

Владимир М. Шилјут*



Изазови и могућности дугорочног развоја и декарбонизације „Електропривреде Србије”

¹ Акционарско друштво „Електропривреда Србије” Београд

<https://doi.org/10.18485/epij.2025.3.1.1>

Прегледни рад

Кључне поруке

- Преглед најновије литературе о декарбонизацији, транзицији и циркуларној економији
- Предлог модела декарбонизованог електроенергетског система на примеру Србије
- Могућности и изазови за диверсификацију енергената и примену нових технологија
- Предлог начина трансфера знања у енергетском сектору из академског домена у домен индустрије/привреде

Кратак садржај

Загађење животне средине и трошење ресурса за рад и развој индустрије и националних економија учинило је неминовним изналажење техничко-технолошких решења која ће омогућити одрживи развој у будућности. Декарбонизација, циркуларна економија и диверсификација енергената се стога намећу као решење. И у (електро)енергетском сектору оне подразумевају енергетску транзицију, првенствено од садашњег масовног коришћења фосилних горива ка еколошки прихватљивијим примарним енергентима, уз повећање енергетске ефикасности којим би се обухватило и повећање обима коришћења отпадне топлоте и отпадних материја у процесима производње топлотне и електричне енергије. Декарбонизација, међутим, отвара низ сложених питања и проблема; од техничко-технолошких и економско-финансијских – начина, динамике и цене спровођења тог дугорочног процеса – до питања њене прихватљивости, праведности и потребе стицања одговарајућих знања и свести. На примеру Србије, њеног електроенергетског система (ЕЕС) и „Електропривреде Србије” (ЕПС) показује се да је потребно постепено, током неколико деценија, успоставити такав производни микс који би био заснован и ослоњен на различите еколошки прихватљиве енергенте и на нове технологије, који ће бити не само изводљив и одржив на дуги рок него и технички, финансијски и економски оптималан за српске услове и прилике, као и друштвено прихватљив. Осим тога, тај микс мора омогућити профитабилан рад ЕПС-а уз истовремену способност да обезбеди стабилност и поузданост рада ЕЕС-а Србије, сигурност снабдевања крајњих корисника, највиши могући ниво енергетске независности и безбедности Републике Србије и задовољство крајњих корисника ЕЕС-а и запослених у ЕПС-у. При томе, у највећој могућој мери треба поштовати и примењивати принципе који ће водити ка повећању енергетске ефикасности, успостављању циркуларне економије и смањењу негативних утицаја на животну средину, као и на социјални аспект. Избор најпогоднијих и најпримеренијих нових технологија и конкретних техничких решења нових капацитета за производњу електричне и топлотне енергије убудуће треба да буде вршен на основу мишљења и закључака до којих ће доћи експерти из научних и стручних кругова, својим заједничким радом и синергијским деловањем.

Кључне речи

Декарбонизација, диверсификација, енергенти, енергетска ефикасност, енергетска транзиција, циркуларна економија

Примљено: 26. фебруар 2024.

Рецензирано: 13. март 2024.

Измењено: 27. март 2024.

Прихваћено: 18. април 2024.

* Владимир М. Шилјут, +381-64-897-46-72

E-mail: vladimir.siljkut@eps.rs

1. УВОД

Суочено са све већим загађењем животне средине и све бржим исцрпљивањем ресурса на којима се још увек у огромној мери заснива функционисање свеколике индустрије, националних економија и опстанак наше цивилизације, човечанство треба да прихвати неминовност изналажења техничко-технолошких решења која ће омогућити одрживи развој у будућности. Декарбонизација, циркуларна економија и диверсификација енергената се стога намећу као неминовност. И у самом енергетском сектору, укључујући и електроенергетику, оне подразумевају енергетску транзицију, првенствено од садашњег масовног коришћења фосилних горива ка еколошки прихватљивијим примарним енергентима, уз повећање енергетске ефикасности којом би се обухватило и повећање обима коришћења отпадне топлоте и отпадних материја у процесима производње топлотне и електричне енергије. На путу декарбонизације, међутим, отвара се низ сложених питања и проблема; од техничко-технолошких и економско-финансијских – начина, динамике и цене спровођења тог дугорочног процеса (која се мора упоредити с ценом непредузимања неопходних мера), до друштвених питања њене прихватљивости и праведности и потребе стицања одговарајућих знања и свести свих заинтересованих страна. Текст који следи има амбицију да се овим питањима позабави, почев од прегледа најновије светске литературе у овој области до анализе могућности и скицирања предлога како би ова транзиција могла да изгледа на примеру Србије, њеног електроенергетског система и највећег енергетског субјекта, Акционарског друштва „Електропривреда Србије” (ЕПС).

Током пола века глобализација је била покретачка снага у развоју светских економија, [1]. Поред позитивних ефеката, глобализација је изазвала и негативне последице: убрзане климатске промене, деградацију природних ресурса и повећане емисије штетних материја. Зато се у последњој деценији значај климатске политике и декарбонизације све више појављује на светској агенди. Поред тога, недавни геополитички догађаји, укључујући пандемију COVID-19, рат у Украјини и друге, додатно наглашавају важност „зелених” решења за опоравак и декарбонизацију економија. Чланак [1] указује на значај политике декарбонизације и идентификује могућност решавања еколошких и енергетских проблема изазваних глобализацијом.

Фосилна горива и даље учествују са око 64% у производњи енергије и са преко 80% у емисијама CO₂ које настају људском активношћу. Око 35 милијарди тона CO₂ годишње потиче од сагоревања фосилних

горива. У [2] се предлажу јединствена практична решења која би обезбедила глатку транзицију током декарбонизације, попут јачања мрежа и јачања интерконекција, затим стварања мањих и ефикаснијих микромрежа, побољшања енергетске ефикасности постојећих електроенергетских инфраструктура, одговарајуће краткорочне, средњорочне и дугорочне политике националних влада о енергији, улагања у технологије обновљивих извора, као што су сунце и ветар, у нуклеарне технологије, набавку система за складиштење енергије и друга улагања у технолошке погоне, уз транспарентност свих процедура због сузбијања корупције.

Глобални енергетски сектор пролази кроз период историјских промена у којима се дешава велика промена у изворима енергије, [3]. Енергетски сектор се помера ка одрживијој, еколошки прихватљивијој производњи и потрошњи свих извора енергије, [4]. Могућности и изазови глобалне енергетске транзиције превазилазе границе, јер се флукуације и недостаци расположиве и потребне енергије могу надокнадити само у регионалним и глобалним размерама, [3]. Напуштање фосилних горива (декарбонизација), као пут ка постизању климатске неутралности, подразумева масовно енергетско реструктурирање и нова улагања. Из глобалне перспективе, приоритет декарбонизације је постепено изbacивање угља из употребе. Оно што несумњиво карактерише 21. век јесу многе пилот и алтернативне технологије које имају велики потенцијал за декарбонизацију (тзв. мењачи игре), ниске цене фосилних горива (јер изостављају екстерне трошкове које намећу здрављу и животној средини), као и неопходност померања како на страни тражње тако и на страни понуде у привреди, како би се више користили обновљиви извори енергије (ОИЕ). Сходно томе, рад [3] анализира и истражује потенцијале три главна покретача реструктурирања енергетских система. То су:

- комбинација сигнала тржишних цена и цена CO₂;
- повећана употреба ОИЕ;
- брза диверсификација снабдевања енергијом коришћењем алтернативних технологија.

Истраживање [3] јесте хронолошки засновано на анализи глобалног енергетског система, при чему се истичу занемарени дебаланси на страни понуде и потражње енергије. Описно су објашњени извори енергије који данас снабдевају земље Европске уније (ЕУ), а анализа обухвата узроке и последице оваквог исхода. Да би се разумели главни покретачи глобалне декарбонизације, треба нагласити да, за разлику од сталних ресурса који су увек доступни, без обзира на облик људске активности усмерене на њих, ОИЕ имају моћ регенерације под условом да интензитет њиховог обнављања није угрожен обимом њихове употребе.

Стога, коришћење ових ресурса може бити временски ограничено упркос њиховој обновљивој природи. Сходно тој чињеници, [3] бави се анализом коришћења алтернативних извора, указујући на потребу диверсификације снабдевања енергијом у краткорочном и дугорочном периоду.

Климатске промене, друштвене и управљачке теме и теме у вези са заштитом животне средине, ESG (*Environment, Social, and Governance*), отварају важне дебате о изазовима у правцу енергетске транзиције, управљања широким спектром заинтересованих страна, као и предностима и могућностима које се одражавају на дугорочне изгледе једне компаније, узимајући у обзир бригу за животну средину, финансијске перформансе једног предузећа, отпорност на поремећаје и способност да одржи своје пословање и континуитет пословања током неповољних ситуација у одговарајућим и ефективним оквирима управљања. Захтевају се значајна улагања у инфраструктуру и технологију, као и сарадња више заинтересованих страна, укључујући владу, индустрију и међународну заједницу. Такође, важни су модели управљања и јасне мапе пута у вези са владиним политикама и подстицајима, како би она била успешна, [4].

У електроенергетици, декарбонизација и замена термоелектрана на угаљ соларним електранама и фармама ветрогенератора захтевају адекватно велике капацитете за складиштење енергије, како би се очувала флексибилност и стабилност рада електроенергетског система (ЕЕС), на које негативно утиче интермитентност производње из ових обновљивих извора. Ово је посебно важно за земље као што је Србија, у којој се готово 70% електричне енергије и даље обезбеђује из угља, и то нискокалоричног лигнита. При томе, у Србији је и даље на снази мораторијум на градњу нуклеарних електрана, па не постоји једнозначно решење другог, још озбиљнијег проблема – недостатка велике количине енергије за покриће базног дела дневног дијаграма оптерећења (потражње).

У сличној ситуацији је, рецимо, и Пољска, у којој се производња електричне енергије такође базира на угљу (додуше на квалитетнијој врсти угља), и која још увек нема нуклеарну електрану, [5]. Суперкондензатори представљају нову генерацију складишта енергије и били би једно од могућих решења за наведене проблеме. У [5] показује се да употреба суперкондензатора представља могућност повећања учешћа соларних електрана и ветроелектрана на енергетском тржишту. Надасве, нема потребе да се све електране на угаљ (које се постепено гасе) замене нуклеарним. У [5] истиче се да

свака даља декарбонизација и повећање удела ОИЕ на пољском енергетском тржишту захтева изградњу и ангажовање објеката великих складишта енергије. Батеријска постројења имају релативно кратак век трајања, а сама њихова производња резултира значајним ефектима емисија гасова стаклене баште (*Green House Gasses, GHG*). И по истеку животног века батерије имају негативан утицај у домену животне средине и трошкова, јер представљају опасан отпад који захтева одговарајући третман. Са друге стране, широка употреба суперкондензатора у новој генерацији складишта енергије открива нове могућности и подстиче напоре за декарбонизацију. На основу годишње анализе производње електричне енергије по сату из ветроелектрана и фотонапонских електрана, у [5] предлаже се формула за израчунавање капацитета складишта електричне енергије, произведене углавном у ОИЕ, који је неопходан за стабилан рад националне електричне мреже.

Угаљ и природни гас доминирали су и енергетским сектором земаља Асоцијација нација југоисточне Азије (АСЕАН) у прошлости и допринели су 77% производњи електричне енергије у 2019, [6]. Да би до 2050. године достигле нулту вредност емисија, земље АСЕАН-а морају да декарбонизирају свој енергетски сектор у наредне три деценије. На путу декарбонизације отвара се кључно питање – одабир одговарајућих нових технологија, чија примена треба да је учини могућом и изводљивом. Рад [6] изводи вежбу технолошког скрининга за десет технологија декарбонизације за енергетски сектор на основу холистичког приступа одрживости, безбедности, приступачности, поузданости, спремности и утицаја технологије. Ова вежба је резултирала рангирањем технологија за одређене земље. Уопштено говорећи, потребно је истовремено коришћење и фосилних и нефосилних технологија, уместо да се чека да одређене технологије сазру. На фосилној страни, прелазак са угља на гас за производњу енергије и имплементација захватања и складиштења угљеника (*Carbon Capture and Storage, CCS*) у термоелектранама на угаљ и гас имају највећи потенцијал за декарбонизацију. Стога је у [6] предложено 11 пројеката CCS-а „првог покретача” са потенцијалом да ублаже до 22% емисије CO₂ повезаних са енергијом у АСЕАН-у. На страни обновљивих извора, хидроенергија има највећи потенцијал. Даље повећање капацитета вероватно ће бити у проточним хидроелектранама. Унутар АСЕАН-а постоји средњи до висок потенцијал за даље коришћење пољопривредних области као извора биомасе за производњу електричне енергије, посебно у Индонезији, Тајланду, Малезији и Филипинима. Фотонапонски (PV) соларни системи имају средњи

потенцијал у земљама АСЕАН-а са великом копненом површином, али је потребно више истраживања и развоја (R&D) у побољшању мреже и технологијама складиштења енергије. Унутар АСЕАН-а енергија ветра пати од ниске просечне брзине ветра, али постоје изузеци. Потребно је више истраживања и развоја у погледу ветротурбина за мале брзине ветра. Геотермални ресурси се налазе само у Индонезији и на Филипинима и недовољно се користе. Даља имплементација ће захтевати повољне владине политике за подстицање приватних инвестиција и рационализацију издавања дозвола, између осталог. Такође се расправља о енергетским политикама које промовишу брзу декарбонизацију енергетског сектора АСЕАН-а, на основу закључака у [6].

Као што је већ поменуто, декарбонизација енергетских система захтева примену варијабилних обновљивих извора енергије (ветар и соларна енергија, В-ОИЕ), и то са све нижим трошковима. Раст броја и инсталисане снаге ових ОИЕ утиче на цене електричне енергије, што може утицати на инвестиције у хидроенергију и на усвајање опција на бази фосилних горива за производњу електричне енергије ради покривање базног оптерећења, [7]. Стога остаје нејасно да ли би, у одсуству добро осмишљене политике, примена више В-ОИЕ заиста смањила нето емисије угљеника у енергетским системима. Студија [7] прво је развила техноекономски модел оптимизације како би се истражили утицаји будућих пројекција В-ОИЕ на дугорочне цене електричне енергије и накнадне инвестиције у хидроенергију, користећи кинеску провинцију Хубеи као студију случаја. Затим су квантификоване емисије угљеника у вези са променом улагања у хидроенергију. Без интервенција, нижа цена електричне енергије могла би до 2050. да доведе до смањења инвестиција у хидроенергију за 42%. Уз повећани удео В-ОИЕ и смањене инвестиције у хидроенергију, очекује се да ће енергетски систем применити више резервних опција за фосилна горива, па аутори [7] тврде да би се емисије CO_2 могле повећати за чак 45%. Стога би коришћење више В-ОИЕ смањило инвестиције у хидроелектране и неочекивано додатно отежало декарбонизацију, што указује на могући парадокс у енергетској транзицији. Тај парадокс захтева нову и робусну политику која ће обезбедити да се користи од декарбонизације остваре без обзира на потенцијалне промене цена електричне енергије.

Стопе експлоатације природних ресурса убрзано расту. Стога размишљање о кружној (циркуларној) економији представља признање да више не можемо бити равнодушни према ограниченим ресурсима којима располажемо на нашој планети. Развијени су нови пословни модели и алати који ће подржати

будућност отпорнију на поремећаје, [8]. Циркуларна економија ће својим регенеративним концептима помоћи у смањењу експлоатације природних ресурса. Декарбонизација се може односити на удаљавање од енергетских система који производе угљен-диоксид (CO_2) и емисије других GHG-а или се може односити на уклањање накупљеног угљеника и наслага угљеника из мотора са унутрашњим сагоревањем. Оба процеса имају исте циљеве уклањања угљеника, али на различите начине. Декарбонизација енергије укључује померање целог енергетског система како би се спречило да емисије угљеника уђу у атмосферу пре него што се уопште испусте, а део тог процеса такође укључује коришћење технологија за захватање угљеника, ради уклањања CO_2 из ваздуха након што је већ испуштен. Ово укључује декарбонизацију енергетских мрежа, декарбонизацију ланаца снабдевања и коришћење секвестрације угљеника у потрази за нето нултим емисијама и глобалном економијом која би била угљенично неутрална. Циркуларна економија ће помоћи да се продужи животни циклус производа, сачувају ресурси који доводе до нултог расипања и потпомогне декарбонизација смањењем угљеничног отиска. Циљеви одрживог развоја подстичу имплементацију циркуларне економије и декарбонизацију, с интегрисаним приступом свих заинтересованих страна у друштву. Чланак [8] проучава како циркуларна економија служи као катализатор декарбонизације.

Преглед глобалних емисија CO_2 током прошлог века показује да су емисије из 80 националних економија допринеле 95% глобално забележеним емисијама, [9]. Међу њима, 55 економија је било „декарбонизаторско“, где су емисије CO_2 или већ пале или опадају, док је 25 економија било загађивачко, код којих су емисије CO_2 и даље биле у порасту. Године 2021. глобалне емисије CO_2 износиле су 37,1 Gt_{ра}, с тим што 56% долази од загађивача и 39% од декарбонизатора. Ако се тренутни трендови наставе, глобалне емисије CO_2 ће до 2050. године достићи 49,6 Gt_{ра}, при чему би 81% долазило од загађивача и 14% од декарбонизатора. Само 14 економија ће достићи нето нулту емисију CO_2 . Циљ декарбонизације за постизање нето нуле израчунава се за сваку економију. Декарбонизатори треба да смање емисије CO_2 за 230 Mt_{ра}, а загађивачи чак за 1365 Mt_{ра} CO_2 , почевши од 2021, како би достигли нето нулти циљ до 2050. Како се декарбонизација буде одлагала, тако ће се овај циљ повећавати сваке године. Анализе показују да је удео ОИЕ у укупној финалној потрошњи енергије у већини економија порастао, у просеку за само 4% у последњој деценији, што је неадекватно постизању нето нуле до 2050. године. Стога се у [9] предлажу путеви за убрзање декарбонизације и разматрају се

њихове импликације на политику. При томе је примењена следећа методологија: у првом кораку се, на основу базе података о глобалним емисијама CO₂, обавља увид у историју, на основу чега се врши поменута класификација на загађиваче, декарбонизаторе и остале; у другом кораку се за прве две категорије прогнозирају емисије CO₂ у будућности; у трећем кораку се утврђују циљеви декарбонизације, за обе категорије, и при томе, узимајући у обзир и претпостављену глобалну потрошњу енергије према бази података о типовима горива, дискутује се о различитим, економско специфичним путевима декарбонизације: са доминацијом угља, са доминацијом гаса и нафте и са доминацијом нефосилних горива. На основу резултата презентованих у [9] бива јасно да ће бити потребна и друга средства декарбонизације, укључујући и фосилна решења са ниским садржајем угљеника, кроз захватање и складиштење угљеника.

Кроз анализу постојеће литературе и политика различитих земаља, у [1] идентификује се потенцијал политика декарбонизације, у циљу ублажавања негативних утицаја глобализације на животну средину и енергетски сектор. Налази [1] сугеришу да усвајање политика декарбонизације може довести до смањења емисије GHG-а, побољшања енергетске ефикасности, развоја ОИЕ и „зелених“ радних места, што на крају доприноси одрживијој и отпорнијој глобалној економији.

У [10] пружају се информације које ће помоћи у усвајању успешних мапа пута за декарбонизацију или пројеката декарбонизације фокусирањем на ланце вредности. Аутори [10], користећи пример из сектора саобраћаја (тј. компанија у поморском сектору), истичу важност разумевања различитих активности и процеса укључених у стварање вредности и њихову међузависност од других делова ланаца вредности у којима послују. Они наглашавају да декарбонизацију треба посматрати као заједнички подухват више испреплетених ланаца вредности. Само с овом широком перспективом могу се доступна средства за декарбонизацију проценити холистички и применити у временском оквиру који друштво све више захтева.

У свеобухватном разматрању начина и исхода декарбонизације потребно је водити рачуна и о социјалном аспектима и правичности транзиције – од питања гашења појединих и отварања нових радних места, што подразумева и преквалификације, до интеракције са тржиштем у разним доменама, делатностима и регионима. Трговина и декарбонизација су две неодвојиве ствари. Истраживање [11] користило је нормативни приступ који се фокусира на правним чињеницама. Резултати

су показали да декарбонизација и трговина и даље захтевају снажну политику земаља Светске трговинске организације (СТО). Реформулисање политике СТО-а која се односи на примену принципа одрживог развоја захтева посебан договор, уз узимање у обзир принципа посебног третмана за земље у развоју. Овај напор је потребан да би се оствариле правда и правна сигурност. Могућности за мултилатералне преговоре су и даље отворене, док се изазовом може сматрати јаз између развијених земаља и земаља у развоју, [11].

У истраживачком раду [12] оцртавају се изгледи за декарбонизацију, предвиђајући напредак у „зеленим“ технологијама, интеграцију принципа циркуларне економије и еволуцију отпорних енергетских система. Утемељено у овим перспективама, предлажу се стратешке препоруке, наглашавајући потребу за оквирима холистичке политике, јавно-приватном сарадњом, подстицањем одрживог финансирања, улагањем у истраживање и развој и прихватањем праведног транзиционог приступа. Ово истраживање доприноси холистичком разумевању сложене интеракције између стратегије, изазова и изгледа потраге за декарбонизацијом у енергетски интензивним индустријама. Анализиране су различите стратегије које се користе у три различита региона – Канада, Сједињене Државе и Африка. Истраживање почиње детаљним испитивањем садашњег окружења стратегија декарбонизације, обухватајући технолошке иновације, политичке и регулаторне оквире и приступе засноване на тржишту. Препреке као што су економска одрживост, изазови за усвајање технологије и друштвено-економски утицаји помно се разматрају заједно са факторима који омогућавају декарбонизацију, као што су вођство владе, технолошке иновације и одрживе финансије. Прикупљени увиди дају нацрт за креаторе политике, лидере индустрије и заинтересоване стране, како да се крећу замршеним путем ка одрживој и отпорној индустријској будућности.

Наиме, очекује се да ће се индустријске емисије такође повећати до 2050. године (у САД за 15%), што сектор индустрије означава као логичну мету за напоре за декарбонизацију, [13]. Пuteви технологије енергетске ефикасности, као што су стратешко управљање енергијом, ефикасност система, паметна производња, ефикасност материјала и комбинована производња топлотне и електричне енергије, који су добро успостављени, одмах би смањили потрошњу енергије и емисије. У [13] распозната су четири стуба индустријске декарбонизације: енергетска ефикасност (као краткорочни), електрификација индустрије и нискокарбонска горива, сировине и енергија (све на

средњи и дужи рок), и захватање, коришћење и складиштење CO_2 (на дужи рок).

Декарбонизација индустријског сектора игра кључну улогу у успешној енергетској транзицији. Ова трансформација је, међутим, веома скупа и сложена, јер ће многи постојећи производни процеси и постројења морати да се делимично или потпуно замене како би се смањиле емисије CO_2 , [14]. При овоме се поставља и питање колико и на који начин ће значајна смањења емисија CO_2 , као резултат декарбонизације, утицати на коришћење ресурса за производњу одређеног производа и на укупну цену одрживости. Чланак [14] разматра однос између смањења CO_2 и ефикасности коришћења ресурса у процесима индустријске производње. У ту сврху, развијена је методологија која холистички процењује пут декарбонизације индустријског сектора. Ова холистичка процена узима у обзир примарне енергенте, сировине и помоћне и конструктивне материјале који се користе за рад и изградњу значајних компоненти постројења и сумира их као укупно коришћење ресурса. У ту сврху, коришћење ресурса је представљено термодинамичким количинама ексергија, која узима у обзир и енергетску и материјалну компоненту одређеног процеса производње. Енергетски и материјални токови у производном процесу балансирају се применом ексергетске анализе. Методологија из [14] користи се за тренутно најсавременије и будуће декарбонизоване производне процесе, у циљу квантификације ефеката процеса декарбонизације. Упоредивањем израчунате ефикасности коришћења ресурса, термодинамички утицај на одрживост путева декарбонизације може бити постављен у односу на количину уштеђеног CO_2 . На примеру производње амонијака (NH_3), анализираном у [14], показује се да декарбонизација производног процеса смањује ефикасност употребљених ресурса за 14% (кад се уместо конвенционалне производње NH_3 реформингом метанске (CH_4) паре примени декарбонизовани начин, производњом синтетског гаса путем електролизе воде и применом јединице за одвајање ваздуха). Пад ефикасности ресурса јавља се углавном због високог нивоа повратне топлоте и енергије у конвенционалном процесу, насупротив чега стоји електрично веома интензивна производња водоника у декарбонизованом процесу производње NH_3 .

Слично претходном, ни употреба CH_4 за хемијску производњу, која се често сматра будућношћу петрохемије, историјски није могла да се економски такмичи са конвенционалним процесима због већих инвестиционих трошкова, [15]. Постизање одрживости и декарбонизације ове индустрије, интеграцијом са процесом претварања CH_4 у хемикалије, може

пружити прилику за омогућавање будућности за овакве технологије. Процеси претварања гаса у хемикалије (тј. генерално, концепт *Power to X*, *P2X*) представљају ефикасан алат за повећање декарбонизационог потенцијала обновљиве енергије. Док је тренутна имплементација технологија захватања угљеника, његовога коришћења и складиштења (*Carbon Capture, Utilization and Storage*, *CCUS*) од великог значаја за индустријску декарбонизацију, веома је пожељан прелазак на „зеленије“, CO_2 -слободне, процесе и коришћење CO_2 из спољних извора за производњу вредне робе. Преглед [15] описује потенцијалне опције за то како би процес „од метана до хемикалија“ могао подржати декарбонизацију индустрије.

Још један од радова који је покушао да попуни део празнине у оскудном броју студија о цени декарбонизације је и [16]. Огромна већина студија, чланака и радова који се баве одрживошћу усваја један политички или макроекономски приступ. Друштвени аспекти се ретко дубоко истражују, а питање цене одрживости се у великој мери занемарује. Након покушаја да разјасни концепт одрживости и централну улогу коју игра декарбонизација, [16] испитује питање глобалне цене декарбонизације и анализира неке примере компанија у том погледу. Методологија примењена у тој студији заснована је на подацима извученим из различитих извештаја о одрживости, климатским променама и декарбонизацији, за макроекономску димензију, и из годишњих извештаја (за 2020. годину) проучаваних компанија. Ови подаци се обрађују тако да се израчунају процењени трошкови декарбонизације. Чак и ако се допуштају велике маргине грешке због непотпуних доступних података и параметара који се не могу контролисати или нису познати, налази [16] показују да могуће процене говоре да је цена декарбонизације апсолутно збуњујућа. Она превазилази све што обични грађани, менаџери и, нарочито, политичари могу замислити. То може бити јак разлог због кога је ова тема у великој мери занемарена, јер би сигурно изазвала друштвена превирања широм света.

Када се посматрају обим напора декарбонизације, сектор(и) на који/е се циља, временски оквир за постизање циљева и специфичне технологије и приступи декарбонизацији који се користе, постоје различити фактори који утичу на цену декарбонизације и који би у ствари могли довести у ризик профитабилност традиционалних пословних модела, [17]. Уопштено говорећи, када се узме у обзир проширени обим декарбонизације (који не циља само на производни погон већ и на употребу производа), то може укључити значајне трошкове унапред за прелазак са извора енергије заснованих на фосилним горивима

на чистије алтернативе, као што су ОИЕ или нуклеарна енергија. У [17] трошкови декарбонизације се односе на цену трансформације. Чак и ако се трошкови недекарбонизације и суочавања са утицајима климатских промена не могу у потпуности проценити, како у економском тако и у људском смислу, улагање у трансформацију подразумева значајна улагања унапред. Посматрајући сличне иницијативе за трансформацију, [17] пружа оквир о томе шта треба узети у обзир приликом трансформације и које групе трошкова с утицајем на профитабилност треба узети у обзир, укључујући владине субвенције, пореске олакшице и политике цена угљеника (таксе). Оне могу помоћи да се смање трошкови декарбонизације и обезбеде једнаки услови за технологије са ниским садржајем угљеника како би се оне такмичиле са фосилним горивима.

Чланак [18] истражује да ли је економска одрживост кључ за постизање дубоке декарбонизације и нето нулте емисије. Тестирана је хипотеза да је популарна подршка политици декарбонизације условљена веровањем већине људи да ће се њихово економско благостање побољшати, или да барем неће патити услед спровођења ових политика. Док је раст БДП-а типична метрика за економско здравље, као кориснији социоекономски индикатор за процену политичке одрживости климатских политика може бити поменуто отварање нових радних места. Конкретно, чланак [18] даје увид у постојеће доказе о томе да ли су климатске политике дугорочно успешније у постизању дубоке декарбонизације уколико креатори који осмишљавају и спроводе климатске политике, осим смањења емисија GHG-а, подразумевају и отварање нових радних места. Наиме, до данас су се креатори климатске политике често фокусирали на смањење емисија као примарни или чак искључиви критеријум. Док су емпиријски докази и даље слаби, откривамо да отварање нових радних места у нискоугљеничним индустријама води ка већој политичкој подршци за климатске политике које доприносе декарбонизацији. Ипак, фактори запошљавања нису увек најистакнутији фактор код доносилаца одлука.

Рад [19] на свеобухватан начин разматра међусобне везе између климатских промена, декарбонизације и „зелених“ финансија. Хитност решавања климатских промена и њихових катастрофалних последица треба да се фокусира на „зелене“ финансије као витално оруђе у глобалној борби против штете по животну средину. „Зелене“ финансије укључују обезбеђење инвестиција, зајмова или капитала за подршку еколошки прихватљивим активностима, олакшавајући прелазак на одрживију будућност. Преглед [19]

истражује теоријски референтни оквир за „зелене“ финансије, укључујући и њихове утицаје на климатске промене, декарбонизацију економије, имовину у вези са угљеником, управљање ризиком, обновљиву енергију и одрживи економски раст. Поред тога, истражује регионалне фокусе у Азији, као што је значај „зелених“ финансија у Кини и уверења и изазове „зелених“ финансија у Бангладешу. Тај преглед такође говори о будућим упутствима и препорукама за унапређење „зелених“ финансија. Преглед испитује актуелно истраживање „зелених“ финансија и како се може позабавити изазовима животне средине и промовисати одрживи развој. Више истраживања треба да се спроведе у главним економским и финансијским часописима како би се премостио јаз у знању и подстакао шири научни ангажман у „зеленим“ финансијама. Истраживачи, креатори политике, инвеститори и заинтересоване стране добиће помоћ из поузданих и чврстих увида студије у борбу против климатских промена и промовисање одрживог развоја, [19].

За успешну декарбонизацију и енергетску транзицију кључно је перманентно унапређивати знање у тој свеобухватној и комплексној области, која подразумева окретање новим технологијама и иновативним техничким решењима, диверсификацију примарних енергената и извора енергије, примену концепата циркуларне економије и одрживости, уз обезбеђивање поменутих „зелених“ финансија, неопходних за њихову имплементацију. Не мање значајан је и социјални аспект и едукација у циљу подизања свести – од неопходности заштите животне средине преко повећања енергетске ефикасности до повећања нивоа спремности свих заинтересованих страна да прихвате примену савремених концепата и техничко-технолошких решења, као и свеобухватне промене које ће то донети.

Наиме, паметни производни системи омогућавају истовремено адресирање продуктивности, одрживости и друштвених побољшања, [20]. Имплементација таквих система у индустријама представља обећавајући начин за испуњавање захтева заинтересованих страна у вези са декарбонизацијом њихових производних активности. Чланак [20], на примеру аутомобилске индустрије, нуди нови концепт организације са односима између актера декарбонизације (енергетски менаџери и консултанци), подржан техничким дизајном алата за управљање ИТ знањем. Управљање знањем у компанијама може бити реализовано приступом заснованим на људству (међусобним односима и оквиру за управљање знањем) и на ИТ (екстракцијом знања рударењем података или обрадом података о

технологијама и коришћењем система управљања знањем – моделовањем знања и система заснованих на знању). Приликом моделовања, кључно је поставити следећа питања:

- Где се енергија троши?
- Зашто се енергија троши?
- На који начин се енергија троши?
- Које су последице трошења енергије?

Зависно од одговора на ова питања, формира се спецификација циљева и дефинишу еколошки и економски приоритети. На основу њих се могу креирати потребне мере за декарбонизацију. Приликом моделовања решења треба дати одговоре на следећа питања:

- Ко креира решење (екстерни добављач или интерно)?
- Ко верификује истраживање (успоставља везу са контекстом)?
- На који начин решење функционише (врста решења, подршка, технологија и пракса, принципи рада)?
- Које су перформансе решења (еколошки и финансијски кључни показатељи перформанси, на основу којих се рангирају сва могућа решења, по приоритетима и изабира оно најбоље)?

На основу овако конципираног оквира за креирање решења, [20], одређују се карактеристике производног погона и моделовање података релевантних за спровођење мера декарбонизације у јединствени концепт, уз омогућавање преносивости таквог решења са једног производног капацитета на други.

На крају, али не и најмање значајно, осим развоја знања у области, неопходно је поради и на подизању свести, како заинтересованих страна тако и шире заједнице. У том циљу се спроводе и одговарајућа истраживања. Рецимо, у [21] анализира се став представника тзв. генерације 3 („зед“) из Румуније у погледу побољшања енергетске ефикасности и декарбонизације коришћењем модерних интегрисаних технологија, као што су топлотне пумпе, складиштење топлотне енергије и паметно управљање системом. Користе се улазни подаци из анкете засноване на упитницима, спроведене између марта и јуна 2023. године, са 389 валидних одговора за следеће сврхе:

- анализирати став младих испитаника према коришћењу одрживих савремених интегрисаних технологија, као што су топлотне пумпе, у циљу повећања енергетске ефикасности и смањења угљеничног отиска;
- идентификовати факторе који могу утицати на њихов став према овим технологијама;
- разумети начине на који настали фактори могу утицати на однос према коришћењу топлотних пумпи, имплицитно водећи ка побољшању

енергетске ефикасности и декарбонизацији у Румунији;

- формулисати политику и препоруке за побољшање енергетске ефикасности и подстицање декарбонизације у Румунији.

Студија [21] користи различите дескриптивне статистике, факторску анализу и вишеструку регресију. Резултати показују да постоји шест категорија фактора који утичу на став представника генерације 3, са „покретачима за побољшање енергетске ефикасности“ заједно са „традиционалним мерама за побољшање енергетске ефикасности“, који имају највећи утицај на покретање позитивног става према енергетској ефикасности, унапређењу и декарбонизацији. Главна препорука политике изведена из ове студије односи се на развој политика и стратегија које подстичу грађане не само да имају позитиван став ка енергетској ефикасности и декарбонизацији кроз коришћење топлотних пумпи него и према покретачима конкретних акција за уградњу технологије топлотне пумпе. Још једна препорука тиче се даљег развоја и проширења националних и локалних програма за изолацију спољашње површине зграда и замену прозора и спољних врата која немају термоизолацију. Трећа главна препорука односи се на кампање за подизање свести међу становништвом о савременим мерама за побољшање енергетске ефикасности, као што су топлотне пумпе.

У вези са поменути, неопходним повећањем енергетске ефикасности у зградарству, ваља напоменути да је урбано окружење одговорно за приближно 40% светске потрошње енергије, 30% употребе сировина, 25% чврстог отпада, 25% коришћења воде, 12% коришћења земљишта и 33% емисије гасова стаклене баште, [22]. Стога, унапређење стања животне средине и декарбонизација постају све критичнији циљеви и за грађевинску индустрију. Одржива градња се може постићи кроз неколико пракси, укључујући: разматрање процене животног циклуса, кружну (циркуларну) изградњу, ефикасност ресурса и управљање отпадом и обезбеђивање еко-ефикасних материјала, смањење потражње за енергијом и потрошње и укључивање ОИЕ и технологија са ниским садржајем угљеника. Да би се постигли циљеви циркуларне градње, од кључне је важности едуковати будућу радну снагу о декарбонизацији, циркуларној изградњи и како да се превазиђу изазови повезани са преласком на одрживу градњу. За студију [22] анкетирано је 120 студената основних и постдипломских студија да би се сагледао и разумео јаз у студентском знању у вези са декарбонизацијом и кружном изградњом. Истакнута је важност укључивања ових тема у наставне планове и

програме, као и у програме управљања изградњом. Резултати [22] наглашавају празнине у знању ученика које се односе на одрживе праксе и важност обезбеђивања будуће радне снаге у грађевинарству са таквим знањем, како би се ухватили укоштац са глобалним, неизбежним изазовима. Налази [22] доприносе одрживом обухвату знања тако што се залажу за реформисани наставни план и програм, за припрему будуће радне снаге за усвајање мање карбонизованих, више циркуларних приступа у инжењерингу и индустрији.

Полазећи од овде апострофираних питања и увида у искуства и трендове описане у литератури из области декарбонизације, у поглављу 2 овог рада илустрован је могући начин конципирања декарбонизованог ЕЕС на примеру Србије. У потпоглављу 2.1 најпре су анализирани постојећи и планирани капацитети В-ОИЕ и иззови које доноси већи обим њихове интеграције у ЕЕС. Поглавље 2.2 разматра могућности конверзије и складиштења енергије (као решења за поменуте проблеме), а потпоглавље 2.3 могућности коришћења преосталог хидропотенцијала речних сликова у Србији. Потпоглавље 2.4 сагледава могућности увођења нових технологија у производни портфел ЕПС-а, а потпоглавље 2.5 предлаже начин разматрања њиховог увођења. На крају, у поглављу 3, наведени су кратки закључци.

2. КОНЦИПИРАЊЕ ДЕКАРБОНИЗОВАНОГ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКОГ СИСТЕМА

Модерни ЕЕС треба да се заснива на коришћењу савремених и иновативних технологија и приступа. Они представљају темељ на који ће се ослањати потпорни стубови једног будућег, декарбонизованог, ефикасног, одрживог и очувању животне средине погодан ЕЕС-а (илустрованог на Слици 1), [23]. Такав систем ће се ослањати на:

- коришћење ОИЕ, укључујући и оне дисперговане (*Dispersed Energy Resources*, DER), тј. дистрибуирану производњу (*Distributed Generation*, DG) и микромреже;
- складиштење енергије, и то у различитим видовима, објектима и уређајима:
 - вода;
 - кондензаторске батерије;
 - топлота у топлотним акумулаторима;
 - производња и складиштење водоника, односно амонијака и био-гаса;
- паметне мреже (*Smart Grids*) и паметно мерење (*Smart Metering*);
- унапређење енергетске ефикасности, како на страни производње (укључујући когенерацију електричне и топлотне енергије и водене/технолошке паре) тако и на страни потрошње (коришћењем енергетски ефикаснијих уређаја и апарата, изоловањем зграда, заменом столарије, постојеће расвете штедним сијалицама);

- учешће потрошње (одзив потрошње – *Demand Response* (DR), управљање оптерећењем/потрошњом – *Demand Side Management* (DSM), микромреже и други концепти);
- отворено тржиште и флексибилне тарифе (како би се подстакло коришћење електричне енергије у периодима и на начин како је то оптимално за ЕЕС);
- одговарајући и праведан регулаторни оквир (који је неопходан како би се обезбедили услови за отворено тржиште, недискриминаторне односе и примену флексибилнијих тарифа).



Слика 1. Основа и потпорни стубови будућег декарбонизованог ЕЕС-а /извор: [23]/

При овој ваља нагласити да се мора водити рачуна о усаглашеном и равномерном развоју свих ових потпорних стубова. Наиме, развој и коришћење неког од њих, који би био несразмеран његовом стварном значају и без одговарајуће подршке или равнотеже других, наведених компоненти система, довео би до његове структуралне и функционалне нестабилности, а могуће и до урушавања и колапса, [23].

2.1 Капацитети В-ОИЕ и нови иззови које доносе

Ни током 2023. у Србији још увек није усвојена нова, ажурна Стратегија развоја енергетике, а зарад приближавања Европској унији (ЕУ) и под спољашњим притисцима прихватају се политички наметнути стратешки циљеви у домену смањења емисија CO₂ и GHG-а. Често се паралелно и неусаглашено, са различитим страним консултантима, ради на изради нацрта појединачних стратешких докумената (попут *Integrated National Energy and Climate Plan* (INECP) и *National Determined Contribution* (NDC)), а што би требало да уследи тек након усвајања националне Стратегије. У таквој ситуацији је, у пролеће 2022, у ЕПС-у закључено да се не може више чекати на њено доношење. Због тога су у јуну 2022. експерти ЕПС-а израдили, а тадашње највише руководство компаније усвојило, интерни документ ЕПС-а о визији његове постепене декарбонизације и стратешког развоја – „Зелени пут” (*Go Green Road*).

„Зелени пут” ЕПС-а подразумева гашење најстаријих термоблокова и целих термоелектрана (ТЕ) на лигнит, како оних за које је држава већ преузела ту обавезу по систему *Opt-Out* (ТЕ „Морава” и ТЕ „Колубара” до краја 2023. или зимске сезоне 2023/24), тако и ТЕНТ А1 и А2 и оба блока ТЕ-КО А, до 2035. године, уз смањење ангажовања преосталих термоблокова. Током тог периода и надаље планира се реализација већег броја електрана на варијабилне обновљиве изворе енергије (В-ОИЕ), дакле – соларних

фотонапонских електрана (СЕ) и ветропаркова / ветроелектрана (ВЕ). На Слици 2 дати су просторни распоред и инсталисане снаге СЕ и ВЕ чију изградњу ЕПС планира или већ реализује. Осим њих, на истој слици су приказани и укупни збирови инсталисаних снага постојећих и будућих СЕ и ВЕ чији су власници или инвеститори други енергетски субјекти, углавном приватне компаније, са стањем какво је било забележено у јуну 2023. године.

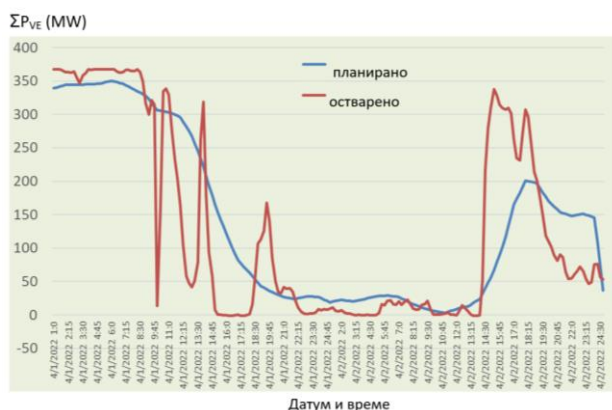
Потенцијалне СЕ на објектима /локацијама ЕПС:

1. ТЕ Морава - Свилајнац, 45 MW
2. ТЕ Колубара А – Велики Црљени, 71 MW
3. Колубара Б, 54 MW + 1,833 MW на крововима
4. ТЕНТ А, 100 MW + 0,94 MW на крововима
5. ТЕНТ Б – касета 2, 133 MW + 1 MW на крововима
6. Петка, 9,75 MW (у изградњи)
7. Средње костолачко острво, 97 MW
8. Кленовик, 250 MW
9. ПК Тамнава исток – спољ. одлаг., 13 MW
10. ПК Тамнава запад – ун. одлаг., 50 MW
11. РБ Колубара – остале потенцијалне локације
12. ПК Дрмно – остале потенцијалне локације



Слика 2. Локације и инсталисане снаге В-ОИЕ капацитета (ЕПС и сумарне снаге за приватне)

Већ и са капацитетима В-ОИЕ постојећим у Србији у пролеће 2022. године, забележени су нагли скокови (*rump-ups*) и падови (*rump-downs*) сума излазних снага из ових електрана и велике разлике у дан унапред планираним и оствареним њиховим вредностима, а тиме и у производњи електричне енергије. На Слици 3 дат је реални, упоредни дијаграм сума ових снага, ΣP_{VE} , забележен током 1. и 2. априла 2022. године.



Слика 3. Разлика у планираној (за дан унапред) и оствареној укупној снази ВЕ у Србији – реалан случај

Јасно је да ће даљим, очекиваним и знатним, повећањем удела В-ОИЕ у укупним производним капацитетима ЕЕС-а Србије и производњи електричне енергије из њих проблем балансирања у реалном времену, али и балансирања на сезонском нивоу, бити све израженији.

Осим тога, ЕЕС у коме ће с временом расти удео В-ОИЕ суочиће се са дефицитом обртне резерве и инерције, те проблемима регулације напона и фреквенције. Једно од могућих решења је задржавање појединих генераторских јединица (оних у бољем стању) термоелектрана (ТЕ) на лигнит предвиђених за излазак из погона, као синхроних компензатора, [24], уз одговарајуће прераде система побуде и друге неопходне радове на прилагођавању ових јединица новој сврси. Оне би ЕПС-у служиле за пружање помоћних услуга оператеру преносног система (ОПС) и тако наставиле да буду извор прихода. С тим у вези, међутим, студија [25], рађена својевремено за ЕПС, показала је да тренутно вредновање помоћних услуга у Србији није довољно за техноекономску оправданост инвестирања у овакво техничко решење наведеног проблема.

Такође, ветрогенератори и фотонапонске електране прикључују се на мрежу преко инвертора, дакле склопова енергетске електронике, који представљају извор виших хармоника. Све већи удео ових В-ОИЕ ће, дакле, представљати и све јачи узрок задржања синусоидалног облика струје и напона у мрежи. Стога ће и по овом основу квалитет испоручене електричне енергије бити све угроженији.

Када је реч о DER-у, тј. DG-у, у електродистрибутивној мрежи се могу јавити обрнути токови снага (од ниженапонске према вишенапонској мрежи, уместо уобичајеног), у режимима рада у којима на појединим подручјима производња (рецимо из фотонапонских панела по крововима зграда) премашује потрошњу. Овај проблем може изискивати преподешавање релеја у систему релејне заштите, тј.

његову прераду, имајући у виду да кварови у мрежи сада могу бити напојени са друге стране, што усмерена заштита у средњенапонским ћелијама напојних трансформаторских станица (ТС) не би могла да региструје и да одреагује.

Неспорно је да је неопходан квалитативни померај према коришћењу ОИЕ. Очигледно је, међутим, да се екстензивним повећањем удела В-ОИЕ, какви су они базирани на коришћењу нагло променљивих и стога неуправљивих, енергија ветра и сунца, појављују нови изазови и проблеми. Превасходно, са повећаном интермитентношћу производње, смањују се способност ЕЕС-а за балансирање производње и потрошње, флексибилност и стабилност његовог рада. Могућа решења овога проблема су:

- изградња великог/их складишта енергије;
- изградња брзореагујућих производних капацитета (какве су, нпр., гасне електране; оне су, међутим, изгубиле статус перспективне опције у стратешким разматрањима, јер је гас постао скуп, а снабдевање њиме неизвесно).

2.2 Могућности конверзије и складиштења енергије у савременом ЕЕС-у

За класичан ЕЕС типичан вид складиштења енергије је коришћење потенцијалне енергије воде. Вода се пумпа и складишти у горњим акумулацијама хидроелектрана (ХЕ), реверзибилних ХЕ (РХЕ) и пумпно-акумулационих постројења (ПАП), и то у периодима дана и сезонама са нижом ценом електричне енергије, тј. када постоје њени вишкови у националном ЕЕС-у или интерконекцији већег броја ЕЕС-ова. Доцније се ова вода користи за производњу електричне енергије, у периодима њених мањкова, када је она најскупља.

Батеријска постројења се користе за директно складиштење електричне енергије и у новије време се форсирају као доминантни вид складиштења у ЕЕС-у са великим упливом производње из В-ОИЕ, као што су ветрогенератори и фотонапонске СЕ. Масовно коришћење батерија, међутим, отвара низ нових питања и проблема који могу имати негативан утицај на животну средину – од масовног рударења, дискутабилним технологијама, литијума и других елемената неопходних за производњу батерија преко проблематике противпожарне заштите и релевантне регулативе која није уподобљена овој технологији до проблематике њиховог релативно кратког животног века, након чијег истека батерије постају опасан отпад и захтевају одговарајући третман и ангажовање сертификованог оператера, стварајући озбиљне трошкове и после периода њихове експлоатације.

Као алтернативни, све више се појављују системи за складиштење отпадне топлоте, па чак и топлотне енергије настале конверзијом вишкова електричне енергије, која би у класичном ЕЕС-у (без В-ОИЕ) представљала својеврсну јерес. Сада је, међутим, технички и технолошки већ доступно и у примени складиштење топлотне енергије у великим подземним, посебно изолованим, термалним складиштима или у специјалним конструкцијама на бази композитних

материјала (нпр. Al-C или Si-C) који се загревају вишковима електричне енергије, а у периодима њених мањкова и виших цена акумулирана топлота се користи за добијање водене паре ради производње електричне енергије у постојећим термокапацитетима.

Једну од кључних улога у декарбонизацији одиграће производња водоника (електролизом воде, уз утрошак вишкова електричне енергије у ЕЕС-у или из оближњих В-ОИЕ) и његово компримовање, складиштење и доцније коришћење. Једна од употреба H₂ јесте и његово сагоревање у горивим ћелијама, у циљу производње електричне енергије, нарочито погодно у периодима њених виших цена на тржишту. Иако није реч о сасвим новој технологији, још увек није комерцијализовано коришћење тзв. регенеративних горивних ћелија, у којима се могу одвијати оба процеса (и електролиза и сагоревање водоника).

Вишкови електричне енергије из В-ОИЕ могу се користити и за обраду биомасе (нпр. жетвених остатака и сл.) и производњу и складиштење био-гаса, који се потом може користити за производњу електричне и топлотне енергије.

Осим складиштења у циљу доцније, поновне производње електричне енергије, вишкови електричне енергије у ЕЕС-у могу се искористити за њену конверзију у друге облике енергије и енергенте који се неће користити у самом ЕЕС-у. Тако поред поменуте конверзије у топлотну енергију, њеног складиштења и могућег коришћења у системима даљинског грејања, могућа је примена концепта P2X, у коме се вишкови електричне енергије, осим за, такође поменуто, производњу водоника или био-гаса, могу користити за добијање различитих врста горива, нпр. амонијака (NH₃) (зелени амонијак се производи технолошким Хабер–Бошовим поступком у коме се зелени водоник сједињује са азотом), метана (CH₄) или других биогорива намењених за сагоревање у возилима и осталим транспортним средствима.

На Слици 4 приказане су различите опције конверзије, складиштења и доцнијег коришћења вишкова енергије, како у самом ЕЕС-у, за поновну производњу електричне енергије, тако и изван њега – топлотне енергије за системе даљинског грејања, производњу зеленог и плавог водоника, метанола и других органских горива.

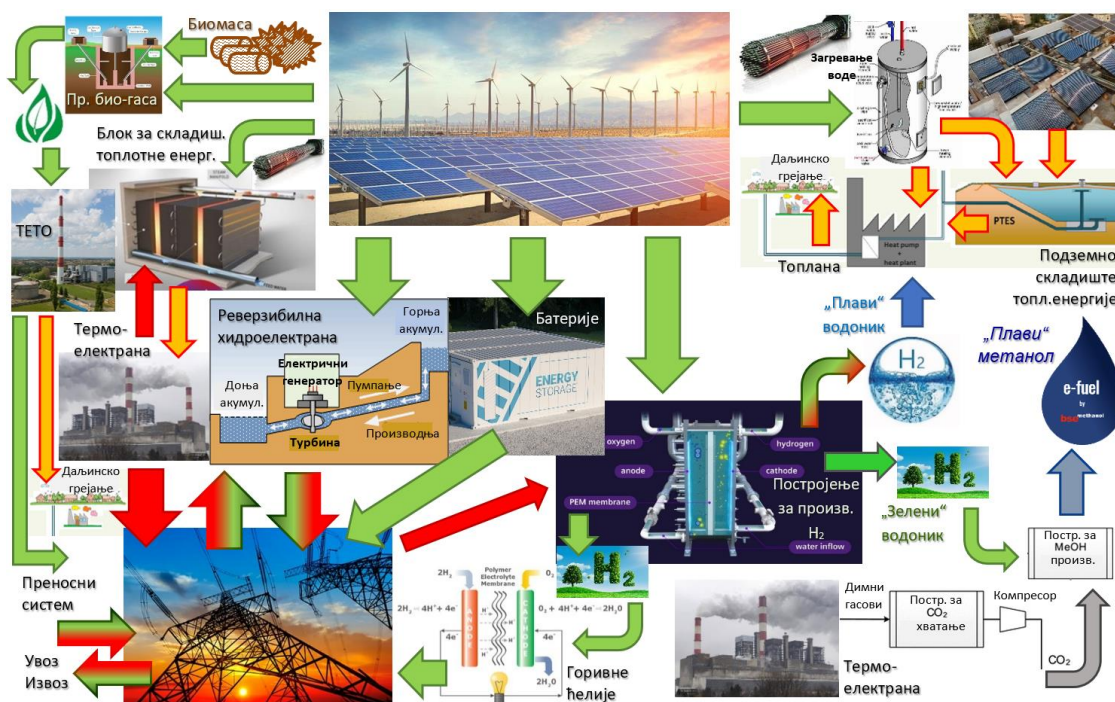
Применом једног оваквог холистичког приступа и концепта диверсификације примарних енергената и увођења нових технологија, значајно би се увећала флексибилност и способност енергетског система, па и ЕЕС-а као његовог интегралног дела, за балансирање све већих и бржих (стрмијих) промена које уносе В-ОИЕ и за сезонско изравнавање (балансирање) разлика у производњи електричне енергије. Осим тога, максималним, па и вишенаменим и виšekратним, коришћењем ресурса којима сама Србија располаже (вода, ветар, сунце, биомаса), и то на начин приказан на Слици 4 – међусобно повезани, са високим степеном рекуперативности – значајно би се допринело очувању и унапређењу сигурности рада ЕЕС-а и енергетској независности земље. Концепт са Слике 4 подразумева и повећање енергетске ефикасности (нпр. већим

коришћењем отпадне топлоте из ТЕ у системима даљинског грејања) и смањење загађења животне средине (нпр. приказаним увођењем технологија и постројења за захватање CO₂ ради његовог складиштења и коришћења у процесима добијања органских биогорива). Такође, Слика 4 илуструје и неке од начина на које би се, у прелазном периоду до 2050. и њиховог коначног гашења, преостале ТЕ на лигнит могле „озеленети” (нпр. коришћењем дела водене паре који би могао бити добијен из вишкова електричне енергије из В-ОИЕ конвертованих у топлотну енергију и ускладиштену у блок од композитних материјала, који уједно представља и генератор водене паре). Слично важи и за

термоелектране-топлане (ТЕ-ТО) на мазут и гас; био-гас добијен из биомасе и вишкова електричне енергије, уколико је у довољној мери пречишћен, може супституисати природни гас и бити употребљен у постојећим гасним турбинама ових постројења.

На Слици 4 зелене стрелице означавају токове и конверзије обновљивих ресурса и „чисте” електричне енергије, црвене стрелице електричну или топлотну енергију добијену из необновљивих, фосилних енергената, а наранџасте стрелице топлотну енергију која потиче из ОИЕ.

У наставку текста ће неки од поменутих и на Слици 4 приказаних ресурса и технологија бити нешто детаљније приказани.



Слика 4. Опције конверзије, складиштења и доцнијег коришћења вишкова енергије у ЕЕС-у и изван њега

2.3 Могућности коришћења преосталог хидропотенцијала сливова у Србији

2.3.1 Пројекти нових ХЕ и РХЕ. Оба услова за успешно балансирање интермитентне производње из В-ОИЕ (наведена на крају потпоглавља 2.1) испуњавају РХЕ. У ЕПС-у је у току друга фаза развоја инвестиционо-техничке документације и пројекта РХЕ „Бистрица”, планиране снаге 656 MW. Требало би да њена изградња буде завршена до 2031. године. Одабрано је техничко решење са четири јединице снаге по 164 MW, са Френсисовим турбинама и агрегатима са могућношћу променљиве (подесиве) брзине обртања у оба режима (и пумпном и генераторском), [26]. Ова, као и могућа РХЕ „Ђердап 3”, снаге до 2400 MW, добиле су статус пројекта од посебног, тј. националног значаја за Републику Србију.

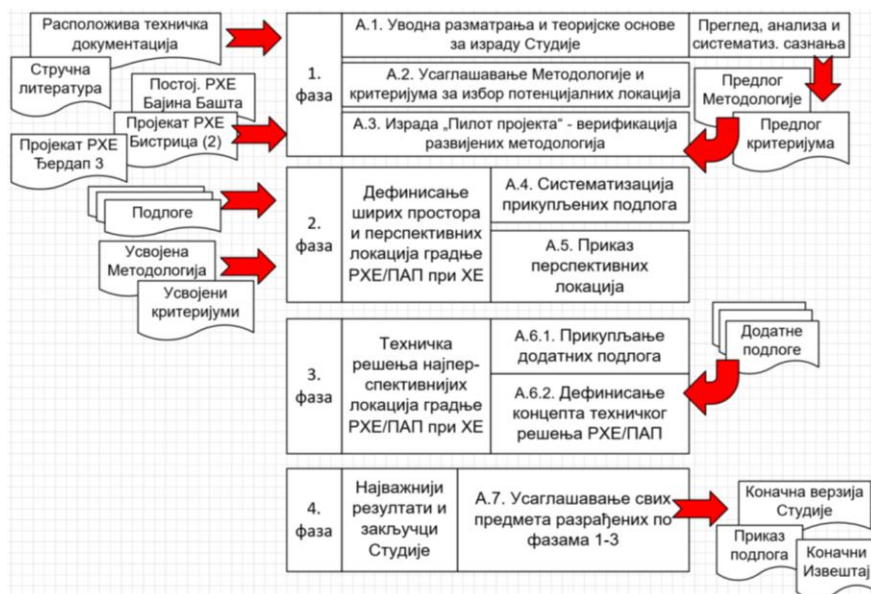
Стручна литература, [27] и [28], као најбољу, win-win опцију сугерише хибридне системе В-ОИЕ и РХЕ, на заједничкој или просторно блиским локацијама. У таквим случајевима вишкови електричне енергије из

оближњих В-ОИЕ капацитета користе се у РХЕ током њиховог пумпног режима рада за транспорт и складиштење воде у њиховим горњим акумулацијама. На овај начин се смањују губици у електричној мрежи и доприноси оптимизацији рада ЕЕС-а. Крајњи циљ управо и јесте ова оптимизација и смањење вршних снага у систему, јер то значи да је у њему онда потребно мање производних капацитета, а тиме и мање финансијских средстава за инвестирање.

Осим развоја пројекта две наведене будуће РХЕ, у ЕПС-у је у току и израда студије [29] којом се истражују могућности и других потенцијалних локација за изградњу нових РХЕ и ПАП при постојећим и планираним ХЕ. На Слици 5 илустровани су садржај и дијаграм тока израде ове студије. Крајем 2023. године окончана је друга фаза њене израде. Применом критеријума и методологије који су утврђени у првој фази (завршеној јуна 2023), извршена је елиминација свих неодговарајућих подручја на територији целе Републике Србије (укључујући и КиМ), односно дефинисана су шира подручја која су погодна и распознат сет

потенцијалних локација за градњу нових РХЕ или ПАП уз ХЕ. Такође је, ради тестирања усвојене методологије, извршено вредновање и рангирање појединих локација. Студијом неће бити обухваћене (осим као референтне, поређења ради) постојећа РХЕ „Бајина Башта” и већ одраније препознате локације РХЕ „Бистрица” и РХЕ „Ђердап 3”, чији се пројекти већ налазе у одређеним фазама развоја.

Што се тиче класичних ХЕ, планира се изградња система ХЕ на Горњој Дрини и поновни развој пројеката система „Моравских ХЕ” и „Ибарских ХЕ”. Преглед процењених вредности инсталисаних снага и годишње производње свих ХЕ у ова три система дат је у Табели I. За све ХЕ планирана је изградња бетонских брана, гравитационог типа, а производна постројења била би опремљена Каплановим турбинама.



Слика 5. Алгоритам израде Студије [29] – истраживања могућности потенцијалних локација за РХЕ и ПАП

Табела I. Процењене инсталисане снаге и годишње производње електричне енергије у потенцијалним ХЕ

ХЕ / систем ХЕ	Инсталисана снага (MW)	Годишња производња (GWh)
Бук Бијела	93,5÷114,5	332,3÷354,3
Фоча	44,2÷53,6	175,9÷185,0
Паунци	43,2	166,7
Горња Дрина - укупно	180,9÷211,3	674,9÷706,0
Љубичево	29,7	133
Мијатовац	29,2	125,5
Свилајнац	28,8	128
Трновче	29,3	128,1
Варварин	28,9	122,9
Моравске ХЕ - укупно	145,9	637,5
Бела глава	14,29	54,76
Бојанићи	10,25	36,11
Церје	13,24	50,16
Добре стране	14,46	55,59
Главица	9,74	37,22
Гокачница	10,82	37,95
Градина	11,18	42,00
Лакат	13,54	54,64
Маглић	13,45	51,89
Ушће	9,87	35,37
Ибарске ХЕ - укупно	120,84	455,70
Укупно нове ХЕ	447,64÷478,04	1.768,1÷1.799,2

ЕПС је формирао заједничко предузеће са „Електропривредом Републике Српске” у циљу реализације пројекта система ХЕ на Горњој Дрини, којим је предвиђена изградња три ХЕ: „Бук Бијела” (у току), „Фоча” и „Паунци”, у региону града Фоче у Босни и Херцеговини, тј. Републици Српској. Студија изводљивости и Идејно решење урађени су 2012/13. Потписани су концесиони уговори за све три ХЕ. Током 2020. и 2021. године рађене су техноекономске анализе. Накнадно је урађена и додатна анализа изводљивости. Током 2023. спроведен је тендер за извођача радова на изградњи ХЕ „Бук Бијела”.

Пројекат „Моравских ХЕ” треба поново размотрити и евентуално развити. Планира се изградња пет проточних ХЕ у каскади. Досад су урађене прединвестициона Студија могућег коришћења хидропотенцијала Велике Мораве, Прелиминарна студија изводљивости са Генералним пројектом система ХЕ, извршена су геодетска истраживања реке Велике Мораве, а спроведена су и батиметријска истраживања њеног корита.

Пројекат „Ибарских ХЕ” такође треба поново размотрити и евентуално развити. Планира се изградња до десет проточних ХЕ у каскади, мањих појединачних инсталисаних снага. Досад су урађени Генерални пројекат са Претходном студијом изводљивости, који су ревидирани и усвојени од стране Републичке ревизионе комисије. Урађен је потом, за сваку ХЕ појединачно: Идејни пројекат са

Студијом изводљивости; Просторни план подручја посебне намене (ПППН) са директном имплементацијом, који је усвојила Влада РС; припремљен је Главни пројекат који обухвата измештање пута, у две секције (за ХЕ „Добре стране” и ХЕ „Бела глава”), укључујући и циљана истраживања. Осим тога, урађена је и процена утицаја на животну средину и друштво (*Environmental and Social Impact Assessment*, ЕSIA) према стандардима ЕУ, за потребе потенцијалних кредитора.

Да би се, међутим, стекла реалистична слика о могућностима и оправданости реализације ових али и других могућих хидроенергетских објеката, неопходно је стручно и непристрасно сагледати могућности коришћења преосталог хидрокапацитета, тј. водних ресурса у Србији. С тим у вези, први и основни корак представља мерење протицаја на сликовима река.

Једну студију о овој теми недавно је реализовао Грађевински факултет Универзитета у Београду, [30].

2.3.2 Ревитализације постојећих (Р)ХЕ. Хидро-енергетски објекти ЕПС-а такође су стари по више деценија и опрема у већини њих је (била) досегла крај свог животног века. Повољна околност је што кључни грађевински објекти ХЕ, попут бране за формирање њене акумулације, имају далеко дужи животи век од машинске и електро опреме уграђених у њу, тако да се њиховом заменом новом опремом практично може вишеструко продужити животи век ХЕ као целине. Због тога је, током последње деценије и нешто дуже, предузет низ ревитализација постојећих ХЕ и планирају се и развијају пројекти ревитализације других ХЕ и РХЕ „Бајина Башта”.

Табела II. Године изградње ХЕ, њихов експлоатациони циклус и ревитализације /извор: [31]/

Р.бр.	Назив	Година изградње	Година експлоатације [год.]						
			10	20	30	40	50	60	70
1	Ђердап 1	1972							
2	Ђердап 2	1987							
3	Власинске ХЕ	1954/1975							
4	Лисина	1975							
5	Пирот	1990							
6	Бајина Башта	1968							
7	Зворник	1958							
8	Бистрица	1960							
9	Потпећ	1970							
10	Увац	1979							
11	Кокин Брод	1962							
12	Електроморава	1954							
13	РХЕ Бајина Башта	1982							

— Експлоатација у стандардном експл. циклусу
— Експлоатација ван предвиђеног циклуса

— Период ревитализације

Ове ревитализације најчешће подразумевају и повећање инсталисаних снага ХЕ и годишње производње из њих. У Табели II, [31], приказане су године изградње класичних ХЕ у власништву и управљању ЕПС-а, илустровано колико дуго су (биле) експлоатисане дуж од планираног животног века и које од њих су већ ревитализоване или је ревитализација у њима тренутно у току.

Завршене су ревитализације система ХЕ „Електроморава” (ХЕ „Овчар Бања” и ХЕ „Међувршје”), ХЕ „Бајина Башта”, ХЕ „Зворник” и ХЕ „Ђердап 1”. Ревитализацијом система ХЕ „Електроморава” (2008–2010) и уградњом четвртог агрегата (од 600 kW) у ХЕ „Овчар Бања” повећана је инсталисана снага овог система за 25%, па је његова тренутна укупна снага 18 MW, са инсталисаним протоком од 50 m³/s. Ревитализацијом ХЕ „Бајина Башта” (2009–2013) повећана је снага електране са 368 MW на 420 MW, повећањем степена корисности и протока. Годишња производња електране повећана је за око 40 GWh. Ревитализацијом ХЕ „Зворник” (2015–2020) њена снага је повећана за додатних 30 MW и сада износи укупно 122,3 MW. Сукцесивном ревитализацијом свих агрегата у ХЕ „Ђердап 1” (2009–2023) инсталисани проток по агрегату повећан је са

800 m³/s на 840 m³/s, што је уз повећање степена корисности агрегата условило повећање инсталисане снаге са 176 MW на 190 MW при номиналном фактору снаге cos φ = 0,9.

У току је ревитализација РХЕ „Бајина Башта”. Уговор о радовима је потписан још крајем 2019. године. Међутим, услед разних дешавања у свету (пандемија вируса корона, рат у Украјини и последични поремећаји на тржишту) долазило је до одлагања почетка радова. Почетак радова је био планиран за април 2024. године.

Планирају се и развијају пројекти ревитализација система „Власинских ХЕ”, ХЕ „Бистрица”, ХЕ „Потпећ” (уз уградњу четвртог агрегата) и ХЕ „Ђердап 2”.

Пројектом ревитализације „Власинских ХЕ” планира се повећање инсталисане снаге за око 8 MW (сада је снага снижена на око 100 MW, због стања опреме). Планирано повећање снаге очекује се услед повећања степена корисности, за око 3–5% у првој фази ревитализације, и за још око 1–3% у другој фази. Такође, планирано је да се омогући рад агрегата са нешто вишим инсталисаним протоком (са досадашњих 18 m³/s на 20 m³/s). Након ревитализације очекује се

повећање производње за око 3%, са 300 GWh на 310 GWh.

Реконструкција ХЕ „Потпећ” планирана је у две фазе. Прва фаза би обухватала изградњу машинске зграде са додатним четвртим агрегатом (снаге 13,3 MW и инсталисаног протока од 40 m³/s), док би друга фаза обухватала реконструкцију постојећа три агрегата, уз повећање степена корисности јединица за 2-4%, инсталисаног протока и – последично – укупне инсталисане снаге постојећих агрегата, за 7,5 MW.

Постојећа ХЕ „Бистрица” планира се за адаптацију и инвестиционо одржавање. Уместо стандардне реконструкције агрегата са повећањем инсталисане снаге извршиће се замена опреме уз задржавање исте инсталисане снаге агрегата. При томе се очекује повећање степена корисности агрегата за 2-4% и повећање годишње производње за око 5-7%. Уградњом нове опреме, већег степена корисности, смањиће се проток (са 18 m³/s на око 16,6 m³/s) и губици у доводно-одводним органима ове ХЕ.

Пројектом ревитализације ХЕ „Ђердап 2” планирано је повећање инсталисане снаге агрегата на 32 MW, повећањем степена корисности 1-2% и повећањем инсталисаног протока по агрегату на 475 m³/s. Очекује се повећање годишње производње са 1600 GWh на 1745 GWh.

Из Табеле II може се закључити да поред ХЕ које су до сада ревитализоване или су планиране за ревитализацију остаје потреба за убрзаном ревитализацијом и свих преосталих постојећих хидрокапацитета, као што су ХЕ „Увац”, ХЕ „Кокин Брод”, ПАП „Лисина”, али и ХЕ „Пирот” као последње изграђене велике ХЕ у ЕЕС-у Србије, [31].

2.4 Могућности увођења нових технологија у производни портфељ и њиховог коришћења

Још већи проблем од варијабилне производње из В-ОИЕ и последичног смањења баланских могућности, флексибилности и стабилности ЕЕС-а, представља чињеница да производни капацитети из В-ОИЕ неће моћи у потпуности да надоместе огромни удео који сада у покривању потрошње имају ТЕ (у Србији је он и до 70%). Дакле, основно је питање – на који начин се може компензовати мањак енергије за покриће базног оптерећења, који ће се свакако јавити и бивати све већи са гашењем појединих термокапацитета ЕПС-а који као примарно гориво користе нискокалорични лигнит? Чини се да су кључ транзиције ЕПС-а и Републике Србије ка одрживој будућности поменута диверсификација примарних горива и увођење и коришћење једног броја различитих, нових технологија. Најперспективније делује поменута производња и коришћење Н₂, уз екстензију са Н₂ – производња и коришћење NH₃. Водоник је и кључ за декарбонизацију индустрије и транспорта (погон бродова, рецимо, прелази на NH₃). Стога се основано може очекивати да ће управо ове технологије бити главни ослонац декарбонизације и енергетске транзиције. У наставку следи осврт и на остале технологије, њихове могућности и ограничења.

2.4.1 Биомаса. На Слици 6 приказани су начини обезбеђивања и коришћења биомасе као енергента у ЕЕС-у. Биомаса се може обезбеђивати на два начина. Први је наменско узгајање клонова више генотипова дрвенастих брзорастућих врста, као што су врбе и тополе, на тзв. енергетским плантажама. Овај начин има становите предности јер доприноси одводњавању, побољшана је рекултивација тла фитоекстракцијом, тло се пречишћава од тешких метала, а сама узгојена биомаса има високу калоријску вредност, око 19.000 kJ/kg. Други начин је организовано прикупљање биомасе као нуспроизвода у пољопривреди (пољски, тј. жетвени остаци), шумарству (дрво добијено хигијенском сечом шума) и у воћарству (редовним и хигијенским орезивањем).

У оба случаја обезбеђивања биомасе потребна је сложена логистичка подршка у смислу допреме биомасе до места њене обраде и коришћења, с тим што је овај проблем далеко израженији у случају прикупљања биомасе као нуспродукта других процеса. С тим у вези, озбиљан недостатак биомасе као енергента представљају трошкови њеног транспорта, који значајно расту за растојања већа од 50 km. Изразита мана организованог прикупљања биомасе као нуспроизвода је и немогућност поузданог планирања њене калоријске вредности и расположиве количине по хектару, у односу на наменско узгајање биомасе, код којег овог проблема нема. Једна од погодности биомасе, кад је реч о њеном коришћењу у ЕПС-у, јесте могућност њеног прикупљања испред фронта рударских радова на коповима.

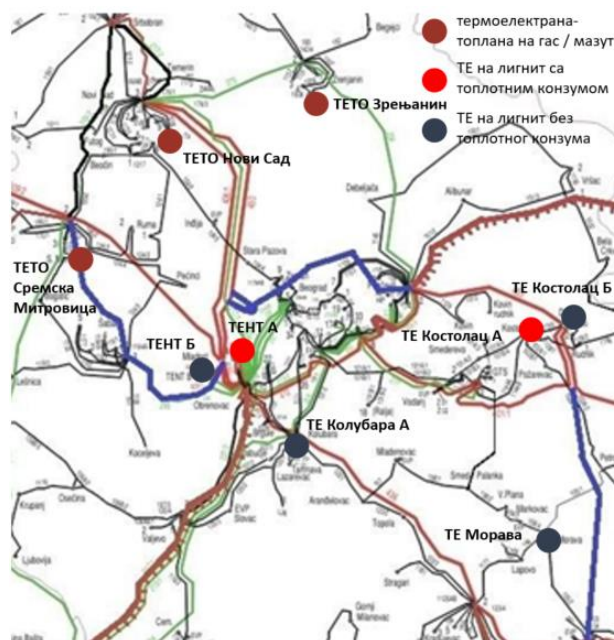


Слика 6. Начини обезбеђивања и коришћења биомасе као енергента у ЕЕС-у

Начин на који би се, увођењем и коришћењем технологија на биомасу, могао „озеленети” термоенергетски део производног портфеља ЕПС-а, илустрован је на сликама 7 и 8. На Слици 7 дато је постојеће стање и локације ТЕ у Србији (без КиМ). На Слици 8 приказано је могуће супституисање појединих постојећих капацитета на лигнит новим постројењима на биомасу, типизираних снага 1×160 или 2×160 MW_e. На Слици 8 илустрован је и начин на који би се у Србији, у случају већег обима коришћења биомасе као једног од примарних енергената у ЕЕС-у, могли

смањити трошкови њеног транспорта. Срећна околност је да се све три ТЕ-ТО у склопу ЕПС-а налазе у Војводини (од којих је ТЕ-ТО Нови Сад поред самог Дунава). Војводина је највећи извор биомасе потекле из пољопривредне производње. Биомаса се за сада ни изблиза не користи онолико колико је то могуће. Друго, и већина преосталих, великих ТЕ на лигнит, налази се уз Дунав и Саву, па би допрема биомасе до њих била могућа најјефтинијим, речним транспортом. Што се тиче нешто удаљеније локације за раније планирану ТЕ „Колубара Б”, транспорт биомасе до ње био би могућ истим железничким вагонима који из Рударског басена „Колубара” транспортују лигнит за ТЕ „Никола Тесла” (ТЕНТ) А и Б, а који, сада, у повратку ка копу иду празни. Претовар биомасе би се са бродова радио у пристаништима уз ТЕНТ А и ТЕНТ Б.

Што се тиче стране самог коришћења биомасе, издвајају се три основна вида (Слика 6). Први је могућност косагоревања са лигнитом у постојећим ТЕ. Оно би довело до умањења такси на емисије CO₂, смањења утrophка мазута, као и количина пепела, сумпора и емисије GHG-а. При томе, релативно мали удео биомасе у косагоревању значајно повећава калоријску вредност смесе у односу на чист лигнит. Прилагођавање за косагоревање не захтева већа улагања у постојеће производне капацитете.



Слика 7. Постојећи термокапацитети ЕПС-а



Слика 8. Идеја о коришћењу биомасе у ЕПС-у, уз смањење трошкова транспорта

Други вид коришћења биомасе је њено сагоревање у новом, „зеленим” ТЕ. У случају Србије њихове могуће локације дате су на Слици 8. Већ је поменуто да у свету постоје готова техничко-технолошка решења електрана на биомасу, типизираних снага. То су најчешће когенеративна постројења (ТЕ-ТО), за производњу електричне и топлотне енергије. Као подваријанта, могућа су решења ових ТЕ-ТО са додатним постројењима за хватање CO₂, његово компримовање и складиштење. У том случају, овакве електране на биомасу изузимају се из система плаћања такси на емисије CO₂.

Трећи, посебан вид коришћења биомасе, приказан на Слици 6, представља њена обрада и употреба у производњи биогаса.

2.4.2 Био-гас. Био-гас је изузетно погодан за когенеративну производњу топлотне и електричне енергије. Производња електричне енергије из био-гаса је, за разлику од оне из В-ОИЕ, потпуно управљива (није варијабилна). При томе ова постројења могу да раде и преко 7000 сати годишње, па имају изузетно висок фактор коришћења капацитета. Осим тога, сам био-гас је погодан за транспорт и сагоревање. Тако

једну од предности производње и употребе био-гаса представља могућност његовог сагоревања у урбаним зонама (нпр. CH_4), уз минималне емисије штетних материја/гасова.

Зависно од примењене технологије, за снагу од 1 MW_{el} , тј. 7 GWh електричне енергије годишње добијене из био-гаса, захтева се од око 7000 t до 20.000 t жетвених остатака кукуруза. Са 1 ha добија се од 3 t до преко 10 t жетвених остатака (количина варира од врсте усева, године и климатских услова).

Као нуспроизвод из био-гасног постројења, након обраде органске биомасе, добија се дигестат. Он

представља органско ђубриво и као такво се директно враћа на њиве. И то је елемент циркуларне економије, која је једна од одлика предложеног холистичког приступа са Слике 4. Важно је напоменути да дигестат има већу моћ фектилизације земљишта од самих жетвених остатака (од којих, иначе, настаје), а који би у то исто земљиште били заорани након жетве.

Цео процес производње и коришћења био-гаса за производњу електричне и топлотне енергије (од које се део враћа у сам процес припреме биомасе), илустрован је на Слици 9, са назначеним токовима и билансима масе и енергије и коефицијентима искоришћења.



Слика 9. Процес производње и коришћења био-гаса за производњу електричне и топлотне енергије

Међутим, озбиљан недостатак и препреку за шири обим производње и коришћења био-гаса представљају високи инвестициони трошкови који прате ова постројења. У зависности од технологија, инсталирани 1 MW_{el} постројења за производњу био-гаса и електране на ово гориво захтева инвестицију у опсегу од чак 4 до 6 милиона евра. У поређењу са СЕ и ВЕ, на пример, постројење на био-гас има значајно веће инвестиционе трошкове. Стога се енергетски субјекти за производњу електричне енергије још увек радије опредељују за грађњу СЕ и ВЕ него за електране на био-гас. Када се овој чињеници дода и раније поменути проблем експоненцијалног раста трошкова транспорта биомасе (нарочито као нуспродукта у пољопривреди) за ареале полупречника већег од око 50 km , јасно је да и експлоатациони трошкови постројења за производњу био-гаса и електрана на ово гориво бивају знатни.

Ипак, могуће решење или барем ублажење ових недостатака (а пре свега транспортних трошкова) лежи у поменутој чињеници да је транспорт самог био-гаса технички и технолошки далеко једноставнији, а тиме и јефтинији од транспорта биомасе као примарног енергента. Наиме, после филтрирања/пречишћавања био-гаса и екстракције (око 30%) CO_2 из њега, могуће је убризгавати био-гас у постојеће гасоводе намењене за транспорт природног гаса. Друга могућност је да био-гас, под притиском од 4 bar до 10 bar , буде транспортован кроз засебне, јефтине гасоводе од полиетилена, чак и на веома велика растојања. Стога би за ЕПС био-гасне технологије могле бити интересантне и разматране првенствено по концепту који би чиниле следеће компоненте:

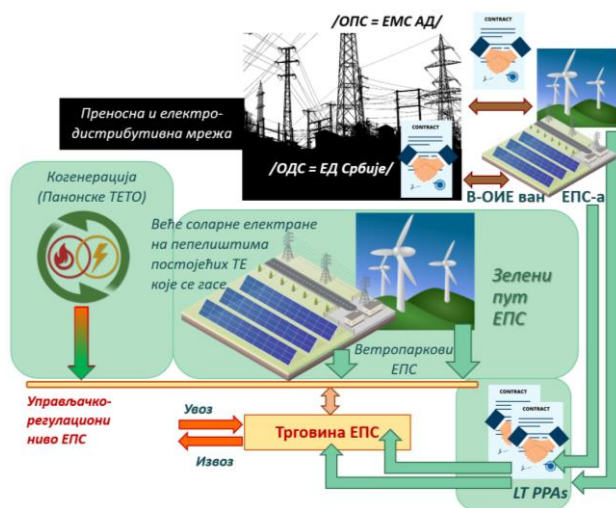
- децентрализована производња био-гаса, у већ постојећим и будућим постројењима, мањих капацитета (за која се жетвени остаци прикупљају са већег броја мањих, локалних ареала), а која су

сада искључиво у власништву лица и субјеката изван ЕПС-а;

- откуп произведеног био-гаса од стране ЕПС-а и његов транспорт постојећим гасоводима за природни гас или засебним, новим и јефтинијим гасоводима од полиетилена;
- централизована потрошња био-гаса у постојећим ТЕ-ТО ЕПС-а, које већ имају могућност когенерације.

Додатна повољна околност за примену једног оваквог концепта је и то што се три постојеће ТЕ-ТО ЕПС-а налазе у Војводини, највећој житници Републике Србије. Ова чињеница би такође повољно утицала на смањење оперативних трошкова у вези са евентуалном производњом и коришћењем био-гаса у ЕЕС-у Србије и у производном портфелу ЕПС-а. На овај начин, коришћењем био-гаса, постојеће ТЕ-ТО ЕПС-а би ефективно и ефикасно постале интегрални део концепта његовог „Зеленог пута“, чије су компоненте приказане на Слици 10. Надасве, смањила би се увозна зависност од природног гаса и тиме допринело повећању степена енергетске независности Србије.

Осим описаног концепта добијања био-гаса из биомасе и могућности његовог коришћења у производном портфелу ЕПС-а, у даљој будућности би била могућа и примена био-гасних технологија заснованих на коришћењу нискокалоричних угљева, с обзиром на то да ЕПС располаже преосталим количинама лигнита у својим површинским коповима у „Колубари“ и „Костолцу“. Ипак, технологије директног добијања био-гаса из лигнита данас су и даље прилично далеко од комерцијалне прихватљивости и практичне примене.



Слика 10. Компоненте концепта „Зеленог пута”

ЕПС-а. ОПС – оператор преносног система,
ОДС – оператор дистрибутивног система,
LT PPA – уговор приватног произвођача и ЕПС-а
о дугорочном откупу електричне енергије
(Long-Term Power Purchase Agreement)

2.4.3 Производња, складиштење и коришћење водоника.

Као једно од решења проблема које у ЕЕС уноси све већи утицај В-ОИЕ нуде се водоничне технологије. Као што је већ напоменуто, вишкови произведене електричне енергије у ЕЕС-у могу бити искоришћени за добијање водоника електролизом и за његово компримовање, у циљу складиштења. Уколико се електрична енергија за електролизу прибавља искључиво из ОИЕ, као продукт електролизе јавља се „зелени” водоник. У реалности, међутим, вишкови могу потицати и из класичних електрана, па и из ТЕ. Уколико, нпр. до 20% електричне енергије за електролизу води порекло из њих, а 80% и више из ОИЕ, као резултат процеса добија се „плави” водоник. Тако произведени водоник, који би се даље користио као носилац енергије, у будућности може представљати својеврсну копчу унутар енергетског система – између ЕЕС-а и осталих сектора и система. Наиме, не само да би се јављао као продукт рада ЕЕС-а него би се његовим сагоревањем у горивим ћелијама (Слика 4, средина доле) поново могла добијати, и у ЕЕС инјектирати, електрична енергија. У другим секторима пак „плави” водоник се може користити као један од примарних енергената у системима даљинског грејања; дакле, за добијање топлотне енергије (Слика 4, средина десно и горе). „Зелени” водоник се, у комбинацији са CO₂, захваћеним у одговарајућим постројењима у склопу ТЕ или ТЕ-ТО, може користити за производњу „плавог” метанола, који служи као гориво за аутомобиле, камионе, бродове и авионе (Слика 4, доле десно).

2.4.4 Јамска термална складишта. Као што је већ поменуто, у свету већ постоје и користе се велика јамска термална складишта (Pit Thermal Energy Storage, PTES). Највише искуства и примене ово техничко решење нашло је у Данској. Ова складишта се користе тако што се вишкови електричне енергије из

система користе за загревање и сезонско складиштење воде (Слика 4, горе десно). Она се потом користи у касној јесењој и зимској сезони, најчешће за системе даљинског грејања. Облога јаме, као и материјали од којих се гради њена прекривка, обезбеђује добру изолацију, како током више месеци не би долазило до превелике кондукције топлоте и хлађења воде. Најчешће се, у комбинацији са једном таквом јамом, као опрема за загревање воде користе или поља термалних соларних колектора или фотонапонски соларни панели из којих се вишкови електричне енергије користе за рад електричних грејача. На другој страни, заједно са јамом и соларима овај систем чини и топлотна пумпа, а могућа је и комбинација топлотне пумпе и (постојеће) топлане за даљинско грејање. Што се тиче топлотне пумпе, могуће је користити пумпу са компресором (када се као погонска машина углавном користи електрични мотор, гасна турбина или гасни мотор), или апсорпциону топлотну пумпу.

Што се тиче ЕПС-а, примена PTES-а била би могућа за насеља која се топлотном енергијом за даљинско грејање сада снабдевају из ТЕ које су планиране за гашење. Такође, постоји интерес ЕПС-а да учествује у развоју и реализацији пројекта PTES-а за Нови Сад, тим пре што су планиране локације овог постојења, укључујући и напојно соларно поље, у непосредној близини ТЕ-ТО Нови Сад. Реализација оваквих техничких решења донекле би била олакшана, и технички и финансијски, и то у погледу грађевинских радова, јер би за ископ и обликовање јама могла бити коришћена постојећа рударска механизација ЕПС-а.

2.4.5 Коришћење геотермалне енергије. Осим за даљинско грејање или припрему топле воде, геотермална енергија може да се користи и за производњу електричне енергије. У том случају се, међутим, захтева веома висока температура радног флуида, и од преко 190°C. У Европи и свету су развијене и у употреби три врсте електрана на геотермалну енергију:

- са сувом паром;
- са флеш паром;
- са бинарним циклусом.

Електрана са сувом паром користи топлу воду из тзв. производног бунара, температуре флуида су преко 150°C. Након проласка кроз турбину пара иде у хладњак одакле се флуид враћа у земљу, тзв. инјекционим бунаром. Ову врсту електрана карактерише релативно ниска цена, али је њихова примена географски ограничена.

Електрана са флеш паром испред турбине поседује и тзв. флеш бојлер, из кога се део флуида директно враћа у земљу, а део убризгава у турбину. Температуре флуида су преко 180°C. Ово је доминантан тип геотермалне електране када је реч о глобално инсталисаним капацитетима.

Електрана са бинарним циклусом као кључни елемент садржи измењивач топлоте. Он се флуидом напаја из производног бунара, из њега се расхлађени флуид враћа у земљу преко инјекционог бунара, али је на другој, системској страни, измењивач спрегнут и са турбином (коју напаја флуидом) и са сувим хладњаком (преко кога прима флуид искоришћен у турбини). Због

овако повећане ефикасности, потребне температуре флуида су код овог типа електране ниже, нешто преко 100°C. Такође је важно истаћи да се овај тип електране користи за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије (тј. за грејање).

Данас се широм света користе два типа бинарних система:

- *Organic Rankine циклус* (ORC), који користи органски радни флуид (пропан или изобутан);
- *Kalina циклус*, који као радни флуид користи смесу две супстанце (нпр. воде и амонијака).

Изазови који стоје пред широм применом геотермалне енергије за производњу електричне енергије су трансфер знања и технологија из гасне и нафтне индустрије и чињеница да српска легислатива још увек не омогућава бржи развој геотермалних електрана, нити субвенције и финансирање почетних пројеката. У случају евентуалне пословне и стратешке одлуке ЕПС-а да у будућности развија и пројекте геотермалних електрана, изазов трансфера знања и технологија би могао бити превладан у сарадњи са другим великим, националним енергетским субјектом, Нафтном индустријом Србије (НИС).

2.4.6 Нуклеарна енергија. Чак и уз широку и комбиновану примену свих поменутих и описаних нових технологија, постоји опасност да ће се, гашењем за то предвиђених ТЕ и смањењем ангажовања преосталих, појављивати све већи мањак електричне енергије у производном портфелу ЕПС-а, па и у ЕЕС-у Србије у целини. Са друге стране, највећи део базне енергије која ће се до 2050. године појављивати као недостајућа, и стога критична, најлакше је подмити из будућих нуклеарних електрана (НЕ).

Изградња и коришћење НЕ има, дакако, и других својих предности, али и недостатака. У прилог укидању постојећег мораторијума на изградњу НЕ у Србији и одређивање ЕПС-а за развој пројек(а)та НЕ, говоре следеће чињенице:

- фактор капацитета НЕ је око 85%;
- годишња производња је и до 8 TWh по једној јединици у НЕ, снаге до око 900+ MW;
- доступне су поуздане и компактне НЕ (генерације III+, IV);
- Технологије SMR (*Small Modular Reactors*) постају све безбедније и стога прихватљивије за јавност;
- на располагању је обиље отпадне топлоте из НЕ за грејање станова, индустрије, стакленика;
- НЕ не захтевају никакву резерву, складиштење енергије нити балансирање;
- нема великих трошкова за електричну енергију која би била утрошена за конверзију у друге облике енергије или горива.

Од недостатака који прате примену нуклеарних технологија треба истаћи следеће:

- осим технологије, и нуклеарно гориво се такође мора набавити из иностранства, тако да би постојао веома висок степен енергетске зависности Србије;
- зависност од испоручилаца технологије, испоручилаца горива и земље која би код нас бринула и о испушеном радиоактивном гориву је највиша могућа и политички веома упитна;

- мораторијум на градњу НЕ је и даље на снази;
- упитни су проблеми у вези са евентуалним поседовањем нуклеарних технологија (у случају Србије, због политичких односа у региону);
- недостатак експерата образованих у овој области;
- упитно је да ли би било могуће у Србији применити, у датом тренутку расположива, најновија техничка и технолошка решења;
- упитно је и прихватање нуклеарних технологија у јавности кад се има у виду да и високо технолошки развијене земље напуштају те технологије;
- питање је и то да ли би развој технологије засноване на фузији у међувремену (нпр. до завршетка планирања, пројектовања и изградње прве/их НЕ) превазишао тренутно расположива и, нарочито – за Србију доступна, техничка решења базирана на физионој технологији.

О свим овим аспектима и отвореним питањима (не ограничавајући се, наравно, само на њих) потребно је повести рачуна при разматрању опције одређивања за развој и реализацију пројеката НЕ у ЕПС-у, тј. Србији.

2.5 Начин разматрања увођења нових технологија

На путу декарбонизације и енергетске транзиције, пред ЕПС и друге енергетске субјекте у Републици Србији, осим стратешких и дугорочних, постављаће се и задаци давања мишљења о неком конкретном проблему, пројекту, студији, техничкој документацији или иновацији. И у једна и у друга разматрања пожељно је укључивати експерте у конкретним областима који су чланови академске заједнице – универзитетске и научно-истраживачке. Са њима би се разматрале и могућности примене:

- најновијих резултата научних истраживања;
- нових технологија и иновативних техничких решења;
- најбоље расположиве праксе.

Један од могућих начина стварања формално-правног оквира за овакво, синергијско деловање академске заједнице и енергетских субјеката јесте закључивање билатералних споразума о научно-техничкој сарадњи. На тај начин стварају се услови за успостављање тешње сарадње електропривреде са образовним и научним установама које се баве истраживањем и развојем у областима од интереса за електропривредну делатност.

Најважнији циљеви који би могли бити достигнути оваквом синергијом научно-истраживачког рада са једне и стручне праксе и искуства са друге стране следећи су:

- створити потребне услове за унапређење и даљи развој производних капацитета ЕПС-а;
- имати запослене у ЕПС-у који су образовани у областима нових технологија и иновативних решења и мотивисани за њихову примену;
- реализација стратешких циљева ЕПС-а и Републике Србије у енергетском сектору.

Овакав концепт сарадње и успостављања тимског рада олакшао би кретање ЕПС-а и Републике Србије на

путу декарбонизације, енергетске транзиције и успостављања одрживог развоја и циркуларне економије.

3. ЗАКЉУЧАК

Потребно је постепено, током неколико деценија које су пред нама, успоставити такав производни микс, који би био заснован и ослоњен на различите еколошки прихватљиве енергенте и на нове технологије, који ће бити не само изводљив и одржив на дуги рок него и технички, финансијски и економски оптималан за српске услове и прилике, као и друштвено прихватљив. Осим тога, тај микс мора бити довољан за профитабилан рад ЕПС-а и у стању да обезбеди:

- стабилност и поузданост рада ЕЕС-а Србије;
- сигурност снабдевања крајњих корисника;
- највиши могући ниво енергетске независности и безбедности Републике Србије;
- задовољство и крајњих корисника ЕЕС-а и запослених у ЕПС-у.

При томе у највећој могућој мери треба поштовати и примењивати принципе који ће водити ка повећању енергетске ефикасности, успостављању циркуларне економије и смањењу негативних утицаја на животну средину као и на социјални аспект.

Избор најпогоднијих и најпримеренијих нових технологија и конкретних техничких решења нових капацитета за производњу електричне и топлотне енергије убудуће треба да буде вршен на основу мишљења и закључака до којих ће доћи експерти из научних и стручних кругова својим заједничким радом и синергијским деловањем.

Да би се све ово остварило, неопходна су улагања и у стицање нових знања и стално унапређење знања у конкретним техничким и технолошким областима. Осим тога, потребно је уложити напоре и средства и у подизање свести, ширега круга заинтересованих страна и јавности у целини, о неопходности примене нових технологија и квалитативног помераја од фосилних ка обновљивим енергентима и одрживој будућности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Korohod, A., Decarbonization as One of the Ways to Solve the Problems of Globalization, 2023, DOI: 10.15837/aijes.v17i1.5761
- [2] Engr Olushola Aina, Decarbonization, Opportunities and Dilemma for Developing Countries, *American Journal of Computing and Engineering*, ISSN 2790-5586 (Online), Vol.7, Issue 1, pp 1 – 12, 2024
- [3] Vojinovic, I., Understanding Main Drivers of Global Decarbonization, 2024, Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing International Conference on Medical and Biological Engineering, DOI: 10.1007/978-3-031-49062-0_93
- [4] Diaz, S., Al Hammadi, N., El Nasr, A. S., et al., Green Corridor: A Feasible Option for the UAE Decarbonization Pathway, Opportunities & Challenges
- [5] Nowrot, A.; Manowska, A., Supercapacitors as Key Enablers of Decarbonization and Renewable Energy Expansion in Poland, *Sustainability* 2024, 16, 216. <https://doi.org/10.3390/su16010216>
- [6] Lau, H. C., Decarbonization of ASEAN's power sector: A holistic approach, 2023, *Energy Reports* 9(3): 676-702, DOI: 10.1016/j.egy.2022.11.209
- [7] Li, X. (S.), Liu, P., Energy transition paradox: Solar and wind growth can hinder decarbonization, 2024, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, DOI: 10.1016/j.rser.2023.114220
- [8] Ghosh, Sadhan K., Ghosh, Sannidhya K., Circular Economy Catalysing Decarbonization, Chapter in the book: *Circular Economy Adoption*, 2023, DOI: 10.1007/978-981-99-4803-1_1
- [9] Lau, H.C., Tsai, S.C., Global Decarbonization: Current Status and What It Will Take to Achieve Net Zero by 2050, *Energies* 2023, 16, 7800, <https://doi.org/10.3390/en16237800>
- [10] Petersen, M., Renken, K., Adopting a Value Chain Focus to Tackle Decarbonization, Chapter in the book: *Maritime Decarbonization*, 2023, DOI: 10.1007/978-3-031-39936-7_6
- [11] FX Joko Priyono, Trade And Decarbonization: Opportunities and Challenges, 2023, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1270 012003, doi: 10.1088/1755-1315/1270/1/012003
- [12] Onyinyechukwu Chidolue et al., Decarbonization strategies in energy-intensive industries: Cases from Canada, USA, and Africa, *International Journal of Science and Research Archive*, 2024, 11(01), 361–370, DOI: <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2024.11.1.0065>
- [13] Sundaramoorthy, S., Kamath, D., Nimbalkar, S., Price, C., Wenning, T., Cresko, J., Energy Efficiency as a Foundational Technology Pillar for Industrial Decarbonization, *Sustainability* 2023, 15, 9487. <https://doi.org/10.3390/su15129487>
- [14] Leisin, M.; Radgen, P., Holistic Assessment of Decarbonization Pathways of Energy-Intensive Industries Based on Exergy Analysis, *Sustainability* 2024, 16, 351. <https://doi.org/10.3390/su16010351>
- [15] Nesterenko, N. et al., Methane-to-chemicals: a pathway to decarbonization, Chemistry, Special topic: Green Carbon Science – A Scientific Basis for Carbon Neutrality, 2023, Published by Oxford University Press on behalf of China Science Publishing & Media Ltd.
- [16] Martin, J., Baccarani, C., Brunetti, F., Sustainability and decarbonization: can we afford it? - Some implications for management, 25th Excellence in

- Services International Conference, University of Upsala – Gotland – Sweden, April 2023, ISBN 9791221015904
- [17] Cruceru, C., Dumitraşcu, D. D., The discrepancy of managing decarbonization & profitability, 2023, The 8th International Conference "Management Strategies and Policies in the Contemporary Economy", DOI: 10.53486/icspm2023.58
- [18] Gallagher, K. S., Oh, S., Job creation and deep decarbonization, *Oxford Review of Economic Policy*, 2023, 39, 765–778, <https://doi.org/10.1093/oxrep/grad038>
- [19] Chengbo Fu, Lei Lu, Mansoor Pirabi, Advancing green finance: a review of climate change and decarbonization, *Digital Economy and Sustainable Development* (2024) 2:1, <https://doi.org/10.1007/s44265-023-00026-x>
- [20] Succar, S.A., Brissaud, D., Evrard, D., Flick, D., De la Fontaine, D., Decarbonization Measure: A Concept towards the Acceleration of the Automotive Plant Decarbonization, *Systems* 2023, 11, 335. <https://doi.org/10.3390/systems11070335>
- [21] Tantau, A.; Goia, S.I.; Dinca, V.M.; Paunescu, C.; Stamule, S.; Stamule, T.; Bogdan, A. Exploring the Generation Z Attitude towards Energy Efficiency Improvement and Decarbonization through Heat Pumps: An Empirical Study in Romania, *Sustainability* 2024, 16, 1250, <https://doi.org/10.3390/su16031250>
- [22] Müller, C.C., Pradhananga, P., El Zomor, M., Pathways to decarbonization, circular construction, and sustainability in the built environment, 2024, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, DOI: 10.1108/IJSHE-09-2023-0400
- [23] Шилјут В. М., „Утицај потрошача на одрживу декарбонизацију будућег електроенергетског система”, *Зборник радова, Електротехнички институт „Никола Тесла”*, бр. 31, стр. 13-38, 2021, doi:10.5937/zeint31-34268
- [24] Rasool, A.A., Abbas, N.M., Sheikhyounis, K., Determination of optimal size and location of static synchronous compensator for power system bus voltage improvement and loss reduction using whale optimization algorithm, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022, 1(8(115)), 26-34, doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251760>
- [25] „ПРЕЛИМИНАРНА АНАЛИЗА МОГУЋНОСТИ КОРИШЋЕЊА ПРОИЗВОДНИХ ЈЕДИНИЦА ПЛАНИРАНИХ ПО NERP-У ЗА OPT-OUT, ЗА ПРУЖАЊЕ ПОМОЋНЕ УСЛУГЕ РЕГУЛАЦИЈЕ НАПОНА”, Студија за ЕПС, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, 2021.
- [26] „РХЕ 'Бистрица' – АНАЛИЗЕ И ИНВЕСТИЦИОНО-ТЕХНИЧКА ДОКУМЕНТАЦИЈА”, студија и идејно решење за ЕПС, конзорцијум „Енергопројект-Хидроинжењеринг” АД Београд и „Електроенергетски координациони центар” ДОО Београд, 2021.
- [27] Kusakana, K.: 'Optimal scheduling for distributed hybrid system with pumped hydro storage', *Energy Conversion and Management*, 2016, (111), pp. 253–260.
- [28] Kocaman, A.S., Modi, V.: 'Value of pumped hydro storage in a hybrid energy generation and allocation system', *Applied Energy*, 2017, (205), pp. 1202–1215.
- [29] „Студија о могућностима изградње реверзибилних хидроелектрана и пумпно-акумулационих постројења у Србији”, студија за ЕПС, 2. фаза, „Дефинисање ширих простора и перспективних локација градње РХЕ и ПАП при ХЕ”, конзорцијум „Енергопројект-Хидроинжењеринг” АД Београд и Универзитет у Београду, Грађевински факултет, 2023.
- [30] „Хармонизација и обрада улазних података за израду студије оптималног коришћења хидроенергетских капацитета ЕПС АД, на временском хоризонту 1926–2018. година”, пројекат, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, 2023.
- [31] Илић, Ј., „Актуелни пројекти реконструкције, адаптације и инвестиционог одржавања постојећих хидроелектрана и РХЕ у ЕПС АД”, стручно-научни скуп „Хидроенергетика региона југоисточне Европе”, САНУ, 2023.

БИОГРАФИЈА

Владимир М. Шиљкут 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” водио је 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. био је 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. био је саветник за

пословни систем директора ЕПС-а. 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. (Ко)аутор је 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) и у сесији 5 – Планирање дистрибутивних мрежа.

Vladimir M. Šiljkut (Šiljkut)¹

Challenges and opportunities for long-term development and decarbonization of the Electric Power Industry of Serbia

¹ Joint Stock Company *Elektroprivreda Srbije*, Belgrade*

Review article

Highlights

- Review of new literature on decarbonization, transition and circular economy
- Proposal of a decarbonized power system model, based on the example of Serbia
- Opportunities and challenges for energy sources diversification and application of new technologies
- Proposal of ways to transfer knowledge in the energy sector of academia into the domain of industry / economy

Abstract

Environmental pollution and resources consumption for the industry operation and development of national economies have made it inevitable to find technical and technological solutions that will enable sustainable future development. Decarbonization, circular economy and diversification of energy sources are therefore imposed as a solution. In the (power) energy sector, they imply energy transition, primarily from the current mass use of fossil fuels to ecologically more acceptable primary energy sources, with an increase in energy efficiency, including an increase in waste heat's and waste materials' usage in the processes of heat and electricity production. Decarbonisation, however, raises complex issues and problems; from technical-technological, economic and financial ones - that long-term process' manners, dynamics and implementation costs, to the issue of its acceptability, fairness and the need to acquire appropriate knowledge and awareness. The example of Serbia, its electric power system (EPS) and "Electric Power Industry of Serbia" (EPIS) shows that it is necessary to establish gradually such a production mix, which would be based and relied on different, environmentally friendly energy sources and on new technology, which will be not only feasible and sustainable in the long term, but also technically, financially and economically optimal for Serbian conditions and opportunities, as well as socially acceptable. That mix must allow the profitable operation of EPIS and be able to ensure the stability and reliability of Serbian EPS operation, security of supply to end-users, the highest possible level of energy independence and security of the Republic of Serbia, and the satisfaction of end-users and EPIS employees. At the same time, the principles that will lead to an increase in energy efficiency, the establishment of a circular economy and the reduction of negative impacts on the environment, as well as on the social aspect should be respected and applied. The selection of the most suitable and appropriate new technologies and particular technical solutions for new capacities for the electricity generation and heat production in the future should be made on the basis of opinions and conclusions reached by experts from scientific and professional circles, through their joint work and synergistic action.

Keywords

**Circular Economy, Decarbonization, Diversification, Energy Efficiency,
Energy Sources, Energy Transition**

Received: February 26th, 2024 Reviewed: March 13th, 2024Modified: March 27th, 2024 Accepted: April 18th, 2024

*Vladimir M. Šiljkut (Šiljkut), +381-64-897-46-72

E - mail: vladimir.siljkut@eps.rs