

DOI: [10.46793/CIGRE37.B2.10](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B2.10)**B2.10****МЈЕРЕЊЕ НИВОА НЕЈОНИЗУЈУЋЕГ ЗРАЧЕЊА
У БЛИЗИНИ 110 kV ДАЛЕКОВОДА****MEASUREMENT OF THE NON-IONIZING RADIATION LEVELS
IN THE VICINITY OF 110 kV POWER LINES****Miloš Fržović, Darko Šuka, Radmila Mandić, Mladen Perišić***

Кратак садржај: У раду се анализирају нивои нејонизујућег електромагнетног зрачења у близини далековада 110 kV, са посебним освртом на нискофреквентна електрична и магнетна поља. Описани су основни физички механизми интеракције електромагнетних поља са околином, као и специфичне карактеристике далековада које утичу на ниво електромагнетне емисије. Представљени су релевантни закони и безбједносни стандарди који дефинишу граничне вриједности за изложеност опште популације. У експерименталном дијелу рада вршена су мјерења електричног и магнетског поља, коришћењем одговарајућих мјерних метода и уређаја. Анализирани су резултати мјерења, укључујући просторну варијабилност поља, коефицијент експозиције и мјерне несигурности.

Кључне ријечи: нејонизујуће зрачење, 110 kV далековод, електромагнетна поља, електрично поље, магнетска индукција, сигурносни стандарди

Abstract: The paper analyzes the levels of non-ionizing electromagnetic radiation in the vicinity of 110 kV power lines, with a special focus on low-frequency electric and magnetic fields. The basic physical mechanisms of the interaction of electromagnetic fields (EMFs) with the environment are described, as well as the specific characteristics of power lines that affect the level of electromagnetic (EM) emissions. Relevant laws and safety standards that define the limit values for exposure of the general population are presented. In the experimental part of the paper, measurements of electric and magnetic fields were performed using appropriate measurement methods and devices. The measurement results were analyzed, including the spatial variability of the field, exposure coefficient and measurement uncertainties.

Keywords: non-ionizing radiation, 110 kV transmission line, electromagnetic fields, electric field, magnetic induction, safety standards

* Miloš Fržović, Electroconsult doo Novi Sad, milos.frzovic@electroconsult.rs
Darko Šuka, Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo, darko.suka@etf.ues.rs.ba
Radmila Mandić, Koming-pro, radmila@koming-pro.com
Mladen Perišić, Koming-pro, mladen@koming-pro.com

1 УВОД

Нискофреквентна електромагнетна поља су присутна свуда у нашем окружењу. Јављају се на мјестима гдје се генерише, дистрибуира или користи електрична енергија. Дакле, присутна су у нашим домовима, на радним мјестима, у медицинским установама, па чак и на отвореном простору, гдје се могу наћи високонапонски каблови за дистрибуцију енергије. Магнетна поља се јављају првенствено тамо гдје протичу високе струје, док се електрична поља јављају тамо гдје су присутни високи напони. Практично је немогуће избјећи њихов утицај, што чини још важнијим да се разумије како таква поља утичу на људе, те да се спријече потенцијални негативни ефекти на људско здравље. Примјери мјеста гдје се јављају јака нискофреквентна поља су станице за напајање и трансформатори, високонапонске линије (далеководи), електрични мотори, жељезница, индустријска опрема за заваривање, каљење и топљење, магнетна резонанса, итд.

У ери убрзаног технолошког развоја, електрична енергија представља витални ресурс за напредак друштва. Да би се ова енергија ефикасно преносила на велике удаљености, широм свијета су изграђени далеководи као кључни елементи електричне мреже. Један од аспеката који је привукао пажњу јавности у последњим деценијама је нискофреквентно (НФ) зрачење далековода, због могућности његовог утицаја на животну средину и здравље људи који живе у близини далековода.

Циљ овог рада је пружити свеобухватно разумијевање нискофреквентног зрачења далековода, анализирајући његове основне карактеристике, изворе и потенцијалне утицаје.

2 ЕЛЕКТРОМАГНЕТНА ЗРАЧЕЊА

Израз зрачење уопштено означава ширење енергије простором. Према томе, појам електро-магнетно (ЕМ) зрачење значи ширење ЕМ енергије простором. ЕМ енергија шири се простором у облику ЕМ таласа, који представља просторно ширење међусобно повезаних и временски промјенљивих електричних и магнетних поља. Код ниских фреквенција, на примјер 50 Hz, ова поља се могу одвојено мјерити и разматрати. Једна од основних карактеристика временски промјенљивих електричних и магнетних поља јесте учестаност временске промјене под називом фреквенција f . Фреквенцију ЕМ таласа и његову таласну дужину повезује израз:

$$c = \lambda \times f, \quad (2.1)$$

при чему је $c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ (брзина свјетлости).

ЕМ зрачења су фотони чија је енергија директно пропорционална фреквенцији. Енергија фотона се може изразити формулом:

$$E_f = h \times f, \text{ при чему је } h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J/Hz} \quad (2.2)$$

ЕМ зрачење које није у стању да проузрокује јонизацију органских материја назива се **нејонизујуће зрачење**. Нејонизујуће зрачење обухвата дио спектра са фреквенцијама нижим од 3×10^{15} Hz, у којем фотони немају довољно енергије за јонизацију материја. Та нејонизујућа зрачења дијеле се на два основна облика која се називају *свјетлосно зрачење* и *ЕМ поља*. Земљино магнетно поље, електрична поља која прате муње и електричне олује у атмосфери су природне појаве, док су сва остала ЕМ поља највећим дијелом вјештачки створена од стране човјека.

За ова поља често се користи израз ЕМ загађење. Већи дио ЕМ загађења узрокован је електричним и магнетским пољима мрежне фреквенције од 50 Hz (у САД 60 Hz).

2.1 Извори нејонизујућег зрачења

Извори нејонизујућих зрачења обухватају: ултраљубичасто зрачење (таласне дужине 100-400 nm), видљиво зрачење (таласне дужине 400-780 nm), инфрацрвено зрачење (таласне дужине 780 nm-1 mm), радио-фреквенцијско зрачење (фреквенције 10 kHz-300 GHz), електромагнетна поља ниских фреквенција (фреквенције 0-10 kHz) и ласерско зрачење. Изворе нејонизујућих зрачења се користе и срећу у свакодневном животу, почев од простора у коме живимо и радимо, до савремених средстава комуникације, и сви су настали људском дјелатношћу. Ови извори се могу груписати као:

- **Природни извори** - Електрична и магнетна поља која ствара Земља својим магнетизмом, активности Сунца, динамика атмосфере (статички електрицитет, муње), зрачења из свемира (нове и супернове, синхротрона поља, радио галаксије), итд.
- **Електроенергетска постројења и електрични апарати** - Електране и енергане (у објектима и спољашњим постројењима инсталисана опрема и уређаји гдје се затварају струјна кола са струјама већим од 1.000 А, а неизоловани дијелови су под различитим, веома високим напонима), далеководи и трафостанице (у свом непосредном окружењу стварају магнетно зрачење чија индукција износи од 5,0 μT , па и више од 100 μT , а на удаљености од (50 – 100) m, те вриједности нагло опадају), електрична поља испод далековода, на висини 1 m од земље, достижу вриједности од 0,6 kV/m па и више од 10 kV/m, пословне зграде (због инсталисаних електричних уређаја и електронских склопова присутна су електромагнетна поља), итд..
- **Транспортна средства** - Моторна возила (ЕМ поља од уређаја за паљење гориве смјеше у мотору и услед рада електромотора (посебно код електричних возила, навигациони уређаји (сателитско вођење)), авиони (ЕМ поља услед рада радио и навигационих уређаја и уграђених електромотора), бродови (ЕМ поља услед рада радио и навигационих уређаја и уграђених електро-мотора. Јачина магнетног поља код транспортних средстава достиже и до 50 μT , а електричног поља и до 300 V/m (код авиона су износи знатно већи), итд.
- **Уређаји у домаћинству** - Телевизијски екрани и екрани рачунара (стварају статичка електрична поља и наизмјенична електрична и магнетна поља различитих фреквенција; док су старије технологије ових уређаја стварале јачину поља, која је на растојању од 30-40 cm износила и 10 kV/m, а уз сами уређај и више, нови уређаји не стварају поља већа од 700 nT, односно 10 V/m), веш машина (2 до 8,4 μT), електричне пећнице (40 V/m), фрижидер (30 V/m), усисивач (до 20 μT), аутомат за кафу (16 V/m), тостер (40 V/m), фен за косу (40 V/m), музички стуб (90 V/m), халогена стона лампа (до 1,5 μT), итд.
- **Мединциски уређаји** - Ласерски уређај, уређај за магнетну резонансу.
- **Средства за телекомуникације**, итд.

2.2 Далеководи као извори зрачења

У данашње доба развијености технике, нарочито у подручју преноса електричне струје на велике даљине, све земље су прожете густом мрежом далековода. Ради преноса електричне енергије на веће и велике даљине, потребан је високи напон, који ће ову електричну струју пренијети на одређене даљине. Што је даљина до које треба послати електричну струју већа, тиме је и напон већи. Познато је да се електрични напон мјери у волтима. Тај напон у домаћинствима износи 220 V. За веће даљине користе се и веће вриједности напона (5 kV, 10 kV, 20 kV, 35 kV, 110 kV, 220 kV, 400 kV). Повећање напона пропорционално је дужини преноса и врши се ради компензације губитка енергије на путу (траси).

Људи који су забринуте због изложености нискофреквентном ЕМ зрачењу из високонапонских далековода треба да имају на уму да се интензитет такве изложености значајно смањује са удаљавањем од извора. Јачина ЕМ поља која потиче од далековода највећа директно испод далековода. Са удаљавањем, изложеност се смањује. ЕМ поље директно испод далековода је обично у опсегу онога чему човјек бити изложен када користи одређене кућне апарате у домаћинству.

У јавности се често јавља својеврстан психо-социолошки феномен осјећаја угрожености штетним утицајима “зрачења” од различитих електроенергетских објеката, посебно далековода, те је потребно утврдити стварне вриједности тих електричних и магнетних поља за екстремно ниске фреквенције.

За разлику од електричног поља, чија је вриједност на одређеном мјесту испод далековода константног износа и директно пропорционална напонском нивоу, вриједност магнетног поља зависна од струјног оптерећења, па сходно томе варира са струјом оптерећења.

Обично се код прорачуна магнетног поља неког преносног вода узима максимално дозвољено струјно оптерећење тог вода. С друге стране, аспект сигурности особља запосленог у постројењима високог напона захтијева познавање вриједности електричних и магнетних поља испод далековода и унутар електроенергетских постројења.

Све већа забринутост услед излагања људи штетном дјеловању електричних и магнетних поља погонске фреквенције, резултовала је европским смјерницама, али и врло строгим прописима у неким државама који захтијевају ограничавање професионалне изложености и изложености опште популације ЕМ пољима.

Јачина електричног поља у околини електроенергетских објеката с временом се практично не мијења, јер зависи само од електричног напона, а напон се с временом готово не мијења, одступања могу бити само до неколико постотака. Супротно томе јачина магнетног поља је временски промјењива, јер зависи од јачине електричне струје, а јачина струје временски се јако мијења према тренутним по-требама потрошача.

3 ЗАКОНСКА РЕГУЛАТИВА

Извори ЕМ поља или уређаји, постројења и грађевине који садрже те изворе смију се користити и стављати у употребу само ако испуњавају основне захтјеве у складу са својом намјеном и под условима примјене не емитују зрачење и не излажу људе зрачењу изнад граница које су прописане за ЕМ поља. Основни захтјеви за изворе, уређаје, постројења и грађевине који садрже изворе ЕМ поља, као и границе тих поља, поступци за њихову провјеру и услови за добијање овлашћења за обављање тих поступака прописани су одговарајућим правилником. У овом поглављу дати су неки основни подаци из Правилника (Правилник о заштити од ЕМ поља до 300 GHz, „Службени гласник Републике Српске“, број: 99) у вези са електроенергетским објектима.

3.1 Правилник о заштити од електромагнетних поља до 300 GHz

Овим Правилником дефинишу се услови за изворе ЕМ поља, прописују се граничне вриједности излагања ЕМ пољима у подручјима повећане осјетљивости, професионалног излагања и јавним подручјима, поступци њиховог испитивања, те утврђивање услова за употребу извора ЕМ поља и начин вођења, као и садржај евиденције коју су корисници обавезни водити за изворе ЕМ поља.

Зависно од фреквентног опсега, основна ограничења постављају се на следеће величине

- густина магнетног флукса за 0 Hz,
- густина струје од 1 Hz до 10 MHz,
- специфична апсорбована снага од 100 kHz до 10 GHz,
- густина струје и специфична апсорбована снага од 100 kHz до 10 GHz,
- густина снаге од 10 GHz до 300 GHz.

У складу са Правилником о заштити од електромагнетних поља до 300 GHz (Службени гласник Републике Српске број 99/2019) потребно је да буду задовољени следећи услови:

$$\sum_{f=1kHz}^{1MHz} \frac{E_f}{E_{g,f}} + \sum_{f>1MHz}^{10MHz} \frac{E_f}{E_{g,1}} \leq 1 \quad (3.1)$$

$$\sum_{f=1kHz}^{1MHz} \frac{H_f}{H_{g,f}} + \sum_{f>1MHz}^{10MHz} \frac{H_f}{H_{g,1}} \leq 1 \quad (3.2)$$

гдје је:

E_f – ефективна вриједност јачине електричног поља у V/m на фреквенцији f ,

$E_{g,f}$ – гранична вриједност електричног поља у V/m на фреквенцији f ,

H_f – ефективна вриједност јачине магнетног поља у A/m на фреквенцији f ,

$H_{g,f}$ – гранична вриједност јачине магнетног поља у A/m на фреквенцији f .

4 УТИЦАЈ ЕМ ПОЉА НА ЧОВЈЕКА

Дјеловање електричних и магнетских поља веома ниских фреквенција на људски организам своди се на индуковање струје у тијелу. Због тога је основни параметар за ограничење нивоа поља у свим прописима из овог подручја управо густина индуковане струје. Код довољно високих нивоа поља индуковане струје у тијелу могу изазвати ефекте на нивоу ћелија и у нервном систему, те изазвати стимуланс ћелија нерва и мишића. Ти ефекти су познати и имају акутни карактер, тј. нестају након престанка изложености пољу. Постојећи прописи и препоруке за заштиту људи од ЕМ поља имају за циљ управо заштиту од ових акутних ефеката. Утицај ЕМ поља на људско здравље је био и још увек јесте предмет бројних научних истраживања. Без обзира на то, основно питање, да ли ЕМ поља којима су људи изложени изазивају штетне ефекте по људско здравље, још увијек нема дефинитиван одговор.

Многа спроведена истраживања не показују повезаност између изложености пољима и штетних посљедица, али повремено се широм свијета објављују резултати студија који сугеришу могућност постојања такве везе. Средином 2006. године, научни одбор Европске комисије SCENIHR (Научни одбор за нова и ново идентификована здравствена ризика) објавио је свој прелиминарни став о најновијим истраживањима о утицају ЕМ поља на људско здравље. Задатак SCENIHR-а био је континуирано пратити нове податке о процјени опасности по људско здравље и ажурирати претходно извјештавање одбора CSTEЕ (Научни одбор за токсичност, екотоксичност и животну средину) из 2001. године с обзиром на резултате нових истраживања спроведених у протеклом периоду. Врста ефекта које ЕМ поља имају на људе претежно зависи од фреквенције и интензитета; други фактори попут облика таласа такође могу бити значајни у одређеним ситуацијама. Нека поља узрокују стимулацију сензорних органа, нервних и мишићних влакана, док друга изазивају загријавање. У Директиви 2013/35/EU о ЕМ пољима, ефекти који се јављају услед загревања називају се термичким ефектима, док се сви остали ефекти називају нетермичким ефектима.

Важно је напоменути да сви ови ефекти показују праг испод којег нема ризика, и изложеност испод тог прага није на било који начин кумулативна. Ефекти који проистичу из изложености пролазне су природе, јер су ограничени на трајање изложености те ће престати или се смањити када изложеност престане. То значи да не постоје даљи ризици за здравље након што се изложеност заврши. Директни ефекти су промјене које се дешавају код особе као резултат излагања ЕМ пољу. Директива о ЕМ пољима не укључује дугорочне учинке изложености ЕМ пољима, јер тренутно не постоје добро утврђени научни докази о узрочној вези.

Начин на који ЕМ зрачење утиче на људе зависи од много фактора, од којих је најбитнија снага извора зрачења, док велики утицај има и фреквенција зрачења. С обзиром на интезитет апсорпције у људском тијелу, ЕМ зрачење можемо подијелити у четири групе:

- фреквенције од 100 kHz до 20 MHz код којих апсорпција опада са опадањем фреквенције, а знатна апсорпција се појављује у врату и ногама
- фреквенције опсега од око 20 MHz до 300 MHz код којих се релативно висока апсорпција јавља у читавом тијелу, а при резонанцији и знатно већа у подручју главе
- фреквенција из опсега од 300 MHz до неколико GHz при којој се јавља знатна локална неуниформна апсорпција

- фреквенције изнад 10 GHz при којима се апсорпција јавља, првенствено, на површини тијела.

Примарни утицај ЕМ зрачења на људско тијело је загријавање (термички ефекат). Изложеност ЕМ зрачењу већем од 10 mW/cm^2 може изазвати озбиљна оштећења људског ткива услед претјераног загријавања. У одређеним условима може да дође до мјерљивог загријевања ткива и при зрачењу чија се вриједност креће између 1 и 10 mW/cm^2 , али то не мора да изазове оштећење ткива.

Веома велики и различити број извора нејонизујућих зрачења у нашем окружењу, условио је доношење одговарајућих прописа и стандарда. У европским земљама постоји преко 130 закона, правилника, стандарда и препорука у области заштите од ЕМ зрачења. Од посебног је значаја препорука Савјета Европе од 12. јула 1999. број 1999/519/ЕС. У Србији је, нпр., усвајен Закон о заштити од нејонизујућих зрачења („Службени гласник РС”, бр. 36/09), којим су уређени услови и мјере заштите здравља људи и заштите животне средине од штетног дејства нејонизујућих зрачења у коришћењу извора нејонизујућих зрачења. На основу подзаконских аката дефинишу се, између осталог, извори нејонизујућих зрачења од посебног интереса, за које је прописана обавеза прибављања рјешења за коришћење.

5 МЈЕРЕЊЕ НФ МАГНЕТСКОГ ПОЉА

5.1 Методологија мјерења

Мјерење се спроводи у складу са важећим стандардним методама мјерења у зонама повећане изложености људи ЕМ пољима, а према процедури „PR13“ (Метода мјерења НФ зрачења на локацијама од значаја). Приликом испитивања мјерене су вриједности интензитета електричног поља и магнетне индукције на отвореном или у затвореном простору на предметној локацији. На основу техничких података, прво се ради процјена могућих мјерних тачака прије изласка на локацију, у лабораторијским условима. На основу процјене одређује се зона у којој је ниво ЕМ поља и магнетне индукције највећи и у којој ће се налазити мјерна тачка. Након одређивања мјерне тачке, мјерно мјесто се детаљно опише, означи на скици, фотографише постављени инструмент са антеном из минимално два правца у односу на извор зрачења и околину, те се приступа мјерењу. Потребно је испоштовати правилно постављање антене на непроводни треножац, те водити рачуна да испитивач буде удаљен од антене минимално 2 m, како би се избјегао утицај људског тијела на резултате мјерења. На свакој мјерној тачки (МТ) мјерење се врши на различитим висинама када се поље сматра неуједначеним; ниво електричног поља и магнетне индукције се мјери на три висине, односно 0,5 m, 1,0 m и 1,5 m изнад површине земље. Уколико се поље сматра уједначеним мјерење се врши само на висини од 1m.

5.1.1 Прорачун јачине електричног поља и магнетне индукције

Прорачун средње вриједности јачине електричног поља и магнетне индукције врши се према формулама:

$$E_{sr} \left[\frac{V}{m} \right] = \sqrt{\frac{E_{0,5m}^2 + E_{1m}^2 + E_{1,5m}^2}{3}} \quad (5.1)$$

$$B_{sr} [\mu T] = \sqrt{\frac{B_{0,5m}^2 + B_{1m}^2 + B_{1,5m}^2}{3}} \quad (5.2)$$

Средњи ниво електричног поља једнак је номиналној вриједности електричног поља $E_{nom}=E_{sr}$, јер не зависи од оптерећења електроенергетског објекта, док се номинална вриједност магнетне индукције израчунава по формули:

$$B_{nom} = B_{sr} * \frac{1}{\text{оптерећење}} \quad (5.3)$$

Јачина магнетног поља се рачуна по формули:

$$H \left[\frac{A}{m} \right] = \frac{B}{\eta} \quad (5.4)$$

гдје је η магнетна пермеабилност.

5.2 Мјерна опрема

Приликом мјерења, у овом раду је кориштена сљедећа мјерна опрема (Табела I):

Табела I: Мјерна опрема

Изотропна антена:	Narda EHP50F, фреквентни опсег 0-400 kHz, радна темп. -20 до +50°C	Серијски број: 510WY90228,	Интерни број: KPLab005
Троножац:	Tripod, Non-Conductive, 1.65 m	-	Интерни број: KPLab004
ГПС позиционер	Magellan Triton 2000	-	Интерни број: KPLab011
Ласерски даљинометар	SNDWAY SW-800B, радна темп. 0-40°C	-	Интерни број: KPLab014
Мјерач темп. и влаж. ваздуха	Extech RHT 510, радна темп. 0-50°C	-	Интерни број: KPLab008
Широкопојасни мјерач	Нарда NBM-550	s/n H-1503	Интерни број: KPLab017

5.3 Мјерна несигурност

Процјена мјерне несигурности извршена је на основу интерног документа UP 07 (Упутство за прорачун мјерне несигурности). Проширена мјерна несигурност магнетног поља износи 8,42 % (0,70 dB), а електричног поља износи 11,25% (0,92 dB).

6 РЕЗУЛТАТИ МЈЕРЕЊА

У овом дијелу рада приказани су резултати мјерења нивоа нејонизујућег зрачења на далеководу 110 kV Нова Топола-Градишка на локацији XVI крајишке бригаде 31. Мјерења су вршена 21.12.2022. године од стране фирме „Коминг-про“. Подаци о извору зрачења:

Назив извора зрачења: ДАЛЕКОВОД 110kV НОВА ТОПОЛА-ГРАДИШКА
Локација: XVI крајишке бригаде 31
ГПС координате: 45° 08' 30.59" N 17° 15' 41.03"
Надморска висина: 88 m
Влажност ваздуха: 52%
Вријеме мјерења: 11:10-12:25
Временски услови: облачно/сунчано
Температура: 10 °C
Метода мјерења (PR 13): BAS IEC 61786:2010, BAS EN 62110:2015

6.1 Опис локације и мјерних тачака

Далековод 110 kV Нова Топола-Градишка се налази на локацији XVI крајишке бригаде, а мјерење је вршено код броја 31 у дворишту пословног објекта техничког прегледа Конекс д.о.о. (Слика 7.1).



Слика 6.1: Мјерна локација

Мјерна тачка 1 налази се на приступном путу за технички преглед возила, помјерено у односу на воде, на 14,4 m од улаза у објекат и 12,5 m од ограде објекта, а висина жица далековод је 10,3 m (Слика 7.2). Мјерна тачка 2 налази се на удаљености 19,1 m од улаза у објекат техничког прелаза, од ограде удаљена 12,5 m а висина жица је 16,3 m (Слика 7.3). Мјерна тачка 3 налази се на удаљености 22,9 m од објекта и 12,5 m од ограде, док висина вода износи 19,4 m (Слика 7.4). Мјерна тачка 4 налази се на удаљености 12,5 m од објекта и 5,7 m од ограде, висина вода 12,3 m (Слика 7.5).



Слика 6.2: Мјерна тачка 1



Слика 6.3: Мјерна тачка 2



Слика 6.4: Мјерна тачка 3



Слика 6.5: Мјерна тачка 4

Параметри подешавања мјерног инструмента, приликом мјерења, су:

	Електрично поље	Магнетна индукција
Вријеме усредњавања (min)	6	6
Опсег мјерења (Hz)	2000	2000
Тип резултата	Highest peak	Highest peak

6.2 Прорачун резултата на основу мјерења

Референтни гранични нивои за фреквенцију 50 Hz за електрично поље Е су:

- $E_{gr} = 2.000 \text{ V/m}$ за подручје повећане осјетљивости
- $E_{gr} = 5.000 \text{ V/m}$ за подручје професионалног излагања

Референтни гранични нивои за фреквенцију 50 Hz за магнетну индукцију В су:

- $B_{gr} = 40 \text{ } \mu\text{T}$ за подручје повећане осјетљивости
- $B_{gr} = 100 \text{ } \mu\text{T}$ подручје професионалног излагања

Мјерење је спроведено на укупно 4 мјерне тачке.

У Табели II приказани су резултати мјерења електричног поља са граничним вриједностима и прорачуном коефицијента изложености за подручје повећане осјетљивости (општу популацију).

Табела II: Измјерене вриједности електричног поља за општу популацију

Мјерно мјесто	Висина мјерења	Измјерене вриједности E_i (V/m)	E_{sr} (V/m)	Мјерна несиг. $\pm \Delta E_{sr}$ (V/m)	Реф. гранични ниво E_{gr} (V/m)	Коеф. излож. $n=E_{sr}/E_{gr}$
MT01	E 0,5 m	3.177,40	2.604,26	292,98	2.000	1,3021
	E 1,0 m	2.930,90				
	E 1,5 m	1.288,60				
MT02	E 0,5 m	2.138,70	1.489,43	167,56	2.000	0,7447
	E 1,0 m	1.019,80				
	E 1,5 m	1.020,40				
MT03	E 0,5 m	1.542,40	1.345,77	151,4	2.000	0,6729
	E 1,0 m	1.606,70				
	E 1,5 m	687,6				
MT04	E 0,5 m	743,2	962,45	108,28	2.000	0,4812
	E 1,0 m	620,6				
	E 1,5 m	1357				

У Табели III приказани су резултати мјерења магнетне индукције и коефицијент изложености по мјерним тачкама за подручје повећане осјетљивости (општу популацију).

Табела III: Измјерене вриједности магнетне индукције за општу популацију

Мјерно мјесто	Висина мјерења	Измјерене вријед. B_i (μT)	B_{sr} (μT)	Мјерна несиг. $\pm \Delta B_{sr}$ (μT)	Реф. гранични ниво B_{gr} (μT)	Коеф. излож. $n=B_{sr}/B_{gr}$
MT01	B 0,5 m	1,1843	1,28	0,1074	40	0,0319
	B 1,0 m	1,2597				
	B 1,5 m	1,3742				
MT02	B 0,5 m	1,3671	1,46	0,1227	40	0,0364
	B 1,0 m	1,4135				
	B 1,5 m	1,5809				
MT03	B 0,5 m	1,0822	1,15	0,0969	40	0,0288
	B 1,0 m	1,1514				
	B 1,5 m	1,2139				
MT04	B 0,5 m	1,4899	1,4	0,1179	40	0,035
	B 1,0 m	1,369				
	B 1,5 m	1,3388				

У Табели IV приказани су резултати мјерења магнетне индукције, са прорачунатом номиналном вриједности магнетне индукције уколико би вод био максимално оптерећен и коефицијент изложености по мјерним тачкама за подручје повећане осјетљивости (општу популацију).

Табела IV: Прорачун номиналне вриједности магнетне индукције под максималним оптерећењем вода за општу популацију

Мјерно мјесто	Висина мјерења	Измјерене вриједности B_i (μT)	B_{sr} (μT)	Реф. гранични ниво B_{gr} (μT)	B номинално (μT)	Коеф. излож. $n=B_{nom}/B_{gr}$
MT01	B 0,5 m	1,1843	1,28	40	1,99	0,0498
	B 1,0 m	1,2597				
	B 1,5 m	1,3742				
MT02	B 0,5 m	1,3671	1,46	40	2,28	0,0569
	B 1,0 m	1,4135				
	B 1,5 m	1,5809				
MT03	B 0,5 m	1,0822	1,15	40	1,80	0,0449
	B 1,0 m	1,1514				
	B 1,5 m	1,2139				
MT04	B 0,5 m	1,4899	1,4	40	2,19	0,0547
	B 1,0 m	1,369				
	B 1,5 m	1,3388				

У табели V приказани су резултати мјерења електричног поља са граничним вриједностима и прорачуном коефицијента изложености за подручје професионалне изложености.

Табела V: Измјерене вриједности електричног поља за подручје професионалне изложености

Мјерно мјесто	Висина мјерења	Измјерене вријед. E_i (V/m)	E_{sr} (V/m)	Мјерна несиг. $\pm \Delta E_{sr}$ (V/m)	Реф, гранични ниво E_{gr} (V/m)	Коеф. излож. $n=E_{sr}/E_{gr}$
MT01	E 0,5 m	3.177,40	2.604,26	292,98	5.000	0,5209
	E 1,0 m	2.930,90				
	E 1,5 m	1.288,60				
MT02	E 0,5 m	2.138,70	1.489,43	167,56	5.000	0,2979
	E 1,0 m	1.019,80				
	E 1,5 m	1.020,40				
MT03	E 0,5 m	1.542,40	1.345,77	151,4	5.000	0,2692
	E 1,0 m	1.606,70				
	E 1,5 m	687,6				
MT04	E 0,5 m	743,2	962,45	108,28	5.000	0,1925
	E 1,0 m	620,6				
	E 1,5 m	1357				

У Табели VI приказани су резултати мјерења магнетне индукције и коефицијент изложености по мјерним тачкама за подручје професионалне изложености.

Табела VI: Измјерене вриједности магнетне индукције за подручје професионалне изложености

Мјерно мјесто	Висина мјерења	Измјерене вриједности B_i (μT)	B_{sr} (μT)	Мјерна несигурност $\pm \Delta B_{sr}$ (μT)	Реф. гранични ниво (μT)	Коеф. излож. $n = B_{sr}/B_{gr}$
MT01	B 0,5 m	1,1843	1,28	0,1074	100	0,0128
	B 1,0 m	1,2597				
	B 1,5 m	1,3742				
MT02	B 0,5 m	1,3671	1,46	0,1227	100	0,0146
	B 1,0 m	1,4135				
	B 1,5 m	1,5809				
MT03	B 0,5 m	1,0822	1,15	0,0969	100	0,0115
	B 1,0 m	1,1514				
	B 1,5 m	1,2139				
MT04	B 0,5 m	1,4899	1,4	0,1179	100	0,0140
	B 1,0 m	1,369				
	B 1,5 m	1,3388				

У табели VII приказани су резултати мјерења магнетне индукције, са прорачуном номиналне вриједности магнетне индукције уколико би вод био максимално оптерећен и коефицијент изложености по мјерним тачкама за подручје професионалне изложености.

Табела VII: Прорачун номиналне вриједности магнетне индукције под максималним оптерећењем вода за подручје професионалне изложености

Мјерно мјесто	Висина мјерења	Измјерене вриједности B_i (μT)	B_{sr} (μT)	Реф. гранични ниво B_{gr} (μT)	В номинално (μT)	Коеф. излож. $n = B_{nom}/B_{gr}$
MT01	B 0,5 m	1,1843	1,28	100	1,99	0,0199
	B 1,0 m	1,2597				
	B 1,5 m	1,3742				
MT02	B 0,5 m	1,3671	1,46	100	2,28	0,0228
	B 1,0 m	1,4135				
	B 1,5 m	1,5809				
MT03	B 0,5 m	1,0822	1,15	100	1,80	0,0180
	B 1,0 m	1,1514				
	B 1,5 m	1,2139				
MT04	B 0,5 m	1,4899	1,4	100	2,19	0,0219
	B 1,0 m	1,369				
	B 1,5 m	1,3388				

Треба напоменути да је В номинално израчунато под претпоставком да систем ради са оптерећењем од 64%.

Овај податак се добија од оператера „call“ центра власника извора зрачења у моменту мјерења. За потребе овог извјештаја податак је узет произвољно, без контактирања „call“ центра, јер се ради о извјештају за потребе оцјењивања.

6.3 Закључак мјерења

На основу добијених резултата мјерења у најнеповољнијем случају на локацији ТС ДАЛЕКОВОДУ 110 kV НОВА ТОПОЛА-ГРАДИШКА, на локацији XVI крајишке бригаде 31, те извршене процјене изложености ЕМ поља, може се закључити да:

- измјерена вриједност у мјерној тачки МТ1 не задовољава граничне вриједности за подручје повећане осјетљивости, него задовољава граничне вриједности за подручје професионалне изложености (у складу са тачком 16. став 2. Правилника о заштити од електромагнетних поља до 300 GHz Службени гласник Републике Српске број 99/2019),
- измјерене вриједности у мјереним тачкама МТ2, МТ3 и МТ4 задовољавају услове у складу са Правилником о заштити од електромагнетних поља од 300 GHz (Службени гласник Републике Српске број 99/2019 за подручје повећане осјетљивости (општу популацију)),
- извршено испитивање односи се на дату локацију, фреквентне опсеге, период у коме су вршени и тренутни просторни распоред објеката.

7 ЗАКЉУЧАК

У испитивању НФ поља далековода потребно је пажљиво балансирати између потребе за ефикасним преносом електричне енергије и заштите животне средине, те здравља професионалног особља и опште популације. Кроз анализу доступне литературе, метода истраживања и резултата, овај рад покушао је придонијети бољем разумијевању овог феномена. Иако постоје одређене контраверзе и непотпуности у постојећим сазнањима о утицају ниско-фреквентног зрачења, евидентно је да се ради о сложенем проблему који захтијева даље интердисциплинарно проучавање. Технички аспекти далековода и њихова веза са НФ зрачењем захтијевају додатна истраживања како би се боље разумјели извори и механизми емисије овог зрачења. Истовремено, потребно је успоставити прецизне смјернице и стандарде за ограничавање изложености нискофреквентном зрачењу, узимајући у обзир различите факторе и потребе локалне заједнице. Такође, значајна пажња мора се посветити медицинским, биолошким и еколошким аспектима, како би се боље разумјели могући утицаји на људско здравље и околину. И даље остаје изазов да се пронађе равнотежа између енергетских потреба друштва и заштите околине. Унапређење технологије, примјена нових материјала и имплементација иновативних дизајнерских рјешења могу допринијети смањењу нискофреквентног зрачења далековода. Осим тога, едукација јавности и транспарентност у комуникацији између стручњака, регулатора и грађана кључни су елементи у постизању одрживе равнотеже између техничких и еколошких циљева. Стога, потребно је даље истраживање и ангажман заједнице како би се осигурало дугорочно одрживо управљање електроенергетском инфраструктуром. Иако зрачење далековода изазива одређене забринутости у вези са здрављем, већина научних доказа не подржава јасну повезаност с озбиљним здравственим проблемима. Међутим, разумно је предузети мјере предострожности како би се смањила изложеност, посебно у близини високонапонских линија (далековода).

8 ЛИТЕРАТУРА

- [1] ИЕС 61786-1-2013, Мјерење једносмјерних магнетних, наизмјеничних магнетних и наизмјеничних електричних поља од 1 Hz до 100 kHz у вези са излагањем људи, Дио 1: Захтјеви за мјерне инструменте.
- [2] ИЕС 61786-2-2014, Мјерење једносмјерних магнетних, наизмјеничних магнетних и наизмјеничних електричних поља од 1 Hz до 100 kHz у вези са излагањем људи, Дио 2: Основни стандард за мјерења.
- [3] ИЕС 62110-2009, Нивои електричних и магнетних поља које генеришу системи наизмјеничне струје –Процедуре мјерења у вези са изложеношћу јавности.
- [4] Закон о заштити од нејонизујућих зрачења („Службени гласник Републике Српске“, број: 02/05).
- [5] Правилник о заштити од електромагнетних поља до 300 GHz, („Службени гласник Републике Српске“, број: 99).
- [6] Извјештај о испитивању нивоа нејонизујућег зрачења на далеководу 110kV Нова Топола-Градишка на локацији ТП Конекс д.о.о. (Број извјештаја: Аудит-2022-НФ, Датум: 23.12.2022.).