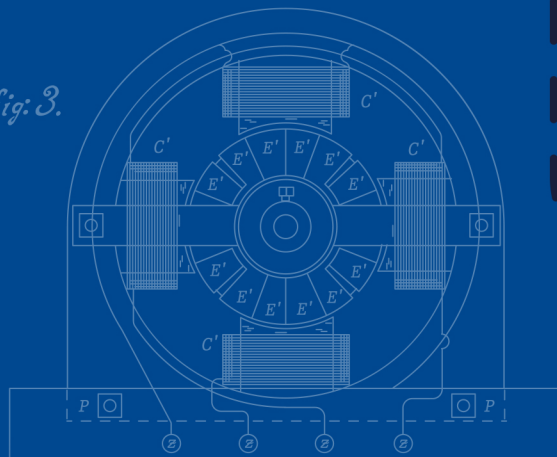




fig. 3.



ISSN 3009-2892 (Online)

УДК 620.9
621.31

Електропривреда

Electric Power Industry Journal

2023

Година 1, Број 1
Volume 1, Issue 1



СПЕЦИЈАЛНО
ИЗДАЊЕ



CIRED Србија



Електропривреда

Electric Power Industry Journal



Научно-стручни часопис Акционарског друштва „Електропривреда Србије“
у суиздаваштву са Електротехничким институтом „Никола Тесла“ Београд



Година 1, Број 1

Садржај

Импресум	
Реч Уредништва	1-1
Реч Гостујућег уредника	2-2
Чланци	
Никола Н. Крстић, Драган С. Тасић: Метода за одређивање оптималне локације и конфигурације система сачињеног од фотонапонског и система за складиштење енергије узимајући у обзир смањење губитака у дистрибутивној мрежи	3-14
Дуња С. Грујић, Милош Кузман: Улога агрегатора у развоју тржишта електричне енергије	15-29
Владимир М. Шиљкут, Никола Георгијевић, Саша Милић, Александар Латиновић, Душан Влаисављевић, Радош Чабаркапа: Агрегација композитне виртуелне електране – могућности и ограничења за примену у Србији	30-48
Маја Грбић, Дејан Хрвић, Александар Павловић: Анализа изложености људи магнетској индукцији у стану услед утицаја нисконапонских кабловских прикључних кутија	49-58
Милица Поробић, Радислав Миланков, Драган Цветинов, Ратко Роган: Анализа испоручене електричне енергије кориснику „Barry-Callebaut-chocolate factory Нови Сад“	59-73
Додатак - прилози	
Уређивачка политика и тематске области часописа	74-74
Категоризација (рангирање) рукописа	75-75
Детаљно упутство ауторима о начину припреме чланка	76-80



ИЗВРШНИ ИЗДАВАЧ:

АКЦИОНАРСКО ДРУШТВО „ЕЛЕКТРОПРИВРЕДА СРБИЈЕ“ БЕОГРАД

11 000 Београд, Балканска 13

Електронска презентација: www.eps.rs

Телефон Уредништва: +381-11-365-23-63

Имејл: epijournal.editor@eps.rs

Web платформа Часописа: <https://epijournal.eps.rs>

СУИЗДАВАЧ:

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ИНСТИТУТ „НИКОЛА ТЕСЛА“ БЕОГРАД

11 000 Београд, Косте Главинића 8а

Електронска презентација: www.ieent.org

Телефон: +381-11-39-52-000

Телефакс: +381-11-36-90-487

ЗА ИЗВРШНОГ ИЗДАВАЧА:

Душан Живковић, дипл. инж. ел.
в.д. генералног директора ЕПС АД

ЗА СУИЗДАВАЧА:

Др Драган Ковачевић, дипл. инж. ел.
директор ЕТИ „Никола Тесла“

ГЛАВНИ И ОДГОВОРНИ УРЕДНИК:

Др Владимир М. Шиљкут, дипл. инж. ел.

ИЗДАВАЧКИ САВЕТ

Др Драган Ковачевић, Електротехнички институт „Никола Тесла“ Београд
Небојша Петровић, „Електромрежа Србије“ АД Београд, председник ЦИГРЕ Србија
Ванр. проф. др Жељко Поповић, ФТН Нови Сад, представник ЦИРЕД Србија
Мр Ненад Шијаковић, „Електромрежа Србије“ АД Београд
Мр Душан Вукотић, „Електродистрибуција Србије“ д.о.о. Београд
Проф. др Владимир А. Катић, професор у пензији ФТН Нови Сад, председник Уређивачког одбора
Др Владимир М. Шиљкут, „Електропривреда Србије“ АД Београд, главни и одговорни уредник

УРЕЂИВАЧКИ ОДБОР

Проф. др Владимир А. Катић, професор у пензији ФТН Нови Сад, председник
Проф. др Драгутин Д. Саламон, професор у пензији ЕТФ Београд, заменик председника
Проф. др Александар Гајић, Академија инжењерских наука Србије (АИНС),
професор у пензији Машинског факултета Београд
Проф. др Јован Нахман, АИНС, професор у пензији ЕТФ Београд
Проф. др Никола Рајаковић, председник Савеза енергетичара Србије, професор у пензији ЕТФ Београд
Проф. др Младен Кезуновић, Texas A&M University
Проф. др Мирослав Беговић, Texas A&M University
Проф. др Јовица Милановић, University of Manchester, School for Electrical Engineering
Проф. др Владимир Терзија, Newcastle University
Проф. др Борис Думнић, Факултет техничких наука, Нови Сад
Проф. др Лука Стрезоски, Факултет техничких наука, Нови Сад
Проф. др Драган Тасић, Електронски факултет, Ниш
Проф. др Лидија Коруповић, Електронски факултет, Ниш
Проф. др Драгана Животић, Рударско-геолошки факултет, Београд
Проф. др Мића Јовановић, Технолошко-металуршки факултет, Београд
Ванр. проф. др Тина Дашић, Грађевински факултет, Београд
Доц. др Јелена Поноћко, SP Energy Networks i University of Manchester, School for Electrical Engineering
Др Ана Дајић, Технолошко-металуршки факултет, Београд
Др Драгослав Перић, Академија техничких струковних студија, Београд
Др Саша М. Стојковић, Академија техничко-уметничких струковних студија, Београд
Др Драган Ковачевић, Електротехнички институт „Никола Тесла“, Београд
Др Нинел Чукалевски, Институт „Михајло Пупин“, Београд
Др Милинко Радосављевић, Рударски институт, Београд
Др Марија Ђорђевић, „Електромрежа Србије“ АД, Београд
Др Јасна Марковић-Петровић, ЕПС АД, Београд
Др Рада Крговић, ЕПС АД, Београд
Др Владимир Ђорђевић, ЕПС АД, Београд

Др Милорад Пантелић, ЕПС АД, Београд
Др Милицав Томић, ЕПС АД, Београд
Мр Драган Влаисављевић, ЕПС АД, Београд
Мр Александар Јаковљевић, ЕПС АД, Београд
Мр Никола Обрадовић, „Електромрежа Србије“ АД, Београд
Владан Ристић, „Електромрежа Србије“ АД, Београд
Радован Станић, ЕПС АД, Београд
Биљана Стекић-Јовановић, ЕПС АД, Београд
Јован Илић, ЕПС АД, Београд
Милан Ђорђевић, ЕПС АД, Београд
Радос Чабаркапа, ЕПС АД, Београд
Александар Латинковић, ЕПС АД, Београд
Жељко Лазаревић, ЕПС АД, Београд

**ГОСТУЈУЋИ УРЕЂИВАЧКИ ОДБОР СПЕЦИЈАЛНОГ ИЗДАЊА
(Посвећеног најзапаженијим радовима 13. Саветовања CIRED Србије 2022)**

Др Зоран Симендић, председник CIRED Србија, гостујући главни уредник,
Др Владимир Шилкут, председник Стручне комисије СТК-1 CIRED Србија,
Проф. др Владимир Катић, председник СТК-2 CIRED Србија, гостујући уредник,
Мр Душан Вукотић, председник СТК-3 CIRED Србија, гостујући уредник,
Ванр. проф. др Жељко Поповић, председник СТК-4 CIRED Србија, гостујући уредник,
Ванр. проф. др Александар Јањић, председник СТК-5 CIRED Србија, гостујући уредник,
Ванр. проф. др Ненад Катић, председник СТК-6 CIRED Србија, гостујући уредник.

ТЕХНИЧКО УРЕДНИШТВО

Развој, дизајн и уређивање веб платформе:

Игор Меденица
Данило Мијатовић
Радован Брајовић

Лектор и коректор:

Милеса Карацић, проф. српског језика и књижевности

Преводиоци:

Јасна Ђуровић
Срђан Бугарић
Ивана Јевтовић
Сунчица Ђокић-Крстић
Ранка Младеновић

Технички секретаријат:

Мр Ангелина Миловановић
Дејана Косановић

Народна библиотека Србије, Београд

Часопис „Електропривреда“
Electric Power Industry Journal

Главни и одговорни уредник
Др Владимир М. Шилкут,
научни сарадник

Часопис излази двапут годишње
ISSN 3009-2892 (Online) Open Access
COBISS.SR-ID - 121874441

РЕЧ УРЕДНИШТВА

Поштовани читаоци и сарадници,

Часопис „Електропривреда“ је почео да излази давне 1948. године, најпре под другачијим називом, као стручно гласило у коме су објављивани многобројни стручни, па и научни рукописи, износећи искуства из електропривредне делатности на целом простору тадашње Југославије. Часопис је објављиван у континуитету, углавном квартално, у штампаном облику, пуне 64 године. Стога се може слободно рећи да је био и савременик и сведок електрификације земље, убрзаног развоја, али и потоњих, великих проблема, као и бројних преображаја електропривреде целог овог подручја, а и шире интерконекције. Стога није чудно што је током своје дуге историје, стекао ранг истакнутог часописа, националног значаја. Последњи број старог Часописа „Електропривреда“, међутим, изашао је још 2011. године. Наиме, Часопис се суочио са организационо-техничким проблемима и рад на припреми и публиковању нових издања је убрзо прекинут.

Са визијом стратешког развоја и разумевајући да без чврсте сарадње људи из струке и праксе са научно-истраживачким институцијама и иновативним центрима, као ни без отворене размене њихових мишљења и искустава, нема даљег напретка у области електроенергетике, руководство ЕПС је 2022. и почетком 2023. године донело две значајне одлуке. Прва је оформљавање и почетак рада Научног савета ЕПС, који чине представници академске, научно-истраживачке заједнице и запослених у ЕПС са академским и научним звањима. Друга је одлука о поновном покретању издавања часописа „Електропривреда“, као научно-стручног, по новој, широј концепцији и двојезично, на српском и енглеском. Научни савет ЕПС и нова „Електропривреда“ представљаће полигоне, платформе и алате за приказивање искустава, конструктивно исказивање и сучељавање ставова, стручне дискусије и формулисање савета и закључака по питањима стратешког развоја и опредељивања за нове технологије. Наиме, уверени смо да ће само на тај начин електропривредна делатност у Србији, а и шире, суочена са неминовношћу декарбонизације, дигитализације и транзиције ка одрживом развоју, бити у стању да изнађе адекватне и оптималне техничко-технолошке, правно-економске и организационо-пословне одговоре на све изазове.

На линији ових идеја, Уредништво вас позива на сарадњу и држи стално отворен љубазан позив за доставу ваших рукописа које ће детаљно рецензирати еминентни стручњаци у областима на које се рукописи односе. Такође позивамо заинтересоване експерте с искуством у рецензирању, да се пријаве за рецензенте рукописа који буду пријављивани за објављивање у Часопису. Све читаоце такође позивамо да се укључе у наш рад, слањем писаних дискусија, у случају да осете потребу да на неки од објављених текстова у Часопису дају свој коментар, да приложе полемику или пруже неки сличан допринос. Наиме, само уз интересовање и драгоцено, активно учешће читалачке публике, аутора и рецензената, биће могуће не само успешно поновно покретање часописа „Електропривреда“, него и његова одрживост, редовност излажења, актуелност и квалитет.

У име Уредништва,



др Владимир Шилкут
главни и одговорни уредник

РЕЧ ГОСТУЈУЋЕГ УРЕДНИКА

Поштовани читаоци,

Пред вама се налази први број обновљеног часописа „Електропривреда“. Одлуци Акционарског друштва „Електропривреда Србије“ (ЕПС АД) да поново покрене његово издавање, претходило је успешно одржавање 13. Саветовања у организацији националног комитета за електродистрибутивне мреже, ЦИРЕД Србије, на Копаонику, септембра 2022. С обзиром на ранију праксу старог Часописа, у оквиру и формално донете Одлуке ЕПС АД предвиђено је да непарним календарским годинама буду објављивани награђени радови са претходно одржаног саветовања ЦИРЕД Србије, али сада у оквиру посебног, специјалног издања, текстуално проширени за најмање трећину у односу на награђени рад, квалитативно унапређени и додатно рецензирани, по истој процедури која је предвиђена за рукописе кандидоване за објављивање у редовним издањима Часописа. Стицајем околности и поменутог следа догађаја, први број обновљеног Часописа је управо Специјално издање, посвећено радовима награђеним на ЦИРЕД Србије 2022.

Национални комитет ЦИРЕД Србије, по узору на међународни ЦИРЕД, има шест својих Стручних комисија (СТК). Национална саветовања са регионалним учешћем одржавају се бијенално и том приликом свака СТК додељује награду за најзапаженији рад у областима електродистрибутивне делатности којима се та СТК бави. Такође, предвиђена је могућност доделе и седме награде, за рад који приказује техничку иновацију, и она се може доделити само једном раду, на нивоу целог националног комитета ЦИРЕД Србија. Управо на 13. Саветовању је то био случај – додељена је и та награда.

Аутори свих радова награђених у септембру 2022. одазвали су се нашем и љубазном позиву сталног Уредништва Часописа и доставили рукописе са проширеним и унапређеним верзијама својих радова. Након спроведеног поступка детаљних прегледа и рецензија рукописа, усаглашавања аутора са рецензентима, пред вама се налази избор оних награђених радова који су обезбедили најмање две позитивне рецензије и добили коначно одобрење за објављивање.

Надам се да ће награђени радови, објављени у овом издању у својим проширеним и унапређеним верзијама, дати научни и стручни допринос електроенергетици у Србији и подстаћи ауторе из Србије и других земаља да убудуће објављују своје радове у новом часопису „Електропривреда“.

У име Гостујућег уређивачког одбора
Специјалног издања Часописа,



др Зоран Симендић
гостујући главни уредник

Никола Н. Крстић¹, Драган С. Тасић¹

Метода за одређивање оптималне локације и конфигурације система сачињеног од фотонапонског и система за складиштење енергије узимајући у обзир смањење губитака у дистрибутивној мрежи

¹ Електронски факултет у Нишу, Ниш, Србија*<https://doi.org/10.18485/epij.2023.1.1.1>

Категорија рада: оригинални научно-истраживачки чланак

Кључне поруке

- Овај рад разматра смањења губитака у дистрибутивној мрежи прикључењем система сачињеног од фотонапонског (PV) и система за складиштење енергије (ESS).
- Одређена је оптимална локација и оптимална снага система сачињеног од PV система и ESS уважавајући минимизацију губитака.
- Извршено је димензионисање PV система и ESS.
- Сагледан је утицај непоклапања стварних и очекиваних вредности оптерећења и сунчеве ирадијације на повећање губитака у мрежи и промену нивоа напуњености ESS.

Кратак садржај

У овом раду је представљена двостепена метода за одређивање оптималне локације и конфигурације система сачињеног од PV система и ESS узимајући у обзир смањење губитака у дистрибутивној мрежи. У првом кораку је уважавајући очекивани дневни дијаграм оптерећења дистрибутивне мреже, а коришћењем метахеуристичке оптимизационе методе роја честица (PSO), одређена оптимална локација и оптимална снага у току дана система сачињеног од PV система и ESS како би се минимизовали губици у дистрибутивној мрежи. У другом кораку процедуре, одређене су појединачне снаге PV система и ESS и извршена је њихова конфигурација (димензионисање). Ово је урађено итеративним поступком користећи вредности оптималне збирне снаге ова два система у току дана добијене у првом кораку и облика дневног дијаграма сунчеве ирадијације PV система у случају ведрога дана. Поступак конфигурације је детаљно објашњен, а у оквиру њега је одређена потребна максимална снага PV система, максимална снага ESS као и енергетски капацитет ESS. Такође, сагледан је утицај одступања стварног од очекиваног дијаграма оптерећења као и смањење сунчеве ирадијације у току дана на повећање губитака у дистрибутивној мрежи и промену нивоа напуњености ESS. У раду су разматрани случаји са различитим дијаграмима оптерећења и различитим степенима ефикасности ESS. Сви резултати су добијени коришћењем IEEE радијалне дистрибутивне мреже са 33 чвора.

Кључне речи

Фотонапонски (PV) систем, систем за складиштење енергије (ESS),
оптимизациона метода роја честица (PSO), губици у дистрибутивној мрежи

Напомена:

Чланак представља проширену, унапређену и додатно рецензирану верзију рада „Оптимална локација и конфигурација система сачињеног од фотонапонског и система за складиштење енергије узимајући у обзир смањење губитака у дистрибутивној мрежи“, награђеног у Стручној комисији СТК-4 Дистрибуирана производња и ефикасно коришћење електричне енергије, на 13. Саветовању CIRED Србија, Копоник, 12-16.

Примљено: 5. април 2023. Рецензирано: 25. април 2023.
Измењено: 28. април 2023. Одобрено: 4. мај 2023.

*Кореспондирајући аутор: Никола Н. Крстић
Имејл: nikola.krstic@elfak.ni.ac.rs

1. УВОД

Повећање еколошке свести је условило да побољшање ефикасности и коришћење зелених технологија постану једни од основних захтева и приоритета који се постављају приликом разматрања рада електроенергетског система. У остварењу ових захтева значајну улогу играју обновљиви извори енергије, који се на све могуће начине покушавају имплементирати у електроенергетски систем и побољшати његов рад [1]. Један посебно важан вид њихове примене је прикључење на дистрибутивну мрежу [2] где имају улогу дистрибуиране производње. Овиме обновљиви извори енергије приближавају производњу потрошњи смањујући губитке у преносу [3], али због интермитентног карактера њихове производње често нису у могућности остварити потребну снагу која би донела жељено повећање ефикасности мреже. Једно од решења овог проблема, посебно у случајевима где дистрибуирана производња и оптерећење у већој мери нису усаглашени, јесте коришћење ESS [4]-[5]. Узимајући у обзир горе наведено, у овом раду је разматрано побољшање ефикасности рада дистрибутивне мреже, односно смањење губитака у њој [6], коришћењем система који се састоји од PV система и ESS [7]. Системи од којих је састављен омогућавају му да се према дистрибутивној мрежи понаша као дистрибуирана производња са могућношћу управљања излазном снагом [8]-[9]. Овом снагом систем остварује растерећење одређених деоница дистрибутивне мреже, посебно оних напојних, смањујући губитке у њима. Токови снага у дистрибутивној мрежи и струје у њеним водовима су одређене итеративном методом за прорачун токова снага у радијалним дистрибутивним мрежама [10].

За минимизацију губитака у дистрибутивној мрежи, у овом случају, потребно је исправно лоцирати поменути систем и у сваком тренутку обезбедити адекватну вредност његове излазне снаге [8]. Оптимална локација и снага коју је потребно да у дистрибутивну мрежу ињектира систем сачињен од PV система и ESS, како би минимизовао губитке у њој, [3], [11], одређене су коришћењем PSO метахеуристичке оптимизационе методе, [12]-[15], уважавајући очекивани дневни дијаграм оптерећења. На основу добијене оптималне снаге система у току дана и дневног дијаграма сунчеве ирадијације PV система у случају ведрога дана, одређују се појединачне снаге PV система и ESS и врши се њихова оптимална конфигурација, односно димензионисање [11], [16]. Овде се одређује потребна максимална снага PV система, максимална снага ESS и потребан енергетски капацитет ESS, за различите дијаграме и типове оптерећења, користећи различите степене ефикасности ESS.

Процедура за одређивање конфигурације система сачињеног од PV система и ESS је итеративног типа код које се на основу претпостављених вредности за периоде пуњења/пражњења ESS одређује максимална снага PV система [17] на основу које се тачније одређују периоди пуњења/пражњења ESS у наредној итерацији. Почетне вредности за периоде пуњења/пражњења ESS се одређују на основу облика дневног дијаграма оптерећења дистрибутивне мреже и дневног дијаграма сунчеве ирадијације PV система. Итеративни поступак се завршава када у две суседне итерације периоди пуњења/пражњења ESS имају исту вредност. Наведена процедура за одређивање оптималне локације и конфигурације система сачињеног од PV система и ESS захтева познавање дневног дијаграма оптерећења дистрибутивне мреже и дијаграма сунчеве ирадијације PV система. Ови дијаграми се због своје стохастичке природе не могу са сигурношћу прогнозировать [18], због чега се оптимална конфигурација система врши на основу њихових највероватнијих вредности у које спадају очекивани дијаграм оптерећења и дијаграм сунчеве ирадијације PV система у ведром дану. Из овог разлога је такође сагледан утицај непоклапања стварних са очекиваним (прогнозираним) вредностима оптерећења као и утицај смањења сунчеве ирадијације PV система услед облачности у току дана, на повећање губитака у мрежи и промену нивоа напуњености ESS [19].

2. ДЕФИНИСАЊЕ ОПТИМИЗАЦИОНОГ ПРОБЛЕМА И КРИТЕРИЈУМСКА ФУНКЦИЈА

Смањење губитака у дистрибутивној мрежи коришћењем система сачињеног од PV система и ESS представља нелинеарни оптимизациони проблем са ограничењима. Нелинеарност произилази из нелинеарне зависности губитака дистрибутивне мреже и коришћених ограничења од снаге ињектирања поменутог система.

Управљачке величине у овом оптимизационом проблему су локација и средње једночасовне снаге система сачињеног од PV система и ESS. Ограничења управљачких величина су дата следећим релацијама:

$$i \in \{i_1, i_2, \dots, i_n\} \quad (1)$$

$$P_{min}(k) < P(k) < P_{max}(k) \quad (2)$$

где је i индекс чвора у дистрибутивној мрежи у коме је прикључен систем сачињен од PV система и ESS, док је $P(k)$ средња једночасовна снага коју овај систем ињектира у дистрибутивну мрежу у k -том сату. Скуп индекса чворова у којима је могуће прикључити систем сачињен од PV система и ESS је дат као $\{i_1, i_2, \dots, i_n\}$, а $P_{min}(k)$ и $P_{max}(k)$ су његова минимална и максимална снага у k -том сату, које су одређене минималним и максималним снагама PV система и

$$ESS \quad (P_{min}(k) = P_{PVmin}(k) + P_{ESSmin}(k), \quad P_{max}(k) = P_{PVmax}(k) + P_{ESSmax}(k)).$$

Зависне величине које се појављују у овом оптимизационом проблему су снаге PV система и ESS, ниво напуњености ESS, струја дуж водова дистрибутивне мреже и напон у њеним чворовима.

Ограничења зависних величина су одређена минималним и максималним снагама PV система и ESS, максималном радном струјом и дозвољеним опсегом напона дистрибутивних водова, као и дозвољеним опсегом нивоа напуњености ESS, што је дато релацијама (3)-(7):

$$P_{PVmin}(k) < P_{PV}(k) < P_{PVmax}(k) \quad (3)$$

$$P_{ESSmin}(k) < P_{ESS}(k) < P_{ESSmax}(k) \quad (4)$$

$$I < I_{max} \quad (5)$$

$$V_{min} < V < V_{max} \quad (6)$$

$$SOC_{min} < SOC < SOC_{max} \quad (7)$$

где су I и V струја и напон у дистрибутивној мрежи, док је SOC ниво напуњености ESS.

Снаге $P_{PV}(k)$ и $P_{ESS}(k)$ представљају средње једночасовне снаге PV система и ESS у k -том сату, које као и остале величине морају бити између својих минималних ($P_{PVmin}(k)$, $P_{ESSmin}(k)$) и максималних вредности ($P_{PVmax}(k)$, $P_{ESSmax}(k)$). Граничне вредности за снаге ESS (максимална снага пуњења и максимална снага пражњења) усвојене су тако да не представљају ограничавајући фактор за добијање оптималног решења и имају исту вредност у току целог дана. За разлику од тога, горња гранична вредност снаге PV система $P_{PVmax}(k)$ зависи од редног броја сата у дану k , и прати облик дневног дијаграма сунчеве ирадијације PV система. Доња гранична вредност за снагу PV система $P_{PVmin}(k)$ је једнака нули за сваки сат у току дана.

Како би добијени радни режими ESS били одрживи у времену, приликом одређивања оптималне конфигурације система, усвојиће се да су нивои напуњености ESS на почетку (SOC_0) и крају (SOC_T) радног циклуса (дана) једнаки. У ову сврху је усвојено додатно ограничење везано за ниво напуњености ESS, уважено релацијом (8):

$$SOC_T - SOC_0 = 0 \quad (8)$$

Решење оптимизационог проблема је потребно да омогући минимизацију губитака у дистрибутивној мрежи. Из овог разлога је коришћена једнопараметарска критеријумска функција једнака средњој дневној снази губитака дистрибутивне мреже, дата релацијом (9):

$$C = \frac{1}{24} \cdot \sum_{k=1}^{24} \sum_{j=1}^m 3I_{k,j}^2 R_j \quad (9)$$

где је: C — критеријумска функција чију минимизацију је потребно извршити, $I_{k,j}$ — ефективна вредност струје у k -том сату на j -тој деоници дистрибутивне мреже,

R_j — активна отпорност j -те деонице дистрибутивне мреже, m — укупан број деоница дистрибутивне мреже.

3. РЕШАВАЊЕ ОПТИМИЗАЦИОНОГ ПРОБЛЕМА И ОДРЕЂИВАЊЕ ОПТИМАЛНЕ КОНФИГУРАЦИЈЕ СИСТЕМА

У циљу добијања оптималне локације и конфигурације система сачињеног од PV система и ESS потребно је прво решити постављени оптимизациони проблем. Решавање овог оптимизационог проблема се своди на налажење оптималних вредности за локацију и снагу система сачињеног од PV система и ESS тако да се оствари минимизација губитака у дистрибутивној мрежи. За добијање оптималне локације и оптималних средњих једночасовних снага у току дана система сачињеног од PV система и ESS коришћена је метахеуристичка оптимизациона метода PSO. Предност PSO и метахеуристичких оптимизационих метода уопште је њихова флексибилност и могућност примене на широком опсегу различитих оптимизационих проблема.

3.1 Решавање оптимизационог проблема

Као што је речено, PSO је коришћен за решавање постављеног оптимизационог проблема. PSO спада у популационе метахеуристичке оптимизационе методе и инспирисан је процесом тражења хране јата птица у природи. Популација се састоји од скупа јединки, од којих свака представља вектор управљачких величина и потенцијално решење оптимизационог проблема. Јединке у популацији комуницирају међусобно и крећу се према оној која је на месту са највећом количином хране, односно која има најнижу вредност критеријумске функције. У циљу боље претраге простора у којем се може наћи оптимално решење, на смер кретања јединке не утиче само локација са највећом количином хране до тада пронађена (g_{best}), већ и локација са највећом количином хране коју је та јединка до тада пронашла (p_{besti}). На овај начин у свакој следећој итерацији јединке су ближе налажењу места са највећом количином хране, а тиме и најмањом вредношћу критеријумске функције. Јединка која на крају има најмању вредност критеријумске функције уједно представља и решење оптимизационог проблема. Наведена оптимизациона метода се аналитички може описати преко релација (10) и (11):

$$v_i(t+1) = w \cdot v_i(t) + C_1 \cdot r_1 \cdot (p_{besti}(t) - x_i(t)) + C_2 \cdot r_2 \cdot (g_{best}(t) - x_i(t)) \quad (10)$$

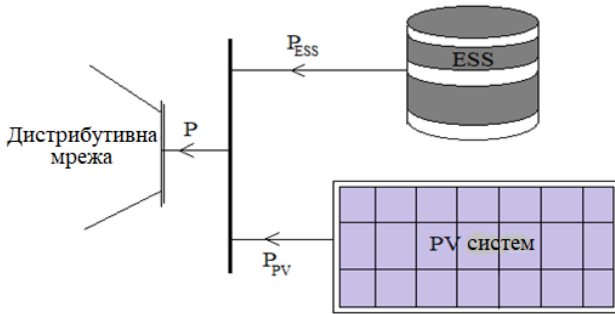
$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (11)$$

где је: t – редни број итерације, x_i – локација i -те јединке, v_i – померај i -те јединке, w – коефицијент инерције, C_1, C_2 – коефицијенти убрзања, r_1, r_2 – случајни бројеви из интервала $[0,1]$.

Код решавања наведеног оптимизационог проблема јединку представља вектор управљачких величина са 25 координата, од којих је прва локација (индекс чвора у дистрибутивној мрежи у којем се врши прикључење система), а остале 24 координате представљају средње једночасовне снаге посматраног система у току дана. Након сваке итерације мењају се координате јединки у циљу смањења вредности њених критеријумских функција, што после одговарајућег броја итерација (када је промена критеријумске функције најбољег решења занемарљива) даје решење оптимизационог проблема. Као део решења оптимизационог проблема, директно је добијена оптимална локација система сачињеног од PV система и ESS, док су добијене оптималне снаге искоришћене за одређивање оптималне конфигурације система.

3.2 Одређивање оптималне конфигурације система сачињеног од PV система и ESS

У овом раду је за оптималну конфигурацију система сачињеног од PV система и ESS, чија је принципијелна шема приказана на слици 1, усвојена она конфигурација која може да обезбеди минимизацију губитака у дистрибутивној мрежи уз минимално димензионисање PV система и ESS.



Слика 1. Принципијелна шема система сачињеног од PV система и ESS

За одређивање оптималне конфигурације искоришћена је добијена оптимална снага, коју поменути систем треба ињектирати у дистрибутивну мрежу у току дана како би минимизовао губитке у њој, као и дневни дијаграм сунчеве ирадијације PV система. У коришћеном приступу први корак у одређивању оптималне конфигурације система сачињеног од PV система и ESS је димензионисање PV система, односно одређивање његове максималне снаге. Како би ово било могуће, потребно је изразити снагу PV система за сваки сат у току дана преко његове максималне снаге (P_{PVmax}) и сунчеве ирадијације у току дана:

$$P_{PV}(h) = P_{PVmax} \frac{I_C(h)}{I_{Cmax}} \quad (12)$$

где су $P_{PV}(h)$ и $I_C(h)$ снага и сунчева ирадијација PV система у h -том сату, док је I_{Cmax} максимална сунчева ирадијација PV система у току дана. Снага PV система прати дневни дијаграм сунчеве ирадијације његових панела, због чега најчешће овај систем није у стању да сам испуни тражену оптималну снагу. За решавање овог проблема искоришћен је ESS који у складу са потребама може имати улогу потрошње (период пуњења) или производње (период пражњења) чиме обезбеђује да снага која се ињектира у дистрибутивну мрежу буде једнака оптималној (P_{opt}).

$$P_{ESS} = P_{opt} - P_{PV} \quad (13)$$

Узимајући у обзир да су у овом раду коришћене средње једночасовне снаге, ниво напуњености ESS на крају k -тог сата, за време пуњења и пражњења се може одредити из релација (14) и (15) респективно:

$$SOC_k = SOC_{k-1} - \frac{\eta}{Q_{ESS}} P_{ESS}(k) \quad (14)$$

$$SOC_k = SOC_{k-1} - \frac{1}{\eta \cdot Q_{ESS}} P_{ESS}(k) \quad (15)$$

где је: SOC_k – ниво напуњености ESS на крају k -тог сата, SOC_{k-1} – ниво напуњености ESS на крају $k-1$ -ог сата, $P_{ESS}(k)$ – средња једночасовна снага ESS у k -том сату (има вредност мању од нуле за време пуњења, а већу од нуле за време пражњења ESS), Q_{ESS} – укупни, рачунски енергетски капацитет ESS, η – степен ефикасности процеса пуњења и пражњења ESS.

Заменом израза (12) у (13), а затим израза (13) у (14) и (15), разлика између нивоа напуњености ESS на крају и почетку посматраног периода (ΔSOC) се може одредити као:

$$\Delta SOC = \sum_j^m \left(P_{PVmax} \frac{I_C(j)}{I_{Cmax}} - P_{opt}(j) \right) \frac{\eta}{Q_{ESS}} - \sum_i^n \left(P_{opt}(i) - P_{PVmax} \frac{I_C(i)}{I_{Cmax}} \right) \frac{1}{\eta \cdot Q_{ESS}} \quad (16)$$

где је i редни број сати, а n укупан број сати када долази до пражњења ESS, док је j редни број сати, а m укупан број сати када долази до пуњења ESS у посматраном радном циклусу.

Периоди пуњења ESS настају када је тражена оптимална снага система сачињеног од PV система и ESS мања, а периоди пражњења када је она већа од снаге PV система. Како унапред није позната максимална снага PV система, ови периоди се морају претпоставити сагледавањем облика дијаграма оптималне снаге и дијаграма сунчеве ирадијације. Користећи претпостављене вредности за периоде пуњења и пражњења, за задати степен ефикасности и нулту разлику између нивоа напуњености ESS на крају и почетку, максимална снага PV система на основу израза (16) је:

$$P_{PVmax} = \frac{\sum_j^m P_{opt}(j)\eta + \sum_i^n P_{opt}(i)\frac{1}{\eta}}{\sum_j^m \frac{I_C(j)}{I_{Cmax}}\eta + \sum_i^n \frac{I_C(i)}{I_{Cmax}}\frac{1}{\eta}} \quad (17)$$

Након одређивања максималне снаге PV система на основу израза (17), потребно је проверити тачност начињене претпоставке о периодима пуњења и пражњења ESS. Ово се врши упоређивањем оптималне снаге система сачињеног од PV система и ESS са снагом PV система одређеном на основу његове максималне снаге користећи израз (12). Уколико се испостави да претпоставка није тачна потребно је поновити наведени поступак користећи нове, боље процењене периоде пуњења и пражњења. Потребно је истаћи да уколико је степен ефикасности ESS једнак јединици, ситуација је знатно једноставнија јер није потребно претпостављати периоде пуњења и пражњења, па се максимална снага PV система добија директно.

Када је позната максимална снага PV система, користећи изразе (12) и (13) могуће је одредити снагу ESS за сваки сат посматраног периода. Највећа једночасовна снага ESS по апсолутној вредности у току периода рада (T) представља снагу према којој је потребно димензионисати ESS:

$$P_{ESSmax} = \max\{|P_{ESS}(k)|\}, k = \{1, 2, \dots, T\} \quad (18)$$

Након тога, помоћу израза (14) и (15), одређују се нивои напуњености ESS на крају сваког сата у посматраном периоду рада. На основу добијених вредности за нивое напуњености ESS врши се његово димензионисање, односно одређивање потребног енергетског капацитета. Минимални потребни енергетски капацитет (ΔQ_{ESS}) који би омогућио наведени режим рада ESS се одређује помоћу израза (19):

$$\Delta Q_{ESS} = Q_{ESS} \cdot (SOC_{Max} - SOC_{Min}) \quad (19)$$

где су SOC_{Max} и SOC_{Min} максимални и минимални ниво напуњености ESS у посматраном периоду рада.

Поред потребног енергетског капацитета ESS, за остваривање жељеног (оптималног са аспекта смањења губитака у мрежи) режима рада, неопходно је одредити и дозвољени опсег у коме се може наћи почетни ниво напуњености ESS, како би ниво напуњености у току дана био у оквиру дозвољених вредности. Максимални и минимални ниво напуњености ESS се могу изразити преко почетног нивоа напуњености (SOC_0) и снаге пуњења/пражњења ESS (P'_{ESS}) као:

$$SOC_{Max} = SOC_0 - \frac{1}{Q_{ESS}} \sum_{k=1}^{kmax} P'_{ESS}(k) \quad (20)$$

$$SOC_{Min} = SOC_0 - \frac{1}{Q_{ESS}} \sum_{k=1}^{kmin} P'_{ESS}(k) \quad (21)$$

где су k_{min} и k_{max} редни број сати у којима се јавља минимални односно максимални ниво напуњености ESS, при чему за време пуњења ESS важи да је $P'_{ESS} = \eta P_{ESS}$, а за време пражњења $P'_{ESS} = P_{ESS}/\eta$.

Минимални и максимални ниво напуњености који се појављују у раду ESS морају бити у дозвољеним границама ($SOC_{Max} \leq SOC_{max}$ и $SOC_{Min} \geq SOC_{min}$), тако да се за дозвољени опсег у коме се може наћи почетни ниво напуњености ESS добија:

$$SOC_{min} + \frac{1}{Q_{ESS}} \sum_{k=1}^{kmin} P'_{ESS}(k) \leq SOC_0 \leq SOC_{max} + \frac{1}{Q_{ESS}} \sum_{k=1}^{kmax} P'_{ESS}(k) \quad (22)$$

4. УТИЦАЈ НЕПОКЛАПАЊА СТВАРНИХ И ОЧЕКИВАНИХ ВРЕДНОСТИ ОПТЕРЕЂЕЊА И СУНЧЕВЕ ИРАДИЈАЦИЈЕ

Као што се може видети у поглављу 3, изложена метода користи очекивани дијаграм оптерећења дистрибутивне мреже како би одредила оптималну снагу коју систем сачињен од PV система и ESS треба да ињектира у мрежу. Такође, код одређивања оптималне конфигурације система метода захтева познавање облика дневног дијаграма сунчеве ирадијације PV система за случај ведрога дана. Уважавајући наведено, јасно је да оптималност конфигурације система, па тиме и смањење нивоа губитака у дистрибутивној мрежи, у великој мери зависи од тачности прогнозе дијаграма оптерећења и дијаграма сунчеве ирадијације PV система. Као што се може претпоставити могућа су три различита случаја:

1. непоклапање стварног и прогнозираног дијаграма оптерећења,
2. непоклапање стварног и прогнозираног дијаграма сунчеве ирадијације PV система,
3. непоклапање стварних и прогнозираних вредности оба разматрана дијаграма.

Како би се квантификовао утицај непоклапања стварних са очекиваним вредностима оптерећења и сунчеве ирадијације на повећање губитака у мрежи, у оквиру сваког од наведена три случаја размотриће се примери у којима долази до промене сатних карактеристика у односу на оне које се прогнозирају очекиваним дијаграмом оптерећења и дијаграмом сунчеве ирадијације PV система за случај ведрога дана.

У зависности од начина решавања поменутог проблема размотрена су два приступа. Код оба приступа, у циљу што већег искоришћења сунчеве енергије, усвојено је да PV систем ради са максималном могућом снагом у датом тренутку, која је директно пропорционална интензитету сунчеве ирадијације на његове панеле. Са друге стране, начин одређивања снаге ESS зависи од коришћеног приступа. Наиме, у првом приступу једнакост нивоа напуњености ESS на почетку и крају радног циклуса мора бити очувана, док у другом приступу то није случај, већ се као једини приоритет поставља

минимизација губитака у мрежи. Због тога је снага ESS у првом приступу (P_{ESS}^I) једнака снази ESS која је добијена у процесу конфигурације система (P_{ESS}), где је био задовољен услов једнакости нивоа напуњености ESS на почетку и крају радног циклуса.

$$P_{ESS}^I = P_{ESS} \quad (23)$$

Имајући у виду да снага PV система зависи од сунчеве ирадијације на коју се не може утицати, а да је снага ESS унапред одређена, ињектирана снага система сачињеног од PV система и ESS у првом приступу може у великој мери одступати од оптималне вредности, што би за последицу могло има знатно увећање губитака у мрежи. Ово може бити посебно изражено у периодима са већом облачношћу и оптерећењем изнад очекиваног, када снага PV система буде тек толика да обезбеди адекватну допуну ESS.

За разлику од првог, у другом приступу се врши мерење оптерећења и на основу те информације коришћењем PSO одређује оптимална снага коју систем у датом тренутку треба ињектирати у мрежу како би минимизовао губитке. Снага ESS у другом приступу (P_{ESS}^{II}) се подешава тако да се у сваком тренутку, независно од тренутне снаге PV система (P_{PV}), у мрежу ињектира оптимална вредност снаге са аспекта минимизације губитака (P_{opt}).

$$P_{ESS}^{II} = P_{opt} - P_{PV} \quad (24)$$

Јасно је да се на овај начин врши успешно минимизација губитака у мрежи, али се такође може јавити и велика разлика између нивоа напуњености ESS на крају и оног на почетку, због чега је употреба овог приступа ограничена на специјалне ситуације. Мора се напоменути да независно од коришћеног приступа ограничења у виду потребне максималне снаге (P_{ESSmax}) и потребног енергетског капацитета ESS (ΔQ_{ESS}), добијених у процесу конфигурације система, морају бити задовољена. Ова ограничења за k -ти сат су дата изразима (25) и (26), респективно:

$$P_{ESS}^{I,II}(k) < P_{ESSmax} \quad (25)$$

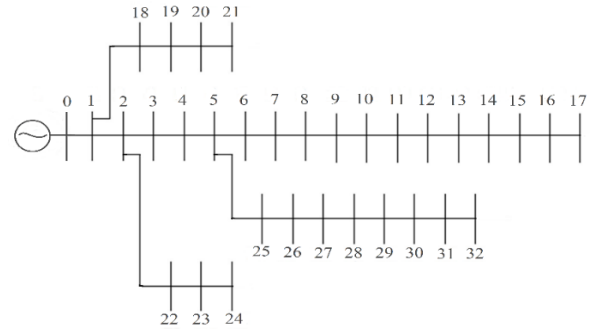
$$P_{ESS}^{I,II}(k) < \Delta Q_{ESS} - \sum_{i=1}^{k-1} P_{ESS}^{I,II}(i) \quad (26)$$

5. ПРИКАЗ И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

Сви резултати добијени у овом раду се односе на IEEE радијалну дистрибутивну мрежу са 33 чвора, приказану на слици 2. Усвојено је исто растојање између свака два суседна чвора и оно износи 250 m. Ово је урађено ради једноставности извођења општих закључака. Напонски ниво дистрибутивне мреже је 10 kV, док вредности подужне активне отпорности и реактансе износе $r = 0,414 \Omega/km$ и $x = 0,365 \Omega/km$.

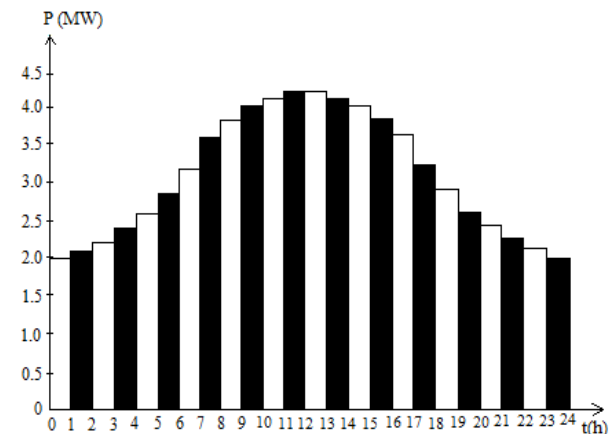
PSO оптимизациона метода је реализована тако да је оптимално решење добијено после 100 итерација коришћењем популације од 200 јединки. На основу већег броја извршених симулација усвојене су

вредности коефицијента инерције и коефицијената убрзања које дају најбоље резултате, а оне су: $w = 0,85$, $C_1 = 0,5$ и $C_2 = 0,6$.

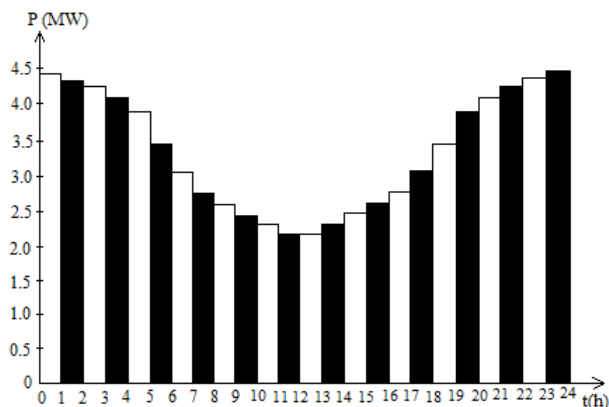


Слика 2. IEEE 33 дистрибутивна мрежа

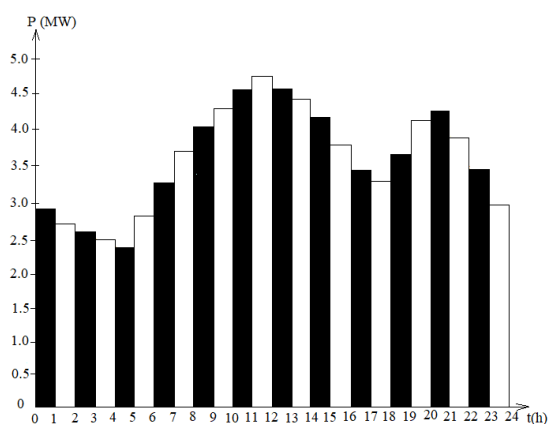
Разматрана су три различита дијаграма оптерећења дистрибутивне мреже, приказана на сликама 3, 4 и 5. Облици прва два дијаграма оптерећења имају више теоријски карактер и одабрани су као примери оптерећења које се у већој или мањој мери поклапа са дневним дијаграмом сунчеве ирадијације PV система. Као што се може видети са слика 3 и 4, први и други дијаграм оптерећења дистрибутивне мреже имају различите расподеле снаге оптерећења у времену, али исту максималну ($P_{max1,2} = 4,462 MW$) и средњу снагу ($P_{sr1,2} = 3,285 MW$). За разлику од њих, облик трећег дијаграма оптерећења, приказаног на слици 5, боље описује оптерећење које се може наћи у пракси и има нешто већу максималну ($P_{max3} = 4,75 MW$) и средњу снагу ($P_{sr3} = 3,398 MW$). У свим разматраним случајевима је коришћена униформна расподела оптерећења по чворовима дистрибутивне мреже. Такође, за сваки дијаграм оптерећења сагледана су два случаја, у првом је оптерећење типа константне снаге (индустријско оптерећење), а у другом је оно типа константне импедансе (резистивно оптерећење), при чему су за назначени напон дистрибутивне мреже (10 kV) активне снаге код оба типа оптерећења исте и једнаке онима са дијаграма оптерећења.



Слика 3. Први дијаграм оптерећења дистрибутивне мреже



Слика 4. Други дијаграм оптерећења дистрибутивне мреже



Слика 5. Трећи дијаграм оптерећења дистрибутивне мреже

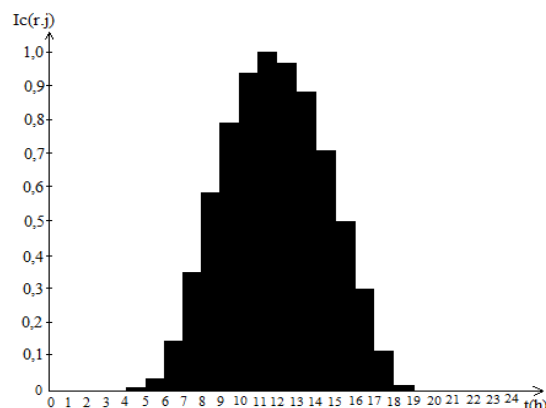
Важно је напоменути да је у сваком разматраном случају временска расподела оптерећења сваког чвора иста и прати коришћени дијаграм оптерећења дистрибутивне мреже. Такође, фактор снаге оптерећења је исти у току целог дана и јединствен на целој дистрибутивној мрежи, при чему му вредност износи $\cos\varphi = 1$ и $\cos\varphi = 0,89$ за резистивни и индустријски тип оптерећења, респективно.

Дневни дијаграм сунчеве ирадијације панела PV система, коришћен при одређивању снаге PV система, изражен у релативним јединицама, је дат на слици 6.

У табели I су приказане вредности средње дневне снаге губитака у дистрибутивној мрежи пре прикључења система сачињеног од PV система и ESS, за сва три дијаграма оптерећења, при чему се вредности у заградама односе на случај оптерећења константне импедансе, а вредности које у њима нису – на случај оптерећења константне снаге.

Резултати из табеле I су очекивани, с обзиром да су снаге првог и другог дијаграма оптерећења, иако временски различито распоређене, исте по вредностима и нешто мање него у случају трећег дијаграма оптерећења. Такође, чињеница да су напони

чворова мреже нешто мањи од назначеног, као и постојање токова реактивних снага у мрежи у случају оптерећења константне снаге, за последицу има појаву већих губитака за тај тип оптерећења.



Слика 6. Дневни дијаграм сунчеве ирадијације PV система

Табела I Средња дневна снага губитака пре прикључења система сачињеног од PV система и ESS

Дијаграм оптерећења	I	II	III
$P_{gsr} [kW]$	63,037 (46,001)	63,037 (46,001)	68,097 (49,498)

Узимајући у обзир добијене оптималне локације и снаге система сачињеног од PV система и ESS, табела II садржи резултате добијене након његовог прикључења на дистрибутивну мрежу. Ови резултати, поред средње дневне снаге губитака (P_{gsr}), садрже оптималну локацију (индекс чвора дистрибутивне мреже) у којој је систем сачињен од PV система и ESS прикључен (i), као и потребну максималну снагу PV система (P_{PVmax}), потребну максималну снагу ESS (P_{ESS}) и потребан енергетски капацитет ESS (ΔQ_{ESS}) за различите степене ефикасности ESS ($\eta=1$, $\eta=0,9$ и $\eta=0,8$). Важно је истаћи да у изложеном поступку степен ефикасности ESS не утиче на локацију и снагу система сачињеног од PV система и ESS, већ само на његову конфигурацију (максималну снагу PV система, максималну снагу ESS и енергетски капацитет ESS).

На основу резултата из табеле II може се закључити да се прикључењем система сачињеног од PV система и ESS могу знатно смањити губици у дистрибутивној мрежи. Како је средња снага губитака након прикључења иста за први и други дијаграм оптерећења, а нешто већа код трећег, констатује се да на висину губитака након прикључења утиче вредност снаге оптерећења, а не њен распоред у времену. Такође, из табеле II да се приметити да оптимална локација система сачињеног од PV система и ESS не зависи од дијаграма оптерећења, и да је за сва три дијаграма оптерећења, независно од типа оптерећења,

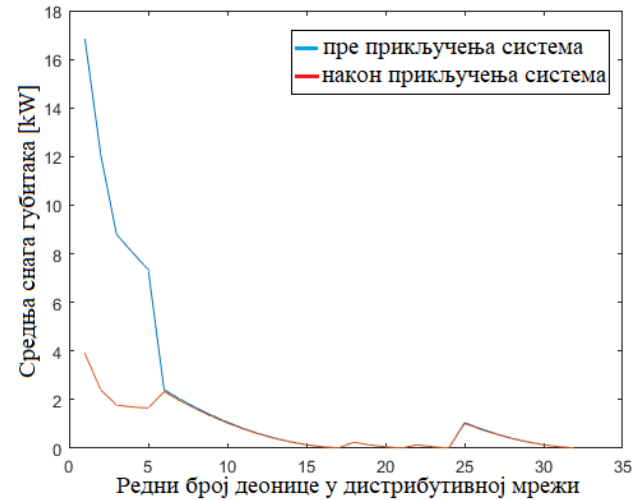
то чвор 5. Поред тога, табела II показује да вредност максималне снаге PV система расте са повећањем средње дневне снаге оптерећења, док је утицај облика дијаграма оптерећења већи уколико је ефикасност ESS мања (за јединичну ефикасност не постоји). За енергетски капацитет и максималну снагу ESS од највећег значаја је поклапање дијаграма оптерећења са дијаграмом производње PV система, што се показује далеко већим енергетским капацитетом и максималном снагом ESS у случају другог него у случају првог дијаграма оптерећења. Као и максимална снага PV система и потребан енергетски капацитет и максимална снага ESS се повећавају са смањењем ефикасности ESS. Ово произилази из чињенице да је за исту ињектирану снагу потребна већа снага пражњења ESS, као и да је за исту снагу пуњења ESS потребна већа снага која долази из PV система, уколико дође до смањења ефикасности ESS. Наведена запажања важе за оба типа оптерећења, при чему су нешто веће вредности максималних снага PV система и ESS, као и енергетских капацитета ESS, код оптерећења константне снаге последица нешто већег оптерећења у том случају.

Табела II Средња дневна снага губитака након прикључења система сачињеног од PV система и ESS, локација прикључења и параметри конфигурације система за различите степене ефикасности ESS

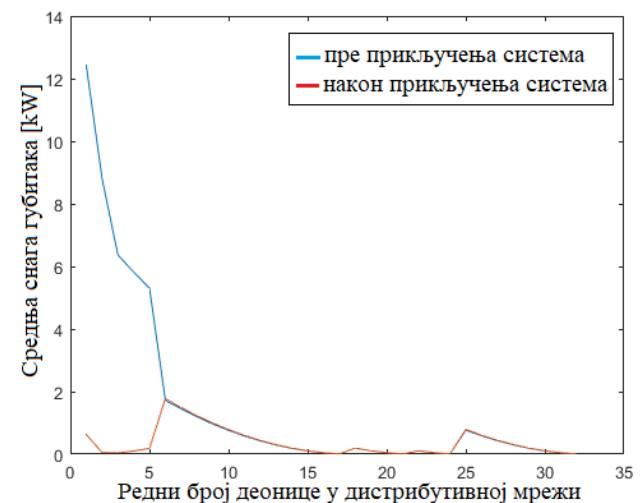
Дијаграм оптерећења	I	II	III
$P_{gsr} [kW]$	24,047 (11,257)	24,047 (11,257)	25,970 (12,125)
i	5 (5)	5 (5)	5 (5)
$P_{PVmax1} [MW]$	8,530 (8,354)	8,529 (8,354)	8,830 (8,640)
$P_{ESS1} [MW]$	4,988 (4,905)	6,855 (6,702)	5,056 (4,972)
$\Delta Q_{ESS1} [MWh]$	27,115 (26,680)	40,783 (39,827)	29,219 (28,701)
$P_{PVmax0,9} [MW]$	9,382 (9,192)	9,825 (9,619)	9,758 (9,551)
$P_{ESS0,9} [MW]$	5,841 (5,744)	8,154 (7,968)	5,984 (5,884)
$\Delta Q_{ESS0,9} [MWh]$	29,508 (29,045)	44,861 (43,817)	32,131 (31,554)
$P_{PVmax0,8} [MW]$	10,522 (10,316)	11,594 (11,347)	11,026 (10,796)
$P_{ESS0,8} [MW]$	6,981 (6,867)	9,923 (9,695)	7,252 (7,128)
$\Delta Q_{ESS0,8} [MWh]$	32,370 (31,872)	49,784 (48,624)	35,657 (35,017)

На сликама 7 и 8 су приказане средње једночасовне снаге губитака на деоницама дистрибутивне мреже пре

и након прикључења система сачињеног од PV система и ESS, за оба разматрана типа оптерећења која прате трећи дијаграм оптерећења. Индекси (редни бројеви) деоница су једнаки индексима чворова на њиховим крајевима.



Слика 7. Средња снага губитака на деоницама дистрибутивне мреже за оптерећење константне снаге

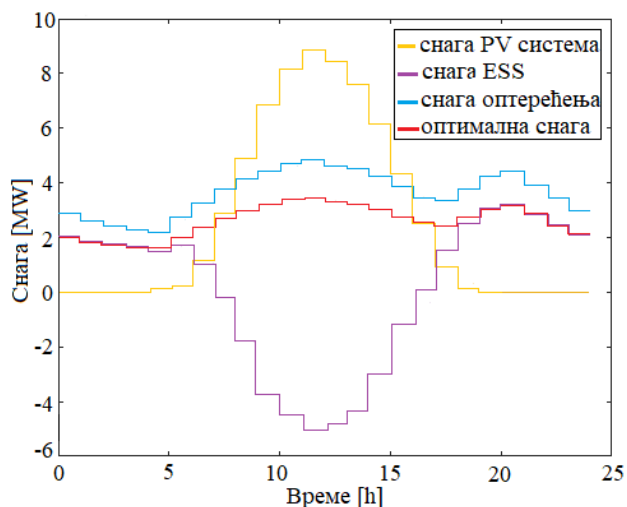


Слика 8. Средња снага губитака на деоницама дистрибутивне мреже за оптерећење константне импедансе

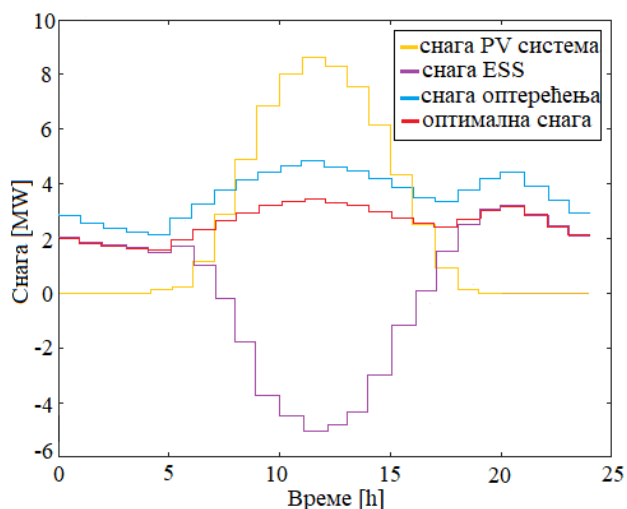
На основу слика 7 и 8 може се закључити да се прикључењем једног система сачињеног од PV система и ESS највеће смањење губитака остварује на напојним деоницама дистрибутивне мреже одакле се гранају више њених огранака и где су губици снаге највећи. Такође, може се уочити да су због постојања токова реактивних снага на које се значајније није могло утицати, губици у напојним деоницама већи у случају оптерећења константне снаге.

Слике 9 и 10 приказују активну снагу оптерећења, оптималну (радну) снагу система сачињеног од PV система и ESS, као и снаге PV система и ESS

појединачно за јединични степен ефикасности ESS и трећи дијаграм оптерећења.



Слика 9. Снага оптерећења, оптимална (радна) снага система сачињеног од PV система и ESS, снага PV система и снага ESS за оптерећење константне снаге



Слика 10. Снага оптерећења, оптимална (укупна) снага система сачињеног од PV система и ESS, снага PV система и снага ESS за оптерећење константне импедансе

На сликама 9 и 10 се може видети да оптимална (радна) снага система сачињеног од PV система и ESS прати облик снаге оптерећења, и у периодима велике сунчеве ирадијације је обезбеђена из PV система, док ноћу и у периодима са малом сунчевом ирадијацијом њу генерише ESS. Као што је и очекивано, у периодима велике сунчеве ирадијације врши се допуна ESS, док се у периодима са малом сунчевом ирадијацијом одвија његово пражњење.

У табели III је дата минимална средња дневна снага губитака, средња дневна снага губитака добијена првим и другим приступом и промена енергетског нивоа ESS добијена у другом приступу, за различита

одступања снаге оптерећења и сунчеве ирадијације од очекиваних вредности. Важно је напоменути да је усвојено одступање снаге оптерећења (ΔP) процентуално исто за сваки сат у току дана, што такође важи и за одступање сунчеве ирадијације (ΔI_c). Минимална средња дневна снага губитака је добијена за случај када систем сачињен од PV система и ESS у сваком сату ињектира оптималну снагу са аспекта смањења губитака, уважавајући стварну вредност оптерећења у мрежи, а занемарујући ограничења одређена конфигурацијом система. Ова снага губитака има теоријски карактер и служи као референца на основу које се оцењује ефикасност првог и другог приступа. Поменута два приступа су детаљно објашњена у четвртом поглављу.

Табела III Минимална средња дневна снага губитака, средња дневна снага губитака добијена првим и другим приступом и промена енергетског нивоа ESS добијена у другом приступу, за различита одступања снаге оптерећења и сунчеве ирадијације од очекиваних вредности.

$\Delta P(\%)$, $\Delta I_c(\%)$	$P_{gsr,min}[kW]$	$P_{gsr}^I[kW]$	$P_{gsr}^{II}[kW]$	$\Delta W_{ESS}^{II}[MWh]$
30, 0	44,339 (20,414)	48,202 (23,564)	44,340 (20,414)	-19,365 (-18,949)
20, 0	37,651 (17,416)	39,355 (18,823)	37,652 (17,416)	-12,910 (-12,632)
10, 0	31,530 (14,653)	31,953 (15,006)	31,530 (14,653)	-6,454 (-6,316)
-10, 0	20,951 (9,837)	21,367 (10,190)	21,839 (10,625)	3,207 (3,154)
-20, 0	16,501 (7,780)	18,152 (9,214)	18,885 (9,904)	6,401 (6,290)
-30, 0	12,593 (5,963)	16,282 (9,206)	17,402 (10,284)	9,596 (9,426)
0, -10	25,970 (12,125)	26,921 (12,963)	25,970 (12,125)	-6,455 (-6,316)
0, -20	25,970 (12,125)	29,807 (15,505)	25,970 (12,125)	-12,910 (-12,632)
0, -30	25,970 (12,125)	34,674 (19,790)	25,970 (12,125)	-19,365 (-18,948)
30, -30	44,339 (20,414)	66,161 (38,681)	51,240 (26,270)	-29,219 (-28,701)
20, -30	37,651 (17,416)	54,174 (31,468)	39,322 (18,903)	-29,219 (-28,701)
10, -30	31,530 (14,653)	43,689 (25,167)	31,530 (14,653)	-25,819 (-25,264)
-30, -20	12,593 (5,963)	14,349 (7,565)	12,593 (5,963)	6,454 (6,316)
-30, -10	12,593 (5,963)	14,385 (7,545)	13,657 (6,911)	9,324 (9,159)
-20, -20	16,501 (7,780)	18,110 (9,255)	16,501 (7,780)	0 (0)

На основу резултата из табеле III може се закључити да су у највећем броју случаја губици добијени у другом приступу знатно мањи од оних добијених коришћењем првог приступа. Разлика између губитака добијених другим приступом и минималних губитака је последица ограничења везаних за максималну снагу и енергетски капацитет ESS одређених конфигурацијом система, која онемогућавају да се у сваком часу оствари оптимална ињектирана снага. Такође, резултати из табеле III показују да се коришћењем другог приступа ESS допуњује ($\Delta W_{ESS} > 0$) у случају када је смањење оптерећења значајније од смањења сунчеве ирадијације, док се у супротном ESS празни ($\Delta W_{ESS} < 0$). Пражњење ESS након радног циклуса је посебно изражено када истовремено дође до повећања оптерећења и смањења сунчеве ирадијације у односу на њихове очекиване вредности току дана.

Упоређивањем вредности минималне снаге губитака и снаге губитака добијене коришћењем првог приступа, може се констатовати да занемаривање одступања стварних од очекиваних вредности оптерећења и сунчеве ирадијације приликом одређивања снаге PV система и ESS доводи до увећања губитака у мрежи. Са друге стране, велика пражњења ESS код другог приступа указују да се уважавање одступања и прилагођавање снаге ињектирања у мрежу не би требало вршити само на рачун снаге ESS већ и повећањем снаге PV система у фази конфигурације.

6. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је представљена метода за одређивање оптималне локације и конфигурације система сачињеног од PV система и ESS у циљу смањења губитака у дистрибутивној мрежи. Добијени резултати су показали да се прикључењем оваквог система могу значајно смањити губици у дистрибутивној мрежи, независно од облика дијаграма оптерећења и његовог типа и да је оптимална локација за прикључење чвор близу центра мреже (оптерећења). Такође, на основу резултата се може закључити да највећи утицај на димензионисање PV система, односно на његову максималну снагу има средња дневна снага оптерећења, док максимална снага и енергетски капацитет ESS у највећој мери зависе од поклапања дијаграма оптерећења са дијаграмом сунчеве ирадијације PV система. Упоређивањем резултата за различите степене ефикасности ESS може се установити, да смањење ефикасности ESS доводи до повећања максималне снаге PV система и ESS, као и до повећања енергетског капацитета ESS за исти ниво смањења губитака у мрежи. На крају, потребно је истаћи да непоклапање стварних и очекиваних вредности снаге оптерећења и смањење сунчеве

ирадијације испод очекиване вредности може довести до увећања губитака у мрежи или у великој мери променити ниво напуњености ЕЕС.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Anaza O. S, Haruna S. Y, Amoo L. A, Sadiq A. A, Yisah A. Y, "Potential of renewable energy sources for distributed generations: An overview", *International Journal of Scientific Advances*, Vol. 4, No. 1, pp. 107-117, 2023.
- [2] Рајаковић Н, Тасић Д., "Дистрибутивне и индустријске мреже", Академска мисао, Београд, 2008.
- [3] Alam A, Gupta A, Bindal P, Siddiqui A, Zaid M., "Power loss minimization in a radial distribution system with distributed generation", *International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems*, Chennai, India, pp. 21-25, 2018.
- [4] Das C. K, Bass O, Kothapalli G, Mahmoud T.S, Habibi D, "Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and power quality", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 91, pp. 1205-1230, 2018.
- [5] Tang X, Deng K, Wu Q, Feng Y., "Optimal location and capacity of the distributed energy storage system in a distribution network", *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 15576-15585, 2020.
- [6] Das S, Fosso O, Marafioti G., "Efficient distribution network loss minimization with optimal DG placement and operation", *IEEE 12th Energy Conversion Congress and Exposition – Asia*, Singapore, 2021.
- [7] Ortiz J, Kasmaei M, Lehtonen M, Mantovani J, "Optimal location-allocation of storage devices and renewable-based DG in distributed systems", *Electric Power System Research*, Vol. 172, pp. 11-21, 2019.
- [8] Adetunji K, Hofsajer I, Abu-Mahfouz A, Cheng L., "A review of metaheuristic techniques for optimal integration of electrical units in distribution network", *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 5046-5068, 2020.
- [9] Mahesh K, AL Nallagownden P, AL Elamvazuthi I., "Optimal placement and sizing of DG in distribution system using accelerated PSO for power loss minimization", *IEEE Conference on Energy Conversion*, Johor Bahru, Malaysia, 2015.
- [10] Michline J, Ganesh S., "Power flow analysis for radial distribution system using backward/forward sweep method", *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 8, No. 10, pp. 1628-1632, 2014.
- [11] Wong L, Shareef H, Mohamed A, Ibrahim A., "Optimal placement and sizing of energy storage system in distributed network with photovoltaic based distributed generation using improved firefly algorithms", *International Journal of Energy and Power Engineering*, Vol. 11, No. 9, pp. 895-903, 2017.

- [12] Radosavljević J., "Metaheuristic optimization in power engineering", Institution of Engineering and Technology, London, 2018.
- [13] Elattar E. E, Elsayed S.K, "Optimal location and sizing of distributed generators based on renewable energy sources using modified moth flame optimization technique", *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 109625–109638, 2020.
- [14] Das C. K, Bass O, Kothapalli G, Mahmoud T. S, Habibi D, "Optimal placement of distributed energy storage systems in distribution networks using artificial bee colony algorithm", *Applied Energy*, Vol. 232, pp. 212–228, 2018.
- [15] Goli P, Yelem S, Jasthi K, Gampa S. R, Das D, "Optimum placement of battery energy storage systems and solar PV units in distribution networks using gravitational search algorithm" In: *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence Techniques for Electrical Engineering Systems (AITEES)*, pp. 113–123, 2022.
- [16] Duong M. Q, Pham T. D, Nguyen T. T, Doan A. T, Tran H. V, "Determination of optimal location and sizing of solar photovoltaic distribution generation units in radial distribution systems", *Energies*, Vol. 12, No. 1, pp. 174 2019.
- [17] Mansouri N, Lashab A, Guerrero J. M, Cherif A, "Photovoltaic power plants in electrical distribution networks: a review on their impact and solutions", *IET Renewable Power Generation*, Vol. 14, No. 12, pp. 2114–2125, 2020.
- [18] Parihar S. S, Malik N, "Possibilistic uncertainty assessment in the presence of optimally integrated solar PV-DG and probabilistic load model in distribution network", *Facta Universitatis Series: Electronics and Energetics*, Vol. 35, No.1, pp. 71-92, 2022.
- [19] Wang J, Wang J, Guo J, Wang L, Zhang C, Liu B, "Research progress of complex network modeling methods based on uncertainty theory", *Mathematics*, Vol.11, No. 5, 1212, 2023.

БИОГРАФИЈЕ



Никола Крстић је рођен 24. фебруара 1995. године у Нишу. Дипломирао је 2018. и завршио мастер академске студије 2019. године на Електронском факултету у Нишу.

Његове главне области интересовања укључују анализу дистрибутивних мрежа,

оптимизацију електроенергетских система применом метахеуристичких оптимизационих метода и фотонапонске системе.

Тренутно је студент докторских академских студија и ради као асистент на катедри за Енергетику Електронског факултета у Нишу.



Драган Тасић је рођен 22. септембра 1961. у Губеревцу, општина Лесковац. Дипломирао је 1986. на Електротехничком факултету у Београду, а докторирао 1997. године на Електронском факултету у Нишу.

Његове главне области интересовања укључују анализу електроенергетских система, електроенергетску кабловску технику и методе оптимизације у електроенергетици.

Редовни је професор на катедри за Енергетику Електронског факултета у Нишу.

Nikola N. Krstić¹, Dragan S. Tasić¹

Method for determining the optimal location and configuration of the system consisting of photovoltaic and energy storage system considering the reduction of losses in the distribution network

¹ Faculty of Electronic Engineering in Niš, Niš, Serbia*

Category of article: Original scientific research article

Highlights

- This paper considers the reduction of losses in the distribution network by connecting the system consisting of photovoltaic (PV) and energy storage system (ESS).
- The optimal location and optimal power of the system consisting of PV system and ESS is determined, taking into account the minimization of losses in the distribution network.
- Sizing of the PV system and ESS is carried out.
- The influence of the discrepancy between the actual and expected values of load and solar irradiation on the increase of losses in the distribution network and the change in the state of charge of ESS.

Abstract

In this paper two-step method for determining the optimal location and configuration of the system consisting of PV system and ESS, considering the reduction of losses in distribution network, is presented. First step takes into account the daily load diagram and uses the metaheuristic particle swarm optimization method (PSO) to determine the optimal location and optimal power during the day of the system consisting of PV system and ESS in order to minimize the losses in distribution network. In the second step of the procedure, the individual powers of PV system and ESS are obtained and their configuration (sizing) determined. This is done by iterative procedure using the optimal values of combined power of these two systems during the day, obtained in the first step, and the shape of daily solar irradiation diagram of the PV system for the clear day. The configuration procedure is explained in detail, determining the maximum power of PV system, maximum power of ESS and energy capacity of ESS. In addition, the impact of the difference between the actual and the expected load diagram and the influence of the reduction of solar irradiation during the day on the increase of losses in the distribution network and the change in the state of charge of the ESS are considered. The paper considers cases with different load diagrams and different levels of ESS efficiency. All results are obtained using IEEE radial distribution network with 33 nodes.

Keywords

**Photovoltaic (PV) System, Energy Storage System (ESS),
Particle Swarm Optimization Method (PSO), Losses in the Distribution Network**

Received: April 5th, 2023 Reviewed: April 25th, 2023
Modified: April 28th, 2023 Accepted: May 4th, 2023
*Corresponding author: Nikola N. Krstić
E - mail: nikola.krstic@elfak.ni.ac.rs

Note:

This article represents an expanded, improved and additionally peer-reviewed version of the paper "Optimal location and configuration of the system consisting of photovoltaic and energy storage system considering the reduction of losses in distribution network", awarded by Expert Committee EC-4 Distributed Generation and Efficient Use of Electricity at the 13th CIRED Serbia Conference, Kopaonik, September 12-16, 2022

Дуња С. Грујић¹, Милош М. Кузман²

Улога агрегатора у развоју тржишта електричне енергије

¹ Електродистрибуција Србије д.о.о. Београд, Београд, Република Србија*² Удружење за право енергетике Србије, Београд, Република Србија<https://doi.org/10.18485/epij.2023.1.1.2>

Категорија рада: прегледни чланак

Кључне поруке

- Агрегатори као нови учесник на тржишту
- Значајан чинилац зелене транзиције – агрегатор
- Ефикасна оптимизација производње и потрошње електричне енергије
- Утицај на флексибилност електроенергетског система

Кратак садржај

Последњих година дошло је до убрзане транзиције дистрибутивног електроенергетског система из претежно пасивног у активан пре свега услед пораста броја произвођача електричне енергије из обновљивих извора прикључених на дистрибутивни систем. Поред тога, изменама и допунама Закона о енергетици дефинисани су нови корисници дистрибутивног система, међу којима и купци-произвођачи и складиштари чије се масовније прикључивање на дистрибутивни систем очекује у наредном периоду. Као битан нови учесник на тржишту препознат је и агрегатор који пружа услугу обједињавања производње и потрошње електричне енергије у циљу даље продаје, куповине или аукција на тржишту електричне енергије.

У овом раду биће анализирани могући модели пословања агрегатора, постојећа законска регулатива и предуслови који су потребни за њихово функционисање на тржишту Републике Србије. Такође, у раду ће бити представљене и добре међународне праксе у овој области. Поред тога разматраће се ефикасни начини обједињавања производње и потрошње електричне енергије, између осталог крајњих купаца и произвођача, од стране агрегатора.

Биће разматран и утицај агрегатора на пословање оператора дистрибутивног система пред којим стоје бројни изазови. Неки од ових изазова везани су и за управљање системом и промене токова снага услед прикључења значајног броја нових корисника система. На крају рада ће бити приказан конкретан пример који илуструје могућност деловања агрегатора у циљу повећања флексибилности електроенергетског система.

Кључне речи

Агрегатори, управљање производњом и потрошњом електричне енергије,
енергетска ефикасност, обновљиви извори електричне енергије

Примљено: 7. април 2023. Рецензирано: 22. мај 2023.
Измењено: 26. мај 2023. Одобрено: 27. мај 2023.

*Кореспондирајући аутор: Дуња С. Грујић

Тел: +381-64-897-46-59 Имејл: dunja.grujic@ods.rs

Напомена:

Чланак представља проширену, унапређену и додатно рецензирану верзију рада „Модел функционисања агрегатора на тржишту електричне енергије“, награђеног у СТК-6 Тржиште електричне енергије и дерегулација на 13. Саветовању CIRED Србија, Копаоник, 12-16. септембра 2022.

1. УВОД

Независно од тога којом ће се брзином развијати иновативности у области енергетике, убрзавати енергетска транзиција или изналазити алтернативни начини коришћења енергената, чињеница је да се електрична енергија (у даљем тексту: ЕЕ) свакодневно производи и троши. У овом процесу имамо произвођаче са једне стране, и потрошаче ЕЕ са друге. И једни и други настоје да оптимизују производњу односно потрошњу ЕЕ на начин да се она ефикасније производи односно троши уз ниже маргиналне трошкове. Тамо где је то технички и регулаторно могуће, а економски исплативо, кључ је у њиховом удруживању зарад постизања заједничког циља и ту на сцену ступају агрегатори.

Традиционална подела да су са једне стране произвођачи и са друге стране потрошачи ЕЕ показала је недостатке у пракси, услед чињенице да се понуда и тражња ЕЕ на тржишту не само никада не могу идеално поклопити, већ и стога што у појединим периодима у току календарске године долази до значајних одступања између ЕЕ која се производи и оне која се троши у датом тренутку. Бројни су разлози за овакву неусклађеност као што су нпр. недостатак ЕЕ из хидроелектрана усред суша, повећана потрошња ЕЕ у зимским месецима, већа количина ЕЕ која у току ноћи улази у систем из ветроелектрана у периоду кад је потрошња смањена, итд. Агрегирање тежи да постигне оптимизацију наведених неусклађености и због тога оно може представљати значајан фактор стабилности и самог дистрибутивног електроенергетског система (у даљем тексту: ДЕЕС), па и преносног електроенергетског система (у даљем тексту: ПЕЕС). Агрегатори имају позитиван утицај и на повећање флексибилности ДЕЕС и ПЕЕС. Стога је у раду дат и пример који приказује могућности које агрегатору стоје на располагању за повећање тих флексибилности.

Битан предуслов за формирање и развој агрегатора и само агрегирање представља постојање одговарајуће законске регулативе у овој области. Како у Републици Србији наведена регулатива још увек није у потпуности заокружена, овај рад представља прилику да се укаже на постојеће законско решење, као и решења која би регулатива која би тек требало да буде донета могла да садржи, као и моделе пословања агрегатора укључујући и начине обједињавања производње и потрошње ЕЕ који би по мишљењу аутора представљали оптимално решење у оквиру постојећих тржишних услова. Додатно ће у овом раду бити представљено и једно регионално искуство у овој области.

Почетак рада првих агрегатора у Републици Србији представљаће изазов и за оператора ДЕЕС (у даљем тексту: ОДС). Како би се обезбедило оптимално управљање ДЕЕС, ОДС би требало, ослањајући се између осталог и на недостајућу регулативу у овој области, да у сваком тренутку буде у могућности да

контролише рад агрегатора услед техничких специфичности, као што је на пример промена токова снага услед приступа агрегатора ДЕЕС односно произвођача и потрошача чију производњу и потрошњу агрегира агрегатор. Стога ће овај рад посебну пажњу посветити и утицају агрегатора на пословање ОДС.

2. ИЗАЗОВИ КОЈИ СУ ПРЕД ОДС УСЛЕД ПРИКЉУЧЕЊА НОВИХ КОРИСНИКА У ДЕЕС

2.1 Нови корисници ДЕЕС

Загађење животне средине, убрзане климатске промене, као и ограничени ресурси фосилних горива довели су до повећања свести човечанства о потреби за производњом ЕЕ из обновљивих извора, штедњом електричне (као и свих других видова) енергије, као и повећањем енергетске ефикасности.

С обзиром на наведено, у Републици Србији, као и у другим земљама Европе и света интензивно се граде производни објекти за производњу ЕЕ из обновљивих извора, пре свега из биомасе, сунца и ветра. Поред тога, значајан број крајњих купаца се одлучује на изградњу сопствених производних објеката из обновљивих извора енергије које ће прикључити на своје унутрашње инсталације при чему ће произведену ЕЕ користити за сопствене потребе, а вишкове испоручивати у ДЕЕС, при чему стичу статус купца-произвођача [1,2,3]. Република Србија на различите начине подстиче употребу обновљивих извора енергије (као што су фид-ин тарифе и аукције [2] за произвођаче, док су за купце-произвођаче грађанима између осталог понуђене државне субвенције [4], као и модел обрачуна путем нето мерења, односно нето обрачуна [2,3].

Као значајан корисник ДЕЕС и учесник на тржишту препознат је и складиштар [1], који би у периодима када има вишак ЕЕ на располагању исту складиштио, како би се она користила када за то буде потребе. Могућност уградње складишта дата је и купцима-произвођачима [2,3].

Поред промена у понашању свих крајњих купаца ЕЕ, узрокованих променама животних навика, модернизације бројних процеса, као и услова на тржишту ЕЕ посебно треба имати у виду сектор транспорта. Овај сектор се налази у транзиционом периоду, услед потребе за очувањем животне средине, смањењем емисије издувних гасова, као и успоравањем климатских промена. Наведене околности утичу на све већи број електричних возила и возила на хибридни погон (у даљем тексту: е-возила) на путевима Републике Србије. Како би се њихов број у будућности повећао неопходно је развити потребну инфраструктуру, у смислу изградње довољног броја јавних пунионица чија је потрошња изузетно непредвидива. Поред наведеног, треба имати у виду и предност коришћења батерија за е-

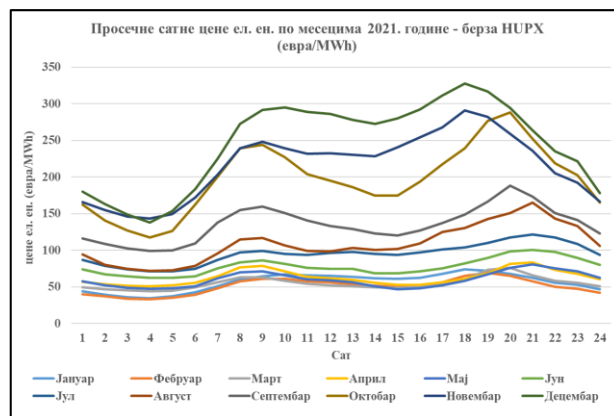
возила које могу представљати потенцијална покретна складишта ЕЕ [5].

С обзиром на све наведено ДЕЕС постаје динамичан, активан систем у ком су токови снага све мање предвидиви услед прикључења нових, и промене деловања постојећих, корисника ДЕЕС са различитим улогама у новонасталим тржишним условима. Услед претходно описаног, ОДС се суочава са изазовима у управљању ДЕЕС, регулацијом напона, повећаним техничким и нетехничким губицима, повећањем оптерећења ДЕЕС, смањењем капацитета за прикључење нових корисника ДЕЕС, загушењима у ДЕЕС, инјектирањем ЕЕ из ДЕЕС у ПЕЕС, као и потребама за значајним инвестицијама у ДЕЕС како би се омогућио стабилан, поуздан и сигуран рад ДЕЕС. Све наведено доводи до потребе веће флексибилности ДЕЕС која је предвиђена и у Директиви о заједничким правилима за унутрашње тржиште ЕЕ [6].

2.2 Флексибилност ДЕЕС

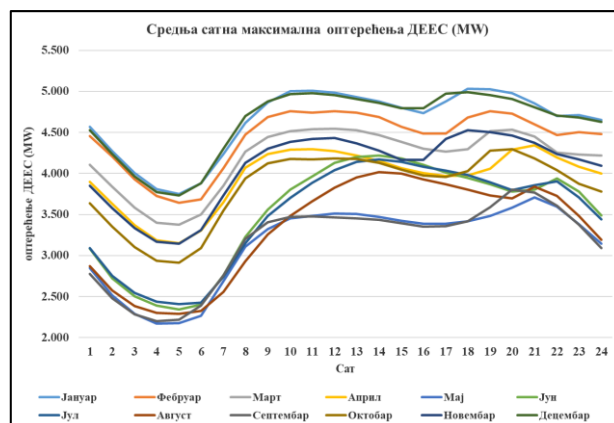
Већа флексибилност ДЕЕС може се постићи на различите начине. Пре свега, сам ОДС може вршити реконфигурацију ДЕЕС у циљу повећања флексибилности. Један од начина повећања флексибилности је промена извора напајања за поједине кориснике ДЕЕС услед прикључења новог производног објекта како би се произведена ЕЕ ефикасније користила и мање оптерећивао ДЕЕС. Такође, погодан избор тачке прикључења корисника ДЕЕС може бити додатни извор флексибилности, као што је нпр. прикључење производних објеката на локацијама са значајним оптерећењем, како би се избегло њихово прикључење на локацијама на којима је ДЕЕС иначе слабо оптерећен што може довести до нових проблема у управљању ДЕЕС.

Поред наведеног и корисници ДЕЕС могу повећати флексибилност ДЕЕС. Развојем тржишта ЕЕ корисници ДЕЕС могу мењати своје навике услед флукуације цене ЕЕ. Просечне сатне цене ЕЕ по месецима 2021. године са берзе HUPX¹ дате су на слици 1 [7]. Може се приметити да крива сатних цена прати криву сатног оптерећења ДЕЕС, која је дата на слици 2 [8], те да су у периодима већег оптерећења ДЕЕС и цене ЕЕ више и обрнуто. Уколико би снабдевачи продавали ЕЕ крајњим купцима по динамичким ценама које би пратиле описане трендове (различите цене по сатима, деловима дана или слично), корисници ДЕЕС, како би себи смањили трошкове за ЕЕ, природно би смањивали своју потрошњу у деловима дана у којима је ДЕЕС оптерећен (више цене) и своју потрошњу одлагали за периоде мањег оптерећења ДЕЕС (периоди нижих цена), а тиме би доприносили и флексибилности ДЕЕС.



Слика 1. Просечне сатне цене ЕЕ по месецима 2021. године - берза HUPX (евро/MWh) [7]

Како би се описани ефекат појачао и тарифе за приступ ДЕЕС у будућности могу постати динамичније. Редифинисањем тарифа кроз измене и допуне [9] крајњи купци (укључујући и пунионице за е-возила), купци-произвођачи, складиштари итд. били би мотивисани да ЕЕ из ДЕЕС не преузимају у периодима када је ДЕЕС веома оптерећен, већ у периодима мањег оптерећења. Тренутним концептом тарифа са дневном тарифом у трајању од 16 сати и ноћном у трајању од 8 сати не постиже се жељени ефекат у потпуности, те је предлог да се одреде бар четири различите тарифе које ће осликавати објективно стање у ДЕЕС. Најскупља тарифа би била у периоду од 17-21 ч, а најјефтинија у периоду од 00-08 ч. (видети слику 2) [5]. Такође, предлаже се моделовање посебних тарифа за произвођаче и складиштаре кроз измене и допуне [9] којима ће се стимулисати складиштари и произвођачи да управо у периодима дана када је ДЕЕС оптерећен испоручују ЕЕ у ДЕЕС, односно да у периодима мањег оптерећења испоручу смање или обуставе.



Слика 2. Средња сатна максимална оптерећења ДЕЕС по месецима 2021. године (MW) [8]

¹ За потребе овог рада, као пример, коришћене су цене са берзе HUPX. На слици 3 приказано је поређење просечних месечних цена у периоду од јануара 2020. до марта 2022.

године на берзама HUPX и SEEPEX. Може се приметити да су цене готово идентичне.

Описаним изменама корисници ДЕЕС би се подстакли да своју потрошњу и производњу самостално, изазвани само ценовним сигналимa, прилагоде стању у ДЕЕС чиме ће помагати пословању ОДС.

Поред наведеног, ОДС се подстиче да експлицитно набавља услугу флексибилности у транспарентним, недискриминаторним и тржишним поступцима набавке [6] у циљу подстицања пословања и развоја ОДС. С обзиром на наведено, ОДС може у будућности са корисницима ДЕЕС закључивати и посебне уговоре којима би се дефинисао однос корисника ДЕЕС и ОДС у смислу повећања флексибилности ДЕЕС. ОДС би корисницима, са којима има закључен уговор, издавао налоге чијом би реализацијом ОДС имао олакшано пословање, а корисник ДЕЕС одговарајућу финансијску надокнаду. Такође, ОДС у наредном периоду може корисницима ДЕЕС који желе да учествују у повећању флексибилности ДЕЕС давати различите повластице у смислу смањења трошкова прикључења на ДЕЕС, приоритетног приступа ДЕЕС и слично.

Корисници ДЕЕС, мотивисани првенствено финансијским уштедама и додатним приходима, али и очувањем животне средине, постају активни учесници на тржишту ЕЕ, те ће тако имати интереса да се укључе и у повећање флексибилности ДЕЕС на неки од описаних начина. Оправдано је очекивати да ће се у будућем периоду описани тренд наставити јер је дошло до наглог и значајног повећања цена ЕЕ на тржишту ЕЕ које немају тенденцију пада (видети слике 1 и 3). Међутим, због својих релативно малих капацитета корисници ДЕЕС често не могу самостално иступати на тржишту ЕЕ. Управо због тога препознат је агрегатор [1,6] као корисник ДЕЕС и учесник на тржишту.



Слика 3. Просечне месечне цене ЕЕ (евра/МWh);
јануар 2020 – март 2022;
берзе SEEPEX и HUPX [7, 10]

3. РЕГУЛАТИВА У ОБЛАСТИ АГРЕГАТОРА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

Иако је појам агрегатора глобално већ распрострањен и константно се развија [11], закон о енергетици [1] својим изменама и допунама из априла 2021. по први пут у законодавство Републике Србије

уводи појам агрегатора. Тако се у члану 2 став 1 тачка 1а) Закона агрегатор одређује као правно или физичко лице које пружа услугу обједињавања потрошње и/или производње ЕЕ у циљу даље продаје, куповине или аукција на тржиштима ЕЕ, док се у тачки 1) истог става агрегирање одређује као обједињавање потрошње и/или производње ЕЕ ради куповине, продаје или аукција на тржиштима ЕЕ. Из наведених законских дефиниција произлази да агрегатор може агрегирати само потрошњу, или производњу ЕЕ, а може објединити и производњу и потрошњу. То заправо значи да агрегатор координира потрошњу односно производњу учесника на тржишту у складу са законом, при чему нпр. купцима-произвођачима услед њихове природе може координирати и производњу и потрошњу.

Закон препознаје агрегатора и као корисника система и учесника на тржишту ЕЕ, што им гарантује широк круг како права тако и обавеза које произлазе из [1], на првом месту право на приступ ДЕЕС, право на недискриминаторан третман, итд. Чланом 195. став 1. тачка 17 [1] предвиђена је дужност снабдевача да крајње купце који су закључили уговор са агрегатором не излаже неоснованим трошковима ни уговорним ограничењима. На овај начин је законодавац желео да гарантује да крајњим купцима ЕЕ неће бити наметнуте додатне обавезе у случају да се одреде за сарадњу са агрегатором у односу на оне које већ имају у складу са законом, чиме је индиректно обезбеђено слободно одлучивање крајњих купаца на тржишту ЕЕ да се њихова потрошња агрегира.

На нешто детаљнији начин права и обавезе агрегатора одређени су у члану 210б [1]. Тако је прописано да агрегатор наступа на тржишту ЕЕ у име и за рачун учесника на тржишту за које врше услугу обједињавања потрошње и/или производње, чиме се агрегатор ставља у функцију заступника сходно општим правилима облигационог права. То заправо значи да радње које преузме агрегатор на тржишту ЕЕ, у границама законских овлашћења, правне последице тако преузете радње непосредно погађају произвођача односно потрошача ЕЕ који има закључен уговор са агрегатором. На агрегатора би се стога сходно имао применити институт заступништва из важећег Закона о облигационим односима, укључујући и институт прекорачења границе овлашћења, уколико исти нису у супротности са природом агрегатора. Стога је потребно да се произвођачи и/или потрошачи ЕЕ који се одлуче за агрегирање своје производње односно потрошње детаљно упознају са правним последицама деловања агрегатора, посебно у погледу одговорности коју би евентуално могли да сносе услед радњи које је учинио сам агрегатор у њихово име и за њихов рачун.

Истим чланом [1] даље је прописано да је агрегатор дужан да: 1) поступа према учеснику на тржишту на недискриминаторан начин; 2) објави опште услове понуде за закључење уговора, односно да учесника на тржишту обавести на пригодан начин о понуђеним

условима; 3) бесплатно обезбеди све релевантне податке учеснику на тржишту најмање једном у току обрачуноског периода уколико учесник на тржишту то затражи; и 4) да на својој интернет страници, или на други прикладан начин, обавести учесника на тржишту о функцији агрегирања. Наведена правила су само начелно постављена и очекује се њихова даља разрада, првенствено кроз измене и допуне важећих Правила о раду оператора система [12, 13] и Правила о раду тржишта [14].

4. УЛОГА АГРЕГАТОРА НА ТРЖИШТУ ЕЕ

Сваки корисник система, па тако и агрегатор, дужан је да уреди приступ систему на који је прикључен, као и балансну одговорност. Сви корисници система самостално уређују приступ систему и балансну одговорност, изузев оних који са снабдевачем имају закључен уговор о потпуном снабдевању. У описаном случају снабдевач има обавезу регулисања приступа систему и балансне одговорности за места примопредаје предметних корисника система. Корисници система који су део агрегиране групе, поред уговора којима регулишу снабдевање, приступ систему и балансну одговорност, са агрегатором закључују засебан уговор о агрегирању. Такође, агрегатор као корисник система и учесник на тржишту дужан је регулише приступ систему и балансну одговорност. [1]

4.1 Однос ОДС и агрегатора

Основни циљ ОДС је да у сваком тренутку у ДЕЕС постоји довољно ЕЕ да задовољи потребе свих корисника ДЕЕС. Управо у реализацији овог циља у будућности кључну улогу може имати агрегатор. Као што је већ наведено, његова улога је да обједини потрошњу и производњу више учесника на тржишту са њиховим различитим функцијама (крајњи купци, произвођачи, складиштари, купци-произвођачи, итд.) како би се међусобно допуњавали и омогућавали веће финансијске уштеде агрегираним учесницима на тржишту (у даљем тексту: агрегирана група), профит агрегатору, снабдевачу и балансно одговорној страни (у даљем тексту: БОС), али омогућити и већу флексибилност ДЕЕС чиме се постиже пун ефекат агрегације. Агрегатор ће добијати финансијску надокнаду од стране ОДС, док ће чланови агрегиране групе за промене свог плана рада, узроковане деловањем агрегатора, добијати финансијску надокнаду од агрегатора (директну финансијску надокнаду, или различите повластице у смислу смањења рачуна за ЕЕ итд, у зависности од услова под којима је закључен уговор о агрегирању).

У циљу реализације налога ОДС од стране агрегатора у наставку ће бити дати примери деловања агрегатора на чланове агрегиране групе. За потребе овог рада анализираће се случај агрегиране групе у

којој су агрегирани крајњи купци (индустријски крајњи купци, јавне пунионице е-возила, домаћинства, крајњи купци који су власници е-возила итд.), произвођачи из обновљивих извора, купци-произвођачи (са сопственим складиштем и без њега) и складиштари.

У случају да је ДЕЕС преоптерећен ОДС ће агрегатору издати налог, у складу са закљученим уговором, да обезбеди количину X ЕЕ у ДЕЕС. При томе агрегатор, у складу са уговорима о агрегацији које има са члановима агрегиране групе, може издати налог:

- управљивим производним јединицама да повећају производњу ЕЕ за количину PRp ;
- крајњим купцима (између осталих и јавним пунионицама е-возила) да смање потрошњу за количину KKp , у односу на свој иницијални план, чиме ће се смањити количина потребне ЕЕ за предметне крајње купце;
- складиштима (уколико су напуњена) да преко планиране количине ЕЕ за испоруку у ДЕЕС испоруче додатну количину ЕЕ Sp , односно да смање преузимање из ДЕЕС за Ssp , у односу на план;
- купцима-произвођачима да повећају испоруку ЕЕ у ДЕЕС (уколико у предметном тренутку производни објекат производи ЕЕ, односно из батерије уколико је имају) за количину $KPIp$, односно смање преузимање из ДЕЕС (да смање потрошњу или да користе ЕЕ из сопствене батерије уколико је имају и уколико је напуњена) за количину $KPPp$.

Свим описаним мерама, деловањем различитих учесника на тржишту који су део агрегиране групе, путем агрегатора, повећава се укупна расположива ЕЕ у ДЕЕС, у складу са захтевом ОДС, за количину X :

$$X = PRp + KKp + Sp + Ssp + KPIp + KPPp \quad (1)$$

Такође, постоје и обрнуте ситуације, у којима у ДЕЕС постоји више ЕЕ него што је то потребно у датом тренутку (нпр. у току ноћи). ОДС издаје налог агрегатору, у складу са закљученим уговором, да у ДЕЕС смањи укупну количину расположиве ЕЕ у систему за количину Y . При томе агрегатор, у складу са уговорима о агрегацији које има са члановима агрегиране групе, може издати налог:

- управљивим производним јединицама да смање производњу ЕЕ за количину PRs ;
- крајњим купцима (између осталих и јавним пунионицама е-возила) да повећају потрошњу ЕЕ за количину KKs у односу на њихов иницијални план, чиме ће се повећати потребна ЕЕ за предметне крајње купце;
- складиштима да смање испоруку ЕЕ у ДЕЕС за количину Ss у односу на план, односно да повећају преузимање из ДЕЕС за Sss у односу на планске количине;
- купцима-произвођачима да смање испоруку ЕЕ у ДЕЕС за количину $KPIs$ (уколико у предметном

тренутку производни објекат производи ЕЕ да повећају потрошњу произведене ЕЕ, односно да пуне своје батерије уколико је могуће), односно да повећају преузимање из ДЕЕС за количину $KPPs$ (да повећају потрошњу или да ЕЕ користе из ДЕЕС уместо из сопствене батерије уколико је напуњена).

Свим описаним мерама, деловањем различитих учесника на тржишту који су део агрегиране групе, путем агрегатора смањује се укупна расположива ЕЕ у ДЕЕС, у складу са захтевом ОДС, за количину Y :

$$Y = PRs + KKs + Ss + Sss + KPIs + KPPs \quad (2)$$

Агрегатор одређује, првенствено на основу економских параметара и уговора о агрегацији које ће од набројаних ресурса да ангажује како би испунио налог ОДС. Дејство агрегатора еквивалентно је једној електрани која је произвела количину ЕЕ X у захтеваном тренутку у случају да је потребно повећати укупну расположиву ЕЕ у ДЕЕС, односно смањила своју производњу за количину ЕЕ Y и тиме за ту количину смањила укупну расположиву ЕЕ у ДЕЕС. С обзиром на изнето, у литератури се често може видети да се агрегатори посматрају као виртуелне електране [15, 16, 17].

4.2 Модели пословања агрегатора на тржишту ЕЕ

Снабдевач, који је уједно и БОС, или је пренео балансну одговорност на другу БОС, може имати и улогу агрегатора. Досадашња пракса европских земаља показала је да снабдевачи нерадо преузимају улогу агрегатора [18], јер тиме утичу на смањење продаје ЕЕ (нарочито у периодима високих цена) што је њихова основна делатност, чиме умањују сопствени профит.

Насупрот томе, агрегатор може пословати независно од снабдевача који је и БОС тзв. независни агрегатор [6]. Независни агрегатор може активирањем својих механизма изазвати додатне трошкове како снабдевачу (непродата набављена ЕЕ у неком сату) тако и БОС (дебаланс у посматраном сату). У таквим случајевима предвиђена је надокнада за непродату ЕЕ снабдевачу и трошкове дебаланса БОС од стране ученика на тржишту али само до реалне мере које је изазвало деловање агрегатора [6]. У [6] је дефинисано да начин прорачуна висине наведене надокнаде одобрава регулаторно тело.

Трећа могућност је да независни агрегатор буде и БОС, независно од снабдевача. Овакав концепт је за прво време реалнији, јер у случају да не постоје налози од ОДС агрегатор може управљати учесницима на тржишту које агрегира тако да допринесе смањењу сопствених трошкова дебаланса. Снабдевачи набављају ЕЕ коју ће продати крајњим купцима, купцима-произвођачима, складиштарима итд. које снабдевају у складу са њиховим планом потреба за ЕЕ. Такође, снабдевачи планирају и количину ЕЕ коју ће откупити од произвођача, купаца-произвођача,

складиштара итд. БОС сатне количине ЕЕ за своју балансну групу пријављују оператору ПЕЕС (у даљем тексту: ОПС) за дан унапред. Поређењем правих, реализованих сатних вредности и пријављене позиције за БОС, ОПС за сваку БОС обрачунава трошак дебаланса на сатном нивоу [14]. Реализација која се у посматраном сату разликује од пријављене позиције (нпр. кишовит дан уместо сунчаног те је производња соларних електрана значајно испод планиране, изненадан престанак рада великог индустријског крајњег купца услед хаварије те је његова потрошња 0 kWh уместо значајне која је планирана, или изненадно непланирано повећање потрошње нпр. грејање већег броја домаћинстава уређајима који раде на ЕЕ услед квара на централном грејању) изазваће значајне трошкове дебаланса за предметну БОС. Управо у таквим ситуацијама, када притом не постоје налози ОДС за агрегатора, агрегатор може имати кључну улогу у смањењу трошкова дебаланса БОС. У случају непланираног смањења потрошње он може смањити производњу ЕЕ управљивих електрана, повећати потрошњу осталих крајњих купаца, смањити испоруку ЕЕ из складишта итд. и обрнуто у случају непредвиђеног повећања потреба у посматраном сату за БОС. На описан начин агрегатор, који је истовремено и БОС, имаће приходе од обезбеђивања флексибилности ОДС, али и значајно смањење трошкова дебаланса своје балансне групе.

Дакле, агрегатор својим функционисањем може донети финансијску корист самом агрегатору, али и снабдевачу, БОС, као и члановима агрегиране групе. Поред тога, агрегатори имају значајан позитиван утицај на ОДС у смислу повећања флексибилности ДЕЕС (генералне и локалне) нпр. померањем потрошње из дела дана у ком је ДЕЕС преоптерећен у део дана у ком је оптерећење ДЕЕС мање, боље избалансираности целокупног ДЕЕС, неутралисања ефекта непредвидиве производње варијабилних извора ЕЕ, смањења губитака у ДЕЕС, интеграције нових производних капацитета из обновљивих извора без великих инвестиција у ДЕЕС, као и повећања флексибилности ПЕЕС и одлагање инвестиција у њега. Такође, деловањем агрегатора може се заменити управљање скупим производним капацитетима тако што ће се управљати потрошњом, ускладиштити или користити ускладиштена ЕЕ или активирати производне јединице чије је управљање јефтиније.

5. НАЧИНИ УПРАВЉАЊА ПРОИЗВОДЊОМ И ПОТРОШЊОМ У ОКВИРУ АГРЕГИРАНЕ ГРУПЕ

Агрегатори производњом и потрошњом могу управљати издавањем налога за повећање/смањење производње, односно потрошње учесницима на тржишту које агрегирају. Учесници на тржишту налог агрегатора могу реализовати у потпуности или у мањој или већој мери од задате. Други начин управљања је

аутоматски, где агрегатор даљински издаје налог аутоматски која физички смањује/повећава потрошњу, односно производњу. За овакав вид управљања потребан је извештај о степеном техничкој опремљености чланова агрегиране групе, при чему они који већ имају могућност аутоматског управљања уз релативно мала финансијска улагања могу реализовати захтеве агрегатора. За остале чланове агрегиране групе неопходно је урадити процену исплативости аутоматског управљања у односу на управљање путем класичног налога агрегатора. Други модел је значајно поузданији од првог, јер не зависи од самог члана агрегиране групе, већ му се потрошња, односно производња аутоматски смањује, односно повећава дејством агрегатора. У оба случаја агрегатор мора водити рачуна и о издатој налогу и о реализацији истог. У литератури се предлаже да и независни агрегатор буде балансно одговоран за свој дебаланс (разлика између издатог налога и реализације истог) [18].

У Републици Србији постоји могућност даљинског управљања котловима на ЕЕ, ТА пећима и проточним бојлерима код неколицине крајњих купаца из категорије широка потрошња. За наведену управљиву потрошњу дефинисана је посебна тарифа за приступ ДЕЕС [9]. Искуства ОДС су показала да овај концепт користи мали број крајњих купаца, са занемарљивим количинама ЕЕ, и да нема великог утицаја на флексибилност ДЕЕС. Међутим, описани модел управљања може бити иницијална идеја за даљи развој даљинског управљања потрошњом, јер управо системи за грејање и хлађење имају значајан потенцијал за повећање флексибилности ДЕЕС, као и велики индустријски потрошачи са издвојеном потрошњом којом се може непосредно управљати.

6. ПРЕДУСЛОВИ ЗА ФУНКЦИОНИСАЊЕ АГРЕГАТОРА

Предуслови за успешно функционисање агрегатора су пре свега прецизна прогноза производње и потрошње ЕЕ у оквиру агрегиране групе, као и праћење реализоване производње и потрошње у реалном времену. На прогнозу производње утиче мноштво параметара у зависности од врсте производног објекта (локација, температура, брзина ветра, ирадијација итд.). Прогноза потрошње је такође изузетно захтевна, у смислу различитих врста крајњих купаца, њихових навика и делатности. Поред тога, и потрошња и производња зависе од периода дана и године.

Напредни мерни системи, предвиђени у [1], неопходни су како би агрегатори у сваком тренутку могли да прате производњу и потрошњу агрегиране групе, као и одзив на налоге које су издали за промену потрошње, односно производње ЕЕ [19]. У 2020. години, у Републици Србији ОПС је на свим местима примопредаје имао мерне уређаје са могућностима

двосмерног мерења (од мреже и ка мрежи), чувања података, управљања тарифама, даљинског читавања од стране ОПС, као и од стране корисника путем апликације итд. [20]. На ДЕЕС ситуација је нешто другачија при чему је на 1,6% места примопредаје крајњих купаца уграђен дигитални мерни уређај, као и код 99% произвођача [20]. Због описане ситуације са мерењем ЕЕ ОДС је формирао предефинисане, заменске дијаграме потрошње [12] на основу којих прорачунава сатне потрошње појединачних крајњих купаца базирано на њиховој месечној потрошњи. Применом предефинисаних профила потрошње занемарују се специфичности појединачних крајњих купаца, и не може се стећи у потпуности реална слика њиховог деловања. У циљу лакшег и бољег пословања ОДС и агрегатора, интензивнијег развоја тржишта, боље реакције учесника на тржишту на ценовне сигнале, али и повећања флексибилности и смањења губитака у ДЕЕС, ОДС интензивно ради на развоју напредних мерних система.

Поред наведеног потребно је радити и на унапређењу управљања ДЕЕС, дигитализацији ОДС, системима за заштиту података и ефикаснију размену података са корисницима ДЕЕС и ОПС [21].

7. ПРИМЕР ПОТРЕБЕ ЗА ПОВЕЋАЊЕМ ФЛЕКСИБИЛНОСТИ ДЕЕС У ТРЕНУТНОЈ ПРАКСИ ОДС

Повећањем броја производних капацитета који су прикључени на ДЕЕС, ОДС се суочава са проблемом инјектирања ЕЕ у ПЕЕС. Описана појава се првенствено уочава у случају прикључења значајних производних капацитета у пределима са генерално малом потрошњом (нпр. девастирана подручја, планински ненасељени или слабо насељени предели). С обзиром на то да у описаном случају основни принцип да произведена ЕЕ мора бити потрошена није испуњен на нивоу ДЕЕС, ЕЕ одлази у ПЕЕС. У 2017. години прве количине ЕЕ су испоручене у ПЕЕС у износу од 3 GWh, да би већ у 2020. години било испоручено 12 GWh [20]. Тарифа за испоруку ЕЕ из ДЕЕС у ПЕЕС (на 110 kV напонском нивоу) није одређена [9], те ОДС испоручује предметну ЕЕ у ПЕЕС без надокнаде. ОПС описану ЕЕ посматра као производњу виртуелне електране коју даље испоручује својим корисницима система (између осталих и ОДС) и за њу обрачунава приступ ПЕЕС.

Поред наведеног финансијског губитка, предметна ЕЕ повећава губитке у ДЕЕС, па самим тим и трошкове за њих, а такође и додатно оптерећује ДЕЕС. С обзиром на то да се описана појава најчешће дешава у подручјима са слабо развијеном мрежом, реконфигурација мреже није могућа. Дефинисањем новог тарифног система, који је раније описан, као и избор погодне тачке за прикључење производних објеката, а нарочито деловањем агрегатора, описани проблем може бити успешно решен тако што ће се

потрошња у датим пределима ускладити са производњом, а производња прилагодити реалним потребама потрошача.

Наведени пример је само један од бројних изазова са којим се ОДС тренутно суочава и са којим ће се суочавати у будућности. Дакле, у будућности деловање агрегатора, као и налози које му ОДС издаје, могу бити општег карактера за целу агрегирану групу, али и локализовани на одређено географско подручје (тј. на део агрегиране групе) у ком долази до преоптерећења/подоптерећења.

8. ПРИМЕР РАДА АГРЕГАТОРА НА ТРЖИШТУ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ

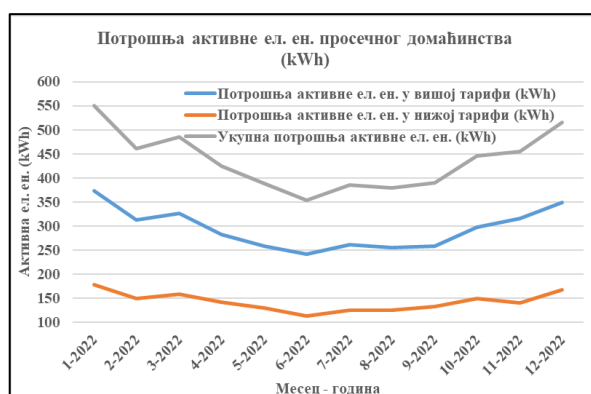
8.1 Опис података коришћених у прорачунима

У оквиру овог рада биће дат и практичан пример неких од могућих начина рада агрегатора, као и финансијских погодности за агрегатора и чланове агрегиране групе, а такође и погодности за ОДС у смислу веће флексибилности.

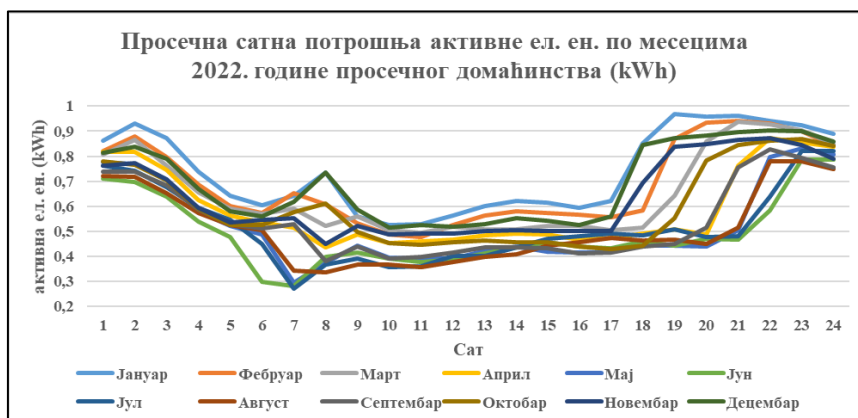
Посматрана су 233 домаћинства која се напајају из једне трансформаторске станице (у даљем тексту: ТС) при чему свако од њих има паметни мерни уређај са могућностима детектовања и чувања сатних података, као и даљинског читавања. За потребе овог рада коришћена је њихова потрошња ЕЕ на сатном, као и на месечном нивоу. Месечне количине ЕЕ ОДС је користио за обрачун приступа ДЕЕС домаћинствима која су узета као пример [1, 9] у току 2022. године. Поједини подаци о сатној потрошњи ЕЕ за нека од

мерних места су недостајала, што је очекивано с обзиром на врсту мерних уређаја и технологију прикупљања сатних података [22]. Недостајући сатни подаци су естимирани на основу месечне потрошње посматраног домаћинства и профила потрошње који су дефинисани Правилима о раду ДЕЕС [1, 12].

На основу расположивих мерених и естимираних сатних података о потрошњи ЕЕ свих посматраних домаћинстава одређена је сатна потрошња просечног домаћинства које се напаја из посматране дистрибутивне ТС (у даљем тексту: просечно домаћинство). Потрошња активне ЕЕ просечног домаћинства, по месецима 2022. године, и по тарифама – вишој и нижој [9] приказана је на слици 4. Просечна сатна потрошња активне ЕЕ по месецима 2022. године просечног домаћинства приказана је на слици 5.



Слика 4. Потрошња активне ЕЕ просечног домаћинства у току 2022. године (kWh)



Слика 5. Просечна сатна потрошња активне ЕЕ по месецима 2022. године просечног домаћинства (kWh)

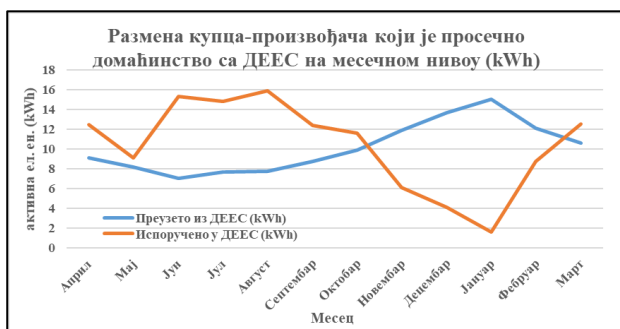
8.2 Могућности за повећање флексибилности ОДС на нивоу просечног домаћинства

Са слика 4 и 5 може се закључити да је у свим месецима потрошња активне ЕЕ ниска у периоду од 08 до 17 ч. што је и очекивано јер је реч о потрошњи домаћинстава у радно време. Након 17 ч. долази до наглог повећања потрошње које траје до 21 ч., 22 ч. након чега следи поновни пад потрошње који траје до

јутарњих часова. Управо и овај конкретан пример потврђује оправданост предлога за измену тарифног система описаног у поглављу 2.2. Такође, приказани дијаграм потрошње даје мноштво могућности за побољшање флексибилности ОДС на основу управљања потрошњом (померање потрошње из периода 17-21 ч. у период 00-08 ч. или у период 08-17 ч.).

Уколико би просечно домаћинство изградило сопствени објекат за производњу ЕЕ из обновљивих извора и прикључило га на своје унутрашње инсталације и тиме стекло статус купца-произвођача [1, 2, 3], могућности за управљање потрошњом би биле још разноврсније уз израженији повољан утицај на купца-произвођача, БОС, агрегатора и снабдевача (финансијске уштеде и профит), као и на ОДС (мање оптерећење ДЕЕС, мањи губици, олакшано управљање). На слици 6 приказана је размена ЕЕ купца-произвођача, који је просечно домаћинство, са ДЕЕС по месецима, док је на слици 7 приказана размена на нивоу просечног сата на годишњем нивоу. У прорачунима је коришћен производни објекат оптималне инсталисане снаге за задовољење потреба купца-произвођача који је просечно домаћинство² [23, 24].

За одређивање оптималне инсталисане снаге фотонапонске електране неопходно је познавати ресурсе соларне енергије на циљној микролокацији, географску ширину, карактеристике елемената система и амбијенталне услове [24, 25]. Оптимална инсталисана снага је одређена помоћу програмског пакета PVGIS³ и његових интегрисаних база података [26]. На основу прорачуна из програмског пакета PVGIS преузети су и подаци о сатној производњи оптималне соларне електране за просечно домаћинство.



Слика 6. Размена купца-произвођача, који је просечно домаћинство, са ДЕЕС (kWh)

На слици 6 може се приметити да је значајно већа испорука у ДЕЕС од преузимања из ДЕЕС у летњим месецима, док је у зимском периоду ситуација обрнута. Са слике 7, као што је и очекивано, значајно је већа испорука у ДЕЕС у периоду од 06-15 ч. од преузимања ЕЕ док је у осталим периодима дана ситуација обрнута. Ово наводи на закључак да је управљање потрошњом потпуно оправдано с циљем да се она премешта из дела

дана у ком соларна електрана не производи ЕЕ у део дана када она производи ЕЕ. Управо тако се постиже минимална размена ЕЕ са ДЕЕС што доноси све раније описане погодности и за самог купца-произвођача, његовог снабдевача, БОС али и ОДС.



Слика 7. Размена купца-произвођача, који је просечно домаћинство, са ДЕЕС у просечном сату на годишњем нивоу (kWh)

Поред свега наведеног уградња складишта, или коришћења батерије електричног возила као складишта ЕЕ [5] може заменити управљање потрошњом тако што би се ЕЕ складиштила у периодима када производни објекат производи ЕЕ и затим користила у периодима када производни објекат не производи ЕЕ. Најбољи резултати би се, наравно, добили комбинацијом управљања потрошњом и складиштења ЕЕ.

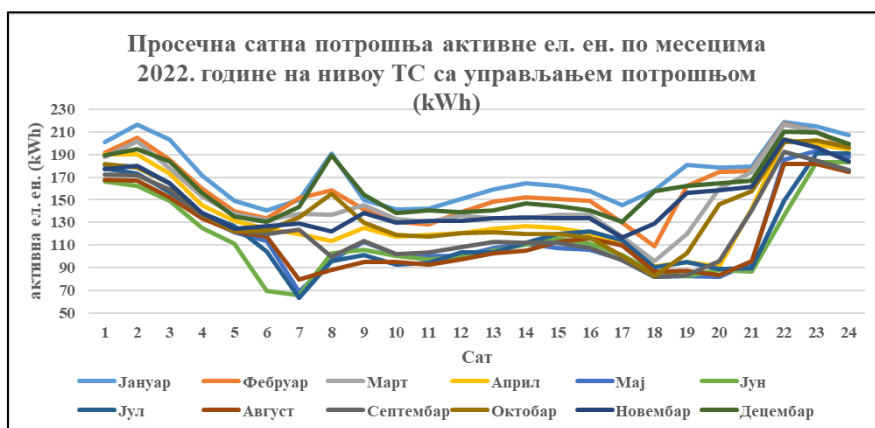
8.3 Могућности за повећање флексибилности ОДС путем агрегирања производње и потрошње ЕЕ

Уколико би сва посматрана домаћинства (њих 233) која се напајају из посматране ТС била чланови једне агрегиране групе, потенцијал за повећање флексибилности био би још значајнији. На слици 8 приказан је дијаграм потрошње свих 233 домаћинства заједно уколико би свега 20% потрошње у периоду од 18-21 ч. било померено на период од 08-16 ч.

Анализом дијаграма са слике 8, и поређењем његовог облика са дијаграмом на слици 5, може се закључити да и описано минимално управљање потрошњом може допринети уштедама крајњих купаца у случају измене тарифног система и динамичких цена ЕЕ као и лакше планирање рада БОС. Самим тим може доћи и до смањења трошкова балансирања, односно повећања прихода за БОС и агрегаторе. Такође и ОДС може лакше управљати ДЕЕС (уравнотеженији дијаграм потрошње),

² За потребе овог рада претпостављено је да је производни објекат купца-произвођача соларна електрана јер је таква ситуација код свих купаца-произвођача прикључених на ДЕЕС до дана писања овог рада [23], што је и очекивано с обзиром на висину инвестиције и каснијих релативно малих потреба за одржавањем.

³ PVGIS је бесплатан онлајн програмски пакет. Може се користити за процену производње соларних електрана, за било коју локацију у Европи. За прорачуне користи базе података о сунчевом зрачењу, температури околине, брзини ветра и карактеристикама терена добијених на основу сателитских снимака, [26].

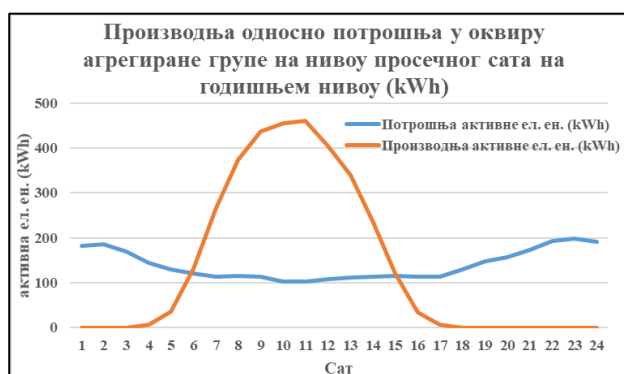


Слика 8. Просечна сатна потрошња активне ЕЕ по месецима 2022. године на нивоу ТС са управљањем потрошњом (кВх)

а доћи ће и до мањег оптерећења ДЕЕС у смислу смањења пикова, односно повећања минимума потрошње.

Уколико би нека од домаћинстава која су чланови посматране агрегиране групе стекли статус купца-произвођача или уградили складишта електричне енергије (или оба истовремено) позитивни ефекти рада предметног агрегатора би били видљивији, а његово пословање лакше и профитабилније.

Наведено би било још уочљивије уколико би у склопу агрегиране групе биле нпр. и соларне електране (једна или више њих) чија производња задовољава потребе крајњих купаца чланова агрегиране групе. На слици 9 приказан је дијаграм просечне сатне потрошње односно производње ЕЕ на годишњем нивоу у случају посматраних 233 домаћинстава и соларне електране оптималне инсталисане снаге. У прорачунима производње коришћен је програмски пакет PVGIS, [26]. На слици 9 приказана је производња односно потрошња у оквиру посматране агрегиране групе на нивоу просечног сата на годишњем нивоу.



Слика 9. Производња односно потрошња ЕЕ у оквиру агрегиране групе на нивоу просечног сата на годишњем нивоу (кВх)

Уколико би у оквиру агрегиране групе биле и соларне и ветроелектране и електране на биомасу, због природе њихове производње, позитиван утицај на

флексибилност ОДС, БОС, снабдеваче и агрегаторе би био још већи. Додатни потенцијал агрегатора може бити и складиште ЕЕ у склопу агрегиране групе. ЕЕ се може складиштити у периодима ниже цене ЕЕ и испоручивати из складишта у периодима више цене ЕЕ а такође може и радити у циљу смањења трошкова балансирања БОС, као и у циљу повећања флексибилности ОДС путем агрегације.

8.4 Утицај рада агрегатора на чланове агрегиране групе, друге ученике на тржишту и ОДС

Агрегатор може управљати члановима агрегиране групе на начин описан у поглављу 4. На тај начин, који је приказан на конкретном примеру у оквиру овог поглавља, агрегатор може остварити приход на тржишту помоћних услуга [6], као и смањење трошкова дебаланса БОС, јер се радом агрегатора производња односно потрошња агрегиране групе може лакше планирати или реализација прилагођавати плану. Чланови агрегиране групе могу имати финансијске уштеде, односно додатни приход, од надокнаде од стране агрегатора у случају његовог деловања, као и од прилагођавања преузимања ЕЕ из ДЕЕС у периодима нижих цена, односно испоруке ЕЕ у ДЕЕС у периодима виших цена ЕЕ у случају уговора са снабдевачем са динамичким ценама [6], односно потрошњом ЕЕ из сопственог производног објекта у случају купаца-произвођача. ОДС жељеним дејством агрегатора може повећати флексибилност, односно обезбедити више ЕЕ у ДЕЕС када је нема довољно или обезбедити већу потражњу за ЕЕ када је у ДЕЕС има више него што је потребно (пример дат у поглављу 7). Наведено олакшава управљање ДЕЕС, смањује или одлаже потребе за додатним инвестицијама у ДЕЕС и ПЕЕС, и доводи до смањења губитака у ДЕЕС и ПЕЕС [27].

Сви описани ефекти би били још израженији у случају агрегације потрошње крајњих купаца са већом потрошњом ЕЕ (нпр. индустрија) јер су веће могућности

за управљање потрошњом и експлоатацију капацитета складишта ЕЕ те би и утицај на флексибилност ОДС био значајнији, као и финансијски ефекти на крајње купце, снабдеваче, БОС и агрегаторе јер цена ЕЕ за крајње купце који нису домаћинства и мали купци није регулисана [1, 28] већ је тржишна (слика 3) тј. значајно је виша. Ефекти би наравно били значајни и уколико би чланови агрегиране групе била само домаћинства (као у датом примеру), произвођачи ЕЕ из обновљивих извора и складишта, нарочито имајући у виду да је њихов велики број прикључен на ДЕЕС. Илустрације ради, на крају 2021. године, на ДЕЕС било је прикључено укупно 3.307.538 мерних места типа домаћинство, њима је испоручено нешто више од половине укупне ЕЕ која је испоручена корисницима ДЕЕС [8].

Додатном повећању флексибилности ОДС могао би допринети агрегатор који агрегира производњу и потрошњу која је географски груписана нпр. на нивоу ТС. Међутим, иако пожељно, то није предуслов за функционисање агрегатора, те корисници ДЕЕС немају никаква ограничења приликом избора агрегатора.

Поред свега наведеног, агрегатори својим радом, који је описан у овом раду, доприносе и смањењу загађења животне средине и транзицији ка обновљивим изворима енергије.

9. РЕГИОНАЛНИ ПРИМЕР РЕГУЛАРНОГ ОКВИРА ЗА АГРЕГАТОРЕ

До дана писања овог рада државе чланице Европске уније су у већој или мањој мери преузеле одредбе Директиве о заједничким правилима за унутрашње тржиште ЕЕ [6] у своје законодавство, којом се на основни начин регулише положај агрегатора на тржишту ЕЕ Република Србија као држава кандидат за приступање Европској унији се налази у процесу усклађивања свог законодавства с „*acquis communautaire*“, те ће стога у будућности бити у обавези да преузме одредбе ове директиве у своје законодавство. Република Хрватска као држава чланица Европске уније је имплементирала ову директиву у своје законодавство. Она представља државу са сличном правном традицијом као и Република Србија и електроенергетски систем (у даљем тексту: ЕЕС) у ове две државе се деценијама развијао на сличан начин. Стога ће у сусрет детаљнијем регулисању агрегатора у Републици Србији овај рад преставити регулативу везану за агрегатора у Републици Хрватској.

Генерално се питањем агрегатора у Републици Хрватској бави Закон о тржишту ЕЕ (у даљем тексту: Закон о тржишту) [29] као и други прописи као што су Опћи увети за кориштење мреже и опскрбу ЕЕ [30], Правила о промени опскрбљивача и агрегатора [31] донета од стране Хрватске енергетске регулаторне агенције (у даљем тексту: ХЕРА), којима се уређују услови и поступак промене снабдевача и/или агрегатора у погледу снабдевања ЕЕ, откупа ЕЕ и агрегирања.

Агрегатор се у смислу Закона о тржишту одређује као учесник на тржишту који се бави агрегирањем, независни

агрегатор је агрегатор који није повезан са снабдевачем крајњих купца, односно није повезани субјект са снабдевачем крајњих купаца, док се под агрегирањем сматра делатност коју обавља физичка или правна особа која може комбиновати снаге и/или из мреже преузете електричне енергије више купаца, или оператора складишта енергије, или снаге и/или у мрежу предане електричне енергије више произвођача или активних купаца или оператора складишта енергије, ради суделовања на било којем тржишту електричне енергије. Даље је у закону предвиђено да агрегирање представља енергетску делатност [29].

У даљем тексту овај закон прописује правила за промену и правила о накнадама за промену снабдевача и агрегатора, којима је предвиђено да се ова промена спроведе у најкраћем могућем року без накнаде, осим у случају када корисник система добровољно раскине уговор с агрегатором којим је предвиђено обавезно трајање и фиксне цене. Посебним чланом регулисана су правила која се односе на уговор о агрегирању, у коме је предвиђено и правило да снабдевачи крајње купце с којима имају уговор о снабдевању не смеју подвргнути дискриминаторним условима, захтевима, поступцима и обавезним додатним накнадама, на основу тога што имају уговор о агрегирању [29].

Чланом 28 Закона о тржишту одређена су правила за управљање потрошњом путем агрегирања, којима је предвиђено да крајњи купац може самостално или путем агрегирања равноправно учествовати на свим тржиштима ЕЕ у складу с правилима која уређују поједина тржишта ЕЕ, а да агрегатор може бити учесник на свим тржиштима ЕЕ у складу с правилима која уређују поједина тржишта ЕЕ. Јасно је прописано да снабдевач не сме свом крајњем купцу који је закључио уговор с независним агрегатором наплатити неоправдане трошкове или уговорне казне односно наметнути друга неоправдана уговорна ограничења дискриминаторских, техничких, управљачких захтева или поступака, као и да крајњи купац који самостално или преко независног агрегатора учествује у управљању потрошњом плаћа накнаду свом снабдевачу који је директно погођен активирањем управљања потрошњом. Одређен је и карактер наведене накнаде, па је између осталог предвиђено да је накнада строго ограничена на покривање трошкова снабдевача купца који учествује у управљању потрошњом путем агрегирања, трошкова снабдевача купца који самостално учествује у управљању потрошњом или трошкова снабдевачеве БОС, а који су им узроковани активирањем управљања потрошњом.

Наведени систем правила у Републици Хрватској ствара јасне и транспарентне основе за развој агрегатора и повећања њиховог броја и функционалности, што ће допринети ојачавању помоћних система систему за снабдевање као и ДЕЕС у Републици Хрватској. Са друге стране, и поред тога што у Републици Србији још увек није донет сет подзаконских прописа који регулишу питања која се односе на агрегаторе, у стручним круговима је започето са разматрањем њиховог значаја и

улоге за ЕЕС, те би представљање прописа о агрегирању у Републици Хрватској требало да квалитативно допринесе овим размишљањима. Заокруживање потребне регулативе би требало да омогући решавање наведених изазова и да у коначници, између осталог, омогући ефикаснији рад ДЕЕС.

10. ЗАКЉУЧАК

У претходном временском периоду значајан број нових учесника на тржишту ЕЕ унет је у законодавство Републике Србије. Неки од њих су већ постојали у пракси и обављали своју функцију као нпр. пунioniце е-возила, док би неки други као што је агрегатор тек требало да заживе. Предуслов за то је заокруживање регулаторне целине како би сви учесници у процесу могли да имају извесност о процедурама и стандардима који су потребни како би агрегатори који послују на тржишту Републике Србије постали свакодневница.

Највише користи од развоја агрегатора поред самих произвођача, потрошача и агрегатора, требало би да има сам ЕЕС, коме би агрегатори помагали у периодима високе производње или високе потрошње, тако што би управљањем члановима своје агрегиране групе пружали подршку стабилном и ефикасном управљању ЕЕС. Стога би највећа подршка увођењу овог учесника на тржишту ЕЕ управо требало да буду ОДС и ОПС, као потенцијално будући свакодневни корисници услуга агрегатора.

Доношење законске регулативе која се односи на агрегаторе представља само почетак ка промовисању претходно наведених погодности за ЕЕС. Даљи развој регулативе у овој области требало би да допринесе енергетски ефикаснијем коришћењу ЕЕ кроз прописивање јасних правила која ће омогућити да се минимизују неефикасни облици потрошње као и производње. Решења која су приказана у овом раду, укључујући и регионалну праксу, служе да се доносиоци прописа упознају са појединим аспектима тематике која се односи на агрегаторе и да је користе приликом разматрања садржине будућих релевантних аката. Такође је рад намењен и широј стручној јавности која има интерес да разуме природу и значај агрегатора пре његовог заживљавања у пракси.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Закон о енергетици ("Сл. гласник РС", бр. 145/2014, 95/2018 - др. закон и 40/2021)
- [2] Закон о коришћењу обновљивих извора енергије ("Службени гласник РС", бр. 40/21)
- [3] Уредба о критеријумима, условима и начину обрачуна потраживања и обавеза између купца – произвођача и снабдевача ("Службени гласник РС", бр. 83/2021 од 27.8.2021. године, 74/2022 од 01.07.2022.)

- [4] Доступно на: <https://www.mre.gov.rs/lat/aktuelnosti/javni-pozivi/javni-poziv--za-dodelu-sredstava-za-finansiranje-programa-energetske-sanacije-porodicnih-kuca--solarni-paneli--koji-sprovode-jedinice-lokalne-samouprave-kaio-gradske-opstine-jp-3-21>, [приступљено 07.04.2023. године]
- [5] Кузман М., Грујић Д., "Пунioniце електричних возила на тржишту Републике Србије", ЦИРЕД 2022, Копаоник
- [6] Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU ("Official Journal of the European Union", No. L 158/125).
- [7] HUPX Historical data, доступно на: <https://hupx.hu/en/market-data/dam/historical-data>, [приступљено 07.04.2023. године]
- [8] Енергетски подаци 2021, Електродистрибуција Србије д.о.о. Београд, доступно на: https://elektrodistribucija.rs/o-nama/informacije/dokumenta/GI_ODS_2021.pdf, [приступљено 07.04.2023. године]
- [9] Одлука о утврђивању Методологије за одређивање цена приступа систему за дистрибуцију електричне енергије („Службени гласник РС“, број 105/12)
- [10] SEEPEX тржишни подаци, доступно на: <http://seepex-spot.rs/sr/market-data/day-ahead-auction>, [приступљено 07.04.2023. године]
- [11] International Renewable Energy Agency, Aggregators Innovation Landscape Brief, стр. 12, доступно на: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_Aggregators_2019.PDF, [приступљено 07.04.2023. године]
- [12] Правила о раду дистрибутивног система, јул 2017. године, доступно на: http://aers.rs/FILES/AktiAERS/AERSDajeSaglasnost/2017-07-19_Pravila%20o%20radu%20ED-ODS%20EPS%20distr.pdf, [приступљено 07.04.2023. године]
- [13] Правила о раду преносног система, март 2020. године, доступно на: <https://ems.rs/wp-content/uploads/2022/07/PRAVILA-O-RADU-PRENOSNOG-SISTEMA.pdf>, [приступљено 07.04.2023. године]
- [14] Правила о раду тржишта електричне енергије, новембар 2022. године, доступно на: <https://ems.rs/wp-content/uploads/2022/12/Pravila-o-radu-trzista-elektricn-1.pdf>, [приступљено 07.04.2023. године]
- [15] Naval N., Yusta J., „Virtual power plant models and electricity markets - A review“, Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 149, October 2021, 111393, доступно на: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S136403212100678X?token=65B314150E74FF7E9307D6D02F>

- [EF118364DE7D599CDFE5979E2D60FC70A69285B5280C1FFEA6FF7A99A1E860F91F533F&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230407152242](https://doi.org/10.3390/en10101646), [приступљено 07.04.2023. године]
- [16] Ma Z., Billanes J., Jørgensen B. N., "Aggregation Potentials for Buildings—Business Models of Demand Response and Virtual Power Plants"; *Energies*, October 2017, 10(10):1646; DOI: [10.3390/en10101646](https://doi.org/10.3390/en10101646)
- [17] Bahloul M., Breathnach L., Cotter J., Daoud M., Saif A., Khadem S., „Role of Aggregator in Coordinating Residential Virtual Power Plant in “StoreNet”: A Pilot Project Case Study”; *IEEE Transactions On Sustainable Energy*, Vol. 13, No. 4, October 2022, pp. 2148-215; DOI: [10.1109/TSTE.2022.3187217](https://doi.org/10.1109/TSTE.2022.3187217)
- [18] Вуковљак М., Јанковић М., „Нови учесници на тржишту електричне енергије“, *CIGRE Србија, Златибор*, 2021.
- [19] Zajc M., Kolenc M., Suljanović N., “Virtual Power Plant Communication System Architecture”; *Control, Communication, and Optimization of Smart Power Distribution Systems*, 2019, pp. 231-250; DOI: [10.1016/B978-0-12-812154-2.00011-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812154-2.00011-0)
- [20] Извештај о раду Агенције за енергетику за 2020. годину, доступно на: <https://www.aers.rs/Files/Izvestaji/Godisnji/Izvestaj%20Agencije%202020.pdf>, [приступљено 07.04.2023. године]
- [21] Kerscher S., Arboleya P. “The key role of aggregators in the energy transition under the latest European regulatory framework”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 134, January 2022, 107361
- [22] Функционални захтеви и техничке спецификације АМI/MDM система, свеска 1, Техничке спецификације бројила електричне енергије и комуникационих уређаја, верзија 4.0, Усвојено на Стручном савету ЕПС Дистрибуције, Београд, 07.02.2019. године, доступно на: https://elektroistribucija.rs/interni_standardi/pravila/Specifikacija_verzija%204.0_Sveska_1_Usvojeno_na_TSS_EPSD_07022019_objaviti.pdf, [приступљено 07.04.2023. године]
- [23] Регистар купаца-произвођача, Електродистрибуција Србије д.о.о. Београд, доступно на http://edbnabavke.edb.rs/registar_kupaca/DOMACI_NSTVA/DOMACINSTVA.pdf, http://edbnabavke.edb.rs/registar_kupaca/STAMBE_NA_ZAJEDNICA/STAMBENA_ZAJEDNICA.pdf, http://edbnabavke.edb.rs/registar_kupaca/OSTALI_KP/OSTALI_KP.pdf, [приступљено 07.04.2023. године]
- [24] Грујић Д., Кузман М., “Модели коришћења електричне енергије купаца-произвођача”, *Енергија, економија, екологија*, 2022, год. XXIV, бр. 1, стр. 8-16.
- [25] Грујић Д., Ђуришић Ж., „Услови развоја пројекта соларне електране у склопу ТС „Београд 20“, *CIGRE Србија, Златибор* 2015.
- [26] Climate online базе података, доступно на: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ [приступљено 07.04.2023. године]
- [27] Рајаковић Н., Тасић Д., „Дистрибутивне и индустријске мреже“, *Академска мисао*, Београд 2008.
- [28] Одлука о регулисаној цени електричне енергије за гарантовано снабдевање са применом од 01. јануара 2023. године, <https://www.aers.rs/FILES/Odluka/OCenama/2023-01-01%20odluka%20EPS%20struja.pdf> [приступљено 07.04.2023. године]
- [29] Закон о тржишту електричне енергије ("Narodne novine", br. 111/21)
- [30] Опći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom ("Narodne novine", br. 104/20).
- [31] Pravila o promjeni opskrbljivača i agregatora ("Narodne novine", br. 84/2022)

БИОГРАФИЈЕ

Дуња Грујић је завршила основне и мастер студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, где је тренутно студент докторских студија на модулу Електроенергетске мреже и системи. Тренутно је запослена у Електродистрибуцији Србије на позицији вишег

аналитичара за пословне процесе за подршку тржишту и смањење губитака. Активно учествује у раду радних група Енергетске заједнице, као и на изради законских и подзаконских аката из области енергетике. Објавила је више научних радова на тему интеграције обновљивих извора енергије, као и тржишта електричне енергије.



Милош Кузман је консултант за право енергетике са значајним искуством у области правне подршке истраживања и производње нафте и гаса. Специјализован је у области енергетског, комерцијалног, банкарског и финансијског права а искуства је између осталог стицао и

на мастер студијама на Institute for Law and Finance у Франкфурту на Мајни и Columbia Law School у Њујорку. Тренутно је на позицији вишег саветника за истраживање и производњу нафте и гаса у Нафтној Индустрији Србије, студент је докторских студија из области права енергетике и потпредседник је Удружења за право енергетике Србије.

Dunja S. Grujić¹, Miloš M. Kuzman²

The Role of Aggregators in the Electricity Market Development

¹ Elektro distribucija Srbije d.o.o. Beograd, Belgrade, Republic of Serbia*² Serbian Energy Law Association, Belgrade, Republic of Serbia

Category of article: Review article

Highlights

- Aggregators as a new market participant
- A significant factor of green transaction - aggregator
- Efficient optimization of electricity production and consumption
- Impact on the flexibility of the power system

Abstract

In recent years, there has been an accelerated transition of the distribution power system from predominantly passive to active, primarily due to a rise in the number of electricity producers from renewable sources connected to the distribution system. In addition, amendments to the Law on Energy determined new users of the distribution system, including prosumers and electricity storage operators, whose mass connection to the distribution system is expected in the coming period. Aggregator has been recognized as an important new market participant, providing a service for the merging of electricity production and consumption in order to further sell, purchase or auction in the electricity market.

In this work, possible business models of aggregators, existing legal regulations and preconditions needed for their functioning on the market of the Republic of Serbia, shall be analyzed. Also, good international practices in this area will be presented in the work. In addition, efficient ways of merging the production and consumption of electricity, including final customers and producers, by aggregators, will be discussed.

The impact of the aggregators on the operations of the distribution system operator will be discussed, with a number of challenges ahead. Some of these challenges are related to system management and changes in power flows due to the connection of a significant number of new system users. At the end of the paper, an example will be presented that illustrates the possibility of aggregator acting in order to increase the flexibility of the power system.

Keywords

Aggregators, Managing Electricity Production and Consumption, Energy Efficiency, Renewable Electricity Sources

Note:

This article represents an expanded, improved and additionally peer-reviewed version of the paper "Models of the Functioning of Aggregators in the Electricity Market", awarded by EC-6 Electricity market and deregulation at the 13th CIRED Serbia Conference, Kopaonik, September 12-16, 2022

Received: April 7th, 2023Reviewed: May 22nd, 2023Modified: May 26th, 2023Accepted: May 27th, 2023

*Corresponding author: Dunja S. Grujić

Phone: +381-64-897-46-59

E - mail: dunja.grujic@ods.rs

Владимир М. Шилјут¹, Никола Георгијевић², Саша Милић³,
Александар Латиновић¹, Душан Влаисављевић², Радош Чабаркапа¹



Агрегација композитне виртуелне електране – могућности и ограничења за примену у Србији

¹ Акционарско друштво „Електропривреда Србије“, Београд, Србија¹

² Електроенергетски координациони центар, Београд, Србија

³ Електротехнички институт „Никола Тесла“, Београд, Србија

<https://doi.org/10.18485/epij.2023.1.1.3>

Категорија рада: Прегледни чланак

Кључне поруке

- Дат детаљни приказ литературе о виртуелним електранама, преглед концепата и конкретних решења
- Сагледани извори енергије, начини агрегације и технички потенцијал за успостављање виртуелне електране
- Предложен концепт композитне виртуелне електране, процењени трошкови, користи, законска ограничења

Кратак садржај

Електроенергетски сектор Србије се све више суочава с изазовима будућности. Већина производње електричне енергије заснива се на нискокалоричном лигниту. Његов све лошији квалитет узрокује пад нивоа сигурности, поузданости и ефикасности термоелектрана, уз повећање загађења. Осим значајних средстава намењених њиховој ревитализацији, велика су улагања у нове, скупе системе за смањење емисија штетних материја. Уз најављене угљеничне таксе, чији се раст очекује у будућности, исплативост ових извора и тржишна конкурентност цене електричне енергије добијене из њих, постају крајње упитни и неизвесни. У процесу неминовне декарбонизације, поставља се и стратешко питање пред српске експерте – чиме надоместити знатне базне (термо)капацитете, који ће вероватно бити угашени?

На другом крају система, проблем представљају неефикасно коришћење електричне енергије, неприхватљиво висок ниво њених губитака, укључујући и оне услед њеног неовлашћеног коришћења. При томе, ни из близа нису искоришћене техничке могућности за управљање оптерећењем нити за примену већег броја тарифних ставова, ради жељеног одзива потрошње.

У таквим околностима, кључно је питање – какву стратегију инвестирања треба одабрати? Овај рад предлаже решење које би имало позитиван утицај на оба краја система и његове актере, али и на мреже између њих и њихове оператере. „Електропривреда Србије“ би могла да искористи најављено увођење агрегатора, као новог учесника на тржишту електричне енергије, за својеврсни заједнички подухват са крајњим корисницима, за успостављање композитне виртуелне електране. Она би за електропривреду представљала нови, заменски капацитет, а за купце извор уштеда и потенцијалног прихода. Оваква електрана би обухватила различите, дисперговане обновљиве изворе, како електричне енергије, тако и топлотне, системе за складиштење енергије, пуњаче за електрична возила, управљиво оптерећење купаца и различите програме за одзив потрошње. Повећањем обима овакве агрегације, композитна виртуелна електрана би агрегатору такође омогућила пружање помоћних системских услуга оператору преносног система, што би представљало додатни бенефит. У синергији с другим неопходним, стратешким корацима, предложени концепт би Србији могао да обезбеди сигурнију енергетску будућност.

Кључне речи

Агрегација, декарбонизација, дистрибуирана производња, помоћне услуге, одзив потрошње, управљање оптерећењем, виртуелна електрана

Напомена:

Чланак представља проширену, унапређену и додатно рецензирану верзију рада „Агрегација композитне виртуелне електране – један од могућих одговора на изазове за електроенергетски систем Србије у процесу декарбонизације“, награђеног у Стручној комисији СТК-5 Планирање дистрибутивних система на 13. Саветовању ЦИРЕД Србија, Копаоник, 12-16. септембра 2022.

Примљено: 7. април 2023. Рецензирано: 9. мај 2023.
Измењено: 16. мај 2023. Одобрено: 25. мај 2023.

¹Кореспондирајући аутор: Владимир М. Шилјут
Тел. +381-64-897-46-72 Имејл: vladimir.siljkut@eps.rs

1. УВОД

1.1 Контекст проблематике електроенергетике у Србији

Изузев функционалног и организационог раздвајања ком је био изложен у претходном периоду током процеса дерегулације, а чијим се ефектима још прилагођава, комплетан електроенергетски сектор Србије све више се суочава са новим, претећим изазовима које доноси будућност. Примаран проблем представља вишедеценијско већинско ослањање на лигнит као примарно гориво за производњу електричне енергије. Његов квалитет (калоријска вредност) је последњих година забележио значајан пад, а и расположиве количине су све више упитне. Последице су вишеструке – од пада нивоа сигурности, поузданости рада и ефикасности термоелектрана, преко додатног хабања опреме, до повећања загађења ваздуха. Термоелектране (ТЕ) су изузетно старе па захтевају огромна улагања, не само у ревитализације, него и изградњу нових и скувих (инвестиционо, али и експлоатационо) пратећих система у функцији заштите животне средине. Кад се тим трошковима додају и најављене угљеничне таксе које ће рапидно расти у будућности, исплативост ових извора и тржишна конкурентност цене електричне енергије добијене из њих, постају крајње неизвесни. У условима неминовне декарбонизације се, у случају Србије, поставља и питање – чиме надоместити базне (термо)капацитете, којима, из једног или другог разлога, прети гашење?

Обновљиви извори енергије (енгл. *Renewable Energy Sources*, RES) на преносном систему надоместиће део електричне енергије након повлачења термокапацитета. Значајна интеграција варијабилних RES (*Variable RES*, V-RES) условиће нове проблеме. V-RES имају нижи степен искоришћења капацитета у односу на ТЕ на угаљ. Да би се надоместила енергија коју у току једне године испоручи једна ТЕ на угаљ, неопходно је изградити RES значајно веће инсталисане снаге, што може довести до загушења у постојећој преносној мрежи или може ограничити прикључење нових RES. Такође, интеграција V-RES условиће повећање неопходне балансне резерве за балансирање система у реалном времену, а проблем ће постати и балансирање система, односно неусклађеност производње и потрошње на дужем, сезонском нивоу.

На другом крају система, не мањи проблем представља неефикасно коришћење електричне енергије, непривлачиво висок ниво њених губитака, укључујући и губитке услед њеног неовлашћеног коришћења. При томе, ни из близа нису искоришћене, већ сада расположиве, техничке могућности за управљање оптерећењем или коришћење евентуално већег броја тарифних ставова, у циљу жељеног одзива потрошње. Надасве, интереси снабдевача и оператора дистрибутивног и преносног система не морају бити подударни, [1]; први тежи да прода што већу количину електричне енергије, са што већом зарадом, а други да

систем одржи стабилним, тј. да његови елементи не буду преоптерећени.

У таквим околностима, пред дугорочне планере и креаторе развоја електроенергетског система (ЕЕС), као целине, поставља се питање – у ком правцу треба ићи, какву стратегију инвестирања треба одабрати?

Овај рад предлаже, као тему за разматрање, решење које би имало позитиван утицај, како на технички аспект система (и то на оба његова краја), тако и на његове актере, али и на мреже између њих и њихове операторе. Уместо огромних инвестиција у термосектор упитне перспективности и исплативости, Акционарско друштво „Електропривреда Србије“ (ЕПС) би могло да искористи најављено увођење агрегатора, као новог учесника на тржишту електричне енергије, [2], за својеврсни заједнички подухват са својим крајњим корисницима – купцима електричне енергије, за успостављање мултиенергетске, композитне (тј. колаборативне, кооперативне) виртуелне електране, [3]-[5]. Она би за ЕПС фактички представљала нови, заменски капацитет, а за купце извор уштеда и потенцијалних прихода. Оваква електрана би обухватила различите, дисперговане, управљиве и неуправљиве, обновљиве изворе, и то не само електричне, већ и топлотне енергије (нпр. соларне колекторе за загревање воде), системе за складиштење енергије, пуњаче за електрична возила, управљиво оптерећење купаца (термо-акумулационе пећи, електричне бојлере и котлове) и различите програме за одзив потрошње. Повећањем обима овакве агрегације – својеврсним „повећањем капацитета“ и своје флексибилности – композитна виртуелна електрана би ЕПС-у као Агрегатору створила додатну могућност за пружање помоћних системских услуга оператору преносног система, попут учешћа у регулацији фреквенције, као и пружање услуга оператору дистрибутивног система, што би у одговарајућем регулаторном оквиру представљало још један извор прихода за ЕПС. У синергији с другим потребним корацима, као што је јаче ослањање на хидропотенцијале, овакав концепт би Србији могао да обезбеди сигурнију енергетску будућност.

1.2 Виртуелне електране - преглед литературе и искустава

1.2.1 Дефиниције и функције виртуелне електране.

У свету, основни мотив за настанак и развој концепта виртуелне електране представља све већи удео V-RES. Наиме, због своје неизвесне и испрекидане (тј. варијабилне) природе, обновљиви извори енергије какви су сунце и ветар, могу изазвати проблеме у раду електроенергетског система, као што су они са балансирањем и балансирањем система, квалитетом електричне енергије, ефикасношћу, стабилношћу и поузданошћу. Концепт виртуелне електране, (енгл. *Virtual Power Plant*, VPP) осмишљен је како би се олакшала интеграција V-RES, без угрожавања стабилности и поузданости рада система, уз нуђење многих других техно-економских бенефита. Шта је,

заправо, виртуелна електрана? У [6] она је дефинисана као „концепт који обједињује једну разноликост дистрибуираних извора електричне енергије, управљивог оптерећења и складишта електричне енергије, ради учешћа у диспечингу и управљању тржиштем електричне енергије и радом мреже, у виду још једне, специјалне електране.“ Друга дефиниција каже да је „VPP структура ICT (информационо-комуникационе технологије – прим. аут.) која интегрише различите врсте дистрибуираних извора енергије, флексибилних потрошача и складишта енергије, међусобно и са другим тржишним сегментима, у реалном времену, путем интелигентне (смарт) мреже“, [3]. У [7] се користи назив „нови телеинформатички систем који омогућава управљање енергетским ресурсима.“ Тако VPPs обављају задатак флексибилног управљања консолидацијом V-RES, ефективним складиштењем и дистрибуцијом електричне енергије, у променљивим размерама када је то потребно.

Бројна су истраживања и моделовања бескрајних могућности напајања паметних градова помоћу технологије VPP и уопште, могућности очувања екосистема животне средине и очувања тј. штедне енергије које се тиме постижу. „Паметни градови“ представљају модел будућег градског планирања и урбаног развоја, интегришући ICT решења, као и механизме за очување енергије и борбу против климатских промена са основном технологијом познатом као интернет ствари (енгл. *Internet of Things*, IoT). Будући да је базирана на ICT и (најчешће) на IoT, VPP је најефикасније средство дистрибуције енергије за паметне градове, [8].

1.2.2 Корисници, носиоци и начини агрегације. Поставља се и питање ко може да развија и примењује концепт VPP и у каквим околностима? Концепт VPP могу да развијају многе врсте ентитета / енергетских субјеката, нпр. оператори дистрибутивних система, произвођачи електричне енергије, енергетски кластери, [7]. Постоји много решења због веома широког спектра могућих примена, а могућност изградње система заснованог на модулима омогућава да се он прилагоди потребама корисника, лакше мења и интегрише у веће системе. Доносе се прописи и примењују концепти који омогућавају развој обновљивих извора енергије, укључујући купце-произвођаче и тзв. активне купце, и омогућавају активно учешће потрошача енергије на тржишту енергије. Поред тога, уводе се строжи захтеви за балансирање производње и потрошње енергије, што захтева већу тачност балансирања, [7]. У наставку ћемо дати преглед различитих решења која се могу наћи у релевантној литератури.

Лит. [9] приказује структуре, типове, архитектуру и рад VPP, као и стање њихове примене широм света. Типови VPP су дати детаљно, с оптимизационим алгоритмима који се користе за сваки од њих. VPP је повезана са већином компоненти електроенергетског система, као што су дистрибуирана производња (*Distributed Generation*, DG), активни купци-произвођачи (*prosumers*), оператори преносних (*Transmission System Operator*, TSO) и дистрибутивних

система (*Distribution System Operator*, DSO), мрежне услуге попут елиминације кварова, управљање реактивном снагом, све то уз помоћ технологија комуникација, управљања и оптимизације. Чланак даје један свеобухватни увид у трансформацију микромреже у VPP који може бити од користи истраживачима, потрошачима, купцима-произвођачима и операторима система. Суштина приступа у [9] је да микромрежа са оптимизацијом, способношћу комуникације и уз примену метода вештачке интелигенције, постаје VPP. Аутоматизација микромреже се подразумева, као предуслов за управљивост производње и потрошње и оптимизацију трошкова њеног рада.

Рад [10] наводи концепте VPP из студија разних истраживача и даје детаљна објашњења. Представљени су и неки типични пројекти VPP широм света. Поред тога, изложени су и неки потенцијални изазови и савети за будући развој у студијама о VPP. Распозната су три типа корисника VPP: самостални (*Standalone*), купац енергије (*Energy buying*) и продавац (*Energy selling*). Независни оператор система (*Independent Power System Operator*, IPSO) је кључни, „везни“ играч између спољашњег тржишта, са којим размењује податке о прогнози оптерећења и тржишним информацијама, и центра одлучивања, коме испоставља ценовну стратегију и од кога добија резултате активности.

1.2.3 Архитектура, концепти и модели VPP. У [11] су представљени концепт и експериментални резултати микромреже под називом Окружна електрана (*District Power Plant*), дизајниране да ради као активни елемент у локалној дистрибутивној мрежи, способан да пружи услуге као што су одзив потрошње (*Demand Response*, DR), активно напајање и напредно мерење. Приказан је стабилан рад оваквог система у острвском режиму и режиму поновног повезивања, као и добар квалитет енергије и у повезаном и у острвском режиму.

Рад [12] предлаже нови систем градске VPP, који интегрише дистрибуиране производне јединице, системе за складиштење енергије и управљиво оптерећење. Користи напредне технологије за комуникацију и координисано управљање како би реализовао свеукупну регулацију и управљање различитим врстама дистрибуиране енергије и оптерећења. Тиме су ублажени изазови настали услед великог удела насумичне и променљиве дистрибуиране производње на рад електроенергетске мреже и диспечинг, и смањена неравнотежа између понуде и потражње. У раду је илустрована предложена архитектура система градске VPP и приказани њени ресурси на страни корисника.

Ефикасно управљање и диспечинг такође су предмет рада [6]. У циљу ефикасног диспечинга и управљања великим бројем ресурса за одзив потрошње (попут термички управљивих капацитета оптерећења), овај рад проучава систем управљања енергетском ефикасношћу на бази концепта заснованог на технологији одзива потрошње и теорији VPP и ефикасно користи систем управљања температуром. Прикупљањем и контролом параметара снаге ресурса

за управљање оптерећењем, потпуним искориштавањем потенцијала за смањење оптерећења на страни потрошње, постиже се одговарајуће померање вршног електричног оптерећења, погодно за ублажавање неусаглашености између напајања (производње електричне енергије) и потражње и за обезбеђивање безбедног и стабилног рада електроенергетске мреже.

VPP и компоненте „smart“ енергије, мрежа, система и градова приказане су и повезане у чланку [13]. Приказана је VPP и одговарајуће компоненте „паметне“ мреже које је сачињавају. Приказана је структура „паметне“ енергије, коју сачињавају подгрупе нискоугљеничне производње, ефикасне дистрибуције и оптимизовање потрошње електричне енергије.

Једна платформа за интеграцију различитих типова дистрибуираних извора енергије (*Distributed Energy Resources*, DER) приказана је у истраживању [14]. За планирање и изградњу ове платформе били су неопходни различити домени знања – телекомуникације, електротехника, механика, аутоматизација, информатика, архитектура, социологија. Кључно је било дефинисање обима пројекта, усаглашавање спецификација и заједничког разумевања међу партнерима (укључујући извођаче и подизвођаче), као и дефинисање заједничког језика за ефикасну сарадњу. Осим тога, истакнуто је да корисници-домаћини морају бити информисани што је више могуће током фазе инсталације и повезани са пројектом током његове оперативне фазе. Они такође желе да разумеју сврху интервенција и да буду свесни када инсталирани уређаји раде. Наглашена је критичност интеграције различитих технологија и стандарда: ауторизација http-клијента, SSL сертификата, web сервиса, заједничких информационих модела (*Common Information Models*, CIM), паметних енергетских профила (*Smart Energy Profiles*, SEM) и др. Под платформом једног тако интегрисаног центра управљања, коме је надређен Агрегатор, могуће је објединити различите кориснике и њихове уређаје и дисперговане изворе; резиденцијалне (термичка складишта и топлотне пумпе, фотонапонске панеле, батерије за складиштење вишкова електричне енергије, управљање оптерећењем), подесиво јавно осветљење, индустријске кориснике (производњу из топлотних соларних колектора, хладњаче), становање и пословне просторе (соларна термална складишта, управљање оптерећењем), [14].

Уведен је и појам енергетског тржишта ствари (*Energy Market of Things*, ЕМоТ), [15]. За трговце енергијом појава DER је историјска прилика која може донети бројне предности, нпр. могућност да се отвори обилна понуда флексибилности на страни снабдевања на ниском и средњем напону, која се састоји од енергетских заједница, па чак и малих фарми PV панела и батерија. Неопходан је приступ подацима иза бројила који се могу користити за фино подешавање алгоритама трговања и предвиђања. Уређаји, од топлотних пумпи до пуњача електричних возила (*Electrical Vehicles*, EV), DER и електроенергетских

објеката и опреме, сада могу прикупљати и размењивати податке (тј. комуницирати) и бити повезани са било којом врстом тржишта електричне енергије.

ЕМоТ омогућава умрежавање физичких уређаја који су у вези са електричном енергијом, за мали обим њене производње, складиштење и флексибилну потрошњу електричне енергије, [15]. Ове „ствари“ имају уграђене сензоре, располажу софтвером и другим технологијама у сврху повезивања и размене података са другим уређајима и било којом врстом тржишта електричне енергије – било да су то локална тржишта флексибилности, платформе за балансирање енергије или класичне берзе као што су EPEX SPOT, Nord Pool и HUPX. Ови уређаји варирају од обичних предмета на нивоу домаћинства до великих комерцијалних или индустријских уређаја.

1.2.4 VPP као мрежа или систем сарадње. У лит. [3] VPP је приказана као мрежа сарадње. Ту је истакнуто да је VPP један од типова виртуелних организација, али да су дефиниције VPP првенствено усмерене на њен технички аспект и да се недовољно пажње поклања аспектима управљања и, посебно, пословном моделу. Стога је у [3] представљена правна позадина за успостављање VPP, као и правне могућности и претње за стварање VPP у Пољској. Наглашено је да је правна анализа полазна основа за сваки практични пројекат. Приказани су законски прописи који се односе на купце-произвођаче и подржавање енергетских микрочластера. Ова питања захтевају стварање нових производа, нпр. VPP. Затим је направљен преглед пословних модела како би се изабрао адекватан модел, [3]. Распозната су углавном три типа модела; први је углавном карактеристика односа између купаца, клијената, партнера и добављача; други наглашава значај ресурса компаније, који се могу проширити и користити, и потенцијалних извора будућих економских користи; трећи представља комбинацију прва два и комбинује кључне ресурсе и кључне односе који су важни за VPP (ово одговара системском приступу). На основу одабраног модела структурира се VPP као мрежа сарадње између различитих врста енергетских субјеката. При томе, сегментација могућих корисника VPP врши се по два критеријума – према врсти тржишта и према врсти производа, [3].

Тренд конвергенције VPP ка колаборативним мрежама потврђен је и у [4,5]. Ту се, наиме, тврди да по свом саставу, VPP формира неку врсту колаборативног пословног екосистема са високим степеном интеракције и међузависности међу заинтересованим странама. Истраживање [4,5] је фокусирано на анализу трендова и идентификацију области конвергенције између дисциплине колаборативних мрежа (*Collaborative Network*, CN) и концепта VPP, као и развоја, користећи предзнање из домена CN. Резултати су показали да се у оквиру VPP формирају различити стратешки и динамични сараднички савези, попут мрежа оријентисаних ка циљу, окружења за размножавање виртуелних организација (*Virtual Organizations Breeding Environment*, VBE), мрежа вођених коришћењем могућности и мрежа вођених континуираном

производњом. Различити основни функционални принципи VPP су слични онима код CN: стварање, рад и распуштање виртуелне организације, преговори, брокерске услуге, VBE администраторске услуге, услуге планера и координатора виртуелне организације, и процеси тражења и одабира партнера, [4,5]. Учесће DER на енергетском тржишту се, наравно, обезбеђује кроз агрегацију VPP, [4]. Она обухвата више заинтересованих страна: тржишта/купце, операторе дистрибутивних услуга, DER/купце-произвођаче/управљаче купцима-произвођачима, системе управљања енергијом, провајдере услуга, енергетске заједнице и енергетске кооперације, регулаторна тела, [4].

Аутори [4,5] су надаље, у [16], развили и разматрали појам екосистема колаборативне виртуелне електране (*Colaborative/Cooperative/Composite VPP Ecosystem*, CVPP-E). Он доприноси ефикасној организацији обновљивих енергетских заједница (*Renewable Energy Communities*, REC) на начин да оне могу деловати као VPP или испољавати њене атрибуте. Овај концепт је изведен спајањем или интеграцијом принципа организационих структура и механизма из домена CN у област VPP. Очекује се да, уколико се актери у REC ангажују у сарадничким акцијама, то омогући да REC обавља функције које су сличне VPP. Концептуално, CVPP-E се састоји од менаџерске заједнице, заједничког система за складиштење енергије у заједници, потрошача који поседују комбинацију фотонапонских и система батеријских складишта и пасивних потрошача, који су сви повезани на енергетску мрежу. Кључни атрибут овог предложеног екосистема је да се чланови ангажују у колективним акцијама или сарадничким подухватима који се заснивају на заједничком циљу, усмереном на постизање одрживе производње енергије, потрошње и продаје. У студији [16] представљен је модел високог нивоа за аспекте сарадње у CVPP-E. Ово укључује оквир компатибилних (заједничких) циљева, оквир за дељење и оквир колективних акција. Ови оквири служе као окосница CVPP-E и играју виталну улогу у моделирању CVPP-E. За процену предложеног модела, у [16] су коришћени различити сценарији симулације.

1.2.5 Компоненте VPP и оптимизациони модели.

Веома су разноврсне компоненте које могу бити обухваћене концептом композитне VPP, CVPP. У [17] је разматрано балансирање флоте ветрогенератора портфолиом флексибилних средстава – електранама на биогаз и кондензаторским батеријама. Првобитна намена електрана на биогаз које су разматране у VPP била је зарада на берзи, пре свега на тржишту дан унапред. Када ова средства постану део VPP, њихов задатак се мења тако да он постаје максимизирање профита од продаје електричне енергије уз обезбеђивање балансирања флоте ветрогенератора, што такође резултира учешћем на унутардневном тржишту. Овај задатак је изазован у смислу метода оптимизације и предвиђања цена. У [17] се разматрају два аспекта: оптимизација и прогноза цена. Прва је мешовита целобројна оптимизација и развијене су софистициране методе декомпозиције. За прогнозу

цена спроводи се неколико метода предвиђања заснованих на машинском учењу (*Machine Learning*, ML), са циљем да се максимизира резултујући кумулативни приход. Такође се користе комерцијална предвиђања и метода из [17] се показала конкурентна овим предвиђањима у смислу резултујућег кумулативног прихода. Такође је посебна пажња посвећена робусности VPP да рукује великим количинама средстава које обухвата. Осим тога, предиктивна контрола робусног модела (*Robust Model Predictive Control*, RPMC) користи се за узимање у обзир многих сценарија током доношења одлука.

Могућности концепта CVPP се не ограничавају само на повећање флексибилности система комбиновањем различитих, компатибилних извора енергије. Тако је у [18], осим промовисања мултиенергетске комплементарности, у циљу ниске карбонизације предложен оптимални модел планирања рада једне VPP са хватањем угљеника и спаљивањем отпада, узимајући у обзир координацију електричне енергије и гаса. Увођењем колаборативног оквира за коришћење система гасног постројења за хватање угљеника – “електрична енергија у гас” (*power-to-gas*, P2G), ухваћени CO₂ може се користити као сировина за P2G, за производњу природног гаса који се испоручује гасној јединици. Поред тога, потрошња енергије за хватање угљеника и третман димних гасова може се пренети путем заједничког диспечинга како би се ублажиле флукуације излазне снаге из V-RES, тако да електрична енергија добијена из ветра и фотонапонских панела може бити индиректно диспечабилна и флексибилно искоришћена. С обзиром на високу димензионалну нелинеарност предложеног модела оптимизације и потешкоће у његовом решавању, нови Гаусов сложени диференцијални еволуциони алгоритам је дизајниран у [18] да би решио овај модел. Резултати симулације показују да предложени модел и метода могу да обезбеде капацитет померања вршног оптерећења и да побољшају потрошњу обновљиве енергије, ефективно смањујући цену и емисију угљеника из VPP.

Да би се решио велики број дискретних кластера различитих дистрибуираних енергетских ресурса у руралним подручјима, у [19] је трговац електричном енергијом (*Electricity Retailer*, ER) постављен као агент ових кластера путем VPP, односно продавац електричне енергије (ER) је интегрисан са виртуелном електраном (VPP- ER). Затим се у [19] расправља о колаборативном режиму трансакција “електрична енергија-угљеник” и оптималном моделу трансакције куповине-продаје, на два нивоа. Модел вишег нивоа примењује метод условне вредности под ризиком (*Conditional Value-at-Risk*, CVaR) за успостављање модела координисане трансакције “електрична енергија-угљеник” за рурални VPP-ER. Модел нижег нивоа примењује теорију робусне оптимизације за мерење ризика неизвесности излазне снаге ветроелектране (BE) или соларне PV електране, да би успоставио оптимални модел диспечинга за VPP. Треће, модел се претвара у услове оптималности *Karush-Kuhn-Tucker* (KKT) да би се решио двостепени модел трансакције куповине-продаје. На примеру

једног индустријског кластера (*Henan Lankao*), резултати показују, између осталог, да предложени двостепени модел може успоставити координисану оптималну шему трговања електричном енергијом и угљеником. Закључак студије [19] је да би њени налази могли да обезбеде ефикасан алат за доношење одлука за рурални VPP-ER на кинеском тржишту електричне енергије.

Учешће електропривреде у трговини угљеником и зеленим сертификатима је ефикасан приступ, заснован на тржишту, за решавање негативних екстерних ефеката производње електричне енергије. У том погледу се и VPP показује као ефикасно средство. Тако је у [20] VPP узета као агрегатор за координацију и оптимизацију трговине угљеником и зеленим сертификатима између купца електричне енергије и крајње продаје електричне енергије, како би се постигао циљ максимизирања свеобухватне користи од VPP. Прво, анализира се начин рада VPP који агрегира различите врсте дистрибуиране енергије и различите кориснике који учествују на тржишту зелених сертификата и тржишту емисија угљеника. Друго, конструисан је двостепени колаборативни оптимизациони модел VPP који учествује у трансакцији куповине и продаје електричне енергије и трансакцији зеленог сертификата. С једне стране, трошкови куповине електричне енергије и стицања зеленог сертификата минимизирају се комбиновањем различитих врста ресурса за производњу електричне енергије при крајњој куповини електричне енергије, а са друге стране, купљена енергија се дистрибуира међу различитим типовима корисника приликом продаје електричне енергије, како би се максимизирао приход од продаје електричне енергије и приход од продаје зелених сертификата. На основу тога, VPP као целина учествује на тржишту електричне енергије, тржишту емисија угљеника и тржишту зелених сертификата како би се максимизирао свеобухватни приход. Коначно, VPP је узета као пример за верификацију економичности и ефикасности модела предложеног у [20].

1.3 Садржај, допринос и структура чланка

Концепт CVPP која би – осим електричне – обухватила и друге врсте енергије, какав предлажу аутори овог чланка, приказан је у поглављу 2 и заснован је на вертикалном концепту Индустријског интернета ствари (*Industrial Internet of Things*, IIoT), [21-23], уважавајући његове предности како са аспекта управљања и обраде података и информација, тако и са аспекта дистрибуиране реализације и сајбер сигурности. Осим веома широког дијапазона врста дистрибуираних ресурса за производњу енергије и њених потрошача, концепт који се предлаже у овом чланку не само да разматра позицију и улогу CVPP у ширем окружењу, него остаје отворен и за обухватање појединачних већих производних јединица или складишта енергије. Кад је реч о дистрибуираним ресурсима, у условима типичним за Србију, као најзначајније и потенцијално најнефективније, распознато је успостављање функционалности

управљања над припремом санитарне топле воде. Осим тога, акценат је стављен и на могући допринос оптимизацији рада и флексибилности система који би дало функционално повезивање и подвођење под концепт CVPP топлотних складишта (како дистрибуираних мањих, тако и већих, наменски грађених) и складишта потенцијалне енергије (попут водоторњева) и управљања њима.

Осим техничко-технолошког повезивања различитих компоненети, на коме је иначе заснован концепт CVPP, у случају када би се ЕПС појавио као Агрегатор, и његова функција управљања електроенергетским портфељом (тзв. „Трговина“) би, закључивањем дугорочних уговора са приватним инвеститорима ветропаркова и соларних фарми о испоруци електричне енергије (*Long Term Power Purchase Agreement*, LT PPA), кроз нуђење услуге балансирања могла допринети овде предложеном моделу CVPP. Тако би и овај део „зелене“ енергије постао једна од компоненти предложеног концепта и портфеља ЕПС, био задржан у Србији и стављен на располагање за оптимизацију рада и повећање флексибилности система.

На напред описане начине, CVPP би стекла додатне перформансе као алат за оптимизацију рада система и коришћење електричне и топлотне енергије, произведених и ускладиштених не само у капацитетима ЕПС и његових крајњих корисника, него и других енергетских и привредних субјеката. Све ово, наравно, не ограничава самосталне енергетске субјекте да се на тржишту појаве као независни агрегатори (нудећи своје услуге и развијајући сопствене концепте VPP), сходно прихваћеној европској пракси и регулативи.

У поглављу 3 овог чланка приказани су начини агрегације дистрибуиране производње купаца-произвођача и њихове потрошње. У поглављу 4 дата је груба процена ефеката који би могли да се постигну увођењем и применом концепта виртуелне композитне електране. У приказаном примеру прорачунати су и презентовани само ефекти који би се имали од агрегирања акумулационих бојлера за припрему санитарне топле воде, опремљених даљински управљивим термостатима и „паметним“ прекидачима. Поглавље 5 даје преглед законског оквира и тренутних ограничења у Србији за даљи развој овога концепта. На крају рада су дати одговарајући закључци.

2. ОРГАНИЗАЦИОНА СТРУКТУРА И ТЕХНИЧКИ ПОТЕНЦИЈАЛ ЗА УСПОСТАВЉАЊЕ КОМПОЗИТНЕ ВИРТУЕЛНЕ ЕЛЕКТРАНЕ

Аутори рада су препознали три кључна питања на која треба одговорити пре инвестиционог планирања и практичне реализације виртуелне електране. Прво питање се односи на контролу и управљање процесима производње и потрошње, друго се односи на технолошке аспекте различитих извора и потрошње

електричне енергије и треће је организационе природе, с обзиром да се мора усагласити просторна разуђеност извора и потрошње, односно да се створи њихова јединствена мрежа.

2.1 Вертикална и хибридна концепција контроле и управљања

Примена модерних концепата контроле, обраде података, управљања и одлучивања подразумева да се многи процеси одлучивања са оперативног нивоа пребацују на више хијерархијске нивое. Основни циљ модерних концепата контроле, управљања и одлучивања је смањење оперативних трошкова и скраћење времена анализе и обраде података. Виртуелна електрана представља изузетно сложен систем са великим бројем подсистема. Полазећи од предности вертикалних концепција контроле, управљања и обраде података и информација, које су постале једно од поузданих прихватљивих решења концепата базираних на ПоТ-у [21-23], на Слици 1 је дат предлог структуре будуће виртуелне електране ЕПС.

Данас нове технологије омогућавају брзу и јефтину двосмерну комуникацију између купаца и енергетских компанија. „Паметни“ мерни уређаји са могућношћу даљинског управљања могу пратити, анализирати, прослеђивати и/или складиштити податке о потрошњи различитих облика енергије са високим учестаностима одабирања. Доступност стотина хиљада временских профила оптерећења различитих група потрошача ствара могућност примене алгоритама вештачке интелигенције (*Artificial Intelligence*, AI) за груписање потрошача са сличним обрасцима потрошње.

Анализа великог броја података (*Big Data Analytics*, BDA) је значајно изменила праксе пословања у различитим индустријама. Можда најизраженији примери су велике платформе за куповину преко интернета (Alibaba, Amazon и др.) које се значајно ослањају на BDA и податке о претходним куповинама корисника и бихевиоралној анализи на основу историје прегледања и активности на интернету, [24].

Слика 2 приказује могућу схему BDA примењену на ЕЕС. Процес прикупљања података почиње различитим изворима информација (Слика 2.а)), као што су „паметна“ бројила, тржиште електричне енергије, временске прогнозе, сензори за мерење брзине ветра итд. Над тим подацима могућа је обрада (Слика 2.б) и примена напредних статистичких метода и техника машинског учења (*Machine Learning*, ML) (Слика 2.в)), као што су анализа временских серија, груписање (*clustering*) и дубоко учење (*deep learning*) да би се генерисале информације о особеностима целокупног система које се могу применити за потребе естимације техничког потенцијала и предиктивног управљања ресурсима, [25]. Овакве информације могу да се користе за добробит енергетских компанија, њихових корисника и трећих страна које су укључене у овај процес (Слика 2.г)).

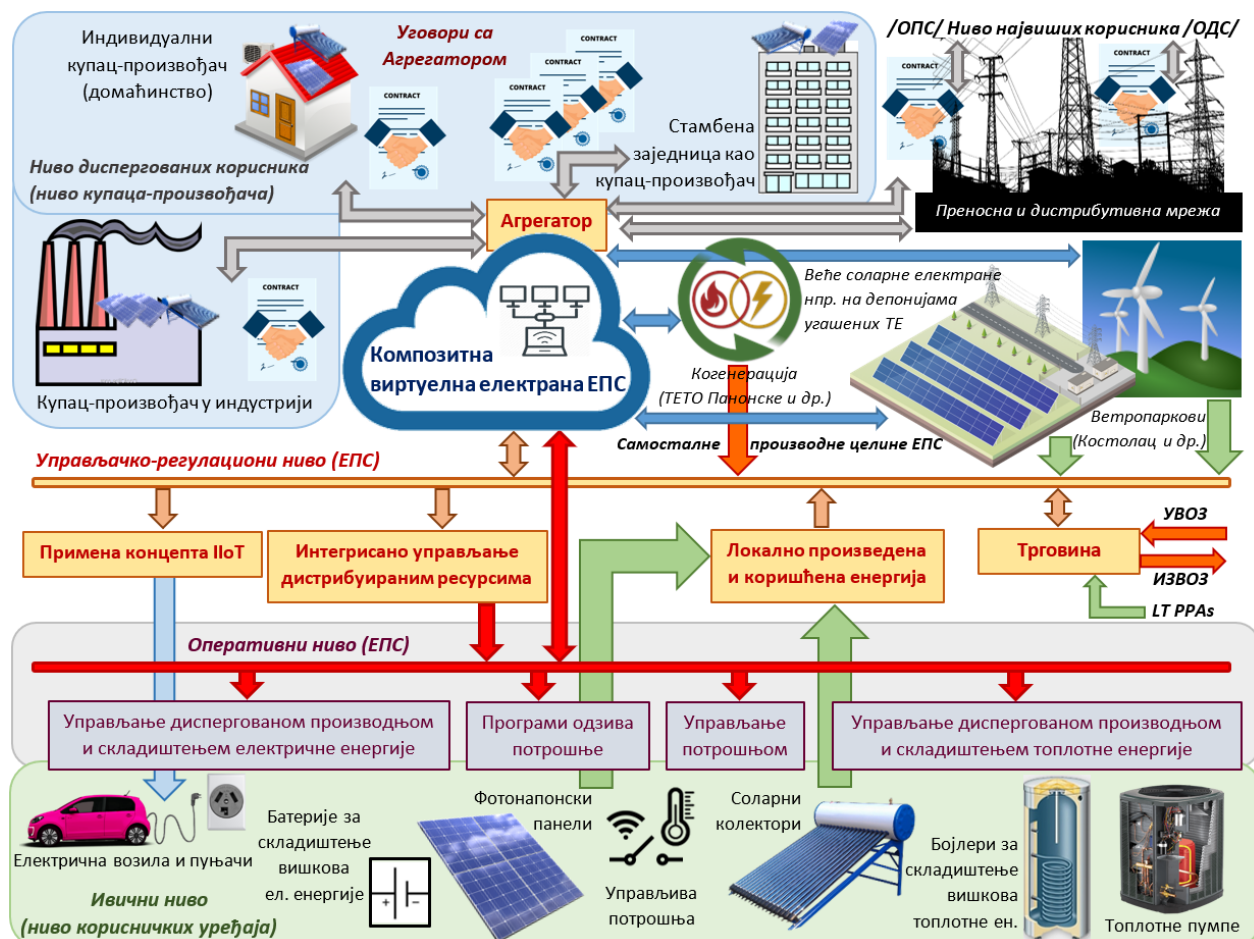
2.2 Технички потенцијал на страни крајњих корисника

Виртуелна електрана може да интегрише (агрегира) крајње кориснике у смислу управљиве потрошње електричне енергије, а кад су у питању купци-произвођачи, може да агрегира и управљиву дисперговану производњу електричне енергије. Идеја која се заговара у овом раду је интеграција дисперговане производње и управљиве потрошње и других видова енергије. При томе, сви разматрани типови енергије посматрају се у односу на електричну енергију. Крајњи корисник може бити домаћинство или привредни субјект (в. Сliku 1, горе лево). Виртуелна електрана може да пружи и валоризује две врсте услуга, балансирање и економски диспечинг, и сходно томе анализиран је технички потенцијал крајњих корисника који би могли да повећају капацитет виртуелних електрана за пружање предметних услуга оператерима системa, као корисницима највишег ранга (в. Сliku 1, горе десно).

Потрошња електричне енергије крајњих корисника се своди на претварање електричне енергије у неки други облик енергије. Највећим делом се електрична енергија претвара у топлотну, потом у хемијску, у потенцијалну енергију или у друге видове енергије. Са становишта виртуелне електране, од значаја је управљива потрошња која у свом технолошком процесу има одређени вид складиштења енергије, без утицаја на технолошки процес потрошње енергије. Технолошки процеси у којима се троши електрична енергија, а који немају одређене акумулације енергије, неће бити разматрани у овом раду.

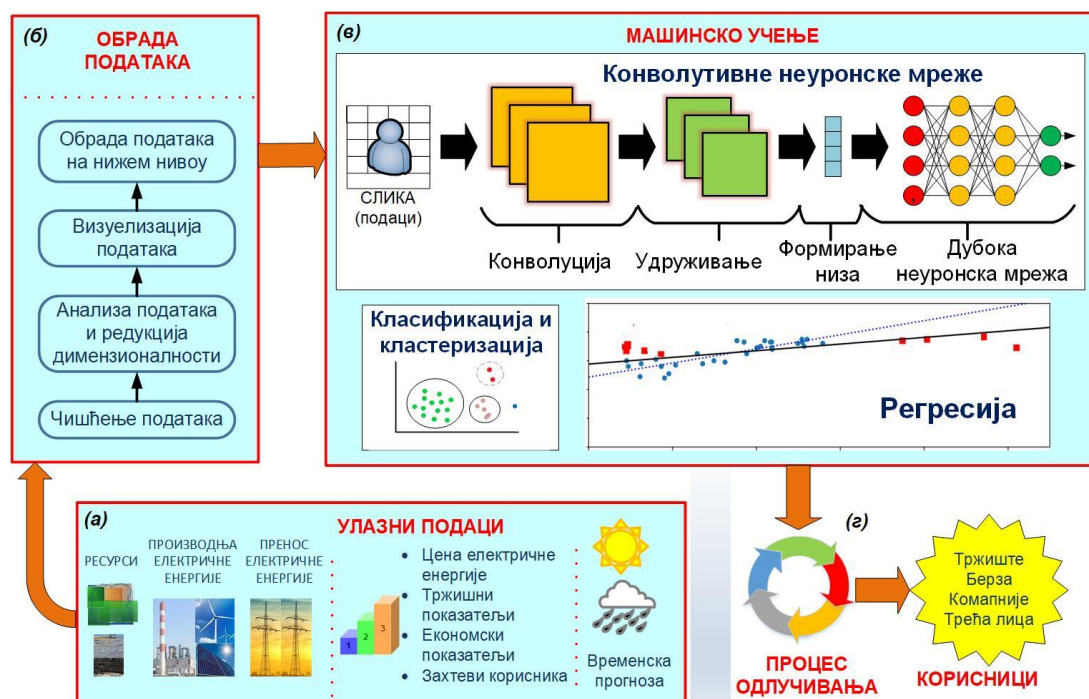
Финална енергија се доминантно троши на процесе загревања и хлађења. У земљама ЕУ28, половина финалне енергије се претвори у топлоту, [26], а за земље које су на нижем нивоу економског развоја тај проценат је и већи. У Републици Србији, на основу грубе процене, приближно једна трећина укупне потрошње у зимском периоду одлази на загревање простора (просечан дневни конзум електричне енергије у месецу мају је око 80 GWh, а у јануару око 120 GWh). Са ниском ценом акумулатора топлоте, потрошња топлотне енергије представља најзначајнији ресурс виртуелних електрана и за балансне услуге и за економски диспечинг. Употреба потрошње електричне енергије за производњу топлотне у сврху балансирања система већ је у примени. У Белорусији је, [27], за потребе балансирања система, инсталирано око 1200 MW управљивих електричних бојлера за потребе даљинског грејања и загревања топле воде за грађанство.

Потрошња електричне енергије у сврху претварања у хемијску енергију је у највећем порасту. У питању су батерије, а доминантан раст представљају батерије електричних аутомобила. Правац развоја пуњача батерија не иде у корист управљиве потрошње. Произвођачи електричних аутомобила улажу знатна средства да смање време пуњења батерија, тако што повећавају снагу пуњача, па пуњачи достижу снаге од 400 kW, [28]. Батерије електричних аутомобила у току



Легенда:
 ⇄ уговорни однос
 ⇄ обухват велике електране у CVPP
 ⇄ функционално структурирање CVPP
 ⇄ оперативно командовање, комуникација и аквизиција података
 ⇄ пропација концепта IoT наниже
 ⇄ „зелена“ енергија
 ⇄ енергија из класичних електрана и интерконекције

Слика 1 Могућа структура, функционалности и окружење композитне виртуелне електране ЕПС



Слика 2 Могућа схема за BDA у EEC



процеса пуњења, у спрези са „паметним“ пуњачима, у блиској будућности могу постати значајан ресурс за управљање потрошњом.

Други вид претварања електричне енергије у хемијску је производња водоника или продуката водоника, што постаје један од главних праваца развоја енергетског сектора. ЕУ је за развој пројеката за коришћење водоника крајем 2021. године издвојила средства у износу од преко 500 млрд € која би требало да буду утрошена до 2030. године. Тренутно се број крајњих корисника, који могу да производе водоник, своди на привредне субјекте који се баве производњом техничких гасова, али је циљ ЕУ да се повећа коришћење водоника, првенствено у сврхе транспорта. С адекватним резервоарима за водоник, и постројењима за производњу водоника која достижу градијент промене потрошње од 10%/с, производња водоника у блиској будућности може постати значајан ресурс за виртуелне електране, и за услуге балансирања и за економски диспечинг. Изражен проблем складиштења водоника тренутно се решава у два правца, добијањем метанола или амонијака.

Претварање електричне енергије у потенцијалну код крајњих потрошача је такође перспективно са становишта VPP. Крајни корисници који врше ову конверзију енергије су првенствено јавна комунална предузећа водовода и канализације. Технолошки процеси снабдевања водом и одвођења канализационе воде, подразумевају процесе пумпања воде из простора акумулирања воде/канализације, или у њих, и уобичајено имају одређену слободу кретања нивоа у акумулацији (резервоару). Као такви, представљају значајан потенцијал за агрегирање управљиве потрошње, поготово са становишта укрупњавања крајњих корисника који су агрегирани. На развој ресурса овог типа потрошње није потребно чекати ближу или даљу будућност, они су већ сада доступни.

2.2.1 Извори енергије. Најзначајнији извори енергије крајњих корисника ЕЕС, који су перспективни за агрегирање у виртуелне електране могу се поделити у групе према управљивости:

- Неуправљиви извори енергије:
 - соларни панели,
 - соларни колектори,
 - соларни термо панели (панели чијим се хлађењем загрева вода);
- Управљиви извори енергије, чију примену је могуће оптимизовати (економски диспечинг):
 - биомаса и биогас (топлотна енергија),
 - фосилна горива (топлотна енергија),
 - топлотне пумпе (извор топлотне енергије),
 - неуправљиви извори са складиштима енергије;
- Комбиновани извори енергије, најперспективнији са становишта примене у апликацијама виртуелних електрана, са значајним бројем променљивих стања које је потребно пратити:
 - когенерације (углавном их користе привредни субјекти чији производни процес захтева

примену и електричне и топлотне енергије, евентуално и технолошке паре),

- топлотне пумпе у комбинацији са складиштима топлоте (извори топлотне енергије чијом применом се повећава капацитет термалних складишта),
- нискотемпературни извори топлотне енергије (извори који су у значајном развоју, комбинација топлотних пумпи и отпадне топлоте из индустријских процеса или топлоте настале хлађењем рачунарских центара).

2.2.2 Управљива потрошња и складиштење енергије.

Складишта енергије на страни крајњих корисника ЕЕС која су тренутно у примени, одговарају већ поменутих видовима трансформације електричне енергије у други вид енергије. Најчешће су присутна складишта топлотне енергије (акумулатори топлоте), складишта хемијске енергије (доминантно батерије) и складишта енергије у којима се електрична енергија складишти као потенцијална. С обзиром на то да су тренутно широко доступни и да није потребно чекати на њихов развој, у овом раду биће разматрани само акумулатори топлоте и складишта потенцијалне енергије. Акумулатори топлоте могу бити циљно реализовани, а могу се и термичке капацитивности разних других објеката користити као акумулатори топлоте (нпр. зидови простора који се греје). Управљива потрошња у комбинацији са складиштима енергије проширује опсег услуга које систему може да пружи виртуелна електрана – балансирање система и економски диспечинг.

Концепт управљања потрошњом као подршка регулацији фреквенције помиње се пре више од четрдесет година, [29], где је поред концепта „производња прати потрошњу“, приказан и концепт „потрошња прати производњу“. У [29] је извршена и категоризација на пасивно и активно управљање потрошњом. Пасивно управљање потрошњом се углавном односи на оптерећења која природно користе радни циклус и могу да се укључе/искључе привремено без угрожавања радног циклуса и комфора корисника. Као први кандидати за управљиву потрошњу, код којих нису потребна додатна улагања сем управљања, издвајају се термостатски контролисани уређаји, који својствено поседују складиштење топлотне енергије, а истовремено су и велики потрошачи у домаћинствима као крајњим корисницима, [30]. Такви уређаји укључују клима-уређаје, електричне бојлере, ТА пећи, и слично. Аутори [29] су приказали могућности за употребу уређаја који, на основу мерења учестаности мреже на коју је прикључен, може да укључи/искључи одређеног електричног потрошача. Међутим, у то време на располагању није постојала инфраструктура и технологија која би могла да подржи брзи проток, складиштење и обраду великог броја информација.

Уз примену нових технологија на старе идеје, у [31] је приказан прототип даљински управљивог прекидача електричног бојлера, заснован на IoT концепту, са могућношћу читавања вредности са

сензора за мерење температуре воде, струје потрошње и учестаности мреже. У [31] је извршена статистичка анализа рада електричног бојлера и дате су процене расположивих промена његове снаге и енергије – повећања и смањења, зависно од тренутних потреба ЕЕС, али и очекиваних захтева купаца. На основу добијених статистичких показатеља, предложен је динамички модел великог броја бојлера који се користе на сличан начин – динамички модел једног кластера. Анализом могућности рада у секундарној регулацији учестаности, показано је да је оваквим системом могуће постићи чак и боље резултате у погледу времена одзива, те растеретити постојеће, конвенционалне производне јединице и допринети стабилности ЕЕС као и сигурном снабдевању купаца. Поред техничких анализа, у [31] је извршена и упрошћена економска анализа једног таквог пројекта. Истакнуто је да би се инвестиција вратила кориснику за око пет месеци, те да је стопа годишњег прихода већ у првој години око 270%.

Топлотни акумулатори, као циљно реализована складишта енергије, представљају један од најјефтинијих облика складишта енергије, са ценом испод 15 USD/kWh, [32], док према [33] велика складишта топлоте могу да имају цену у опсегу од 15-50 €/m³. Јефтини топлотни акумулатори топлоту акумулирају најчешће у води, а у примени су акумулатори од 50 литара воде, па све до сезонских акумулатора топлоте капацитета од преко 500.000 m³ воде, [34]. У комбинацији са топлотном пумпом, која спушта доњу границу температуре воде коју је могуће искористити на испод 20 °C, топлотни акумулатори представљају изузетно еластично постројење са становишта управљивости потрошње.

Уколико се складиште зонира, тако да има два посебна складишта, енергија из топлијег складишта се може користити директно за грејање простора када је цена електричне енергије висока, а у случају повољне цене електричне енергије, преко топлотне пумпе се топлота из хладнијег акумулатора може искористити тако да конвертована преко топлотне пумпе има параметре за примену у грејању простора. Извор топлоте акумулатора су најчешће соларни колектори (као на сликама 1 и 3), али могу бити и отпадна топлота из когенерације или чак претварање електричне енергије у топлотну. Велики акумулатори топлоте (*Large Thermal Energy Storages*) могу да достигну и капацитет од преко 40 GWh појединачно. На просторима где се 27% финалне енергије троши на грејање простора, [26], могу представљати идеално решење за годишње балансирање производње електричне енергије из V-RES. Губици енергије сезонских акумулатора топлоте могу да се спусте и до 10%.

Управљива потрошња са складиштењем енергије у виду потенцијалне, присутна је у технолошким процесима у којима се флуид претаче са једног на друго место, више надморске висине. Пример крајњег потрошача електричне енергије који врши описану конверзију енергије су јавна комунална предузећа водовода и канализације. У равничарским крајевима уобичајено је да се притисак воде у водоводном

систему одржава тако што се вода упумпава у водоторањ, највишу тачку насељеног места. Водоторањ је акумулација воде која има мерач нивоа, са максималном и минималном дозвољеном вредношћу. У зависности од потрошње воде, пумпе водоводних система су управљиве на сатном нивоу, а управљивост зависи од дозвољених минималних и максималних волумена воде у водоторњу. Канализациони системи, поседују колекторе који такође имају дозвољене нивое и пумпе којима је могуће управљати, као и у случају водовода.

3. НАЧИНИ АГРЕГАЦИЈЕ ПРОИЗВОДЊЕ И ПОТРОШЊЕ

3.1 Активни начин агрегације – ЕПС као могући Агрегатор

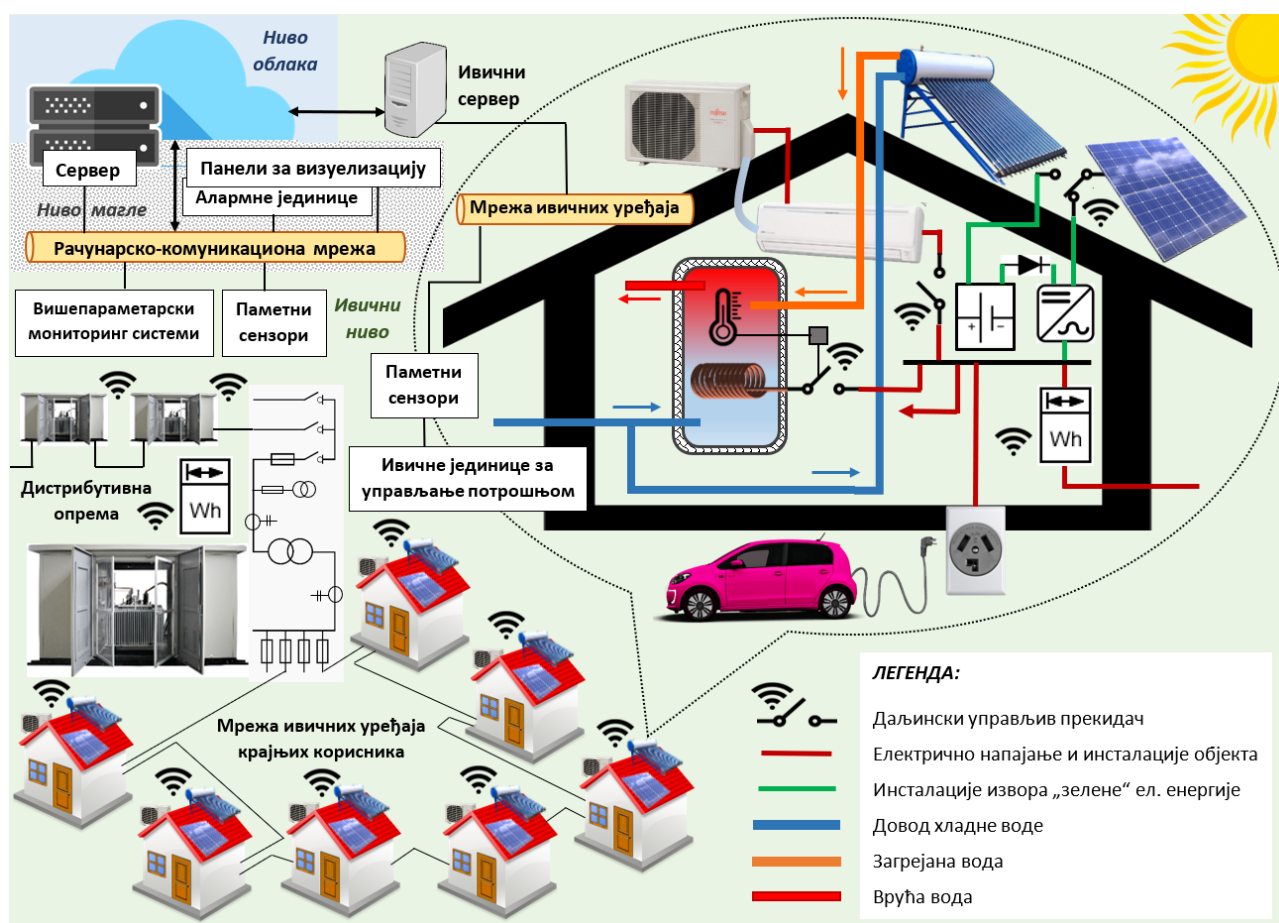
Будући да ЕПС, између осталог, обавља улоге произвођача, трговца и снабдевача електричном енергијом, приликом оптимизације целокупног портфеља ЕПС, израђују се различите врсте планова, на неколико временских хоризоната. При изради средњерочних (кварталних, месечних и седмичних) и краткорочних (дан-унапред и унутардневних) планова производње и трговине електричном енергијом, циљ је да се максималним искоришћењем флексибилности електрана оптимизује њихова производња, тако да компанија оствари највећи могући профит. Да би се то постигло, потребно је највећи могући део расположиве енергије пласирати у периоде највиших тржишних цена, уз задовољење већ уговорених обавеза/испорука (снабдевање и претходно закључени уговори за трговину) и постојећих ограничења (пре свега техничких карактеристика електрана, као и максималних и минималних садржаја акумулација, односно депонија угља). Средство којим се то постиже је трговина електричном енергијом, тако што се у периодима ниских тржишних цена електране „потискују“ до техничких, односно биолошких минимума, док се разлика између потрошње („конзума“) и производње надомешћује куповином на „spot“ тржишту, чиме се највећи део примарне енергије (угља, воде) преноси у периоде високих цена. У том смислу, да би се што већи део примарне енергије пренео из периода ниских, у период високих цена, потребно је да електране располажу што већим распоном између номиналних снага и техничких (односно биолошких) минимума, тј. да поседују што већу флексибилност.

Са друге стране, исти ефекат се може постићи коришћењем расположивог опсега управљиве потрошње, односно „померањем“ дела потрошње из периода виших цена у периоде нижих цена. Ипак, могућност примене управљиве потрошње је прилично ограничена, јер постоји релативно мали број великих индустријских/комерцијалних потрошача (купаца) електричне енергије којима процес производње дозвољава управљање потрошњом и код којих трошак електричне енергије представља значајан удео у цени финалног производа (енергетски интензивни купци),

како би се могли мотивисати адекватним ценовним сигнализацијама. Насупрот томе, постоји релативно велики број малих купаца и домаћинстава где је „померање“ потрошње могуће, али још увек не постоји адекватна регулатива, инфраструктура, као ни ценовни сигнали који би то омогућили. Осим тога, значајнији ефекти управљиве потрошње могу се постићи једино агрегацијом (обједињавањем, груписањем) великог броја (углавном мањих) крајњих корисника ЕЕС, што је један од основних разлога због којих се и уводи нови учесник на тржишту електричне енергије – Агрегатор.

Агрегатор може објединити и мање, дистрибуиране (дисперговане) произвођаче електричне енергије, и то најчешће оне са управљивом производњом, какав је пример купца-произвођача са

могућношћу складиштења електричне енергије, илустрован на Слици 3. На њој је приказана једна енергетски „паметна“ кућа, као и радијално напојена електродистрибутивна мрежа на коју је прикључен низ таквих, просторно распоређених, кућа. Са аспекта потрошача и „локалне зелене производње“, приказана је ивична (*edge*) концепција, чије су основне предности кратко време обраде података (смањења кашњења) и једноставније управљање локалним процесима производње и потрошње. На Слици 3 је приказан општи случај - домаћинство које може да производи и акумулира и топлотну и електричну енергију. Агрегатор може објединити и мање комплексне случајеве, као у [31].



Слика 3 Хибридна концепција ПоТ за агрегацију и управљање композитном виртуелном електраном

Циљ је обезбедити што већу флексибилност, коју Агрегатор касније валоризује на тржишту електричне енергије. У зависности од техничких могућности којима располаже у оквиру свог портфеља, поред „померања“ потрошње/производње, Агрегатор остварује приходе од флексибилности и на тржиштима системских услуга и балансне енергије. С тим у вези, Агрегатор остварује профит нудећи своје услуге (флексибилност) различитим заинтересованим странама (тржишним учесницима):

- другим произвођачима/снабдевачима, којима је флексибилност битна због оптимизације портфеља производње/снабдевања, као и због

балансне одговорности на тржишту балансне енергије,

- оператору преносног система, кроз пружање системских услуга (обезбеђивање секундарне и терцијарне резерве снаге), чиме се индиректно смањује потребан ниво резерве на страни производње (а тиме и опортунитетни трошкови производње),
- оператору дистрибутивног система, имајући у виду чињеницу да због све масовнијег прикључивања V-RES на дистрибутивну мрежу постоји потреба за флексибилношћу у циљу ефикасног и сигурног управљања

дистрибутивном мрежом, као и могућих смањења инвестиционих трошкова (у дистрибутивну мрежу).

Узимајући у обзир величину портфеља ЕПС, делатности које ЕПС обавља, као и потенцијале које улога Агрегатора доноси, постоји јасан интерес ЕПС за обављањем ове улоге, како би се употпуниле могућности портфеља ЕПС и обезбедио додатни извор прихода. С обзиром да се у оквиру ЕПС налази и функција снабдевања електричном енергијом, а да је у [2] сагледана и могућност да се на тржишту електричне енергије, осим независних агрегатора, агрегирањем баве и снабдевачи, једна од могућих опција, чију изводљивост треба истражити, јесте да се „ЕПС Снабдевање“ региструје и као Агрегатор.

У том погледу, као угледни пример могао би да послужи начин пословања сличног државног предузећа, попут GEN-I. Ova kompanija vrši ulogu agregatora-snaabdevača u više zemalja u centralno-istočnoj Evropi. U pogledu agregacije, GEN-I raspolaže i upravljivom potrošnjom, kao i distribuiranom proizvodnjom. Koncept virtuelne elektrane im se zasniva na razvoju jedinstvene platforme koja objedinjuje upravljanje agregatorskim portfeljem, pristup različitim tržištima, e-mobilnost, naprednu analitiku. Ovakav koncept omogućava GEN-I да у Словенији и Аустрији активно учествује у пружању балансних услуга из виртуелне електране, [35].

3.2 Пасивни начин агрегације – динамичко тарифирање

Динамичко тарифирање, опција коју обично нуде традиционални снабдевачи електричном енергијом, представља тип уговора о снабдевању који садржи варијабилни део цене који, донекле или у потпуности, одражава флукуацију цене на veleprodajном тржишту електричне енергије. У оваквом уговорном облику, купци се подстичу да реагују на ценовне сигнале са тржишта, те подешавају своју потрошњу у складу са променама цена (тј. теже да смање потрошњу енергије током сати са високом ценом и повећају је током сати са ниском ценом). Овакав проактиван приступ купаца може довести до уштеда у рачуну за електричну енергију. Међутим, потребно је истаћи да тај приступ носи и одређене ризике са собом, у погледу изненадне изложености високим ценама у одређеним периодима. Из тог разлога врло је важно да купац буде добро упознат са свим аспектима и ризицима, да добро сагледа могућност управљања сопственом потрошњом, а можда и испреговара такав уговор који ће садржати одређене лимите који би га заштитили од нагле промене цена енергије или њене велике волатилности у кратком року.

Неки од примера динамичког тарифирања из европске праксе, [36], описани су у наставку:

- Снабдевач *Octopus* (Velika Britanija): у понуди има тарифу под називом „*Agile*“ унутар које се цена електричне енергије за купца мења на сваких 30 минута. Снабдевач на својој интернет страници нуди интерактивни приказ примера

купца за кога је овај вид тарифирања најпогоднији, а такође даје и преглед и поређење са осталим статичким тарифама које има у понуди. Уговор садржи клаузулу о лимиту („*price cap*“), тј. максималној цени којој купац може бити изложен.

- Снабдевач *easyEnergy* (Холандија): у понуди има тарифу која рефлектује цену за крајњег корисника као комбинацију варијабилног дела (сатне велетржишне цене) и фиксног дела (фиксна такса дефинисана на месечном нивоу). Не постоји неки вид заштите или аларма за купца који би указао на појаву високих цена и самим тим нагло повећања рачуна за електричну енергију.

4. ТЕХНО-ЕКОНОМСКА ОПРАВДАНOST РЕАЛИЗАЦИЈЕ VPP

У Србији постоји релативно мали број великих индустријских (комерцијалних) купаца електричне енергије којима би процес производње дозволио управљање потрошњом и код којих трошак електричне енергије представља значајан удео у цени финалног производа. То су енергетски интензивни купци, који би могли бити мотивисани адекватним ценовним сигнализима. Последњим растом цене електричне енергије за комерцијалне купце додатно је увећан њен удео у финалним производу код великог броја енергетски интензивних купаца, тако да би требало испитати заинтересованост комерцијалних купаца за учешће у могућим програмима управљања потрошњом.

Насупрот њих, постоји релативно велики број малих купаца и домаћинстава код којих је „померање“ потрошње могуће, али за то још увек не постоји адекватна инфраструктура (нпр. „паметна“ бројила, даљински управљиви прекидачи и сл.). Осим тога је и цена за гарантовано снабдевање и даље значајно нижа од тржишне, тако да су релативно ретки периоди у којима би било могуће ценовним сигнализима мотивисати домаћинства и мале купце да измене начин и време коришћења својих електричних уређаја. Наиме, ретко се дешава да је цена на тржишту нижа од цене за гарантовано снабдевање.

Из наведених разлога, а надасве због недостајуће регулативе (в. Поглавље 5) и садашње немогућности да управља асетима који нису његови (попут акумулационих бојлера у примеру из [31]), ЕПС у својству искључиво снабдевача (када је реч о потрошњи) не може остварити онакве уштеде на страни својих постојећих купаца какве би то могао у својству агрегатора једне виртуелне електране и након обезбеђивања техничких предуслова за такав, активни приступ. Процена трошкова и могућих бенефита успостављања VPP илустрована је у овом поглављу, и то само за компоненту управљиве потрошње базиране на даљински контролисаној припреми санитарне топле воде.

4.1 Трошкови реализације VPP – процењени трошкови потребних хардверских и софтверских ресурса

У зависности од типа прекидача и броја сензора (симболички приказаних на сликама 1 и 3, код управљиве потрошње), цена уређаја ПоТ за аквизицију са даљинским прекидачем, са уградњом, износи између 50 и 300 EUR по потрошачу/прекидачу. Укупна цена по кориснику зависи од броја и типа уређаја једног ентитета (нпр. домаћинства). Потребна су и средства за куповину или изнајмљивање сервера, као и за одржавање и развој софтвера. У зависности од комплексности и очекиваног броја корисника, средства за развој софтвера се процењују на опсег од 300.000 до 1.000.000 EUR. За опсег 10.000 до 100.000 корисника трошкови одржавања софтвера и закупа сервера износили би од 30.000 до 60.000 EUR /год. Процена инвестиционих и експлоатационих трошкова за 10.000 корисника, што би одговарало оквирном опсегу једне композитне VPP од 50 MW, приказани су у Табели I. Важно је истаћи да трошкови развоја софтвера практично не зависе од броја корисника, те се њихов удео процентуално умањује са порастом броја корисника.

Табела I Процена трошкова за VPP од 50 MW

10.000 корисника	Врста трошка	Износ
CAPEX (EUR)	уређаји ПоТ	1.000.000
	развој софтвера	500.000
	укупно CAPEX	1.500.000
OPEX (EUR/год.)	сервер	40.000
	трошкови људства	40.000
	укупно OPEX	80.000

4.2 Тржишне могућности употребе виртуелне електране и примери бенефита

Већа флексибилност на страни потрошње електричне енергије и дистрибуиране производње, агрегирана и управљана кроз концепт виртуелне електране, може довести до бројних бенефита у погледу ефикасности и трошкова рада ЕЕС. Оператор виртуелне електране, у зависности од техничких карактеристика и могућности агрегиране производње и потрошње, може је користити за трговину и оптимизацију сопственог портфела на veleпродајном тржишту, као и за пружање системских услуга операторима преносног и дистрибутивног система.

У том контексту, као пример ефеката увођења концепта виртуелне електране, размотрена је тржишна вредност виртуелне електране сачињене од 50 MW агрегиране флексибилне потрошње, управљане од стране независног агрегатора. Важно је напоменути да се наведених 50 MW односи на еквивалентни флексибилни део потрошње из укупног потрошачког портфела, који ће бити расположив и који агрегатор оптимизује на тржишту. Правилна процена овог нивоа расположивог флексибилног капацитета за креирање

понуде VPP је веома значајна. У случају да агрегатор неправилно процени, тј. прецени ниво расположивог флексибилног дела портфела, биће изложен већем финансијском ризику уколико дође до неиспуњења уговорених услуга (нпр. дебаланс на балансном тржишту, пенали за неиспуњену резерву, итд.). Флексибилност агрегиране потрошње је представљена кроз опцију могућности „померања“ унутар дана („Load Shifting“) у максималном трајању од 4 сата. Описана виртуелна електрана је моделована у комерцијалном софтверском алату за енергетско-тржишне симулације, PLEXOS, и оптимизована као учесник на тржишту према тржишним условима у Србији забележеним у 2021. години (сатни профил veleпродајних цена са берзе SEEPX, [37]). Илустрација ове оптимизације дата је на Слици 4. Сагледани су потенцијални приходи из Агрегатора који се могу остварити на veleпродајном тржишту, без разматрања додатних услуга које би виртуелна електрана евентуално могла пружати. Ти приходи су приказани у Табели II.

Табела II Потенцијални приходи Агрегатора за пример оптимизације VPP од 50 MW, са слике 4

Индикатор	Јединица	Вредност
Преузета енергија	GWh/god.	72,8
Испоручена енергија	GWh/god.	72,8
Просечна куповна цена	EUR/MWh	79,68
Просечна продајна цена	EUR/MWh	144,74
Просечна тржишна цена	EUR/MWh	114,02
Расход за купљену енергију	MEUR/god.	5,80
Приход од продаје енергије	MEUR/god.	10,54
Тржишна добит	MEUR/god.	4,74

Циљ анализираног примера је илустрација потребе тржишта за изворима флексибилности, тј. могућих прихода за један облик употребе виртуелне електране. На основу спроведене анализе (Слика 4, Табела II), може се закључити да постоји значајан потенцијал у погледу економских прихода од управљања виртуелном електраном.

Наглашавамо да је за сваки потенцијални пословни случај имплементације виртуелне електране потребно детаљно анализирати трошкове и бенефите, тј. спровести комплетну техно-економску анализу са анализом осетљивости резултата на промене улазних параметара. Ово је посебно важно имајући у виду последњу енергетску кризу и енормни раст цена на тржишту електричне енергије (с тим у вези треба запазити да су у Табели II просечне цене ниже од оних које су се јавиле у међувремену).

Такође, треба нагласити да је предуслов за ефикасну имплементацију агрегације постојање

правно-регулаторног оквира са отклоњеним баријерама за наступ агрегатора на различитим тржиштима, нарочито у погледу пружања помоћних услуга операторима преносног и дистрибутивног

система. Наиме, од адекватног вредновања ових услуга увелико ће зависити и исплативост реализације једног оваквог концепта.



Слика 4 Пример оптимизације VPP од 50 MW на veleprodajnom тржишту електричне енергије, на узорку једне седмице

5. ЗАКОНСКИ ОКВИР И ТРЕНУТНА ОГРАНИЧЕЊА У СРБИЈИ

Изменама и допунама Закона о енергетици („Сл. гласник РС“ број 40/2021, у даљем тексту: ЗоЕ) уводи се нови учесник на тржишту електричне енергије – Агрегатор, али његова улога, као и права и обавезе на тржишту електричне енергије, још увек нису у потпуности дефинисане и разрађене у секундарној легислативи. Појам агрегирања је дефинисан чланом 2. ЗоЕ као „обједињавање потрошње и/или производње електричне енергије ради куповине, продаје или аукција на тржиштима електричне енергије“, док је Агрегатор као један од учесника на тржишту електричне енергије дефинисан као „правно или физичко лице које пружа услугу обједињавања потрошње и/или производње електричне енергије у циљу даље продаје, куповине или аукција на тржиштима електричне енергије“. Улога Агрегатора је дефинисана Чланом 210б ЗоЕ, у коме је наведено да „Агрегатор наступа на тржишту електричне енергије у име и за рачун учесника на тржишту за које врши услугу обједињавања потрошње и/или производње“, и дужан је да:

- 1) поступа према учеснику на тржишту на недискриминаторан начин;
- 2) објави опште услове понуде за закључење уговора, односно да учесника на тржишту обавести на пригодан начин о понуђеним условима;
- 3) бесплатно обезбеди све релевантне податке учеснику на тржишту најмање једном у току обрачунашког периода уколико учесник на тржишту то затражи;
- 4) на својој интернет страници или на други прикладан начин, обавести учесника на тржишту о функцији агрегирања.

Агрегатор и учесници на тржишту закључују уговоре којим регулишу међусобне односе (илустровано на Сл. 1, горе).

Законом о коришћењу обновљивих извора енергије („Сл. гласник РС“, број 40/21, у даљем тексту: ЗОИЕ) такође је, посредно, предвиђено постојање и улога агрегатора; у члану 58. ЗОИЕ утврђено је да „купац-произвођач има право да самостално или посредством агрегатора производи електричну енергију за сопствену потрошњу, складиштити електричну енергију за сопствене потребе, вишак произведене електричне енергије испоручи у преносни, дистрибутивни, односно затворени дистрибутивни систем и не може користити подстицајне мере у виду тржишне премије и фид-ин тарифе, нити може имати право на гаранције порекла“. Такође, чланом 66. ЗОИЕ одређено је да „заједница обновљивих извора енергије, односно правно лице основано на принципу отвореног и добровољног учешћа својих чланова“... „има право на производњу, потрошњу, складиштење и продају обновљиве енергије и право на приступ свим тржиштима енергије, директно или преко агрегатора, на недискриминаторни начин, као и друга права и обавезе повлашћеног произвођача у складу са овим законом.“

Иако је, наведеним законима којима се уређује област енергетике у Републици Србији, агрегатор предвиђен као учесник на тржишту/корисник система и дефинисана делатност агрегирања, правна регулатива у овом делу није у потпуности уређена. Посебно се мора имати у виду чињеница да агрегирање није предвиђено као енергетска делатност, па агрегатор (физичко или правно лице које пружа услугу обједињавања потрошње и/или производње електричне енергије у циљу даље продаје, куповине или аукција на тржиштима електричне енергије), не може да обезбеди лиценцу или другу сагласност за пружање ове услуге.

Стога је за даље дефинисање улоге агрегатора потребно изменити националну секундарну легислативу у складу са „Пакетом чисте енергије“ Европске уније који је ступио на снагу јуна 2019. године и смерницама из *EV Директиве 2019/944*. Овим Пакетом су одређени и нови учесници на тржишту као што су агрегатори, односно независни агрегатори, и ближе одређене енергетске делатности као што су агрегирање и складиштење енергије. Према Директиви, генерално, сваки учесник на тржишту електричне енергије дужан је да уговором уреди своју балансну одговорност; да је пренесе на другог учесника на тржишту електричне енергије, да потпише уговор о потпуном снабдевању или да се региструје као балансно одговорна страна. У складу са чланом 17(3.д) ове Директиве, та обавеза није заобишла ни новог учесника на тржишту – Агрегатора. У том смислу, нема суштинске разлике између Снабдевача и Агрегатора. Ипак, једна од основних разлика између ова два учесника на тржишту је што Снабдевач управља потрошњом имплицитно (купац реагује на ценовне сигнале Снабдевача из рачуна, а тежња је да се иде ка динамичком тарифирању са увођењем „паметних“ бројила), док Агрегатор има могућност да управља потрошњом и експлицитно (директно, активно). То би требало да подразумева дефинисање/уговарање услова под којима Агрегатор управља потрошњом купца и по којој цени, у оквиру посебног уговора или у оквиру Уговора о снабдевању. Експлицитно управљање потрошњом би омогућило Агрегатору да остварује профит и на тржиштима системских услуга и балансне енергије, али је за то, поред тренутно недостајуће регулативе, неопходна и адекватна инфраструктура која подразумева масовну употребу одговарајућих „паметних“ бројила, што је још једна од препрека коју је потребно отклонити у циљу пуне примене концепта Агрегатора на тржишту Републике Србије.

Додатно ограничење и могући проблем, пре свега у регулисању односа између Агрегатора и DSO, представља и легислативна одредница да је управљање обновљивим изворима већим од 160 kW у надлежности DSO, „Електродистрибуције Србије“ (ЕДС).

Мишљење аутора овог рада је да би ЕДС требало да управља електранама на RES појединачне снаге веће од 160 kW само у функцији обезбеђења сигурног рада електродистрибутивног система. У том смислу, Агрегатор би требало да планира ангажовање и ових електрана и да управља њима, док би ЕДС имао могућност промене њиховог ангажовања (укључујући и ограничење/смањење снаге) једино у тренуцима када је угрожена сигурност дистрибутивног система (тзв. „Redispatching“ – мера промене производње и/или потрошње коју спроводи оператор система, у циљу промене физичких токова снага у систему како би се обезбедила сигурност система и отклонила загушења у њему). Они ресурси (електране на RES, управљива потрошња, складишта) чије је ангажовање измењено од стране ЕДС у односу на план (због угрожене сигурности система), требало би да буду финансијски компензовани због изгубљене добити.

Практично, управљање електранама на RES појединачне снаге веће од 160 kW од стране DSO (ЕДС) требало би уредити на сличним техничким и тржишним

принципима као када TSO (у Србији: ЕМС АД) у тренуцима угрожене сигурности система управља електранама веће снаге, прикљученим на преносни систем.

6. ЗАКЉУЧАК

На страни крајњих корисника ЕЕС-а постоји значајан капацитет у управљивој потрошњи. Са појавом и очекиваним ширењем дисперговане (дистрибуиране) производње електричне енергије, укључујући и “купце-произвођаче”, за које је током 2021. године у Србији створен законски оквир, јачаће потреба, али и интерес, да се ефективно и ефикасно управља потрошњом и производњом на нивоу корисника. Када се томе дода нужност унапређења енергетске ефикасности на страни потрошње, као и чињеница да можда и највећи потенцијал – како за уштеде, тако и за управљивост и флексибилност – лежи у уређајима за грејање воде и простора, као могуће решење намеће се концепт агрегације у мултиенергетску, композитну (кооперативну, колаборативну) виртуелну електрану. Инвестирање у њено креирање, развој, техничку реализацију и експанзију може се испоставити као повољније решење од улагања у дотрајале термоенергетске капацитете чија се производња заснива на нискокалоричном и еколошки све мање прихватљивом лигниту. У том погледу, композитна виртуелна електрана може олакшати очекивани већи обим интеграције V-RES и фактички представљати заменски капацитет у ЕЕС Србије.

За реализацију виртуелне електране, прво је потребно дефинисати методологију на основу које би се оцењивали технички услови управљивости за крајње купце који желе да буду део виртуелне електране. Методологија би морала да садржи оцену доступности управљиве потрошње крајњег корисника, капацитет складишта и резерве, као и максималну активну снагу складишта. Велики број крајњих корисника, који би био укључен у реализацију виртуелне електране, генерисао би велике административне трошкове. Примарно треба користити већа складишта. Најпре је потребно искористити управљивост значајних корисника ЕЕС-а. Са становишта искоришћења складишних капацитета, редослед у стратегији инвестирања у ову компоненту композитне виртуелне електране, био би следећи:

- искористити постојећа термална складишта,
- искористити постојећа складишта потенцијалне енергије,
- улагање у нова термална складишта,
- када се исцрпе све опције изградње и примене термалних складишта, укључити у пројекат реализације складишта на бази батерија и водоника.

Јасно је да је један од предуслова за реализацију виртуелне електране примена савремених, “паметних” уређаја, какви су даљински управљани прекидачи, затим примена одговарајућих софтвера за управљање и командовање и одговарајућих протокола за двосмерну комуникацију и пренос података. Што се тиче сложене структуре система виртуелне електране, као најподеснији за њено организовање у ефикасан систем контроле, обраде података, управљања и

одлучивања, оцењен је концепт заснован на IIoT. Већа флексибилност на страни потрошње електричне енергије и дистрибуиране производње, агрегирана и управљана кроз тако осмишљен концепт виртуелне електране, може довести до бројних бенефита у погледу ефикасности и трошкова рада ЕЕС-а.

У зависности од техничких карактеристика и могућности агрегиране производње и потрошње, Агрегатор тј. оператор виртуелне електране, може је користити за трговину и оптимизацију сопственог портфеља на veleprodajном тржишту, као и за пружање системских услуга операторима преносног и дистрибутивног система.

Треба истаћи да предуслов за ефикасну имплементацију агрегације јесте постојање одговарајућег правно-регулаторног оквира са отклоњеним баријерама за наступ Агрегатора на различитим тржиштима, укључујући и тржиште помоћних услуга.

LITERATURA

- [1] Belonogova N, Kaipia T, Lassila J, Partanen J, „Demand response: Conflict between distribution system operator and retailer“, CIRED 21st International Conference on Electricity Distribution, Frankfurt, 2011, Paper No. 1085
- [2] Вуковљак М, Јанковић М, „Нови учесници на тржишту електричне енергије“, 35. Саветовање ЦИГРЕ Србије, Златибор, 2021.
- [3] Ropuszyńska-Surma E., Borgosz-Koczwarą (Węlarz) M., „A virtual power plant as a cooperation network“, *Marketing and Management of Innovations*, Issue 4, 2018, DOI: 10.21272/mmi.2018.4-13
- [4] Adu-Kankam K. O, Camarinha-Matos L, „Towards Collaborative Virtual Power Plants“, Chapter, *Technological Innovation for Resilient Systems*, pp 28-39, Advances in Information and Communication Technology, vol 521, Springer, January 2018, DOI: 10.1007/978-3-319-78574-5_3
- [5] Adu-Kankam K. O, Camarinha-Matos L, „Towards collaborative Virtual Power Plants: Trends and convergence“, Article, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, Volume 16, December 2018, Pages 217-230, DOI: 10.1016/j.segan.2018.08.003
- [6] Chen X., Yang G., Lv Y., Huang Z., „Power Management System Based on Virtual Power Plant“, 2019 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **356** 012006
- [7] Przzychodzień A., „Virtual power plants - types and development opportunities“, E3S Web of Conferences 137, 01044 (2019), RDPE 2019, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913701044>
- [8] Agbozo E., Masih A., „Virtual power plants: Powering smart cities of the future“, 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, DOI: 10.5593/sgem2018/4.1/S17.105
- [9] Yavuz L., Önen A., Muyeen S.M., Kamwa I., „Transformation of Microgrid to Virtual Power Plant – A Comprehensive Review“, IET Generation, Transmission and Distribution, January 2019, DOI: 10.1049/iet-gtd.2018.5649.
- [10] Zhang J., „The Concept, Project and Current Status of Virtual Power Plant: A Review“, 2022 J. Phys.: Conf. Ser. 2152 012059
- [11] Gomes Makohin D. et al., „District Power Plant as a Virtual Power Plant Solution for Utilities“, Conference Paper, June 2015, DOI: 10.1109/ISIE.2015.7281550
- [12] Li S., Yu G., Zhou X., Xing N., „Research on New Urban Virtual Power Plant System“, E3S Web of Conferences 248, 02004 (2021) CAES 2021, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124802004>
- [13] Mohanty S., Choppali U., Kougianos E., „Everything You Wanted To Know About Smart Cities: The Internet Of Things Is The Backbone“, IEEE Consumer Electronics Magazine, vol: 5 (3), 2016, pp 60-70
- [14] Tranchita C., „France Pilots Virtual Power Plant“, Research, April 2016, DOI: 10.13140/RG.2.1.2296.6165, <http://tdworld.com/grid-opt-smart-grid/france-pilots-virtual-power-plant>
- [15] EMoT, доступно на: <https://navitasoft.com/en/news/what-is-energy-market-of-things> (приступљено новембра 2022.)
- [16] Kankam O. Adu-Kankam and Luis M. Camarinha-Matos, „A Framework for Collaborative Virtual Power Plant Ecosystem“, Chapter, in: *Collaborative Networks in Digitalization and Society 5.0. PRO-VE 2022*. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 662. Springer, Cham., September 2022, https://doi.org/10.1007/978-3-031-14844-6_13
- [17] Omelchenko, V., Kavanagh, R., „edgeFLEX Project – D3.3 Report on VPP Optimisation, V2 (WP3 – Optimisation of a VPP consisting of variable and dispatchable RES)“, ALPIQ, March 31, 2022
- [18] Zhang, Z., et al., „Optimization scheduling of virtual power plant with carbon capture and waste incineration considering P2G coordination“, Energy Reports 8(5): 7200-7218, November 2022, DOI: 10.1016/j.egy.2022.05.027
- [19] Ju, L., et al., „Bi-level electricity-carbon collaborative transaction optimal model for the rural electricity retailers integrating distributed energy resources by virtual power plant“, Energy Reports 8(95): 9871-9888, November 2022, DOI: 10.1016/j.egy.2022.07.171
- [20] Hongliang, W., Benjie, L., Daoxin, P., Ling, W., Jun, X., „Virtual Power Plant Participates in the Two-Level Decision-Making Optimization of Internal Purchase and Sale of Electricity and External Multi-Market“, IEEE Access PP(99):1-1, September 2021, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3112549
- [21] Milić S. D, Babić B. M, "Towards the Future - Upgrading Existing Remote Monitoring Concepts to IIoT Concepts", *IEEE Internet of Things Journal*, Electronic ISSN: 2327-4662, DOI: 10.1109/JIOT.2020.2999196, Vol. 7, Issue 12, December 2020, pp. 11693-11700.

- [22] Milić S. D, Veinović S, Ponjavić M, "Industrial Internet of Things (IIoT) – Strategies and Concepts", XIX International Symposium Infoteh-Jahorina 2020, Proc., Vol.19, KST-4, Jahorina, Republic of Srpska, March 18-20, 2020, pp. 81-85.
- [23] Милић С, Стојадиновић Г, Томић Н, "Прилагођавање постојећих система даљинског надзора IIoT концептима са хијерархијски дефинисаним нивоима обраде података", ЦИГРЕ - Србија 35. саветовање, Зборник радова, ИСБН: 978-86-82317-84-5, рад Р Д2 - 09, 03 - 08. октобар 2021. године, Златибор, Србија.
- [24] Zhuang W. W, Morgan C, Nakamoto I, Jiang M, "Big Data Analytics in E-commerce for the U.S. and China Through Literature Reviewing", *Journal of Systems Science and Information* 9, no. 1 (2021): 16-44. <https://doi.org/10.21078/JSSI-2021-016-29>
- [25] Kang C, Wang Y, Xue Y, Mu G, Liao R, "Big data analytics in China's electric power industry: modern information, communication technologies, and millions of smart meters", *IEEE Power and Energy Magazine*, 16(3), pp.54-65, 2018.
- [26] Fleiter T, Elsland R, Rehfeldt M, Steinbach J, Reiter U, Catenazzi G, et al., "Profile of heating and cooling demand in 2015". Heat Roadmap Europe Deliverable 3.1; 2017.
- [27] Belarus energy profile, IEA, 2019.
- [28] <https://newsroom.porsche.com/en.html>
- [29] Schweppe F. C, Tabors R. D, Kirtley J. L, Outhred H. R, Pickel F. H, Cox A. J, „Homeostatic utility control“, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1980, <https://doi.org/10.1109/TPAS.1980.319745>
- [30] Tindemans S. H, Trovato V, Strbac G, „Decentralized Control of Thermostatic Loads for Flexible Demand Response“, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2015; 23. <https://doi.org/10.1109/TCST.2014.2381163>.
- [31] Георгијевић Н, Влаисављевић Д, Шилкут В, Мисовић Д, Милић С, „Примена концепта „Индустријски интернет ствари“ на примеру управљивог електричног бојлера као потрошача и анализа могућности у регулацији учестаности“, 35. Саветовање ЦИГРЕ Србије, Златибор, 2021.
- [32] Kuravi S, Goswami Y, Stefanakos E. K, Ram M, Jotshi C, Pendyala S, Trahan J, Sridharan P, Rahman M, Krakow B, "Thermal energy storage for concentrating solar power plants", *Technology and Innovation*, Vol. 14, pp. 81–91, 2012, DOI: <http://dx.doi.org/10.3727/194982412X13462021397570>
- [33] IEA-SHC TECH SHEET 45.B.3.2, Seasonal pit heat storages - Guidelines for materials & construction December 2014
- [34] Bertelsen N, Petersen U. R, "Thermal Energy Storage in Greater Copenhagen", Master thesis, Aalborg University Copenhagen, 2017.
- [35] Lacko R., "Unlocking the aggregation in regional markets Practical experience & best practice (aggregator's perspective)", Energy Community Workshop, 2022
- [36] BEUC, Flexible Electricity Contracts Report, April 2019
- [37] ENTSO-E Transparency Platform, <https://transparency.entsoe.eu/>

БИОГРАФИЈЕ



Владимир М. Шилкут је рођен 1966. године у Београду, где је дипломирао 1994. и докторирао 2015. године на Електротехничком факултету. Радио је у „Електродистрибуцији Београд“ (1995-2013) на пословима планирања, развоја и истраживања

дистрибутивних мрежа, водио Лабораторију за бројила електричне енергије и Центар за интегрисани систем менаџмента. У „Електропривреди Србије“ је водио Сектор за трговину и односе са тарифним купцима у Дирекцији за дистрибуцију електричне енергије (2013-2015). Потом је (2015/16) водио и координирао пројекте на смањењу губитака у Оператору дистрибутивног система. Од 2016. до 2022. је био шеф Службе за припрему нових улагања у електране и обновљиве изворе енергије, на којој позицији је и тренутно, а у периоду од марта 2022. до јула 2023. је био саветник за пословни систем директора ЕПС. Више од једне деценије био је ангажован и као гостујући предавач за области дистрибуције и малопродаје електричне енергије и електрана и разводних постојења, на Вишој електротехничкој

школи у Београду. В. Шилкут је и (ко)аутор више од 75 чланака и радова (од тога четири чланка у међународним часописима), објављених у публикацијама или презентованих на бројним националним, регионалним и међународним конференцијама. Ови радови су из домена метода прогнозе оптерећења, оптималног планирања мреже, процене губитака електричне енергије, обновљивих извора енергије, управљања оптерећењем, енергетских трансформатора, метрологије и др. Коаутор је и једне практичне књиге из електродистрибуције и малопродаје електричне енергије, на српском језику. Члан је Српског националног комитета CIRED, његовог Извршног одбора, највише активан у сесији 1 – Компоненте мреже (као председник), у сесији 2 – Квалитет електричне енергије (члан) и у сесији 5 – Планирање дистрибутивних мрежа.



Никола Георгијевић је рођен 1987. године у Београду, где је студирао на Електротехничком факултету. Ту је стекао дипломе мастер инжењера електротехнике и рачунарства 2011. и доктора наука 2020. године. Радио је у Институту Никола Тесла (од 2011. до 2020.), где се бавио истраживањима из области анализе

и оптимизације ЕЕС, а од 2020. године је запослен у Електроенергетском координационом центру као руководиоца сектора за развој софтвера. Области интересовања су му рачунарско програмирање, математичко моделовање, оптимизација и анализе стабилности ЕЕС, машинско учење и вештачка интелигенција. Руководио је и учествовао на више стручних пројеката у регионима Југоисточне Европе, Блиског истока, Африке и Јужне Америке.



Саша Милић је рођен 11. јула 1967. године у Београду. Дипломирао је 1993. године, магистрирао је 2000. године и докторирао 2008. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Научни саветник је од 2021. године. Области интересовања и стручне експертизе су му: електрична и магнетска мерења, ласерска техника, оптоелектроника и инфрацрвена техника, фази логика, машинско учење и вештачка интелигенција, интернет ствари и индустријски интернет ствари, анализа и процена ризика, развојне стратегије и алгоритми управљања и одлучивања, мониторинг системи и експертски системи. Руководио је са више научних, стручних и иновационих пројеката, Објавио преко 100 научних радова у земљи и иностранству. Објавио је 10 техничких решења и одржао више стручних и научних предавања у еминентним научним установама. Од 1994. је запослен у Електротехничком институту Никола Тесла, Универзитета у Београду. Члан је више научних и стручних одбора конференција и часописа.



Александар Латинић је рођен у Бихаћу, 6. септембра 1986. године. Завршио је Зрењанинску гимназију, а основне и мастер студије завршио је на Електротехничком факултету, Универзитет у Београду, на Одсеку за енергетику. Од 2010. године запослен је у ЕПС. Његова посебна интересовања су област помоћних услуга у електроенергетици, првенствено турбинска регулација, а поред тога друга интересовања су дигитализација у енергетици као и техничко-правна регулатива у области енергетике. Током школовања, Александар је остварио следеће успехе: ђак генерације основне и средње школе, више награда на републичким и савезним такмичењима из физике, награде на такмичењу у знању на Електријади, као и остварена просечна оцена током основних и мастер студија изнад 9,5. Након запослења Александар је учествовао у више пројеката развоја турбинских регулатора који су имплементирани у ЕПС, као и развоја симулатора термоелектрана. Од пројеката

којима је Александар директно управљао издвајају се пројекти подизања техничког квалитета помоћних услуга као и један од највећих пројеката дигитализације у Републици Србији, пројекат PROTIS.



Душан Влаисављевић је рођен 1988. године у Београду. Стекао је диплому мастер инжењера електротехнике и рачунарства 2012. године на Електротехничком факултету у Београду. Тренутно обавља функцију руководиоца тима за тржиште енергије и енергетске анализе у Електроенергетском координационом центру. Главне области професионалног ангажовања обухватају моделовање и анализу тржишта електричне енергије, оптимизацију производног портфела, планирање развоја електроенергетског система, развој механизма и процедура везаних за veleprodajно и балансно тржиште електричне енергије, као и техно-економске анализе инвестиционих пројеката у производне и преносне објекте. Ангажован на великом броју регионалних и међународних пројеката за електропривреду, операторе преносних система и међународне институције (Светска Банка, Европска комисија, USAID, Енергетска Заједница) у Европи, Црноморском региону, јужном Кавказу, југоисточној и централној Азији.



Радош Чабаркача је рођен 1. маја 1986. године у Београду. Завршио је основну школу „Петар Петровић Његош“ као носиоца Вукове дипломе и ђак генерације. У периоду од 2001. до 2005. године похађа Математичку гимназију у Београду. Након тога, 2005. године уписује основне студије на Електротехничком факултету у Београду, на одсеку за енергетику (смер електроенергетски системи), које завршава 2009. године, док је мастер студије на истом факултету завршио 2012. године. Од 1. јуна 2010. године запослен је у јавном предузећу „Електропривреда Србије“ где је обављао више позиција у Пословима трговине електричном енергијом, а тренутно је у истом предузећу на позицији Шефа службе за подршку планирању и анализу остварења планова у Пословима управљања електроенергетским портфељом. Области интересовања и стручног деловања су му усмерене на анализу тржишта електричне енергије, затим на софтверско моделовање у области енергетике, као и на изазове транзиције на ОИЕ. Као члан радних група Министарства рударства и енергетике учествовао је у изради стратешких докумената, подзаконских аката и Закона о коришћењу ОИЕ.

Vladimir M. Šiljkut (Šiljkut)¹, Nikola Georgijević², Saša Milić³,
Aleksandar Latinović¹, Dušan Vlaisavljević², Radoš Čabarkapa¹



Aggregation of Composite Virtual Power Plant - Application Possibilities and Limitations in Serbia

¹ Joint Stock Company „Elektroprivreda Srbije“, Belgrade, Serbia*

² Electrical Power Coordination Center, Belgrade, Serbia

³ „Nikola Tesla“ Electrotechnical Institute, Belgrade, Serbia

Category of article: Review article

Highlights

- A detailed review of the literature on virtual power plants, an overview of concepts and particular solutions is given
- Considered energy sources, methods of aggregation and technical potential for establishing a virtual power plant
- Proposed composite virtual power plant concept, estimated costs, benefits, legal restrictions

Abstract

Serbian power industry increasingly faces the challenges of the future. Electricity generation is based mostly on low-caloric lignite. Its deteriorating quality causes a decline in the level of safety, reliability, and efficiency of thermal power plants, increasing pollution. Beside their revitalization, there are huge investments in new, expensive systems for reduction of pollutants' emissions. With the announced introduction of carbon taxes, which will grow rapidly in the future, the profitability of these power sources and the market competitiveness of the price of electricity obtained from them become extremely questionable and uncertain. In inevitable decarbonization process, a strategic question arises for Serbian experts – how to compensate significant basic (thermal) capacities, which will be probably shut down?

At the other end of the system, the problem is inefficient use of electricity, unacceptably high level of its losses, including those due to its theft. At the same time, the technical possibilities for load management and for the application of a larger number of tariffs were not used sufficiently, to provide the desired demand response.

In such circumstances, the key question is - what investment strategy to choose? This paper proposes a solution that would have a positive impact on both ends of the system and its actors, but also on the networks between them and their operators. "Electric Power Industry of Serbia" could use the announced introduction of aggregator, as a new participant in the electricity market, for a kind of joint venture with its end-users, to establish a composite virtual power plant. It would represent a new, replacement capacity for the power industry, and a source of savings and even income for customers. Such a power plant would include various, dispersed renewable sources, both of electricity and heat, energy storage systems, chargers for electric vehicles, controllable customer load and various demand response programs. By increasing the volume of such aggregation, a composite virtual power plant would enable the aggregator to provide ancillary services to the transmission system operator, which would be an additional benefit. In synergy with other necessary, strategic steps, such a concept could provide Serbia more secure energy future.

Keywords

**Aggregation, Ancillary Services, Decarbonization, Demand Response, Distributed Generation,
Load Management, Virtual Power Plant**

Note:

This article represents an expanded, improved and additionally peer-reviewed version of the paper "Aggregation of Composite Virtual Power Plant - A Possible Answer to the Challenges for the Serbian Power System in the Decarbonization Process", awarded by Expert Committee EC-5 Distribution System planning at the 13th CIRED Serbia Conference, Kopaonik, September 12-16, 2022

Received: April 7th, 2023

Reviewed: May 9th, 2023

Modified: May 16th, 2023

Approved: May 25th, 2023

*Corresponding Author: Vladimir M. Šiljkut

Phone: +381-64-897-46-72 E - mail: vladimir.siljkut@eps.rs

Маја Грбић¹, Дејан Хрвић¹, Александар Павловић¹

Анализа изложености људи магнетској индукцији у стану услед утицаја нисконапонских кабловских прикључних кутија

¹ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ИНСТИТУТ НИКОЛА ТЕСЛА АКЦИОНАРСКО ДРУШТВО БЕОГРАД,
Универзитет у Београду, Београд, Србија*

<https://doi.org/10.18485/epij.2023.1.1.4>

Категорија рада: Стручни рад

Кључне поруке

- Кабловске прикључне кутије могу бити значајан извор магнетског поља када се налазе у непосредној близини зона повећане осетљивости
- Неопходно је спровођење првих испитивања нејонизујућег зрачења у зонама повећане осетљивости које на свом зиду имају кабловске прикључне кутије
- Кабловске прикључне кутије могу бити извор нејонизујућег зрачења од посебног интереса

Кратак садржај

У раду су анализирани нивои магнетске индукције у стану који се јављају услед утицаја кабловских прикључних кутија. Анализа је заснована на резултатима мерења магнетске индукције у стану. У разматраном примеру кабловске прикључне кутије се налазе на спољашњем зиду стана што доводи до повишених нивоа магнетске индукције у просторији која се налази са друге стране зида. Показано је да вредности магнетске индукције у стану могу да прекораче вредност од 4 μT , што представља критеријум да извор буде категорисан као извор од посебног интереса, у складу са одредбама важеће националне регулативе из области заштите становништва од нејонизујућег зрачења. Циљ рада је да се покаже да у поменутој конфигурацији вредности магнетске индукције у стану могу бити значајне, како би се у будућности избегла примена оваквих техничких решења приликом пројектовања и изградње нових објеката који представљају зоне повећане осетљивости. Такође је указано на значај спровођења испитивања у становима и другим зонама повећане осетљивости које у својој непосредној близини имају кабловске прикључне кутије.

Кључне речи

Зона повећане осетљивости, кабловска прикључна кутија, магнетско поље, магнетска индукција, нејонизујуће зрачење, референтни ниво

Напомена:

Чланак представља проширену, унапређену и додатно рецензирану верзију рада „Анализа нивоа магнетске индукције у стану услед утицаја нисконапонских прикључних кутија“, награђеног у Стручној комисији СТК-1 Компоненте мрежа, на 13. Саветовању CIRED Србија, Копаоник, 12-16. септембра 2022.

Примљено: 7. април 2023. Рецензирано: 26. мај 2023.
Измењено: 7. јун 2023. Одобрено: 3. јул 2023.

*Маја Грбић, Косте Главинића 8а, Београд,
Тел. +381-64-825-97-55 Имејл: maja@ieent.org

1. УВОД

У раду су анализирани нивои магнетске индукције који се јављају у стану услед утицаја кабловских прикључних кутија (КПК). У разматраном случају кабловске прикључне кутије се налазе на спољашњем зиду стана, због чега је потребно извршити испитивање нивоа магнетске индукције у просторији која се налази са друге стране зида. Испитивање је засновано на мерењу магнетске индукције у стану. На кабловске прикључне кутије прикључени су кабловски водови из две трансформаторске станице (ТС) напонског нивоа 10/0,4 kV, које се налазе у истој згради. У раду је дат кратак преглед међународне [1]–[3] и националне регулативе [4]–[10] из области заштите становништва од електромагнетских поља, а резултати добијени мерењем магнетске индукције у стану упоређени су са границама излагања становништва електромагнетском пољу које су прописане важећом националном регулативом из ове области. Циљ рада је да се покаже да у поменутој конфигурацији вредности магнетске индукције у стану могу бити значајне, како би се у будућности избегла оваква техничка решења, као и да се укаже на значај кабловских прикључних кутија као извора магнетског поља, како би се водило рачуна о њиховој локацији приликом пројектовања нових објеката. У раду је такође указано на значај спровођења испитивања у становима и другим зонама повећане осетљивости које у својој непосредној близини имају кабловске прикључне кутије или разводне ормаре ниског напона.

2. МЕЂУНАРОДНА И НАЦИОНАЛНА РЕГУЛАТИВА У ОБЛАСТИ ЗАШТИТЕ СТАНОВНИШТВА ОД НЕЈОНИЗУЈУЋИХ ЗРАЧЕЊА

2.1 Међународна регулатива

Међународна комисија за заштиту од нејонизујућих зрачења је 1998. године објавила Препоруку за ограничавање излагања временски променљивим електричним, магнетским и електромагнетским пољима учестаности до 300 GHz [1]. Циљ препоруке јесте да обезбеди смернице за ограничавање излагања електромагнетским пољима, које ће обезбедити заштиту од доказаних штетних утицаја на здравље. Препоруком [1] дефинисане су границе излагања електромагнетском пољу које се разликују за становништво и за раднике, при чему су за становништво утврђене ниже границе. Границе изложености људи такође зависе од фреквенције поља. Граница изложености становништва прописана Препоруком [1] за магнетску индукцију учестаности 50 Hz износи 100 μ T.

На основу предлога Европске комисије, Савет Европске уније усвојио је 1999. Препоруку [2], која представља оквир за уједначенију заштиту становништва од нејонизујућег зрачења. Препорука [2] утврђује скуп ограничења излагања

електромагнетским пољима којих би требало да се придржавају све земље Европске уније приликом усвајања националних прописа. Препоручена ограничења преузета су из Препоруке [1] без икаквих измена, при чему је област уређивања Препоруке [2] искључиво јавна безбедност, тј. заштита животне средине. Пошто је заштита становништва одговорност сваке појединачне државе, остављена је могућност да национални прописи дефинишу ниже вредности ограничења излагања и тиме додатно поопштре захтеве. Преглед граница излагања прописаних у земљама Европске уније, али и у појединим земљама изван Европе, дат је у [11]. Поједине европске земље су у својим националним прописима усвојиле границе излагања утврђене Препоруком [2], док су неке земље прописале строже границе излагања. У неким европским земљама прописане су различите границе излагања за нове и затечене изворе поља.

Међународна комисија за заштиту од нејонизујућих зрачења је 2010. године објавила Препоруку за ограничавање излагања временски променљивим електричним и магнетским пољима учестаности од 1 Hz до 100 kHz [3]. Ова препорука је заменила Препоруку [1] у делу који се односи на опсег учестаности од 1 Hz до 100 kHz. Граница изложености становништва прописана Препоруком [3] за магнетску индукцију учестаности 50 Hz износи 200 μ T.

2.2 Национална регулатива

Заштита становништва од нејонизујућих зрачења правно је регулисана у Републици Србији током 2009. године, усвајањем Закона о заштити од нејонизујућих зрачења [4] и шест пратећих правилника [5]–[10]. Предмет уређивања Правилника [5] представља ограничење излагања становништва нејонизујућем зрачењу искључиво у тзв. „зонама повећане осетљивости”. Према [5] и [6] зоне повећане осетљивости су „подручја стамбених зона у којима се особе могу задржавати и 24 сата дневно; школе, домови, предшколске установе, породилишта, болнице, туристички објекти, те дечја игралишта; површине неизграђених парцела намењених, према урбанистичком плану, за наведене намене, у складу са препорукама Светске здравствене организације”. Правилником [5] утврђен је референтни гранични ниво излагања који за магнетску индукцију индустријске учестаности (50 Hz) у зонама повећане осетљивости износи 40 μ T. Правилник [6] дефинише и појам извора нејонизујућег зрачења од посебног интереса. Према члану 3 Правилника [6] „изворима нејонизујућих зрачења од посебног интереса сматрају се извори електромагнетног зрачења који могу да буду штетни по здравље људи, а одређени су као стационарни и мобилни извори чије електромагнетно поље у зони повећане осетљивости достиже најмање 10% износа референтне, граничне вредности прописане за ту фреквенцију”. У случају магнетске индукције индустријске учестаности 10% референтне граничне вредности износи 4 μ T. Према члану 7 Правилника [6]

„након изградње, односно постављања објекта који садржи извор нејонизујућег зрачења, а пре издавања дозволе за почетак рада или употребне дозволе, врши се прво испитивање, односно мерење нивоа електромагнетног поља у околини извора”. Према члану 8 истог правилника корисник извора за чију је употребу надлежни орган издао одобрење, обезбеђује периодична испитивања након пуштања извора у рад и то једанпут сваке четврте године за нискофреквентне изворе. Ако се у току првог или периодичног испитивања утврди ниво електромагнетног поља мањи од 10% прописаних граничних вредности, корисник неће вршити периодична испитивања, према члану 11 овог правилника.

3. ИСПИТИВАЊЕ МАГНЕТСКОГ ПОЉА

Испитивања су спроведена у складу са захтевима стандарда [12]–[15].

Испитивања су спроведена путем мерења ефективних вредности магнетске индукције (B). Интензитет вектора магнетске индукције мерен је изотропски, истовременим мерењем све три просторне компоненте вектора у дискретним временским тренуцима. Уређај који је коришћен за мерење магнетске индукције такође мери и фреквенцију магнетског поља. Истовремено са вредностима магнетске индукције мерена је и фреквенција поља, која је у свим случајевима износила 50 Hz. Пошто је извор електромагнетског поља ниског напона и налази се са друге стране зида вредности јачине електричног поља у стану су занемарљиве због чега електрично поље није мерено.

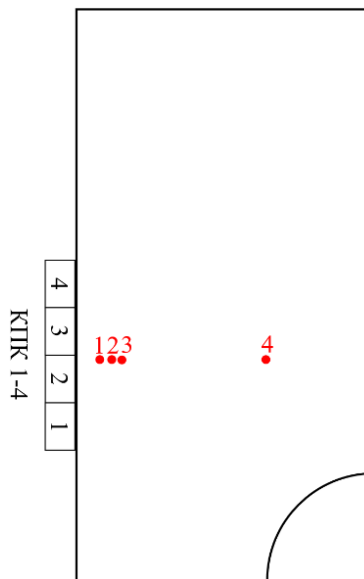
За мерење магнетске индукције коришћен је уређај који је оптичким каблом повезан са сондом за мерење магнетске индукције, која је током мерења била постављена на сталак од изолационог материјала (слика 1).



Слика 1. Положај сонде за мерење магнетске индукције у стану (мерно место 1)

Мерни систем приказан на слици 1 обезбеђује истовремено мерење све три просторне компоненте вектора магнетске индукције, на основу чега инструмент израчунава и приказује резултантну вредност. Мерни систем је еталониран и испуњава захтеве стандарда [13].

Мерење магнетске индукције је спроведено на висини од 1 m изнад пода просторије [14], [15]. Прелиминарна мерења су извршена на већем броју мерних места која се налазе у просторији стана на чијем зиду се, са спољашње стране, налазе кабловске прикључне кутије, ради проналажења зоне у којој су нивои магнетске индукције највиши и у којој ће бити спроведена детаљнија мерења. Прелиминарним мерењем је утврђено да се највише вредности магнетске индукције јављају на мерном месту 1 (слика 2), које се налази на 20 cm од зида на коме се налазе кабловске прикључне кутије. Мерно место 1 је удаљено 20 cm од зида, у складу са захтевом стандарда [15]. Мерења су спроведена и на мерном месту 2 које се налази на 30 cm од овог зида, мерном месту 3 које се налази на растојању од 35 cm, као и на мерном месту 4 које се налази на 160 cm од зида. У тренутку спровођења испитивања, на основу прелиминарних резултата мерења, било је познато да ће у стану бити неопходна примена мера за смањење нивоа магнетске индукције, које ће бити засноване на прекривању зида са чије друге стране се налазе кабловске прикључне кутије, заштитним екраном. Ради поређења добијених резултата пре и након примене мера заштите, мерења су спроведена и на мерним местима 2 и 3, која се налазе на растојању од приближно 20 cm од зида након примене мера заштите, тј. постављања заштитних екрана. Мерно место 4 се налази приближно на средини просторије на месту на коме се очекује најдуже задржавање људи.



Слика 2. Положај кабловских прикључних кутија у односу на просторију у стану и распоред мерних места

Вредности магнетске индукције у стану зависе од тренутне струје оптерећења извора магнетског поља (I). Због тога је приликом мерења магнетске индукције неопходно истовремено мерење струје оптерећења извора, ради процене нивоа магнетске индукције који би се јавили при максималном оптерећењу извора. Приликом свих мерења магнетске индукције у стану истовремено су мерене струје свих кабловских прикључних кутија (слика 3).

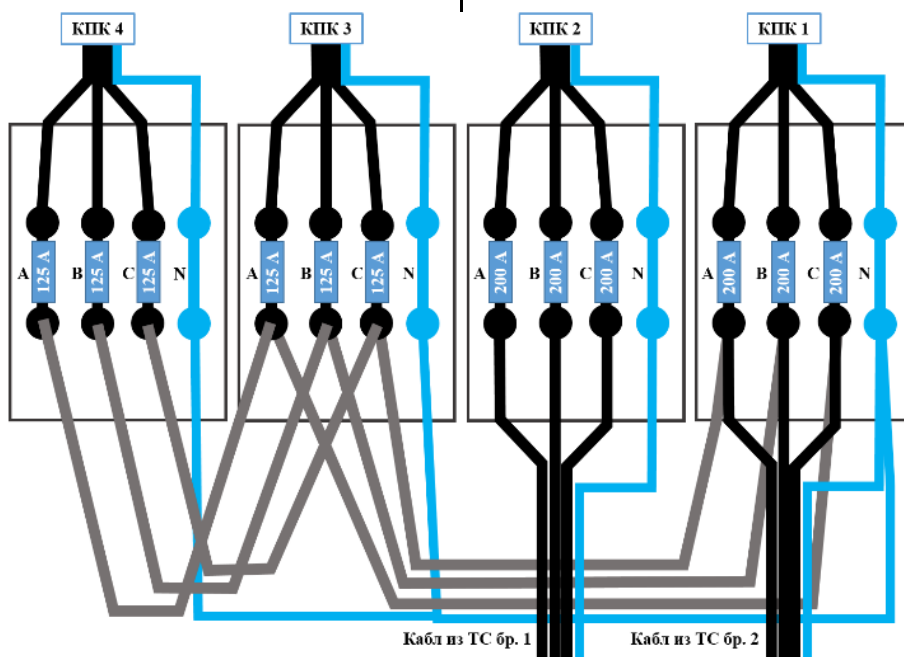
Шематски приказ распореда и начина повезивања проводника у кабловским прикључним кутијама 1–4 дат је на слици 4.

На кабловским прикључним кутијама 1 и 2 струје су мерене у сва три фазна проводника (I_A , I_B , I_C) и у неутралном проводнику (I_N). На кабловској прикључној кутији 3 мерене су струје у сва три фазна проводника, на основу чега мерни инструмент израчунава струју у неутралном проводнику. На кабловској прикључној кутији 4, чије је оптерећење у време мерења било најмање, мерене су струје I_A и I_C , због ограничења опреме која је коришћена за мерење.

Као максималне струје које могу да протичу кроз фазне проводнике усвојене су назначене струје осигурача. За КПК 1 и 2 оне износе 200 А, док за КПК 3 и 4 износе 125 А.



Слика 3. Мерење струје



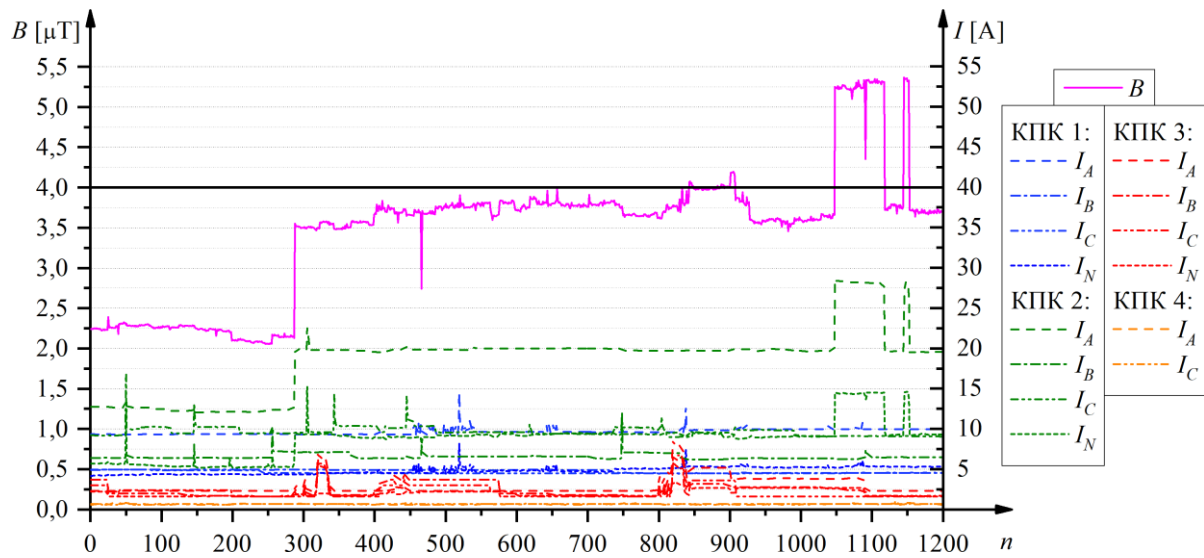
Слика 4. Распоред проводника у кабловским прикључним кутијама

4. РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА

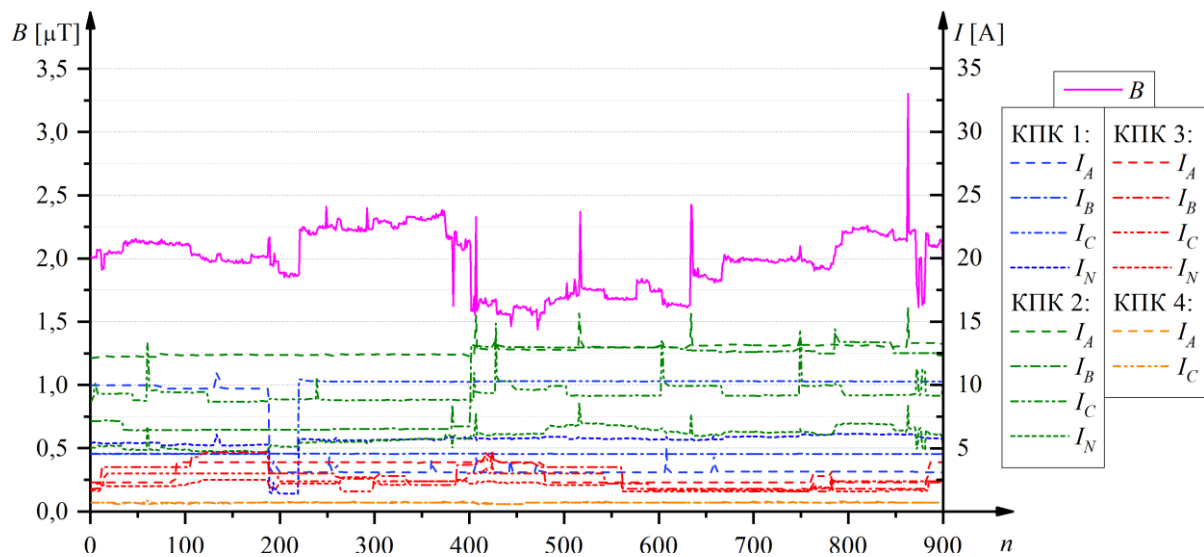
На мерном месту 1 магнетска индукција је мерена у трајању од 20 минута са временским интервалом између два мерења од 1 секунде, тако да је добијено укупно 1200 резултата мерења магнетске индукције. На мерним местима 2, 3 и 4 магнетска индукција је мерена у трајању од по 15 минута са временским интервалом између два мерења од 1 секунде, тако да је на сваком мерном месту добијено по 900 резултата. Истовремено је мерена и струја са истим временским коракком. Резултати мерења на мерним местима 1–4 приказани су на сликама 5–8. У табели 1 је за свако

мерно место приказан опсег у коме се налазе измерене вредности магнетске индукције, као и њихова средња вредност (B_{sr}) током периода мерења. Такође су приказани и опсези у којима се налазе измерене вредности струја.

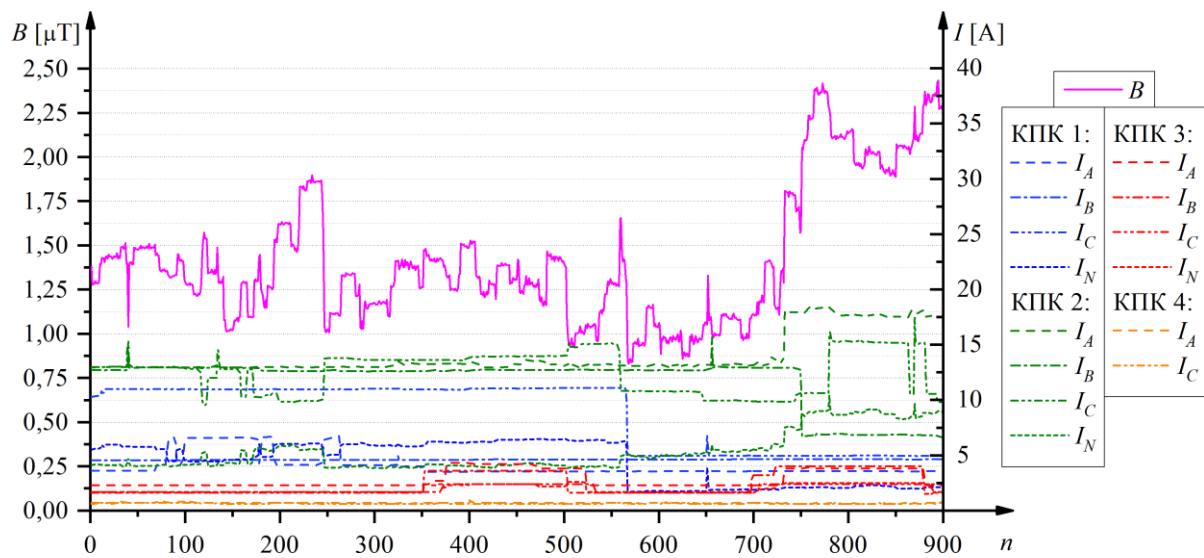
Највише вредности магнетске индукције измерене су на мерном месту 1. Због тога је на овом месту спроведено и дуготрајно мерење магнетске индукције у трајању од преко 8 часова (слика 9). Пошто су испитивања спроведена у дужем временском периоду није било могуће обезбедити приступ кабловским прикључним кутијама, тако да приликом овог мерења нису мерене струје.



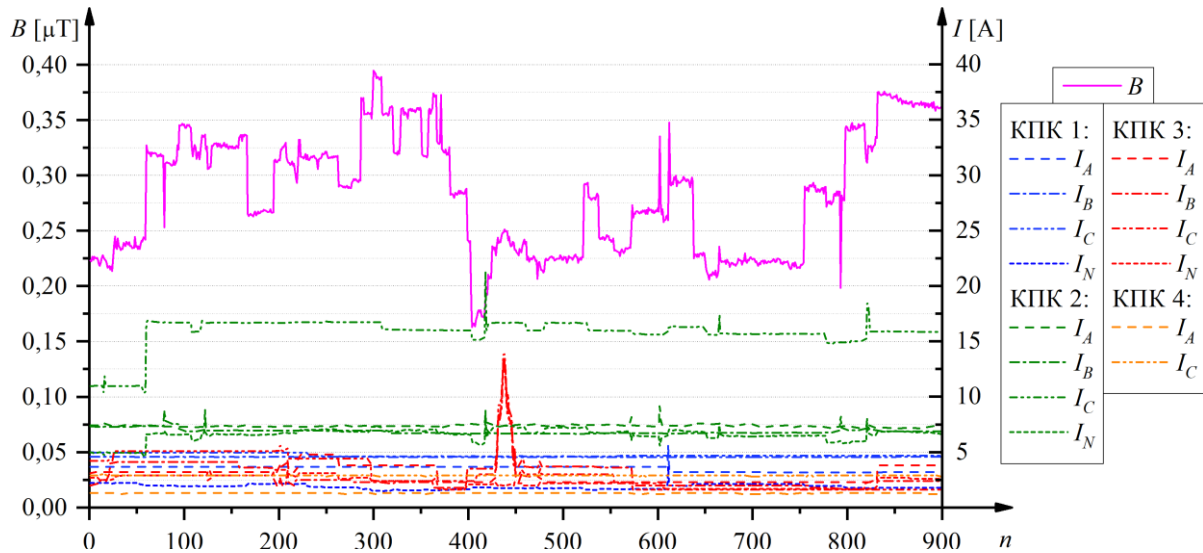
Слика 5. Резултати мерења на мерном месту 1



Слика 6. Резултати мерења на мерном месту 2



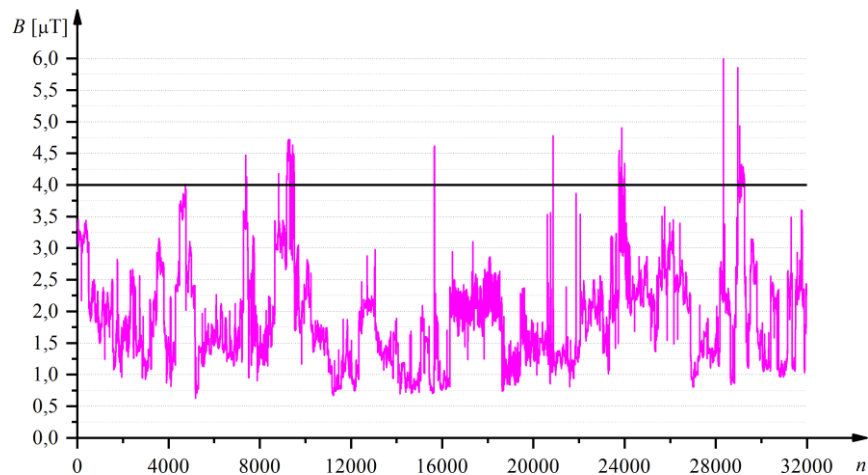
Слика 7. Резултати мерења на мерном месту 3



Слика 8. Резултати мерења на мерном месту 4

Табела I Резултати мерења на мерним местима 1, 2, 3 и 4

Мерно место	B (μT)	B_{sr} (μT)	Струја	КПК 1	КПК 2	КПК 3	КПК 4
1	2,05–5,37	3,46	I_A (A)	9,32–14,51	12,02–28,53	2,30–8,70	0,60–1,00
			I_B (A)	4,47–4,96	6,22–11,91	1,60–6,80	/
			I_C (A)	4,49–4,97	8,96–16,81	1,60–5,80	0,60–1,10
			I_N (A)	4,17–8,19	5,10–15,26	1,60–3,50	/
2	1,44–3,30	1,99	I_A (A)	3,03–10,99	12,11–16,13	2,30–4,80	0,60–0,80
			I_B (A)	4,54–4,57	6,41–14,42	1,60–4,80	/
			I_C (A)	4,55–10,45	8,63–14,87	1,60–3,90	0,60–0,90
			I_N (A)	1,40–6,15	4,52–8,56	1,60–2,70	/
3	0,83–2,43	1,42	I_A (A)	3,51–6,75	12,92–18,41	2,30–4,30	0,60–1,00
			I_B (A)	4,54–4,69	6,59–15,78	1,60–4,00	/
			I_C (A)	4,93–11,12	9,55–17,56	1,60–3,60	0,60–1,00
			I_N (A)	1,72–6,48	3,81–10,41	1,50–2,60	/
4	0,16–0,39	0,28	I_A (A)	3,17–5,64	7,10–9,26	2,30–13,70	1,20–1,40
			I_B (A)	4,55–4,60	6,64–8,93	1,60–14,20	/
			I_C (A)	4,60–4,98	10,35–21,36	1,60–13,10	2,80–3,00
			I_N (A)	1,48–3,64	4,59–8,75	1,60–3,50	/



Слика 9. Резултати дуготрајног мерења на мерном месту 1

На мерном месту 1, које је најближе извору магнетског поља, измерене су вредности магнетске индукције које прекорачују $4 \mu\text{T}$. Вредности магнетске индукције опадају са повећањем растојања од извора, тако да су најниже вредности магнетске индукције измерене на мерном месту 4, које се налази на највећем растојању од извора магнетског поља. Средње вредности магнетске индукције B_{sr} на мерним местима 1, 2, 3 и 4 износиле су редом $3,46 \mu\text{T}$, $1,99 \mu\text{T}$, $1,42 \mu\text{T}$ и $0,28 \mu\text{T}$.

На мерном месту 1, на коме су добијене највише вредности магнетске индукције, спроведено је и дуготрајно мерење магнетске индукције у трајању од преко 8 часова, у периоду од 10.55.26 ч. до 19.48.45 ч. Мерење је спроведено са временским кораком од 1 секунде, тако да је добијено укупно 32.000 резултата мерења магнетске индукције. Током дуготрајног мерења, измерене вредности магнетске индукције су се налазиле у опсегу од $0,63 \mu\text{T}$ до $6,00 \mu\text{T}$, док је средња вредност магнетске индукције у овом временском периоду износила $1,87 \mu\text{T}$.

Приликом оба мерења на мерном месту 1 измерене су вредности магнетске индукције које прекорачују вредност од $4 \mu\text{T}$. Због тога се кабловске прикључне кутије, које представљају извор магнетског поља у стану, према дефиницији из члана 3 Правилника [6] категоришу као извор од посебног интереса. Према члану 8 истог правилника, неопходно је да корисник извора обезбеди спровођење периодичног испитивања након четири године. Такође је значајно напоменути да су струје оптерећења у време мерења биле веома ниске, тако да би при већем оптерећењу извора и вредности магнетске индукције у стану биле знатно више. Струје оптерећења свих проводника су се током мерења магнетске индукције на мерним местима 1–4 кретале од $0,60 \text{ A}$ до $28,53 \text{ A}$. Назначене струје осигурача, које су усвојене као максималне струје, износе 200 A за КПК 1 и 2, односно 125 A за КПК 3 и 4. На основу односа максималних струја и струја у периоду мерења закључује се да би при већим оптерећењима вредности магнетске индукције у стану биле значајне.

5. ЗАКЉУЧАК

Резултати приказани у раду указују на чињеницу да кабловске прикључне кутије могу бити веома значајан извор магнетског поља уколико се налазе у непосредној близини зона повећане осетљивости. У раду је разматран случај у коме се кабловске прикључне кутије налазе на зиду са чије се друге стране налази стан, тј. спаваћа соба. Приликом мерења магнетске индукције у стану добијене су вредности које прекорачују вредност од $4 \mu\text{T}$, због чега је закључено да се у анализираном случају кабловске прикључне кутије категоришу као извор од посебног интереса, у складу са чланом 3 Правилника [6]. Према члану 8 поменутог правилника, неопходно је спровођење периодичног испитивања након четири године. Закључак да кабловске прикључне кутије могу

бити извор од посебног интереса је веома значајан имајући у виду чињеницу да у члану 5 Правилника [6] оне нису наведене као стационарни извор нискофреквентног електромагнетског поља. Струје оптерећења у време мерења су биле знатно ниже од максималних струја, због чега се закључује да би при већим оптерећењима вредности магнетске индукције у стану биле значајне. Због тога су у стану примењене мере за смањење нивоа магнетске индукције, које су засноване на прекривању зида са чије друге стране се налазе кабловске прикључне кутије, заштитним екраном. Иако би се већа ефикасност мера заштите постигла оклапањем кабловских прикључних кутија, у конкретном случају овакав приступ није био дозвољен. Циљ рада је да се укаже на значај кабловских прикључних кутија као извора који могу довести до повишених вредности магнетске индукције. Постављање кабловских прикључних кутија на зид са чије друге стране се налази зона повећане осетљивости представља веома неповољно решење, које би у пракси требало избегавати. О томе би нарочито требало водити рачуна приликом пројектовања нових зграда, ради избегавања непотребног излагања људи магнетском пољу. Знатно повољније решење би било када би се кабловске прикључне кутије поставиле тако да се повишене вредности магнетског поља јављају у помоћним просторијама у којима се станари не задржавају у дужем временском периоду, као што су подруми, гараже, ходници и слично. Такође, пошто се национална регулатива из области заштите становништва од нејонизујућих зрачења односи и на постојеће, тј. затечене изворе, потребно је спровести прва испитивања у зонама повећане осетљивости које на свом зиду са друге стране имају постављене кабловске прикључне кутије. Када се ради о новим објектима, потребно је да „Електродистрибуција Србије” пре преузимања нове инсталације у своју надлежност од инвеститора прибави извештај о првим испитивањима нејонизујућих зрачења.

ЗАХВАЛНИЦА

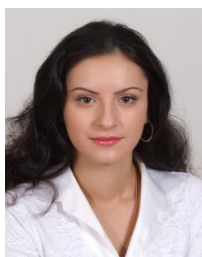
Овај рад је подржало Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије кроз Уговор о реализацији и финансирању научноистраживачког рада НИО у 2023. години.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): “ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”, Health Physics, Vol. 74, No. 4, pp. 494–522, 1998.
- [2] 1999/519/EC: “Council recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)”,

- Official Journal of the European Communities, 30 July 1999.
- [3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): "ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz – 100 kHz)", Health Physics, Vol. 99, No. 6, pp. 818–836, 2010.
- [4] Закон о заштити од нејонизујућих зрачења, „Службени гласник Републике Србије”, бр. 36/09 од 15. 5. 2009.
- [5] Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима, „Службени гласник Републике Србије”, бр. 104/09 од 16. 12. 2009.
- [6] Правилник о изворима нејонизујућих зрачења од посебног интереса, врстама извора, начину и периоду њиховог испитивања, „Службени гласник Републике Србије”, бр. 104/09 од 16. 12. 2009.
- [7] Правилник о садржини евиденције о изворима нејонизујућих зрачења од посебног интереса, „Службени гласник Републике Србије”, бр. 104/09 од 16. 12. 2009.
- [8] Правилник о условима које морају да испуњавају правна лица која врше послове испитивања нивоа зрачења извора нејонизујућих зрачења од посебног интереса у животној средини, „Службени гласник Републике Србије”, бр. 104/09 од 16. 12. 2009.
- [9] Правилник о условима које морају да испуњавају правна лица која врше послове систематског испитивања нивоа нејонизујућих зрачења, као и начин и методе систематског испитивања у животној средини, „Службени гласник Републике Србије”, бр. 104/09 од 16. 12. 2009.
- [10] Правилник о садржини и изгледу обрасца извештаја о систематском испитивању нивоа нејонизујућих зрачења у животној средини, „Службени гласник Републике Србије”, бр. 104/09 од 16. 12. 2009.
- [11] Stam R, "Comparison of international policies on electromagnetic fields", 2018, National Institute for Public Health and the Environment, Ministry of Health, Welfare and Sport, the Netherlands.
- [12] SRPS EN 50413:2020 „Основни стандард за процедуре мерења и прорачуна изложености људи електричним, магнетским и електромагнетским пољима (од 0 Hz до 300 GHz)”.
- [13] SRPS EN 61786-1:2014 „Мерење једносмерних магнетских, наизменичних магнетских и наизменичних електричних поља у опсегу од 1 Hz до 100 kHz у погледу изложености људи – Део 1: Захтеви за мерне инструменте”.
- [14] IEC 61786-2:2014 "Measurement of DC magnetic, AC magnetic and AC electric fields from 1 Hz to 100 kHz with regard to exposure of human beings – Part 2: Basic standard for measurements”.
- [15] SRPS EN 62110:2011 „Нивои електричних и магнетских поља која стварају системи за напајање наизменичном струјом – Поступци мерења у погледу опште изложености” и измена SRPS EN 62110:2011/AC:2015.

БИОГРАФИЈЕ



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 22 студије, 46 стручних оцена оптерећења животне средине за нове или реконструисане изворе електромагнетских поља, 18 елабората и преко 1000 извештаја о испитивањима. Од 2018. године обавља функцију руководиоца Специјализоване лабораторије за испитивање електромагнетских поља. Објавила је 67 радова, од којих 49 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. и 2021. 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”.



Дејан Хрвић је рођен у Београду 1961. године. Електротехнички факултет у Београду - енергетски одсек уписао је 1981. године. Дипломирао је у октобру 1986. године. Запослен је у Институту Никола Тесла од 1987. године. Распоређен је на радно место стручног саветника. У Институту је

радио на развоју микропроцесорских уређаја за

потребе електроенергетике (развој софтвера), затим у области технике високог напона (највећим делом на истраживањима прелазних појава у електроенергетском систему и на напонским и струјним истраживањима у лабораторији високог напона), као и на испитивању система уземљења и громобранске заштите електроенергетских објеката. Резултат рада на горе наведеним пословима је више стотина комерцијалних извештаја о предметним испитивањима из делокруга Лабораторије за испитивање и еталонирање. Коаутор је две монографије националног значаја и три интерна стандарда. Од 2005. године, тежиште рада му је усмерено на испитивања нивоа нејонизујућих зрачења ниских и високих фреквенција и то у области заштите животне средине и за заштите на раду. На наведеним пословима учествује као руководиоца и као сарадник. Члан је Српског националног комитета CIGRE (Студијски комитет Ц3: Перформансе система заштите животне средине и Студијски комитет Ц4: Техничке перформансе ЕЕС-а).



Александар Павловић је рођен 1967. године у Београду. Дипломирао је 1994. године на Електротехничком факултету у Београду, на профили за електроенергетске системе. Од 1995. године запослен је у Електротехничком институту Никола Тесла у Београду.

Од 2014. године обавља послове директора Центра за електроенергетске објекте. Члан је Српског националног комитета CIGRE (Студијски комитет Ц3: Перформансе система заштите животне средине и Студијски комитет Ц4: Техничке перформансе ЕЕС-а). Током рада у Електротехничком институту Никола Тесла бавио 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 од којих се већина односи на област изложености људи електромагнетским пољима.

Maja Grbić¹, Dejan Hrvic¹, Aleksandar Pavlović¹

Analysis of Exposure of People to Magnetic Flux Density in the Apartment Due to the Influence of Low Voltage Cable Terminal Boxes

¹ Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia *

Category of article: Professional paper

Highlights

- Cable terminal boxes can be a significant magnetic field source when located in close proximity to areas of increased sensitivity
- It is necessary to carry out the first non-ionizing radiation testing in the areas of increased sensitivity with cable terminal boxes on their walls
- Cable terminal boxes can be the non-ionizing radiation source of special interest

Abstract

The paper analyzes the levels of magnetic flux density in the apartment that occur due to the influence of cable terminal boxes. The analysis is based on the results of magnetic flux density measurements in the apartment. In the considered example, the cable terminal boxes are located on the outer wall of the apartment, which leads to increased levels of magnetic flux density in the room located on the other side of the wall. It has been shown that the values of magnetic flux density in the apartment can exceed the value of $4 \mu T$, which is a criterion for the source to be categorized as a source of special interest, in accordance with the provisions of the current national legislation in the field of non-ionizing radiation. The aim of the paper is to show that in the aforementioned configuration the values of magnetic flux density in the apartment can be significant, in order to avoid such technical solutions in the future during the design and construction of new facilities which represent areas of increased sensitivity. The significance of performing testing in apartments and other areas of increased sensitivity with cable terminal boxes in their proximity is also emphasized.

Keywords

Area of increased sensitivity, cable terminal box, magnetic field, magnetic flux density, non-ionizing radiation, reference level

Note:

This article represents an expanded, improved and additionally peer-reviewed version of the paper "Analysis of Magnetic Flux Density Levels in the Apartment due to the Influence of Low Voltage Cable Terminal Boxes", awarded by Expert Committee EC-1 network components at the 13th CIRED Serbia Conference, Kopaonik, September 12-16, 2022

Received: April 7th, 2023Reviewed: May 26th, 2023Modified: June 7th, 2023Accepted: July 3rd, 2023

*Corresponding author: Maja Grbić, Koste Glavinića 8a Belgrade

E - mail: maja@ieent.org

Phone: +381-64-825-97-55



Милица Поробић¹, Радислав Миланков², Драган Цветинов³, Ратко Роган⁴

Анализа испоручене електричне енергије кориснику „Barry-Callebaut-Chocolate Factory Нови Сад“

¹ ОДС „Електродистрибуција Србије“ д.о.о. Београд, Дирекција за управљање ДЕЕС, Србија

² ОДС „Електродистрибуција Србије“ д.о.о. Београд, Огранак ЕД Зрењанин, Србија*

³ ОДС „Електродистрибуција Србије“ д.о.о. Београд, Огранак „ЕД Нови Сад“, Србија

⁴ ОДС „Електродистрибуција Србије“ д.о.о. Београд, НДЦ, Србија

<https://doi.org/10.18485/epij.2023.1.1.5>

Категорија рада: Стручни рад

Кључне поруке

- Разлози подношења рекламација корисника дистрибутивног система
- Предузимања мерења жељених параметара квалитета електричне енергије
- Анализа измерених вредности и сагледавање узрока догађаја
- Међусобни утицаји корисник – дистрибутивни електроенергетски систем

Кратак садржај

Оператор Дистрибутивног Система „Електродистрибуција Србије“ (ОДС), приликом издавања Услови за пројектовање и прикључење (УПП) корисницима дистрибутивног система (КДС) под ставком 4. тих Услови јасно дефинише Основне техничке податке о дистрибутивном електроенергетском систему (ДЕЕС) на месту прикључења. Овим подацима индустријски КДС добија информације о техничким карактеристикама подешавања у ДЕЕС којима прилагођава своје производне процесе. У противном, производни процес ће бити осетљив на испоруку електричне енергије техничких карактеристика дефинисаних кроз УПП.

У оперативном управљању ДЕЕС дешавају се рекламације КДС на квалитет испоручене електричне енергије. Стручне службе ОДС након уложене рекламације постављају анализатор квалитета електричне енергије високих техничких перформанси, на месту прикључења КДС. Циљ је добити технички квалитетну анализу којом ће се утврдити узроци проблема застоја производног процеса код КДС.

Овај рад има за циљ да представи један пример из праксе на дистрибутивном подручју „ДП Нови Сад“ на подручју огранка „Електродистрибуција Нови Сад“, где је КДС „Barry-Callebaut-Chocolate Factory Нови Сад“ уложио рекламацију на квалитет електричне енергије. Резултати мониторинга испоручене електричне енергије су представљени у овом раду.

Кључне речи

Квалитет електричне енергије, рекламација КДС, анализа мерења

Примљено: 6. април 2023. Рецензирано: 3. јул 2023.

Измењено: 10. јул 2023. Одобрено: 28. јул 2023.

*Кореспондирајући аутор: Радислав Миланков

Имејл: Radislav.Milankov@ods.rs

Напомена:

Чланак представља проширену, унапређену и додатно рецензирану верзију рада „Анализа испоручене електричне енергије КДС Barry-Callebaut - Chocolate Factory Нови Сад“, награђеног у Стручној комисији СТК-2 Квалитет електричне енергије у електродистрибутивним системима, на 13. Саветовању ЦИРЕД Србија, Копаоник, 12-16. септембра 2022.

1. УВОД

Појам квалитета електричне енергије се намеће као незаобилазна ставка када су у питању оцене вредности испоручене робе како се тржиште понаша и отвара. Један аспект је дат у раду као интервенција на рекламацију, док је то само једностран поглед, може се наслутити огромно поље испитивања када је у питању утицај рада корисника на ДЕЕС и друге кориснике. Посебно је занимљива проблематика мерења електричне енергије у несинусном окружењу и могућој корекцији обрачунских параметара при одређеним условима, нарочито фактора снаге. Тачност мерења при овим условима изискује промену законских и подзаконских аката како би се сачинила корективна формула.

Огранак „Електродистрибуција Нови Сад“ је један од седам Огранака на конзуму Дистрибутивног подручја (ДП) Нови Сад Оператора дистрибутивног система (ОДС) електричне енергије, „Електродистрибуција Србије“.

„Barry-Callebaut-chocolate factory Нови Сад“ је корисник дистрибутивног система (КДС) на конзуму Огранка „ЕД Нови Сад“ који се напаја из дистрибутивне трансформаторске станице ТС 20/0,4 kV „Фабрика чоколаде“, која се налази у дистрибутивној мрежи којом управља Огранак „ЕД Нови Сад“. Компанија „Barry-Callebaut-chocolate factory Нови Сад“ је од стране Републике Србије препозната као значајан инвеститор у области економског развоја државе, што свакако уноси додатну обавезу ОДС о брзи за квалитет испоруке и испоручене електричне енергије овом КДС. Потреба за анализом испоруке и испоручене електричне енергије КДС „Barry-Callebaut-chocolate factory Нови Сад“ је настала због жалбе овог КДС ОДС-у на честе застоје у производном процесу фабрике. Прекиди у производном процесу фабрике су по мишљењу КДС проузроковани лошим квалитетом електричне енергије ОДС. У оквиру сектора за управљање ДЕЕС Огранка „ЕД Нови Сад“ формиран је тим задужен за постављање уређаја за праћење квалитета испоруке и испоручене електричне енергије, као и за анализу података.

У овом раду су, у оквиру три целине, представљене карактеристике ДЕЕС, анализа проблема у вези са жалбом КДС на квалитет електричне енергије, као и закључци анализе.

2. КВАЛИТЕТ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ: ДЕФИНИЦИЈЕ И РЕЗУЛТАТИ

Један од најважнијих корака у праћењу поузданости рада система је мониторинг карактеристика електроенергетског система.

Мониторинг може помоћи при одређивању узрока поремећаја, па чак и при идентификацији стања у систему, која су била пре него што су изазвала прекид или поремећај.

Мониторинг квалитета електричне енергије (снаге) представља процес прикупљања, анализе и интерпретације мерених података у сврху извлачења корисних информација.

Да би се побољшао квалитет или посебно заштитили осетљиви потрошачи, електродистрибуције предузимају велики број мера за стабилизацију рада електроенергетског система и обезбеђења квалитетне испоруке. Инвестирају се значајна средства у опсежне пројекте истраживања параметара квалитета, доносе се техничке регулативе за лимитирање нивоа хармоника и фликера, уводе се строжије норме за прикључење нелинеарних потрошача, а у последње време се развијају специјалне методе и уређаји за испоруку електричне енергије гарантованог квалитета [1].

2.1 Карактеристике конзума ДЕЕС на који је прикључен КДС

ТС 20/0,4 kV „Фабрика чоколаде“ се у ДЕЕС налази на конзуму ТС 110/20/10 kV „Novi Sad 9“, ЕТ 110/20/10 kV број 1, на 20 kV изводу Зрењанински пут. ТС 110/20/10 kV „Нови Сад 9“ се напаја са два 110 kV далеководна ДВ број 176/1 са ТС 400/220/110 kV „Нови Сад 3“ и ДВ број 176/2 са „Термоелектране Топлане Нови Сад“ („ТЕ-ТО“). 110 kV постројење се састоји од два далеководна поља и два енергетска трансформатора 110/20/10 kV инсталисане снаге 63 MVA. ТС 110/20/10 kV „Novi Sad 9“ снабдева електричном енергијом 9993 корисника. Дистрибутивна мрежа оба ЕТ 110/20/10 kV износи 77,465 km кабловске мреже и 55,617 km надземне мреже. На конзуму ове напојне ТС се налазе КДС који по интерним Упутствима и Процедурама ОДС имају статус „значајан корисник ДЕЕС“. Поред „Barry-Callebaut-chocolate factory Нови Сад“ исти статус имају и компаније „Lear“ и „СТР Gama Continental“, „Нафтовод“, „Рафинерија“ и други.

ТС 110/20/10 kV „Нови Сад 9“ је у систему даљинског надзора, контроле и управљања (SCADA), што даје могућност праћења рада расклопне опреме и јединственог система заштите, надзора, контроле и управљања у нормалним погонским условима као и у режиму квара. Звездишта енергетских трансформатора су уземљена преко заједничког отпорника од 40 Ω у неутралној тачки, чиме се струје земљоспојева ограничавају на 300 А. За отклањање пролазних кварова у средњенапонској мрежи користи се комбинација технике земљоспојног прекидача (ЗП) и аутоматике поновног укључења извода (АПУ).

Аутоматика ЗП треба да детектује у којој фази је квар а потом да да налог за укључење ЗП у фази погођеној кваром, тј. да уземљи фазу сабирница 20 kV која је погођена кваром. За време док је прекидач укључен, фазни напони здравих фаза порасту до вредности међуфазних напона, фазни напон фазе у квару је нула, а међуфазни напони остају практично непромењени. Како је спрега дистрибутивних трансформатора Дуп или Yzn и пошто се међуфазни напони не мењају, потрошачи на ниском напонском нивоу неће имати прекиде у напајању. Ако је квар био пролазан, после искључења ЗП наставља се редован погон ДЕЕС. Уколико квар не прође након искључења пола ЗП, реаговаће заштита извода и АПУ извода (брзи/спори АПУ). Уколико квар буде елиминисан радом АПУ (брзи/спори) наставља се редован погон ДЕЕС. Ако квар није био пролазан, и уколико је квар дефинитиван, земљоспојна заштита 20 kV извода ће искључити изводни прекидач (дефинитивно искључење извода).

КДС-у се приликом издавања Услова за пројектовање и прикључење (УПП) дају и основни технички подаци о ДЕЕС на месту прикључења КДС. Кроз став 4 Услова су дефинисани параметри заштитних уређаја у мрежи ДЕЕС (времена и вредности) на које производни процес КДС не сме бити осетљив.

Конкретно, став 4 УПП за наведеног КДС је:

„4. Основни технички подаци о ДЕЕС на месту прикључења Ниво поузданости: 2. ниво Субтранзијентна („S_k“) снага трополног кратког споја на сабирницама 20 kV и TS110/20 kV/kV износи 500 MVA, време трајања кратког споја $t=0,2$ s. Вредност струје једнофазног земљоспоја у уземљеним мрежама 20 kV напона је ограничена на вредност 300 А. За елиминисање пролазног земљоспоја примењује се:

- једнополни земљоспојни прекидач са брзином деловања мањом од 0,2 s,
- земљоспојна заштита на изводном прекидачу са временом трајања до 0,5 s,
- на изводима 20 kV у ТС 110/20 kV/kV се примењује аутоматско поновно укључење (АПУ) са два покушаја. У првом покушају се врши брзо АПУ са безнапонском паузом (трајање) 0,3 s. Ако је квар и даље присутан, врши се други покушај укључења после безнапонске паузе (трајање) до 3 мин (споро АПУ). Уколико је и надаље присутан квар, заштита извршава трајно искључење 20 kV извода, након чега се приступа локализацији квара и његовом отклањању.

Уколико рад уређаја странке проузрокује смањење квалитета електричне енергије другим корисницима, под условом да прекорачује емисионе нивое дозвољене Правилима о раду дистрибутивног система „ЕПС

Дистрибуција“ д.о.о. Београд, може странки да обустави испоруку електричне енергије све док се не отклоне узроци сметњи.“

Исте ставке дефинисане су и у оквиру Правила о раду дистрибутивног система, [2], ОДС, део 2 Квалитет електричне енергије, Одељак Непрекидност испоруке, ставке 2.3.4 и 2.3.5, које кажу:

- Напонске сметње узроковане операцијама расклопних апарата, дејством уређаја релејне заштите и искључењем оптерећења у поремећеном погону чије се дејство није могло предвидети ни избећи не сматрају се прекидима у испоруци електричне енергије.
- На кориснику ДЕЕС је одговорност да угради додатну опрему у свој објекат у циљу заштите технолошког процеса за случај појаве поремећаја у дистрибутивној мрежи. Ова опрема не сме бити активирана од прелазних процеса.

Свакако кроз документ УПП, КДС прихвата да се његов погон пројектује тако да рад заштитних уређаја у ДЕЕС не ремети производни процес у постројењу КДС.

2.2 Квалитет електричне енергије - обавеза ОДС

Одговорности и дужности Оператора дистрибутивног система електричне енергије дефинисане су и чланом 135. Закона о енергетици, став 1 у коме се наводи да је Оператор дистрибутивног система електричне енергије одговоран за сигуран, поуздан и безбедан рад дистрибутивног система и квалитет испоруке електричне енергије, [3].

У складу са чланом 136. Закона о енергетици, [4], Оператор дистрибутивног система је донео Правила о раду дистрибутивног електроенергетског система (ДЕЕС), [2]. Овим правилима уређују се међусобни односи ОДС, корисника и снабдевача. У делу 2 наведеног правила дефинише се Квалитет електричне енергије, [2].

ОДС је одговоран за квалитет електричне енергије, а који обухвата:

- квалитет испоручене електричне енергије и
- квалитет испоруке електричне енергије.

Квалитет испоручене електричне енергије оцењује се на основу квалитета напона и квалитета фреквенције. Квалитет испоруке електричне енергије оцењује се на основу трајања и учесталости прекида у испоруци електричне енергије.

Поузданост испоруке електричне енергије прати се преко следећих показатеља поузданости: просечно трајање прекида испоруке у минутима по месту предаје електричне енергије, SAIDI, просечна учесталост прекида испоруке по месту предаје електричне енергије, SAIFI, и просечно трајање прекида испоруке, CAIDI.

Правилима о Раду ДЕЕС се утврђују параметри и начин контроле квалитета електричне енергије.

Квалитет електричне енергије се процењује у односу на нормалне погонске услове. Мерење параметара квалитета електричне енергије врши се на месту преузимања уколико постоје техничке могућности или на технички погодном месту за обављање мерења, а по потреби и у објектима корисника ради утврђивања чињеничног стања.

2.2.1 Квалитет напона. Квалитет напона на месту прикључења објекта корисника и произвођача, односно повезивања ДЕЕС са преносним системом, другим ДЕЕС и затвореним ДЕЕС, утврђује се мерењем и праћењем параметара:

- величине (амплитуде U_{eff}),
- таласног облика (THD),
- флукуације (фликери) и
- симетричности фазног напона

Величина (амплитуда) напона утврђује се мерењем. При нормалним погонским условима током седам дана у било којем периоду године, 95% десетоминутних средњих ефективних вредности напона напајања мора бити у опсегу дефинисаном у

акту којим се уређује испорука електричне енергије и то $\pm 10\%$.

Таласни облик напона утврђује се мерењем. При нормалним погонским условима током седам дана у било којем периоду године, 95% десетоминутних средњих ефективних вредности напона за сваки појединачни хармоник напона не сме да пређе вредност дату у табели I. Фактор укупног хармонијског изобличења напона напајања, THD, не сме да пређе 8%.

Флукуација напона која се испољава појавом фликера утврђује се мерењем. При нормалним погонским условима, током седам дана у било којем периоду године, дуготрајни фликер фактор који је изазван флукуацијом напона мора да буде мањи или једнак 1,0 током 95% времена.

Симетричност фазног напона се утврђује мерењем. При нормалним погонским условима током седам дана у било којем периоду године, 95% десетоминутних средњих ефективних вредности инверзне компоненте напона напајања мора бити у опсегу од 0% до 2% директне компоненте основног напона напајања.

Табела I - Хармоници напона – дозвољене вредности, извор:[5]

Непарни хармоници				Парни хармоници	
Нису умношци броја 3		Умношци броја 3			
Ред хармон.	Релативна амплитуда U_h	Ред хармон.	Релативна амплитуда U_h	Ред хармоника	Релативна амплитуда U_h
5	6%	3	5%	2	2%
7	5%	9	1,5%	4	1%
11	3,5%	15	0,5%	6...24	0,5%
13	3%	21	0,5%		
17	2%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

Фактор снаге се утврђује мерењем. Под нормалним погонским условима током седам дана у било којем периоду године вредност фактора снаге у дистрибутивној мрежи треба да буде у опсегу од 0,95 до 1,0.

2.2.2 Непрекидност испоруке. Прекид у испоруци електричне енергије се може класификовати као:

- 1) планирани прекид који је претходно договорен и када су корисници ДЕЕС благовремено обавештени;
- 2) непланирани прекид настао услед трајних или пролазних кварова.

Непланирани прекид настаје услед догађаја који нису могли бити предвиђени у ДЕЕС. Непланирани прекид престаје успостављањем нормалних погонских услова.

2.3 Анализа мерења ОДС и података КДС

На основу жалбе КДС на квалитет испоручене електричне енергије којом су поремећени пословни и производни процеси у фабрици, ОДС поставља уређај за мерење квалитета испоручене електричне енергије и то у два маха.

Мерења и анализа су рађени у складу са обавезујућом регулативом у области електроенергетике:

- Закон о енергетици, [3,4];
- Уредба о условима испоруке електричне енергије, [6];
- Правила о раду ДЕЕС, [2], Поглавље 2;
- Правилник о техничким нормативима за електричне инсталације ниског напона, [7], Службени лист СФРЈ бр. 53/88, 54/88, 28/95, Поглавље 5, од члана 163. до члана 167.

Мерења су обављена мрежним анализатором произвођача ELSPEC тип BlackBox G4500 class A, директним прикључењем на месту примопредаје електричне енергије. Мерења су извршена у два временска интервала. Мрежни анализатор је прикључен на месту примопредаје електричне енергије (слика 1) КДС, односно на редне стезаљке мерног уређаја (бројила електричне енергије). Бројило

електричне енергије је прикључено на секундаре мерних трансформатора у 20 kV мерној ћелији, односно мерење је индиректно у ТС 20/0,4 kV „Фабрика чоколаде“. Сам прикључак мрежног анализатора је изведен преко петоамперских струјних клешта, а напон од 100 V, 50 Hz се доводи директно на улаз мрежног анализатора.



Слика 1 – Мрежни анализатор на месту мерења

Мерења су извршена у два временска интервала

- 1) од 26.7.2021. до 11.8.2021. и
- 2) од 11.8.2021 до 19.8.2021.

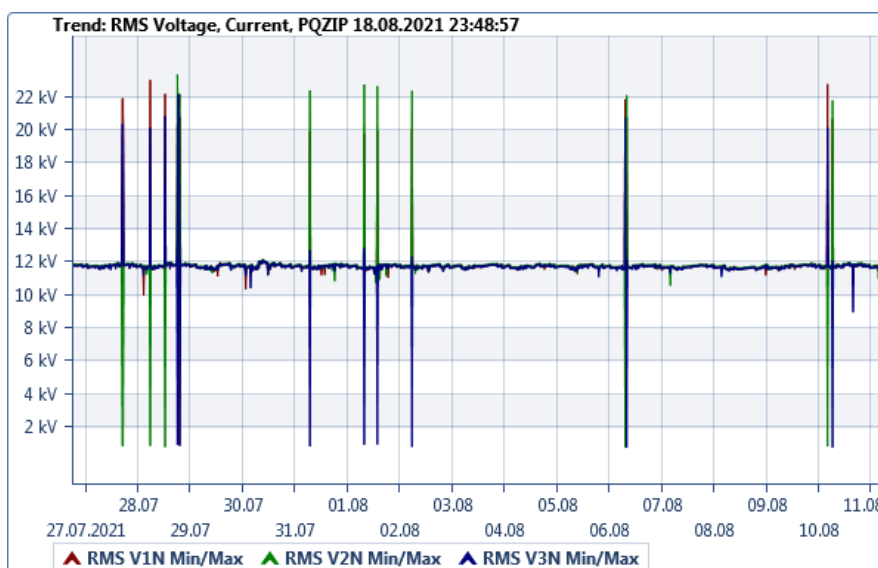
2.3.1 Мерење у интервалу од 26.7. до 11.8.2021.

Дијаграм ефективне вредности снимљеног напона у периоду од 26.7. до 11.8.2021. је приказан на слици 2.

Забележени поремећаји напона (почетак, крај) и њихово трајање у интервалу од 26.7. до 11.8.2021. приказани су у табели II.

У интервалу од 26.7. до 11.8.2021. забележено је 20 поремећаја напона. Најдуже трајање поремећаја напона је износило 409,97 ms. У наведеном интервалу КДС „Barry-Callebaut-chocolate factory Нови Сад“, ТС „Фабрика чоколаде“ није имала поремећаје у производном процесу у фабрици.

Као закључак за мерење у интервалу од 26.7. до 11.8.2021. може се рећи да су поремећаји напона забележени у наведеном временском интервалу били последица пролазних земљоспојева на конзумима ЕТ број 1 или ЕТ број 2 у ТС 110/20/10 kV „Нови Сад 9“.



Слика 2 - Дијаграм ефективне вредности напона за први интервал мерења

Табела II - Датум и трајање поремећаја напона

27.07.2021	17:38:49.219509	27.07.2021	17:38:49.629483400	00:00.409974400
27.07.2021	17:38:49.829520100	27.07.2021	17:38:49.939565600	00:00.110045500
28.07.2021	03:10:30.493782300	28.07.2021	03:10:30.553778300	00:00.059996000
28.07.2021	06:28:29.728859700	28.07.2021	06:28:30.038845	00:00.309985300
28.07.2021	13:04:15.924266400	28.07.2021	13:04:16.244345100	00:00.320078700
28.07.2021	18:44:38.754079800	28.07.2021	18:44:39.064087100	00:00.310007300
28.07.2021	19:20:02.246888900	28.07.2021	19:20:02.556910800	00:00.310021900
28.07.2021	19:56:31.011820100	28.07.2021	19:56:31.331837700	00:00.320017600
30.07.2021	02:11:57.180045100	30.07.2021	02:11:57.209942400	00:00.029897300
31.07.2021	07:40:30.307342500	31.07.2021	07:40:30.617221200	00:00.309878700
01.08.2021	08:41:34.315292100	01.08.2021	08:41:34.625395400	00:00.310103300
01.08.2021	14:36:46.761285500	01.08.2021	14:36:47.071219700	00:00.309934200
02.08.2021	06:21:12.931802800	02.08.2021	06:21:13.251630800	00:00.319828000
06.08.2021	08:16:10.583357300	06.08.2021	08:16:10.893396100	00:00.310038800
06.08.2021	09:04:10.214360700	06.08.2021	09:04:10.544534100	00:00.330173400
10.08.2021	05:18:23.057959800	10.08.2021	05:18:23.367890600	00:00.309930800
10.08.2021	07:48:09.167658300	10.08.2021	07:48:09.487674500	00:00.320016200
10.08.2021	16:54:30.962519	10.08.2021	16:54:31.022538	00:00.060019000
10.08.2021	17:00:41.195713800	10.08.2021	17:00:41.265594	00:00.069880200
10.08.2021	17:00:42.325034200	10.08.2021	17:00:42.385018100	00:00.059983900

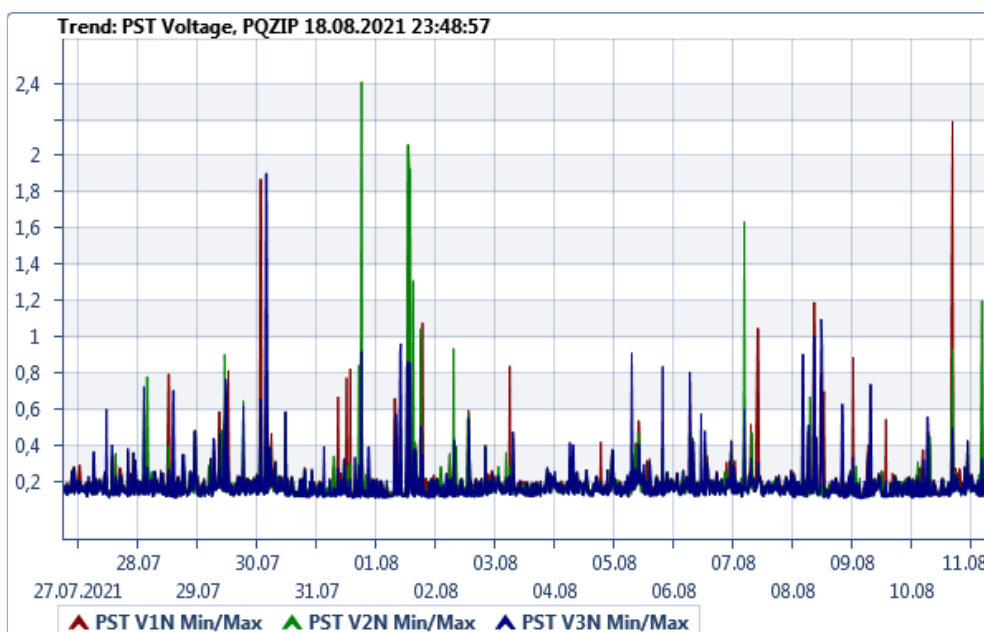
Ниједан од регистрованих догађаја, који су последица рада заштитних уређаја због пролазних кварова у мрежи ОДС нису пореметили производни процес у фабрици КДС „Barry-Callebaut-chocolate factory Нови Сад“.

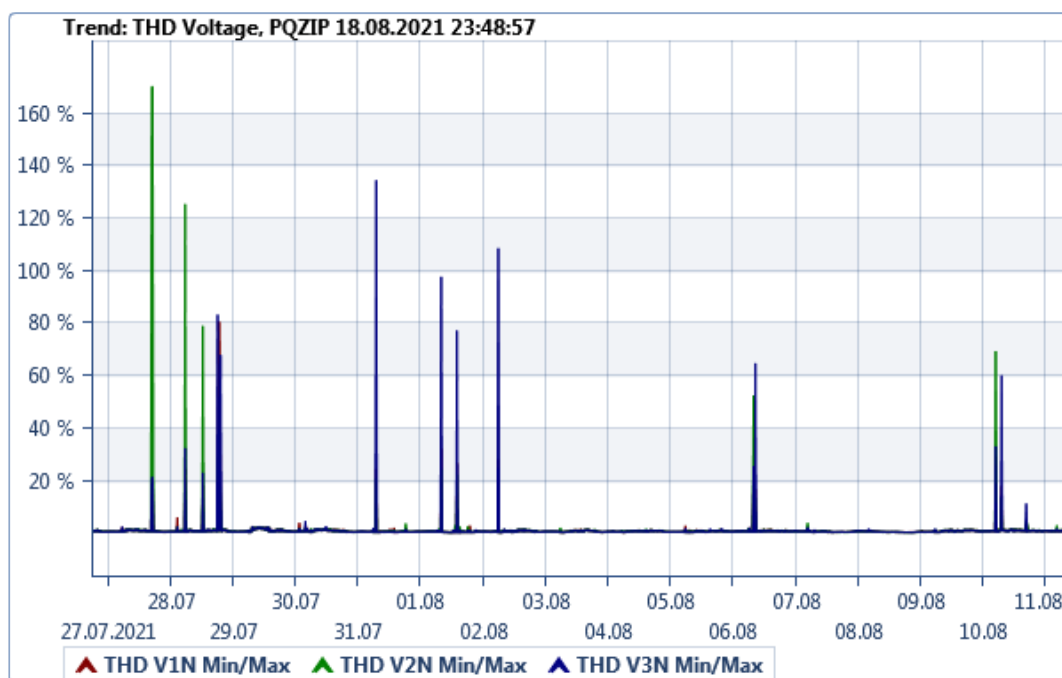
Из анализе мерења је утврђено да ниједан ред хармоника не прелази дозвољене границе.

Са дијаграма приказаног на слици 3 се види да се у периоду мониторинга прелази дозвољене границе фликера у различитим временима мониторинга.

Дозвољена максимална вредност фликера је мања или једнака 1.

Дијаграм на слици 4 представља мерење THD фактора напона, са граничном вредношћу од 8%. Са дијаграма се може утврдити да су мерене вредности изнад дозвољене границе у различитим временима мониторинга.

Слика 3 - Фликери напона ($flicker_{max} \leq 1$)

Слика 4 - THD напона ($THD_{max} \leq 8\%$)

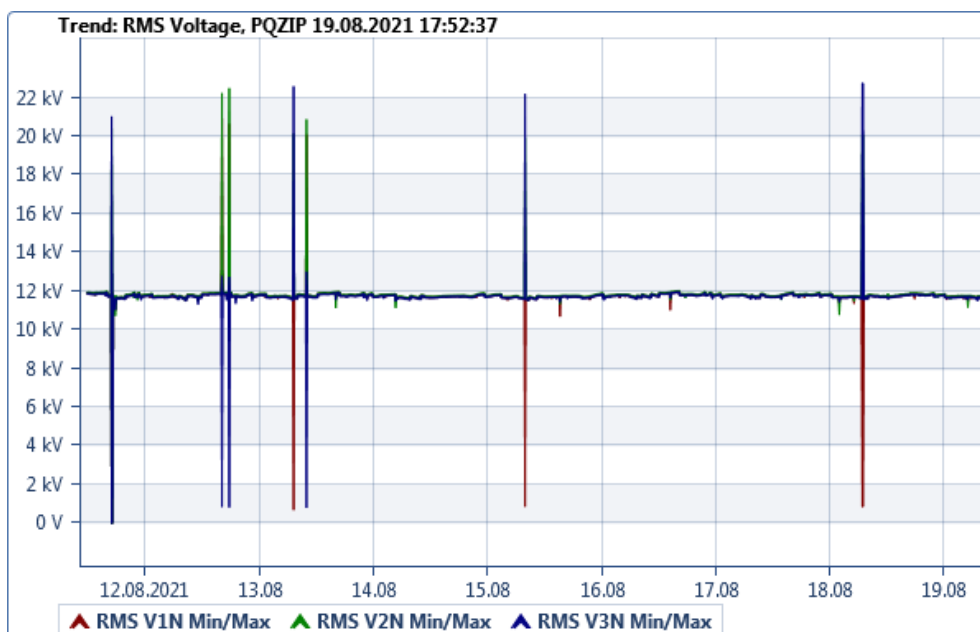
2.3.2 Мерење у интервалу од 11.8. до 19.8.2021.

Дијаграм ефективне вредности мереног напона снимљеног у периоду од 11.8. до 19.8.2021. је приказан на слици 5, док је табеларни приказ дат у Табели III.

Техничка служба КДС „Barry-Callebaut-chocolate factory Нови Сад“ је техничкој служби управљања ОДС доставила три документа у excel форми, где су приказани резултати извештајних функција

управљачких јединица у фабрици, са забележеним поремећајима у процесу производње. Достављена документа су:

1. VCP11.xls - догађај од 15.7.2021.
2. VCP12.xls - догађаји од 13.8.2021. и један од 18.8.
3. HML01.xls - doгађаји od 18.8.2021.



Слика 5 - Дијаграм ефективне вредности снимљеног напона за други интервал мерења

Табела III - Датум и трајање поремећаја напона

Nam	Phase	Događaj u mreži ODS	Value	Value (% from re)	Start time	End time	Duration	Problem u proizvodnom procesu
Dip	V3N	radio ZP-eliminisaos ZS Kalište-ET2	833,3125	7,226563%	12.08.2021 16:24:31.623986	12.08.2021 16:24:31.944034	00:00.320048000	NE
Swell	V1N,V2N	radio ZP-eliminisaos ZS Kalište-ET2	21384	185,1563%	12.08.2021 16:24:31.633922100	12.08.2021 16:24:31.944034	00:00.310111900	NE
Dip	V3N	radio ZP-eliminisaos ZS Kovilj-ET1	807,25	7,03125%	12.08.2021 17:54:09.083165	12.08.2021 17:54:09.383227	00:00.300062000	NE
Swell	V1N,V2N	radio ZP-eliminisaos ZS Kovilj-ET1	21405	185,3516%	12.08.2021 17:54:09.073232100	12.08.2021 17:54:09.383227	00:00.309994900	NE
Dip	V1N	radio ZP- ZP + APU brzi Kalište-ET2	8172	70,80078%	13.08.2021 07:27:59.470624800	13.08.2021 07:27:59.510510100	00:00.039885300	DA
Swell	V2N,V3N	radio ZP- ZP + APU brzi Kalište-ET2	17594	152,3438%	13.08.2021 07:27:59.470624800	13.08.2021 07:27:59.510510100	00:00.039885300	DA
Swell	V2N,V3N	radio ZP- ZP + APU brzi Kalište-ET2	20941	181,3477%	13.08.2021 07:27:59.540526900	13.08.2021 07:27:59.850410100	00:00.309883200	DA
Dip	V1N	radio ZP- ZP + APU brzi Kalište-ET2	673,1563	5,859375%	13.08.2021 07:27:59.540526800	13.08.2021 07:27:59.860403700	00:00.319876900	DA
Dip	V3N	radio ZP-eliminisaos ZP Kalište-ET2	782,375	6,787109%	13.08.2021 10:17:30.913030400	13.08.2021 10:17:31.213005500	00:00.299975100	NE
Swell	V1N,V2N	radio ZP-eliminisaos ZP Kalište-ET2	21162	183,252%	13.08.2021 10:17:30.903104400	13.08.2021 10:17:31.213005600	00:00.309901200	NE
Dip	V1N	radio ZP-eliminisaos ZS Kovilj-ET1	920,1875	8,007813%	15.08.2021 08:10:37.623383700	15.08.2021 08:10:37.933534200	00:00.310150500	NE
Swell	V2N,V3N	radio ZP-eliminisaos ZS Kovilj-ET1	20934	181,25%	15.08.2021 08:10:37.613319100	15.08.2021 08:10:37.933534200	00:00.320215100	NE
Dip	V1N	radio ZP-eliminisaos ZP Kalište-ET2	839,0625	7,275391%	18.08.2021 07:10:45.626192800	18.08.2021 07:10:45.936341100	00:00.310148300	NE
Swell	V2N,V3N	radio ZP-eliminisaos ZP Kalište-ET2	20986	181,7383%	18.08.2021 07:10:45.616266700	18.08.2021 07:10:45.936341100	00:00.320074400	NE

Упоредна анализа достављених података КДС и података мерења анализатором:

1. У достављеном документу под редним бројем један VCP11.xls је дат податак о догађају од 15.7.2021. у 23:45:47. где је регистрован један догађај, губитак фазе (Phase 1 Loss). Наведени датум је датум пре почетка снимања мрежним анализатором. Не постоји снимљен дијаграм напона са мрежног анализатора за наведени датум. Снимање је почело 26.7. У SCADA систему ОДС у мрежној топологији хијерархијски надређених објеката КДС-у нема забележених догађаја за наведени датум и време. У SCADA систему ОПС (Оператор преносног система) за хијерархијски надређене објекте ОДС-у нема забележених догађаја за наведени датум и време.

Поремећај у производном процесу КДС од 15.7.2021. у 23:45:47 није последица догађаја у ДЕЕС нити поремећаја у квалитету испоручене енергије од стране ОДС. Поремећаја у квалитету испоручене електричне енергије од стране ОДС није било, за наведени датум и време.

У достављеном документу КДС-а под редним бројем два, VCP12.xls, дати су подаци о догађајима од 13.8.2021. подељених у више временских интервала. У наведеном интервалима је регистровано укупно 65 догађаја, губитак фазе (Phase 1 Loss или Phase 2 Loss или Phase 3 Loss) у фабрици.

У истом документу је један догађај од 18.8. у 04:00:32, губитак фазе (Phase 1 Loss). Dostavljeni događaji Phase 1 Loss od 13.08.2021. su podeljeni u više vremenskih intervala:

- од 07:19:26 до 07:53:51 АМ укупно 9 догађаја
- од 01:05:59 до 01:06:42 РМ укупно 4 догађаја
- од 02:41:54 до 02:48:38 РМ укупно 31 догађај
- од 4:36:26 до 6:31:43 РМ укупно 3 догађаја
- у 9:11:41 РМ 1 догађај од 12:04:30 до 12:53:38 РМ укупно 16 догађаја

Од свих 65 догађаја Phase x Loss (x=1,2 или 3) регистрованих 13.8. у којим су се десили поремећаји производног процеса код КДС у фабрици, на дијаграму снимљеног напона за 13.8. забележена су само три поремећаја у мрежи ОДС.

Први се десио у 7:27:59.470 ms у трајању од 39,8 ms, други у 7:27:59.540 ms у трајању од 319,8 ms, трећи се десио у 10:17:30.950 и трајао је 309,9 ms.

Први догађај у трајању од 39,8 ms се неће разматрати, обзиром на дужину трајања поремећаја. Друга два поремећаја су последица деловања земљоспојног прекидача за кварове на изводу који се напаја са другог енергетског трансформатора у односу на извор напајања 20 kV извода „Зрењанински пут“ на коме се налази фабрика, а који се напаја са ЕТ број 1.

У достављеном документу из фабрике, VCP12.xls, у интервалу а) постоје два догађаја у 07:27:52 Phase 1 Loss и 07:27:21 Phase 3 Loss који су блиски времену снимљеног догађаја поремећаја у мрежи ОДС у 7:27:59.540 ms. Не може се са сигурношћу тврдити да је поремећај у фабрици код КДС проузрокован поремећајем у мрежи ОДС забележеним мрежним анализатором у 7:27:59.540.

Ако претпоставимо да је поремећај у мрежи ОДС од 7:27:59.540 проузроковао поремећај код КДС у 07:27:52, закључили бисмо да је од укупно пријављених 65 догађаја поремећаја производног процеса у фабрици 13.08. само један могао бити проузрокован догађајем у мрежи ОДС, док 64 догађаја поремећаја производног процеса у фабрици КДС-а сигурно нису последица поремећаја у квалитету испоруке и испоручене електричне енергије ОДС КДС-у, јер их нема забележених за период мониторинга мрежним анализатором. За све преостале технички сличне забележене догађаје у мрежи ОДС, а њих је, поред разматраног, било још шест у периоду мониторинга (табела III) закључено је да ниједан поремећај који је био последица пролазних

земљоспојева на 20 kV изводима конзума ЕТ број 1 или ЕТ број 2 у ТС 110/20/10 kV „Нови Сад 9“, није утицао на поремећај производног процеса у фабрици КДС.

Мрежним анализатором су 13.8. у 16:23 забележена два догађаја дефинисана као RVC (*rapid voltage changes*) тј. брза промена ефективне вредности напона у трајању око 100 ms, а КДС није имао проблем у производњи због ових догађаја.

У достављеном документу КДС-а постоји и један догађај од 18.8. у 04:00:32, губитак фазе (Phase 1 Loss). За дати догађај поремећаја код КДС нема снимљених поремећаја мрежним анализатором у току мониторинга.

2. У достављеном документу КДС-а под редним бројем три, HML01.xls, дати су подаци о догађајима од 18.8.2021. у 02:47:55 до 02:56:39. У наведеном интервалу је регистровано осам догађаја, губитак фазе (Phase 1 Loss или Phase 2 Loss).

У наведеном временском интервалу на дијаграму напона снимљеног мрежним анализатором није забележен ниједан поремећај.

Поремећај у производном процесу КДС од 18.8.2021. није последица поремећаја у квалитету испоручене енергије од стране ОДС.

Мрежним анализатором за наведени датум и време није регистрован ниједан поремећај у квалитету испоручене електричне енергије.

За наведени временски интервал од 11.8. до 19.8.2021. КДС је доставио податке о укупно 74 догађаја у којима су се десили проблеми у производним процесима у фабрици.

Мрежним анализатором је у датом периоду мониторинга регистровано седам поремећаја напона.

Само један поремећај напона од стране ОДС (13.08. у 7:27:59.540) је близак времену догађаја у коме се десило проблем у производном процесу у фабрици (13.08. 07:27:52).

За преостала 73 догађаја у коме су се десили проблеми у производном процесу у фабрици КДС, мониторинг мрежним анализатором не региструје ниједан поремећај у квалитету испоручене електричне енергије КДС.

Поремећаји производног процеса у фабрици „Barry-Callebaut-chocolate factory Нови Сад“ нису последица проблема квалитета испоручене електричне енергије од стране ОДС.

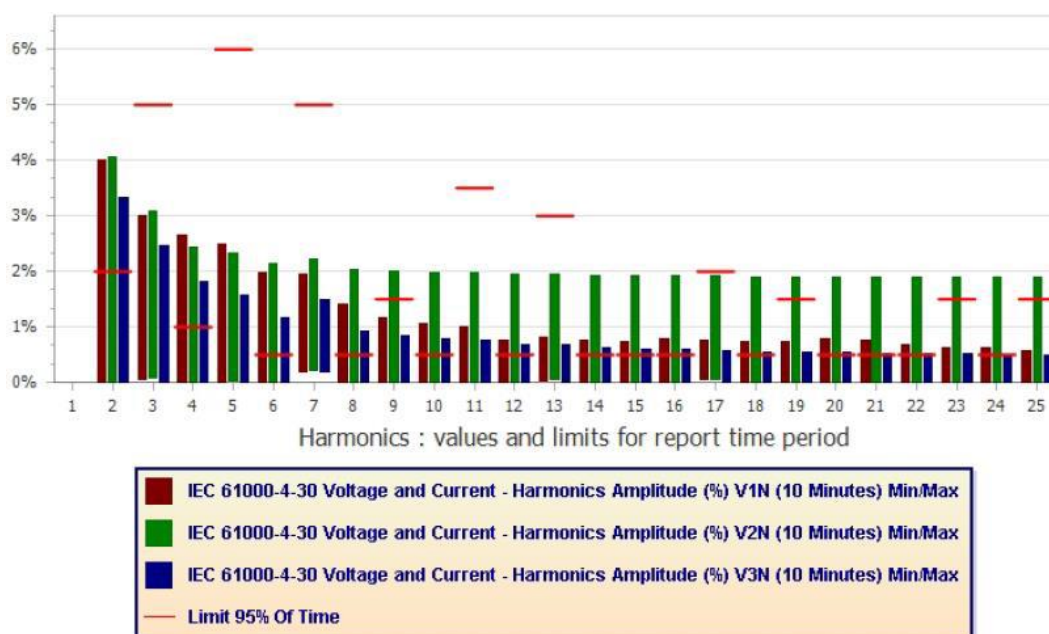
На дијаграму на слици 6 види се да велики број хармоника различитог реда прелази дозвољене границе (приказани у одељку 2.2.1).

Мерењем је утврђено да се у периоду мониторинга прелазе дозвољене границе фликера у различитим временима мониторинга. Дозвољена максимална вредност фликера је мања или једнака 1.

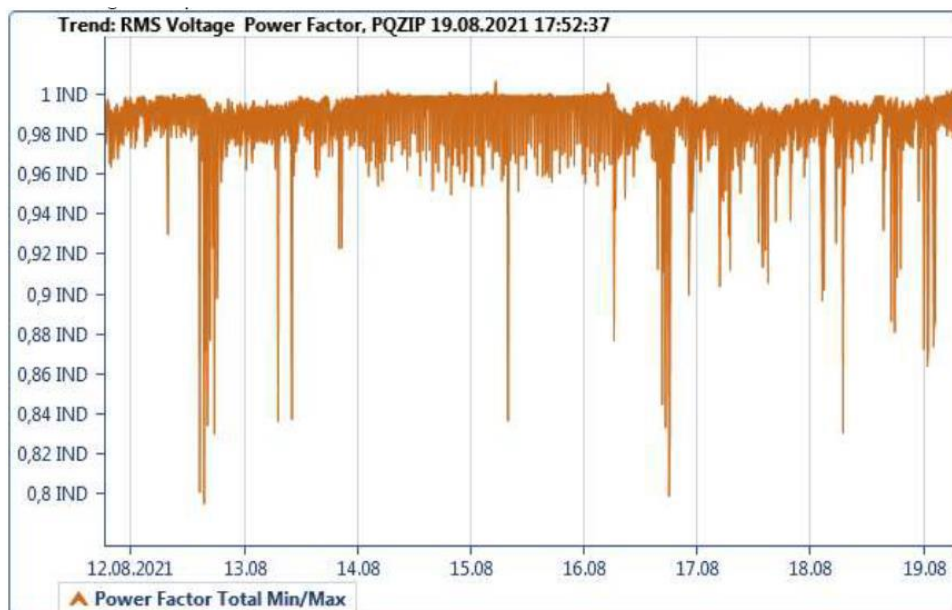
Закључак за мерење THD фактора, са граничном вредношћу од 8% јесте да су мерене вредности изнад дозвољене границе у различитим временима мониторинга.

Дијаграм на слици 7 представља мерење фактора снаге, цосф. Са дијаграма се уочава да је фактор снаге цосф у различитим временима мониторинга испод границе дефинисане УПП.

Са дијаграма мерења хармоника, фликера, THD и цосф се може закључити да постоји негативан утицај рада погона КДС на ДЕЕС. Потребно је да КДС регулише производни процес тако да наведени фактори квалитета електричне енергије не прелазе унапред дефинисане и дозвољене границе.



Слика 6 - Хармоници напона од 2. до 25. са означеним дозвољеним границама за сваки хармоник

Слика 7 - Фактор снаге $\cos\phi$

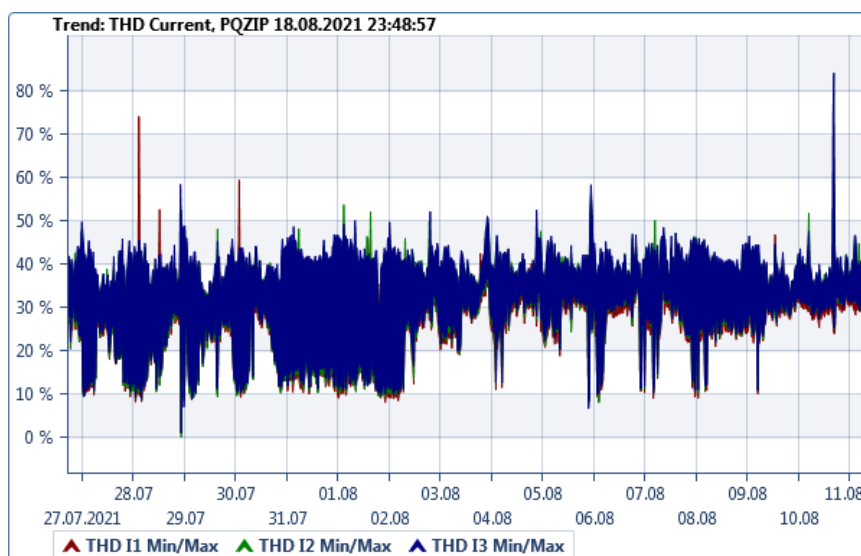
2.3.3 Мерења дисторзија струје. Аутори су желели да у оквиру овог рада дају и напомену о резултатима лабораторијских мерења која су вршена у сврху утврђивања утицаја струјне дисторзије на мерења индукционих бројила, [8]. Наиме, испитивањем описаним у [8], установљено је да бројило врло брзо излази из класе тачности након што струјна дисторзија пређе 50%. Грешке мерења бројила се тада крећу од (3-5)%. Нажалост, у оквиру усвојене законске регулативе у области електроенергетике није дефинисана граница дозвољеног изобличења таласног облика струје, THD струје. Аутори су мишљења да би било добро размотрити увођење струјне дисторзије КДС у законску регулативу, чиме би се употпунило регулисање утицаја КДС на ДЕЕС. Потреба за тим се очитује и на овом конкретном примеру. Наиме, дијаграми са резултатима мерења THD струје, показују

да је THD струје у првом интервалу мерења у више махова прелази 50%, слика 8, док је у другом интервалу све време мерења између 10% и 50%. Стога је јасно да КДС „Фабрика чоколаде“, са оваквим таласним облицима струје, свакако има неповољан утицај на мрежу ДЕЕС и да је упитна тачност његовог обрачунског мерења.

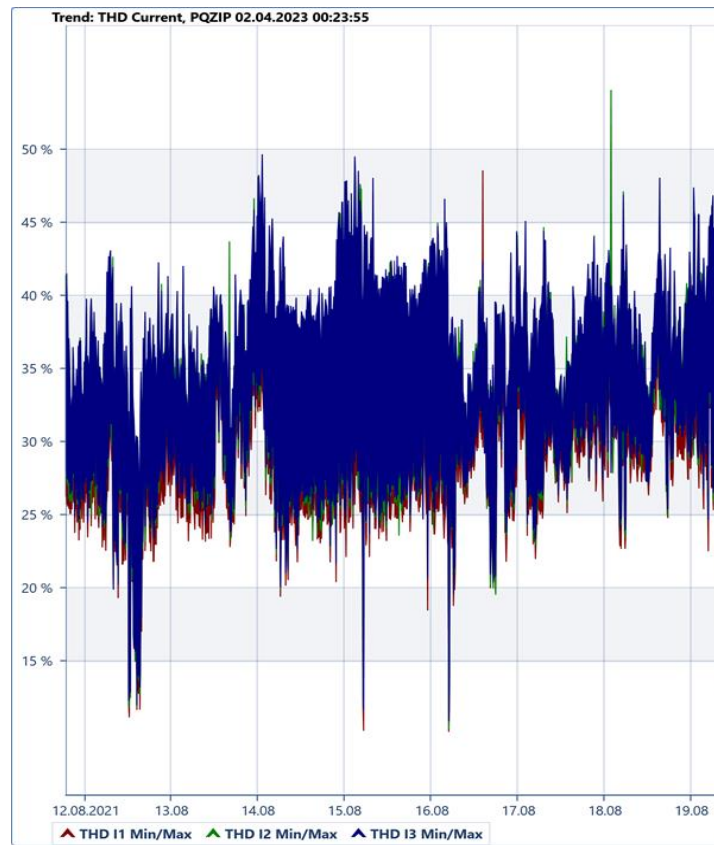
На слици 8 дато је THD струје за интервал првог мерења 26.7.2021. – 11.8.2021.

На слици 9 је приказан THD струје за интервал другог мерења 11.8.2021.-19.8.2021.

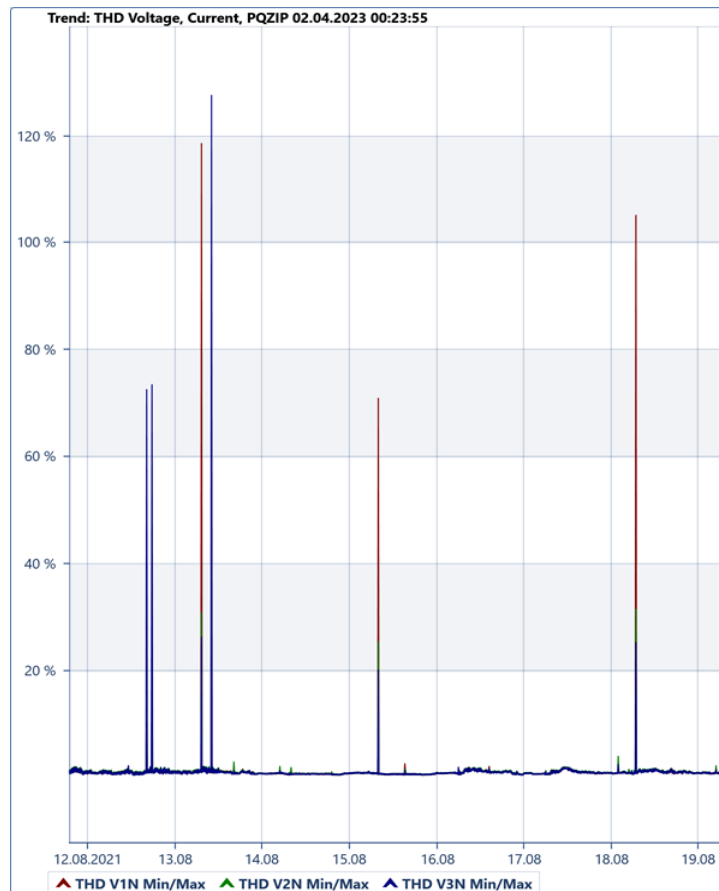
На слици 10 је дата THD напона где се могу уочити ниске вредности THD напона. Слика 11 представља увећани део (zoom) слике 10 у интервалу од 13.08. у 10.00 ч. до 15.08. у 07.00 ч.



Слика 8 - THD струје – први интервал мерења



Слика 9 – THD струје – други интервал мерења



Слика 10 - THD напона



Слика 11 - THD напона - *zoom* временског интервала 13.08. 10.00 ч.-15.08. 07.00 ч. (дато је увећање временског интервала слике 10 – од 12.08. до 19.08)

2.3.4 Фактор корекције. Ако се пође од основних дефиниција дисторзија напона и струја, уз одређене усвојене претпоставке, може се закључити да је оправдан фактор корекције дат у последњем изразу у [8], јер ако су хармоници струје и напона присутни, тада се струје и напони могу изразити на следећи начин:

$$v(t) = \sum_{k=1}^{\infty} U_k \sin(k\omega_0 t + \delta_k) , \quad (1)$$

$$i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} I_k \sin(k\omega_0 t + \theta_k) . \quad (2)$$

Средње квадратне (ефективне) вредности (*Root Mean Square*) напона и струје су:

$$U_{rms} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{U_k^2}{2}} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} U_{krms}^2} , \quad (3)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{I_k^2}{2}} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_{krms}^2} . \quad (4)$$

Средња снага је дата као:

$$P_{avg} = \sum_{k=1}^{\infty} U_{krms} I_{krms} \cos(\delta_k - \theta_k) = P_{1avg} + P_{2avg} + P_{3avg} + \dots , \quad (5)$$

где се види да сваки хармоник одступа од вредности средње снаге у минусу или плусу. Ефекат хармоника се може видети и објаснити преко активне и реактивне снаге:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) I(t) dt = \frac{U_{m1} I_{m1}}{2} \cos \theta_1 + \frac{U_{m2} I_{m2}}{2} \cos \theta_2 + \dots , \quad (6)$$

$$Q = \frac{U_{m1} I_{m1}}{2} \sin \theta_1 \quad (7)$$

Тотална хармонијска дисторзија напона је:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_{krms}^2}}{V_{1rms}} 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_k^2}}{V_1} 100\% . \quad (8)$$

Тотална хармонијска дисторзија струје је:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_{krms}^2}}{I_{1rms}} 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1} 100\% . \quad (9)$$

Ефективне вредности напона и струје су:

$$U_{rms} = U_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_U}{100}\right)^2} , \quad (10)$$

$$I_{rms} = I_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2} . \quad (11)$$

Фактор снаге је:

$$pf_{true} = \frac{P_{1avg}}{U_{1rms} I_{1rms} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_U}{100}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} , \quad (12)$$

уз услове:

$$P_{avg} \approx P_{1avg} , \quad (13)$$

$$THD_U \leq 10\% , \quad (14)$$

$$U_{rms} = U_{1rms} . \quad (15)$$

Фактор снаге у нелинеарним режимима је:

$$pf_{true} = \frac{P_{1avg}}{U_{1rms} I_{1rms}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} = pf_{disp} \cdot pf_{dist} , \quad (16)$$

$$pf_{true} \leq pf_{dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} . \quad (17)$$

У (1) до (17), употребљене ознаке имају следећа значења:

pf_{true} – фактор снаге у несинусном окружењу

pf_{dist} – дисторзиони фактор снаге

pf_{disp} – фактор снаге померања

(displacement power factor)

Израз (17) је фактор корекције који се може користити у системима обрачуна, где се код овог КДС може уочити изразит пораст THD струје и самим тим оправдан захтев за пенализацију.

3. ЗАКЉУЧАК

На основу мерења параметара квалитета електричне енергије и рекламације КДС на одређене параметре квалитета може се закључити да је на месту предаје електричне енергије (20 kV обрачунско мерно место) ефективна вредност напона у оквирима техничких прописа дефинисаним кроз обавезујућу регулативу у области електроенергетике;

На основу анализе резултата мерења и уочених догађаја закључено је да КДС у свом погону треба да сагледа карактеристике технолошких процеса, техничке особине погона и електричне инсталације, како би се постигла већа поузданост и стабилност процеса, на шта указују и важећи прописи дефинисани кроз обавезујућу регулативу у области електроенергетике и услови дефинисани у УПП;

Вредности мерења фактора снаге (испод 0,95) указују на неопходност ревизије компензације, односно довођење фактора снаге КДС до назначене вредности (дефинисано у издатим условима УПП). У оквиру законске регулативе размотрити увођење $THD_{I_{max}}$ за КДС.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В.Катић, А.Токић, Т. Коњић Квалитет електричне енергије, EU TEMPUS PROJECT CD ЈЕР-18126-2003, Нови Сад, јун 2007. ;
- [2] Правила о раду Дистрибутивног система, „ЕПС Дистрибуција Београд“ д.о.о Београд, јул 2017, стране 12 и 13;
- [3] Закон о енергетици, „Службени гласник РС“, бр. 145/2014, Члан 135, став 1;
- [4] Закон о енергетици „Службени гласник РС“, бр. 145/2014, Члан 136.
- [5] СРПС ЕН 50160:2012, 4.2.5. стр. 15, Институт за стандардизацију Републике Србије (2012)
- [6] Уредба о условима испоруке и снабдевања електричном енергијом „Службени гласник РС“, бр. 63/2013 и 91/2018.
- [7] Правилник о техничким нормативима за електричне инсталације ниског напона, Службени лист СФРЈ бр. 53/88, 54/88, 28/95
- [8] R.Milankov, M. Radić, Active energy measuring and harmonics, ICHQP, 16th International conference on harmonics and quality of power, Bucharest, Romania, 25. – 28. May, 2014

БИОГРАФИЈЕ



Милица Поробић - Факултет техничких наука у Новом Саду завршила фебруара 2001. године, смер електроенергетика. Радни однос у тадашњој „Електровојводи“ започиње 2005. године у Сектору управљања. 2010. године је ангажована на пројекту „Smart City“, аутоматизација средњенапонске мреже, за исти систем је и даље одговорна. Аутор је и коаутор више радова на тему управљања дистрибутивним системом. Члан СТК 3, ЦИРЕД Србија. Удата, мајка троје деце.



Радислав Миланков - 1959 год. Александрово, Основна школа „Ђура Јакшић“ Српска Црња, Гимназија природно-математичког смера Српска Црња, Електротехнички факултет Београд, Електродистрибуција Београд,

Огранак Зрењанин Погон Кикинда, Шеф Службе Управљања. Аутор неколико награђиваних радова на домаћим саветовањима CIGRE и CIREД, рад на Саветовању CIREД Stockholm 2013, рад на Саветовању ICHQP Bucharest 2014, члан СТК2, SCADA системи, релејна заштита, квалитет електричне енергије. Ожењен, отац једне ћерке.



Драган Цветинов - Факултет техничких наука - електротехнички одсек, смер енергетика уписао 1977. године, а дипломирао 1983. године. Запослио се 1985. године у ЈП „Електровојводина“, „Електродистрибуција“ Нови Сад у Сектору за експлоатацију у којем је радио у Служби одржавања ТС 110(35)/х kV, а након тога у Сектору за експлоатацију Управе предузећа и напослетку у Сектору за управљање „Електродистрибуције Нови Сад“. У неколико мандата је био члан СТК групе за експлоатацију у оквиру CIREД Србија, за који је писао неколико радова. Такође, представљао је своју компанију са радовима на симпозијуму DA/DSM у Берлину 2000. године и на огранку IEEE у Бразилу 2002. године. Пензионисан је 2023. године.



Ратко Роган – Након завршене Гимназије у Зрењанину - смер природно-математички, дипломирао на Факултету техничких наука у Новом Саду, смер електроенергетика. У Електродистрибуцији Србије обављао више значајних функција: Координатор, Директор сектора општих послова, тренутно запослен као Директор сектора управљања- Главни диспечерски центар при Дирекцији за управљање ДЕЕС. Члан СТК6 у оквиру ЦИРЕД Србија за који је као аутор и коаутор писао више радова. Такође и члан скупштине ЦИРЕД. Ожењен, отац троје деце.

Milica Porobić¹, Radislav Milankov¹, Dragan Cvetinov³, Ratko Rogan⁴

Analysis of Delivered Power to the Customer "Barry-Callebaut - Chocolate Factory Novi Sad"

¹ DSO Elektro distribucija Srbije“ d.o.o. Belgrade, DEPS Control Department, Serbia² DSO Elektro distribucija Srbije“ d.o.o. Belgrade, ED Zrenjanin Branch, Srbija*³ DSO Elektro distribucija Srbije“ d.o.o. Belgrade, ED Novi Sad Branch, Srbija⁴ DSO Elektro distribucija Srbije“ d.o.o. Belgrade, NDDC, Srbija

Category of article: Professional paper

Highlights

- Reasons of complaints of end-users of the distribution system
- Measurement of the desired parameters of the quality of electricity
- Analysis of measured values and consideration of the causes of events
- Mutual influences between the end-user and the distribution power system

Abstract

The Distribution System Operator "Elektro distribucija Srbije" (DSO), when issuing Design and Connection Conditions (DCC) to the users of the distribution system (UDS) under paragraph 4 of those Conditions, clearly defines the basic technical data on the distribution electric power system (DEPS) at the user's connection point. With this data, industrial UDS receives information about the technical characteristics of the settings in DEPS according to which it adjusts its production processes. Otherwise, the production process will be sensitive to the delivery of electricity of technical characteristics defined through DCC.

In the operational management of DEPS, UDS complaints about the quality of delivered electricity occur. Professional services of DSO, after filing a complaint, install an electricity quality analyzer of high technical performance, at the point of connection to UDS. The goal is to obtain a technically high-quality analysis that will determine the causes of the production process stoppage problem at UDS.

This paper aims to present an example from practice in the distribution area "DA Novi Sad" in the area of the branch "Elektro distribucija Novi Sad", where UDS "Barry-Callebaut-chocolate factory Novi Sad" filed a complaint about the quality of electricity. The results of the monitoring of the delivered electricity are presented in this paper.

Keywords

Power quality, Customer's complaint, Measurement analysis

Received: April 6th, 2023Reviewed: July 3rd, 2023Modified: July 10th, 2023Accepted: July 28th, 2023

*Corresponding author: Radislav Milankov

E - mail: Radislav.Milankov@ods.rs

Note:

This article represents an expanded, improved and additionally peer-reviewed version of the paper "Analysis of Delivered Power to Customer Barry-Callebaut - Chocolate Factory Novi Sad", awarded by Expert Committee EC-2 Power Quality in Power Distribution Systems at the 13th CIRED Serbia Conference, Kopaonik, September 12-16, 2022

УРЕЂИВАЧКА ПОЛИТИКА И ТЕМАТСКЕ ОБЛАСТИ ЧАСОПИСА

При поновном покретању издавања часописа „Електропривреда“, одлучено је да он има научно-стручни карактер и да буде припреман и публикован по новој, широј концепцији и двојезично, на српском и енглеском. При томе ће на енглеском језику бити објављивани само они рукописи за које аутори из Србије и региона искажу такву жељу, а рецензенти и Уредништво процене да имају одговарајући допринос и да би могли бити од интереса и за читалачку публику ван српског говорног подручја. Часопис је, наравно, отворен и за рукописе страних аутора чији су оригинали на енглеском језику. Уз сагласност ових аутора, одобрени рукописи ће бити превођени и објављивани и на српском језику. На српском језику доступне су ћирилична и латинична верзија објављених чланака.

Часопис се, по правилу, издаје два пута годишње, искључиво електронски (*on line*). Часопис је отвореног приступа (*Open Access*), при чему је објављивање прихваћених рукописа бесплатно, без било каквих финансијских обавеза аутора. Са друге стране, такође нема ни финансијских обавеза Издавача према ауторима, како пријављених рукописа, тако ни објављених чланака.

Садржај рукописа пријављеног за објављивање у Часопису мора бити оригинално дело аутора и не сме бити већ објављен или јавно представљен (нити објављен или представљен у међувремену, пре првог објављивања у „Електропривреди“), било где у свету, у било ком облику. Ово правило се неће примењивати на рукописе пријављене за посебна, специјална издања Часописа, која буду посвећена већ презентованим, изабраним радовима са партнерских конференција, при чему такав рукопис мора бити проширен најмање 30% у односу на презентовани конференцијски рад, унапређен и додатно рецензиран по истој процедури као и рукописи пријављени за редовна издања Часописа.

У Часопису се објављују само они рукописи који добију најмање две позитивне рецензије од стране реномираних експерата у области на коју се рукопис односи, односно већину позитивних рецензија, у случају ангажовања већег броја рецензента.

Часопис прихвата на разматрање рукописе и објављује радове научно-истраживачког и стручног карактера, а посебно рукописе/радове у областима:

- нових технологија за обезбеђивање, обраду и коришћење примарних енергената,
- производње, преноса и дистрибуције електричне енергије,
- складиштења и конверзије електричне и топлотне енергије,
- рационалне потрошње електричне и топлотне енергије,
- развоја обновљивих извора енергије,
- информационих и телекомуникационих система,
- организације рада електроенергетског система,
- заштите животне средине,
- ревитализације електроенергетских објеката,
- проналазаштва и иновација,
- реструктурирања и приватизације у енергетском сектору,
- тржишта електричне енергије,
- примене правне регулативе Европске уније у области енергетике и
- других сродних области.

Часопис је замишљен као платформа и алат за приказивање искустава, конструктивно исказивање и сучељавање ставова, стручне дискусије експерата из струке и праксе и из научно-истраживачких институција и иновативних центара. Наиме, отворена размена њихових мишљења и искустава, по питањима стратешког развоја и одређивања за нове технологије може допринети изналажењу адекватних и оптималних техничко-технолошких, правно-економских и организационо-пословних одговора на све изазове декарбонизације, дигитализације и транзиције електроенергетике ка одрживом развоју.

У име Уредништва,

др Владимир Шилкут
главни и одговорни уредник

КАТЕГОРИЗАЦИЈА (РАНГИРАЊЕ) РУКОПИСА

Приликом прегледа рукописа и попуњавања Извештаја о томе, рецензенти предлажу, а Уредништво – у случају прихватања рукописа за објављивање – утврђује његову категорију (ранг). Категоризација (рангирање) рукописа врши се према *Правилнику о категоризацији и рангирању научних часописа* („Службени гласник РС“, бр. 159 од 30.12.2020.) и овде приложеној табели:

Научни чланци:	
Оригинални/изворни научно-истраживачки рад	Рад у коме се износе претходно необјављивани резултати сопствених истраживања научним методом
Прегледни рад	Рад који садржи оригиналан, детаљан и критички приказ истраживачког проблема или подручја у коме је аутор остварио одређени допринос
Кратко или претходно саопштење	Оригинални научни рад пуног формата, али мањег обима или прелиминарног карактера
Научна критика, односно полемика и осврти	Расправа на одређену научну тему заснована искључиво на научној аргументацији и коришћењем научне методологије
Стручни чланци:	
Стручни рад	Прилог у коме се нуде искуства корисна за унапређење професионалне праксе, али која нису нужно заснована на научном методу
Информативни прилог	Уводник, коментар и сл.
Приказ	Приказ књиге, рачунарског програма, случаја, научног догађаја и сл.
Стручна критика, односно полемика и осврти	Расправа / дискусија на одређену стручну тему

Први А. Аутор¹, Други Б. Аутор², Трећи В. Аутор³, ...



Упутство за припрему радова - наслов рада (НЕ ВИШЕ ОД ЧЕТИРИ РЕДА)

¹ Афилијација првог аутора - институција, град, земља*

² Афилијација другог аутора - институција, град, земља (ако се разликује од 1)

³ Афилијација трећег аутора - институција, град, земља (ако се разликује од 1,2)

...

Категорија рада: (уноси Редакција)

UDK: (уноси Редакција)

Кључне поруке

- У највише четири кратке ставке/bullets треба изложити кључне аспекте и поруке рада
- Реченице ових ставки морају бити кратке, језгровите, помоћни глаголи могу бити изостављени
- Нпр: Упутством сагледани структура и обликовање рада за публикување

Кратак садржај

Кратак садржај рада треба да садржи сажет опис проблема, примењене методе и закључке. Он је есенцијални део рада и треба да буде јасан и концизан. Кратак садржај треба да буде информативан, дајући преглед проблематике, поступка и главних закључака, резултата и њиховог значаја. Не треба писати у првом лицу, не наводити референце и једначине и избегавати скраћенице. Не треба да садржи више од 300 речи (на српском) до 350 (на енглеском, укључујући и одређене и неодређене чланове испред именица).

Кључне речи

Навести до максимално шест кључних речи, одвојених међусобно запетама

Примљено: (уноси Редакција)

Рецензирано: (уноси Редакција)

Измењено: (уноси Редакција)

Одобрено: (уноси Редакција)

*Кореспондирајући аутор: (име и презиме, телефон)

E - mail:

1. УВОД

У часопису "Електропривреда" се објављују категорисани чланци: оригинални научни радови, претходна саопштења, прегледни и стручни радови из области електропривреде и енергетике.

Сви радови подлежу рецензији. За оригиналност рада, квалитет и веродостојност резултата одговорни су искључиво аутори. Предајом рада аутори прихватају сва правила наведена у овом Упутству.

Овај документ садржи упутства за припрему радова. Моле се аутори да се у припреми радова у потпуности придржавају овог Упутства како би се избегли проблеми при штампању рада.

Документ је узорак за *Microsoft Word* (верзија 7 и виша) и уједно је и пример жељеног изгледа рада. У њему су садржане све потребне информације о формату рада, типу и величини фонтова, као и правила која објашњавају поступке у вези са једначинама, мерним јединицама, сликама, табелама и осталим деловима рада.

Комплетан рад који садржи рукопис, табеле, графиконе, цртеже, фотографије и пуна имена и презимена аутора са афилијацијама треба доставити постављањем он лине на Апликацију за руковање рукописима, доступну на веб-сајту Часописа, <https://epijournal.eps.rs/prijava> или, алтернативно, слањем на е-маил адресу: epijournal.editor@eps.rs. Обим рада је највише десет страна (не рачунајући списак литературе и наслов, кључне поруке, кратак садржај и кључне речи на енглеском језику), осим у случајевима прегледних радова и специјалних издања Часописа са проширеним награђеним радовима са конференција, у ком случају број страница није ограничен, али се препоручује да буде до 16.

Оригинал рада треба да буде презентован у формату A4 (210x297) mm. Текст рада треба да буде поравнат по обе маргине. Све маргине треба да буду подешене на 2 cm. Текст рада треба да буде урађен са *single* проредом. Рад може бити написан на српском или енглеском језику. (Уредништво одлучује који радови ће бити преведени и на други језик, како би били доступни што већем скупу читалаца.) Величина фонтова за поједине делове текста је као у овом Упутству. У раду треба избегавати целовита математичка извођења. Неопходна извођења могу се дати, по потреби, као целине, у виду једног или више прилога.

Овај документ може се директно преузети са веб адресе <https://epijournal.eps.rs> и користити као подлога за припрему рукописа, једноставним уношењем делова текста рада на одређена места у овом документу.

Препорука је да текст рада почне уводом у коме се формулишу проблем и задатак рада. Даје се преглед и коментар коришћене литературе из наведене области и указује на позицију и допринос рада у односу на наведену литературу.

2. НАСЛОВ ПОГЛАВЉА (на пример: ПРИПРЕМА ТЕКСТА)

Ради веће јасноће текст рада треба поделити на поглавља и потпоглавља. Поглавља и потпоглавља треба нумерисати арапским бројевима, потпоглавља бројевима раздвојеним тачком. Наслове поглавља и потпоглавља од текста пре и после наслова одвојити једним празним редом. Треба избегавати прелом текста на наслову или поднаслову у тексту.

2.1 Нивои потпоглавља

Са потпоглављима није пожељно ићи ниже од другог нивоа, на пример 2.1, 3.3 и сл.

2.1.1 Трећи ниво потпоглавља. Дозвољен је само изузетно, уколико доприноси методолошкој и генералној јасноћи текста рада и пише се, као и наслови потпоглавља, болдираним малим словима, али се завршавају тачком, након које, у наставку тог реда и писана нормалним фонтом, почиње прва реченица тог потпоглавља.

2.2 Позиционирање табела и графичких прилога

Табеле, слике и графици могу, по потреби, да буду у једној или преко обе колоне. Све слике и табеле треба да буду постављене у текст близу, али никако испред, места у тексту на коме се први пут помињу. Слике и табеле у прилозима треба да буду означене на исти начин као у тексту рада.

2.3 Прва страна

На средини прве стране наводи се наслов рада **bold** словима величине 16, типа *Times New Roman*. Испод наслова наводе се пуна имена и презимена аутора словима величине 11. Испод имена и презимена наводе се афилијације аутора, словима величине 10. После навођења података о ауторима, на првој страни се наводе кључне поруке рада, резиме рада и кључне речи, словима величине 11.

Уколико је рад писан и за објављивање одобрен само на српском језику, после садржаја описаног у претходном пасусу, у коначној верзији рада за публикување наводе се и наслов рада, кључне поруке, резиме рада и кључне речи на енглеском језику.

Уколико је рад писан на енглеском језику и одобрен за објављивање, у целости се преводи и објављује и на српском језику, у идентичном форматирању.

Уколико је рад писан на српском језику и одобрен за објављивање на оба језика, у целости се преводи и објављује и на енглеском, у идентичном форматирању.

У доњем левом углу прве стране треба дати пуне податке потребне за остварење контакта са првим аутором рада.

Све ово се једноставно реализује коришћењем датог модела прве стране једноставним уношењем предвиђеног текста на за то предвиђена места у Упутству.

2.4 Поднаслов (на пример: Текст рада)

Текст рада се једноставно уноси уместо текста Упутства у овај формат уношењем или копирањем делова текста који су урађени у складу са овим упутством на за то предвиђене места у Упутству.

2.5 Једначине

Једначине треба поставити на средину текста и нумерисати их арапским бројевима у малим (округлим) заградама уз десну маргину текста. За једначине треба користити математички софтвер (*Microsoft Equation Editor for MS Word* или *MathType*). На пример:

$$I_F = I_B = -I_C = \frac{-J\sqrt{3}E_A}{Z_1 + Z_2} \quad (1)$$

Једначине треба одвојити од текста пре и текста после размаком од 6 поинта. Символи који се користе у једначини морају бити дефинисани пре него што се појаве у једначини или непосредно после једначине. Позивање на неку једначину у тексту врши се навођењем броја једначине у малој загради (1). Ако се реченица почиње позивом на једначину тада користити „Једначина (1) је ...“.

2.6 Табеле

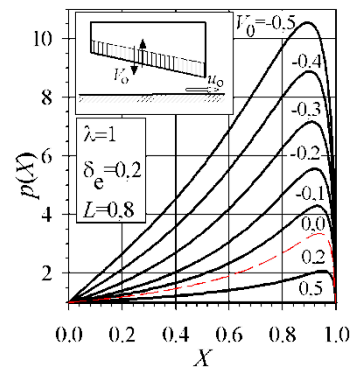
Табеле треба да буду убачене у текст на местима где се први пут помињу или непосредно после. Треба да буду означене означене римским бројевима, а број и назив табеле треба да буду изнад табеле. На пример:

Табела И Трајање симулација и заузеће меморије

ИСЦАС	ЦПУ време [с]	заузеће меморије [МБ]
ц17	2	3.9
ц432	62	68.7
ц880	160	152.6
ц1355	283	178.8

2.7 Сlike

Сlike треба да буду брижљиво припремљене и унесене у текст на предвиђено место. Број и назив сlike морају бити испод сlike. Бројеве сlike означавају арапским бројевима. Ради бољег разумевања избегавати прекомерне информације на сликама. Сви коментари који се односе на сlike треба да се налазе у заглављу. Куцане ознаке треба да буду изабране пажљиво да би се обезбедила јасноћа. Покушати да се осе на сликама опишу и речима, не само симболима. На пример, боље је написати **време t**, него само **t**. Ознаке за мерне јединице треба ставити у заграде.



Слика 1. Опис сlike

3. ЗАКЉУЧАК

Иако закључак треба да садржи преглед кључних резултата рада, у њему не треба понављати део наведен у Кратком садржају. Закључак може да објасни значај рада или предложи могуће примене остварених резултата и да смернице за даља истраживања проблематике третиране у раду.

ЗАХВАЛНИЦА

Захвалнице за спонзорство, финансирање или помоћ у раду, ако их има, треба да буду као посебан, нумерисан део пре списка литературе. У наслову користити јединину и када има више захвалница.

ЛИТЕРАТУРА

Списак коришћене литературе треба да буде на крају рада у посебном, нумерисаном делу. Референце се нумеришу арапским бројевима у средњим (угластим) заградама, по редоследу цитирања у тексту рада. При навођењу, обратити пажњу на то да референце буду тачне и комплетне, тј. да потпуно описују изворе података.

Све наведене референце морају бити директно цитиране у самом тексту рада навођењем броја референце у средњој (угластој) загради. Не ограничавати се само на навођење својих референци, већ навести и релевантне референце из посматране области.

У наставку се дају примери начина навођења литературе: рад објављен у часопису [1], књига [2], поглавље у књизи више аутора [3], рад објављен у зборнику радова са конференције [4] и чланак преузет са веб сајта [5].

- [1] Šiljak D. D, Stipanović D. M, “Robust stabilization of nonlinear systems - the LMI approach”, *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 6, No. 5, pp. 461-493, 2000.
- [2] Марковић З., „Гранична стања челичних конструкција према еврокоду“, Академска мисао, Београд, 2014.

- [3] Deavours D., "UHF RFID antennas", in: Bolić M. (Ed.), *RFID systems - research trends and challenges*, Ch. 3, Wiley, New York, 2010.
- [4] Ocokoljić G., Živković S., Subotić S., "Aerodynamic coefficients determinations for the ATM model with lateral jets simulation - experimental and numerical methods", *Proc. 4th International scientific conference on defensive technologies OTEH 2011*, Belgrade, Serbia, pp. 17-22, 6-7 October 2011.
- [5] Вукић Б., „Друштвене игре за високопозициониране пословне људе“ [Internet]. Beograd; Novi Sad: Adizes Southeast Europe; 2010 [citirano 19.03.2012]. Dostupno na: <http://www.asee.rs/?page=142&oi=69>

ДОДАТАК (ПРИЛОГ) 1

Додаци, уколико су неопходни, треба да буду наведени после Литературе. Ако их има више, треба да буду нумерисани арапским бројевима. У случају да прилози садрже табеле или слике, они се нумеришу словом „А“ иза кога следи тачка и редни број (и то: за табеле римски, од „I“ надаље, редом јединствено за све прилоге; а за слике арапски, од „1“ надаље, јединствено за све прилоге).

ДОДАТАК (ПРИЛОГ) 2

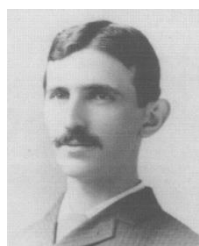
У зависности од њиховог садржаја, прилози могу бити форматирани двостубачно или једностубачно. У случају када то читаоцу омогућава бољу прегледност, слике и табеле у прилозима могу бити заротиране улево за 90°.

Табела А.1 Назив прве табеле у Прилогу

Заглавље	Колона 1	Колона 2	Колона 3	Колона 4	Колона 5	Колона 6	Колона 7
Ред 1							
Ред 2							
Ред 3							
Ред 4							
Ред 5							
Ред 6							

БИОГРАФИЈЕ

Треба дати кратку биографију за сваког аутора. Почети именом и презименом аутора и дати његову кратку, претежно стручну биографију. Треба укључити и фотографију аутора. Пример биографије је дат у наставку.



Никола Тесла је рођен у Смиљану у Аустријском царству, 9. јула 1856. Завршио је Аустријску политехничку школу у Грацу и студирао на Универзитету у Прагу. Његово радно искуство укључивало је *American Telephone Company*, Будимпешта, *Edison*

Machine Works, *Westinghouse Electric Company* и *Nikola Tesla Laboratories*. Његова посебна поља интересовања су биле области високих фреквенција. Тесла је добио почасне дипломе од институција високог образовања

укључујући Универзитет Колумбија, Универзитет Јејл, Универзитет у Београду и Универзитет у Загребу. Добио је медаљу *Elliott Cresson* Института Френклин и Едисонову медаљу IEEE. Године 1956. термин "тесла" (Т) је усвојен као јединица за густину магнетног флукса у систему MKSA. 1975. године Електроенергетско друштво (*Power Engineering Society*) је установило награду Никола Тесла у његову част. Тесла је преминуо 7. јануара 1943. године.

Аутори су обавезни да Редакцији часописа приликом доставе рада доставе и потписану Изјаву о ауторству и оригиналности рукописа, чији се образац може преузети са сајта Часописа,
<https://epijournal.eps.rs>.

First A. Author¹, Second B. Author², Third C. Author³, ...



Instructions for the preparation of article - the title of the article

(NOT MORE THAN FOUR LINES)

¹ Affiliation of the first author - institution, city, country*

² Affiliation of the second author - institution, city, country (if differs from 1)

³ Affiliation of the third author - institution, city, country (if differs from 1, 2)

...

Category of article: (Editor's input)

UDK: (Editor's input)

Highlights

- Key aspects and messages of the work should be presented in a maximum of four short items/bullets
- The sentences of these items must be short, concise, auxiliary verbs can be omitted
- E.g.: The structure and design of work for publication are considered by the instruction

Abstract

The Abstract of the article should contain a concise description of the problem, applied methods and conclusions. It is an essential part of the article and should be clear and concise. The Abstract should be informative, giving an overview of the issues, the procedure and the main conclusions, results and their significance. Do not write in the first person, do not list references and equations, and avoid abbreviations. It should not contain more than 300 words (in Serbian) to 350 (in English, including definite and indefinite articles before nouns).

Keywords

Specify up to six keywords, separated by commas

Received: (Editor's input) Reviewed: (Editor's input)

Modified: (Editor's input) Accepted: (Editor's input)

*Corresponding author: (name, phone)

E - mail:

