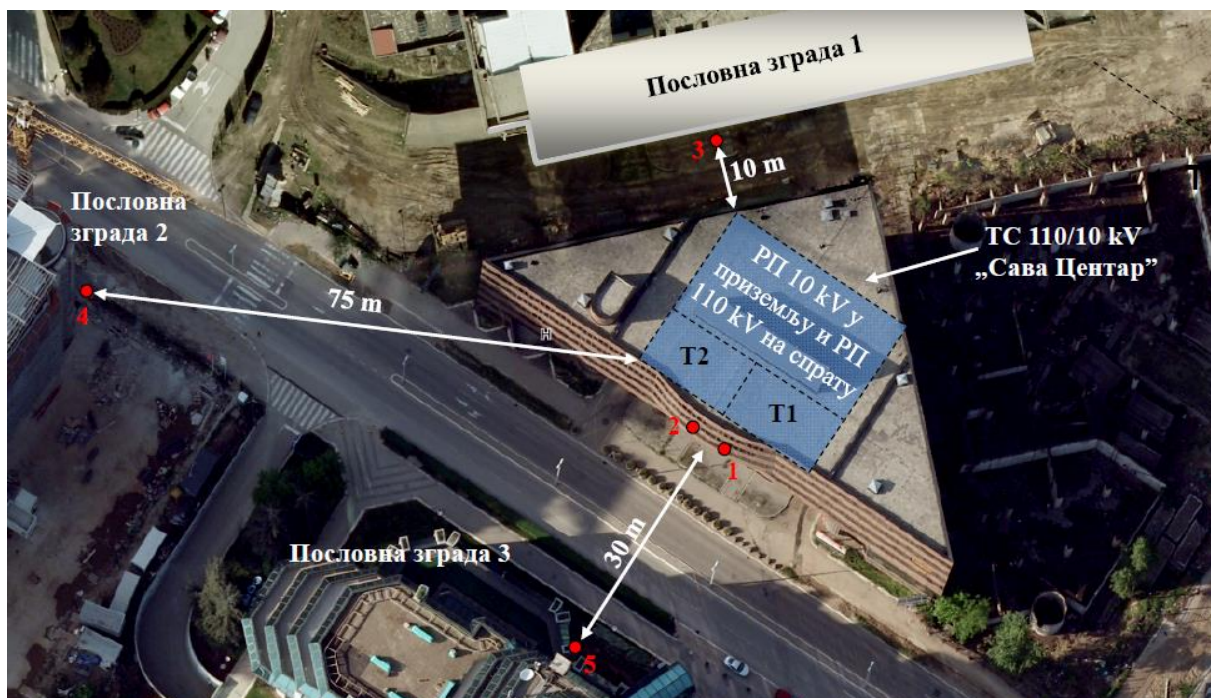
Извор нејонизујућег зрачења	Напонски ниво [kV]	I [A]	I / I_{max} [%]
Трансформатор Т1	110	60	≈29
	10	640	
Трансформатор Т2	110	52	≈26
	10	590	
Кабловски вод према ТС „Београд 28”	110	19	≈3
Кабловски вод бр. 1216, према ТС „Београд 17”	110	110	≈13

ТАБЕЛА 7 – Резултати мерења магнетске индукције
у околини ТС 110/10 kV „Београд 36 – Обилић”

<i>n</i>	<i>B</i> [μT]
1	0,41
2	0,07
3	0,07
4	1,64
5	1,13
6	0,57
7	0,34
8	0,11
9	1,89

Резултати мерења у околини трансформаторске станице 110/10 kV „Београд 40 – Сава Центар”

Трансформаторска станица „Београд 40” се налази у склопу пословно-енергетског објекта „Сава Центар”, при чему је пословни део објекта у изградњи. У непосредној близини трансформаторске станице нису идентификоване зоне повећане осетљивости (слика 4). Мерења магнетске индукције спроведена су на јавним површинама у које спадају тротоар испред трансформаторске станице и приступачан простор испред три пословне зграде, и то на местима на којима се очекују највише вредности магнетске индукције (репрезентативна мерна места 1–5).



СЛИКА 4 – Распоред репрезентативних мерних места у околини ТС 110/10 kV „Београд 40 – Сава Центар”

Струје оптерећења доминантних извора у време испитивања дате су у табели 8, а резултати мерења магнетске индукције у табели 9 [10].

ТАБЕЛА 8 – Струје оптерећења доминантних извора током мерења магнетске индукције у околини ТС 110/10 kV „Београд 40 – Сава Центар”

Извор нејонизујућег зрачења	Напонски ниво [kV]	I [A]	I / I_{max} [%]
Трансформатор Т1	110	116	≈56
	10	1280	
Трансформатор Т2	110	60	≈28
	10	640	
Кабловски вод према ТС „ТЕТО”	110	180	≈21
Кабловски вод према ТС „Београд 41”	110	Ван погона	/
Кабловски водови 10 kV	10	40–100	11–28

ТАБЕЛА 9 – Резултати мерења магнетске индукције у околини ТС 110/10 kV „Београд 40 – Сава Центар”

<i>n</i>	<i>B</i> [μT]
1	1,61
2	1,37
3	0,09
4	0,08
5	0,09

Највећа вредност магнетске индукције на јавним површинама измерена је на репрезентативном мерном месту 1 и износи 1,61 μT. Ово мерно место се налази испред просторије са енергетским трансформатором Т1.

Збирни приказ резултата мерења

У табели 10 приказане су највеће измерене вредности магнетске индукције у зонама повећане осетљивости и на јавним површинама, које се налазе у околини анализираних трансформаторских станица са постројењима изолованим гасом SF₆.

ТАБЕЛА 10 – Највеће измерене вредности магнетске индукције у околини анализираних трансформаторских станица 110/10 kV са постројењима изолованим гасом SF₆

Редни број	Назив ТС	Напонски ниво	Број ЗПО	Максимална измерена вредност магнетске индукције	
				У ЗПО	На јавним површинама
1.	„Београд 14 – Калемегдан”	110/10 kV	5	0,71	1,63
2.	„Београд 15 – Славија”	110/10 kV	4	1,16	0,10
3.	„Београд 36 – Обилић”	110/10 kV	3	0,41	1,89
4.	„Београд 40 – Сава Центар”	110/10 kV	0	/	1,61

На основу резултата приказаних у табели 10 закључује се да у околини анализираних гасом изолованих трансформаторских станица ни на једном мерном месту није измерена вредност магнетске индукције која прекорачује прописани референтни гранични ниво. Измерене вредности магнетске индукције у зонама повећане осетљивости и на јавним површинама које се налазе у околини анализираних трансформаторских станица са постројењима изолованим гасом SF₆ ниже су и од 10% вредности референтног граничног нивоа. На основу односа струја оптерећења у време мерења и максималних струја доминантних извора магнетског поља закључује се да вредности магнетске индукције у околини анализираних трансформаторских станица не могу прекорачити референтни ниво ни при максималном оптерећењу.

ЗАКЉУЧАК

У раду су анализирани нивои нејонизујућих зрачења индустријске учестаности добијени првим испитивањима у околини неколико трансформаторских станица 110/10 kV са постројењима изолованим гасом SF₆, које се налазе у централним градским зонама. Заједничка карактеристика ових трансформаторских станица је да су енергетски трансформатори, високонапонска и средњенапонска расклопна опрема смештени унутар објеката и да до ове опреме долазе искључиво кабловски водови напонских нивоа 110 kV и 10 kV.

Важећим националним прописима регулисано је ограничење излагања становништва нејонизујућим зрачењима искључиво у зонама повећане осетљивости, при чему не постоје ограничења за излагање становништва на јавним површинама, односно местима у урбаним и руралним срединама на којима није ограничен приступ становништву, а која нису категорисана као зоне повећане осетљивости.

Измерене вредности магнетске индукције у зонама повећане осетљивости и на јавним површинама које се налазе у околини анализираних трансформаторских станица нису прекорачиле референтни гранични ниво,

утврђен Правилником [2] за зоне повећане осетљивости. Осим тога, закључено је и да вредности магнетске индукције у околини анализираних трансформаторских станица не могу прекорачити референтни ниво ни при максималном оптерећењу доминантних извора магнетског поља. Вредности измерене приликом првих испитивања ниже су и од 10% вредности референтног граничног нивоа, што према Правилнику [3] власника трансформаторских станица ослобађа обавезе да врши периодична испитивања нејонизујућих зрачења.

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] Грбић М, Павловић А, Хрвић Д, Таушановић М, Шилкут В, Максимовић С, 2013, „Нивои нејонизујућих зрачења у пословно-енергетским објектима *Електродистрибуције Београд*”, VIII међународно саветовање „Ризик и безбедносни инжењеринг”, Висока техничка школа струковних студија у Новом Саду и Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду, Копаоник, Република Србија, Зборник радова – друга књига, стр. 1–7.
- [5] Таушановић М, Шилкут В, Грбић М, Павловић А, 2014, „Примена прописа и искуства *Електродистрибуције Београд* на заштити запослених и становништва од утицаја нејонизујућих зрачења”, IX саветовање о електродистрибутивним мрежама Србије са регионалним учешћем, Национални комитет *CIREД* Србија, Врњачка Бања, Република Србија, Зборник радова, Р-1.22.
- [6] EN 62110: “Electric and magnetic field levels generated by AC power systems – Measurement procedures with regard to public exposure”, 2009.
- [7] Извештај Електротехничког института „Никола Тесла” бр. 317391-Л: „Испитивање изложености људи нејонизујућим зрачењима ниских учестаности у околини ТС 110/10 kV *Калемегдан*, Београд, ул. Господар Јевремова бр. 26–28”, наручилац: ОДС „ЕПС Дистрибуција” д.о.о. Београд, Дистрибутивно подручје Београд, 2017. година.
- [8] Извештај Електротехничког института „Никола Тесла” бр. 317393-Л: „Испитивање изложености људи нејонизујућим зрачењима ниских учестаности у околини ТС 110/10 kV *Славија*, Београд, ул. Проте Матеје бр. 10–16”, наручилац: ОДС „ЕПС Дистрибуција” д.о.о. Београд, Дистрибутивно подручје Београд, 2017. година.
- [9] Извештај Електротехничког института „Никола Тесла” бр. 317410-Л: „Испитивање изложености људи нејонизујућим зрачењима ниских учестаности у околини ТС 110/10 kV *Обилић*, Београд, ул. Томе Максимовића бб”, наручилац: ОДС „ЕПС Дистрибуција” д.о.о. Београд, Дистрибутивно подручје Београд, 2017. година.
- [10] Извештај Електротехничког института „Никола Тесла” бр. 317453-Л: „Испитивање изложености људи нејонизујућим зрачењима ниских учестаности у околини ТС 110/10 kV *Сава Центар*, Београд, ул. Владимира Поповића бб”, наручилац: ОДС „ЕПС Дистрибуција” д.о.о. Београд, Дистрибутивно подручје Београд, 2017. година.