

Ангажовање расположивих истраживачких капацитета у решавању проблема српске енергетике

- радна верзија у фази усаглашавања -

Садржај

1. Сажетак	2
2. Енергетска транзиција у свету и место Србије	3
Глобалне промене и значај истраживања у области енергетике.....	3
Електропривреда Србије	3
Улога домаће струке.....	3
Промене у интересовању и ангажовању српских енергетичара.....	4
3. Значај српског енергетског сектора.....	4
Енергетска транзиција у Србији.....	5
Проблеми транзиције у Србији и улога српских истраживача.....	5
4. Предлог програмског оквира	6
Конкретне мере.....	7
Партиципација.....	7
Рецензије.....	7
Очекивани резултати	7
Резултати на дужи рок	8
5. Постојећа научна и стручна компетенција у области енергетике	8
Утицај неуправљивих обновљивих извора на рад електроенергетског система	9
Променљива снага обновљивих извора	9
Проблеми које ствара увећање удела обновљивих извора у систему	10
Прилагођавање електроенергетског система већем уделу обновљивих извора.....	10
6. Дигитализација у електроенергетици	11
Потреба за дигитализацијом	11
Очекивани ефекти дигитализације у енергетици.....	12
Истраживачки потенцијал	12
7. Специфичности ЕЕС и истраживачких капацитета Србије.....	12
Институције које организују рад српских истраживача у области енергетике.....	13
8. Предлог	13

1. Сажетак

Постоји потреба да се део напора српских научника и стручњака усмери ка решавању проблема српске енергетике. Подршка српским истраживачима треба да буде праћена ближим дефинисањем потреба привреде, друштва и државе за домаћом струком и науком. Ангажовање домаће науке и струке може

- омогућити примену најбољих решења за снабдевање електричном енергијом и енергентима,
- омогућити да се део увезених технологија и стручних услуга замени домаћим решењима,
- омогућити оживљавање домаће електромашинске индустрије и стварање радних места,
- смањити потребу за ослањањем на анализе, стратегије и препоруке настале изван Србије,
- смањити проблеме до којих може доћи некритичком применом туђих решења и искустава,
- смањити штетне утицаје енергетског сектора на стање животне средине унутар Србије и
- увећати мотивисаност и осећај сврхе код младих и створити услове за останак у Србији.

Доступност и цена енергије и енергената значајно утиче на конкурентност привреде, док енергетика има значајан утицај на становништво и животну средину. Српска енергетика се суочава са значајним променама током енергетске транзиције коју подстиче исцрпљивање залиха лигнита као и све већи утицај који има ЕУ током приступних преговора. Процеси декарбонизације, смањења емисије, увећање удела обновљивих извора и неминовног увећања цене електричне енергије претвориће српске потрошаче у изузетно привлачно тржиште. За неколико година, наплате по основу преузете електричне енергије би могле достићи осам милијарди еура. Од интереса је створити услове да што већи део поменуте суме остане у Србији.

Да би се спровела енергетска транзиција примерена специфичностима и интересима Србије и очувала неопходна контрола над енергетиком као облашћу од посебног значаја, потребно је значајно ангажовање српске науке и струке коју треба подстаћи, финансирати и усмерити да решава проблеме српске енергетике.

Од посебног значаја је **подстаћи истраживање и развој у пољу**

- енергетске електронике,
- примене дигитализације у решавању проблема интеграције обновљивих извора,
- примене заштићених комуникација и расподељених база података и стварање основе за аутоматизовану трговину енергијом у ресурсима без учешћа човека,
- примене вештачке интелигенције у интеграцији потрошачких група, оптимизацији микромрежа и управљању расподељеним капацитетима за производњу и складиштење,
- развоја алгоритама за дигитално управљање обновљивим изворима и складиштењем.

2. Енергетска транзиција у свету и место Србије

Глобалне промене и значај истраживања у области енергетике

Низ проблема са којима се суочава свет повезан је са енергетиком,

- у периоду од 1962. до 2012. популација је увећана са 3 на 7 милијарди,
- утрошак енергије по глави становника увећан је 1.5 пута,
- потрошња електричне енергије је увећана 3.5 пута,
- укупна емисија угљен диоксида порасла је 4 пута,
- шире се пустиње, смањују шуме и обрадиве површине и исушују реке и језера.

Постоје процене да ће просечне температуре у Србији порасти за 2°C до 2050. године, да ће падавине бити умањене за 14%, док ће у исто време нестајати бројне биљне и животињске врсте. Према истим проценама, просечне температуре до 2080. могу порасти за 4°C док падавине могу бити умањене за 20%. Ефекти наведених проблема се могу ублажити одговарајућим решењима у области енергетике. Наведени разлози потенцирају значај подизања сопственог научног и стручног кадра у области енергетике.

На дужи рок, ангажовање српских истраживача на решавању проблема српског друштва као и подизање подмлатка може нам помоћи да се у блиској будућности лакше суочимо са

- проблемима у снабдевању енергијом, пијаћом водом и другим ресурсима,
- ефектима климатских промена, деградацијом екосистема и губитком биодиверзитета,
- сушама, смањењем обрадивих површина и површина под шумом као и
- проблемима одлагања отпада и проблемом локалног загађења животне средине.

Електропривреда Србије

Током 20. века српска електроенергетика је била извозник електричне енергије. Уз помоћ државе и уз широко ангажовање домаће струке, тимови научника и стручњака из академије и индустрије створили су систем који је све до данас обезбеђивао релативну сигурност у снабдевању енергијом. Садашње стање српске електроенергетике и даље омогућује подмиривање сопствених потреба из старих, традиционалних извора и уз превасходно ослањање на лигнит. Постоје притисци Европске комисије као и иницијативе у оквиру Париског споразума о клими да се електране на угаљ затворе како би се смањила емисија штетних гасова што ће, поред осталог, смањити и садржај једињења сумпора у ваздуху над Европом. Поред тога, преостале резерве лигнита и њихов квалитет су у паду, па се очекује да ће рад термоелектрана на угаљ бити знатно отежан до 2035. и да треба очекивати да сасвим престане до 2050.

Улога домаће струке

Имајући у виду значај енергетике за индустрију и становништво као и околност да сигурност у снабдевању и цена енергије значајно утичу на конкурентност српске привреде, постоји потреба да се очува неопходна контрола над енергетским сектором. С друге стране, прелазак на нискоугљеничку привреду се не може избећи, ако не због притисака ЕУ, тада свакако због

исцрпљивања ресурса¹. Да би се спровела енергетска транзиција примерена специфичностима Србије неопходно је значајно ангажовање српске науке и струке коју треба подстаћи, финансирати и усмерити да решава проблеме српске енергетике. То је једини начин да новим генерацијама предамо робусан и живав енергетски сектор какав су нам током друге половине 20. века предали наши претходници.

Промене у интересовању и ангажовању српских енергетичара

Србија располаже значајним бројем светски познатих стручњака који су раде широм света у кључним областима савремене енергетике², у области електронске енергетике и у примени дигитализације у енергетици. Значајан број наших стручњака тренутно не ради на решавању проблема српске енергетике.

У оквиру српске електропривреде постоји проблем обнављања и усавршавања стручног кадра. О кључним одлукама је некада расправљао и изјашњавао се *Стручни савет* електропривреде, скуп квалификованих научника и стручњака са српских универзитета, из института и предузећа. Захваљујући њиховом раду, Србија и данас задовољава своје потребе за електричном енергијом и поред дугог периода без неопходних инвестиција. Данас је начин доношења одлука промењен, број ангажованих научника и стручњака се смањује док је интерес младих научника за област смањен и усмерен ка иностранству. У исто време, значајан број старијих стручњака са значајним научним, стручним и руководећим искуством у ЕПС размештен је по различитим локацијама где њихове могућности нису искоришћене. Као последица, преостали стручни капацитет електропривреде није у складу са потребама енергетске транзиције и дигитализације. Значајан део српских научника који раде на проблемима енергетске транзиције и примене ИТ у енергетици тренутно нису ангажовани на решавању проблема српске енергетике.

3. Значај српског енергетског сектора

Производни процеси и услуге ослањају се на енергију, а њена цена представља значајан део цене већине производа и утиче на конкурентност привреде Србије. Српски енергетски сектор је међу највећим послодавцима, он значајно доприноси бруто националном доходу Србије и остварује значајан утицај на животну средину. Сигурност, просперитет и одрживи развој енергетског сектора у великој мери утиче на српску привреду и становништво. Током претходних деценија, Србија је од земље извозника електричне енергије дошла у стање где уз потешкоће задовољава сопствену потрошњу, док у исто време има прилично неповољну структуру примарних ресурса.

¹ Процена резерви лигнита не узима у обзир резерве на Косову и Метохији зато што је тешко проценити време које ће бити потребно да се поврати контрола над угљенокопима у јужној српској покрајини. Поред тога, проблем у раду термоелектрана на КиМ је обезбеђивање расхладне воде. Једини расположиви извор је акумулационо језеро Газиводе које је грађено за потребе наводњавања пољопривредних површина, и које се данас користи за снабдевање индустрије и становништва на КиМ (Приштина, Обилић, Вучитрн, Митровица, Србица, Звечан...)

² Савремена енергетика се у све већој мери ослања на енергетску електронику. Српски научници и стручњаци су директори и водећи истраживачи у највећим светским центрима за развој енергетске електронике. Енергетска транзиција подразумева примену решења енергетске електронике (заснованих на полупроводничкој технологији) на местима где су коришћени трансформатори и електричне машине (начињене од гвожђа и бакра). Нова, *електронска енергетика* ће у свом коначном облику подразумевати коришћење једносмерних струја у преносу и дистрибуцији електричне енергије. Заступљеност српских стручњака у области енергетске електронике вишеструко премашује величину Србије и њене популације.

Енергетска транзиција у Србији

Смањење резерви фосилних горива и климатске промене указују на потребу преласка на „нискоугљеничну“ енергетику и на увећање дела енергије која се добија из обновљивих извора. Интеграција обновљивих извора у електроенергетски систем је бременита проблемима. У земљама са већим уделом обновљивих извора промене снаге ветрогенератора и соларних електрана доводе до смањења ефикасности базних извора³ и до увећања емисије штетних гасова из термоелектрана које се *потискују* приликом раста снаге коју дају обновљиви извори. Неповољна излазна импеданса⁴ обновљивих извора често доводи до нестабилности, испада и хаварија у систему. Ипак, европске директиве обавезују Србију да увећа удео обновљивих извора у енергетском билансу на 27%⁵. Проблеми интеграције обновљивих извора су недовољно истражени. Они траже примену нових енергетских и информационих технологија, али и проналажење засебних решења за сваку од земаља, у складу са специфичностима њених базних извора, ресурса, мреже и потрошача. У датим условима, ангажовање сопствених истраживача се показује као веома прагматично решење.

Имајући у виду да је експлоатација термоелектрана све неизвеснија и неповољнија због пада резерви и квалитета лигнита и због великих трошкова смањења емисије штетних гасова, снага постојећих термоелектрана се током наредних деценија мора заменити другим изворима. На увоз електричне енергије се не може ослонити преко граница које су одређене техничким и економским разлозима. Преостале опције укључују градњу термоелектрана на природни гас⁶, градњу нуклеарних електрана и/или увођење концепта електронске енергетике и дигитализације ради ефикасне интеграције обновљивих извора⁷.

Проблеми транзиције у Србији и улога српских истраживача

Србија се суочава са иницијативом и притисцима Европске комисије да што пре прихвати амбициозне енергетске и климатске циљеве ЕУ који ће имати крупан и дугорочан утицај на српску енергетику, на потрошаче енергије кроз цену преузете енергије, као и на конкурентност српске привреде. Поред поменутих притисака, смањују се и резерве лигнита, на који се ослања велики део српских термоелектрана, па је зато прелазак на нискоугљеничну енергетику неизбежан.

Неприлагођена динамика енергетске транзиције и спровођење промена без адекватног

³ Међу базним изворима су термоелектране и друге електране чија снага не зависи од брзине ветра, облачности нити од доба дана, које су управљиве и чија снага се може мењати у складу са потребама потрошача, и које садрже синхроне генераторе са значајним обртним масама које доприносе стабилности система.

⁴ Снага обновљивих извора зависи од локалних метеоролошких услова и доба дана и године. Електронско управљање обезбеђује да снага ветра или сунца буде пренета мрежи преко система наизменичних струја и напона на месту прикључка извора на мрежу. У основи, снага је производ струја и напона на прикључку. Сваки пораст напона биће праћен падом јачине струје да би се и након пораста напона и даље предавала једнака снага. Динамичка излазна отпорност извора (тј. количник промене напона и промене струје) је негативна, што смањује маргину стабилности и може довести до распада система.

⁵ У просеку, земље ЕУ добијају око 20% у енергетском билансу из ОИЕ.

⁶ Према постојећим проценама, слободан капацитет планираног Балканског тока је довољан за потребе Србије. Под условом да цена гаса буде прихватљива, гас може послужити за базну али и за флексибилну производњу електричне енергије.

⁷ Веће ослањање на обновљиве изворе и њихова интеграција у систем траже значајне капацитете за складиштење енергије. Капацитети за складиштење се могу остварити градњом нових реверзибилних електрана и других постројења, што захтева значајне инвестиције и у великој мери увећава еквивалентну цену електричне енергије добијене из обновљивих извора. Алтернатива инвестицијама може бити виртуелно складиштење које се ослања на примену дистрибуираног рачунарства и енергетске електронике.

коришћења научних, технолошких и других потенцијала Србије могу проузроковати негативне и нежељене ефекте. Досадашња искуства указују на недовољно критички став у преузимању препорука и директива ЕУ **које могу имати и негативне ефекте⁸ и дати нежељене резултате.**

Ако се Србија и њени истраживачи на време укључе у савремене трендове у енергетици и заштити животне средине, бићемо креатори, а не само увозници технологија, а то отвара могућност за пословне подухвате на свим нивоима, почевши од малих компанија (*startup*), па до велике индустрије.

Српски истраживачи могу дати значајан допринос српској енергетици и прилагођеној транзицији ка нискоугљеничној економији, уз очигледну корист за сектор информационо-комуникационе технологије и заштиту животне средине. Српски истраживачи већ имају значајну улогу у развоју кључних праваца развоја светске енергетике (електронска енергетика), велики број наших научника и истраживача сарађује са светски познатим компанијама и универзитетима, док српски научници публикују значајан велики број радова из кључних области. Ипак, они до сада нису у довољној мери ангажовани у развоју српске енергетике, нису укључени у доношење одлука, у активности надлежних министарстава. Премда раде на развоју развоја електроенергетике у другим земљама, њихов утицај на развој српске електроенергетике је за сада врло мали.

4. Предлог програмског оквира

Потребно је формирати програмски оквир који обједињује кључне дисциплине енергетике са електронском енергетиком и информационим технологијама, који ангажује расположиве истраживачке капацитете и омогућује стварање подмлатка, и који омогућује ефикасно прилагођавање домаће привреде и струке промени парадигме у енергетици током наредних деценија. У основи, потребно је развити и применити савремена решења електронске енергетике, спровести дигитализацију енергетике и организовати прилагођавање домаће привреде и струке значајним променама до којих ће доћи током наредних деценија.

Предложени програмски оквир треба да допринесе:

- интеграцији обновљивих извора у енергетски систем уз ослањање на дигитализацију,
- примени напредних технологија за производњу и акумулацију електричне енергије,
- примени напредних решења електронске енергетике у преносу и дистрибуцији,
- стварању хардверске, програмске подршке и регулативе за динамичку промену цене кроз локално (регионално) тржиште електричне енергије,
- коришћењу дистрибуираног рачунарства у развоју виртуелне акумулације енергије,
- груписању потрошача, локалних извора и локалне акумулације у аутономне целине,
- унапређењу управљања (дистрибуирано управљање): нови концепт SCADA система и увођење и коришћење Phasor Measurements, Energy Management System као и Advanced Distribution Management System.

⁸ Промовисање биомасе као обновљивог извора енергије довело је до увећане емисије CO₂ због сагоревања дрвне масе и остатака и отпадака из пољопривреде, гашење нуклеарних електрана је увећало значај термоелектрана на угаљ, градња ветрогенератора у мери која се не може прикључити на мрежу довела је до нестабилности, испада и потребе да се бројне фарме ветрогенератора искључе са мреже и да се добијена енергија употреби на други начин.

Конкретне мере

Треба створити услове за рад наших истраживача на решавању проблема српске енергетике, постићи да српска енергетика почне да примењује резултате њиховог рада и да се створи симбиоза између доносиоца одлука и српске науке и струке. При формулисању оквира за финансирање пројеката у области енергетике треба имати у виду њене специфичности. Због интердисциплинарне природе проблема и међусобне повезаности поља рада и очекиваних резултата, неопходно је повезати већи број институција, и зато је неопходно повезати стручњаке из већег броја институција и формулисати комплексне пројекте са већим бројем блиско повезаних потпројеката. Специфичност енергетике је и трајање рада на пројектима који најчешће захтевају барем 3 године. Премда је основни циљ решавање проблема српске енергетике, форма и садржај резултата треба да омогуће примењивост изван Србије.

Партиципација

Ефикасан начин да се обезбеди примена резултата је ангажовање делова електропривреде Србије (ОДС, ЕПС, ЕМС) у формулисању циљева, ангажовање преосталог кадра електропривреде у реализацији и учешће електропривредних предузећа у финансирању истраживања и развоја. Предузећа-корисници треба да учествују (10% - 20%) у финансирању програма за које су заинтересовани.

Рецензије

Формулисање жељених циљева и верификацију остварених резултата се може поверити домаћим научницима и стручњацима који раде у области енергетике⁹, који поседују одговарајући кредибилитет и чији рад у тиму за формулисање циљева и верификацију резултата не би створио конфликт интереса. Од користи је проширити поменути тим стручњацима који представљају потенцијалне кориснике и представницима предузећа која учествују у финансирању. Од користи је успоставити везу између обима финансирања истраживачких тимова и извештаја тиме за верификацију остварених резултата.

Очекивани резултати

- Србија укључена у савремене трендове у енергетици и заштити животне средине постаје креатор и произвођач, а не само увозник технологија, уз значајно ангажовање домаће струке у малим (*startup*) компанијама, средњим предузећима и водећим компанијама „велике“ индустрије.
- Домаћа наука и струка се ангажују на пружању стручне и научне подршке процесима енергетске транзиције на начин који уважава специфичности српске енергетике и штити националне интересе.
- Интеграција обновљивих извора у електроенергетски систем Србије, оптималан развој нискоугљеничне енергетике, поправљање поузданости снабдевања, значајне уштеде у енергији, ресурсима и новцу.
- Примена електронске енергетике и *Big Data* технологије уз предности заштићене комуникације (*Cyber security*) између свих учесника у енергетским трансакцијама у

⁹ Чланови Академијских одбора САНУ имају неопходне квалификације. Планиране активности одговарајућих Академијских одбора је рад на већем ангажовању српске науке и струке у решавању проблема српског друштва.

реалном времену, управљање потрошњом, примена централизованих и дистрибуираних постројења за складиштење енергије и развој инфраструктуре за подршку електричним возилима.

Резултати на дужи рок

- Научна и стручна подршка државним органима за квалификовано доношење квалитетних одлука: информације, анализе последица одлука и мера, студије, стратегије, увид у главне правце светских промена и трендове.
- Ефикасније коришћење истраживачких ресурса (факултета и института), одржавање присуства у значајним областима и формирање стручног кадра за наредне деценије спровођења енергетске транзиције.
- Стварање нове перспективе за подизање домаће индустрије и развоја одговарајућих услуга, како би била умањена зависност од увоза технологија и створени извозни потенцијали.
- Јачање процеса формирања и усавршавања стручњака неопходних индустрији, науци, просвети и држави.
- Промена менталитета потрошача, преузимање енергије у интервалима када је расположива под повољнијим условима (управљање потрошњом), подела одговорности за сигурност снабдевања.
- Унапређење пословања електроенергетског сектора што доводи до смањења трошкова снабдевања крајњих купаца електричне енергије у Србији применом ИКТ и енергетске електронике.

5. Постојећа научна и стручна компетенција у области енергетике

Српски универзитети, институти и предузећа окупљају научнике и стручњаке који располажу искуством и вештинама неопходним за решавање значајног дела проблема који стоје пред српском енергетиком. Компетенција наших стручњака укључује

- проблеме интеграције обновљивих извора у електроенергетски систем (ЕЕС),
- проблеме рада ЕЕС у присуству увећаног броја електронски контролисаних извора и потрошача¹⁰ и увећаног броја потрошача са локалном производњом (*prosumer*)
- проблеме успостављања баланса између производње и потрошње у систему са увећаним уделом обновљивих/неуправљивих извора,
- проблеме складиштења енергије у електроенергетском систему и приступе управљању производњом и потрошњом који омогућују стварање виртуелног складиштења,
- развој нових технологија за складиштења енергије,
- коришћење једносмерних струја високог напона у преносу електричне енергије као и коришћење мрежа са једносмерним струјама ниског напона у дистрибуцији, микромрежама и паметним мрежама,

¹⁰ Рачунари, савремени кућни апарати, аудио и видео опрема, савремени системи за грејање и климатизацију, соларне електране, ветрогенератори, пунионице батерија у електричним аутомобилима, електрични погони, индустријске линије за производњу, роботи, дизала (лифтови), системи за напајање трамваја и тролејбуса...

- коришћење дистрибуираног рачунарства и блокчејн технологије у примени динамичких цена енергије и примени легално валидне аутоматизоване трговине енергијом и ресурсима.

Утицај неуправљивих обновљивих извора на рад електроенергетског система

Електроенергетски систем је конципиран тако да мора напајати потрошаче чија је снага променљива у времену (прати циклус људских и привредних дневних активности). Конвенционални електроенергетски системи садрже управљиве изворе и променљиво оптерећење. Снага подесивих извора мења се тако да обезбеди равнотежу потрошње и производње. У одсуству значајнијих капацитета за складиштење енергије (осим акумулационих и реверзибилних хидроелектрана), равнотежа у конвенционалном електроенергетском систему заснива се на промени снаге извора у складу са променама снаге оптерећења као и коришћењем интерконекција са суседним земљама и трговином на регионалном тржишту електричне енергије.

У електроенергетском систему са неуправљивим обновљивим изворима теже је остварити равнотежу између снаге извора и снаге потрошача, јер постоји додатна промена снаге нових, обновљивих извора који нису управљиви и чији рад зависи од локалних временских услова. Дебаланс снаге у систему сада зависи од флукуације снаге оптерећења и флукуације снаге извора. Вршне вредности разлике у снази производње и потрошње су веће. Од посебног значаја је околност да је брзина (тј. стрмина) промене са којом се мења дебаланс снаге у систему са обновљивим изворима значајно већа. Поменута околност у великој мери угрожава рад система и ствара техничке и финансијске проблеме који се значајно увећавају у системима са већим уделом обновљивих извора (повећани захтеви за оперативном резервом, повећање ефективне размене енергије са суседним електроенергетским системима и повећање обима трговине електричном енергијом на регионалном тржишту).

Променљива снага обновљивих извора

Снага ветроелектрана и соларних извора најчешће није управљива и мења се у зависности од локалних временских услова. Управљање електранама на ветар и сунце се углавном пројектује тако да снага предата мрежи буде што већа. Уз оптимално управљање, соларне електране мрежи предају највећу снагу која се може остварити при датој инсолацији, док ветроелектране предају највећу снагу која се може добити при датој брзини и правцу ветра. Уз другачије управљање, обновљиви извори би могли дати мању снагу. Дакле, снагом обновљивих извора могуће је управљати по цену значајног умањења ефикасности и значајно мање енергије која се предаје мрежи, па се такав приступ користи само у ретким случајевима када постоје технички разлози од великог приоритета.

У највећем броју случајева, тренутна снага обновљивих извора је одређена локалним временским условима, па се њоме не може управљати. Премда је оквирне износе снаге обновљивих извора могуће одредити на основу доба дана и прогнозе времена, тачну прогнозу је тешко остварити, због низа околности међу којима је локална облачност или несталне локалне турбуленције ваздуха. Према анализама одступања у процени снаге обновљивих извора, спроведеним у САД, сведени коефицијент варијабилности снаге ветрогенератора креће се у опсегу од 2.3 до 11 процентних поена, док се исти коефицијент за соларне електране креће у опсегу од 1.7 до 5 процентних поена.

Проблеми које ствара увећање удела обновљивих извора у систему

Уз варијабилност снаге потрошача, варијабилност снаге неуправљивих обновљивих извора увећава амплитуду дебаланса снаге као и брзину са којом се мења износ дебаланса. Поменута брзина (стрмина промене) је од великог значаја за рад система. У случају где је удео неуправљивих извора (ветроелектрана и соларних електрана) у систему једнак $x < 1$, остатак од $1-x$ управљивих извора (термоелектрана, нуклеарних електрана, проточних хидроелектрана...) треба да оствари промене снаге које производњу и потрошњу доводе у равнотежу. Увећањем учешћа x обновљивих извора у систему увећава се и потреба за брзим променама снаге управљивих извора, док се истовремено смањује њихов удео у систему $(1-x)$. Као последица, долази до прогресивног увећања $(x/(1-x))$ захтеване брзине са којом се мора мењати снага преосталих управљивих извора (термоелектрана, нуклеарних електрана, проточних хидроелектрана...).

Проблеми који се јављају приликом увећања удела неуправљивих обновљивих извора у систему (x) могу се илустровати на примеру система где се удео ових обновљивих извора увећава са 20% на 50%. Уважавајући дебаланс до кога долази због варијабилности снаге обновљивих извора, равнотежа производње и потрошње тражи да сваки од преосталих управљивих извора оствари 4 пута веће промене снаге. У случају да се удео обновљивих извора увећа на 70%, тражена флексибилност преосталих управљивих извора увећава се скоро 10 пута.

Флексибилност конвенционалних управљивих извора, какве су термоелектране на угљ или нуклеарне електране, ограничена је карактеристикама котлова, парних турбина и генератора, док је флексибилност акумулационих и реверзибилних хидроелектрана и електрана на природни гас нешто већа. Рад термоелектрана у систему са обновљивим изворима је скопчан са читавим низом проблема. Честе промене радног режима смањују степен корисног дејства електране, доводе до убрзаног хабања и кварова, смањују ефикасност сагоревања фосилних горива и доводе до веће емисије штетних гасова. Већа флексибилност може се остварити коришћењем електрана на гас, гаснотурбинских електрана као и већим коришћењем интерконакција са суседним земаљама.

Прилагођавање електроенергетског система већем уделу обновљивих извора

У систему са значајно увећаним уделом обновљивих извора не постоји могућност очувања равнотеже на бази управљивих извора, јер они не могу достићи неопходну флексибилност (тј. амплитуду и брзину промене снаге која је неопходна за уравнотежење варијације снаге обновљивих извора). Флексибилност система и могућност увећања удела обновљивих извора може се увећати применом:

- оптимизација прикључења дистрибуираних извора, у смислу оптималних локација по напонским нивоима (преносне или дистрибутивне мреже), географских и чворова тополошке мреже (Hosting Capacity) и могућим прикљученим снагама дистрибуираних генератора и електрана
- флексибилних постројења за акумулацију електричне енергије у оквиру електроенергетског система
- увођењем подстицаја за дистрибуирану акумулацију и дистрибуирану управљиву генерацију и потрошњу на страни потрошача

- убрзавања одзива на команде диспечера кроз скраћење диспечерских циклуса и унапређење аутоматских процеса ослоњено на софистицирани систем управљања који користи SCADA, Energy Management System & Advanced Distribution Management System.
- напредног система за предикцију варијација снаге извора и оптерећења - велике фарме обновљивих извора најчешће обезбеђују податке о генерисаној снази у реалном времену; поред тога, потребно је прикупљати и израчунавати разумне процене (прогнозе) снаге која се добија из дистрибуираних извора, који не генеришу и не комуницирају податке о генерисаној снази у реалном времену.
- увећање реакције потрошачког подсистема на потражњу (тј. увећање управљивости терета, *demand response*) кроз подстицаје за потрошаче који реагују на директне мрежне захтеве, подстицаје за рационалније коришћење енергије и кроз постепено увођење динамичке промене цене електричне енергије (кроз тржиште електричне енергије у реалном времену).
- увећање удела флексибилних генератора на страни мреже кроз модернизацију управљачких система хидроелектрана, градњу термоелектрана на природни гас или гасотурбинских електрана,
- Анализа утицаја прикључења дистрибуираних извора на перформансе електроенергетског система: примарну и секундарну регулацију учестаности, струје кратких спојева, падове/порасте напона, поузданост, сигурност, стабилност и утицај двосмерних токова снага на релејну заштиту.

6. Дигитализација у електроенергетици

Нови начини производње, преноса, складиштења и коришћења електричне енергије су део процеса Индустрија 4.0. Развој и правовремена, исплатива интеграција обновљивих извора ослања се на дигитализацију и примену ИТ решења која промовишу све актере у активне учеснике напредних трансакција енергијом, ресурсима и капацитетима на основу аутоматизованог *on-line* уговарања и управљања. Сигурност у склапању валидних, обострано прихваћених трансакција продаје-куповине електричне енергије тражи примену савремених ИТ технологија, какве су *block-chain*, криптографија и *IoT (Internet of Things)* технологије. Домаћу струку треба ангажовати на развоју енергетике 21. века и примени нових технологија за добробит српске енергетике, становништва и државе.

Потреба за дигитализацијом

Смањење резерви фосилних горива и климатске промене воде преласку на „нискоугљеничну“ енергетику и већем уделу обновљивих извора, чија интеграција у систем тражи примену информациононих технологија. У Србији постоје кадрови за примену информационо-комуникационих технологија и дистрибуираног рачунарства у енергетици. Развој и правовремена, исплатива интеграција обновљивих извора ослања се на дигитализацију и примену ИТ решења која промовишу све актере у активне учеснике напредних трансакција енергијом, ресурсима и капацитетима на основу аутоматизованог *on-line* уговарања. Сигурност у склапању валидних, обострано прихваћених обавеза тражи примену савремених ИТ технологија какве су *block-chain* и криптографија. Домаћу струку треба ангажовати на развоју енергетике 21. века и примени нових технологија за добробит српске енергетике, становништва и државе. Међу очекиваним резултатима је ефикаснија интеграција обновљивих извора и оптималан развој нискоугљеничне енергетике. Енергетика 21. века се ослања на енергетску електронику и *Big Data* технологију и даје сигурност користећи заштићене комуникације између свих учесника у енергетским трансакцијама у реалном времену.

Очекивани ефекти дигитализације у енергетици

- Ефикаснија интеграција обновљивих извора,
- Ефикасније управљање потрошњом,
- Коришћење дистрибуираног рачунарства у развоју и примени виртуелних капацитета за складиштење енергије,
- Интегрисање производње и потрошње (*prosumer*) и груписање у аутономне микромреже,
- Промена парадигме потрошача: преузимање енергије у интервалима када је она расположива под повољним условима и подела одговорности за сигурност снабдевања.

Истраживачки потенцијал

Српски истраживачи могу дати значајан допринос српској енергетици, потрошачима енергије и прилагођеној транзицији ка нискоугљеничној економији, уз очигледну корист за ИЦТ сектор и заштиту животне средине. Србија укључена у савремене трендове у енергетици и заштити животне средине постаје креатор а не увозник технологија.

7. Специфичности ЕЕС и истраживачких капацитета Србије

- У Србији је удео електричне енергије добијене из обновљивих извора још увек релативно мали. Не рачунајући велике хидроелектране, обновљиви извори дају око 4% утрошене електричне енергије на годишњем нивоу. Релативно мали удео обновљивих извора не ствара превише велике потешкоће у раду система какве се могу видети у развијеним земљама. Међутим, најављено дуплирање капацитета ветроелектрана у Србији имаће негативан утицај на стабилност система, губитке енергије и поузданост.
- Оптималан развој нискоугљеничке енергетике намеће значајно увећање удела енергије добијене из обновљивих извора, што захтева правовремено решавање проблема њихове интеграције у електроенергетски систем Србије.
- Српски стручњаци и научници у земљи и свету активно раде на развоју решења за проблеме енергетске транзиције, на развоју уређаја и система електронске енергетике и примени информационих технологија у раду мрежа са значајним уделом обновљивих извора. Значајан део њиховог стручног и научног рада је усмерен на решавање проблема савремене енергетике у развијеним земљама.
- Развој електроенергетике у Србији, дигитализација енергетског сектора и решавање проблема интеграције обновљивих извора може се поспешити ангажовањем српских научника и стручњака на мулти-институционалном пројекту који би финансирала држава, а користила српска енергетика.

Институције које организују рад српских истраживача у области енергетике

Неке од институција које организују рад српских истраживача у областима значајним за савремену енергетику су:

- Српски универзитети
- Научно-истраживачки институти
- Стручни капацитети српске привреде
- (Овај списак није коначан)

• Т. В. Д.

8. Предлог

• Т. В. Д.

Радна верзија у фази усаглашавања