

Uticaj novih energetske tehnologije na nivo energetske pravde

The Impact of New Energy Technologies on the Level of Energy Justice

Miroslav Parović

Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet Novi Sad

Rezime - Savremeni koncept energetske tranzicije podrazumeva praćenje matrice u kojoj su ključni elementi dekarbonizacija, digitalizacija, decentralizacija i demokratizacija energetske sektora. Pri tome, težnja je da se čitav proces sprovodi na pravičan način vodeći računa o izbalansiranosti energetske trileme. Imajući u vidu ovako postavljene zahteve, jasno je da se oni teško mogu dostići upotrebom samo konvencionalnih energetske tehnologije, bez obzira da li su bazirani na upotrebi fosilnih ili obnovljivih izvora energije. Zbog toga se ubrzano radi na razvoju novih energetske tehnologije koje bi trebalo da doprinesu lakšem dostizanju postavljenih ciljeva. Međutim, nemaju sve nove energetske tehnologije jednak uticaj na poboljšanje stepena energetske pravde u društvu, a neke od njih čak mogu izazvati i efekte suprotne od željenih. U radu se analiziraju mali modularni nuklearni reaktori (*small modular reactors*-SMRs) i veliki baterijski sistemi za skladištenje energije (*battery energy storage system* – BESS). Ove dve vrste tehnologije su izabrane jer su blizu masovne upotrebe u energetske sistemima. Takođe, primetan je i snažan uticaj različitih lobističkih grupa koje teže da nametnu ova rešenja kao obavezne elemente savremenih energetske sistema. Cilj istraživanja je sagledavanje uticaja koje bi ove dve tehnologije mogle imati na društvo, ali i na geopolitičku poziciju države u kojoj se implementiraju. Kao jedan od ključnih kriterijuma za analizu uzet je efekat primenjenih energetske rešenja na kompleksne oblike socijalnih i organizacionih tehnologije (npr. uticaj na razvoj obrazovne infrastrukture).

Ključne reči - pravedna energetske tranzicija, energetske trilema, savremene energetske tehnologije

Abstract - The modern concept of energy transition implies following a matrix in which the key elements are decarbonization, digitalization, decentralization and democratization of the energy sector. At the same time, the aspiration is to carry out the entire process in a fair way, taking care of the balance of the energy trilemma. Bearing in mind the requirements set in this way, it is clear that they can hardly be achieved using only conventional energy technologies, regardless of whether they are based on the use of fossil or renewable energy sources. This is the reason why new energy technologies are being developed quickly, which should make it easier to achieve the objectives. However, not all new energy technologies have the same impact on improving the level of energy justice in

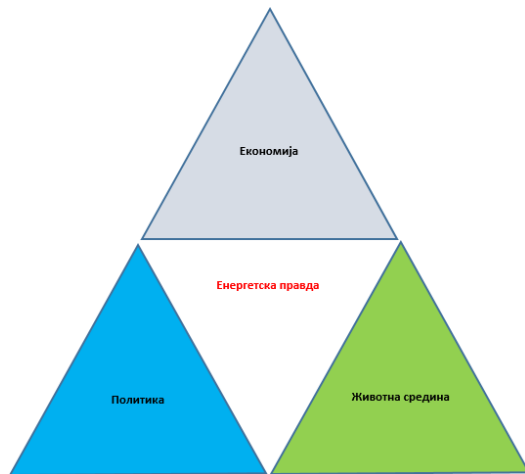
society; some of them may even cause the opposite of the desired effects. The paper analyzes small modular nuclear reactors (SMRs) and large battery systems for energy storage (BESS). These two types of technologies were selected due to their near mass application in energy systems. Also, the strong influence of various lobby groups that strive to impose these solutions as mandatory elements of modern energy systems is noticeable. The aim of the research is to assess the impact that these two technologies could have on society, but also on the geopolitical position of the country where they are implemented. One of the key criteria for the analysis was the effect of applied energy solutions on complex forms of social and organizational technologies (eg impact on the development of educational infrastructure).

Index Terms - Just energy transition, Energy trilemma, Modern energy technologies

I UVOD

Pojam energetske trileme je u upotrebu ušao preko definicije od strane *World Energy Council (WEC)*, a u okviru koje su tretirana pitanja energetske bezbednosti, socijalne jednakosti i ublažavanja uticaja na životnu sredinu. Višegodišnjim analizama utvrđeno je da države koje imaju nameru da budu najbolje u uravnotežavanju energetske trileme, moraju uspešno da balansiraju između adekvatnog iskorišćavanja postojećih energetske resursa, političke stabilnosti, društvenog bogatstva i korišćenja pristupačne ekološki prihvatljive energije [1]. Inače, sam pojam trileme se koristi za one situacije u kojima postoje tri različita cilja tako postavljena da u interakciji dva uvek teže rastu na račun trećeg. Koncept energetske pravde je uzet kao najpodesniji da se uz pomoć njega na optimalan način balansira energetske trilema nekog sistema [2], a što je prikazano na slici 1. Aktuelni trend za izučavanje energetske pravde sintetizuje četiri osnovna načela: distributivne pravde, pravde priznavanja, proceduralne pravda i restorativne pravde [3, 4]. Restorativna pravda je kao koncept prvo korišćena u krivičnom zakoniku. Kroz restorativni objektivi, krivično delo se vidi kao povreda ljudi i međuljudskih odnosa, a ne kao povreda države i njenog uređenja. Na taj način, licu koje je nanelo povredu stvara se obaveza da sanira nastalu štetu, dok pravda podrazumeva uključivanje počinioca, žrtve i zajednice u proces nalaženja rešenja koje treba da promoviše popravljavanje štete, pomirenje i sprečavanje ponovnog vršenja krivičnog dela. Iz ovakvog

određenja se vidi kako je koncept restorativne pravde upotrebljiv u energetici u kojoj postoji stalna potreba uravnotežavanja tri oprečna zahteva koji dolaze iz sfere politike, ekonomije i zaštite životne sredine.



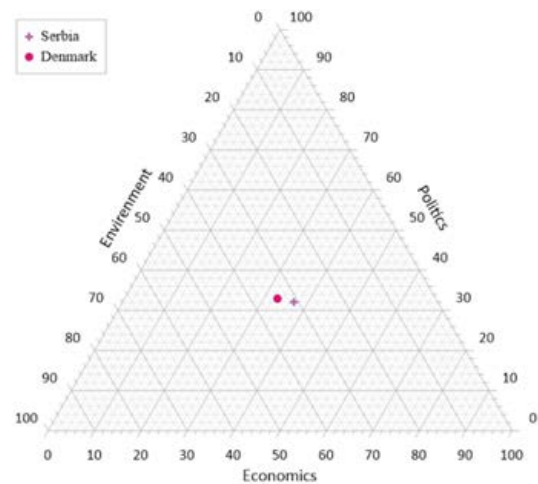
Slika 1. Šematski prikaz energetske trileme sa energetskom pravdom u središtu [2]

U okviru rada [5] izvršeno je kvantitativno merenje nivoa energetske pravde u Republici Srbiji upotrebom novorazvijene metrike za kvantifikaciju energetske pravde. Izvršena je i uporedna analiza sa parametrima Kraljevine Danske, koja je odabrana kao referentna država imajući u vidu da spada u red najrazvijenijih zemalja u svetu i da je proces energetske tranzicije ka ugljenično neutralnoj ekonomiji daleko odmakao, pa se i efekti jasno mogu videti. Na slikama 2 i 3 prikazani su ternarni dijagrami (trougoni dijagram koji prikazuje proporciju tri promenljive koje se zbrajaju u konstantu pomoću baricentričnih koordinata) na koje su nanešene izračunate (merene) vrednosti energetske pravde za dve analizirane države. Danska ima potpuno uravnoteženu energetska trilemu i balansna tačka se nalazi u centru, dok za Srbiju to nije slučaj. Uočljivo je izmeštanje tačke balansa iz geografskog centra ternarnog dijagrama (33,33,34) u tačku (37,32,31) [5]. Ovo je očekivano imajući u vidu da Danska ima snažne institucije koje sprovode energetska politiku koja podrazumeva uvođenje značajne količine OIE i savremenih energetska tehnologija. Sa druge strane, Srbija ima slabe institucije podložne korupciji, a sektor energetike se još uvek u dobroj meri koristi za kupovinu socijalnog mira.

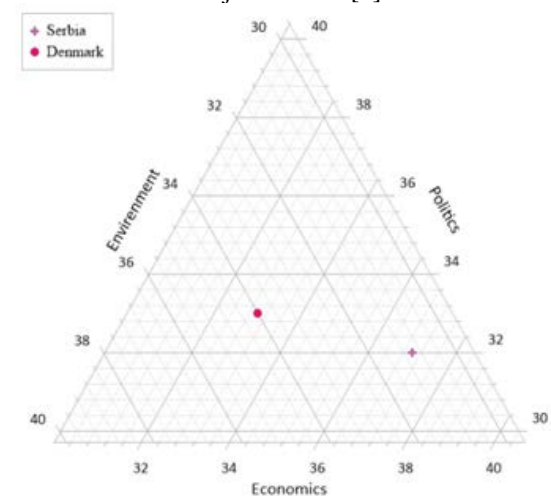
U istom radu [5] dati su parametri i formule na bazi kojih se vrše proračuni vrednosti energetske pravde. Uticajem na poboljšanje pojedinih parametara menja se i vrednost energetske pravde i na taj način se može postići bolji nivo izbalansiranosti energetske trileme.

Uvođenje savremenih energetska tehnologija u postojeći energetska sistem po pravilu ima za cilj unapređenje procesa energetske tranzicije koja je definisana kroz matricu dekarbonizacija, decentralizacija, digitalizacija i demokratizacija energetska sektora. Međutim, nema svako novo tehnološko rešenje jednak uticaj na pravednost procesa energetske tranzicije, a u pojedinim slučajevima ima upravo suprotan efekat, tj.

otvaraju se nove nepravde ili se produbljuju već postojeće. Kako je to prikazano u radu [6] svaki od ključnih dobitaka primenom savremenih energetska tehnologija dolazi sa skupom rizika. Ovi rizici se posebno tiču potencijala da principi energetske pravde, kao što su pristupačnost i održivost, naruše jednakost i poštovanje. Takođe, važan aspekt koji će se sagledavati je i taj na koji način primenjena tehnologija utiče na povećanje uključenosti zajednice u energetska sektor. Ovo je važan segment imajući u vidu napore evropske politike da stimulišu razvoj energetska inicijativa zajednice, uz preovlađujuću pretpostavku da će negovanje energije zajednice dovesti do povećanja energetske pravde u društvu [7].



Slika 2. Uporedna analiza izbalansiranosti energetske trileme Srbije i Danske [5]



Slika 3. Uporedna analiza izbalansiranosti energetske trileme Srbije i Danske (segment oko tačke balansa) [5]

Imajući u vidu kompleksnost proračuna u radu neće biti vršena kvantitativna, već samo kvalitativna analiza pretpostavljenog okvira u kojima bi se mogli kretati određeni parametri energetske pravde usled uvođenja u sistem malih modularnih nuklearnih elektrana (SMR) i baterijskih sistema za čuvanje energije (BESS). Za potrebe rada biće korišćen model energetska sistema Republike Srbije.

II UTICAJ BATERIJSKIH SISTEMA ZA ČUVANJE ENERGIJE NA NIVO ENERGETSKE PRAVDE

1. Tehnoekonomski aspekti uključenja BESS u elektroenergetski sistem

Savremeni pristup sprovođenju energetske tranzicije prati matricu 4D – dekarbonizacija, decentralizacija, digitalizacija i demokratizacija. U tom smislu obnovljivi izvori energije, kao što su hidroenergija, fotonaponski paneli i vetroturbine, postali su najšire primenjena rešenja za rešavanje problema povezanih sa iscrpljivanjem fosilnih goriva, povećanjem potražnje za energijom i globalnim zagrevanjem [8]. Međutim, stohastička priroda ovog tipa energetske izvora u velikoj meri ograničava njihovu masovnu upotrebu u okviru elektroenergetskih sistema. Zbog toga se i dalje u značajnoj meri zadržava visok nivo centralizacije elektroenergetskih sistema imajući u vidu da se iz velikih proizvodnih kapaciteta zadovoljava bazna potrošnja.

Jedan od ključnih faktora koji će obezbediti da u budućnosti u energetske sistemu dominira dekarbonizovana i obnovljiva energija je integracija nekog od sistema skladištenja energije. Danas prisutne tehnologije skladištenja energije su:

- reverzibilne hidroelektrane,
- baterijski sistemi za skladištenje i,
- mehanički zamajci.

Osnova funkcionisanja ovih sistema je da ublažavaju nestalnu proizvodnju iz OIE tako što čuvaju izlaznu energiju za upotrebu kada je to potrebno [9].

Trenutno se najveća količina energije skladišti u vidu hidroenergije, međutim ovakvi sistemi su uglavnom veliki i postoje razna ograničenja za njihovu izgradnju. Takođe, izgradnja velikih reverzibilnih hidroelektrana održava visok nivo centralizacije što je suprotno zahtevima energetske tranzicije. Iz tog razloga se fokus stavlja na upotrebu baterijskih sistema za skladištenje energije. Ova rešenja mogu ići od malog kapaciteta namenjenog za upotrebu u domaćinstvima (npr. uz foto naponske panele) pa sve do velikih postrojenja koja se priključuju na prenosnu mrežu. Stoga u poslednje vreme, BESS velikih kapaciteta beleže sve veći prodor u električnu mrežu [10]. Ovakvi sistemi mogu biti integrisani na različitim tačkama mreže pa tako BESS može biti postavljen na nivou prenosa radi ublažavanja zagušenja tj. preopterećenja vodova, na nivou distribucije da bi se poboljšala pouzdanost, i iza brojila (BTM-*behind-the-meter*) da bi obezbedilo smanjenje opterećenja [9]. Fleksibilnost u primeni skladišta na mestu potražnje ili na nivou mreže obezbeđuje pogodnost i brz odgovor u usklađivanju ponude i potražnje električne energije. Na ovaj način poboljšani rad sistema smanjuje vršnu potražnju i dovodi do smanjenja energetske opterećenja potrošača. U slučajevima kada ekstremni vremenski događaji mogu uticati na pouzdanost energetske infrastrukture, skladište može da održava električnu uslugu, podrži kritična opterećenja i poveća otpornost mreže [9]. Na ovaj način se obezbeđuje neprekidnost u napajanju kritičnih delova sistema (npr. bolnice) i u perspektivi se omogućava isključivanje dizel agregata.

Optimalno dimenzionisanje BESS-a je od suštinskog značaja za proširenje oblasti upotrebe i pouzdanosti. Na taj način se može zadovoljiti potražnja spoljašnjeg opterećenja, ali i smanjiti

ukupni troškovi energije i neto sadašnji troškovi (NPC - *net present cost*, koristi se u slučajevima kada zbir diskontovanih troškova premašuje onu diskontovanih koristi) uz ograničenje emisija štetnih gasova. Optimalno dimenzionisanje efikasnog BESS sistema je obiman posao koji uključuje analizu faktora kao što su starenje, ekonomičnost, optimalno punjenje i pražnjenje, emisija ugljenika, oscilacije snage, nagle promene opterećenja i prekidi prenosnih ili distributivnih sistema koje treba uzeti u obzir [11]. Stoga se među istraživačima povećava interesovanje za ovu oblast i razvoj široko primenjivog i pouzdanog BESS-a. Jedan od pravaca razvoja je unapređenje tradicionalnog baterijskog sistema sekundarnog napajanja (sistemi besprekidnog napajanja - UPS) što je opravdano s obzirom na nisku cenu, dug životni vek, pouzdanost i mali negativan uticaj na životnu sredinu.

U elektroenergetskom sistemu Republike Srbije trenutno nema značajnijih kapaciteta BESS. Javlja se sporadična upotreba u hibridnim sistemima sa fotonaponskim panelima. Ovakvi sistemi omogućavaju ostrvski režim rada pa je najveća upotreba u vikendicama ili na nekim drugim mestima u kojima nema pristupa električnoj mreži.

2. Uticaj BESS-a na parametre energetske pravde

Jedan od najvažnijih aspekata upotrebe BESS jeste povećanje nivoa decentralizacije elektroenergetskog sistema. Ovo je posledica mogućnosti primene tehnologije na različite naponske nivoe. Njihov pozitivan uticaj na naponske prilike u mreži, kao i na tokove snaga stavljaju BESS u epicentar nastojanja da se više OIE poput vetroturbina i solarnih panela može uključiti direktno u distributivnu mrežu. Ovo dovodi do mogućnosti značajnijeg povećanja broja onih koji se odlučuju za ulazak u status kupac-proizvođač (prozumer) što opet dalje gura sistem u pravcu decentralizacije i dekarbonizacije. Takođe, BESS pomažu u dostizanju koncepta dubinske elektrifikacije gde se kao osnovni cilj postavlja to da krajnji korisnici imaju dodir samo sa električnom energijom.

Drugi važan segment upotrebe BESS-a jeste mogućnost podizanja nivoa energije zajednice kroz realizaciju energetske zajednice namenjenih čuvanju energije. Jedna od definicija za lokalne energetske zajednice je da su to otvorene i demokratske organizacije u kojima svaki član ima prava na glas u odlučivanju, a svrha im je omogućavanje članovima da vrše proizvodnju i distribuciju (deljenje) električne energije unutar zajednice [12]. Modularnost i mogućnost skaliranja veličine projekta BESS-a šire bazu onih koji se mogu uključiti u realizaciju projekata ovog tipa. Primeri iz Sjedinjenih Američkih Država govore u prilog sve ozbiljnijem pristupu u nameri da se preko BESS-a osnaži energija lokalne zajednice. Jedan od slikovitih primera je plan *PG&E Oakland Clean Energi Initiative* (OCEI) da se zameni stara elektrana na fosilno gorivo rešenjima za čistu energiju, skladištenje energije i nadogradnju električnog sistema [9]. Drugi primer je Komisija za javna komunalna preduzeća Kalifornije (CPUC-California Public Utilities Commission) koja je pokrenula program podsticaja za samo-generisanje (SGIP- *Self-Generation Incentive Program*) koji nudi popuste za skladištenje energije za domove, stanove i kritične objekte. CPUC je odobrio finansiranje od milijardu dolara do 2024. godine za SGIP, pri čemu je deo prioriteta bio prema klijentima sa niskim primanjima

i medicinski ugroženim korisnicima [13].

Još jedan važan segment na energetske pravde na koji utiče BESS jeste mogućnost produžavanja životnog veka baterija koje se koriste u električnim automobilima [14]. Sve je veći broj ovakvih projekata koji u praksi pokazuju delotvornost čime se podstiče ciklična ekonomija koja je jedna od trenutno najvažnijih javno proklamovanih politika Evropske Unije.

Glavni nedostaci BESS su:

- Relativno visok nivo investicije što onemogućava one ljude sa nižim primanjima da pristupe ovoj tehnologiji. Dakle, postoji prisutna sistemska socio ekonomska barijera;
- Otisak CO₂ koji nije zanemarljiv jer svaki kWh instalisanih kapaciteta baterija prilikom proizvodnje generiše ekvivalent od 150 do 200 kilograma CO₂. Ovaj podatak se mora uzimati u obzir prilikom proračuna ukupnih efekata uvođenja BESS u energetske sistem;
- Nedostatak zakonskih rešenja i procedura koji bi detaljnije obradili oblast skladištenja energije.

III UTICAJ MALIH MODULARNIH NUKLEARNIH REAKTORA NA NIVO ENERGETSKE PRAVDE

1. Tehnoekonomski aspekti uključenja SMR u elektroenergetski sistem

Mali reaktori se mogu klasifikovati prema snazi ili veličini. Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) definiše male nuklearne reaktore kao one sa snagom do 300 MW-električnih (MWe) [15]. U početku razvoja tehnologije za iskorišćenje nuklearne energije za proizvodnju struje reaktori su bili male snage. Ovo je bilo uslovljeno tehničkim mogućnostima, a ne namerom, tako da su vremenom primat preuzeli veliki reaktori. Nuklearna energija je opadala na važnosti tokom poslednjih četvrt veka, pri čemu se njen udeo u globalnoj proizvodnji električne energije smanjio sa 17,5 odsto u 1996. godini na oko 10 odsto u 2019. godini [16]. Razlog za ovakav tretman nuklearne energije je u velikim potrebnim početnim investicijama za izgradnju postrojenja, dugom čekanju na realizaciju projekata uz česta prekoračenja budžeta i rokova izgradnje, te u dostupnosti drugih tehnologija koja zahtevaju manje početne investicije i daju bolje perspektive isplativosti. Prednost korišćenja SMR je prepoznata kao sredstvo za revitalizaciju industrije nuklearne energije zbog poboljšanja koja nude u bezbednosti, konstrukciji, radu i ekonomiji. Povećana sigurnost reaktora male snage je zbog njihove upotrebe manje količine goriva i njihove sposobnosti da se prilagode pasivnim sigurnosnim sistemima, kao što je prirodna cirkulacija. Mali reaktori imaju tendenciju da budu jednostavniji i robusniji od većih, i kao takvi nude prednosti u pogledu proizvodnje i konstrukcije [17]. Jedna od osnovnih karakteristika SMR je da se oni grade kao prefabrikovana (tipska) rešenja koja se kao takva dovoze na mesto ugradnje i tu montiraju na unapred napravljenu infrastrukturu. Ovo znači da postoji nekoliko standardizovanih tipova SMR koji se kao takvi serijski proizvode u fabrikama, za razliku od velikih reaktora koji se sklapaju na licu mesta zbog čega gradnja traje duže uz česta povećanja inicijalne investicije i produžetke rokova za završetak radova. Druga važna

karakteristika je modularnost što omogućava izgradnju proizvodnih kapaciteta u skladu sa dostupnim izvorima finansiranja projekta.

Ono što se pak očekuje je da mali reaktori budu skuplji po jedinici proizvodnje zbog razloga koje ekonomisti nazivaju ekonomijom obima. Veći reaktori (ili druge elektrane u tom slučaju) su jeftiniji po jedinici instalisane snage, jer se njihovi kapitalni i operativni troškovi, koji predstavljaju materijalne i radne potrebe, ne uvećavaju linearno sa proizvodnim kapacitetom. Ovo se ogleda u opštem pravilu u industrijskom inženjeringu koji koristi zakon snage da poveže kapitalne troškove proizvodnih objekata sa različitim kapacitetima. U formuli i objašnjenju datom u okviru [18] bira se eksponent 0,6 radi povezivanja dva postrojenja veličine S1 i S2 i odnosa njihovih kapitalnih troškova K1 i K2:

$$K_1/K_2=(S_1/S_2)^{0,6} \quad (1)$$

Računica po formuli (1) podrazumeva da bi, pod svim ostalim jednakim uslovima, SMR snage 200 MW imao cenu izgradnje koja iznosi oko 40% cene izgradnje reaktora od 1000 MW, dok bi proizvodio samo 20% električne energije. Dakle, SMR od 200 MW ima otprilike duplo veću cenu po MW kapaciteta. Slično tome, rad SMR-a će takođe biti skuplji po MW kapaciteta u poređenju sa velikim reaktorom zbog ekonomije obima. Oba ova faktora će rezultirati većim troškovima po jedinici proizvedene električne energije [16]. Međutim u radu [19] ukazano je da male jedinice imaju finansijske prednosti, uprkos široko prihvaćenoj premisi „veće je bolje“ i ekonomiji obima. SMR, budući da je jeftiniji od velikog reaktora, smanjuje finansijski rizik ulaganja velike količine novca, posebno na tržištu gde se cena proizvodnje energije iz drugih izvora može smanjiti. Takođe, u radu [20] ukazano je na to da su mali reaktori privlačni kada su finansijski resursi ograničeni ili kada je samofinansiranje poželjnije, i da imaju koristi od „ekonomije višestrukosti“ kada se grade uzastopno.

Po svojoj konstrukciji SMR su predviđeni da mogu da pokrivaju baznu potrošnju električne energije uz mogućnost prilagođenja opterećenju. Njihova modularnost omogućava bolju geografsku raspodeljenost izvora imajući u vidu da oni mogu biti postavljani i na mesta gde inače drugi tip elektrane ne može. Na taj način se proizvodnja može približiti centru potrošnje što blagotvorno deluje na naponske prilike u mreži. Ujedno, mali modularni reaktori mogu se postavljati i na mesta koja imaju specifičnu potrebu za napajanjem (npr. udaljeni rudnici). Jedini SMR koji su u operativnoj eksploataciji su dva plutajuća reaktora Akademik Lomonosov 1 i 2 (svaki po 35 MW) u Rusiji [21]. Namena im je napajanje polja za eksploataciju zemnog gasa koja se nalaze daleko od električne mreže.

Nakon nuklearne katastrofe u Černobilju, donet je Zakon o zabrani izgradnje nuklearnih elektrana u SFRJ, koji je kasnije zamenjen u suštini istim zakonima SRJ i Republike Srbije [22]. Ovaj zakon je u praktičnom smislu onemogućio školovanje i razvoj kadrova sposobnih za rad u sektoru nuklearne energetike što je danas jedan od važnijih prepreka za uvođenje ovog vida energije. Uprkos postojećem moratorijumu, Narodna skupština Republike Srbije je u decembru 2015. godine usvojila Strategiju razvoja energetike Republike Srbije do 2025. godine sa

projekcijom do 2030. godine [23], u okviru koje se konstatuje da bi za intenzivnije smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte bilo neophodno uvođenje nuklearnih postrojenja u srpski energetski sektor do 2050. godine, ali u strategiji taj scenario nije usvojen kao preporučen. Tokom 2019. godine Narodna skupština je usvojila tekst Zakona o radijacionoj i nuklearnoj sigurnosti i bezbednosti [24], koji daje mogućnost Vladi Republike Srbije da izda saglasnost za gradnju određenih vrsta nuklearnih postrojenja. Tokom 2021. godine od strane predsednika Republike Srbije nekoliko puta se moglo čuti kako postoje planovi da se gradi nuklearna elektrana [25] ili da se država uključi u projekat NE Pakš u Mađarskoj [26]. Takođe, nekoliko visokih državnih funkcionera, uključivši i samog predsednika Republike zagovarali su u javnosti tezu da bi za Srbiju rešenje za proizvodnju električne energije u budućnosti bila izgradnja malih modularnih nuklearnih reaktora [27].

2. Uticaj SMR na parametre energetske pravde

SMR tehnologija omogućava proizvodnju ekološki prihvatljive električne energije koja je novim odlukama EU stavljena u rang tzv. zelenih izvora. Na taj način se planira da nuklearna energija uz zemni gas bude nosilac tranzicionog perioda od fosilnih goriva ka OIE. Modularnost se ističe kao ključna prednost ove tehnologije jer se na taj način izbegava zamka izgradnje velikih nuklearnih reaktora kod kojih se vrlo često dešava prekoračenje kako u vremenu potrebnom za izgradnju, tako i u pogledu cene postrojenja. Uz pomoć SMR omogućava se da brže počne rad određenih kapaciteta, a da se potom iz prihoda finansira nastavak projekta. Još jedna od prednosti ove tehnologije je što ne zahteva tako striktno lokacijske uslove kao klasične nuklearne elektrane, te se shodno tome moduli mogu postavljati recimo na mestima gde su ranije bila postrojenja na ugalj. Na ovaj način se omogućava postepeno gašenje proizvodnje u ovom tipu elektrana i zamena ekološki prihvatljivijom tehnologijom. Pri tome se deo postojeće infrastrukture zadržava u pogonu što povećava isplativost projekta. Takođe, deo postojećeg stručnog kadra iz termoelektrana na ugalj bi uz određenu prekvalifikaciju mogao biti prebačen na rad u nova postrojenja čime se omogućava pravičnost u energetske tranziciji. Ovo je posebno interesantna mogućnost za one države koje imaju značajan udeo uglja u ukupnoj potrošnji primarne energije, a u koje spada i Republika Srbija.

Određeni nedostaci SMR tehnologije su inherentni samoj nuklearnoj tehnici i svode se na protivljenje društva za upotrebu ovog vida energije usled straha od akcidenata. Imajući u vidu da SMR još uvek nije ušao u fazu eksploatacije može se očekivati da će prvi projekti te vrste nailaziti na otpor sve dok se u praksi ne pokaže tačnost onoga što navode lobisti ove tehnologije. Drugi potencijalni problem koji se može imati sa SMR tehnologijom je upadanje u tehnološku zavisnost. Naime, od samog početka upotrebe nuklearne energije za proizvodnju struje postojala je težnja da postoji visok stepen međunarodne saradnje. Ovo je proklamovano kroz ideju „atomi za mir“ na bazi koje je započeto stvaranje različitih međunarodnih institucija koje se bave pitanjem civilne upotrebe atomske energije [28]. Shodno ovome, konvencionalna nuklearna tehnologija se nužno razvila kao internacionalna. Ovo se danas najbolje oslikava kroz činjenicu da čak ni u trenucima najvećih trvenja između SAD i Rusije ne prestaje saradnja u oblasti nuklearne energetike imajući

u vidu da se dobar deo goriva za američke nuklearne elektrane proizvodi u Rusiji. Takođe, proces obrade i neutralizacije nuklearnog otpada su najefikasniji kada se odvijaju u što većem obimu, što je opet jedino moguće kroz međunarodnu saradnju u ovoj oblasti. Sa druge strane, na primeru malih modularnih nuklearnih reaktora je uočljivo kako je to tehnologija koja ne podrazumeva kompleksnu prateću socijalnu infrastrukturu. Tako recimo, prilikom izgradnje i kasnijeg rada postrojenja, nema potreba za velikim brojem radnika i stručnjaka iz različitih oblasti, imajući u vidu da je najveći deo SMR tipski praviljen i kao takav se isporučuje naručiocima. Ovakav koncept pojačava potencijalne oblike tehnološke zavisnosti i značajno obeshrabruje kompleksne oblike socijalnih i organizacionih tehnologija. Pogotovo obrazovnu infrastrukturu, jer se u tipskim postrojenjima i ne mogu imati nikakve lokalne intervencije što umanjuje potrebu za angažovanjem lokalnih stručnjaka i sve se svodi na stalni angažman proizvođača opreme i sa njime povezanim firmama. Dakle, SMR u značajnoj meri ukida ideju internacionalizma u sektoru nuklearne energetike i otvara mogućnost neokolonijalne dominacije onih koji isporučuju tehnologiju i zavisnost onih koji je kupuju.

Ono što stoji kao velika nepoznanica za SMR je mogućnost reciklaže ili čak ponovne upotrebe modula. Ova tehnologija tek treba da prođe test ciklične ekonomije kako bi se sagledale sve mogućnosti. Izvesno je da SMR u svom radu daje značajno manje nuklearnog otpada u odnosu na konvencionalne nuklearke, ali se ne isključuje mogućnost kontaminacije delova postrojenja što bi u značajnoj meri onemogućavalo dalju upotrebu, a i poskupljivalo demontažu na kraju životnog veka.

IV ZAKLJUČAK

Trenutni imperativ koji se postavlja pred donosiocima odluka u sektoru energetike jeste da se favorizuju takva rešenja koja čitav sistem vode u pravcu ugljenično neutralne ekonomije. Ovo je otvorilo svojevrsnu globalnu trku u razvoju novih energetskih tehnologija.

U radu su analizirani baterijski sistemi za skladištenje energije i mali modularni nuklearni reaktori kao dve tehnologije od kojih se očekuje najveća penetracija u energetske sisteme širom sveta. Analiza je vršena kroz sočivo energetske pravde, a sa ciljem sagledavanja uticaja koje primene ovih tehnologija mogu imati na pravednost u procesu energetske tranzicije.

BESS tehnologija pokazuje značajne rezultate u pogledu decentralizacije energetskeog sistema i mogućnosti da se formiraju energetske zajednice za skladištenje energije ili za hibridna postrojenja (solarni paneli plus baterijski sistemi). Takođe, značajna prednost ove tehnologije je u mogućnosti upotrebe korišćenih baterija iz električnih automobila čime se produžava njihov upotrebnii vek i tako daje doprinos cikličnoj ekonomiji. Svi ovi parametri značajno utiču na poboljšanje energetske pravde.

SMR tehnologija omogućava modularnost u gradnji postrojenja čime se izbegava finansijska zavisnost u koju se može ući u slučaju izgradnje velikih nuklearnih elektrana. Takođe, lokacijski uslovi za postavljanje SMR nisu toliko striktni što omogućava da se ovakva postrojenja postavljaju bliže centrima potrošnje. Kao jedna od njihovih namena navodi se i mogućnost postavljanja u

već postojećim termoelektranama na ugajl umesto blokova koji se isključuju usled striktnih ekoloških zahteva. Na ovaj način se omogućava zadržavanje određenog broja radnih mesta, kao i delova postojeće infrastrukture što doprinosi pravednosti energetske tranzicije.

Imajući u vidu da su investicije u BESS značajno manje nego u SMR, kao i da ne postoje nikakve zakonske prepreke za njihovu upotrebu može se očekivati da će ova tehnologija vrlo brzo zauzeti značajno mesto u energetskim sistemima. SMR je još uvek u fazi licenciranja i tek krajem ove decenije se očekuju prva komercijalna postrojenja priključena na mrežu. Republika Srbija bi shodno tome trebalo da se pripremi za prihvatanje značajnijih kapaciteta BESS u svoju elektromrežu, a istovremeno treba otvoriti javnu debatu o statusu nuklearne energije, jer dosadašnja praksa lobističkog pokretanja te teme daje kontraefekte i samo udaljava društvo od ozbiljnog razmatranja ove veoma važne teme.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Parović, M. Uticaj pandemije virusa COVID-19 na pravednost energetske tranzicije država u razvoju, in Proc. 36. međunarodno savetovanje Energetika, Zlatibor, Srbija, pp. 438-445, 22-25. jun 2021.
- [2] Heffron, R.J., McCauley, D., Sovacool, B.K. Resolving society's energy trilemma through the energy justice metric, Energy Policy, Vol 87, pp 168-176, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.033>
- [3] Sovacool, B., Burke, M., Baker, L., Kotikalapudi, C., Wlokas, H. New frontiers and conceptual frameworks for energy justice, Energy Policy. Vol. 105, pp. 677-91, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.005>
- [4] Heffron, R., McCauley, D. The concept of energy justice across the disciplines, Energy Policy, Vol. 105, pp. 658-67, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.018>
- [5] Parović, M., Kljajić, M. Improvement of metric for quantification and assessment of the energy justice, Thermal Science, Vol. 26, No. 3A, pp. 2225-2237, 2022. <https://doi.org/10.2298/TSCI210527262P>
- [6] Sovacool, B., Lipson, M., Chard, R. Temporality, vulnerability, and energy justice in household low carbon innovations, Energy Policy, Vol. 128, pp. 495-504, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.01.010>
- [7] Bommel, N., Höffken, J. Energy justice within, between and beyond European community energy initiatives: A review, Energy Research & Social Science, Vol. 79, 102157. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102157>
- [8] Yang, Y., Bremner, S., Menictas, C., Kay, M. Battery energy storage system size determination in renewable energy systems: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 91, pp. 109-125, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.047>
- [9] Tarekge, B., O'Neil, R., Twitchell, J. Energy Storage as an Equity Asset, Current Sustainable/Renewable Energy Reports, Vol. 8, pp. 149-155, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40518-021-00184-6>
- [10] Utility-scale battery storage capacity continued its upward trend in 2018. <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=44696> [pristupljeno 26.03.2023]
- [11] Hannan, M.A., Wali, S.B., Ker, P.J., Abd Rahman, M.S., Mansor, M., Ramachandaramurthy, V.K., Muttaqi, K.M., Mahlia, T.M.I., Dong, Z.Y. Battery energy-storage system: A review of technologies, optimization objectives, constraints, approaches, and outstanding issues, Journal of Energy Storage, Vol. 42, 103023, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103023>
- [12] Parović, M. Razvoj energetskih zajednica kao aktivna mera za podsticaj pravedne energetske tranzicije u Republici Srbiji, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 24, No. 2, 2022. <https://doi.org/10.46793-eee22-2-33p/>
- [13] Self-Generation Incentive Program (SGIP). <https://www.cpuc.ca.gov/industries-and-topics/electrical-energy/demand-side-management/self-generation-incentive-program> [pristupljeno 26.03.2023]
- Skladištenje energije: novi život starih baterija iz električnih automobila, <https://balkangreenenergynews.com/rs/skladištenje-energije-novi-zivot-starih-baterija/> [pristupljeno 26.03.2023]
- [14] International Atomic Energy Agency IAEA, *Advances in small modular reactor technology developments*, Vienna International Centre, Vienna, 2018. https://aris.iaea.org/Publications/SMR-Book_2018.pdf [pristupljeno 26.03.2023]
- [15] Ramana, M.V. Small Modular and Advanced Nuclear Reactors: A Reality Check, IEEE Access, Vol. 9, pp. 42090-42099, 2021, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3064948>
- [16] Hussein, E.M.A. Emerging small modular nuclear power reactors: A critical review, Physics Open, Vol. 5, 100038, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.physo.2020.100038>
- [17] National Research Council, *Nuclear Wastes: Technologies for separations and transmutation*, National Academy Press, Washington, DC, 1996.
- [18] Gollier, C., Prout, D., Thais, F., Walgenwitz, G. Choice of nuclear power investments under price uncertainty: valuing modularity, Energy Economics, Vol. 27, No. 4, pp. 667-685, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2005.04.003>
- [19] Locatelli, G., Bingham, C., Mancini, M. Small modular reactors: a comprehensive overview of their economics and strategic aspects, Progress in Nuclear Energy, Vol. 73, pp. 75-85, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.01.010>
- [20] Mignacca, B., Locatelli, G., Sainati, T. Deeds not words: Barriers and remedies for Small Modular nuclear Reactors, Energy, Vol. 206, 118137, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118137>
- [21] Zakon o zabrani izgradnje nuklearnih elektrana u Saveznoj Republici Jugoslaviji, Sl. glasnik RS, 12/1995-28, RS 85/2005-30. <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/slsrj/skupstina/zakon/1995/12/4/reg> [pristupljeno 28.03.2023]
- [22] Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2025. Godine sa projekcijama do 2030. Godine, Sl. glasnik RS, 101/2015-36. <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/ostalo/2015/101/1/reg> [pristupljeno 28.03.2023]
- [23] Zakon o radijacionoj i nuklearnoj sigurnosti i bezbednosti, Sl. glasnik RS, br. 95/2018 i 10/2019. <https://www.paragraf.rs/propisi/zakon-o-radijacionoj-i-nuklearnoj-sigurnosti-i-bezbednosti.html> [pristupljeno 28.03.2023]
- [24] Vučić: Srbija razmatra izgradnju nuklearke, <https://balkangreenenergynews.com/rs/vucic-srbija-razmatra-izgradnju-nuklearke/> [pristupljeno 28.03.2023]
- [25] Vučić: Srbija želi da učestvuje u gradnji nuklearne elektrane u Mađarskoj, <https://balkangreenenergynews.com/rs/vucic-srbija-zeli-da-ucestvuje-u-gradnji-nuklearne-elektarne-u-madarskoj/> [pristupljeno 28.03.2023]
- Vučić: Srbija će možda i sama graditi modularne nuklearke, <https://www.slobodnaevropa.org/a/vucic-nuklearke-gas-struja-putin/31556558.html>
- [26] Krige, J. Atoms for peace. scientific internationalism, and scientific intelligence, Osiris, Vol. 21, No. 1, pp 161-181, 2006. <https://doi.org/10.1086/507140>

dr Miroslav Parović - doktor tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za industrijsko inženjerstvo i menadžment, miroslav.parovic@gmail.com, ORCID [0000-0002-9891-4876](https://orcid.org/0000-0002-9891-4876)