



UDK: 502.174.3

## STANJE I PERSPEKTIVE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U SRBIJI

Branko Radičević<sup>1</sup>, Đukan Vukić<sup>1</sup>, Nikola Rajaković<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Poljoprivredni fakultet – Beograd

<sup>2</sup>Elektrotehnički fakultet – Beograd

**Sadržaj:** U radu je prikazan pregled aktuelnih tehnologija obnovljivih izvora energije i perspektiva za njihov dalji razvoj. Analiziran je razvoj obnovljivih izvora energije u elektroenergetici i njihov uticaj na razvoj unapređenog koncepta elektroenergetskog sistema sa distribuiranim izvorima električne energije. U radu je detaljno prikazano stanje i perspektive razvoja obnovljivih izvora energije u Srbiji imajući u vidu fascinantan razvoj ovih izvora energije u Evropi i svetu.

**Ključne reči:** obnovljivi izvori energije, energetika, distribuirana proizvodnja energije.

### 1. UVOD

Početak III milenijuma zahteva preispitivanje konvencionalne slike integralne energetike. Programi uvođenja obnovljivih izvora energije i energetske efikasnosti su od kritične važnosti za obezbeđivanje energetske sigurnosti, ali istovremeno i za dobijanje čiste i jeftine energije, a sve u skladu sa konceptom održivog razvoja.

Dramatično povećanje cene sirove nafte pojačava potrebu za obnovljivim izvorima energije. Usled koncentracije energetske resursa u svega nekoliko oblasti u svetu, korišćenje fosilnih goriva stvorilo je sistem međuzavisnosti, tako da se države koje zavise od uvoza fosilnih goriva nalaze u podređenim položajima, što dovodi do političke, ekonomske i socijalne nestabilnosti.

Obnovljivi izvori energije, od kojih su pojedini sasvim novi, a neki se koriste već duže vreme, obuhvataju: energiju sunčevog zračenja, vetropotencijal, vodni potencijal, geotermalni potencijal, biomasu itd. Neki od ovih izvora već na postojećem tehnološkom nivou razvoja omogućavaju profitabilnu proizvodnju električne energije, dok su pojedini još uvek u razvojnoj fazi, pa se njihova komercijalna primena tek očekuje. Trenutni obim investicija u obnovljive izvore energije iznosi i do 20% od ukupnih investicija u globalnoj energetici. Dalji razvoj ovih tehnologija može značajno da utiče na tržišta električne energije, i na povećanje broja radnih mesta u ovim oblastima [1].

Javno mnjenje sve više brine problem ekologije i globalnih klimatskih promena, i zbog toga postoji određen pritisak da se učešće obnovljivih resursa poveća, u narednih dvadesetak godina, čak i do 30% od ukupnog energetskeg bilansa. Mehanizmi za ovakvo povećanje polaze od posebnih poreskih režima i drugih olakšica.

Prirodni i tehnički potencijal obnovljivih izvora energije dovoljan je da zadovolji sveukupne energetske zahteve svetske populacije. Međutim, ulaganja u industriju baziranu na fosilnim i nuklearnim gorivima su na postojećem nivou i do deset puta veća od ulaganja u razvoj tehnologija obnovljivih izvora energije. U industrijalizovanim zemljama se samo oko 7% od ukupnog fonda za istraživanje i razvoj odvaja na obnovljive izvore energije, dok se za istraživanje i razvoj nuklearnih i drugih tehnologija odvaja čak 70%. Na osnovu ovoga je jasno da se korišćenju obnovljivih izvora energije mora dati visoki politički i ekonomski prioritet, kako bi se izvršila preorijentacija ka ovim izvorima energije i njihovom tehnološkom razvoju [2].

## 2. DISTRIBUIRANA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Prisustvo izvora električne energije relativno male snage priključenih na distributivnu mrežu srednjeg ili niskog napona je novijeg datuma. Ovaj vid proizvodnje naziva se distribuiranom proizvodnjom. Distribuirani izvori napajaju lokalna potrošačka područja, čime smanjuju ukupnu potrošnju i gubitke u sistemu i popravljaju naponske prilike. Primarni izvori energije za distributivne generatore su uglavnom obnovljivi, pa distribuirana proizvodnja predstavlja dugoročno i ekološki čisto rešenje, što je njena velika prednost.

Koncept izgradnje velikih proizvodnih jedinica i razvoja centralizovanih elektroenergetskih sistema prestaje da bude jedini prihvatljiv i dobija alternativu u razvoju malih distribuiranih kapaciteta koji će vremenom preuzeti na sebe značajan deo potreba za energijom. Pri tom ova dva pristupa ne isključuju jedan drugi, već se mogu dopunjavati, u smislu da nova, "zelena" energija dolazi što više iz obnovljivih izvora, uz i dalje važnu ulogu velikih elektrana, pre svega u očuvanju stabilnosti i pouzdanosti sistema. Na dinamiku širenja distribuiranih izvora dosta utiču i zakonske regulative vezane za tu oblast, naročito u zemljama u tranziciji i sa neregulisanim svojinskim odnosima [5].

Distribuirani izvori električne energije se prema instalisanoj snazi dele na:

- Mikro, snage manje od 5 kW
- Mali, snage od 5 kW do 5 MW
- Srednji, snage od 5 MW do 50 MW
- Veliki, snage veće od 50 MW.

Prema vrsti primarnog energenta u distribuirane izvore električne energije spadaju:

- Obnovljivi, kao što su: vetrogeneratori, solarne elektrane (fotonaponski izvori i termo-solarne elektrane), male hidroelektrane (MHE), elektrane na biomasu i biogas, geotermalne elektrane, elektrane na plimu i oseku.

- Neobnovljivi, u koje spadaju elektrane na fosilna goriva (ugalj, naftu i prirodni gas) i gorivne ćelije.

Podela distribuiranih izvora električne energije prema funkcionalnoj ulozi podrazumeva:

- Distribuirani izvori za rezervno napajanje (standby). Služe kao rezerva glavnom mrežnom napajanju u industrijskim objektima i kod prioriternih potrošača. Najčešće se koriste dizel-električni agregati, gorivne ćelije i akumulatorske baterije.

- Autonomni izvori napajanja (stand alone). Njihova uloga je da snabdevaju pojedinačne potrošače koji nisu priključeni na distributivnu mrežu. Ovde spadaju dizel-električni agregati, fotonaponski izvori i vetrogeneratori manjih snaga.

- Izvori za napajanje udaljenih i ruralnih potrošačkih centara (rural and remote applications). Mogu da rade kao autonomni ili kao podrška glavnom napajanju koje u slučaju ovih potrošača uglavnom karakteriše loš kvalitet električne energije. Koriste se MHE, elektrane na biomasu, vetrogeneratori, dizel agregati.

- Izvori za kogenerativnu proizvodnju električne i toplotne energije (combined heat and power - CHP). Misli se na termoelektrane-toplane sa gasnim i parnim mikroturbinama, dizel-električne agregate, geotermalne elektrane i gorivne ćelije.

- Izvori za pokrivanje vršnog opterećenja (peak load shaving sources). Javljaju se najčešće u sprezi sa velikim potrošačima i služe za smanjivanje troškova usled vršnog opterećenja, kao i za popravku naponskog profila. Uglavnom se koriste brze mikroturbinske elektrane i akumulacione MHE.

- Izvori za pokrivanje bazne proizvodnje (base load sources). Stalno su priključeni na distributivnu mrežu i mogu učestvovati u regulaciji tokova snaga i naponskih prilika. Ovakvu primenu pre svega imaju izvori koji nemaju mogućnost akumulisanja primarnog energenta, a to su protočne MHE, vetrogeneratori i solarne elektrane.

### 3. PREGLED OBNOVLJIVIH IZVORA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Stalno povećanje ljudske populacije i savremen način života uzrokuju stalni rast globalnih svetskih potreba za energijom. S druge strane, rezerve fosilnih goriva kao glavnih izvora energije rapidno se smanjuju, a njihova cena raste. Ovaj nesklad glavni je uzrok što se u poslednjih nekoliko decenija sve veća pažnja poklanja obnovljivim izvorima energije. Njihov energetski potencijal višestruko je veći od ukupnih potreba čovečanstva, a iskoristivost tog potencijala u dobroj meri zavisi od razvoja tehnologija za proizvodnju i eksploataciju ovih izvora. Velika prednost u njihovoj daljoj primeni predstavlja činjenica da pri proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora gotovo da nema negativnih uticaja na životnu sredinu.

Zahvaljujući naglom razvoju tehnologije izrade vetrogeneratora, svetsko tržište ovog izvora energije imalo je veoma dinamičan razvoj u poslednje dve decenije. Nagli skok beleži ukupna instalisana snaga, ali i maksimalna snaga pojedinačne vetrogeneratorske jedinice (sredinom 2008. godine u svetu je instalisano oko 95000 MW vetroenergetskih kapaciteta). Predviđa se da će do kraja 2020. godine u svetu biti instalisano oko 1200000 MW vetrogeneratorskih kapaciteta, sa godišnjom proizvodnjom od preko 3000 TWh, što će pokrivati oko 12% svetskih potreba za električnom energijom [3].

Snage modernih vetrogeneratora obično se kreću u opsegu od 100 kW do 5 MW, sa maksimalnim stepenom iskorišćenja od oko 45 %. Elise su najčešće trokrilne, a horizontalna osovina turbine može da rotira oko ose stuba i prati pravac duvanja vetra. Da bi izgradnja vetrogeneratora bila ekonomski isplativa, srednja godišnja brzina vetra merena na visini ose vetroturbine treba da bude veća od 6 m/s. Za detaljnu ekonomsku analizu neophodno je sprovesti namenska merenja vetra i detaljne proračune vetropotencijala za šta su razvijeni namenski softveri. Generatorske jedinice često se grupišu pa formiraju vetroelektrane, koje se grade kako na kopnu (onshore), tako i na moru u priobalnom plitkom pojasu (offshore). Instalirana snaga vetroelektrana može biti i preko 300 MW.

U cilju što boljeg iskorišćenja energije vetra i stabilnog i pouzdanog rada vetroelektrane koja je priključena na elektroenergetski sistem postoji više koncepta elektromehaničke konverzije energije vetra. Osnovna podela je na sistem sa promenljivom brzinom i sistem sa konstantnom brzinom obrtanja vetroturbine [4]. Sistem sa konstantnom brzinom obično ima asinhronu kaveznu mašinu i ovaj koncept se odlikuje robusnošću i niskom cenom. Nedostatak je relativno slab stepen iskorišćenja i zahtevi za reaktivnom energijom. Takođe, ovaj koncept zahteva postojanje multiplikatora koji prilagođava brzinu obrtanja turbine brzini obrtanja generatora. Kod sistema vetrogeneratora sa promenljivom brzinom često se koristi sinhrona višepolna mašina koja ne zahteva reduktor (direct drive) što predstavlja veliku prednost. Nedostatak ovog koncepta je korišćenje energetske pretvarača koji mora imati snagu koja odgovara snazi samog generatora. Danas se sve više koristi i rešenje za vetrogeneratore u vidu dvostruko napajane asinhorne mašine kod koje je pretvarač uključen u rotorsko kolo i ima snagu oko 25% od nominalne snage generatora, što mu je prednost u odnosu na sinhronu mašinu, ali ovaj koncept zahteva postojanje reduktora.

Zahvaljujući razvoju tehnologije vetrogeneratora i efektu koji stvara ekonomija obima cena električne energije proizvedene iz vetrogeneratora se u poslednjih dvadesetak godina višestruko smanjila. Cena ukupnih investicija su bile oko 1500 \$/kW za vetroturbine snaga oko 150 kW (1989. godina), da bi pala na oko 900 \$/kW za vetroturbine snaga oko 2000 kW (2008. godina). Evidentan je uticaj ekonomije veličine.

Cena elektronske opreme sa rastom snage se neznatno menja, cena rotora sa lopaticama je proporcionalna prečniku rotora ( $C_r \sim D$ ), proizvedena snaga je proporcionalna kvadratu prečnika rotora ( $P \sim D^2$ ), dodatni troškovi (izrada projekta, rentiranje zemljišta, izgradnja puta i električne mreže) za izgradnju veće vetroturbine su zanemarljivo veća od one koja je potrebna za izgradnju male vetroturbine, pa se danas sve više grade vetroturbine velikih snaga 2,5 MW i više.

Iako su vetroelektrane ekološki izvor one imaju i određene negativne uticaje na životnu sredinu. Neki od negativnih uticaja su buka, mehaničke vibracije, estetski izgled, zagađenja koja potiču od samih postavljanja vetroturbina, ptice koje se sudaraju sa vetroturbinama i drugo. Realno gledano, u poređenju sa elektranama na fosilna goriva negativan uticaj vetroelektrana je zanemarljiv.

U elektroenergetskim sistemima energija Sunca eksploatiše se na dva načina. Fotoelektrična konverzija podrazumeva direktno pretvaranje Sunčeve energije u električnu pomoću foto-naponskih ćelija (Photovoltaic-PV) grupisanih u module. Ovako dobijen jednosmerni napon može se koristiti za napajanje motora jednosmerne struje ili punjenje akumulatorskih baterija, dok se ostale funkcije PV sistema kao distribuiranih izvora ostvaruju uz konverziju jednosmernog u naizmjenični napon. Prednost ovih sistema je u tome što se paneli sa ćelijama mogu postaviti na zid ili krov objekta kojeg napajaju, pa nema dodatnih troškova izgradnje ili zakupa zemljišta. Nedostatak PV sistema je nizak stepen iskorišćenja (oko 15%) i još uvek visoka cena.

Termo-električna konverzija predstavlja pretvaranje Sunčeve energije prvo u toplotnu, čime se dobija vodena para koja pokreće turbinu i generator, pa zatim u električnu. Ovo je čini veoma pogodnom za kogeneraciju. Sunčevi zraci se usmeravaju ka jednom, centralnom kolektoru pomoću sistema ploča sličnih ogledalima, ili se prate i sakupljaju pomoću sudova paraboličnog oblika.

Nekoliko zemalja u Evropi ima značajne prirodne resurse neophodne za korišćenje geotermalne energije za proizvodnju električne energije. Početkom 2005. godine u 25 zemalja članica EU kapaciteti geotermalne energije su iznosili oko 2000 MWth. Mađarska je najveći korisnik geotermalne energije srednje i niske temperature sa instalisanim kapacitetima od 690 MWth. Italija je druga zemlja po kapacitetu od 486 MWth, a Francuska treća sa 292 MWth instalisanih kapaciteta. Ukupno se oko 30% od ove energije koristi kao električna energija. Cena električne energije dobijene iz geotermalnih postrojenja konstantno opada.

Na osnovu relevantnih studija uticaja geotermalne energije na životnu sredinu, geotermalna energija je klasifikovana kao "čista" i obnovljiva energija. Problemi se mogu javiti zbog alkalnosti i saliniteta zbog solubilnosti hemijskog sastava radnih fluida. Jedna od metoda za odstranjivanje potencijalnih havarija je irigacija tla, isušivanje tla, kultivacija tla, upotreba mešavine geotermalne vode i kišnice u kombinaciji sa đubrenjem tla.

Upotreba geotermalnih fluida nosi sa sobom mogućnost zagađenja životne sredine. Gasoviti zagađivači koji se emituju kao na primer H<sub>2</sub>S, se mogu odstraniti uz pomoć specijalnih kondenzatora. Tečni zagađivači sa visokim sadržajem entalpije se ponovo ubacuju u geotermalni rezervoar, čime se izbegava zagađivanje površinskih voda. Tehnički problemi koje se javljaju su povezani sa oksidacijom i korozijom, kao i sa postojanjem blata koje nastaje ispuštanjem fluida. Ovi tehnički problemi se rešavaju upotrebom razmenjivača toplote i odgovarajućih materijala za izgradnju elektrana.

Gorivne ćelije pretvaraju hemijsku energiju dobijenu reakcijom vodonika i kiseonika u električnu i toplotnu energiju, a kao nusproizvod daju vodu. Vodonik se kao gorivo dobija elektrolizom vode, ili preradom prirodnog gasa, metanola ili benzina. Za razliku od konvencionanih termoelektrana, hemijska energija se direktno pretvara u električnu, bez toplotne i mehaničke energije kao posrednika. Gorivne ćelije zato nisu ograničene stepenom korisnog dejstva idealnog Carnot-ovog ciklusa, pa on može biti i dva puta veći nego kod konvencionanih termoelektrana (do 65% pri proizvodnji električne energije i do 80% pri kogeneraciji). Osim toga, gorivne ćelije ne emituju štetne gasove (izuzev minimalne štetne emisije pri radu na visokim temperaturama), niti proizvode vibracije i buku. Sve ovo čini ih pogodnim za lociranje veoma blizu potrošača (u podrumu zgrade npr.), što daje uštedu gubitaka i olakšava korišćenje dobijene toplote za grejanje stanova. Ako se u obzir uzmu i njihove dobre mogućnosti za primenu u motornim vozilima, zahvaljujući relativno malim gabaritima, raspoloživosti primarnog energenta i modularnoj konstrukciji, postaje jasno zašto su gorivne ćelije jedan od najperspektivnijih distributivnih izvora danas.

Osnovni delovi od kojih se sastoji jedna gorivna ćelija su: anoda, katoda, katalizator i elektrolit. Tehnologije izrade zavise uglavnom od vrste primenjenog elektrolita, pa postoje sledeći tipovi gorivnih ćelija:

- sa membranom za razmenu protona (Proton Exchange Membrane Fuel Cells-PEMFC)
- sa fosfornom kiselinom (Phosphoric Acid Fuel Cells-PAFC)
- sa čvrstim oksidom (Solid Oxide Fuel Cells-SOFC)
- sa rastopljenim karbonatom (Molten Carbonate Fuel Cells-MCFC)
- alkalne gorivne ćelije (Alkaline Fuel Cells-AFC)

Slično kao akumulatorske, i gorivne ćelije se vezuju u baterije radi dobijanja veće snage. Postoje proizvodne jedinice sa nekoliko hiljada povezanih ćelija, sa ukupnom snagom od 5 MW. Jedna elektrana sa gorivnim ćelijama sastoji se od tri podsistema: podsistema za procesiranje goriva, tj. dobijanje vodonika iz nekog ugljovodoničnog izvora, podsistema u kojem se vrši elektrohemijski proces dobijanja električne i toplotne energije, i podsistema u kojem postrojenja energetske elektronike pretvaraju dobijeni jednosmerni napon u naizmjenični. Gorivne ćelije veoma su pogodne za kombinovanje sa obnovljivim izvorima, sa kojima čine tzv. hibridne sisteme za proizvodnju električne energije. Ovim se eliminišu nepovoljne osobine obnovljivih izvora koje potiču od njihovog stohastičkog karaktera, pa se snagom ovakvih sistema u dobroj meri može upravljati.

Na kraju ovog poglavlja važno je ukazati i na jedan poseban aspekt razvoja obnovljivih izvora, a to je otvaranje novih radnih mesta, koji je posebno interesantan za zemlje u tranziciji.

#### **4. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE U SRBIJI**

Razvoj našeg društva i naše zemlje u bližoj i daljoj budućnosti u ogromnoj meri će zavisiti od stanja u oblasti energetike. Strateški razvoj energetskeg sektora treba da omogući pouzdano, ekonomično i kvalitetno snabdevanje potrošača energijom i odabrani model razvoja treba da pomogne u prevazilaženju energetske krize u kojoj se nalazi naša zemlja. Energetska situacija je naročito loša u oblasti elektroenergetike. Uzroci su višestruki, a posledica je manjak i loš kvalitet električne energije. Kako bi se ovaj trend zaustavio već su preduzete određene mere, koje se uglavnom odnose na povećanje energetske efikasnosti i revitalizaciju kapaciteta elektroenergetskog sistema. Međutim, jasno je da se bez novih izvora ne može računati na uspešno prevazilaženje elektroenergetske krize. S obzirom da je energetska problem globalni svetski problem, koji neke evropske države uspešno rešavaju, prirodno je da pri definisanju našeg modela energetskeg razvoja proučimo svetska, a pre svega evropska kretanja iz oblasti energetike. Pozitivna iskustva evropskih zemalja treba da budu smernica našem daljem energetskeg razvitku.

Osnova razvoja obnovljivih izvora je postojanje tehnički iskoristivih resursa koji u našoj zemlji još uvek nisu u potpunosti istraženi. U ovom poglavlju je dat pregled perspektiva razvoja obnovljivih izvora energije u Srbiji sa aspekta resursa. Osim resursa za što skorije pokretanje pilot projekata i buduću izgradnju kapaciteta koji koriste obnovljive izvore neophodno je doneti zakonsku regulativu za izgradnju i priključenje ovakvih izvora na elektroenergetski sistem. Takođe je, zbog niske cene električne energije i ne uvažavanja troškova uticaja proizvodnje električne energije na životnu sredinu, potrebno da se obezbede subvencije koje bi obnovljive izvore učinile konkurentnim u postojećim uslovima. Formiranjem tržišta električne energije koje će uvažavati i eksterne troškove subvencije se mogu postepeno ukinuti, jer u takvim tržišnim uslovima obnovljivi izvori energije postaju u potpunosti konkurentni.

#### **5. RESURSI OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE U SRBIJI**

Raspoloživa energija vetra u Srbiji varira u velikoj meri od regiona do regiona, i bitnih razlika ima čak i na malim udaljenostima. Druga karakteristika prostorne raspodele raspoloživog potencijala energije vetra u Srbiji, koja može da se smatra

neuobičajenom, je da je energija vetra raspoloživa više u nižim predelima nego u višim. Ovaj paradoks može da se objasni činjenicom da su vetrovi najčešće *catabatic* i da im je veća brzina pri silaznom kretanju. Procena potencijala vetrova koja je data u atlasu vetrova nije dovoljno detaljna kako bi se sagledale neke lokalne karakteristike. Ove karte pokazuju priličnu promenljivost u pogledu snage na kratkim rastojanjima, posebno u brdsko planinskim oblastima.

Severoistočni deo Srbije karakteriše jak lokalni jugoistočni vetar. Ovaj vetar sa silaznom komponentom je jači od uzlaznog vetra koji se istovremeno javlja. Oblast u kojoj duva ovaj lokalni vetar (Košava), je okružena sa južne i istočne strane planinama, a otvorena je prema severu i zapadu. Košava se najčešće javlja u toku hladnijeg perioda godine, zbog čega je sprega korišćenja sunčeve energije i energije vetra u ovoj oblasti važna za Srbiju. U toku toplijeg dela godine dominiraju zapadni vetrovi. Raspoloživa energija vetra u ovom periodu godine je znatno manja nego zimi.

U Srbiji je obezbeđeno neprekidno registrovanje vetra u meteorološkoj mreži. Merenja brzine vetra se vrše na standardnoj visini od 10 m. Anemometri su uglavnom starijeg tipa sa zapisom na traci (anemografi), pa su iz tog razloga podaci o srednjim satnim brzinama vetra uglavnom nedostupni. U poslednje dve godine u nekoliko mernih stanica u Srbiji je instalirana moderna digitalna oprema sa daljinskim očitavanjem merenja parametara vetra.

Merenja u meteorološkim stanicama omogućavaju samo izdvajanje regiona koji su bogati vetrom. Za sagledavanje energetskog potencijala vetra neophodno je za svaku odabranu lokaciju (region), sprovesti posebno utvrđivanje karakteristika raspoloživog potencijala vetra. Greška u proceni brzine vetra od 10% unosi grešku u proceni snage vetra od 30%, jer je snaga vetra proporcionalna trećem stepenu brzine [3]. Takođe je bitno utvrditi i ostale pokazatelje kvaliteta vetra kao što su: stabilnost smera, turbulentnost, visinski profil i drugo. Iz tog razloga neophodno je vršiti namenska merenja brzine vetra sa merno-akvizicionim sistemima koji su opremljeni anemometrima visoke klase tačnosti. Izbor lokacije za postavljanje mernog stuba treba pre svega da omogući pouzdano sagledavanje vetroenergetskog potencijala u širem regionu merenja. Za tu svrhu koriste se različiti softveri, a najčešće WasP. Merenja se moraju sprovesti celi broj godina, a najmanje godinu dana. Pri izboru lokacije treba voditi računa i o lokalnim efektima (efekat brda i efekat tunela) koji mogu bitno uticati na lokalno povećanje vetroenergetskog potencijala. S obzirom da je osnovni cilj merenja vezan za izbor lokacije za postavljanje vetroagregata i vetroelektrana, pri optimalnom izboru lokacije neophodno je voditi računa i o drugim faktorima koji utiču na tehnno-ekonomsku isplativost gradnje vetroagregata na izabranoj lokaciji. Posebno su bitni: urbanistički plan, blizina i kapacitet elektroenergetske mreže, putna i telekomunikaciona infrastruktura, vizuelni i drugi negativni uticaji na sredinu, keraunički nivo i ostali meteorološki parametri [3].

Osnovne karakteristike sunčevog zračenja u Srbiji je da je insolacija veća u ravničarskoj panonskoj oblasti nego u planinskim oblastima. To se može objasniti većom oblačnošću u letnjem periodu u planinskoj oblasti. Na osnovu dosadašnjih hidrometeoroloških merenja može se zaključiti da postoje značajni resursi sunčeve energije u obe oblasti tokom cele godine. Godišnja prosečna dnevna količina globalnog sunčevog zračenja na horizontalnu površinu u Srbiji iznosi  $13,5 \text{ MJ/m}^2$  ( $3,8 \text{ kWh/m}^2$ ), a za procenu tehnički ostvarljivog potencijala treba imati u vidu granične vrednosti

efikasnosti pretvaranja: za toplotno pretvaranje 84-90%, toplotno mehaničko-električno 28-32%, foto-naponsko 10-14%, [2].

Srbija se nalazi u zoni sa značajnim geotermalnim potencijalom. Na osnovu dosadašnjih istraživanja registrovano je ukupno 1080 prirodnih i "veštačkih" izvora termalne vode. Oblastima sa značajnim potencijalima geotermalne energije su: Mačva, Posavina, Tamnava, Pomoravlje i Podunavlje. Procenjuje se da se iz registrovanih izvora termalne vode može dobiti oko 185000 toe "zelene energije" godišnje. Uglavnom se radi o nisko i srednje temperaturnim izvorima koji se mogu koristiti za dobijanje sanitarne tople vode i za grajanje objekata.

Geotermalna energija u Srbiji se simbolično koristi, samo sa oko 86 MW, iako po geotermalnom potencijalu spada u bogatije zemlje. Korišćenje i eksploatacija geotermalne energije moraju postati intenzivniji, jer na to primoravaju sledeći faktori: tenzije naftno-energetske neravnoteže, neminovna tranzicija tržišne ekonomije, stalni porast deficita fosilnih i nuklearnih goriva, pogoršavanje ekološke situacije i porast troškova za zaštitu okoline. Najveći značaj za Srbiju imaće direktno korišćenje geotermalne energije za grejanje i toplifikaciju ruralnih i urbanih naselja i razvoj agrara i turizma. Geotermalne karakteristike teritorije Srbije su veoma interesantne. To je posledica povoljnog geološkog sastava terena i povoljnih hidroloških i geotermalnih karakteristika terena. Gustina geotermalnog toka je glavni parametar na osnovu kojeg se procenjuje geotermalni potencijal nekog područja. On predstavlja količinu geotermalne toplote koja svakog sekunda kroz površinu od 1 m<sup>2</sup> dolazi iz Zemljine unutrašnjosti do njene površine.

Na najvećem delu teritorije Srbije gustina geotermalnog toplotnog toka je veća od njegove prosečne vrednosti za kontinentalni deo Evrope, koja iznosi oko 60 mW/m<sup>2</sup>. Najveće vrednosti od preko 100 mW/m<sup>2</sup> su u Panonskom basenu, centralnom delu južne Srbije i u centralnoj Srbiji. Na teritoriji Srbije van Panonskog basena nalazi se 160 prirodnih izvora geotermalnih voda sa temperaturom većom od 15°C. Najveću temperaturu od njih imaju vode izvora u Vranjskoj Banji (96°C), zatim u Jošaničkoj Banji (78°C), Sijerinskoj Banji (72°C) itd. Ukupna izdašnost svih prirodnih geotermalnih izvora je oko 4000 l/s. Prema sadašnjim saznanjima na teritoriji Srbije postoji 60 nalazišta geotermalnih voda sa temperaturom većom od 15°C do dubine od 3000 m. Ukupna količina toplote koja se nalazi akumulirana u nalazištima geotermalnih voda u Srbiji do dubine od 3000 m, oko dva puta je veća od ekvivalentne toplotne energije koja bi se mogla dobiti sagorevanjem svih vrsta ugljeva iz svih njihovih nalazišta u Srbiji. Izdašnost 62 veštačka geotermalna izvora, tj. geotermalne bušotine, na području Vojvodine je oko 550 l/s, a toplotna snaga oko 50 MW, a na ostalom delu Srbije iz 48 bušotina 108 MW.

Na teritoriji Srbije pored povoljnih mogućnosti za eksploataciju toplotne energije i ostalih geotermalnih resursa iz geotermalnih voda, postoje i povoljne mogućnosti za eksploataciju geotermalne energije iz "suvih" stena, (stene koje ne sadrže slobodnu podzemnu vodu). U tom slučaju voda se upumpava u podzemne tople stene gde se zagreva. Ispumpavanjem tako zagrejane vode ostvaren je prenos energije iz toplih stena. Eksploatacija energije iz ovog resursa neće početi u dogledno vreme kada se uzme u obzir i trenutno minimalno korišćenje prirodnih izvorišta tople i lekovite vode mada su u svetu razvijene i tehnologije za tu primenu.



Ukupni hidropotencijal Srbije procenjen je na oko 31000 GWh godišnje. Veći deo tog potencijala (oko 62%) je već iskorišćen, jer je ekonomski opravdano građenje većih proizvodnih kapaciteta. Ostatak hidropotencijala je iskoristiv gradnjom manjih i skupljih objekata posebno ako se računa na mini i mikro elektrane. Neke procene potencijala malih hidroelektrana, koje uključuju mini i mikro elektrane na preko 1000 mogućih lokacija sa instalisanom jediničnom snagom ispod 10 MW, kazuju da je na malim vodotokovima moguće ostvariti ukupnu instalisanu snagu od oko 500 MW i proizvodnju 2400 GWh/god. Od toga se polovina (1200 GWh/god) nalazi u Užičkom, Niškom i Kragujevačkom regionu, gde može da bude korišćen u brojnim malim postrojenjima sa ukupnom instalisanom snagom od oko 340 MW raspoređenom na oko 700 lokacija. Budući da je preostali neiskorišćeni hidropotencijal u Srbiji značajnim delom u opsegu male hidroenergetike, taj deo je i posebno izučavan. Izrađen je i katastar malih hidroelektrana za jedinične snage ispod 10 MW. Rezultat je iskazan u ukupnoj instalisanoj snazi od 453 MW i prosečnoj proizvodnji od 1600 GWh/god. na oko 868 lokacija.

Danas je u pogonu samo 31 mini hidroelektrana ukupne snage 34,8 MW i godišnje proizvodnje od 150 GWh. Van pogona je 38 mini hidroelektrana. Ove male hidroelektrane mogu se osposobiti za pogon uz ulaganje koje je zavisno od stanja u kome se nalaze. Postoje značajne mogućnosti ugradnje malih hidroelektrana u postojećim vodoprivrednim objektima, koje se takođe karakterišu znatno nižim troškovima.

Srbija raspolaže sa značajnim potencijalom različitih oblika otpada i biomase koji mogu da se koriste u energetske svrhe. Korišćenje otpada i biomase u energetske svrhe je jedan od najizglednijih načina korišćenja obnovljivih izvora energije u Srbiji. Analize pokazuju da ima dovoljno raspoloživih površina za namensku proizvodnju biomase i sirovina za proizvodnju biodizela i drugih biogoriva koja bi mogla značajno da zameni fosilna tečna goriva. Ravničarske regione u Srbiji, a posebno u Vojvodini karakteriše postojanje značajnog agrokulturnog otpada, dok je u planinskim regionima značajan drveno-prerađivački otpad. Procenjuje se da su ukupni resursi biomase u Srbiji oko 1,6 miliona toe/god.

## ZAKLJUČAK

Neophodnost uključivanja obnovljivih izvora energije u nacionalnu strategiju razvoja energetike Srbije je naša realnost. U tom pogledu prvi korak bi morao biti utvrđivanje tehnički iskoristivih potencijala, donošenje efikasne i transparentne zakonske regulative za izgradnju i priključenje obnovljivih izvora energije na elektroenergetski sistem i obezbeđivanje povoljnih kredita i drugih subvencija za pilot postrojenja.

Strateški razvoj energetike u Srbiji u dosadašnjem periodu je bio uglavnom usmeren na eksploataciju fosilnih goriva i hidropotencijala velikih rečnih slivova, pa su i istraživanja resursa energetske izvora bila uglavnom usmerena ka utvrđivanju rezervi uglja, nafte i gasa. Istraživanje resursa obnovljivih izvora nije sistematski sprovedeno u prethodnom periodu, pa se uglavnom raspolaže podacima koji za pojedine obnovljive izvore (pre svih vetra) nisu u dovoljnoj meri pouzdani. Istraživanje resursa obnovljivih izvora značajno je intenzivirano sa donošenjem Zakona o energetici Republike Srbije i Strategije razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine koji predviđaju učešće obnovljivih izvora u energetske bilansu Republike Srbije u narednom periodu [6].

Prema dosadašnjim istraživanjima resursa obnovljivih izvora energije u Srbiji može se zaključiti da Srbija poseduje značajne resurse obnovljivih izvora energije pre svega biomase, hidropotencijala malih rečnih slivova, ali takođe postoje značajni potencijali solarne energije, gde je Srbija znatno bogatija od Nemačke koja je vodeća zemlja u Evropi po instalisanim fotonaponskim i foto-termalnim kapacitetima. Energija vetra je još uvek nedovoljno istražena, ali neka dosadašnja merenja, kao i istraživanja koja su u toku, ukazuju na značajan iskoristiv potencijal vetra u više regiona u Srbiji (naročito u regionu Južnog Banata i mnogobrojnim planinskim oblastima).

### LITERATURA

- [1] Mallon K., *Renewable Energy Policy and Politics*, Earthscan Publishers Ltd, London, 2005.
- [2] Đajić N., *Energija za održivi svet*, Rudarsko - geološki fakultet, Beograd, 2002.
- [3] Mikičić D., Radičević B., Đurišić Ž., *Wind Energy Potential in the World and in Serbia and Montenegro*, Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics, vol. 8, No 1, 2006.
- [4] Vukić Đ., Radičević B., *Osobine asinhronne mašine sa dvostranim napajanjem i primena u vetrogeneratorskim postrojenjima*, 27. savetovanje Jugoslovenskog komiteta Međunarodnog saveta za velike električne mreže, Zlatibor, 2005.
- [5] Đurišić Ž., Rajaković N., *Perspektivne tehnologije distribuirane proizvodnje električne energije*, Energija, br. 2, Jun 2005. str. 151-159.
- [6] *Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine*, Službeni glasnik Republike Srbije, Beograd, 2004 -2005.

### THE CURRENT STATE OF RENEWABLE SOURCES OF ENERGY AND THEIR FUTURE PROSPECTS IN SERBIA

**Branko Radičević<sup>1</sup>, Đukan Vukić<sup>1</sup>, Nikola Rajaković<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Faculty of Agriculture – Belgrade*

<sup>2</sup>*Faculty of Electrical Engineering – Belgrade*

**Abstract:** This paper presents a review of the current technologies of renewable sources of the energy and the prospects for their future development. In this paper are analyzed the development of the renewable sources of energy in and their influence on the development of the improved concept of the electric power system with distributed sources of electrical energy. The state and prospects of the future development of renewable energy in Serbia are presented in detail. While doing this study, the fascinating development of these sources of energy in Europe and worldwide was taken into account.

**Key words:** *renewable sources of energy, electric power system, distributed production of energy.*