

Vladimir M. Šiljkut*



Izazovi i mogućnosti dugoročnog razvoja i dekarbonizacije „Elektroprivrede Srbije”

¹ Akcionarsko društvo „Elektroprivreda Srbije” Beograd

Pregledni rad

Ključne poruke

- Pregled najnovije literature o dekarbonizaciji, tranziciji i cirkularnoj ekonomiji
- Predlog modela dekarbonizovanog elektroenergetskog sistema na primeru Srbije
- Mogućnosti i izazovi za diversifikaciju energenata i primenu novih tehnologija
- Predlog načina transfera znanja u energetsom sektoru iz akademskog domena u domen industrije/privrede

Kratak sadržaj

Zagađenje životne sredine i trošenje resursa za rad i razvoj industrije i nacionalnih ekonomija učinilo je neminovnim iznalaženje tehničko-tehnoloških rešenja koja će omogućiti održivi razvoj u budućnosti. Dekarbonizacija, cirkularna ekonomija i diversifikacija energenata se stoga nameću kao rešenje. I u (elektro)energetskom sektoru one podrazumevaju energetske tranziciju, prvenstveno od sadašnjeg masovnog korišćenja fosilnih goriva ka ekološki prihvatljivijim primarnim energentima, uz povećanje energetske efikasnosti kojim bi se obuhvatilo i povećanje obima korišćenja otpadne toplote i otpadnih materija u procesima proizvodnje toplotne i električne energije. Dekarbonizacija, međutim, otvara niz složenih pitanja i problema; od tehničko-tehnoloških i ekonomsko-finansijskih – načina, dinamike i cene sprovođenja tog dugoročnog procesa – do pitanja njene prihvatljivosti, pravednosti i potrebe sticanja odgovarajućih znanja i svesti. Na primeru Srbije, njenog elektroenergetskog sistema (EES) i „Elektroprivrede Srbije” (EPS) pokazuje se da je potrebno postepeno, tokom nekoliko decenija, uspostaviti takav proizvodni miks koji bi bio zasnovan i oslonjen na različite ekološki prihvatljive energente i na nove tehnologije, koji će biti ne samo izvodljiv i održiv na dugi rok nego i tehnički, finansijski i ekonomski optimalan za srpske uslove i prilike, kao i društveno prihvatljiv. Osim toga, taj miks mora omogućiti profitabilan rad EPS-a uz istovremenu sposobnost da obezbedi stabilnost i pouzdanost rada EES-a Srbije, sigurnost snabdevanja krajnjih korisnika, najviši mogući nivo energetske nezavisnosti i bezbednosti Republike Srbije i zadovoljstvo krajnjih korisnika EES-a i zaposlenih u EPS-u. Pri tome, u najvećoj mogućoj meri treba poštovati i primenjivati principe koji će voditi ka povećanju energetske efikasnosti, uspostavljanju cirkularne ekonomije i smanjenju negativnih uticaja na životnu sredinu, kao i na socijalni aspekt. Izbor najpogodnijih i najprimerenijih novih tehnologija i konkretnih tehničkih rešenja novih kapaciteta za proizvodnju električne i toplotne energije ubuduće treba da bude vršen na osnovu mišljenja i zaključaka do kojih će doći eksperti iz naučnih i stručnih krugova, svojim zajedničkim radom i sinergijskim delovanjem.

Ključne reči

Cirkularna ekonomija, dekarbonizacija, diversifikacija, energenti, energetska efikasnost, energetska tranzicija

Primljeno: 26. februar 2024. Recenzirano: 13. mart 2024.

Izmenjeno: 27. mart 2024. Prihvaćeno: 18. april 2024.

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

E-mail: vladimir.siljkut@eps.rs

1. UVOD

Suočeno sa sve većim zagađenjem životne sredine i sve bržim iscrpljivanjem resursa na kojima se još uvek u ogromnoj meri zasniva funkcionisanje svekolike industrije, nacionalnih ekonomija i opstanak naše civilizacije, čovečanstvo treba da prihvati neminovnost iznalaženja tehničko-tehnoloških rešenja koja će omogućiti održivi razvoj u budućnosti. Dekarbonizacija, cirkularna ekonomija i diversifikacija energenata se stoga nameću kao neminovnost. I u samom energetske sektoru, uključujući i elektroenergetiku, one podrazumevaju energetske tranzicije, prvenstveno od sadašnjeg masovnog korišćenja fosilnih goriva ka ekološki prihvatljivijim primarnim energentima, uz povećanje energetske efikasnosti kojom bi se obuhvatilo i povećanje obima korišćenja otpadne toplote i otpadnih materija u procesima proizvodnje toplotne i električne energije. Na putu dekarbonizacije, međutim, otvara se niz složenih pitanja i problema; od tehničko-tehnoloških i ekonomsko-finansijskih – načina, dinamike i cene sprovođenja tog dugoročnog procesa (koja se mora uporediti s cenom nepreduzimanja neophodnih mera), do društvenih pitanja njene prihvatljivosti i pravednosti i potrebe sticanja odgovarajućih znanja i svesti svih zainteresovanih strana. Tekst koji sledi ima ambiciju da se ovim pitanjima pozabavi, počev od pregleda najnovije svetske literature u ovoj oblasti do analize mogućnosti i skiciranja predloga kako bi ova tranzicija mogla da izgleda na primeru Srbije, njenog elektroenergetskog sistema i najvećeg energetske subjekta, Akcionarskog društva „Elektroprivreda Srbije” (EPS).

Tokom pola veka globalizacija je bila pokretačka snaga u razvoju svetskih ekonomija, [1]. Pored pozitivnih efekata, globalizacija je izazvala i negativne posledice: ubrzane klimatske promene, degradaciju prirodnih resursa i povećane emisije štetnih materija. Zato se u poslednjoj deceniji značaj klimatske politike i dekarbonizacije sve više pojavljuje na svetskoj agendi. Pored toga, nedavni geopolitički događaji, uključujući pandemiju COVID-19, rat u Ukrajini i druge, dodatno naglašavaju važnost „zelenih” rešenja za oporavak i dekarbonizaciju ekonomija. Članak [1] ukazuje na značaj politike dekarbonizacije i identifikuje mogućnost rešavanja ekoloških i energetske problema izazvanih globalizacijom.

Fosilna goriva i dalje učestvuju sa oko 64% u proizvodnji energije i sa preko 80% u emisijama CO₂ koje nastaju ljudskom aktivnošću. Oko 35 milijardi tona CO₂ godišnje potiče od sagorevanja fosilnih goriva. U [2] se predlažu jedinstvena praktična rešenja koja bi obezbedila glatku tranziciju tokom dekarbonizacije, poput jačanja mreža i jačanja interkonekcija, zatim stvaranja manjih i efikasnijih mikromreža, poboljšanja energetske efikasnosti postojećih elektroenergetskih infrastruktura, odgovarajuće

kratkoročne, srednjoročne i dugoročne politike nacionalnih vlada o energiji, ulaganja u tehnologije obnovljivih izvora, kao što su sunce i vetar, u nuklearne tehnologije, nabavku sistema za skladištenje energije i druga ulaganja u tehnološke pogone, uz transparentnost svih procedura zbog suzbijanja korupcije.

Globalni energetske sektor prolazi kroz period istorijskih promena u kojima se dešava velika promena u izvorima energije, [3]. Energetske sektor se pomera ka održivijoj, ekološki prihvatljivijoj proizvodnji i potrošnji svih izvora energije, [4]. Mogućnosti i izazovi globalne energetske tranzicije prevazilaze granice, jer se fluktuacije i nedostaci raspoložive i potrebne energije mogu nadoknaditi samo u regionalnim i globalnim razmerama, [3]. Napuštanje fosilnih goriva (dekarbonizacija), kao put ka postizanju klimatske neutralnosti, podrazumeva masovno energetske restrukturiranje i nova ulaganja. Iz globalne perspektive, prioritet dekarbonizacije je postepeno izbacivanje uglja iz upotrebe. Ono što nesumnjivo karakteriše 21. vek jesu mnoge pilot i alternativne tehnologije koje imaju veliki potencijal za dekarbonizaciju (tzv. menjači igre), niske cene fosilnih goriva (jer izostavljaju eksterne troškove koje nameću zdravlju i životnoj sredini), kao i neophodnost pomeranja kako na strani tražnje tako i na strani ponude u privredi, kako bi se više koristili obnovljivi izvori energije (OIE). Shodno tome, rad [3] analizira i istražuje potencijale tri glavna pokretača restrukturiranja energetske sistema. To su:

- kombinacija signala tržišnih cena i cena CO₂;
- povećana upotreba OIE;
- brza diversifikacija snabdevanja energijom korišćenjem alternativnih tehnologija.

Istraživanje [3] jeste hronološki zasnovano na analizi globalnog energetske sistema, pri čemu se ističu zanemareni debalansi na strani ponude i potražnje energije. Opisno su objašnjeni izvori energije koji danas snabdevaju zemlje Evropske unije (EU), a analiza obuhvata uzroke i posledice ovakvog ishoda. Da bi se razumeli glavni pokretači globalne dekarbonizacije, treba naglasiti da, za razliku od stalnih resursa koji su uvek dostupni, bez obzira na oblik ljudske aktivnosti usmerene na njih, OIE imaju moć regeneracije pod uslovom da intenzitet njihovog obnavljanja nije ugrožen obimom njihove upotrebe. Stoga, korišćenje ovih resursa može biti vremenski ograničeno uprkos njihovoj obnovljivoj prirodi. Shodno toj činjenici, [3] bavi se analizom korišćenja alternativnih izvora, ukazujući na potrebu diversifikacije snabdevanja energijom u kratkoročnom i dugoročnom periodu.

Klimatske promene, društvene i upravljačke teme i teme u vezi sa zaštitom životne sredine, ESG (*Environment, Social, and Governance*), otvaraju važne debate o izazovima u pravcu energetske tranzicije, upravljanja širokim spektrom zainteresovanih strana, kao i

prednostima i mogućnostima koje se odražavaju na dugoročne izgleda jedne kompanije, uzimajući u obzir brigu za životnu sredinu, finansijske performanse jednog preduzeća, otpornost na poremećaje i sposobnost da održi svoje poslovanje i kontinuitet poslovanja tokom nepovoljnih situacija u odgovarajućim i efektivnim okvirima upravljanja. Zahtevaju se značajna ulaganja u infrastrukturu i tehnologiju, kao i saradnja više zainteresovanih strana, uključujući vladu, industriju i međunarodnu zajednicu. Takođe, važni su modeli upravljanja i jasne mape puta u vezi sa vladinim politikama i podsticajima, kako bi ona bila uspešna, [4].

U elektroenergetici, dekarbonizacija i zamena termoelektrana na uglj solarnim elektranama i farmama vetrogeneratora zahtevaju adekvatno velike kapacitete za skladištenje energije, kako bi se očuvala fleksibilnost i stabilnost rada elektroenergetskog sistema (EES), na koje negativno utiče intermitentnost proizvodnje iz ovih obnovljivih izvora. Ovo je posebno važno za zemlje kao što je Srbija, u kojoj se gotovo 70% električne energije i dalje obezbeđuje iz uglja, i to niskokaloričnog lignita. Pri tome, u Srbiji je i dalje na snazi moratorijum na gradnju nuklearnih elektrana, pa ne postoji jednoznačno rešenje drugog, još ozbiljnijeg problema – nedostatka velike količine energije za pokriće baznog dela dnevnog dijagrama opterećenja (potražnje).

U sličnoj situaciji je, recimo, i Poljska, u kojoj se proizvodnja električne energije takođe bazira na uglju (doduše na kvalitetnijoj vrsti uglja), i koja još uvek nema nuklearnu elektranu, [5]. Superkondenzatori predstavljaju novu generaciju skladišta energije i bili bi jedno od mogućih rešenja za navedene probleme. U [5] pokazuje se da upotreba superkondenzatora predstavlja mogućnost povećanja učešća solarnih elektrana i vetroelektrana na energetsom tržištu. Nadasve, nema potrebe da se sve elektrane na uglj (koje se postepeno gase) zamene nuklearnim. U [5] ističe se da svaka dalja dekarbonizacija i povećanje udela OIE na poljskom energetsom tržištu zahteva izgradnju i angažovanje objekata velikih skladišta energije. Baterijska postrojenja imaju relativno kratak vek trajanja, a sama njihova proizvodnja rezultira značajnim efektima emisija gasova staklene bašte (*Green House Gases*, GHG). I po isteku životnog veka baterije imaju negativan uticaj u domenu životne sredine i troškova, jer predstavljaju opasan otpad koji zahteva odgovarajući tretman. Sa druge strane, široka upotreba superkondenzatora u novoj generaciji skladišta energije otkriva nove mogućnosti i podstiče napore za dekarbonizaciju. Na osnovu godišnje analize proizvodnje električne energije po satu iz vetroelektrana i fotonaponskih elektrana, u [5] predlaže se formula za izračunavanje kapaciteta skladišta električne energije,

proizvedene uglavnom u OIE, koji je neophodan za stabilan rad nacionalne električne mreže.

Uglj i prirodni gas dominirali su i energetskim sektorom zemalja Asocijacija nacija jugoistočne Azije (ASEAN) u prošlosti i doprineli su 77% proizvodnji električne energije u 2019, [6]. Da bi do 2050. godine dostigle nultu vrednost emisija, zemlje ASEAN-a moraju da dekarboniziraju svoj energetski sektor u naredne tri decenije. Na putu dekarbonizacije otvara se ključno pitanje – odabir odgovarajućih novih tehnologija, čija primena treba da je učini mogućom i izvodljivom. Rad [6] izvodi vežbu tehnološkog skininga za deset tehnologija dekarbonizacije za energetski sektor na osnovu holističkog pristupa održivosti, bezbednosti, pristupačnosti, pouzdanosti, spremnosti i uticaja tehnologije. Ova vežba je rezultirala rangiranjem tehnologija za određene zemlje. Uopšteno govoreći, potrebno je istovremeno korišćenje i fosilnih i nefosilnih tehnologija, umesto da se čeka da određene tehnologije sazru. Na fosilnoj strani, prelazak sa uglja na gas za proizvodnju energije i implementacija zahvatanja i skladištenja ugljenika (*Carbon Capture and Storage*, CCS) u termoelektranama na uglj i gas imaju najveći potencijal za dekarbonizaciju. Stoga je u [6] predloženo 11 projekata CCS-a „prvog pokretača” sa potencijalom da ublaže do 22% emisije CO₂ povezanih sa energijom u ASEAN-u. Na strani obnovljivih izvora, hidroenergija ima najveći potencijal. Dalje povećanje kapaciteta verovatno će biti u protočnim hidroelektranama. Unutar ASEAN-a postoji srednji do visok potencijal za dalje korišćenje poljoprivrednih oblasti kao izvora biomase za proizvodnju električne energije, posebno u Indoneziji, Tajlandu, Maleziji i Filipinima. Fotonaponski (PV) solarni sistemi imaju srednji potencijal u zemljama ASEAN-a sa velikom kopnenom površinom, ali je potrebno više istraživanja i razvoja (R&D) u poboljšanju mreže i tehnologijama skladištenja energije. Unutar ASEAN-a energija vetra pati od niske prosečne brzine vetra, ali postoje izuzeci. Potrebno je više istraživanja i razvoja u pogledu vetroturbina za male brzine vetra. Geotermalni resursi se nalaze samo u Indoneziji i na Filipinima i nedovoljno se koriste. Dalja implementacija će zahtevati povoljne vladine politike za podsticanje privatnih investicija i racionalizaciju izdavanja dozvola, između ostalog. Takođe se raspravlja o energetskim politikama koje promovišu brzu dekarbonizaciju energetske sektora ASEAN-a, na osnovu zaključaka u [6].

Kao što je već pomenuto, dekarbonizacija energetskih sistema zahteva primenu varijabilnih obnovljivih izvora energije (vetar i solarna energija, V-OIE), i to sa sve nižim troškovima. Rast broja i instalisane snage ovih OIE utiče na cene električne energije, što može uticati na investicije u hidroenergiju i na usvajanje opcija na bazi fosilnih goriva za proizvodnju električne energije radi pokrivanje baznog

opterećenja, [7]. Stoga ostaje nejasno da li bi, u odsustvu dobro osmišljene politike, primena više V-OIE zaista smanjila neto emisije ugljenika u energetske sisteme. Studija [7] prvo je razvila tehnokonomski model optimizacije kako bi se istražili uticaji budućih projekcija V-OIE na dugoročne cene električne energije i naknadne investicije u hidroenergiju, koristeći kinesku provinciju Hubei kao studiju slučaja. Zatim su kvantifikovane emisije ugljenika u vezi sa promenom ulaganja u hidroenergiju. Bez intervencija, niža cena električne energije mogla bi do 2050. da dovede do smanjenja investicija u hidroenergiju za 42%. Uz povećani udeo V-OIE i smanjene investicije u hidroenergiju, očekuje se da će energetske sisteme primeniti više rezervnih opcija za fosilna goriva, pa autori [7] tvrde da bi se emisije CO₂ mogle povećati za čak 45%. Stoga bi korišćenje više V-OIE smanjilo investicije u hidroelektrane i neočekivano dodatno otežalo dekarbonizaciju, što ukazuje na mogući paradoks u energetske tranziciji. Taj paradoks zahteva novu i robusnu politiku koja će obezbediti da se koristi od dekarbonizacije ostvare bez obzira na potencijalne promene cena električne energije.

Stope eksploatacije prirodnih resursa ubrzano rastu. Stoga razmišljanje o kružnoj (cirkularnoj) ekonomiji predstavlja priznanje da više ne možemo biti ravnodušni prema ograničenim resursima kojima raspolažemo na našoj planeti. Razvijeni su novi poslovni modeli i alati koji će podržati budućnost otporniju na poremećaje, [8]. Cirkularna ekonomija će svojim regenerativnim konceptima pomoći u smanjenju eksploatacije prirodnih resursa. Dekarbonizacija se može odnositi na udaljšavanje od energetske sisteme koji proizvode ugljen-dioksid (CO₂) i emisije drugih GHG-a ili se može odnositi na uklanjanje nakupljenog ugljenika i naslaga ugljenika iz motora sa unutrašnjim sagorevanjem. Oba procesa imaju iste ciljeve uklanjanja ugljenika, ali na različite načine. Dekarbonizacija energije uključuje pomeranje celog energetske sisteme kako bi se sprečilo da emisije ugljenika uđu u atmosferu pre nego što se uopšte ispuste, a deo tog procesa takođe uključuje korišćenje tehnologija za zahvatanje ugljenika, radi uklanjanja CO₂ iz vazduha nakon što je već ispušten. Ovo uključuje dekarbonizaciju energetske mreže, dekarbonizaciju lanaca snabdevanja i korišćenje sekvenciranja ugljenika u potrazi za neto nultim emisijama i globalnom ekonomijom koja bi bila ugljenično neutralna. Cirkularna ekonomija će pomoći da se produži životni ciklus proizvoda, sačuvaju resursi koji dovode do nultog rasipanja i potpomogne dekarbonizaciju smanjenjem ugljeničnog otiska. Ciljevi održivog razvoja podstiču implementaciju cirkularne ekonomije i dekarbonizaciju, s integrisanim pristupom svih zainteresovanih strana u društvu. Članak [8] proučava kako cirkularna ekonomija služi kao katalizator dekarbonizacije.

Pregled globalnih emisija CO₂ tokom prošlog veka pokazuje da su emisije iz 80 nacionalnih ekonomija doprinele 95% globalno zabeleženim emisijama, [9]. Među njima, 55 ekonomija je bilo „dekarbonizatorsko“, gde su emisije CO₂ ili već pale ili opadaju, dok je 25 ekonomija bilo zagađivačko, kod kojih su emisije CO₂ i dalje bile u porastu. Godine 2021. globalne emisije CO₂ iznosile su 37,1 Gt_{pa}, s tim što 56% dolazi od zagađivača i 39% od dekarbonizatora. Ako se trenutni trendovi nastave, globalne emisije CO₂ će do 2050. godine dostići 49,6 Gt_{pa}, pri čemu bi 81% dolazilo od zagađivača i 14% od dekarbonizatora. Samo 14 ekonomija će dostići neto nultu emisiju CO₂. Cilj dekarbonizacije za postizanje neto nule izračunava se za svaku ekonomiju. Dekarbonizatori treba da smanje emisije CO₂ za 230 Mt_{pa}, a zagađivači čak za 1365 Mt_{pa} CO₂, počevši od 2021, kako bi dostigli neto nulti cilj do 2050. Kako se dekarbonizacija bude odlagala, tako će se ovaj cilj povećavati svake godine. Analize pokazuju da je udeo OIE u ukupnoj finalnoj potrošnji energije u većini ekonomija porastao, u proseku za samo 4% u poslednjoj deceniji, što je neadekvatno postizanju neto nule do 2050. godine. Stoga se u [9] predlažu putevi za ubrzanje dekarbonizacije i razmatraju se njihove implikacije na politiku. Pri tome je primenjena sledeća metodologija: u prvom koraku se, na osnovu baze podataka o globalnim emisijama CO₂, obavlja uvid u istoriju, na osnovu čega se vrši pomenuta klasifikacija na zagađivače, dekarbonizatore i ostale; u drugom koraku se za prve dve kategorije prognoziraju emisije CO₂ u budućnosti; u trećem koraku se utvrđuju ciljevi dekarbonizacije, za obe kategorije, i pri tome, uzimajući u obzir i pretpostavljenu globalnu potrošnju energije prema bazi podataka o tipovima goriva, diskutuje se o različitim, ekonomsko specifičnim putevima dekarbonizacije: sa dominacijom uglja, sa dominacijom gasa i nafte i sa dominacijom nefosilnih goriva. Na osnovu rezultata prezentovanih u [9] biva jasno da će biti potrebna i druga sredstva dekarbonizacije, uključujući i fosilna rešenja sa niskim sadržajem ugljenika, kroz zahvatanje i skladištenje ugljenika.

Kroz analizu postojeće literature i politika različitih zemalja, u [1] identifikuje se potencijal politika dekarbonizacije, u cilju ublažavanja negativnih uticaja globalizacije na životnu sredinu i energetske sektore. Nalazi [1] sugerisu da usvajanje politika dekarbonizacije može dovesti do smanjenja emisije GHG-a, poboljšanja energetske efikasnosti, razvoja OIE i „zelenih“ radnih mesta, što na kraju doprinosi održivijoj i otpornijoj globalnoj ekonomiji.

U [10] pružaju se informacije koje će pomoći u usvajanju uspešnih mapa puta za dekarbonizaciju ili projekata dekarbonizacije fokusiranjem na lance vrednosti. Autori [10], koristeći primer iz sektora saobraćaja (tj. kompanija u pomorskom sektoru), ističu važnost

razumevanja različitih aktivnosti i procesa uključenih u stvaranje vrednosti i njihovu međuzavisnost od drugih delova lanaca vrednosti u kojima posluju. Oni naglašavaju da dekarbonizaciju treba posmatrati kao zajednički poduhvat više isprepletenih lanaca vrednosti. Samo s ovom širokom perspektivom mogu se dostupna sredstva za dekarbonizaciju proceniti holistički i primeniti u vremenskom okviru koji društvo sve više zahteva.

U sveobuhvatnom razmatranju načina i ishoda dekarbonizacije potrebno je voditi računa i o socijalnom aspektu i pravičnosti tranzicije – od pitanja gašenja pojedinih i otvaranja novih radnih mesta, što podrazumeva i prekvalifikacije, do interakcije sa tržištem u raznim domenima, delatnostima i regionima. Trgovina i dekarbonizacija su dve neodvojive stvari. Istraživanje [11] koristilo je normativni pristup koji se fokusira na pravnim činjenicama. Rezultati su pokazali da dekarbonizacija i trgovina i dalje zahtevaju snažnu politiku zemalja Svetske trgovinske organizacije (STO). Reformulisanje politike STO-a koja se odnosi na primenu principa održivog razvoja zahteva poseban dogovor, uz uzimanje u obzir principa posebnog tretmana za zemlje u razvoju. Ovaj napor je potreban da bi se ostvarile pravda i pravna sigurnost. Mogućnosti za multilateralne pregovore su i dalje otvorene, dok se izazovom može smatrati jaz između razvijenih zemalja i zemalja u razvoju, [11].

U istraživačkom radu [12] ocrtavaju se izgledi za dekarbonizaciju, predviđajući napredak u „zelenim” tehnologijama, integraciju principa cirkularne ekonomije i evoluciju otpornih energetske sistema. Utemeljeno u ovim perspektivama, predlažu se strateške preporuke, naglašavajući potrebu za okvirima holističke politike, javno-privatnom saradnjom, podsticanjem održivog finansiranja, ulaganjem u istraživanje i razvoj i prihvatanjem pravednog tranzicionog pristupa. Ovo istraživanje doprinosi holističkom razumevanju složene interakcije između strategije, izazova i izgleda potrage za dekarbonizacijom u energetski intenzivnim industrijama. Analizirane su različite strategije koje se koriste u tri različita regiona – Kanada, Sjedinjene Države i Afrika. Istraživanje počinje detaljnim ispitivanjem sadašnjeg okruženja strategija dekarbonizacije, obuhvatajući tehnološke inovacije, političke i regulatorne okvire i pristupe zasnovane na tržištu. Prepreke kao što su ekonomska održivost, izazovi za usvajanje tehnologije i društveno-ekonomski uticaji pomno se razmatraju zajedno sa faktorima koji omogućavaju dekarbonizaciju, kao što su vođstvo vlade, tehnološke inovacije i održive finansije. Prikupljeni uvidi daju nacrt za kreatore politike, lidere industrije i zainteresovane strane, kako da se kreću zamršenim putem ka održivoj i otpornoj industrijskoj budućnosti.

Naime, očekuje se da će se industrijske emisije takođe povećati do 2050. godine (u SAD za 15%), što sektor industrije označava kao logičnu metu za napore za dekarbonizaciju, [13]. Putevi tehnologije energetske efikasnosti, kao što su strateško upravljanje energijom, efikasnost sistema, pametna proizvodnja, efikasnost materijala i kombinovana proizvodnja toplotne i električne energije, koji su dobro uspostavljeni, odmah bi smanjili potrošnju energije i emisije. U [13] raspoznata su četiri stuba industrijske dekarbonizacije: energetska efikasnost (kao kratkoročni), elektrifikacija industrije i niskokarbonska goriva, sirovine i energija (sve na srednji i duži rok), i zahvatanje, korišćenje i skladištenje CO₂ (na duži rok).

Dekarbonizacija industrijskog sektora igra ključnu ulogu u uspešnoj energetskoj tranziciji. Ova transformacija je, međutim, veoma skupa i složena, jer će mnogi postojeći proizvodni procesi i postrojenja morati da se delimično ili potpuno zamene kako bi se smanjile emisije CO₂, [14]. Pri ovome se postavlja i pitanje koliko i na koji način će značajna smanjenja emisija CO₂, kao rezultat dekarbonizacije, uticati na korišćenje resursa za proizvodnju određenog proizvoda i na ukupnu cenu održivosti. Članak [14] razmatra odnos između smanjenja CO₂ i efikasnosti korišćenja resursa u procesima industrijske proizvodnje. U tu svrhu, razvijena je metodologija koja holistički procenjuje put dekarbonizacije industrijskog sektora. Ova holistička procena uzima u obzir primarne energente, sirovine i pomoćne i konstruktivne materijale koji se koriste za rad i izgradnju značajnih komponenti postrojenja i sumira ih kao ukupno korišćenje resursa. U tu svrhu, korišćenje resursa je predstavljeno termodinamičkim količinama eksergija, koja uzima u obzir i energetsku i materijalnu komponentu određenog procesa proizvodnje. Energetski i materijalni tokovi u proizvodnom procesu balansiraju se primenom eksergetske analize. Metodologija iz [14] koristi se za trenutno najsavremenije i buduće dekarbonizovane proizvodne procese, u cilju kvantifikacije efekata procesa dekarbonizacije. Upoređivanjem izračunate efikasnosti korišćenja resursa, termodinamički uticaj na održivost puteva dekarbonizacije može biti postavljen u odnosu na količinu uštedenog CO₂. Na primeru proizvodnje amonijaka (NH₃), analiziranom u [14], pokazuje se da dekarbonizacija proizvodnog procesa smanjuje efikasnost upotrebljenih resursa za 14% (kad se umesto konvencionalne proizvodnje NH₃ reformingom metanske (CH₄) pare primeni dekarbonizovani način, proizvodnjom sintetskog gasa putem elektrolize vode i primenom jedinice za odvajanje vazduha). Pad efikasnosti resursa javlja se uglavnom zbog visokog nivoa povratne toplote i energije u konvencionalnom procesu, nasuprot čega stoji električno

veoma intenzivna proizvodnja vodonika u dekarbonizovanom procesu proizvodnje NH_3 .

Slično prethodnom, ni upotreba CH_4 za hemijsku proizvodnju, koja se često smatra budućnošću petrohemijske industrije, istorijski nije mogla da se ekonomski takmiči sa konvencionalnim procesima zbog većih investicionih troškova, [15]. Postizanje održivosti i dekarbonizacije ove industrije, integracijom sa procesom pretvaranja CH_4 u hemikalije, može pružiti priliku za omogućavanje budućnosti za ovakve tehnologije. Procesi pretvaranja gasa u hemikalije (tj. generalno, koncept *Power to X*, *P2X*) predstavljaju efikasan alat za povećanje dekarbonizacionog potencijala obnovljive energije. Dok je trenutna implementacija tehnologija zahvatanja ugljenika, njegovoga korišćenja i skladištenja (*Carbon Capture, Utilization and Storage*, CCUS) od velikog značaja za industrijsku dekarbonizaciju, veoma je poželjan prelazak na „zelenije“, CO_2 -slobodne, procese i korišćenje CO_2 iz spoljnih izvora za proizvodnju vredne robe. Pregled [15] opisuje potencijalne opcije za to kako bi proces „od metana do hemikalija“ mogao podržati dekarbonizaciju industrije.

Još jedan od radova koji je pokušao da popuni deo praznine u oskudnom broju studija o ceni dekarbonizacije je i [16]. Ogromna većina studija, članaka i radova koji se bave održivošću usvaja jedan politički ili makroekonomski pristup. Društveni aspekti se retko duboko istražuju, a pitanje cene održivosti se u velikoj meri zanemaruje. Nakon pokušaja da razjasni koncept održivosti i centralnu ulogu koju igra dekarbonizacija, [16] ispituje pitanje globalne cene dekarbonizacije i analizira neke primere kompanija u tom pogledu. Metodologija primenjena u toj studiji zasnovana je na podacima izvučenim iz različitih izveštaja o održivosti, klimatskim promenama i dekarbonizaciji, za makroekonomsku dimenziju, i iz godišnjih izveštaja (za 2020. godinu) proučavanih kompanija. Ovi podaci se obrađuju tako da se izračunaju procenjeni troškovi dekarbonizacije. Čak i ako se dopuštaju velike margine greške zbog nepotpunih dostupnih podataka i parametara koji se ne mogu kontrolisati ili nisu poznati, nalazi [16] pokazuju da moguće procene govore da je cena dekarbonizacije apsolutno zbujujuća. Ona prevazilazi sve što obični građani, menadžeri i, naročito, političari mogu zamisliti. To može biti jak razlog zbog koga je ova tema u velikoj meri zanemarena, jer bi sigurno izazvala društvena previranja širom sveta.

Kada se posmatraju obim napora dekarbonizacije, sektor(i) na koji/e se cilja, vremenski okvir za postizanje ciljeva i specifične tehnologije i pristupi dekarbonizaciji koji se koriste, postoje različiti faktori koji utiču na cenu dekarbonizacije i koji bi u stvari mogli dovesti u rizik profitabilnost tradicionalnih poslovnih modela, [17]. Uopšteno govoreći, kada se uzme u obzir prošireni obim dekarbonizacije (koji ne cilja samo na proizvodni pogon

već i na upotrebu proizvoda), to može uključiti značajne troškove unapred za prelazak sa izvora energije zasnovanih na fosilnim gorivima na čistije alternative, kao što su OIE ili nuklearna energija. U [17] troškovi dekarbonizacije se odnose na cenu transformacije. Čak i ako se troškovi nedekarbonizacije i suočavanja sa uticajima klimatskih promena ne mogu u potpunosti proceniti, kako u ekonomskom tako i u ljudskom smislu, ulaganje u transformaciju podrazumeva značajna ulaganja unapred. Posmatrajući slične inicijative za transformaciju, [17] pruža okvir o tome šta treba uzeti u obzir prilikom transformacije i koje grupe troškova s uticajem na profitabilnost treba uzeti u obzir, uključujući vladine subvencije, poreske olakšice i politike cena ugljenika (takse). One mogu pomoći da se smanje troškovi dekarbonizacije i obezbede jednaki uslovi za tehnologije sa niskim sadržajem ugljenika kako bi se one takmičile sa fosilnim gorivima.

Članak [18] istražuje da li je ekonomska održivost ključ za postizanje duboke dekarbonizacije i neto nulte emisije. Testirana je hipoteza da je popularna podrška politici dekarbonizacije uslovljena verovanjem većine ljudi da će se njihovo ekonomsko blagostanje poboljšati, ili da barem neće patiti usled sprovođenja ovih politika. Dok je rast BDP-a tipična metrika za ekonomsko zdravlje, kao korisniji socioekonomski indikator za procenu političke održivosti klimatskih politika može biti pomenuto otvaranje novih radnih mesta. Konkretno, članak [18] daje uvid u postojeće dokaze o tome da li su klimatske politike dugoročno uspešnije u postizanju duboke dekarbonizacije ukoliko kreatori koji osmišljavaju i sprovode klimatske politike, osim smanjenja emisija GHG-a, podrazumevaju i otvaranje novih radnih mesta. Naime, do danas su se kreatori klimatske politike često fokusirali na smanjenje emisija kao primarni ili čak isključivi kriterijum. Dok su empirijski dokazi i dalje slabi, otkrivamo da otvaranje novih radnih mesta u niskougljeničnim industrijama vodi ka većoj političkoj podršci za klimatske politike koje doprinose dekarbonizaciji. Ipak, faktori zapošljavanja nisu uvek najistaknutiji faktor kod donosilaca odluka.

Rad [19] na sveobuhvatan način razmatra međusobne veze između klimatskih promena, dekarbonizacije i „zelenih“ finansija. Hitnost rešavanja klimatskih promena i njihovih katastrofalnih posledica treba da se fokusira na „zelene“ finansije kao vitalno oruđe u globalnoj borbi protiv štete po životnu sredinu. „Zelene“ finansije uključuju obezbeđenje investicija, zajmova ili kapitala za podršku ekološki prihvatljivim aktivnostima, olakšavajući prelazak na održiviju budućnost. Pregled [19] istražuje teorijski referentni okvir za „zelene“ finansije, uključujući i njihove uticaje na klimatske promene, dekarbonizaciju ekonomije, imovinu u vezi sa ugljenikom, upravljanje rizikom, obnovljivu energiju i održivi ekonomski rast. Pored toga, istražuje regionalne fokuse u Aziji, kao što je

značaj „zelenih” finansija u Kini i uverenja i izazove „zelenih” finansija u Bangladešu. Taj pregled takođe govori o budućim uputstvima i preporukama za unapređenje „zelenih” finansija. Pregled ispituje aktuelno istraživanje „zelenih” finansija i kako se može pozabaviti izazovima životne sredine i promovisati održivi razvoj. Više istraživanja treba da se sprovede u glavnim ekonomskim i finansijskim časopisima kako bi se premostio jaz u znanju i podstakao širi naučni angažman u „zelenim” finansijama. Istraživači, kreatori politike, investitori i zainteresovane strane dobiće pomoć iz pouzdanih i čvrstih uvida studije u borbu protiv klimatskih promena i promovisanje održivog razvoja, [19].

Za uspešnu dekarbonizaciju i energetske tranzicije ključno je permanentno unapređivati znanje u toj sveobuhvatnoj i kompleksnoj oblasti, koja podrazumeva okretanje novim tehnologijama i inovativnim tehničkim rešenjima, diversifikaciju primarnih energenata i izvora energije, primenu koncepata cirkularne ekonomije i održivosti, uz obezbeđivanje pomenutih „zelenih” finansija, neophodnih za njihovu implementaciju. Ne manje značajan je i socijalni aspekt i edukacija u cilju podizanja svesti – od neophodnosti zaštite životne sredine preko povećanja energetske efikasnosti do povećanja nivoa spremnosti svih zainteresovanih strana da prihvate primenu savremenih koncepata i tehničko-tehnoloških rešenja, kao i sveobuhvatne promene koje će to doneti.

Naime, pametni proizvodni sistemi omogućavaju istovremeno adresiranje produktivnosti, održivosti i društvenih poboljšanja, [20]. Implementacija takvih sistema u industrijama predstavlja obećavajući način za ispunjavanje zahteva zainteresovanih strana u vezi sa dekarbonizacijom njihovih proizvodnih aktivnosti. Članak [20], na primeru automobilske industrije, nudi novi koncept organizacije sa odnosima između aktera dekarbonizacije (energetski menadžeri i konsultanti), podržan tehničkim dizajnom alata za upravljanje IT znanjem. Upravljanje znanjem u kompanijama može biti realizovano pristupom zasnovanim na ljudstvu (međusobnim odnosima i okviru za upravljanje znanjem) i na IT (ekstrakcijom znanja rudarenjem podataka ili obradom podataka o tehnologijama i korišćenjem sistema upravljanja znanjem – modelovanjem znanja i sistema zasnovanih na znanju). Prilikom modelovanja, ključno je postaviti sledeća pitanja:

- Gde se energija troši?
- Zašto se energija troši?
- Na koji način se energija troši?
- Koje su posledice trošenja energije?

Zavisno od odgovora na ova pitanja, formira se specifikacija ciljeva i definišu ekološki i ekonomski prioritati. Na osnovu njih se mogu kreirati potrebne mere

za dekarbonizaciju. Prilikom modelovanja rešenja treba dati odgovore na sledeća pitanja:

- Ko kreira rešenje (eksterni dobavljač ili interno)?
- Ko verifikuje istraživanje (uspostavlja vezu sa kontekstom)?
- Na koji način rešenje funkcioniše (vrsta rešenja, podrška, tehnologija i praksa, principi rada)?
- Koje su performanse rešenja (ekološki i finansijski ključni pokazatelji performansi, na osnovu kojih se rangiraju sva moguća rešenja, po prioritetima i izabira ono najbolje)?

Na osnovu ovako koncipiranog okvira za kreiranje rešenja, [20], određuju se karakteristike proizvodnog pogona i modelovanje podataka relevantnih za sprovođenje mera dekarbonizacije u jedinstveni koncept, uz omogućavanje prenosivosti takvog rešenja sa jednog proizvodnog kapaciteta na drugi.

Na kraju, ali ne i najmanje značajno, osim razvoja znanja u oblasti, neophodno je poraditi i na podizanju svesti, kako zainteresovanih strana tako i šire zajednice. U tom cilju se sprovede i odgovarajuća istraživanja. Recimo, u [21] analizira se stav predstavnika tzv. generacije Z („zed”) iz Rumunije u pogledu poboljšanja energetske efikasnosti i dekarbonizacije korišćenjem modernih integrisanih tehnologija, kao što su toplotne pumpe, skladištenje toplotne energije i pametno upravljanje sistemom. Koriste se ulazni podaci iz ankete zasnovane na upitnicima, sprovedene između marta i juna 2023. godine, sa 389 validnih odgovora za sledeće svrhe:

- analizirati stav mladih ispitanika prema korišćenju održivih savremenih integrisanih tehnologija, kao što su toplotne pumpe, u cilju povećanja energetske efikasnosti i smanjenja ugljeničnog otiska;
- identifikovati faktore koji mogu uticati na njihov stav prema ovim tehnologijama;
- razumeti načine na koji nastali faktori mogu uticati na odnos prema korišćenju toplotnih pumpi, implicitno vodeći ka poboljšanju energetske efikasnosti i dekarbonizaciji u Rumuniji;
- formulisati politiku i preporuke za poboljšanje energetske efikasnosti i podsticanje dekarbonizacije u Rumuniji.

Studija [21] koristi različite deskriptivne statistike, faktorsku analizu i višestruku regresiju. Rezultati pokazuju da postoji šest kategorija faktora koji utiču na stav predstavnika generacije Z, sa „pokretačima za poboljšanje energetske efikasnosti” zajedno sa „tradicionalnim merama za poboljšanje energetske efikasnosti”, koji imaju najveći uticaj na pokretanje pozitivnog stava prema energetske efikasnosti, unapređenju i dekarbonizaciji. Glavna preporuka politike izvedena iz ove studije odnosi se na razvoj politika i strategija koje podstiču građane ne samo da imaju pozitivan stav ka energetske efikasnosti i

dekarbonizaciji kroz korišćenje toplotnih pumpi nego i prema pokretačima konkretnih akcija za ugradnju tehnologije toplotne pumpe. Još jedna preporuka tiče se daljeg razvoja i proširenja nacionalnih i lokalnih programa za izolaciju spoljašnje površine zgrada i zamenu prozora i spoljnih vrata koja nemaju termoizolaciju. Treća glavna preporuka odnosi se na kampanje za podizanje svesti među stanovništvom o savremenim merama za poboljšanje energetske efikasnosti, kao što su toplotne pumpe.

U vezi sa pomenutim, neophodnim povećanjem energetske efikasnosti u zgradarstvu, valja napomenuti da je urbano okruženje odgovorno za približno 40% svetske potrošnje energije, 30% upotrebe sirovina, 25% čvrstog otpada, 25% korišćenja vode, 12% korišćenja zemljišta i 33% emisije gasova staklene bašte, [22]. Stoga, unapređenje stanja životne sredine i dekarbonizacija postaju sve kritičniji ciljevi i za građevinsku industriju. Održiva gradnja se može postići kroz nekoliko praksi, uključujući: razmatranje procene životnog ciklusa, kružnu (cirkularnu) izgradnju, efikasnost resursa i upravljanje otpadom i obezbeđivanje eko-efikasnih materijala, smanjenje potražnje za energijom i potrošnje i uključivanje OIE i tehnologija sa niskim sadržajem ugljenika. Da bi se postigli ciljevi cirkularne gradnje, od ključne je važnosti edukovati buduću radnu snagu o dekarbonizaciji, cirkularnoj izgradnji i kako da se prevaziđu izazovi povezani sa prelaskom na održivu gradnju. Za studiju [22] anketirano je 120 studenata osnovnih i postdiplomskih studija da bi se sagledao i razumeo jaz u studentskom znanju u vezi sa dekarbonizacijom i kružnom izgradnjom. Istaknuta je važnost uključivanja ovih tema u nastavne planove i programe, kao i u programe upravljanja izgradnjom. Rezultati [22] naglašavaju praznine u znanju učenika koje se odnose na održive prakse i važnost obezbeđivanja buduće radne snage u građevinarstvu sa takvim znanjem, kako bi se uhvatili ukoštac sa globalnim, neizbežnim izazovima. Nalazi [22] doprinose održivom obuhvatu znanja tako što se zalažu za reformisani nastavni plan i program, za pripremu buduće radne snage za usvajanje manje karbonizovanih, više cirkularnih pristupa u inženjeringu i industriji.

Polazeći od ovde apostrofiranih pitanja i uvida u iskustva i trendove opisane u literaturi iz oblasti dekarbonizacije, u poglavlju 2 ovog rada ilustrovan je mogući način koncipiranja dekarbonizovanog EES na primeru Srbije. U potpoglavlju 2.1 najpre su analizirani postojeći i planirani kapaciteti V-OIE i izazovi koje donosi veći obim njihove integracije u EES. Poglavlje 2.2 razmatra mogućnosti konverzije i skladištenja energije (kao rešenja za pomenute probleme), a potpoglavlje 2.3 mogućnosti korišćenja preostalog hidropotencijala rečnih slivova u Srbiji. Potpoglavlje 2.4 sagledava mogućnosti uvođenja novih tehnologija u proizvodni portfelj EPS-a, a potpoglavlje 2.5 predlaže način razmatranja njihovog uvođenja. Na kraju, u poglavlju 3, navedeni su kratki zaključci.

2. KONCIPIRANJE DEKARBONIZOVANOG ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Moderni EES treba da se zasniva na korišćenju savremenih i inovativnih tehnologija i pristupa. Oni predstavljaju temelj na koji će se oslanjati potporni stubovi jednog budućeg, dekarbonizovanog, efikasnog, održivog i očuvanju životne sredine pogodnog EES-a (ilustrovanog na Slici 1), [23]. Takav sistem će se oslanjati na:

- korišćenje OIE, uključujući i one dispergovane (*Dispersed Energy Resources*, DER), tj. distribuiranu proizvodnju (*Distributed Generation*, DG) i mikromreže;
- skladištenje energije, i to u različitim vidovima, objektima i uređajima:
 - voda;
 - kondenzatorske baterije;
 - toplota u toplotnim akumulatorima;
 - proizvodnja i skladištenje vodonika, odnosno amonijaka i bio-gasa;
- pametne mreže (*Smart Grids*) i pametno merenje (*Smart Metering*);
- unapređenje energetske efikasnosti, kako na strani proizvodnje (uključujući kogeneraciju električne i toplotne energije i vodene/tehnološke pare) tako i na strani potrošnje (korišćenjem energetski efikasnijih uređaja i aparata, izolovanjem zgrada, zamenom stolarije, postojeće rasvete štednim sijalicama);
- učešće potrošnje (odziv potrošnje – *Demand Response* (DR), upravljanje opterećenjem/potrošnjom – *Demand Side Management* (DSM), mikromreže i drugi koncepti);
- otvoreno tržište i fleksibilne tarife (kako bi se podstaklo korišćenje električne energije u periodima i na način kako je to optimalno za EES);
- odgovarajući i pravedan regulatorni okvir (koji je neophodan kako bi se obezbedili uslovi za otvoreno tržište, nediskriminatorne odnose i primenu fleksibilnijih tarifa).



Slika 1. Osnova i potporni stubovi budućeg dekarbonizovanog EES-a /izvor: [23]/

Pri ovome valja naglasiti da se mora voditi računa o usaglašenom i ravnomernom razvoju svih ovih potpornih stubova. Naime, razvoj i korišćenje nekog od njih, koji bi bio nesrazmeran njegovom stvarnom značaju i bez odgovarajuće podrške ili ravnoteže drugih, navedenih komponenti sistema, doveo bi do njegove strukturalne i funkcionalne nestabilnosti, a moguće i do urušavanja i kolapsa, [23].

2.1 Kapaciteti V-OIE i novi izazovi koje donose

Ni tokom 2023. u Srbiji još uvek nije usvojena nova, ažurna Strategija razvoja energetike, a zarad približavanja Evropskoj uniji (EU) i pod spoljašnjim pritiscima prihvataju se politički nametnuti strateški ciljevi u domenu smanjenja emisija CO₂ i GHG-a. Često se paralelno i neusaglašeno, sa različitim stranim konsultantima, radi na izradi nacrtâ pojedinačnih strateških dokumenata (poput *Integrated National Energy and Climate Plan* (INECP) i *National Determined Contribution* (NDC)), a što bi trebalo da usledi tek nakon usvajanja nacionalne Strategije. U takvoj situaciji je, u proleće 2022, u EPS-u zaključeno da se ne može više čekati na njeno donošenje. Zbog toga su u junu 2022. eksperti EPS-a izradili, a tadašnje najviše rukovodstvo kompanije usvojilo, interni dokument EPS-a o viziji njegove postepene dekarbonizacije i strateškog razvoja – „Zeleni put” (*Go Green Road*).

„Zeleni put” EPS-a podrazumeva gašenje najstarijih termoblokova i celih termoelektrana (TE) na lignit, kako onih za koje je država već preuzela tu obavezu po sistemu *Opt-Out* (TE „Morava” i TE „Kolubara” do kraja 2023. ili zimske sezone 2023/24), tako i TENT A1 i A2 i oba bloka TE-KO A, do 2035. godine, uz smanjenje angažovanja preostalih termoblokova. Tokom tog perioda i nadalje planira se realizacija većeg broja elektrana na varijabilne obnovljive izvore energije (V-OIE), dakle – solarnih fotonaponskih elektrana (SE) i vetroparkova / vetroelektrana (VE). Na Slici 2 dati su prostorni raspored i instalisane snage SE i VE čiju izgradnju EPS planira ili već realizuje. Osim njih, na istoj slici su prikazani i ukupni zbirovi instalisanih snaga postojećih i budućih SE i VE čiji su vlasnici ili investitori drugi energetske subjekti, uglavnom privatne kompanije, sa stanjem kakvo je bilo zabeleženo u junu 2023. godine.



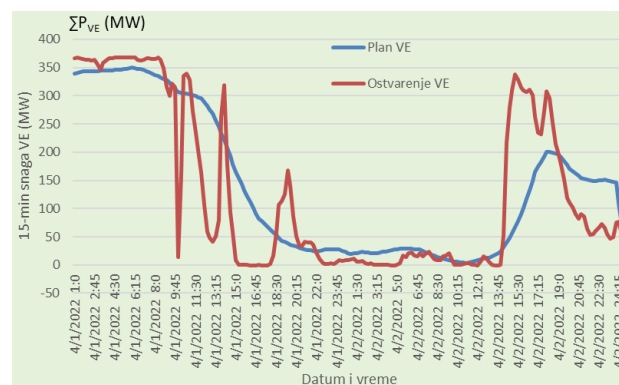
Slika 2. Lokacije i instalisane snage V-OIE kapaciteta (EPS i sumarne snage za privatne)

Već i sa kapacitetima V-OIE postojećim u Srbiji u proleće 2022. godine, zabeleženi su nagli skokovi (*rump-ups*) i padovi (*rump-downs*) suma izlaznih snaga iz ovih elektrana i velike razlike u dan unapred planiranim i ostvarenim njihovim vrednostima, a time i u proizvodnji električne energije. Na Slici 3 dat je realni, uporedni dijagram suma ovih snaga, ΣP_{VE} , zabeležen tokom 1. i 2. aprila 2022. godine.

Jasno je da će daljim, očekivanim i znatnim, povećanjem udela V-OIE u ukupnim proizvodnim kapacitetima EES-a Srbije i proizvodnji električne energije iz njih problem balansiranja u realnom vremenu, ali i balansiranja na sezonskom nivou, biti sve izraženiji.

Osim toga, EES u kome će s vremenom rasti udeo V-OIE suočiće se sa deficitom obrtno rezerve i inercije, te problemima regulacije napona i frekvencije. Jedno od mogućih rešenja je zadržavanje pojedinih generatorskih jedinica (onih u boljem stanju) termoelektrana (TE) na lignit predviđenih za izlazak iz pogona, kao sinhronih kompenzatora, [24], uz odgovarajuće prerade sistema pobude i druge neophodne radove na prilagođavanju ovih jedinica novoj svrsi. One bi EPS-u služile za pružanje pomoćnih usluga operateru prenosnog sistema (OPS) i tako nastavile da budu izvor prihoda. S tim u vezi, međutim, studija [25], rađena svojevremeno za EPS, pokazala je da trenutno vrednovanje pomoćnih usluga u Srbiji nije

dovoljno za tehnoeкономsku opravdanost investiranja u ovakvo tehničko rešenje navedenog problema.



Slika 3. Razlika u planiranoj (za dan unapred) i ostvarenoj ukupnoj snazi VE u Srbiji – realan slučaj

Takođe, vetrogeneratori i fotonaponske elektrane priključuju se na mrežu preko invertora, dakle sklopova energetske elektronike, koji predstavljaju izvor viših harmonika. Sve veći udeo ovih V-OIE će, dakle, predstavljati i sve jači uzrok zaprljanja sinusoidalnog oblika struje i napona u mreži. Stoga će i po ovom osnovu kvalitet isporučene električne energije biti sve ugroženiji.

Kada je reč o DER-u, tj. DG-u, u elektrodistributivnoj mreži se mogu javiti obrnute tokove snaga (od niženaponske prema višenaponskoj mreži, umesto uobičajenog), u režimima rada u kojima na pojedinim područjima proizvodnja (recimo iz fotonaponskih panela po krovovima zgrada) premašuje potrošnju. Ovaj problem može iziskivati prepodešavanje releja u sistemu relejne zaštite, tj. njegovu preradu, imajući u vidu da kvarovi u mreži sada mogu biti napojeni sa druge strane, što usmerena zaštita u srednjenaponskim ćelijama napojnih transformatorskih stanica (TS) ne bi mogla da registruje i da odreaguje.

Nesporno je da je neophodan kvalitativni pomeraj prema korišćenju OIE. Očigledno je, međutim, da se ekstenzivnim povećanjem udela V-OIE, kakvi su oni bazirani na korišćenju naglo promenljivih i stoga neupravljivih, energija vetra i sunca, pojavljuju novi izazovi i problemi. Prevažadno, sa povećanom intermitentnošću proizvodnje, smanjuju se sposobnost EES-a za balansiranje proizvodnje i potrošnje, fleksibilnost i stabilnost njegovog rada. Moguća rešenja ovoga problema su:

- izgradnja velikog/ih skladišta energije;
- izgradnja brzoreagujućih proizvodnih kapaciteta (kakve su, npr., gasne elektrane; one su, međutim, izgubile status perspektivne opcije u strateškim razmatranjima, jer je gas postao skup, a snabdevanje njime neizvesno).

2.2 Mogućnosti konverzije i skladištenja energije u savremenom EES-u

Za klasičan EES tipičan vid skladištenja energije je korišćenje potencijalne energije vode. Voda se pumpa i skladišti u gornjim akumulacijama hidroelektrana (HE), reverzibilnih HE (RHE) i pumpno-akumulacionih postrojenja (PAP), i to u periodima dana i sezonama sa nižom cenom električne energije, tj. kada postoje njeni viškovi u nacionalnom EES-u ili interkonekciji većeg broja EES-ova. Docnije se ova voda koristi za proizvodnju električne energije, u periodima njenih manjkova, kada je ona najskuplja.

Baterijska postrojenja se koriste za direktno skladištenje električne energije i u novije vreme se forsiraju kao dominantni vid skladištenja u EES-u sa velikim uplivom proizvodnje iz V-OIE, kao što su vetrogeneratori i fotonaponske SE. Masovno korišćenje baterija, međutim, otvara niz novih pitanja i problema koji mogu imati negativan uticaj na životnu sredinu – od masovnog rudarenja, diskutabilnim tehnologijama, litijuma i drugih elemenata neophodnih za proizvodnju baterija preko problematike protivpožarne zaštite i relevantne regulative koja nije upodobljena ovoj tehnologiji do problematike njihovog relativno kratkog životnog veka, nakon čijeg isteka baterije postaju opasan otpad i zahtevaju odgovarajući tretman i angažovanje sertifikovanog operatera, stvarajući ozbiljne troškove i posle perioda njihove eksploatacije.

Kao alternativni, sve više se pojavljuju sistemi za skladištenje otpadne toplote, pa čak i toplotne energije nastale konverzijom viškova električne energije, koja bi u klasičnom EES-u (bez V-OIE) predstavljala svojevrsnu jeres. Sada je, međutim, tehnički i tehnološki već dostupno

i u primeni skladištenje toplotne energije u velikim podzemnim, posebno izolovanim, termalnim skladištima ili u specijalnim konstrukcijama na bazi kompozitnih materijala (npr. Al-C ili Si-C) koji se zagrevaju viškovima električne energije, a u periodima njenih manjkova i viših cena akumulirana toplota se koristi za dobijanje vodene pare radi proizvodnje električne energije u postojećim termokapacitetima.

Jednu od ključnih uloga u dekarbonizaciji odigraće proizvodnja vodonika (elektrolizom vode, uz utrošak viškova električne energije u EES-u ili iz obližnjih V-OIE) i njegovo komprimovanje, skladištenje i docnije korišćenje. Jedna od upotreba H₂ jeste i njegovo sagorevanje u gorivim ćelijama, u cilju proizvodnje električne energije, naročito pogodno u periodima njenih viših cena na tržištu. Iako nije reč o sasvim novoj tehnologiji, još uvek nije komercijalizovano korišćenje tzv. regenerativnih gorivnih ćelija, u kojima se mogu odvijati oba procesa (i elektroliza i sagorevanje vodonika).

Viškovi električne energije iz V-OIE mogu se koristiti i za obradu biomase (npr. žetvenih ostataka i sl.) i proizvodnju i skladištenje bio-gasa, koji se potom može koristiti za proizvodnju električne i toplotne energije.

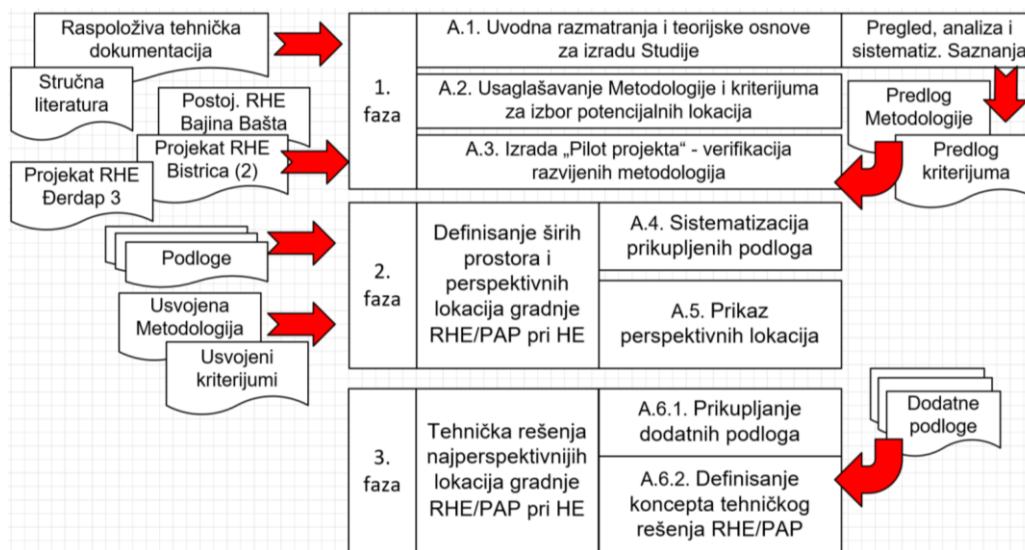
Osim skladištenja u cilju docnije, ponovne proizvodnje električne energije, viškovi električne energije u EES-u mogu se iskoristiti za njenu konverziju u druge oblike energije i energente koji se neće koristiti u samom EES-u. Tako pored pomenute konverzije u toplotnu energiju, njenog skladištenja i mogućeg korišćenja u sistemima daljinskog grejanja, moguća je primena koncepta P2X, u kome se viškovi električne energije, osim za, takođe pomenutu, proizvodnju vodonika ili bio-gasa, mogu koristiti za dobijanje različitih vrsta goriva, npr. amonijaka (NH₃) (zeleni amonijak se proizvodi tehnološkim Haber–Bošovim postupkom u kome se zeleni vodonik sjedinjuje sa azotom), metana (CH₄) ili drugih biogoriva namenjenih za sagorevanje u vozilima i ostalim transportnim sredstvima.

Na Slici 4 prikazane su različite opcije konverzije, skladištenja i docnijeg korišćenja viškova energije, kako u samom EES-u, za ponovnu proizvodnju električne energije, tako i izvan njega – toplotne energije za sisteme daljinskog grejanja, proizvodnju zelenog i plavog vodonika, metanola i drugih organskih goriva.

Primenom jednog ovakvog holističkog pristupa i koncepta diversifikacije primarnih energenata i uvođenja novih tehnologija, značajno bi se uvećala fleksibilnost i sposobnost energetskeg sistema, pa i EES-a kao njegovog integralnog dela, za balansiranje sve većih i bržih (strmijih) promena koje unose V-OIE i za sezonsko izravnavanje (bilansiranje) razlika u proizvodnji električne energije. Osim toga, maksimalnim, pa i višenamenskim i višekratnim, korišćenjem resursa kojima sama Srbija raspolaže (voda, vetar, sunce, biomasa), i to na način prikazan na Slici 4 – međusobno povezani, sa visokim stepenom rekuperativnosti – značajno bi se doprinelo očuvanju i unapređenju sigurnosti rada EES-a i energetske nezavisnosti zemlje. Koncept sa Slike 4 podrazumeva i povećanje energetske efikasnosti (npr. većim korišćenjem otpadne toplote iz TE u sistemima daljinskog grejanja) i smanjenje zagađenja životne sredine (npr. prikazanim uvođenjem tehnologija i postrojenja za zahvatanje CO₂

Što se tiče klasičnih HE, planira se izgradnja sistema HE na Gornjoj Drini i ponovni razvoj projekata sistema „Moravskih HE” i „Ibarskih HE”. Pregled procenjenih vrednosti instalisanih snaga i godišnje proizvodnje svih HE

u ova tri sistema dat je u Tabeli I. Za sve HE planirana je izgradnja betonskih brana, gravitacionog tipa, a proizvodna postrojenja bila bi opremljena Kaplanovim turbinama.



Slika 5. Algoritam izrade Studije [29] – istraživanja mogućnosti potencijalnih lokacija za RHE i PAP

Tabela I. Procenjene instalisane snage i godišnje proizvodnje električne energije u potencijalnim HE

HE / sistem HE	Instalisana snaga (MW)	Godišnja proizvodnja (GWh)
Buk Bijela	93,5÷114,5	332,3÷354,3
Foča	44,2÷53,6	175,9÷185,0
Paunci	43,2	166,7
Gornja Drina - ukupno	180,9÷211,3	674,9÷706,0
Ljubičevo	29,7	133
Mijatovac	29,2	125,5
Svilajnac	28,8	128
Trnovče	29,3	128,1
Varvarin	28,9	122,9
Moravske HE - ukupno	145,9	637,5
Bela glava	14,29	54,76
Bojanići	10,25	36,11
Cerje	13,24	50,16
Dobre strane	14,46	55,59
Glavica	9,74	37,22
Gokačnica	10,82	37,95
Gradina	11,18	42,00
Lakat	13,54	54,64
Maglić	13,45	51,89
Ušće	9,87	35,37
Ibarske HE - ukupno	120,84	455,70
Ukupno nove HE	447,64÷478,04	1.768,1÷1.799,2

EPS je formirao zajedničko preduzeće sa „Elektroprivredom Republike Srpske” u cilju realizacije projekta sistema HE na Gornjoj Drini, kojim je predviđena izgradnja tri HE: „Buk Bijela” (u toku), „Foča” i „Paunci”, u regionu grada Foče u Bosni i Hercegovini, tj. Republici Srpskoj. Studija izvodljivosti i Idejno rešenje urađeni su 2012/13. Potpisani su koncesioni ugovori za sve tri HE.

Tokom 2020. i 2021. godine rađene su tehnokonomske analize. Naknadno je urađena i dodatna analiza izvodljivosti. Tokom 2023. sproveden je tender za izvođača radova na izgradnji HE „Buk Bijela”.

Projekat „Moravskih HE” treba ponovo razmotriti i eventualno razviti. Planira se izgradnja pet protočnih HE u kaskadi. Dosad su urađene predinvesticiona Studija mogućeg korišćenja hidropotencijala Velike Morave, Preliminarna studija izvodljivosti sa Generalnim projektom sistema HE, izvršena su geodetska istraživanja reke Velike Morave, a sprovedena su i batimetrijska istraživanja njenoga korita.

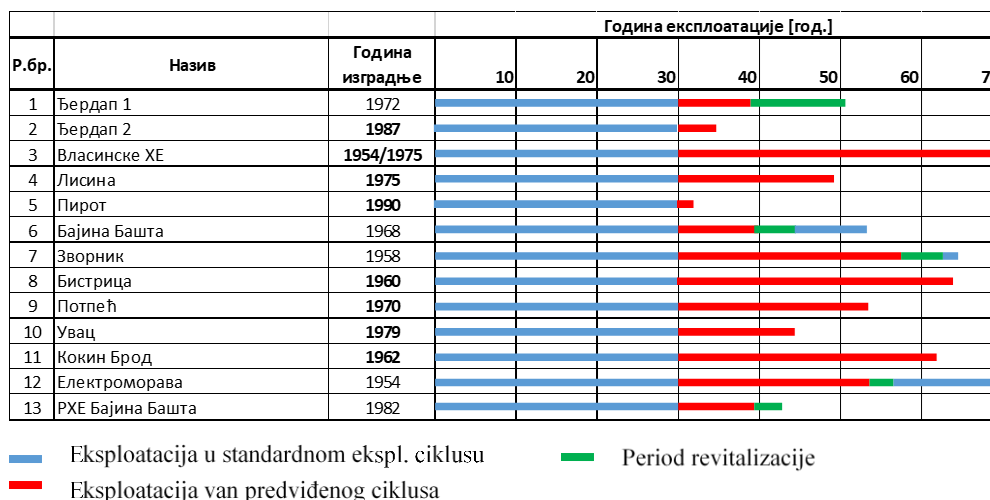
Projekat „Ibarskih HE” takođe treba ponovo razmotriti i eventualno razviti. Planira se izgradnja do deset protočnih HE u kaskadi, manjih pojedinačnih instalisanih snaga. Dosad su urađeni Generalni projekat sa Prethodnom studijom izvodljivosti, koji su revidirani i usvojeni od strane Republičke revizione komisije. Urađen je potom, za svaku HE pojedinačno: Idejni projekat sa Studijom izvodljivosti; Prostorni plan područja posebne namene (PPPPN) sa direktnom implementacijom, koji je usvojila Vlada RS; pripremljen je Glavni projekat koji obuhvata izmeštanje puta, u dve sekcije (za HE „Dobre strane” i HE „Bela glava”), uključujući i ciljana istraživanja. Osim toga, urađena je i procena uticaja na životnu sredinu i društvo (*Environmental and Social Impact Assessment*, ESIA) prema standardima EU, za potrebe potencijalnih kreditora.

Da bi se, međutim, stekla realistična slika o mogućnostima i opravdanosti realizacije ovih ali i drugih mogućih hidroenergetskih objekata, neophodno je stručno i nepristrasno sagledati mogućnosti korišćenja preostalog hidrokapaciteta, tj. vodnih resursa u Srbiji. S tim u vezi, prvi i osnovni korak predstavlja merenje proticaja na slivovima reka. Jednu studiju o ovoj temi nedavno je realizovao Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, [30].

2.3.2 Revitalizacije postojećih (R)HE. Hidro-energetski objekti EPS-a takođe su stari po više decenija i oprema u većini njih je (bila) dosegla kraj svog životnog veka. Povoljna okolnost je što ključni građevinski objekti HE, poput brane za formiranje njene akumulacije, imaju daleko duži životni vek od mašinske i elektro opreme ugrađenih u

nju, tako da se njihovom zamenom novom opremom praktično može višestruko produžiti životni vek HE kao celine. Zbog toga je, tokom poslednje decenije i nešto duže, preduzet niz revitalizacija postojećih HE i planiraju se i razvijaju projekti revitalizacije drugih HE i RHE „Bajina Bašta”.

Tabela II. Godine izgradnje HE, njihov eksploatacioni ciklus i revitalizacije /izvor: [31]/



Ove revitalizacije najčešće podrazumevaju i povećanje instalisanih snaga HE i godišnje proizvodnje iz njih. U Tabeli II, [31], prikazane su godine izgradnje klasičnih HE u vlasništvu i upravljanju EPS-a, ilustrovano koliko dugo su (bile) eksploatisane duže od planiranog životnog veka i koje od njih su već revitalizovane ili je revitalizacija u njima trenutno u toku.

Završene su revitalizacije sistema HE „Elektromorava” (HE „Ovčar Banja” i HE „Međuvršje”), HE „Bajina Bašta”, HE „Zvornik” i HE „Đerdap 1”. Revitalizacijom sistema HE „Elektromorava” (2008–2010) i ugradnjom četvrtog agregata (od 600 kW) u HE „Ovčar Banja” povećana je instalisana snaga ovog sistema za 25%, pa je njegova trenutna ukupna snaga 18 MW, sa instalisanim protokom od 50 m³/s. Revitalizacijom HE „Bajina Bašta” (2009–2013) povećana je snaga elektrane sa 368 MW na 420 MW, povećanjem stepena korisnosti i protoka. Godišnja proizvodnja elektrane povećana je za oko 40 GWh. Revitalizacijom HE „Zvornik” (2015–2020) njena snaga je povećana za dodatnih 30 MW i sada iznosi ukupno 122,3 MW. Sukcesivnom revitalizacijom svih agregata u HE „Đerdap 1” (2009–2023) instalisani protok po agregatu povećan je sa 800 m³/s na 840 m³/s, što je uz povećanje stepena korisnosti agregata uslovalo povećanje instalisane snage sa 176 MW na 190 MW pri nominalnom faktoru snage $\cos \varphi = 0,9$.

U toku je revitalizacija RHE „Bajina Bašta”. Ugovor o radovima je potpisan još krajem 2019. godine. Međutim, usled raznih dešavanja u svetu (pandemija virusa korona, rat u Ukrajini i posledični poremećaji na tržištu) dolazilo je do odlaganja početka radova. Početak radova je bio planiran za april 2024. godine.

Planiraju se i razvijaju projekti revitalizacija sistema „Vlasinskih HE”, HE „Bistrica”, HE „Potpec” (uz ugradnju četvrtog agregata) i HE „Đerdap 2”.

Projektom revitalizacije „Vlasinskih HE” planira se povećanje instalisane snage za oko 8 MW (sada je snaga snižena na oko 100 MW, zbog stanja opreme). Planirano povećanje snage očekuje se usled povećanja stepena korisnosti, za oko 3-5% u prvoj fazi revitalizacije, i za još oko 1-3% u drugoj fazi. Takođe, planirano je da se omogući rad agregata sa nešto višim instalisanim protokom (sa dosadašnjih 18 m³/s na 20 m³/s). Nakon revitalizacije očekuje se povećanje proizvodnje za oko 3%, sa 300 GWh na 310 GWh.

Rekonstrukcija HE „Potpec” planirana je u dve faze. Prva faza bi obuhvatala izgradnju mašinske zgrade sa dodatnim četvrtim agregatom (snage 13,3 MW i instalisanog protoka od 40 m³/s), dok bi druga faza obuhvatala rekonstrukciju postojeća tri agregata, uz povećanje stepena korisnosti jedinica za 2-4%, instalisanog protoka i – posledično – ukupne instalisane snage postojećih agregata, za 7,5 MW.

Postojeća HE „Bistrica” planira se za adaptaciju i investiciono održavanje. Umesto standardne rekonstrukcije agregata sa povećanjem instalisane snage izvršice se zamena opreme uz zadržavanje iste instalisane snage agregata. Pri tome se očekuje povećanje stepena korisnosti agregata za 2-4% i povećanje godišnje proizvodnje za oko 5-7%. Ugradnjom nove opreme, većeg stepena korisnosti, smanjiće se protok (sa 18 m³/s na oko 16,6 m³/s) i gubici u dovodno-odvodnim organima ove HE.

Projektom revitalizacije HE „Đerdap 2” planirano je povećanje instalisane snage agregata na 32 MW, povećanjem stepena korisnosti 1-2% i povećanjem instalisanog protoka po agregatu na 475 m³/s. Očekuje se povećanje godišnje proizvodnje sa 1600 GWh na 1745 GWh.

Iz Tabele II može se zaključiti da pored HE koje su do sada revitalizovane ili su planirane za revitalizaciju ostaje

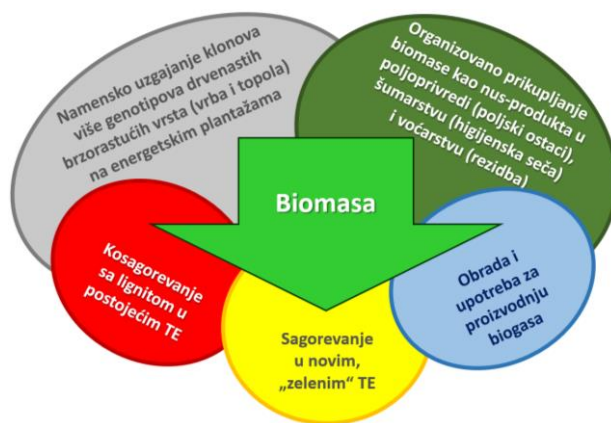
potreba za ubrzanom revitalizacijom i svih preostalih postojećih hidrokapaciteta, kao što su HE „Uvac”, HE „Kokin Brod”, PAP „Lisina”, ali i HE „Pirot” kao poslednje izgrađene velike HE u EES-u Srbije, [31].

2.4 Mogućnosti uvođenja novih tehnologija u proizvodni portfelj i njihovog korišćenja

Još veći problem od varijabilne proizvodnje iz V-OIE i posledičnog smanjenja balansnih mogućnosti, fleksibilnosti i stabilnosti EES-a, predstavlja činjenica da proizvodni kapaciteti iz V-OIE neće moći u potpunosti da nadomeste ogromni udeo koji sada u pokrivanju potrošnje imaju TE (u Srbiji je on i do 70%). Dakle, osnovno je pitanje – na koji način se može kompenzovati manjak energije za pokriće baznog opterećenja, koji će se svakako javiti i bivati sve veći sa gašenjem pojedinih termokapaciteta EPS-a koji kao primarno gorivo koriste niskokalorični lignit? Čini se da su ključ tranzicije EPS-a i Republike Srbije ka održivoj budućnosti pomenuta diversifikacija primarnih goriva i uvođenje i korišćenje jednog broja različitih, novih tehnologija. Najperspektivnije deluje pomenuta proizvodnja i korišćenje H_2 , uz ekstenziju sa N_2 – proizvodnja i korišćenje NH_3 . Vodonik je i ključ za dekarbonizaciju industrije i transporta (pogon brodova, recimo, prelazi na NH_3). Stoga se osnovano može očekivati da će upravo ove tehnologije biti glavni oslonac dekarbonizacije i energetske tranzicije. U nastavku sledi osvrt i na ostale tehnologije, njihove mogućnosti i ograničenja.

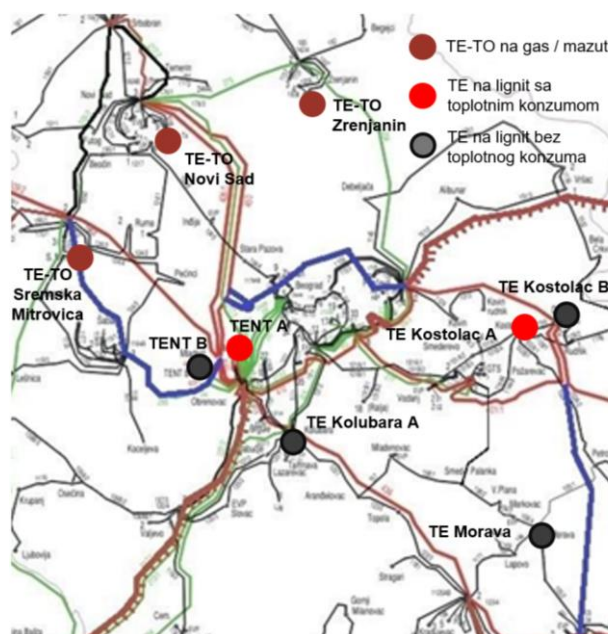
2.4.1 Biomasa. Na Slici 6 prikazani su načini obezbeđivanja i korišćenja biomase kao energenta u EES-u. Biomasa se može obezbeđivati na dva načina. Prvi je namensko uzgajanje klonova više genotipova drvenastih brzorastućih vrsta, kao što su vrbe i topole, na tzv. energetske plantaze. Ovaj način ima stanovite prednosti jer doprinosi odvodnjavanju, poboljšana je rekultivacija tla fitoekstrakcijom, tlo se prečišćava od teških metala, a sama uzgojena biomasa ima visoku kalorijsku vrednost, oko 19.000 kJ/kg. Drugi način je organizovano prikupljanje biomase kao nusproizvoda u poljoprivredi (poljski, tj. žetveni ostaci), šumarstvu (drvo dobijeno higijenskom sečom šuma) i u voćarstvu (redovnim i higijenskim orezivanjem).

U oba slučaja obezbeđivanja biomase potrebna je složena logistička podrška u smislu dopreme biomase do mesta njene obrade i korišćenja, s tim što je ovaj problem daleko izraženiji u slučaju prikupljanja biomase kao nusprodukta drugih procesa. S tim u vezi, ozbiljan nedostatak biomase kao energenta predstavljaju troškovi njenog transporta, koji značajno rastu za rastojanja veća od 50 km. Izrazita mana organizovanog prikupljanja biomase kao nusproizvoda je i nemogućnost pouzdanog planiranja njene kalorijske vrednosti i raspoložive količine po hektaru, u odnosu na namensko uzgajanje biomase, kod kojeg ovog problema nema. Jedna od pogodnosti biomase, kad je reč o njenom korišćenju u EPS-u, jeste mogućnost njenog prikupljanja ispred fronta rudarskih radova na kopovima.



Slika 6. Načini obezbeđivanja i korišćenja biomase kao energenta u EES-u

Način na koji bi se, uvođenjem i korišćenjem tehnologija na biomasu, mogao „ozeleniti” termoeenergetski deo proizvodnog portfelja EPS-a, ilustrovan je na slikama 7 i 8.

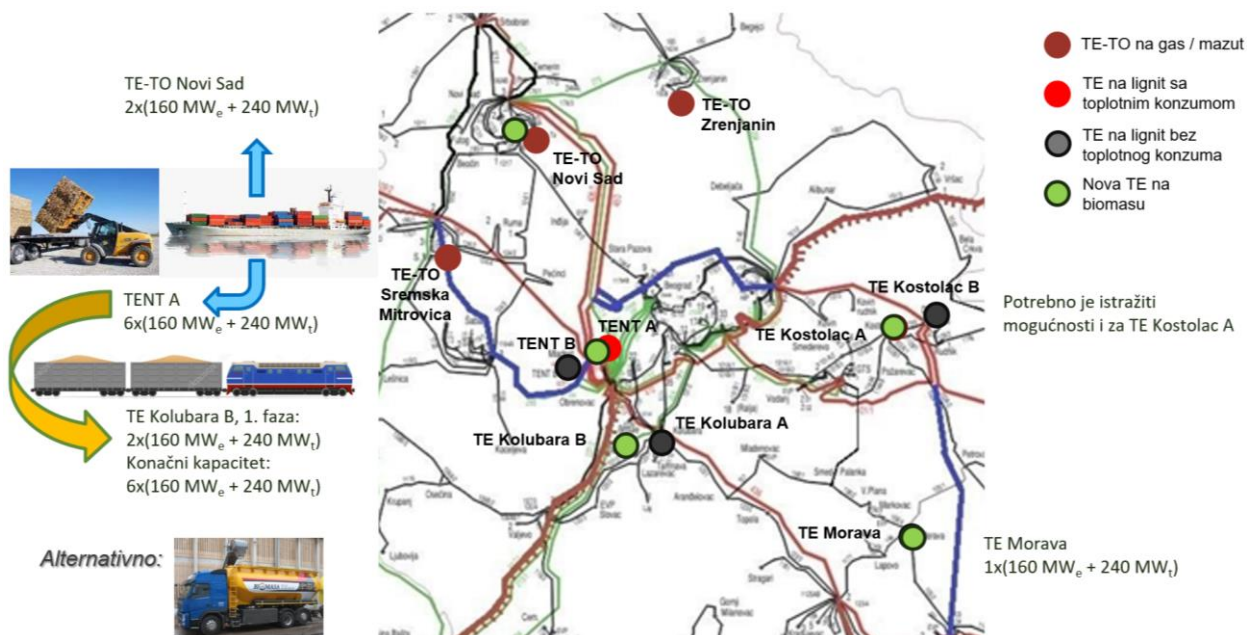


Slika 7. Postojeći termokapaciteti EPS-a

Na Slici 7 dato je postojeće stanje i lokacije TE u Srbiji (bez KiM). Na Slici 8 prikazano je moguće supstituisanje pojedinih postojećih kapaciteta na lignit novim postrojenjima na biomasu, tipiziranih snaga 1×160 ili 2×160 MWe. Na Slici 8 ilustrovan je i način na koji bi se u Srbiji, u slučaju većeg obima korišćenja biomase kao jednog od primarnih energenata u EES-u, mogli smanjiti troškovi njenog transporta. Srećna okolnost je da se sve tri TE-TO u sklopu EPS-a nalaze u Vojvodini (od kojih je TE-TO Novi Sad pored samog Dunava). Vojvodina je najveći izvor biomase potekle iz poljoprivredne proizvodnje. Biomasa se za sada ni izbliza ne koristi onoliko koliko je to moguće. Drugo, i većina preostalih, velikih TE na lignit, nalazi se uz Dunav i Savu, pa bi doprema biomase do njih bila moguća najjeftinijim, rečnim transportom. Što se tiče nešto udaljenije lokacije za ranije planiranu TE „Kolubara B”, transport biomase do nje bio bi moguć istim

železničkim vagonima koji iz Rudarskog basena „Kolubara” transportuju lignit za TE „Nikola Tesla” (TENT) A i B, a koji, sada, u povratku ka kopu idu prazni.

Pretovar biomase bi se sa brodova radio u pristaništima uz TENT A i TENT B.



Slika 8. Ideja o korišćenju biomase u EPS-u, uz smanjenje troškova transporta

Što se tiče strane samog korišćenja biomase, izdvajaju se tri osnovna vida (Slika 6). Prvi je mogućnost kosagorevanja sa lignitom u postojećim TE. Ono bi dovelo do umanjenja taksi na emisije CO₂, smanjenja utroška mazuta, kao i količina pepela, sumpora i emisije GHG-a. Pri tome, relativno mali udeo biomase u kosagorevanju značajno povećava kalorijsku vrednost smese u odnosu na čist lignit. Prilagođavanje za kosagorevanje ne zahteva veća ulaganja u postojeće proizvodne kapacitete.

Drugi vid korišćenja biomase je njeno sagorevanje u novim, „zelenim” TE. U slučaju Srbije njihove moguće lokacije date su na Slici 8. Već je pomenuto da u svetu postoje gotova tehničko-tehnološka rešenja elektrana na biomasu, tipiziranih snaga. To su najčešće kogenerativna postrojenja (TE-TO), za proizvodnju električne i toplotne energije. Kao podvarijanta, moguća su rešenja ovih TE-TO sa dodatnim postrojenjima za hvatanje CO₂, njegovo komprimovanje i skladištenje. U tom slučaju, ovakve elektrane na biomasu izuzimaju se iz sistema plaćanja taksi na emisije CO₂.

Treći, poseban vid korišćenja biomase, prikazan na Slici 6, predstavlja njena obrada i upotreba u proizvodnji biogasa.

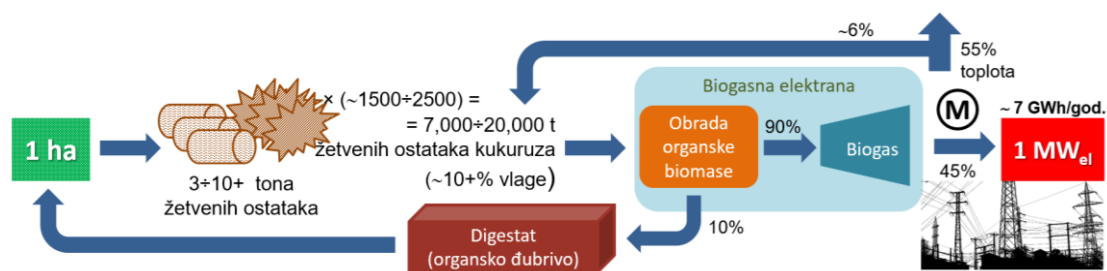
2.4.2 Bio-gas. Bio-gas je izuzetno pogodan za kogenerativnu proizvodnju toplotne i električne energije. Proizvodnja električne energije iz bio-gasa je, za razliku od one iz V-OIE, potpuno upravljiva (nije varijabilna). Pri

tome ova postrojenja mogu da rade i preko 7000 sati godišnje, pa imaju izuzetno visok faktor korišćenja kapaciteta. Osim toga, sam bio-gas je pogodan za transport i sagorevanje. Tako jednu od prednosti proizvodnje i upotrebe bio-gasa predstavlja mogućnost njegovog sagorevanja u urbanim zonama (npr. CH₄), uz minimalne emisije štetnih materija/gasova.

Zavisno od primenjene tehnologije, za snagu od 1 MW_{el}, tj. 7 GWh električne energije godišnje dobijene iz bio-gasa, zahteva se od oko 7000 t do 20.000 t žetvenih ostataka kukuruza. Sa 1 ha dobija se od 3 t do preko 10 t žetvenih ostataka (količina varira od vrste useva, godine i klimatskih uslova).

Kao nusproizvod iz bio-gasnog postrojenja, nakon obrade organske biomase, dobija se digestat. On predstavlja organsko đubrivo i kao takvo se direktno vraća na njive. I to je element cirkularne ekonomije, koja je jedna od odlika predloženog holističkog pristupa sa Slike 4. Važno je napomenuti da digestat ima veću moć fertilizacije zemljišta od samih žetvenih ostataka (od kojih, inače, nastaje), a koji bi u to isto zemljište bili zaorani nakon žetve.

Ceo proces proizvodnje i korišćenja bio-gasa za proizvodnju električne i toplotne energije (od koje se deo vraća u sam proces pripreme biomase), ilustrovan je na Slici 9, sa naznačenim tokovima i bilansima mase i energije i koeficijentima iskorišćenja.



Slika 9. Proces proizvodnje i korišćenja bio-gasa za proizvodnju električne i toplotne energije

Međutim, ozbiljan nedostatak i prepreku za širi obim proizvodnje i korišćenja bio-gasa predstavljaju visoki investicioni troškovi koji prate ova postrojenja. U zavisnosti od tehnologija, instalisani 1 MW_{el} postrojenja za proizvodnju bio-gasa i elektrane na ovo gorivo zahteva investiciju u opsegu od čak 4 do 6 miliona evra. U poređenju sa SE i VE, na primer, postrojenje na bio-gas ima značajno veće investicione troškove. Stoga se energetske subjekti za proizvodnju električne energije još uvek radije opredeljuju za gradnju SE i VE nego za elektrane na bio-gas. Kada se ovoj činjenici doda i ranije pomenuti problem eksponencijalnog rasta troškova transporta bio-mase (naročito kao nusprodukta u poljoprivredi) za areale poluprečnika većeg od oko 50 km, jasno je da i eksploatacioni troškovi postrojenja za proizvodnju bio-gasa i elektrane na ovo gorivo bivaju znatni.

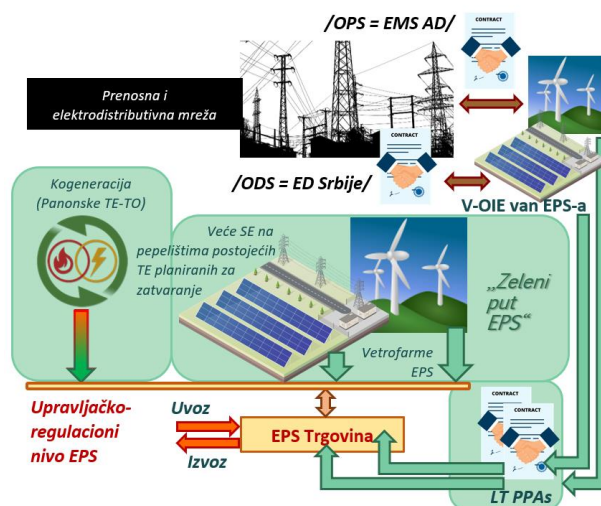
Ipak, moguće rešenje ili barem ublaženje ovih nedostataka (a pre svega transportnih troškova) leži u pomenutoj činjenici da je transport samog bio-gasa tehnički i tehnološki daleko jednostavniji, a time i jeftiniji od transporta biomase kao primarnog energenta. Naime, posle filtriranja/prečišćavanja bio-gasa i ekstrakcije (oko 30%) CO₂ iz njega, moguće je ubrizgavati bio-gas u postojeće gasovode namenjene za transport prirodnog gasa. Druga mogućnost je da bio-gas, pod pritiskom od 4 bar do 10 bar, bude transportovan kroz zasebne, jeftine gasovode od polietilena, čak i na veoma velika rastojanja. Stoga bi za EPS bio-gasne tehnologije mogle biti interesantne i razmatrane prvenstveno po konceptu koji bi činile sledeće komponente:

- decentralizovana proizvodnja bio-gasa, u već postojećim i budućim postrojenjima, manjih kapaciteta (za koja se žetveni ostaci prikupljaju sa većeg broja manjih, lokalnih areala), a koja su sada isključivo u vlasništvu lica i subjekata izvan EPS-a;
- otkup proizvedenog bio-gasa od strane EPS-a i njegov transport postojećim gasovodima za prirodni gas ili zasebnim, novim i jeftinijim gasovodima od polietilena;
- centralizovana potrošnja bio-gasa u postojećim TE-TO EPS-a, koje već imaju mogućnost kogeneracije.

Dodatna povoljna okolnost za primenu jednog ovakvog koncepta je i ta što se tri postojeće TE-TO EPS-a nalaze u Vojvodini, najvećoj žitnici Republike Srbije. Ova činjenica bi takođe povoljno uticala na smanjenje operativnih troškova u vezi sa eventualnom proizvodnjom i korišćenjem bio-gasa u EES-u Srbije i u proizvodnom portfelju EPS-a. Na ovaj način, korišćenjem bio-gasa, postojeće TE-TO EPS-a bi efektivno i efikasno postale

integralni deo koncepta njegovog „Zelenog puta”, čije su komponente prikazane na Slici 10. Nadasve, smanjila bi se uvozna zavisnost od prirodnog gasa i time doprinelo povećanju stepena energetske nezavisnosti Srbije.

Osim opisanog koncepta dobijanja bio-gasa iz biomase i mogućnosti njegovog korišćenja u proizvodnom portfelju EPS-a, u daljoj budućnosti bi bila moguća i primena bio-gasnih tehnologija zasnovanih na korišćenju niskokaloričnih ugljeva, s obzirom na to da EPS raspolaže preostalim količinama lignita u svojim površinskim kopovima u „Kolubari” i „Kostolcu”. Ipak, tehnologije direktnog dobijanja bio-gasa iz lignita danas su i dalje prilično daleko od komercijalne prihvatljivosti i praktične primene.



Slika 10. Komponente koncepta „Zelenog puta” EPS-a.

OPS – operator prenosnog sistema,

ODS – operator distributivnog sistema,

LT PPA – ugovor privatnog proizvođača i EPS-a o dugoročnom otkupu električne energije (Long-Term Power Purchase Agreement)

2.4.3 Proizvodnja, skladištenje i korišćenje vodonika.

Kao jedno od rešenja problema koje u EES unosi sve veći upliv V-OIE nude se vodonične tehnologije. Kao što je već napomenuto, viškovi proizvedene električne energije u EES-u mogu biti iskorišćeni za dobijanje vodonika elektrolizom i za njegovo komprimovanje, u cilju skladištenja. Ukoliko se električna energija za elektrolizu pribavlja isključivo iz OIE, kao produkt elektrolize javlja se „zeleni” vodonik. U realnosti, međutim, viškovi mogu poticati i iz klasičnih elektrana, pa i iz TE. Ukoliko, npr. do 20% električne energije za elektrolizu vodi poreklo iz njih,

a 80% i više iz OIE, kao rezultat procesa dobija se „plavi” vodonik. Tako proizvedeni vodonik, koji bi se dalje koristio kao nosilac energije, u budućnosti može predstavljati svojevrsnu kopču unutar energetskog sistema – između EES-a i ostalih sektora i sistema. Naime, ne samo da bi se javljao kao produkt rada EES-a nego bi se njegovim sagorevanjem u gorivim ćelijama (Slika 4, sredina dole) ponovo mogla dobijati, i u EES injektirati, električna energija. U drugim sektorima pak „plavi” vodonik se može koristiti kao jedan od primarnih energenata u sistemima daljinskog grejanja; dakle, za dobijanje toplotne energije (Slika 4, sredina desno i gore). „Zeleni” vodonik se, u kombinaciji sa CO₂, zahvaćenim u odgovarajućim postrojenjima u sklopu TE ili TE-TO, može koristiti za proizvodnju „plavog” metanola, koji služi kao gorivo za automobile, kamione, brodove i avione (Slika 4, dole desno).

2.4.4 Jamska termalna skladišta. Kao što je već pomenuto, u svetu već postoje i koriste se velika jamska termalna skladišta (*Pit Thermal Energy Storage*, PTES). Najviše iskustva i primene ovo tehničko rešenje našlo je u Danskoj. Ova skladišta se koriste tako što se viškovi električne energije iz sistema koriste za zagrevanje i sezonsko skladištenje vode (Slika 4, gore desno). Ona se potom koristi u kasnoj jesenjoj i zimskoj sezoni, najčešće za sisteme daljinskog grejanja. Obloga jame, kao i materijali od kojih se gradi njena prekrivka, obezbeđuje dobru izolaciju, kako tokom više meseci ne bi dolazilo do prevelike kondukcije toplote i hlađenja vode. Najčešće se, u kombinaciji sa jednom takvom jamom, kao oprema za zagrevanje vode koriste ili polja termalnih solarnih kolektora ili fotonaponski solarni paneli iz kojih se viškovi električne energije koriste za rad električnih grejača. Na drugoj strani, zajedno sa jamom i solarima ovaj sistem čini i toplotna pumpa, a moguća je i kombinacija toplotne pumpe i (postojeće) toplane za daljinsko grejanje. Što se tiče toplotne pumpe, moguće je koristiti pumpu sa kompresorom (kada se kao pogonska mašina uglavnom koristi električni motor, gasna turbina ili gasni motor), ili apsorpcionu toplotnu pumpu.

Što se tiče EPS-a, primena PTES-a bila bi moguća za naselja koja se toplotnom energijom za daljinsko grejanje sada snabdevaju iz TE koje su planirane za gašenje. Takođe, postoji interes EPS-a da učestvuje u razvoju i realizaciji projekta PTES-a za Novi Sad, tim pre što su planirane lokacije ovog postojanja, uključujući i napojno solarno polje, u neposrednoj blizini TE-TO Novi Sad. Realizacija ovakvih tehničkih rešenja donekle bi bila olakšana, i tehnički i finansijski, i to u pogledu građevinskih radova, jer bi za iskop i oblikovanje jama mogla biti korišćena postojeća rudarska mehanizacija EPS-a.

2.4.5 Korišćenje geotermalne energije. Osim za daljinsko grejanje ili pripremu tople vode, geotermalna energija može da se koristi i za proizvodnju električne energije. U tom slučaju se, međutim, zahteva veoma visoka temperatura radnog fluida, i od preko 190°C. U Evropi i svetu su razvijene i u upotrebi tri vrste elektrana na geotermalnu energiju:

- sa suvom parom;

- sa fleš parom;
- sa binarnim ciklusom.

Elektrana sa suvom parom koristi toplu vodu iz tzv. proizvodnog bunara, temperature fluida su preko 150°C. Nakon prolaska kroz turbinu para ide u hladnjak odakle se fluid vraća u zemlju, tzv. injekcionim bunarom. Ovu vrstu elektrana karakteriše relativno niska cena, ali je njihova primena geografski ograničena.

Elektrana sa fleš parom ispred turbine poseduje i tzv. fleš boiler, iz koga se deo fluida direktno vraća u zemlju, a deo ubrizgava u turbinu. Temperature fluida su preko 180°C. Ovo je dominantan tip geotermalne elektrane kada je reč o globalno instalisanim kapacitetima.

Elektrana sa binarnim ciklusom kao ključni element sadrži izmenjivač toplote. On se fluidom napaja iz proizvodnog bunara, iz njega se rashlađeni fluid vraća u zemlju preko injekcionog bunara, ali je na drugoj, sistemskoj strani, izmenjivač spregnut i sa turbinom (koju napaja fluidom) i sa suvim hladnjakom (preko koga prima fluid iskorišćen u turbini). Zbog ovako povećane efikasnosti, potrebne temperature fluida su kod ovog tipa elektrane niže, nešto preko 100°C. Takođe je važno istaći da se ovaj tip elektrane koristi za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije (tj. za grejanje).

Danas se širom sveta koriste dva tipa binarnih sistema:

- *Organic Rankine ciklus* (ORC), koji koristi organski radni fluid (propan ili izobutan);
- *Kalina ciklus*, koji kao radni fluid koristi smesu dve supstance (npr. vode i amonijaka).

Izazovi koji stoje pred širom primenom geotermalne energije za proizvodnju električne energije su transfer znanja i tehnologija iz gasne i naftne industrije i činjenica da srpska legislativa još uvek ne omogućava brži razvoj geotermalnih elektrana, niti subvencije i finansiranje početnih projekata. U slučaju eventualne poslovne i strateške odluke EPS-a da u budućnosti razvija i projekte geotermalnih elektrana, izazov transfera znanja i tehnologija bi mogao biti prevladan u saradnji sa drugim velikim, nacionalnim energetske subjektom, Naftnom industrijom Srbije (NIS).

2.4.6 Nuklearna energija. Čak i uz široku i kombinovanu primenu svih pomenutih i opisanih novih tehnologija, postoji opasnost da će se, gašenjem za to predviđenih TE i smanjenjem angažovanja preostalih, pojavljivati sve veći manjak električne energije u proizvodnom portfelju EPS-a, pa i u EES-u Srbije u celini. Sa druge strane, najveći deo bazne energije koja će se do 2050. godine pojavljivati kao nedostajuća, i stoga kritična, najlakše je podmiriti iz budućih nuklearnih elektrana (NE).

Izgradnja i korišćenje NE ima, dakako, i drugih svojih prednosti, ali i nedostataka. U prilog ukidanju postojećeg moratorijuma na izgradnju NE u Srbiji i opredeljivanje EPS-a za razvoj projek(a)ta NE, govore sledeće činjenice:

- faktor kapaciteta NE je oko 85%;
- godišnja proizvodnja je i do 8 TWh po jednoj jedinici u NE, snage do oko 900+ MW;
- dostupne su pouzdane i kompaktne NE (generacije III+, IV);
- Tehnologije SMR (*Small Modular Reactors*) postaju sve bezbednije i stoga prihvatljivije za javnost;

- na raspolaganju je obilje otpadne toplote iz NE za grejanje stanova, industrije, staklenika;
- NE ne zahtevaju nikakvu rezervu, skladištenje energije niti balansiranje;
- nema velikih troškova za električnu energiju koja bi bila utrošena za konverziju u druge oblike energije ili goriva.

Od nedostataka koji prate primenu nuklearnih tehnologija treba istaći sledeće:

- osim tehnologije, i nuklearno gorivo se takođe mora nabaviti iz inostranstva, tako da bi postojao veoma visok stepen energetske zavisnosti Srbije;
- zavisnost od isporučilaca tehnologije, isporučilaca goriva i zemlje koja bi kod nas brinula i o isluženom radioaktivnom gorivu je najviša moguća i politički veoma upitna;
- moratorijum na gradnju NE je i dalje na snazi;
- upitni su problemi u vezi sa eventualnim posjedovanjem nuklearnih tehnologija (u slučaju Srbije, zbog političkih odnosa u regionu);
- nedostatak eksperata obrazovanih u ovoj oblasti;
- upitno je da li bi bilo moguće u Srbiji primeniti, u datom trenutku raspoloživa, najnovija tehnička i tehnološka rešenja;
- upitno je i prihvatanje nuklearnih tehnologija u javnosti kad se ima u vidu da i visoko tehnološki razvijene zemlje napuštaju te tehnologije;
- pitanje je i to da li bi razvoj tehnologije zasnovane na fuziji u međuvremenu (npr. do završetka planiranja, projektovanja i izgradnje prve/ih NE) prevazišao trenutno raspoloživa i, naročito – za Srbiju dostupna, tehnička rešenja bazirana na fisijonij tehnologiji.

O svim ovim aspektima i otvorenim pitanjima (ne ograničavajući se, naravno, samo na njih) potrebno je povesti računa pri razmatranju opcije opredeljivanja za razvoj i realizaciju projekata NE u EPS-u, tj. Srbiji.

2.5 Način razmatranja uvođenja novih tehnologija

Na putu dekarbonizacije i energetske tranzicije, pred EPS i druge energetske subjekte u Republici Srbiji, osim strateških i dugoročnih, postavljaće se i zadaci davanja mišljenja o nekom konkretnom problemu, projektu, studiji, tehničkoj dokumentaciji ili inovaciji. I u jedna i u druga razmatranja poželjno je uključivati eksperte u konkretnim oblastima koji su članovi akademske zajednice – univerzitetske i naučno-istraživačke. Sa njima bi se razmatrale i mogućnosti primene:

- najnovijih rezultata naučnih istraživanja;
- novih tehnologija i inovativnih tehničkih rešenja;
- najbolje raspoložive prakse.

Jedan od mogućih načina stvaranja formalno-pravnog okvira za ovakvo, sinergijsko delovanje akademske zajednice i energetske subjekte jeste zaključivanje bilateralnih sporazuma o naučno-tehničkoj saradnji. Na taj način stvaraju se uslovi za uspostavljanje tešnje saradnje elektroprivrede sa obrazovnim i naučnim ustanovama koje se bave istraživanjem i razvojem u oblastima od interesa za elektroprivrednu delatnost.

Najvažniji ciljevi koji bi mogli biti dostignuti ovakvom sinergijom naučno-istraživačkog rada sa jedne i stručne prakse i iskustva sa druge strane sledeći su:

- stvoriti potrebne uslove za unapređenje i dalji razvoj proizvodnih kapaciteta EPS-a;
- imati zaposlene u EPS-u koji su obrazovani u oblastima novih tehnologija i inovativnih rešenja i motivisani za njihovu primenu;
- realizacija strateških ciljeva EPS-a i Republike Srbije u energetskom sektoru.

Ovakav koncept saradnje i uspostavljanja timskog rada olakšao bi kretanje EPS-a i Republike Srbije na putu dekarbonizacije, energetske tranzicije i uspostavljanja održivog razvoja i cirkularne ekonomije.

3. ZAKLJUČAK

Potrebno je postepeno, tokom nekoliko decenija koje su pred nama, uspostaviti takav proizvodni miks, koji bi bio zasnovan i oslonjen na različite ekološki prihvatljive energente i na nove tehnologije, koji će biti ne samo izvodljiv i održiv na dugi rok nego i tehnički, finansijski i ekonomski optimalan za srpske uslove i prilike, kao i društveno prihvatljiv. Osim toga, taj miks mora biti dovoljan za profitabilan rad EPS-a i u stanju da obezbedi:

- stabilnost i pouzdanost rada EES-a Srbije;
- sigurnost snabdevanja krajnjih korisnika;
- najviši mogući nivo energetske nezavisnosti i bezbednosti Republike Srbije;
- zadovoljstvo i krajnjih korisnika EES-a i zaposlenih u EPS-u.

Pri tome u najvećoj mogućoj meri treba poštovati i primenjivati principe koji će voditi ka povećanju energetske efikasnosti, uspostavljanju cirkularne ekonomije i smanjenju negativnih uticaja na životnu sredinu kao i na socijalni aspekt.

Izbor najpogodnijih i najprimerenijih novih tehnologija i konkretnih tehničkih rešenja novih kapaciteta za proizvodnju električne i toplotne energije u buduću treba da bude vršen na osnovu mišljenja i zaključaka do kojih će doći eksperti iz naučnih i stručnih krugova svojim zajedničkim radom i sinergijskim delovanjem.

Da bi se sve ovo ostvarilo, neophodna su ulaganja i u sticanje novih znanja i stalno unapređenje znanja u konkretnim tehničkim i tehnološkim oblastima. Osim toga, potrebno je uložiti napore i sredstva i u podizanje svesti, širega kruga zainteresovanih strana i javnosti u celini, o neophodnosti primene novih tehnologija i kvalitativnog pomeraja od fosilnih ka obnovljivim energentima i održivog budućnosti.

LITERATURA

- [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.egyr.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., Dumitrașcu, 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] Šiljkut V. M., „Uticaj potrošača na održivu dekarbonizaciju budućeg elektroenergetskog sistema”, *Zbornik radova, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”*, br. 31, str. 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] „Preliminarna analiza mogućnosti korišćenja proizvodnih jedinica planiranih po NERP-u za Opt-Out, za pružanje pomoćne usluge regulacije

napona”, Studija za EPS, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, 2021.

- [26] „RHE 'Bistrica' – analize i investiciono-tehnička dokumentacija”, studija i idejno rešenje za EPS, konzorcijum „Energoprojekt-Hidroinženjering” AD Beograd i „Elektroenergetski koordinacioni centar” DOO Beograd, 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] „Studija o mogućnostima izgradnje reverzibilnih hidroelektrana i pumpno-akumulacionih postrojenja

u Srbiji”, studija za EPS, 2. faza, „Definisanje širih prostora i perspektivnih lokacija gradnje RHE i PAP pri HE”, konzorcijum „Energoprojekt-Hidroinženjering” AD Beograd i Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, 2023.

- [30] „Harmonizacija i obrada ulaznih podataka za izradu studije optimalnog korišćenja hidroenergetskih kapaciteta EPS AD, na vremenskom horizontu 1926–2018. godina”, projekat, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, 2023.
- [31] Ilić, J., „Aktuelni projekti rekonstrukcije, adaptacije i investicionog održavanja postojećih hidroelektrana i RHE u EPS AD”, stručno-naučni skup „Hidroenergetika regiona jugoistočne Evrope”, SANU, 2023.

BIOGRAFIJA



Vladimir M. Šiljkut je rođen 1966. godine u Beogradu, gde je diplomirao 1994. i doktorirao 2015. godine na Elektrotehničkom fakultetu. Radio je u „Elektrodistribuciji Beograd” (1995–2013) na poslovima planiranja, razvoja i istraživanja distributivnih mreža, vodio Laboratoriju za brojila električne energije i Centar za integrisani sistem

menadžmenta. U „Elektroprivredi Srbije” vodio je Sektor za trgovinu i odnose sa tarifnim kupcima u Direkciji za distribuciju električne energije (2013–2015). Potom je (2015/16) vodio i koordinirao projekte na smanjenju gubitaka u Operatoru distributivnog sistema. Od 2016. do 2022. bio je šef Službe za pripremu novih ulaganja u elektrane i obnovljive izvore energije, na kojoj poziciji je i trenutno, a u periodu od marta 2022. do jula 2023. bio je savetnik za poslovni sistem direktora EPS-a. Više od jedne

decenije bio je angažovan i kao gostujući predavač za oblasti distribucije i maloprodaje električne energije i elektrana i razvodnih postrojenja, na Višoj elektrotehničkoj školi u Beogradu. (Ko)autor je više od 75 članaka i radova (od toga četiri članka u međunarodnim časopisima), objavljenih u publikacijama ili prezentovanih na brojnim nacionalnim, regionalnim i međunarodnim konferencijama. Ovi radovi su iz domena metoda prognoze opterećenja, optimalnog planiranja mreže, procene gubitaka električne energije, obnovljivih izvora energije, upravljanja opterećenjem, energetskih transformatora, metrologije i dr. Koautor je i jedne praktične knjige iz elektrodistribucije i maloprodaje električne energije na srpskom jeziku. Član je Srpskog nacionalnog komiteta CIRED, njegovog Izvršnog odbora, najviše aktivan u sesiji 1 – Komponente mreže (kao predsednik) i u sesiji 5 – Planiranje distributivnih mreža.

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