

НИВОИ НЕЈОНИЗУЈУЋИХ ЗРАЧЕЊА НАДЗЕМНИХ И КАБЛОВСКИХ ВОДОВА НАПОНСКОГ НИВОА 35 kV

Маја Грбић, Електротехнички институт „Никола Тесла”¹, Београд, Република Србија
Александар Павловић, Електротехнички институт „Никола Тесла”², Београд, Република Србија
Милица Таушановић, ПД „Електродистрибуција Београд” д.о.о.³, Београд, Република Србија
Владимир Шилјут, ПД „Електродистрибуција Београд” д.о.о.⁴, Београд, Република Србија

1. УВОД

У раду је дат приказ резултата испитивања нивоа нејонизујућих зрачења ниских учестаности (јачине електричног поља и магнетске индукције) у околини дистрибутивних електроенергетских надземних и подземних (кабловских) водова напонског нивоа 35 kV. Дуж трасâ водова биране су локације на којима нема других објеката који би могли да утичу на нивое нејонизујућих зрачења. Резултати испитивања су анализирани са циљем да се процене највећи могући нивои нејонизујућих зрачења. Процењени највећи могући нивои нејонизујућих зрачења су упоређени са референтним граничним нивоима које утврђује „Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима”, [3].

2. РЕФЕРЕНТНИ ГРАНИЧНИ НИВОИ ИЗЛАГАЊА НЕЈОНИЗУЈУЋЕМ ЗРАЧЕЊУ

Правилником [3] утврђени су референтни гранични нивои излагања који за јачину електричног поља износе 2 kV/m, а за магнетску индукцију 40 μ T. Ови референтни гранични нивои излагања односе се на електрично и магнетско поље индустријске учестаности (50 Hz) и на тзв. зоне повећане осетљивости. Према [3] 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. Предмет уређивања Правилника [3] су искључиво зоне повећане осетљивости, док нивои зрачења у осталим деловима животне средине и радној средини нису регулисани.

¹ Косте Главинића 8а, тел. 39-52-016 Фах: 36-90-823, моб. 064-82-59-755, maja.grbic@ieent.org

² Косте Главинића 8а, тел. 39-52-016 моб. 064-82-59-725, aleksandar.pavlovic@ieent.org

³ Масарикова 1-3, тел. 36-16-706, лок. 1639, Фах: 34-05-163, моб. 064-897-47-76, mtausan@edb.rs

⁴ Масарикова 1-3, тел. 34-05-133, Фах: 34-05-163, моб. 064-897-46-72, vladash@edb.rs

3. ИСПИТИВАЊЕ НИВОА НЕЈОНИЗУЈУЋИХ ЗРАЧЕЊА НАДЗЕМНИХ И КАБЛОВСКИХ ВОДОВА НАПОНСКОГ НИВОА 35 kV

3.1 Мерене величине

Приликом испитивања нивоа нејонизујућих зрачења мерене су тренутне ефективне вредности јачине електричног поља (E) и магнетске индукције (B). Интензитет ових векторских физичких величина је мерен изотропски, истовременим мерењем све три просторне компоненте вектора поља у дискретним тренуцима времена. Истовремено са вредностима јачине електричног поља и магнетске индукције мерена је и фреквенција поља, која у свим случајевима износи 50 Hz.

3.2 Мерна опрема

За мерење јачине електричног поља у опсегу ниских учестаности 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, странице 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 у опсегу ниских учестаности коришћен је исти мерни уређај повезан са сондом за мерење магнетске индукције. Ова сонда је сферног облика, површине 100 cm² 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 су спроведена са циљем процене највећих могућих нивоа нејонизујућих зрачења. Мерења су спроведена на локацијама које се налазе на трасама испитиваних надземних и кабловских водова. Дуж траса надземних и кабловских водова изабрана је по једна локација на којој нема других објеката који би могли да утичу на ниво нејонизујућег зрачења, у циљу утврђивања просторне расподеле поља која потиче искључиво од испитиваног вода. Ради што вернијег утврђивања просторне расподеле поља, мерења су вршена на правцима који су приближно нормални на осу вода (тзв. латерални профил). Код испитивања нејонизујућих зрачења надземних водова бирани су мерни правци који се налазе на месту где су висине фазних проводника најмање. На месту највећег угиба фазних проводника вредности оба поља су највеће на целом распону.

Мерење извршено на овако изабраном мерном правцу је репрезентативно, јер се добија расподела поља која је приближна теоријској расподели. Овако добијени резултати се могу користити за процену нивоа нејонизујућих зрачења на осталим распонима, где због присуства других објеката или неприступачности терена није погодно вршити мерења.

На сваком мерном правцу је спроведено више мерења, а број мерних места је примарно зависио од конфигурације терена. 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.

4. МЕРЕЊЕ ЈАЧИНЕ ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОЉА НАДЗЕМНИХ ВОДОВА

Мерења тренутних ефективних вредности јачине електричног поља спроведена су на начин описан у 3.3. Мерења су извршена на пет надземних водова:

- Београд 9 – Батајница бр. 320,
- Винча – Гроцка бр. 319,
- Болеч огранак бр. 346АБ,
- Београд 9 – Добановци бр. 379 и Београд 9 – Угриновци бр. 380,
- Београд 9 – Аеродром бр. 350.

У табели 1 су дати основни подаци о мерним правцима.

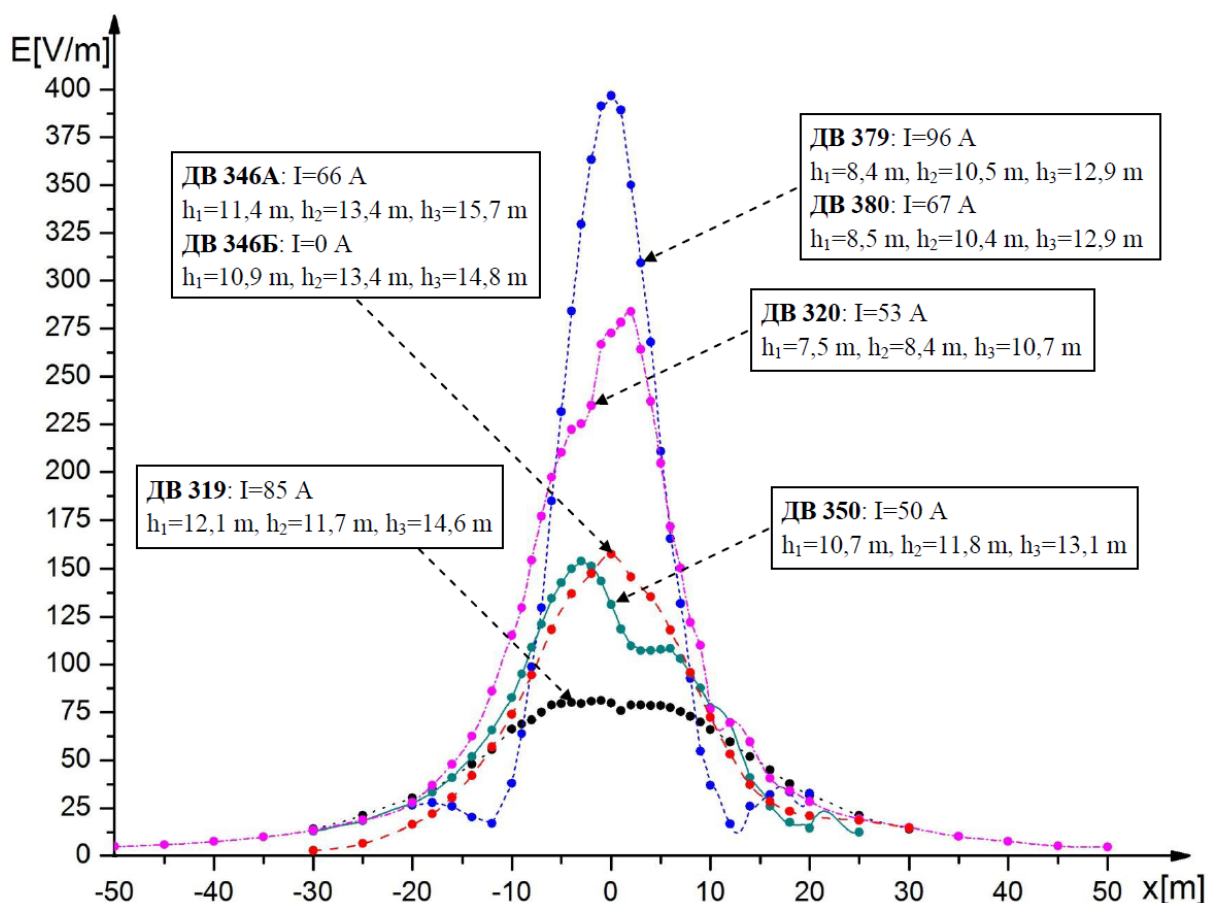
ТАБЕЛА 1 – ОСНОВНИ ПОДАЦИ О МЕРНИМ ПРАВЦИМА

Ознаке надземних водова	Распон између стубова	Растојање између стубова	Позиција мерног правца	Висине фазних проводника изнад мерног правца	
320	1874-1875	200 m	на средини распона	7,5 m; 8,4 m; 10,7 m	
319	1807-1808	-	-	11,7 m; 12,1 m; 14,6 m	
346АБ	2937-2938	144,4 m	70 m од стуба бр. 2938	ДВ 346А: 11,4 m; 13,4 m; 15,7 m	ДВ 346Б: 10,9 m; 13,4 m; 14,8 m
379 и 380	4190-4191	161 m	68 m од стуба бр. 4191	ДВ 379: 8,4 m; 10,5 m; 12,9 m	ДВ 380: 8,5 m; 10,4 m; 12,9 m
350	3106-3107	160 m	64 m од стуба бр. 3106	10,7 m; 11,8 m; 13,1 m	

Мерења висина фазних проводника испитиваних надземних водова су спроведена уређајем „Vertex Laser VL400”. Сигурносна висина фазних проводника преузета је из „Правилника о техничким нормативима за изградњу надземних електроенергетских водова” [4] и за надземне водове напонског нивоа 35 kV, у насељеном месту, износи 7 m.

4.1 Резултати мерења јачине електричног поља надземних водова

Резултати мерења јачине електричног поља пет надземних водова напонског нивоа 35 kV приказани су упоредно на графикону 1.



ГРАФИКОН 1 – РАСПОДЕЛА ЈАЧИНЕ ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОЉА ИСПИТИВАНИХ НАДЗЕМНИХ ВОДОВА

Ознаке на графикону имају следеће значење:

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

E [V/m] - ефективна вредност јачине електричног поља;

h [m] – висина фазних проводника изнад мерног правца;

I [A] – струја оптерећења далековода за време мерења.

На графикону 1 су, уз расподелу јачине електричног поља сваког појединачног вода, поред ознаке вода дати и подаци о висинама фазних проводника, пошто овај параметар значајно утиче на ниво електричног поља.

У табели 2 је дат преглед највећих измерених вредности јачине електричног поља испитиваних надземних водова.

ТАБЕЛА 2 – НАЈВЕЋЕ ИЗМЕРЕНЕ ВРЕДНОСТИ ЈАЧИНЕ ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОЉА НАДЗЕМНИХ ВОДОВА

Ознаке надземних водова	n_E	E_{max} [V/m]	x_{max} [m]
320	43	284 V/m	2 m
319	35	81,25 V/m	-1 m
346АБ	25	157,70 V/m	0 m
379 и 380	31	396,78 V/m	0 m
350	34	153,89 V/m	-3 m

Ознаке у табели имају следеће значење:

n_E – укупан број мерних места на мерном правцу у којима је мерена јачина електричног поља

E_{max} [V/m] - највећа измерена вредност јачине електричног поља

x_{max} [m] - позиција мерног места на коме је измерена највећа вредност јачине електричног поља

E_{max}

4.2 Анализа резултата мерења јачине електричног поља надземних водова

Измерене вредности јачине електричног поља не премашују референтни гранични ниво од 2 kV/m. Ове вредности се односе искључиво на висине фазних проводника од тла у време мерења. Узимајући у обзир измерене вредности E_{max} и висине фазних проводника за време мерења, процењује се да вредности јачине електричног поља испитиваних водова неће премашити референтни гранични ниво од 2 kV/m, ни у случају најмање висине фазних проводника, односно максималног угиба. Најмањом могућом висином фазних проводника сматра се сигурносна висина, која према [4] износи 7 m у насељеним местима.

5. МЕРЕЊЕ МАГНЕТСКЕ ИНДУКЦИЈЕ НАДЗЕМНИХ ВОДОВА

Мерења тренутних ефективних вредности магнетске индукције су спроведена на истим надземним водовима и дуж истих мерних праваца као у случају мерења јачине електричног поља.

Измерене вредности магнетске индукције су сразмерне струји оптерећења вода за време мерења. При процени највећих могућих нивоа магнетске индукције надземних водова потребно је имати у виду однос највећих могућих оптерећења испитиваног вода и оптерећења забележених приликом сваког појединачног мерења. Према подацима добијеним од надлежне службе ЕДБ-а струје оптерећења испитиваних надземних водова нису се значајно мењале током мерења магнетске индукције. При томе је добијен податак о струји оптерећења једне фазе далековода, јер се мерења врше у једној фази, тако да није познато колика је била асиметрија међу фазним струјама у време мерења. Подаци о струјама оптерећења водова у време мерења приказани су у табели 3. У табели 3 су дати и подаци о типу и пресеку фазних проводника, од којих зависи дозвољено струјно оптерећење вода. Вредности дозвољених струјних оптерећења надземних водова напонског нивоа 35 kV преузете су из Додатка техничке препоруке ТП-4а1, [5].

ТАБЕЛА 3 – СТРУЈНА ОПТЕРЕЋЕЊА ВОДОВА У ТОКУ МЕРЕЊА И ДОЗВОЉЕНЕ ВРЕДНОСТИ СТРУЈНИХ ОПТЕРЕЋЕЊА НАДЗЕМНИХ ВОДОВА

Ознаке надземних водова	Тип и пресек фазног проводника	I [A]	I _{nd} [A]	I _{dozz} [A]	I _{dozL} [A]
320	Al/Č 70 mm ²	53 A	235 A	447 A	305 A
319	Al/Č 95 mm ²	85 A	290 A	550 A	376 A
346АБ	Al/Č 70 mm ²	346А: 66 A 346Б: 0 A	235 A	447 A	305 A
379 и 380	Al/Č 70 mm ²	379: 96 A 380: 67 A	235 A	447 A	305 A
350	Al/Č 70 mm ²	50 A	235 A	447 A	305 A

Ознаке у табели 3 имају следеће значење:

I [A] – вредност струјног оптерећења вода за време мерења магнетске индукције;

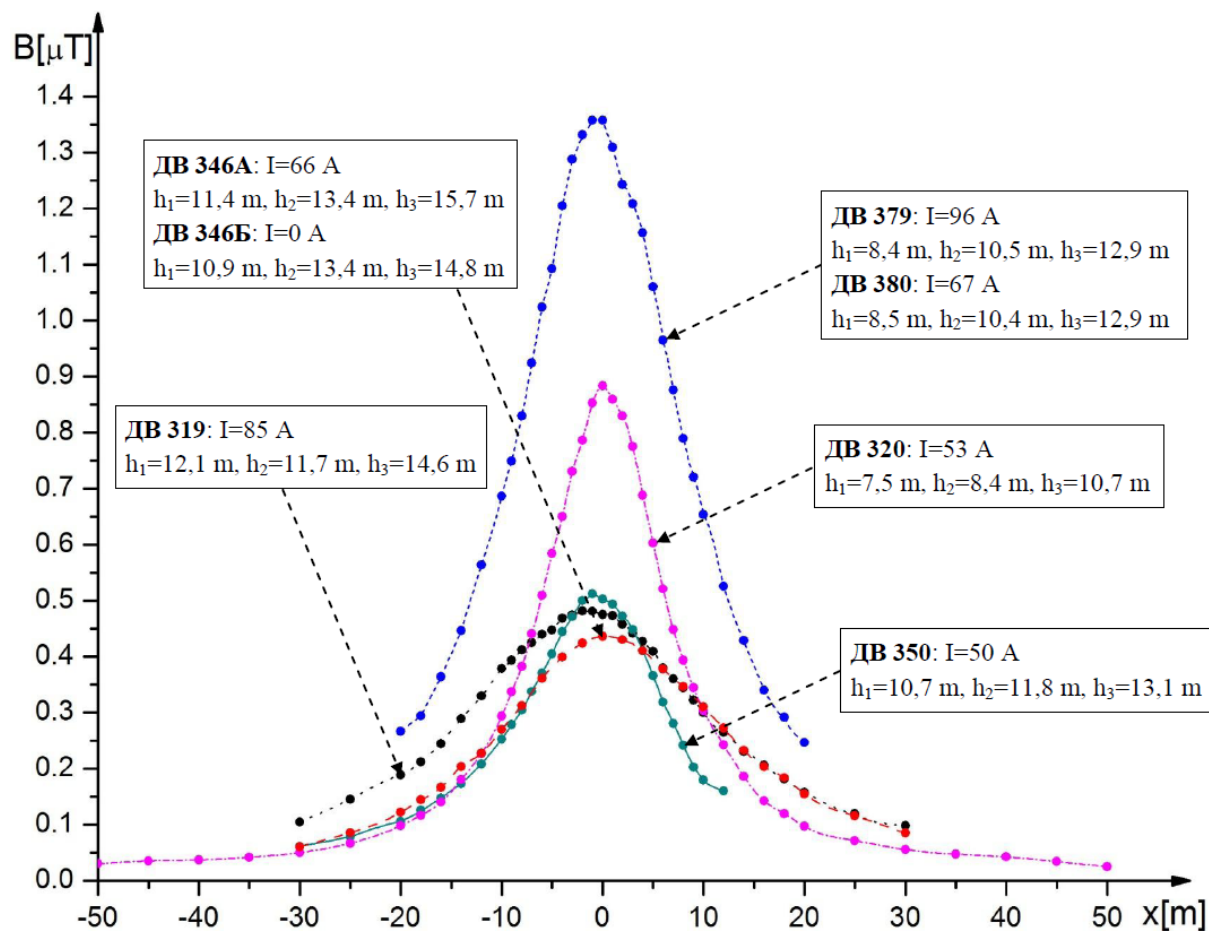
I_{nd} [A] – назначена вредност дозвољеног струјног оптерећења вода;

I_{dozz} [A] – дозвољено струјно оптерећење вода у зимском периоду;

I_{dozL} [A] – дозвољено струјно оптерећење вода у летњем периоду.

5.1 Резултати мерења магнетске индукције надземних водова

Резултати мерења магнетске индукције, В [μТ], испитиваних надземних водова приказани су упоредно на графикану 2.



ГРАФИКОН 2 – РАСПОРЕДА МАГНЕТСКЕ ИНДУКЦИЈЕ ИСПИТИВАНИХ НАДЗЕМНИХ ВОДОВА

У табели 4 је дат преглед највећих измерених вредности магнетске индукције испитиваних надземних водова.

ТАБЕЛА 4 – НАЈВЕЋЕ ИЗМЕРЕНЕ ВРЕДНОСТИ МАГНЕТСКЕ ИНДУКЦИЈЕ НАДЗЕМНИХ ВОДОВА

Ознаке надземних водова	n_B	B_{max} [μT]	x_{max} [m]
320	43	0,884 μT	$x=0$ m
319	35	0,482 μT	$x=-2$ m
346АБ	25	0,437 μT	$x=0$ m
379 и 380	31	1,357 μT	$x=-1$ m, $x=0$ m
350	29	0,513 μT	$x=-1$ m

Ознаке у табели 4 имају следеће значење:

n_B – укупан број мерних места на мерном правцу у којима је мерена магнетска индукција;

B_{max} [μT] - највећа измерена вредност магнетске индукције;

x_{max} [m] - позиција мерног места на коме је измерена највећа вредност магнетске индукције B_{max} ;

5.2 Анализа резултата мерења магнетске индукције надземних водова

Измерене вредности магнетске индукције свих испитиваних водова су далеко испод референтног граничног нивоа. Измерене вредности магнетске индукције је неопходно ставити у сразмеру са оптерећењем вода, да би се проценио највећи могући ниво магнетске индукције са циљем поређења са референтним граничним нивоом. Процена највеће могуће вредности магнетске индукције (B_{max}) је извршена на основу линеарне зависности највеће измерене вредности магнетске индукције (B_{max}) од струје оптерећења вода. Процењене највеће вредности магнетске индукције испитиваних водова дате су у табели 5.

ТАБЕЛА 5 – ПРОЦЕЊЕНЕ НАЈВЕЋЕ ВРЕДНОСТИ МАГНЕТСКЕ ИНДУКЦИЈЕ НАДЗЕМНИХ ВОДОВА

Ознаке надземних водова	B_{max} [μT]	I [A]	I_{doz} [A]	I [%]	B'_{max} [μT]
320	0,884 μT	53 A	447 A	11,9 %	7,5 μT
319	0,482 μT	85 A	550 A	15,5 %	3,1 μT
346АБ	0,437 μT	346А: 66 A 346Б: 0 A	447 A	14,8 %; 0 %	5,9 μT
379 и 380	1,357 μT	379: 96 A 380: 67 A	447 A	21,5 %; 15 %	7,4 μT
350	0,513 μT	50 A	447 A	11,2 %	4,6 μT

При томе је:

I [%] – процентуална вредност струје оптерећења надземног вода у односу на I_{doz} .

Процена највећих могућих нивоа магнетске индукције извршена према дозвољеном струјном оптерећењу вода у зимском периоду I_{doz} је на страни сигурности.

У случају надземних водова, поред највећег могућег оптерећења, процена треба да обухвати и смањење висине фазних проводника. Може се закључити да вредности магнетске индукције испитиваних надземних водова не могу прећи референтни ниво од 40 μT , ни у случају највећег могућег оптерећења и максималног угиба фазних проводника.

6. МЕРЕЊЕ МАГНЕТСКЕ ИНДУКЦИЈЕ КАБЛОВСКИХ ВОДОВА

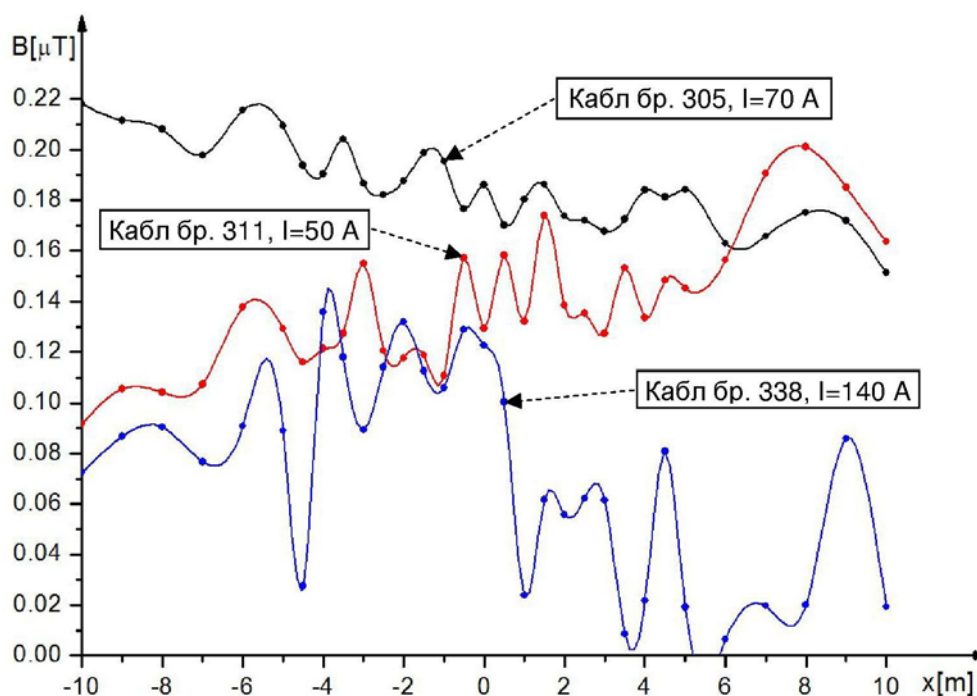
Приликом испитивања нивоа нејонизујућих зрачења кабловских водова мерена је тренутна ефективна вредност магнетске индукције. Мерење јачине електричног поља није извршено, јер је теоријски познато да су у оваквим случајевима вредности поља занемарљиве. У табели 6 су дата дозвољена струјна оптерећења каблова напонског нивоа 35 kV, преузета из [5].

ТАБЕЛА 6 – ДОЗВОЉЕНА СТРУЈНА ОПТЕРЕЋЕЊА КАБЛОВА НАПОНСКОГ НИВОА 35 kV

Врста кабла	35 kV		
	I_{nd} [A]	I_{dozZ} [A]	I_{dozL} [A]
NPO	185	204	185
	235	260	235
	305	337	305
UPE	253	280	253
	321	355	321
	419	463	419

6.1 Резултати мерења магнетске индукције кабловских водова

Резултати мерења магнетске индукције три кабловска вода приказани су упоредно на графикону 3.



ГРАФИКОН 3 – РАСПОДЕЛА МАГНЕТСКЕ ИНДУКЦИЈЕ КАБЛОВСКИХ ВОДОВА

Подаци о струјама оптерећења испитиваних кабловских водова у време мерења приказани су у табели 7. У табели 7 је такође дат преглед највећих измерених вредности магнетске индукције испитиваних кабловских водова.

ТАБЕЛА 7 – НАЈВЕЋЕ ИЗМЕРЕНЕ ВРЕДНОСТИ МАГНЕТСКЕ ИНДУКЦИЈЕ КАБЛОВСКИХ ВОДОВА

Ознаке кабловских водова	n_B	B_{max} [μT]	I [A]
Београд 2 – Макиш бр. 311	31	0,20 μT	50 A
Баново брдо – Макиш бр. 338	31	0,14 μT	140 A
Београд 2 – ИЛР бр.305	31	0,22 μT	70 A

Ознаке у табели имају следеће значење:

n_B – укупан број мерних места у којима је мерена магнетска индукција

B_{max} [μT] - највећа измерена вредност магнетске индукције

I [A] – струја оптерећења кабловског вода за време мерења

6.2 Анализа резултата мерења магнетске индукције кабловских водова

У табели 8 приказане су процењене највеће вредности магнетске индукције испитиваних кабловским водова.

ТАБЕЛА 8 – ПРОЦЕЊЕНЕ НАЈВЕЋЕ ВРЕДНОСТИ МАГНЕТСКЕ ИНДУКЦИЈЕ КАБЛОВСКИХ ВОДОВА

Називи и ознаке кабловских водова	B_{max} [μT]	I [A]	I_{doz} [A]	I [%]	B'_{max} [μT]
Београд 2 – Макиш бр. 311	0,20 μT	50 A	463	10,8 %	1,9 μT
Баново брдо – Макиш бр. 338	0,14 μT	140 A	463	30,2 %	0,5 μT
Београд 2 – ИЛР бр. 305	0,22 μT	70 A	463	15,1 %	1,5 μT

При томе је:

I [%] – процентуална вредност струје оптерећења кабловског вода у односу на $I_{doz}=463$ A.

Процена највећих могућих вредности извршена према I_{doz} је на страни сигурности. Види се да би вредности магнетске индукције биле далеко испод референтног граничног нивоа, чак и при највећем могућем оптерећењу кабловских водова. Измерене вредности, графички представљене на графикону 3, изузетно су ниске, практично на граници шума амбијента. Значајно присуство шума амбијента у резултатима мерења одредило је облик расподеле магнетске индукције који није у складу са теоријским, као што је случај код надземних водова.

7. ЗАКЉУЧАК

Измерене вредности јачине електричног поља и магнетске индукције испитиваних надземних и кабловских водова ни на једном мерном месту не прелазе прописане референтне граничне нивое. На основу резултата мерења извршена је процена највећих могућих нивоа нејонизујућих зрачења са циљем оцене усаглашености са референтним граничним нивоима које утврђује Правилник [3]. Закључује се да ниво нејонизујућих зрачења испитиваних надземних и кабловских водова не може прекорачити прописане референтне граничне нивое ни у случају највећег могућег оптерећења и најнеповољније конфигурације извора нејонизујућих зрачења.

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] „Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима”, Службени гласник РС, бр. 104/09 од 16.12.2009. године;
- [4] „Правилник о техничким нормативима за изградњу надземних електроенергетских водова”, Службени лист бр. 18/92;
- [5] Додатак техничке препоруке ТП-4а1, ЕПС - Дирекција за дистрибуцију електричне енергије;
- [6] CIGRE Working Group C4.203: "Technical guide for measurement of Low Frequency Electric and Magnetic Fields near Overhead Power Lines", April 2009.