



Лазар Којић¹, Јелисавета Крстивојевић², Дана Перишић¹

Употреба изолационих конзола као нове технологије при пројектовању стубова високонапонских далековода

¹ ПД Електроисток – Пројектни биро д.о.о., Београд*

² Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, Београд

<https://doi.org/10.18485/epij.2024.2.2.2>

Стручни рад

Кључне поруке

- Представљена нова технологија за пројектовање стубова високонапонских далековода
- Размотрене све предности и недостаци приказаних техничких решења
- Извршено поређење са класичним челично-решеткастим стубовима
- Приказани примери изведених пројеката стубова

Кратак садржај

Стубови су један од најважнијих елемената далековода и заузимају кључно место при пројектовању нових далековода. Њиховом дизајну се посвећује велика пажња. Како би се постигле оптималне карактеристике, историјски посматрано, коришћени су различити облици и материјали. Данас се могу пронаћи стубови различитих облика израђени од различитих материјала. Стубови настају као резултат задовољења техничких, просторних, грађевинских и архитектонских услова, често укључујући и уметничке елементе. Све већа пажња се посвећује утицају далековода на животну средину, укључујући заузимање простора, визуелни утицај, електричне ефекте, као и утицаје изградње и одржавања далековода. У овом раду се анализира једно од решења које се односи на употребу изолационих конзола као нове технологије при пројектовању стубова високонапонских далековода. Примена изолационих конзола може се сагледати на више начина. Правилан избор типа стуба је значајан како са техничког аспекта тако и са аспекта уклапања далековода у животну средину, уз минимално нарушавање постојећег амбијента. У раду је приказано поређење карактеристика стубова са изолационим конзолама и челично-решеткастих стубова, који су најчешће заступљени у домаћој пракси. Осим изградње нових стубова са изолационим конзолама, унапређење карактеристика може се постићи и заменом постојећих челично-решеткастих конзола изолационим на постојећим стубовима. Ова решења су посебно погодна за урбане средине, где би смањење ширине коридора далековода имало велики значај у густо насељеним подручјима. У раду је приказан пример примене изолационих конзола на постојећим и новоизграђеним стубовима, уз анализу цена и количина материјала на примеру једног затезног поља далековода 110 kV. На крају рада дат је преглед изведених стубова далековод са изолационим конзолама у свету.

Кључне речи

CICA (Composite Insulated Cross Arm), далековод, изолационе конзоле, нови материјали, стубови

Напомена:

Чланак представља проширену, унапређену и додатно рецензирану верзију рада „Примена нових материјала и технологија при пројектовању стубова високонапонских далековода“, награђеног у Студијском комитету СТК-Б2 Надземни водови на 36. Саветовању CIGRE Србија, 22-26. маја 2023.

Примљено: 10. јул 2024. Рецензирано: 19. август 2024.
Измењено: 26. август 2024. Одобрено: 2. септембар 2024.

*Кореспондирајући аутор: Лазар Којић, +381642849485

Имејл: lazar.kojic@eipb.rs

1. УВОД

За стубове високонапонских далековаода већ деценијама се користе челично-решеткасте конструкције [1, 2]. Традиционалне челичне конзоле, иако робусне, имају ограничења, међу којима се највише издвајају старење и корозија. Из техничких, естетских и економских разлога све више се трага за решењима која ће омогућити да далеководи следеће генерације буду изграђени применом нових материјала и иновативних дизајнерских концепата, чиме би се смањиле димензије стубова и ширина коридора далековаода [3, 4].

Изолационе конзоле су се појавиле као прекретница у области високонапонских далековаода, нудећи многе предности. Са све већим порастом густине насељености и порастом индустријализованих подручја, обезбеђивање земљишта за грађење далековаода постаје велики изазов. Планирање и изградња нових далековаода постали су велики проблем у многим земљама, не само због утицаја на животну средину већ и због ограниченог простора. Из тог разлога се све више тежи пројектовању компактних далековаода [1, 2].

У последњих неколико деценија, многи приступи пројектовању далековаода углавном су се усмерили на растућа ограничења животне средине. Пројектовање и развој далеководних стубова са полимерним композитним материјалима представљају нов приступ који се уводи у употребу. Појава композитних изолатора значајно је утицала на дизајн и примену изолационих конзола за стубове високонапонских далековаода. Ови модерни материјали пружају супериорне перформансе при великим оптерећењима и деформацијама, надмашујући традиционалне материјале као што су порцелан и стакло [5]. Композитни материјали коришћени за израду изолационих конзола су лакши од челика, смањују оптерећење на стубове и пружају бољу отпорност на корозију и факторе околине, што директно доводи до смањења трошкова одржавања током животног века изолационе конзоле. Изолационе конзоле нуде компактни дизајн, омогућавају смањење димензија у вертикалном правцу, као и хоризонталном правцу. То даље доводи до лакшег уклапања у простор и смањења потребне ширине коридора, а тиме и смањења проблема у вези са земљиштем.

Све већа потреба за електричном енергијом намеће нове изазове за одрживост и капацитет електроенергетских мрежа. Често се дешава да су водови преоптерећени, а као резултат тога долази до повећаног загревања, убрзаног старења изолације и изобличења електричног поља [6]. Још једна од битних предности примене изолационих конзола је да омогућавају рад на вишим напонским нивоима, што би у случају примене тог решења омогућило пренос веће снаге.

У раду је, у оквиру другог поглавља, приказан историјски осврт на развој и употребу изолационих материјала. У трећем поглављу је представљено и анализирано пројектовање стубова уз примену

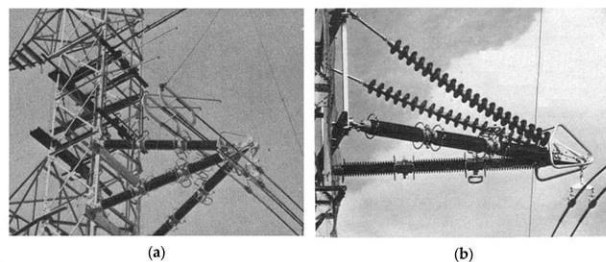
изолационих конзола, типови изолационих конзола, као и утицај изолационих конзола на димензије далеководних стубова. У четвртом поглављу су наведене предности далековаода са стубовима на којима су примењене изолационе конзоле у односу на класична челично-решеткаста решења, приказан је пример примене изолационих конзола на постојећим и новоизграђеним стубовима и направљена је анализа цена и количина материјала на примеру затезног поља 110 kV далековаода. У петом поглављу су приказани примери изведених стубова далековаода са изолационим конзолама у свету. На крају рада је дат закључак.

2. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ

Сталан развој и употреба нових техничких решења и научних достигнућа значајни су за развој било које гране индустрије. Нагла експанзија нових материјала омогућила је њихову примену у разним техничким решењима, па тако и у развоју нових стубова за високонапонске далеководне.

У наставку рада биће приказан кратак историјски осврт на развој и употребу изолационих материјала у овој области:

- **1960** – први пут се спомиње концепт монтаже изолационих конзола на далеководне стубове;
- **1971** – успешно је развијен и тестиран први прототип изолационе конзоле за далековод 345 kV; развијена су два типа конзола; први тип се састојао од четири порцеланска изолатора са чврстим језгром (Слика 1а), а други тип од два порцеланска изолатора са чврстим језгром и два изолаторска ланца који нису имали чврсто језгро (Слика 1б);



Слика 1. Први прототипови изолационих конзола [7]

- **1998** – представљен је тип изолационе конзоле са два порцеланска изолатора која су се налазила у једној равни (дводимензионалне конзоле); први двоструки далековод 132 kV са изолационим конзолама изграђен је 1997. године у Италији; недуго затим у Швајцарској је изграђен двоструки далековод 400 kV употребом поменутих дводимензионалних конзола [8];
- **2000** – објављен је рад у којем су представљене изолационе конзоле израђене од дрвета; овакве конзоле нису нашле своју примену због бројних лоших карактеристика (труљење дрвета, лако оштећење, упијање влаге, старење, итд.) [9, 10];

- **2008** – представљене су изолационе конзоле од фибергласног материјала и показано је да поседују бројне предности у односу на до тада коришћене [11].

У наредним годинама креће све интензивнији развој разних типова изолационих конзола, употребом нових полимерних материјала и конструкционих решења. Такве изолационе конзоле су нашле примену у пројектима који су успешно реализовани, а неки од њих ће бити приказани и у овом раду.

- **2022** – представљени су „зелени” композитни материјали за израду изолационих конзола; изолационе конзоле су израђене од природних влакана и ојачане биполимерним материјалом [12].

Тенденција употребе изолационих материјала у изради конструкције далеководних стубова довела је до тога да се с временом комплетни далеководни стубови изводе од изолационих материјала. Њихова употреба подразумевала би додатне анализе које би утицале на расподелу и одвођење струја квара, димензионисање заштитних ужади и анализу атмосферских пренапона, чиме се овај рад неће бавити. Пример једног таквог стуба, комплетно израђеног од изолационог материјала, приказан је на Слици 2.



Слика 2. Далекководни стуб од изолационог материјала [7]

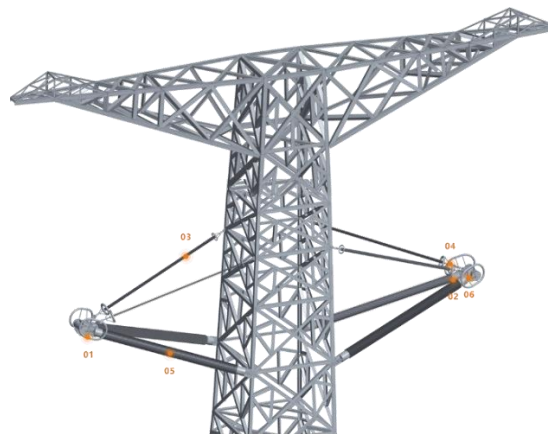
3. ПРОЈЕКТОВАЊЕ СТУБОВА СА ИЗОЛАЦИОНИМ КОНЗОЛАМА

Захтеви развоја области пројектовања и извођења високонапонских (ВН) далековаода су брза градња, мање цене и стубови естетски побољшаних карактеристика. Читав свет нових композитних материјала отвара врата за њихову примену за стубове далековаода. Ограничења су у инертности и изузетној опрезности инжењерске праксе у области ВН далековаода, обавезној типизацији, испитивањима у складу са стандардима који често и не постоје за иновативна решења [13].

Узимајући у обзир бројне позитивне карактеристике стубова са изолационим конзолама, као и композитних стубова, очекује се да у наредним деценијама они заузму значајно место на тржишту и у примени за градњу ВН далековаода.

Пројектовање нових стубова за ВН далеководе засновано је на томе да се класичне челично-решеткасте конзоле са висећим изолаторима замене

конзолама од изолационих материјала. Изолациона конзола састоји се од једног или више изолатора израђених од композитних материјала. Предност примене изолационих конзола на далеководним стубовима је у томе да се оне могу применити не само на новопроектованим стубовима већ се могу употребити и на постојећим далеководним стубовима уз адекватну статичку проверу и анализу, у циљу побољшања карактеристика постојећих далековаода.



Слика 3. Челично-решеткасти стуб са изолационим конзолама [14]

Као елемент стуба, изолациона конзола мења два уобичајено коришћена елемента – челично-решеткасту конзолу и изолаторски ланац. С обзиром на то да засад не постоје посебни стандарди за испитивање изолационих конзола, оне би морале испунити захтеве тестирања према до сада коришћеним IEC стандардима, за изолаторе IEC 62217 [A.1] и IEC 61952 [A.2], као и за стуб IEC 60652 [A.3]. Списак релевантних стандарда дат је у Додатку (Прилогу) 1.

3.1 Типови изолационих конзола

У зависности од типа стуба и напонског нивоа на којем се жели применити изолациона конзола, постоји више типова конзола, приказаних у наставку.

На Слици 4 и Слици 5 приказане су изолационе конзоле за челично-решеткасте стубове за мања оптерећења и напонске нивое до 138 kV.

На Слици 6 приказана је изолациона конзола за челично-решеткасте стубове са средњим оптерећењем и напонске нивое 220 ÷ 400 kV. На Слици 7 приказана је изолациона конзола за челично-решеткасте стубове са великим оптерећењем и напонске нивое 220 ÷ 400 kV. Оптерећења стубова зависе од средњих и гравитационих распона за које је стуб пројектован.



Слика 4. Изолациона конзола за напонски ниво до 138 kV са хоризонтално и косо постављеним изолатором [14]



Слика 5. Изолациона конзола за напонски ниво до 138 kV са хоризонтално постављеним изолатором [14]



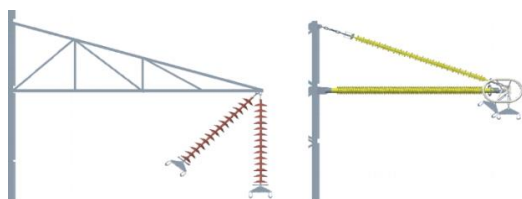
Слика 6. Изолациона конзола за напонски ниво 220÷400 kV за челично-решеткасте стубове са средњим оптерећењем [14]



Слика 7. Изолациона конзола за напонски ниво 220÷400 kV за челично-решеткасте стубове са великим оптерећењем [14]

3.2 Утицај изолационих конзола на димензије далеководних стубова

Основни циљ пројектовања далеководних стубова са изолационим конзолама јесте да далеководни стубови буду што мањих димензија како би се смањили простор који стубови заузимају, димензије главе стуба, као и ширина коридора далековода. Узимајући у обзир да изолационе конзоле не садрже висеће делове изолатора, знатно се могу смањити потребна електрична растојања при употреби стубова са таквим конзолама (Слика 8).



Слика 8. Челично-решеткаста и изолациона конзола за далеководне стубове [15]

Осим смањења потребних растојања проводника у глави стуба, смањују се и потребна растојања у средини распона.

Према Правилнику [16] за све далекове је потребно да растојање између проводника у средини распона при температури +40 °C и без ветра, буде веће или једнако растојању D , које је дато релацијом (1):

$$D = k \cdot \sqrt{f_{40^\circ} + l} + S_R \quad (1)$$

где су: S_R – сигурносни размак за склопне пренапоне [cm]; f_{40° – угиб проводника или заштитног ужета на 40 °C [cm]; l – дужина изолаторског ланца [cm]; k – коефицијент чија вредност зависи од распореда два посматрана проводника односно проводника и заштитног ужета [16].

У случају употребе изолационих конзола члан који се односи на дужину изолаторског ланца може се усвојити да је $l = 0$, при вертикалном распореду проводника за просечан распон од 300 m и угиб од 12 m, добија се мања вредност D за 7%.

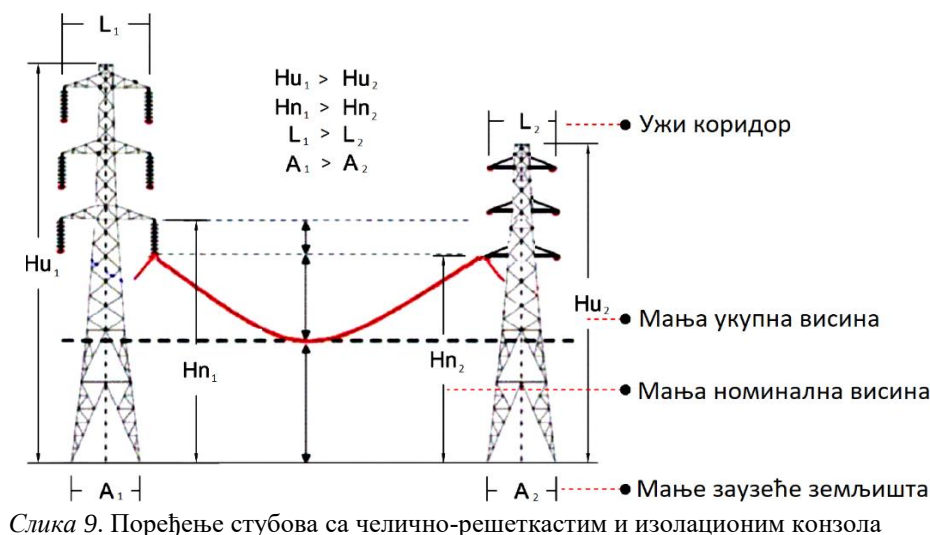
Употребом изолационих конзола смањују се и растојања проводника од земље за дужину изолаторског ланца, што може утицати на то да потребна висина стуба буде мања (Слика 9).

4. ПОРЕЂЕЊА СА КЛАСИЧНИМ СТУБОВИМА

Развој и употреба нових материјала и технологија за циљ има да се унапреде карактеристике новог објекта, у овом случају далековода. Свакако, треба бити опрезан при увођењу нових елемената који тек треба да докажу своју вредност и боље карактеристике, као и то да се сагледа и анализира постојање евентуалних недостатака. У овом поглављу биће приказане неке од предности употребе изолационих конзола, како на новим тако и на постојећим далеководима, али биће указано и на проблеме који се могу јавити.

Предности далековода са стубовима на којима су примењене изолационе конзоле у односу на класичне челично-решеткасте набројане су у наставку:

- далековод је компактнији; стубови су мањих димензија и у хоризонталном и у вертикалном правцу;
- смањује се ширина коридора далековода, а самим тим то утиче на потребу за мањим површинама приликом откупа земљишта, смањује се просек шуме итд.;
- једноставност монтаже изолационих конзола на постојеће далеководне стубове доводи до минималних адаптацијских измена на стубовима далековода, а на новим стубовима доводи до једноставнијих конструкцијских решења;



- монтажа нових стубова са изолационим конзолама је лакша (једноставнија), што доводи до тога да се радови на изградњи далековаода брже изводе;
- смањује се вредност електромагнетског (ЕМ) поља; међусобно приближавање проводника утиче на то да се вредности ЕМ поља смањују;
- повећана је отпорност на прескоке при удару грома; хоризонтално постављена композитна попречна конзола која има одличне хидрофобне способности ефикасно спречава задржавање кише и леда на конзолама;
- повећање напонског нивоа далековаода; вредности потребних размака између проводника се смањују тако да је постојеће стубове могуће применити на вишим напонским нивоима;
- повећана је економичност далековаода; смањење висине и ширине стубова, као и смањење већ поменутог заузећа земљишта, доводи до свеобухватних смањења трошкова изградње стуба; такође, одржавање стубова са уграђеним изолационим конзолама, у току периода експлоатације далековаода, знатно је јефтиније; не постоји потреба за периодичном антикорозивном заштитом као код челично-решеткастих конзола;
- еколошки је прихватљивије решење; смањење коридора и заузећа земљишта посебно је значајно за далекове који пролазе кроз насељене области;
- лепши је визуелни доживљај.

Једна од могућих примена изолационих конзола је при реконструкцијама старих постојећих водава у Републици Србији, који су пројектовани за највишу температуру проводника од 40°C, код којих су сигурносне висине изнад земље и објеката испод минималних вредности прописаних техничком регулативом. Тиме би се смањили трошкови у односу на реконструкције или адаптације коришћењем конвенционалних решења.

У Табели I приказани су резултати поређења појединих параметара класичних (челично-

решеткастих) стубова и стубова са изолационим конзолама Composite Insulated Cross Arm (CICA).

Табела I Поређење параметара стубова [17]

ДВ	Параметар стуба	CICA стуб	Класичан стуб	Поређење	
750 kV S/C	ук. висина [m]	64	74	-10	-14%
	ном. висина [m]	42	49	-7	-14%
	ширина коридора [m]	25,7	35,2	-9,5	27%
	тежина [t]	23,1	32,9	-9,8	-30%
220 kV D/C	ук. висина [m]	30,4	35	-4,6	-13%
	ном. висина [m]	16	18	-2	-11%
	ширина коридора [m]	9	14,4	-5,4	-37%
	тежина [t]	8,28	11,15	-2,9	-26%

У Табели I коришћене ознаке имају следећа значења: S/C – Single Circuit (једносистемски далековод) и D/C – Double Circuit (двосистемски далековод).

Поред свих наведених предности, потребно је указати и на ризике који се могу јавити употребом изолационих конзола.

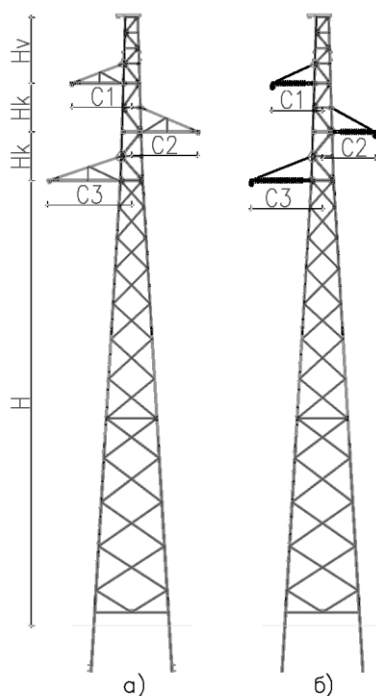
Проблем који се може јавити је поузданост ових конзола и њихове карактеристике при екстремно тешким климатским условима (сунце, лед, ветар итд.). Проблеми и скривени недостаци употребе нових технологија, у овом случају изолационих конзола, уочавају се при њиховој експлоатацији у реалним условима, што треба да доведе до сталних побољшања карактеристика и уклањања уочених недостатака.

Проблем који се може јавити при међусобном приближавању проводника и повећавањем напонског нивоа далековаода је повећање буке, која се производи на далеководу. Један од начина ублажавања овог

проблема је употреба више проводника у снопу по једној фази или употреба различитих легура алуминијума које се користе за израду специјалних проводника.

4.1 Пример примене изолационих конзола на постојећим и новоизграђеним стубовима

Далеководни стубови са изолационим конзолама до сада нису уграђивани у електропреносној мрежи Србије. На Слици 10 приказан је носећи челично-решеткасти стуб типа „Јела” по пројекту „Електроисток – Пројектни биро” ДОО 1.0.ДВ.Г 1055, са класичним челично-решеткастим конзолама (Слика 10а) и са изолационим конзолама (Слика 10б). Овај тип стуба је најзаступљенији у електропреносној мрежи Србије. У наставку је извршена анализа количина и цена материјала у случају адаптације постојећих стубова уградњом изолационих конзола уместо челично-решеткастих, као и нових стубова са уграђеним изолационим конзолама.



Слика 10. Носећи челично-решеткасти стуб по пројекту 1.0.ДВ.Г 1055 а) са класичним челично-решеткастим конзолама и б) са изолационим конзолама

Адаптација класичног челично-решеткастог стуба коришћењем изолационих конзола подразумева случај прилагођења постојеће конструкције стуба њиховој уградњи. Новопроектовани стубови, предвиђени за употребу изолационих конзола, нижи су од стубова на којима се врши адаптација.

Из анализе параметара који су дати у Табели II може се закључити да је цена конструкције и изолације новог стуба са изолационим конзолама око 700 € нижа од цене конструкције и изолације класичног челично-решеткастог стуба, одговарајуће висине, са висећим изолаторима. Узимајући у обзир и све претходно наведене бенефите стубова са изолационим конзолама

(ужи коридор далековаода, мања заузећа итд.), укупни трошкови на изградњи далековаода би се додатно смањили. Такође, извршена је и анализа трошкова при адаптацији постојећих стубова, односно уградњи изолационих конзола на постојеће челично-решеткасте стубове. Цена материјала за адаптацију једног постојећег стуба је око 4700 €. У ту цену је укључена цена изолационих конзола и челичне конструкције потребне за њихову монтажу (нису урачунати трошкови за извођење радова). Цене изолационих конзола добијене су у контакту са произвођачем [18], на основу улазних параметара за конкретне примере наведене у овом раду. У цену су урачунати трошкови испоруке у Србију.

Табела II Приказ димензија и цена класичних челично-решеткастих стубова и стубова са изолационим конзолама

	Класичан челично-решеткаст стуб	Адаптација класичног челично-решеткастог стуба са изолационим конзолама	Нов челично-решеткаст стуб са изолационим конзолама
Димензија стуба Н [m]	20,0	20,0	18,0
Димензија стуба Нк [m]	2,2	2,2	2,2
Димензија стуба Нв [m]	3,0	3,0	3,0
Димензија стуба C1[m]	2,7	2,3	2,3
Димензија стуба C2 [m]	3,0	2,4	2,4
Димензија стуба C3 [m]	3,7	3,25	3,25
Тежина конструкције [kg]	2.914	130	2.280
Ширина коридора [m]	6,7	5,65	5,65
Заузеће темеља [m ²]	24,3	24,3	22,4
Цена конструкције [€]	15.785	700	12.350
Цена изолације [€]	1.300	4.000	4.000
Укупна цена [€]	17.085	4.700	16.350

4.2 Анализа цена и количина материјала на примеру затезног поља далековода 110 kV

Претходна анализа која је урађена за појединачан носећи стуб може се применити на анализу једног затезног поља чиме се боље могу сагледати сви бенефити употребе изолационих конзола при грађењу нових далековаода. Анализа цена и количина материјала урађена је за затезно поље 95-100 на ДВ 110 kV ТС „Ада” – ТС „Кијинда 2”. У Табели III приказани су основни подаци о затезном пољу 95-100.

Табела III Подаци о затезном пољу 95-100 ДВ 110 kV ТС „Ада” – ТС „Кијинда 2” [19]

р.б	тип и висина стуба до доње конзоле	бр. пројекта стуба	претходни распон [m]	изолација
95	УЗ 0-15° 18,0	1056	-	ЈЗ/ЈЗп
96	Н 27,0	1055	223,00	ЈНп
97	Н 27,0	1055	332,84	ЈНп
98	Н 27,0	1055	207,81	ЈНп
99	Н 23,0	1055	309,59	ЈН
100	УЗ 15-35° 20,0	1057	287,53	ЈЗ/ДЗп

У Табели III и наредним табелама коришћене ознаке имају следећа значења: УЗ – угаоно-затезни стуб, Н – носећи стуб, ЈЗп – једноструки затезни електрично појачан изолаторски ланац, ЈЗ – једноструки затезни изолаторски ланац, ДЗп – двоструки затезни електрично и механички појачан изолаторски ланац, ЈНп – једноструки носећи електрично појачан изолаторски ланац, ЈН – једноструки носећи изолаторски ланац, СICA – изолациона конзола.

Затезно поље 95-100 састоји се од укупно четири носећа стуба и два угаоно-затезна стуба. У табелама IV и V приказани су резултати анализе употребе класичних челично-решеткастих стубова и стубова са изолационим конзолама (CICA).

Табела IV Процена цене и количине материјала за затезно поље 95-100 у случају употребе класичних челично-решеткастих стубова

бр. пројекта стуба	висина стуба до доње конзоле [m]	тежина конструкције [kg]	изолација	укупна цена конструкције и изолације [€]
1056	18,0	3.890	ЈЗ/ЈЗп	23.536
1055	27,0	3.811	ЈНп	21.778
1055	27,0	3.811	ЈНп	21.778
1055	27,0	3.811	ЈНп	21.778
1055	23,0	3.297	ЈН	19.032
1057	20,0	4.486	ЈЗ/ДЗп	26.685
УКУПНО [€]:				135.587

Табела V Процена цене и количине материјала за затезно поље 95-100 у случају употребе челично-решеткастих стубова са изолационим конзолама (CICA)

бр. пројекта стуба	висина стуба до доње конзоле [m]	тежина конструкције [kg]	изолација	укупна цена конструкције и изолације [€]
1056	18,0	3.890	ЈЗ/ЈЗп	23.536
1055	25,0	3.066	CICA	20.518
1055	25,0	3.066	CICA	20.518
1055	25,0	3.066	CICA	20.518
1055	21,0	2.558	CICA	17.807
1057	20,0	4.486	ЈЗ/ДЗп	26.685
УКУПНО [€]:				129.582

Анализом тежине и цене конструкције и цене изолације, која би се применила у посматраном затезном пољу, добија се да је укупна уштеда у примени стубова са изолационим конзолама уместо челично-решеткастих конзола око 6000 €. Додатне уштеде би се оствариле по основу смањења заузећа простора за темеље стубова, смањења укупне висине стубова и бенефита од смањења коридора далековода, што је од посебног значаја када далековод пролази кроз грађевинске и индустријске зоне и насељена места.

5. ПРИМЕРИ ИЗВЕДЕНИХ СТУБОВА ДАЛЕКОВОДА СА ИЗОЛАЦИОНИМ КОНЗОЛАМА

У овом поглављу приказани су различити стубови далековода широм света реализовани употребом изолационих конзола.

На Слици 11 приказан је стуб далековода 132 kV у Хидерабаду (Hyderabad). Уградњом изолационих конзола решени су проблеми широког коридора далековода, недовољне сигурносне висине проводника изнад тла и побољшане су поузданост и сигурност електроенергетске мреже. Коридор далековода је сужен за 4,1 m (смањење за 31%), а висина проводника изнад тла подигнута је за 2 m.

На Слици 12 приказан је стуб DC далековода ±800 kV Linzhou – Shaoxing, што представља први стуб у свету са изолационим конзолама који је примењен на DC далеководима.

На Слици 13 приказан је далеководни стуб са изолационим конзолама у граду Ксилингхот (Xilinhot (Кина)). Његовом употребом постигнути су многи бенефити: редукован је коридор далековода и смањене су номиналне висине стубова, као и количине материјала за конструкцију стуба и количине бетона.

На Слици 14 приказан је стуб далековода 500 kV, на којем су уграђене изолационе конзоле. Уградњом изолационих конзола на стуб смањен је коридор далековода за 7,4 m и смањене су висине стубова за 5,6 m.



Слика 11. TS TRANSCO Hyderabad 132 kV (2019) [20]



Слика 12. Linyhou-Shaoxing ± 800 kV Overhead Transmission Line (2015) [20]

На Слици 15 приказан је портални стуб на којем су уграђене изолационе конзоле уместо челично-решеткастих. Њиховом уградњом смањен је коридор далековада за 0,8 m и решен је проблем превеликих отклона изолаторских ланаца.

На Слици 16 приказана су два дупла далековада 2x400 kV – леви далековод је изграђен са класичним челично-решеткастим стубовима, док је десни изграђен на стубовима са изолационим конзолама. Може се закључити да је коридор левог далековада знатно већи и износи 50 m, а десног свега 9,6 m.

Један од бенефита употребе изолационих конзола јесте и могућност да се њиховом уградњом на

постојеће стубове далековада повећа напонски ниво далековада. На сликама 17 и 18 приказани су реконструисани далеководни стубови чиме је подигнут напонски ниво далековада.



Слика 13. Ximeng – Shengli 1000 kV, Кина (2016) [20]



Слика 14. ZhanJiang – Кина (2019) [20]

На Слици 17 приказани су детаљи при монтажи изолационих конзола на 132 kV далеководу у Шкотској, чиме је напонски ниво тог далековада подигнут на 275 kV.

На Слици 18 приказан је далеководни стуб за далековод 230 kV, коме је после уградње изолационих конзола подигнут напонски ниво на 345 kV.



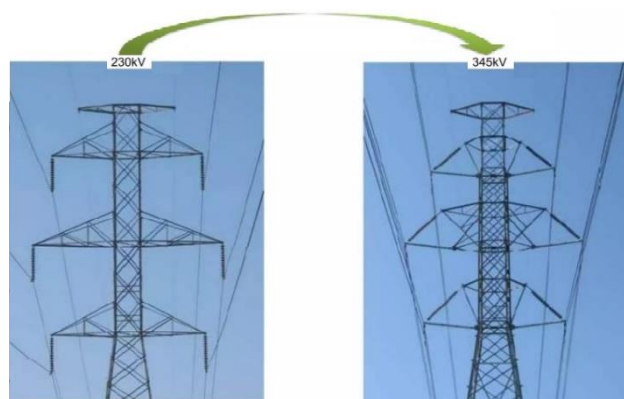
Слика 15. Dali, Yunnan – Кина (2019) [20]



Слика 16. 2x400 kV Dubai [17]



Слика 17. Реконструкција ДВ 132 kV и повећање напонског нивоа на 275 kV – Шкотска [17]



Слика 18. Реконструкција ДВ 230 kV и повећање напонског нивоа на 345 kV – USA [17]

6. ЗАКЉУЧАК

У раду је анализирана примена нових материјала и технологија при пројектовању стубова високонапонских далековаода. Направљен је хронолошки преглед који се односи на развој и употребу изолационих материјала за изградњу стубова. Циљ рада је био се прикаже употреба изолационих конзола (CICA), уместо класичних челично-решеткастих, као једног новог приступа при пројектовању далеководних стубова. У раду су приказани типови изолационих конзола од композитних материјала и анализиран је утицај њихове примене на димензије стубова далековаода и ширину коридора надземних водова. Дат је прорачун количина и цена материјала на примеру једног затезног поља далековаода. Указано је на предности и ризике примене оваквих решења.

Пре конкретне примене приказаних техничких решења пожељно је изградити посебну студију или елаборат којим би се детаљније сагледали конкретни примери примене изолационих конзола на пројектима у Републици Србији, како код нових далековаода, тако и на пројектима реконструкција постојећих далековаода, ради решавања конкретних проблема (подграђеност и ширина коридора) или подизања напонског нивоа.

Уважавајући све већи број ограничавајућих фактора који се морају узети у обзир приликом пројектовања једног далековаода, све приказане анализе и поређења јасно указују на предности које примена нових материјала и технологија пружају.

ЛИТЕРАТУРА

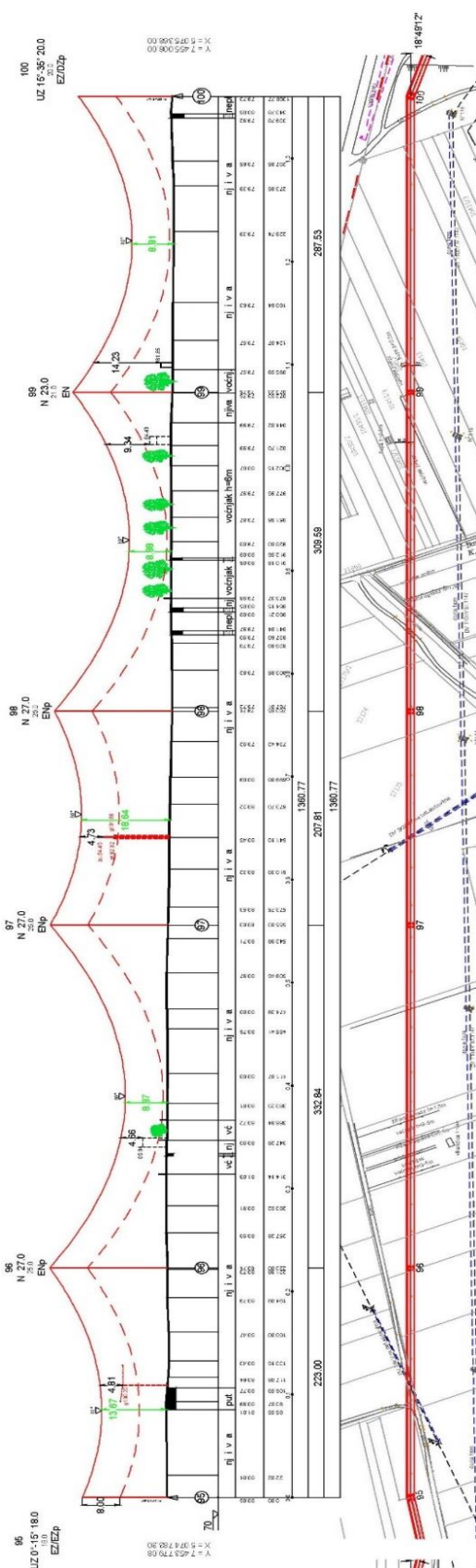
- [1] CIGRE Green Books, Compact Studies CIGRE, Study Committee B2: Overhead Lines, "Compact Overhead Line Design", Springer Nature Switzerland AG, 2024.
- [2] Cigre Technical Brochure 792, "Compact AC Overhead Lines", 2020.
- [3] M. Selvaraj, S. M. Kulkarni, R. Rameshbabu, "Performance Analysis of a Overhead Power Transmission Line Tower Using Polymer Composite Material", International Conference on Advances in Manufacturing and Materials Engineering, AMME 2014
- [4] L. Kojić, J. Krstivojević, D. Perišić, „Primena novih materijala i tehnologija pri projektovanju stubova visokonaponskih dalekovoda”, 36. Savetovanje CIGRE Srbija 2023, Zlatibor, Srbija.
- [5] Rao, N. P.; Mohan, S. J.; Lakshmanan, N., „A Study on Failure of Cross Arms in Transmission Line Towers During Prototype Testing“, *Int. J. Struct. Stab. Dyn.* 2005, 5, 435–455.
- [6] Ahsan, M.; Baharom, M. N. R. B.; Zainal, Z.; Mahmod, L. H.; Ullah, I.; Yousof, M. F. M.; Mohd Jamail, N. A.; Kamarudin, M. S.; Rahman, R. A.; „Historical Review of Advancements in Insulated Cross-Arm Technology“, *Energies* 2022, 15, 8221.
- [7] <https://encyclopedia.pub/entry/35099>
- [8] M. Ammann, P. Dallèves, K. O. Papiliou, M. Leva, S. Villa "A New 400 kV Line With Compact Towers And Composite Insulated Cross Arms", CIGRE Paris, Paris 1998.
- [9] K. Khalid, M. Hamami, N. K. Cheong, S. Fuad, „Microwave Reflection Sensor for Determination of Decay in Wooden Cross Arms“ In Proceedings of the IEEE International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Xi'an, China, 6 August 2002; pp. 595–598.
- [10] I. M. Rawi, M. S. A. Rahman, M. Z. A. A. Kadir, M. Izadi, „Wood and Fiberglass Cross Arm Performance Against Lightning Strikes on Transmission Towers“ In Proceedings of the IPST— International Conference on Power Systems Transients, Seoul, Korea, 26–29 June 2017.
- [11] S. Grzybowski, „Electrical Performance of 115 kV Transmission Lines Fiberglass Cross Arms Aged in Field“, Proceedings of the 5th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Seoul, Korea, 25–30 May 1997; Volume 2, pp. 774–777.
- [12] M. R. M. Asyraf, M. R. Ishak, S. M. Sapuan, N. Yidris, R. A. Ilyas, M. Rafidah, M. R. Razman, „Potential Application of Green Composites for Cross Arm Component in Transmission Tower“, A Brief Review. *Int. J. Polym. Sci.* 2020, 2020, 8878300.
- [13] N. Curović, D. Perišić, „Primena novih tehničkih rešenja u izgradnji i razvoju visokonaponskih vodova“, Kongres društva građevinskih konstruktora Srbije, Arandelovac 2022.
- [14] <https://www.smarepc.com/about-cica>
- [15] The Concept Paper on Insulated Cross Arm, Government of India, Ministry of Power, Central Electricity Authority, May 2021
- [16] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV („Sl. list SFRJ” br. 65/88 i „Sl. list SRJ” br. 18/92)
- [17] Shemar Power Engineering – Overall Composite Insulation Solutions for Power Grids: <https://www.slideshare.net/slideshow/shemar-power-engineeringoverall-composite-insulation-solutions-for-power-grids/112006886#1>
- [18] <https://en.shemar.com.cn/contact-us>
- [19] Пројекат за грађевинску дозволу за ДВ 110 kV ТС Ада – ТС Кикинда 2, „Електроисток – Пројектни биро” ДОО, Београд
- [20] <https://www.smarepc.com/reference>

ДОДАТАК (ПРИЛОГ) 1

Списак стандарда за тестирање изолатора и стубова надземних водова

- [A.1] IEC 62217 - Polymeric HV Insulators for Indoor and Outdoor Use – General Definitions, Test Methods and Acceptance Criteria.
- [A.2] IEC 61952 - Insulators for Overhead Lines - Composite Line Post Insulators for A.C. Systems with a Nominal Voltage Greater than 1 000 V - Definitions, Test Methods and Acceptance Criteria.
- [A.3] IEC 60652 - Overhead Line Structures - Loading Tests

ДОДАТАК (ПРИЛОГ) 2



Слика А.1. Подужни профил ДВ 110 kV ТС „Ада” – ТС „Киkinда 2” у затезном пољу 95-100 [19]

БИОГРАФИЈЕ

Лазар Којић је рођен у Лозници 1995. године. Завршио је гимназију у Малом Зворнику. Дипломирао је на Видовдан 2019. године на Електротехничком факултету у Београду – одсек Енергетика (смер Електроенергетски системи). Од 2019. године запослен је у

ПД „Електроисток – Пројектни биро” ДОО у Београду у Сектору за пројектовање далековаода.



Јелисавета Крстивојевић је рођена у Ваљеву 1982. године. Завршила је гимназију у Ваљеву. Дипломирала је 2006. године на Електротехничком факултету у Београду – одсек Енергетика (смер Електроенергетски системи). Докторску дисертацију је

одбранила 2015. године на Електротехничком факултету у Београду – одсек Енергетика (смер Електроенергетске мреже и системи). Од јула 2007. године запослена је на Електротехничком факултету у Београду на Катедри за електроенергетске системе. Тренутно је у звању доцента.



Дана Перишић је рођена у Неготину 1988. године. Завршила је Архитектонску техничку школу у Београду и Грађевински факултет у Београду – смер Конструкције. Од 2014. године запослена је у ПД

„Електроисток – Пројектни биро” ДОО у Београду у Сектору за пројектовање далековаода.

Lazar Kojić¹, Jelisaveta Krstivojević², Dana Perišić¹



The use of Composite Insulated Cross Arm (CICA) as a New Tehnology When Designing High Voltage Overhead Transmission Line Towers

¹ Elektroistok – Projektni biro Ltd, Belgrade, Serbia*

² University of Belgrade – School of Electrical Engineering, Belgrade

Professional article

Highlights

- Presented a new tehnology for designing high voltage overhead transmission line towers
- All advantages and disadvantages of the presented technical solutions are considered
- A comparison with classic steel-lattice towers has been made
- Show examples building CICA towers

Abstract

Towers are one of the most important elements of transmission lines and occupy a key place in the design of new transmission lines. Great attention is paid to their design. To achieve optimal characteristics, historically, various shapes and materials have been used. Today, towers can be found in different shapes made from various materials. Particular solutions for towers result from meeting technical, spatial, constructional, and architectural requirements, often including artistic elements. Increasing attention is being paid to the impact of power lines on the environment, including space occupation, visual impact, electrical effects, as well as the impact of construction and maintenance of power lines. This paper analyzes one of the solutions related to the use of insulated cross arms as a new technology in the design of high-voltage power line towers. The application of insulated cross arms can be viewed in several ways. The proper selection of tower type is significant both from a technical aspect and from the aspect of integrating power lines into the environment, with minimal disturbance to the existing surroundings. The paper presents a comparison of the characteristics of towers with insulated cross arms and steel lattice towers, which are most commonly used in Serbia. In addition to the construction of new towers with insulated cross arms, improvement in characteristics can also be achieved by replacing existing steel lattice cross arms with insulated ones on existing towers. These solutions are particularly suitable for urban areas where the reduction of power line corridors width would be highly significant in densely populated areas. The paper presents an example of the application of insulated cross arms on existing and newly built towers, with an analysis of the costs and quantities of materials based on the example of a 110 kV power line tension field. At the end of the paper, an overview of power line towers with insulated cross arms worldwide is presented.

Keywords

CICA (Composite Insulated Cross Arm), new materials, overhead transmission line, towers

Received: July 10th, 2024 Reviewed: August 19th, 2024
Modified: August 26th, 2024 Accepted: September 2nd, 2024
* Corresponding author: Lazar Kojić, +381642849485
E - mail: lazar.kojic@eipb.rs

Note:

This article represents an expanded, improved and additionally peer-reviewed version of the paper "Application of New Materials and Technologies in the Design of High Voltage Power Line Towers", awarded by Expert Committee EC-B2 Overhead Lines at the 36th CIGRE Serbia Conference, Zlatibor, May 22-26, 2023

