

Нада Цуровић¹, Иван Миланов², Маја Грбић³, Александар Павловић⁴

Анализа утицаја преносних надземних водова са специјалним проводницима на животну средину



¹ Акционарско друштво „Електромрежа Србије” Београд*

² Привредно друштво „Електроисток – Пројектни биро” Београд

³ Електротехнички институт „Никола Тесла” акционарско друштво Београд, Универзитет у Београду

⁴ Електротехнички институт „Никола Тесла” акционарско друштво Београд, Универзитет у Београду

<https://doi.org/10.18485/epij.2024.2.2.4>

Прегледни рад

Кључне поруке

- Примена специјалних проводника на постојећим водовима омогућава повећање капацитета преноса електричне енергије без изградње нових коридора
- Пре замене фазног проводника специјалним проводником неопходно је анализирати утицај на животну средину и то пре свега утицај на нивое електромагнетног поља
- Замена проводника се може спровести само уколико су вредности електромагнетног поља у дозвољеним границама

Кратак садржај

Последњих деценија присутан је стални тренд раста неприхватљивости високонапонских водова за становништво у окружењу њихових коридора. У тренутку изузетног пораста захтева за електричном енергијом, а у оваквој ситуацији, неминовно се траже решења у повећању капацитета на постојећим водовима. Специјални проводници су откриће за инвеститоре, преносне системе који се често налазе у безизлазним ситуацијама, када није могуће изградити нове коридоре, а закони им налажу обавезу обезбеђења поузданог и безбедног преноса електричне енергије. Како је решење било жељено очекивано, имплементација је масовно почела а да није адекватно испраћена стандардима и техничком регулативом. Опрезност примене, и свесност специфичности, препуштена је донекле професионалној одговорности пројектаната и инвеститора. Рад се бави применом специјалних проводника на постојећим водовима, са аспекта утицаја на животну средину који ови пројекти носе. У раду је посебно анализиран утицај водова са специјалним проводницима на животну средину са аспекта електромагнетног поља. Посебан осврт је дат на повећање јачине магнетног поља, као директне последице повећања јачине струје. У раду је сагледана законско-техничка регулатива која код нас прати ове пројекте. Указује се и на недостатак хармонизације прописа, који даје могућности да се ови пројекти реализују без примене процедура процене утицаја на животну средину, јер се спроводе кроз пројекте адаптације. Такође се дају предлози смерница и унапређења која се могу унети у регулативу како би се повећала контрола квалитета ових пројеката, којих ће свакако бити све више у реализацији. Изузетно је важно да се у наредном периоду успостави контрола, посебно у смислу мониторинга повећања јачине магнетног поља, пошто већ сада постоје високонапонски водови који нису власништво државних енергетских субјеката. Међутим, без обзира на власништво, јако је важно радити и на повећању еколошке одговорности инжењерског сектора у електроенергетици, јер је то једини сигуран начин да се обезбеди развој енергетских објеката који су хармонизовани са окружењем, и минимално ремете животну средину.

Кључне речи

Регулатива, специјални проводници, утицај на животну средину

Напомена:

Овај чланак је проширена, унапређена и додатно рецензирана верзија рада „Аспекти утицаја далековода на животну средину приликом примене специјалних проводника“, награђеног у СТК-ЦЗ Перформансе заштите животне средине, на 36. Саветовању CIGRE Србија, 22-26. маја 2023.

Примљено: 29. јул 2024. Рецензирано: 7. август 2024.

Измењено: 20. август 2024. Одобрено: 21. август 2024.

*Кореспондирајући аутор: Нада Цуровић, nada.curovic@ems.rs

1. УВОД

Нове технологије за инфраструктурне системе увек представљају изазов, пре свега инжењерски. Осетљива је граница између устаљених, проверених параметара, који гарантују поузданост и безбедност енергетског система, и стања инертности система које увек може да спречи унапређења и бенефите које нове технологије могу донети. Никада није једноставно имплементирати иновације у примарне инфраструктурне системе. Међутим, висок степен контроле и анализа свих потенцијалних недостатака, уз перманентни мониторинг, треба да служе да се омогући напредак система. Специјални проводници јесу велико унапређење за преносне системе. Иако је сама технологија ових материјала савладана и нема непознаница у вези са њом, перформансе и могућности заиста отварају нови поглед на проблеме и решења у преносу електричне енергије. Њихова примена је сасвим сигурно интензивно убрзана великим порастом захтева за електричном енергијом, уз додатну рестриктивну политику заштите животне средине која ограничава изградњу нових високонапонских елемената мреже (а у неким државама је и потпуно спречава).

Овај рад се, поред разматрања предности, више фокусира управо на анализу изазова и потенцијалних ограничења које употреба проводника нових технологија на далеководима доноси.

2. СПЕЦИЈАЛНИ ПРОВОДНИЦИ – ВРСТЕ И КАРАКТЕРИСТИКЕ

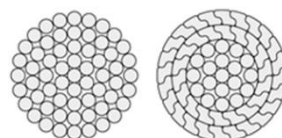
Како је реч о технологијама које су у овом тренутку у фази експанзивног развоја, а с обзиром на енергетску ситуацију, тако ће бити и дуги низ наредних година. Стога све што је представљено у наставку представља вероватно само део доступних типова специјалних проводника, који ће у наредним годинама, у погледу карактеристика, можда бити и превазиђени.

Огроман је број брендова и типова који су расположиви, тако да ће се приказ у овом раду задржати на различитим технологијама и истицању специфичности које свака носи. Основни улазни задатак за конструкторе нових проводника био је да се са истим силама затезања на конструкцијама стубова омогући знатно већа преносна моћ проводника. То даје могућност да се без нове градње и нових заузећа простора увећа капацитет преносног система. Оно што није био основни фокус, а појавио се као непланирани бенефит и значајан је за наше просторе (где имамо проблема са тзв. подграђеношћу траса далековаода и нелегалном градњом у њиховим коридорима), представља нешто мањи угиб ланчанице проводника код појединих технологија, што обезбеђује и бољи однос далековаода са простором.

Приказани су груписани типови проводника по технолошким групама а у складу са примењеним технологијама или сличностима у карактеристикама [1], [2], [3], [4], [5].

2.1 Проводници типа AAAC (All Aluminium Alloy Conductor)

Проводници типа AAAC (Слика 1) представљају једно једноставније решење класичног проводника код којег су све жице од алуминијумске легуре. Имају угиб већи од постојећег проводника, па се могу евентуално применити само тамо где постоје резерве у сигурносним висинама. Могу у некој мери да задовоље захтевано струјно оптерећење (30% веће од проводника типа ACSR), али при максималној радној температури проводника. Угиб ових проводника је чак и већи него угиб постојећег, али њихова цена је доста мања у поређењу са осталим специјалним проводницима.



Слика 1. Проводници типа AAAC

2.2 Проводници типа ACSS/TW (Aluminum Conductor Steel Supported) и ACCR (Aluminum Conductor Composite Reinforced)

Ови проводници, међусобно поређени, нису истих механичких карактеристика, али чине једну подгрупу, јер имају могућност рада на веома високим температурама. Реч је о поузданим типовима проводника који се највише користе у Северној Америци, за повећање преносне моћи. С обзиром на то да им је угиб једнак угибу постојећег проводника, они се могу применити само у распонима где су сигурносне висине у прописаним границама и где не очекујемо потребе за повећањем сигурносних висина.

ACSS проводници се састоје од комплетно жарених жица Al 1350-0, при чему је челично језгро израђено од челика стандардне или велике чврстоће. ACCR је нехомогени проводник састављен од високотемпературних ојачаних жица од легура алуминијума и цирконијума (Al-Zr) и специјалног ојачаног језгра, који знатно повећавају чврстоћу проводника.

Проводници ACSS су нешто скупљи од AAAC проводника, али омогућавају рад на знатно вишим температурама, с тим да се због већег угиба могу применити само у случају да нису угрожене сигурносне удаљености.

Проводници ознаке ACCR такође раде на веома високим температурама, па се преносна моћ вода може повећати и дупло, с тим да је њихов угиб једнак или нешто мањи од угиба постојећег проводника, али су скупљи од осталих анализираних проводника.



Слика 2. Проводник типа ACSS

2.3 Проводници типа INVAR (TACIR/TAL/HACIN) (Thermal-resistant Aluminum-alloy Conductors, Aluminum-clad Invar Reinforced)

Проводници TACSR имају исту конструкцију као и класични проводници Al/Č са поцинкованим челичним жицама у језгру и жицама од (Z)TAL (термоотпорне легуре алуминијума са додатком цирконијума) у проводном слоју. За разлику од класичних проводника, легуре алуминијума примењене у специјалном проводнику имају нешто већи електрични отпор од обичног алуминијума. Проводници типа INVAR имају конвенционалну конструкцију идентичну класичним проводницима, односно TACSR проводницима, с тим да иновације у искоришћењу материјала омогућавају рад проводника на високим температурама.

Угиб овог проводника је такође приближно једнак угибу постојећег проводника.

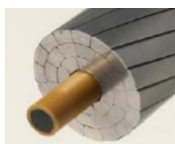
Проводници са INVAR језгром (Слика 3) имају одређене предности у поређењу са осталим проводницима. По цени су једнаки или нешто јефтинији него ACCC и ACFR проводници, с тим да је угиб приближно једнак угибу постојећег проводника. Технологија израде ових проводника је развијана у Јапану још од шездесетих година прошлог века, а у Европи су у експлоатацији од 1980. године, па се може рећи да су у дужем периоду заступљени у преносним системима и да су добро познате њихове могућности током употребе.



Слика 3. Проводник типа INVAR

2.4 Проводници типа ACCC (Aluminum Conductor Composite Core)

Проводнике ACCC (Слика 4) карактерише лако и јако хибридно композитно језгро око којег су постављене жице од алуминијума (Al), с тим да је број Al жица увећан за око 25%. Композитно језгро малих димензија и повећане чврстоће, састављено од угљених и стаклених влакана са специјалним полимерима, обезбеђује знатне предности проводницима ACCC и то: удвостручавање преносне моћи постојећих далековада уз елиминисање велике зависности угиба од температуре, већу проводност, мање вибрације, примену на великим распонима, као и елиминисање биметалне корозије. Ови проводници се користе за рад при температурама и до 200°C са веома малим повећањем угиба које не зависи од термичког издужења алуминијума.



Слика 4. Проводник типа ACCC

2.5 Проводници типа ACFR (Aluminum Conductor Fiber Reinforced)

Проводници типа ACFR (Слика 5) такође спадају у тзв. проводнике HTLS (High Temperature Low Sag). Ови проводници повећавају преносну моћ далековада захваљујући карактеристици рада на високим температурама а без додатног повећања угиба. Структура је слична класичном проводнику ACSR (Al/Č), при чему је уместо поужаног челичног језгра примењено језгро са жицама од карбонских влакана у комбинацији са епоксидном смолом. Спољни слој је или од тврдо вучених жица од алуминијума, као код проводника ACSR, или од термички отпорних жица легура Al-Zr или од термички отпорних жарених жица од алуминијума.

Проводници типа ACCC и ACFR су резултат новијих технологија, па се не може тачно потврдити њихово понашање током експлоатације у дужем периоду. Углавном, они су нешто јефтиније решење него проводници ACCR, имају знатно повољније угибе у односу на остале разматране проводнике, али је начин монтаже нешто сложенији. Ово је нарочито изражено код проводника ACCC код којих, због нееластичног и „осетљивог” језгра, треба посебну пажњу посветити фази развлачења и савијања проводника, као и приликом компресовања и настављања у стезаљкама, због додатних елемената у стезаљкама.



Слика 5. Проводник типа ACFR

При реализацији сваког појединачног пројекта морају се анализирати специфичне околности енергетских захтева на воду, техничких карактеристика далековада и посебно квалитета челичне конструкције стубова, али и окружења и стања у коридору, тј. објеката са којима далековод коегзистира. Затим долазе на ред и питања оптимизације, расположивих буџета и исплативости, уз која се прате и карактеристике изводљивости, проблеми монтаже, али и одржавања и могућности мониторинга. Све у свему, постоји јако велики број критеријума који ће утицати на избор једног типа проводника као оптималног решења за одређени вод. Свакако, најбољег избора нема. Сваки далековод и свака ситуација, коју чине сви наведени параметри, одредиће и избор. Генерално посматрано, а узимајући у обзир каталожне карактеристике проводника, али и искуства која сада већ постоје у земљи и окружењу, у Табели I дат је компаративни преглед основних карактеристика. Оцене + и – дате су као описна вредност унапређења одређене карактеристике. У том смислу, нпр., оцена + за угиб проводника нема значење да је угиб повећан, већ да је унапређена карактеристика и угиб смањен.

Табела I Компарација карактеристика различитих типова проводника [3]

Карактеристике/Тип проводника	Међусобно поређење карактеристика разматраних проводника					
	1	2	3	4	5	6
	AAAC	ACSS	ACCR	INVAR	ACCC	ACFR
Пречник у односу на постојеће проводнике	+	+	+	+	+	+
Струјно оптерећење	-/+	+	+	+	+	+
Температура проводника	-	+	+	+	+	+
Угиб проводника	-	-	-/+	-/+	++	++
Коефицијент сигурности у односу на ЗУ	+	+	+	+	+	+
Могућност повећања напрезања	-	-	-/+	-	-	-/+
Монтажа проводника	+	+	+	+	-/+	-/+
Цена	+	+	-	-/+	-/+	-/+

3. ПРЕДНОСТИ И ИЗАЗОВИ ДАЉЕГ РАЗВОЈА ИЗ ИСКУСТВА СА РЕАЛИЗОВАНИХ ПРОЈЕКТАТА

Овај рад има за циљ да поред евидентних предности ипак да критички осврт на изазове и одређена ограничења и карактеристике на које се додатно мора обратити пажња при доношењу одлука о избору нових врста проводника.

Можда највећи проблем у њиховој примени представља неадекватна регулатива, тј. технички стандарди који нису испратили развој ни у једном сегменту (фабричка пријемна испитивања, технички нормативи за пројектовање, дефинисање сигурносних растојања у простору, мониторинг и експлоатација итд.) [6], [7], [8].

Сваки избор који је другачији од типског елемента увек је тешко применити у преносном систему. Некад је разлог томе и недовољна отвореност за иновације и уобичајена инертност великих система, али је некада у питању и оправдано инсистирање на типизацији која доноси квалитет у одржавању и раду, али и доступност неопходне опреме и материјала.

Предности и изазови су сагледани кроз животни век објекта, тачније кроз три основне фазе у којима карактеристике имају важну улогу. Најпре фаза одабира и доношења одлуке о примени, затим фаза реализације кроз обезбеђење дозвола и монтажу проводника и на крају одржавање и мониторинг кроз експлоатацију објекта.

У Табели II дат је преглед предности и унапређења, као и изазова и ограничења.

Табела II Предности и унапређења наспрам изазова и ограничења у примени

ФАЗА	ПРЕДНОСТИ И УНАПРЕЂЕЊА	ИЗАЗОВИ И ОГРАНИЧЕЊА
ОДЛУКА	Преносна моћ проводника Укупна цена пројекта Брзина решавања нових захтева	Недовољна отвореност за иновације Инертност система Одступање од типизације Недостатак искустава и знања Превелика понуда и опасност нереалних очекивања
РЕАЛИЗАЦИЈА	Без урбанизма Без решавања имовине Нема нових коридора Брзина реализације Адаптација уместо реконструкције или нових коридора	Недостатак техничких стандарда Недостатак регулативе Инжењерска знања Зависност техничких одлука од инжењерске одговорности Специфичност монтажних радова Неадекватност дозвола (адаптација/реконструкција) Недостатак искустава Цене проводника
ЕКСПЛОАТАЦИЈА	Без нових коридора у одржавању	Непознанице везане за старење Зависност од експлоатационих услова Недостатак искустава Немогућност мониторинга Високе температуре проводника Повећано магнетно поље

Неминовно, и поред изазова који се морају превазилазити, ови проводници су и код нас нашли употребу у претходним годинама. Два су примера различитих услова и захтева где су у релативно брзом периоду довела до решења у складу са постављеним техничким условима. Најпре је изградња нових извора обновљиве енергије захтевала што је могуће бржу реализацију прикључних водова који ће обезбедити евакуацију произведене енергије. На пројекту прикључења ветроелектране (ВЕ) „Кошава” први пут је примењен проводник АССС на далеководу напонског нивоа 110 kV прикључно разводно постројење (ПРП) „Кошава” – трансформаторска станица (ТС) „Вршац 1”, у дужини од близу 6 km. Дobar пример брзе реализације и испуњења услова за повећањем преносне моћи од близу 30% представља замена проводника на деоницама далековода напонског нивоа 110 kV бр. 104/х ТС „Београд 5” – ТС „Инђија 2”. Неки од специјалних проводника ранијих генерација (легуре алуминијума) примењени су још пре близу 20 година на појединим деоницама у мрежи.

Оно што у свету упућује на примену која ће се максимално убрзавати све су строжи и строжи услови окружења и животне средине. Најдрастичнији пример је последња одлука холандске владе да у потпуности забрани ново повећање броја километара високонапонских надземних водова на територији земље (The Third Electricity Supply Structure Plan – Structuurschema Elektriciteitsvoorziening III) [9]. Ово за холандског оператора преносног система Tennet значи да уколико планирају да граде било који далековод, неки други у истој дужини морају да каблирају. У таквој ситуацији, и односу цена, специјални проводници ће сигурно бити примарно решење и ипак јефтиније.

4. АСПЕКТИ УТИЦАЈА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ

Када говоримо о утицајима високонапонских далековода на животну средину, релевантни параметри о којима треба водити рачуна су електрично и магнетно поље, проблеми функционалног и визуелно-естетског уклапања у окружење, а на напонском нивоу 400 kV и ефекат буке.

Није могуће обезбедити енергију а да не вршимо неки утицај на животну средину. Важно је увек бити у оквирима одрживог развоја, и никада не прећи границу „већа штета него корист”. У том смислу свака иновативна технологија у области развоја електроенергетских система мора проћи квалитетну процену утицаја на животну средину.

Уколико се сагледају претходно изнети основни утицаји водова на животну средину, али и сама технологија проводника, може се закључити да у случају замене стандардних проводника на водовима специјалним проводницима два параметра заслужују посебан осврт. То је пре свега магнетно поље, које услед значајног повећања јачине струје и задржавања положаја (висина проводника, исти стубови) свакако постаје значајно веће. Други параметар је температура проводника, која за одређене врсте иде и преко 200°C.

4.1 Магнетно поље

Иако у случају далековода у Србији магнетно поље није ограничавајући фактор, и у редовном раду далековода се и не приближава дозвољеним границама, ова врста утицаја постаје јавно све значајнија и тема је многих полемика и преиспитивања. То је разлог сталних нових ограничења која се намећу и која постају понекад заиста тешко остварива. Нпр. пројекат Wintrack, Хар – захтев је био да се коридор утицаја магнетног поља сузи за више од 60%. Међутим, забринутост јавности је и разлог што се активно и даље раде студије. Једна од заиста озбиљнијих и важнијих студија је и студија „Motor Neuron Disease Risk and Magnetic Field Exposures”. Објављена студија је рађена са подацима за период 1987–2018, из електроенергетског сектора УК. Обухватила је 38.000 запослених у пуном радном времену изложених магнетном пољу на радном месту. Није доказана повезаност присуства магнетног поља и повећања смртности и оболевања запослених.

Међутим, без обзира на ове чињенице и дозвољене границе магнетног поља у зонама повећане осетљивости од 40 μT у Србији, свакако је евидентно да применом специјалних проводника говоримо и о повећању магнетног поља у коридору водова.

У наставку је анализиран пример далековода напонског нивоа 110 kV бр. 104/х ТС „Београд 5” – ТС „Инђија 2” код кога је извршена замена фазног проводника специјалним проводником.

Предмет урађене анализе био је избор новог проводника веће преносне моћи који би се уградио на постојећем далеководу бр. 104/х, а у циљу обезбеђења сигурнијег и квалитетнијег снабдевања великог броја нових потрошача на подручју у чијој близини пролази траса предметног далековода.

Пројектним задатком је захтевано да струјно оптерећење новог проводника буде минимално 29% веће од вредности постојећег проводника типа Al/C 240/40 mm², односно да вредност дозвољене погонске струје буде око 737 A (у летњем периоду) или око 1030 A (у зимском периоду) према TU-DV-04 EMS.

Пошто су постојећи стубови пројектовани за проводник Al/C 240/40 mm², како се не би повећало статичко оптерећење стубова, а ни постојећих портала 110 kV у крајњим ТС, анализирани су проводници који по механичким карактеристикама одговарају постојећем проводнику, а имају већу пропусну моћ и мањи угиб.

Разматрани проводници се могу сврстати у две групе, при чему би у првој групи били проводници који омогућавају већу преносну моћ, али уз задржавање истог угиба. То су проводници типа AAAC, ACSS и ACCR, док би у другој били проводници типа TACIR (TAL/HACIN), ACCC и ACFR који се могу сврстати потпуно у проводнике HTLS.

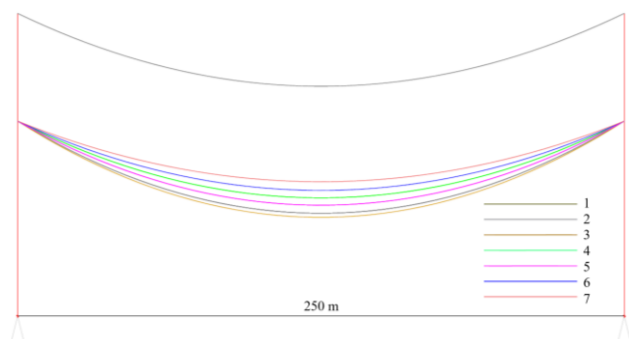
Класични проводници типа ACSR имају спољни слој од жица израђених од алуминијума или легура алуминијума који омогућавају рад на температурама максимално до 100°C јер на већим температурама спољни слој од алуминијума губи знатно на чврстоћи.

Алуминијумске жице имају већу проводност, али се чврстоћа комплетног проводника обезбеђује применом челичног језгра које поред тога има и мањи температурни коефицијент од алуминијума. Уобичајено је било да се и за језгро специјалних проводника користе материјали од челика, али већ од 2000. године започето је увођење композитних материјала за конструкцију језгра, као што су легуре челика (Инвар језгра), угљена влакна са термопластичним полимерима, као и алуминијум-оксидна једињења.

Проводници HTLS примењују се у случајевима када је радна температура проводника, при којој се остварује захтевана струја, већа од температура на којима раде типски проводници (75-80°C). Они се праве од термоотпорних жарених жица од алуминијума у спољњем слоју постављеном око језгра чија конструкција омогућава низак коефицијент температурног ширења. Језгро специјалног проводника треба да обезбеди већу чврстоћу, као и добар модул еластичности.

На уздужном профилу приказаном на Слици 6 су, за карактеристичан средњи распон предметног вода од 250 m, приказане ланчанице проводника из сваке анализираних групе, а како би се и визуелно сагледале разлике у угибима. Ознаке на Слици 6 имају следеће значење:

- 1 – ланчаница заштитног ужета AWg 126,1 mm² на +40°C, угиб 7,47 m;
- 2 – ланчаница постојећег фазног проводника Al/C 240/40 mm² на +80°C, угиб 9,46 m;
- 3 – ланчаница фазног проводника AAAC-Z324-2Z на +90°C, угиб 9,87 m;
- 4 – ланчаница фазног проводника ACCR-340-T16 Linnet 336 на +150°C, угиб 7,87 m;
- 5 – ланчаница фазног проводника 243-AT1/39-HACIN14SA на +100°C, угиб 8,63 m;
- 6 – ланчаница фазног проводника ACCC Casablanca на +115°C, угиб 7,11 m;
- 7 – ланчаница фазног проводника ACFR 213/28-FA-TT на +130°C, угиб 6,22 m.



Слика 6. Ланчанице за различите типове фазних проводника за типичан распон надземног вода 104/х

Предложени проводници типа ACCC, ACCR, ACFR и TAL/HACIN при мањим температурама од максималне радне (150°C ÷ 240°C) постижу захтевану преносну моћ од 1030 A. Код ACCC проводника се ова

вредност струје достиже при нешто нижим температурама него што је то случај код осталих проводника.

На основу урађене анализе може се закључити следеће:

– Проводници типа AAAC могу у некој мери да задовоље захтевано струјно оптерећење (30% веће од проводника типа Al/C 240/40 mm²), али при максималној радној температури проводника. Угиб ових проводника је чак и већи него угиб постојећег, али њихова цена је доста мања у поређењу са осталим проводницима.

– ACSS (ACSS/TW) проводници су нешто скупљи од AAAC проводника, али омогућавају рад на знатно већим температурама, с тим да се због већег угиба могу применити само у случају да нису угрожене сигурносне удаљености.

– Проводници ознаке ACCR такође раде на веома високим температурама, па се преносна моћ вода може повећати и дупло, с тим да је њихов угиб једнак или нешто мањи од угиба постојећег проводника, али су скупљи од осталих анализираних проводника.

– Проводници са INVAR језгром имају одређене предности у поређењу са осталим проводницима. По цени су једнаки или нешто јефтинији него ACCC и ACFR проводници, с тим да је угиб приближно једнак угибу постојећег проводника.

Резултати прорачуна очекиване јачине електричног поља и магнетске индукције које се могу јавити на траси анализираних надземних вода приказани су у Табели III. Прорачуни се врше дуж латералног профила (управно на осу далековода) на висини од 1,8 m изнад тла. Поређење резултата је извршено за исту минималну висину фазног проводника дуж распона (h_{min}) и за три различите вредности струје (I) које одговарају максималној вредности струје постојећег фазног проводника (Al/C 240/40 mm²) од 880 A, захтеваној струји од 1144 A, као и максималној струји анализираних проводника од 1580 A. Највеће вредности јачине електричног поља (E_{max}) и магнетне индукције (B_{max}) добијене дуж латералног профила за сваки анализирани случај дате су у Табели III. Може се закључити да се вредност магнетске индукције повећава са повећањем струје, па се за исту висину фазних проводника изнад земље, добија вредност која је за око 80% већа у односу на садашње стање.

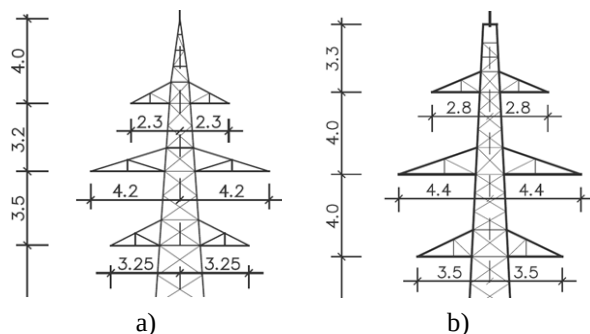
Табела III Резултати прорачуна јачине електричног поља и магнетне индукције

I [A]	880	1144	1580
h_{min} [m]	9,0	9,0	9,0
E_{max} [kV/m]	1,87	1,86	1,86
B_{max} [μT]	14,63	19,02	26,27

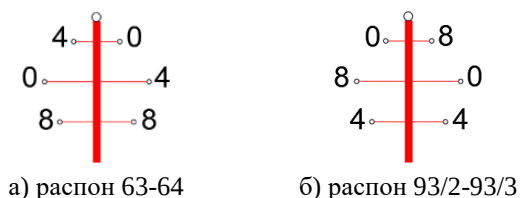
Како би се проверило да ли су нивои поља у прописаним границама, прорачуни се врше за зоне повећане осетљивости које се налазе дуж трасе далековода. Прорачуни се врше на различитим

висинама у зависности од висина објекта на анализираном распону.

Прорачуни су спроведени за распон 63-64. Стуб бр. 63 приказан је на Слици 7а, а стуб бр. 64 на Слици 7б. Распоред фазних проводника на овом распону је приказан на Слици 8а.



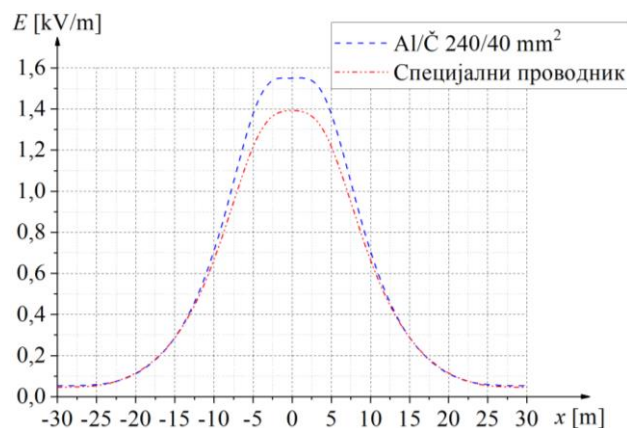
Слика 7. Стубови надземног вода



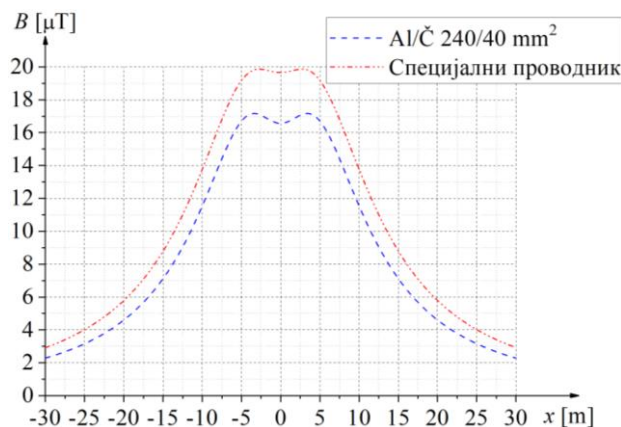
Слика 8. Редослед фаза надземног вода

Резултати прорачуна спроведени дуж латералног профила који се налази на распону 63-64, на висини од 6 m изнад тла, приказани су на сликама 9 и 10.

У циљу поређења резултата, прорачуни су извршени за постојећи проводник $Al/\check{C} 240/40 \text{ mm}^2$ и за специјални проводник. У оба случаја напон далековода (U) био је 123 kV, а вредност струје је била 880 A за $Al/\check{C} 240/40 \text{ mm}^2$, односно 1144 A за специјални проводник. У случају далековода са проводником $Al/\check{C} 240/40 \text{ mm}^2$ минимална висина фазног проводника изнад земље била је 12,3 m, док је у случају далековода са специјалним проводником износила 13,3 m.



Слика 9. Резултати прорачуна јачине електричног поља дуж латералног профила који се налази на распону 63-64, на висини од 6 m изнад тла ($U=123\text{kV}$)



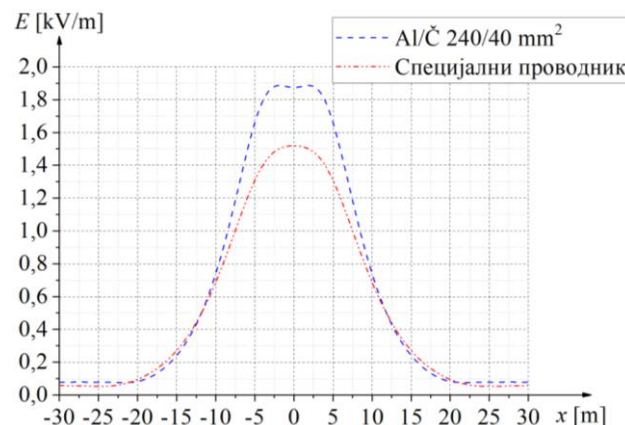
Слика 10. Резултати прорачуна магнетне индукције дуж латералног профила који се налази на распону 63-64, на висини од 6 m изнад тла ($I=880 \text{ A}$ за $Al/\check{C} 240/40 \text{ mm}^2$, $I=1144 \text{ A}$ за специјални проводник)

Висине од 6 m, односно 4,5 m изнад тла, за које су урађени описани прорачуни, односе се на висине најкритичнијих објекта у наведеним распонима.

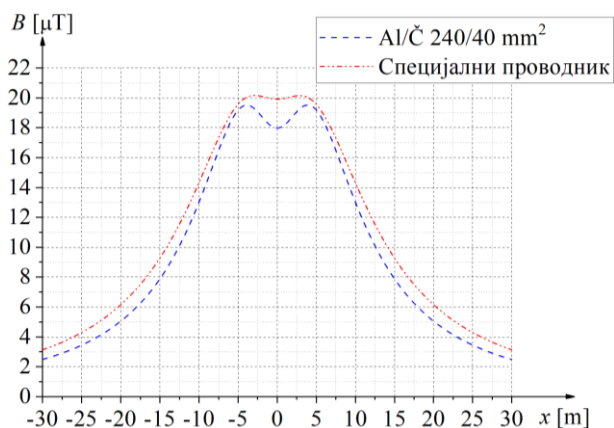
Пошто је угиб проводника мањи у случају специјалног проводника, вредности јачине електричног поља су такође ниже због веће висине фазних проводника. С друге стране, вредности магнетне индукције су веће у случају далековода са специјалним проводницима јер се повећавају вредности струја.

Прорачуни су спроведени и за распон 93/2-93/3. Стубови су приказани на Слици 7б, а редослед фаза на Слици 8б. Добијени резултати су приказани на сликама 11 и 12.

У случају надземног вода са проводником $Al/\check{C} 240/40 \text{ mm}^2$ минимална висина фазног проводника изнад земље износила је 9,9 m, док је код вода са специјалним проводником износила 11,8 m. Вредности јачине електричног поља су ниже у случају вода са специјалним проводницима због мањег угиба, односно веће висине фазних проводника. Вредности магнетне индукције су нешто веће у случају вода са специјалним проводницима због повећаних вредности струја.



Слика 11. Резултати прорачуна јачине електричног поља дуж латералног профила који се налази на распону 93/2-93/3, на висини од 4,5 m изнад тла ($U=123 \text{ kV}$)



Слика 12. Резултати прорачуна магнетне индукције дуж латералног профила који се налази на распону 93/2-93/3, на висини од 4,5 m изнад тла ($I = 880$ A за Al/Č 240/40 mm², $I = 1144$ A за специјални проводник)

Анализа спроведена за целу трасу далековода показала је да вредности електричног поља и магнетне индукције неће прекорачити граничне вредности од 2 kV/m и 40 μT које су важећом регулативом прописане за зоне повећане осетљивости, па се може извршити замена проводника Al/Č 240/40 mm² специјалним проводницима.

У случају овог далековода важно је истаћи да су добијене вредности електричног и магнетног поља такве да могу обезбедити реализацију пројекта и кроз зоне повећане осетљивости, будући да су израчунате вредности ниже од прописаних граница за зоне повећане осетљивости. Да би овај пројекат био правилно прихваћен од стране грађана, важно је истаћи да се након реализације пројекта очекује нижи ниво изложености људи електричном пољу. Са друге стране, ниво изложености магнетној индукцији ће се мало повећати. На овај начин се простор у близини далековода може искористити за неки потенцијални будући развој као и за различите намене. Овакви пројекти и техничка решења могу да обезбеде бољу прихватљивост и свакако су врхунска у инжењерској пракси пројектовања и изградње високонапонских водова. Упознавање шире јавности са побољшањима која је технологија специјалних проводника донела у области пројектовања и изградње далековода може позитивно утицати на њихову прихватљивост. Имплементацијом овог техничког решења омогућено је испуњење захтева за потребним преносним капацитетима без изградње потпуно новог коридора далековода.

Иако максималне могуће вредности јачине електричног и магнетног поља не прекорачују граничне, јасно је да када говоримо о зонама повећане осетљивости и уобичајеним вредностима у стамбеном окружењу ове вредности јесу знатно веће. У том смислу важно је пажљиво бирати проводнике и управљати пажљиво повећањем магнетног поља. Друштвена и инжењерска одговорност треба и може да буде и далеко изнад прописа. Ако водови пролазе

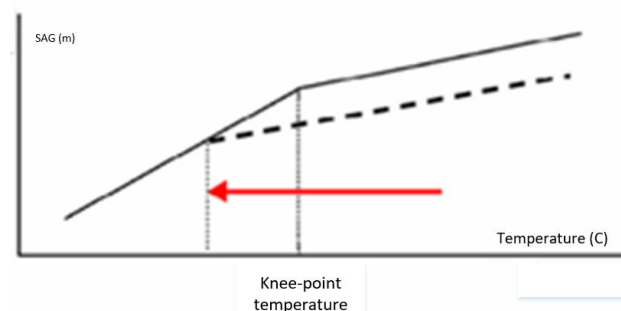
зонама где нема сталног боравка људи, ови проводници јесу добро решење, и директном заменом решавају захтеве и остварују постављене циљеве повећаног преноса енергије. Међутим, уколико то није случај, подизање висина стубова при примени ових проводника ипак треба да буде изабрано решење (реконструкција далековода). У таквим ситуацијама треба издвојити распоне у којима су објекти за стални боравак и на тим местима урадити подизање висина стубова. Резултати који се овом мером постижу у погледу смањења магнетног поља су увек најефикаснији.

4.2 Температура проводника

Запањујуће су карактеристике нових технологија у смислу температура које могу да постигну и задрже физичко-механичке карактеристике материјала. Ови проводници доносе удвостручавање преносне моћи постојећих далековода уз елиминисање велике зависности угиба од температуре. Тренутно расположиви подаци произвођача дају информације о проводницима који раде и до 250°C са веома малим повећањем угиба које не зависи од термичког издужења алуминијума. За монтажу ових проводника није потребна специјална опрема осим високотемпературних стезаљки проводника [10]. Високотемпературни проводници са карбонским језгрима имају већу цену од класичног проводника Al/Č (око шест пута скупљи).

На дијаграму на Слици 13 приказан је однос пораста температуре и угиба.

Проводници са композитним језгром, као и други нехомогени проводници имају особину познату као „knee-point” или температурна тачка прелома. Ово је температура изнад које високи температурни коефицијент алуминијума утиче на то да комплетно напрезање проводника преузима језгро [11], што значи да изнад ове тачке угиб проводника зависи само од издужења материјала језгра.



Слика 13. Однос пораста температуре и угиба на високотемпературним проводницима [12]

Легура алуминијума у овим проводницима омогућава да се у потпуности искористи својство нехомогених проводника да на високим температурама угиб зависи само од језгра чиме се добијају знатно мањи угиби на већим температурама. Карактеристика коју је важно напоменути су и губици

снаге који расту сразмерно квадрату струје која протиче кроз проводнике. Због већих струја које ови проводници омогућавају јасно је да су и губици већи. Сам прорачун укупних губитака захтева моделовање комплетног система, а с обзиром на то да се замена проводника примењује само на појединачним надземним водовима, повећање губитака на том једном малом делу целокупне мреже је занемарљиво.

Реално, сада имамо ситуацију да нам се на напонском нивоу 110 kV, који се сматра компатибилним са урбаним структурама, појављују проводници са температурама далековода већим него што је то било могуће у свим ранијим периодима за преносни систем. Проблем је што регулатива и правилници нису испратили нове технологије.

Уколико бисмо посматрали само нормативе:

– ове проводнике на температури 250°C бисмо могли монтирати на 3 m изнад слемена крова на воду 110 kV;

– ове активности монтаже специјалног проводника (адаптација ДВ-а), биле би потпуно ван области анализе закона и правилника о противпожарној заштити;

– за проводник на овој температури нема никаквих строжих услова за близину растиња и одржавање вегетационог коридора.

И као и за утицај електромагнетног поља, долази се до закључка да чист коридор охрабрује и потврђује исправност примене ових проводника. Међутим, уколико имамо објекте у коридору, морају се радити анализе сваког појединачног распона и у складу са условима доносити одлука. Генерално, и овде се као исправнији приступ препознаје примена стубова већих висина у распонима где има објекта. На тај начин се вероватно (као и код магнетног поља) мало успорава реализација, делимично и поскупљује пројекат, али се сасвим сигурно постижу ефекти усклађеног објекта са животном средином значајно већи него уколико би се ишло са граничним вредностима и директном применом норматива.

4.3 Законски оквир процеса реализације и предлози унапређења регулативе

Разлог зашто је посебно важно говорити о законском оквиру у коме се реализују ови пројекти јесте непотпуно хармонизован процес дефинисан законима у Србији. Замена проводника на далеководима, у складу са дефиницијама Закона о планирању и изградњи, спада у активност адаптације на постојећем објекту. За адаптације се издаје Решење о одобрењу радова, које не захтева ниједан документ из области процене утицаја на животну средину (Закон о процени утицаја на животну средину, Студија о процени утицаја на животну средину или Решење о неприступању изради Студије), па самим тим ни стручну оцену оптерећења животне средине (Закон о заштити од нејонизујућег зрачења, прорачун поља). Додатно, ни Закон о заштити од пожара не препознаје пројекте адаптације као пројекте од интереса за утврђивање услова и издавања сагласности институција. Овако посматрано, произилази да би неодговорни инвеститор могао прибавити дозволе и реализовати пројекат а да о свим утицајима о којима је

претходно било речено, апсолутно не води рачуна. Ни у једном тренутку, у складу са законима, не мора радити стручну оцену оптерећења животне средине, нити водити рачуна о температури проводника и окружењу, и може обезбедити легитимно решење о одобрењу радова адаптације, тј. замене проводника на високонапонском далеководу. Да ли ова ситуација треба да остане препуштена професионалној одговорности инвеститора и инжењера? Сигурно не. Потребно је иницирати одређене допуне и измене законских и подзаконских аката које би обезбедиле да ови пројекти прођу и обавезну процену утицаја на животну средину и доказивање исправности односа објекта и околине.

У наставку су дата сагледавања могућих измена националне законске регулативе:

- 1) Измена *Правилника о посебној врсти објекта и посебној врсти радова за које није потребно прибављати акт надлежног органа, као и врсти објекта који се граде, односно врсти радова који се изводе, на основу Решења о одобрењу за извођење радова, као и обиму и садржају и контроли техничке документације која се прилаже уз захтев и поступку који спроводи надлежни орган* (Сл. Гл. РС, 87/2021) – измена члана 3. став 25.
- 2) Најједноставнији начин би био ове активности прогласити реконструкцијом у Правилнику и тиме би се директно обезбедила и примена Закона о процени утицаја, Закона о заштити од нејонизујућег зрачења, али и Закона о заштити од пожара. Међутим, није сврсисходно то радити, пошто ни у једном сегменту замена проводника на истом напонском нивоу и без замене конструктивних елемената далековода ипак није реконструкција. Уколико бисмо то урадили, елиминисали бисмо или макар умањили једну важну предност ових пројеката – брзу реализацију, Измена *Правилника о изворима нејонизујућих зрачења од посебног интереса, врстама извора, начину и периоду њиховог испитивања* (Сл. Гл. РС 104/09).

Члан 6 овог правилника предвиђа да при изградњи новог објекта и реконструкцији постојећег власник извора прибавља Стручну оцену оптерећења животне средине и доставља је надлежним институцијама. Ово јесте добро место где треба, поред реконструкција, навести и све друге активности које ће утицати на повећање електромагнетног поља. На овај начин инвеститор би био обавезан да ради стручну оцену оптерећења животне средине, која се и бави конкретним утицајем и има смисла да буде спроведена, а не би био оптерећен комплетном процедуром процене утицаја која у већем делу за далеководе нема никаквог смисла пошто емисије и загађења која она прати и нема. Било би добро да се потом и у Правилнику, претходно датом у тачки А, дода захтев да се при издавању Решења о одобрењу радова за електроенергетске објекте захтева и Стручна оцена оптерећења животне средине у складу са Законом о заштити од нејонизујућег зрачења. Осим далековода ово би решило и огроман проблем утицаја који остају

без мониторинга на дистрибутивном нивоу.

Дистрибутивни објекти нису предмет Закона о процени утицаја на животну средину (чак ни трансформаторске станице 110/X kV), а вредности које могу да дају трансформаторске станице унутар стамбених и јавних објеката неретко могу бити веће од вредности магнетног поља у околини далековада.

3) *Закон о заштити од пожара* – предмет овог закона су активности изградње, доградње и реконструкције објеката, за које надлежни органи дају сагласност на техничку документацију у погледу мера заштите од пожара и утврђују испуњеност на крају изградње. У оваквој ситуацији, остаје да усклађеност објекта у погледу мера противпожарне заштите, када је реч о адаптацији, утврђује пројектант са одговарајућом лиценцом, кроз Елаборат заштите од пожара. Нажалост, овај елаборат није експлицитно наведен као обавезан за активности адаптације и обезбеђења Решења о одобрењу радова, али се у пракси примењује и израђује. Предлог је да се Елаборат наведе као обавезан саставни део документације за обезбеђење решења о одобрењу радова за електроенергетске објекте. Ова измена би се урадила у Правилнику о садржини, начину и поступку израде и начину вршења контроле техничке документације према класи и намени објеката. У Члану 49. *Елаборати и студије уз идејни пројекат* – предвидети обавезу да је саставни део идејног пројекта за електроенергетске објекте и елаборат заштите од пожара.

5. ЗАКЉУЧАК

Увођење иновативних технологија увек представља професионални изазов и то су пројекти у којима инжењери најрадије учествују. Бенефити које доносе технологије нових проводника су врло јасни и недвосмислено омогућавају убрзање реализације инвестиционих пројеката у области високонапонских водова. Међутим, управо бенефити оправдавају повећан опрез и степен контроле квалитета пројеката. Масовност примене је такође директно повезана са бенефитима које инвеститори остварују кроз примену нових технологија. Самим тим, успостављање прецизне регулативе, перманентно контролисање и мониторинг релевантних фактора утицаја на животну средину остају обавеза и одговорност инжењерске стручне јавности, али и институција. Овај рад је имао за циљ да, сагледавајући нове технологије проводника на високонапонским водовима, посебно укаже на техничке карактеристике које кроз пројекте и регулативу заслужују специфичан третман и појачан степен контроле, управо како би се у периоду експлоатације објеката обезбедио квалитетан рад и поуздан и безбедан пренос електричне енергије.

ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад је подржало Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије кроз Уговор о реализацији и финансирању научноистраживачког рада НИО у 2024. години (број уговора 451-03-66/2024-03).

ЛИТЕРАТУРА

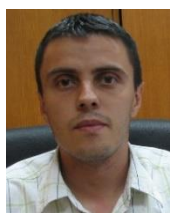
- [1] Примена HTLS проводника у циљу повећања преносне моћи далековада, Д. Лелић, И. Миланов и Д. Радојчић, 31. саветовање CIGRE Србије, 2013.
- [2] Пројекат за извођење санације и адаптације ДВ 110 kV бр. 104/х Београд 5 – Инђија 2, КОДАР Енергомонтажа доо, 2022.
- [3] Елаборат избора типа проводника ДВ 110 kV бр. 104/х ТС Београд 5 – ТС Инђија 2, „Електроисток – Пројектни биро“, 2021.
- [4] Елаборат затеченог стања за потребе опредељења техничког решења реконструкције далековада за ДВ 110 kV бр. 130/Х, „Електроисток – Пројектни биро“, 2020.
- [5] Анализа техничког решења за решавање подграђености на ДВ 129АБ, „Електроисток – Пројектни биро“, 2021.
- [6] Правилник о техничким нормативима за изградњу надземних електроенергетских водова називног напона од 1 kV до 400 kV (Сл. лист СФРЈ бр. 65/88 и Сл. лист СРЈ бр. 18/92).
- [7] TU-DV-04 – Упутство – Дозвољене струје фазних проводника на далеководима ЈП „Електропривреда Србије“, април 2011., <http://www.ems.rs>.
- [8] EN 50341-1:2012 – Overhead Electrical Lines Exceeding AC 1 kV.
- [9] Paper Underground Cables and Overhead Lines, TenneT, tennet.eu, 2023.
- [10] www.lumpi-berndorf.at, www.nexans.com.
- [11] Conductors for the Uprating of Overhead Lines, SC B2 WG12. Technical Brochure 244 April 2004.
- [12] An Evaluation of High Temperature Low Sag Conductors for Uprating the 220 kV Transmission Network, T. Kavangh, O. Armstrong, 45th International Universities Power Engineering Conference UPEC2010, Decembar 2010.

БИОГРАФИЈЕ



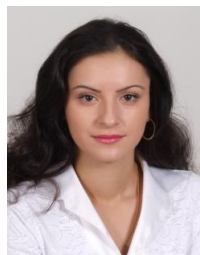
Нада Цуровић је основне студије завршила на Грађевинском факултету Универзитета у Београду. Докторанд на постдипломским студијама у области Инжењеринга заштите животне средине на Факултету техничких наука у Новом Саду.

Више од 20 година искуства у управљању пројектима изградње електроенергетске инфраструктуре. Од 2006. запослена у „Електромрежи Србије”, где је учествовала у изградњи великог броја високонапонских далековаода и каблова. Члан Инжењерске коморе Србије, лиценцирани пројектант, Секција одговорних пројектаната. Члан међународне организације CIGRE (International Council on Large Electric Systems), као и националног удружења CIGRE Srbije (члан Студијског комитета Б2 и председник комитета Ц3). Од 2024. изабрани члан међународног комитета Ц3 CIGRE – Power System Sustainability and Environmental Performance. Учествовала у спровођењу више од 20 стратешких процена утицаја на животну средину, као и у усвајању урбанистичких и просторних планова за објекте преносног система. Учешће у реализацији, изради, ревизији или имплементацији ESIA пакета (Environmental Social Impact Assessment Studies) за велики број објеката ВН мреже, а у складу са европским нормативима и принципима најбоље инжењерске праксе у области заштите животне средине. Учешће у радним групама на дефинисању законских процедура, правилника и уредби у области изградње, заштите животне средине, заштите од нејонизујућег зрачења. Аутор више од 20 научно-стручних радова објављених у домаћим и међународним часописима и конференцијама.



Иван М. Миланов је рођен 1978. године у Београду. Дипломирао је 2004. године на Електротехничком факултету у Београду на енергетском одсеку. Запослен је у фирми „Електроисток – Пројектни биро” из Београда. Члан је Српског националног комитета ЦИГРЕ

(Студијски комитет Б2: Надземни водови и Студијски комитет Ц3: Перформансе система заштите животне средине) у оквиру којег је био аутор и коаутор преко 20 радова. Предмет интересовања је пројектовање надземних и подземних водова напонског нивоа преко 1 kV, као и стручна проблематика у вези са пројектовањем високонапонских водова.



Маја Грбић је рођена 1985. године у Београду. Завршила је дипломске, мастер и докторске студије на Електротехничком факултету у Београду, на Одсеку за енергетику, Смер за електроенергетске системе. Од 2010. године запослена је у Електротехничком институту „Никола Тесла”, у Центру за електроенергетске објекте. Током 2022. године изабрана је у највише звање стручног саветника и у звање научног сарадника. Током досадашњег рада у Институту примарно се бавила истраживањима у области електромагнетских поља. Учествовала је у изради 25 студија и пројеката, 60 стручних оцена оптерећења животне средине за нове или реконструисане изворе електромагнетских поља, 20 елабората и преко 1200 извештаја о испитивањима. Од 2018. године обавља функцију руководиоца Специјализоване лабораторије за испитивање електромагнетских поља. Објавила је 83 рада, од којих 59 као први аутор. Добитница је признања за најзапаженије радове представљене на конференцијама CIRED Србија 2012. и 2022. године, као и на конференцијама CIGRE Србија 2019, 2021. и 2023. године. Добитница је награде Привредне коморе Београда за најбољи мастер рад под насловом „Мерење и прорачун електричних и магнетских поља надземних водова у циљу процене изложености људи овим пољима” и награде Привредне коморе Србије за најбољу докторску дисертацију под насловом „Методологија за оцену изложености људи електричном и магнетском пољу надземних електроенергетских водова заснована на резултатима мерења и прорачуна”.



Александар Павловић је рођен 1967. године у Београду. Дипломирао је 1994. године на Електротехничком факултету у Београду. Запослен је у Електротехничком институту „Никола Тесла” у Београду од 1995. године, а од 2014. године обавља послове директора Центра за електроенергетске објекте. Члан је Српског националног комитета CIGRE (студијски комитети Ц3 и Ц4). Бави се истраживањима у области уземљења, громобранских и електричних инсталација ниског напона, електромагнетских поља и интерференције. Учествовао је у изради већег броја студија, елабората и извештаја о испитивањима. Као аутор или коаутор публиковао је преко 60 радова.

Nada Curović¹, Ivan Milanov², Maja Grbić³, Aleksandar Pavlović⁴

Analysis of the Environmental Impact of Transmission Overhead Power Lines with Special Conductors

¹ Elektromreža Srbije, Belgrade, Republic of Serbia*² Elektroistok Projektni biro, Belgrade, Republic of Serbia³ Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia⁴ Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia

Review article

Highlights

- The application of special conductors on existing overhead power lines allows for an increase in the power transmission capacity without building new corridors
- Before replacing the phase conductor with a special conductor, it is necessary to analyze the impact on the environment, primarily the impact on the levels of electromagnetic field
- The replacement of the conductor can only be carried out if the values of the electromagnetic field are within the prescribed limits

Abstract

In recent decades, there has been a constant trend of growing unacceptability of high-voltage power lines for the population in the vicinity of the corridors. In the moment of an exceptional increase in the demand for electricity, and in such a situation, solutions are inevitably sought to increase the capacity of the existing lines. Special conductors are a revelation for investors, transmission systems that are often in dead-end situations, when it is not possible to build new corridors, and the laws require them to ensure reliable and safe transmission of electricity. As the solution was eagerly awaited, the implementation started massively, without being adequately accompanied by standards and technical regulations. Careful application, and the awareness of specificity, is left to some extent to the professional responsibility of designers and investors. The paper deals with the application of special conductors on existing lines, from the aspect of changing the impact on the environment that these projects imply. Particularly, the influence of the power lines with special conductors on the environment from the aspect of electromagnetic field is analyzed in the paper. A special review is given to the increase in the magnetic field, as a direct consequence of the increase in current strength. The paper gives an overview of the legal and technical regulations that accompany these projects in our country. The lack of harmonization of regulations is also pointed out, which gives the possibility to implement these projects without the application of environmental impact assessment procedures, because they are carried out through adaptation projects. There are also suggestions for guidelines and improvements that can be introduced into the regulations in order to increase the quality control of these projects, which will certainly be implemented in greater extent in the future period. It is extremely important to establish control in the forthcoming period, especially in terms of monitoring the increase in the magnetic field, given that we already have high-voltage lines that are not owned by state energy entities. But, regardless of ownership, it is very important to work on increasing the environmental responsibility of the engineering sector in the power industry, because this is the only reliable way to ensure the development of energy facilities that are harmonized with the environment and affect it minimally.

Keywords

Environmental impact, Regulation, Special conductors

Received: July 29th, 2024Reviewed: August 7th, 2024Modified: August 20th, 2024Approved: August 21st, 2024* Corresponding Author: Nada Curović, E - mail: nada.curovic@ems.rs

Note:

This article represents an expanded, improved and additionally peer-reviewed version of the paper "The Environmental Impact Aspects of Transmission Lines with Special Conductors", awarded by Expert Committee EC-C3 Environmental Protection Systems Performances, at the 36th CIGRE Serbia Conference, Zlatibor, May 22-26, 2023

