

HIDROENERGETSKI POTENCIJAL – NAJPOUZDANJI I SVE NEOPHODNIJI OBNOVLJIVI IZVOR ENERGIJE

Tina DAŠIĆ¹⁾, Branislav ĐORĐEVIĆ²⁾, Jasmina MOSKOVLJEVIĆ¹⁾
¹⁾ Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, ²⁾ Akademija inženjerskih nauka Srbije

Najlakše se nameću, a najteže priznaju strateške zablude.

REZIME

U svetu se odigravaju nepovoljni procesi u energetici: nedovoljno proučavano se uvode u pogon velike snage obnovljivih izvora energije čija je raspoloživost vrlo promenljiva i nepredvidiva, zatvaraju se velike termoelektrane i nuklearne elektrane koje su obezbeđivale stabilnost i pouzdanost elektroenergetskih sistema, iz političkih razloga se prekidaju transferi energije i uvoz nekih ključnih energenata (prirodni gas, uglj, nafta). Ti procesi radikalno menjaju ulogu hidroelektrana u elektroenergetskim sistemima. Sve vrste hidroelektana dobijaju na posebnom značaju, a posebno akumulacione hidroelektrane velikih instaliranih snaga. Značajno se povećava njihova uloga u regulaciji i obezbeđivanju pouzdanosti elektroenergetskih sistema. Zbog regulacije sistema u uslovima nagle promenljivosti snaga elektrana koje koriste vetar i Sunce, pored akumulacionih hidroelektrana velikih snaga, veliki značaj dobijaju i reverzibilne, pumpno akumulacione hidroelektrane.

U članku se razmatraju procesi u svetu na planu hidroenergetike, raspoloživi hidroenergetski potencijali Srbije, kao i realne mogućnosti za njihovu realizaciju. Prikazuju se ključni hidroenergetski sistemi koji su preostali za izgradnju. Ukazuje se na neophodnost da se metodološki jasno razgraniči koji energetske izvori spadaju zaista u klasu obnovljivih izvora energije, i koji zaista doprinose smanjenju emisije gasova staklene bašte. Posebno se naglašava značaj da se prostornim planovima svih nivoa definišu i obezbede od devastacije i zauzeća prostori koji su neophodni za realizaciju hidroenergetskih sistema.

Ključne reči: hidroenergija, obnovljivi izvori energije, energetske potencijal, Srbija

UVOD

Najnovija veoma zabrinjavajuća dešavanja u oblasti energetike ukazuju na neke procese i činjenice na koje se do sada nije sa dovoljnom pažnjom računalo, ili koje su ignorisane pri strateškim odlučivanjima u oblasti energetike. Izdvajaju se samo neke od njih.

1. Sada se jasnije nego ranije uočava najtešnja povezanost svih vidova energetike: poremećaj u jednoj grani odmah se, kao u sistemu spojenih sudova, prenosi na sve ostale grane, posebno na elektroenergetiku. Takođe, sada je plastičnije nego ikada jasno da je u energetske pogledu svet jedno 'globalno selo', u kome svi zavise od svih.

2. Prilikom analize obnovljivih izvora energije (OIE) nedostaje kvantitativna analitička ocena koji su OIE zaista obnovljivi izvori energije i ekološki povoljni sa gledišta smanjenja emisija 'gasova staklene bašte' (GSB). Naime, neki od navodno OIE u stvari su potrošači energije, jer se više primarne energije utroši za njihovu izgradnju (tu se mora uključiti i energija utrošena za proizvodnju neophodnih materijala – čelika, bakra, cementa, plastike, itd.), od energije koju će takav uređaj proizvesti tokom čitavog veka eksploatacije. To se odnosi i na utvrđivanje koliko će GSB to postrojenje 'uštedeti' tokom svog radnog veka, od količine GSB koji su emitovani tokom proizvodnje materijala za građenje i same izrade takvih uređaja.

3. U skladu sa prethodnim, strateška zabluda je bila i politika povlašćenih cena energije iz nekih OIE, kao i propis kojim se nalaže elektroenergetskim sistemima (EES) da moraju da prime energiju iz takvih izvora, bilo kada i po bilo kojoj dinamici im se plasira, čak i po cenu da tada EES mora da isključuje ili remeti optimalan rad najefikasnijih, najekonomičnijih elektrana, nekada i onih hidroelektrana u kojima je tada proizvodnja

praktično besplatna, da bi prihvatio skupu, sa gledišta raspoloživosti potpuno neizvesnu energiju. Taj propis doveo je do pogrešne strategije razvoja, sa mnoštvom malih hidroelektrana (MHE), od kojih većina uopšte nije spadala u kategoriju zaista OIE. Međutim, to je dovelo i do destrukcije najdragocenijih hidrografskih ekoloških sistema, ali i do uništenja uslova za ruralni razvoj sela u brdsko-planinskim područjima, kojima su hidrografski i ekološki uslovi za razvoj eko i seoskog turizma najdragoceniji razvojni potencijal.

4. Uočavaju se opasnosti od kašnjenja operativnih odluka o realizaciji strateških rešenja u oblasti energetike. Jer, energetika je u pogledu nužnosti apriornog blagovremenog planiranja vremenski vrlo zahtevna oblast, koja zahteva dugoročna planiranja i operativne odluke, uključujući i odluke o nameni prostora za čitavu novu energetska infrastrukturu. Eksperti koji se bave tim vrlo važnim planovima razvoja u oblasti energetike sada se sve više suočavaju sa dve vrste kočnja: (a) od strane javnosti i mnogobrojnih NVO, koji ne shvataju da je svet uveliko zašao u period kada se do neophodne energije može doći samo uz znatno složenija tehnička rešenja nego ranije, što zahteva i sve složenije zahvate u prostoru i sve brižljivije mere uklapanja tih sistema u socijalno, urbano i ekološko okruženje; (b) smetnje stvaraju i pojedini državni i međunarodni organi, koji često ne shvataju svu složenost obezbeđivanja stabilnosti EES, koja se dramatično usložnjava u uslovima uvođenja u EES sve većih instalisanih snaga OIE (vetar, Sunce), koji imaju izuzetno visoku nepredvidivost u pogledu dinamizma raspoloživosti, što upravljanje EES čini veoma složenim, ali i smanjuje pouzdanost stabilnog funkcionisanja tih sistema.

5. Zbog uticaja različitih (često nedovoljno stručnih) institucija na strateška odlučivanja o smeru razvoja energetike, nekritički su donesene odluke o zatvaranju velikih i stabilnih energetska izvora (NE i TE), u cilju smanjenja emisije 'gasova staklene bašte' (GSB) i što bržeg prelaska na obnovljive izvore enerije. Druga, još nepovoljnija posledica (jer se zatvorene i konzervirane NE ili TE mogu ponovo staviti u pogon) je ta što se, zbog postizanja ciljeva o dekarbonizaciji, odustajalo od izgradnje nekih važnih energetska postrojenja, onih koja su neophodna za obezbeđivanje stabilnosti elektroenergetska sistema.

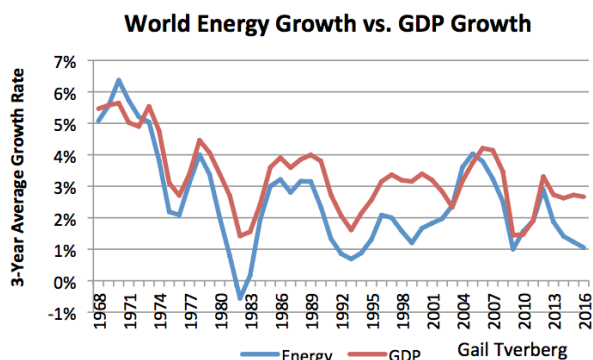
6. Jedno od veoma neprijatnih saznanja tokom najnovijih događanja u svetu je i činjenica da je bezbednosna entropija narasla do nezamislivih razmera,

tako da su mogući i nekada nezamislivi hotimični događaji: miniranja magistralnih gasovoda najvišeg ranga, raketiranje nuklearnih elektrana, razaranje vitalnih čvorišta u razvodnim sistemima, što se, doduše, već dešavalo tokom bombardovanja Srbije 1999. Saznanje da su i tako neverovatne aktivnosti moguće, neminovno će se odražavati i na planiranje razvoja EES, jer se moraju, po veoma skupu cenu, stvarati takve konfiguracije EES koje obezbeđuju njegovu vitalnost i u slučaju nužnosti da radi u uslovima razlaganja na više nepovezanih, ali funkcionalno kako-tako stabilnih pod sistema.

7. Sa gledišta teme ovog razmatranja, uvođenje u rad veoma velikih snaga vetro i solarnih elektrana, dovodi do vrlo značajnih promena mesta i uloge hidroenergetike u okviru EES: (a) svi tipovi hidroelektrana dobijaju znatno veći značaj, a poseban značaj dobijaju akumulacione HE velikih instalisanih snaga, ali su veoma bitne i HE sa nedeljnim, pa i sa dnevnim regulisanjem, (b) hidroelektrane postaju najvažniji, nezamenljivi proizvodni objekti za obezbeđivanje stabilnosti i pouzdanosti EES, jer one na najoperativniji način treba da 'ispeglaju' izrazitu i nepredvidivu neravnomernost u radu vetrogeneratora (VG) i solarnih elektrana (SE), (c) poseban značaj dobijaju reverzibilne HE, koje radom u turbinskom i pumpnom režimu delotvorno poboljšavaju uslove stabilizacije rada EES u uslovima velikih i nepredvidivih promena snaga / energije koja se dobija iz VG i SE.

8. Veliko, otrežnjujuće iskustvo nakon uvođenja u rad velikih snaga VG i SE u Evropi je da tek predstoji veoma veliki i skup posao da se dograde mreže visokih napona, koje će biti primerene promenama lokacija velikih kapaciteta proizvodnih sistema OIE. Prenosne mreže koje su realizovane za nekadašnje kapacitete, sa čvorištima uz grupe velikih TE i NE, sada nisu adekvatne, tako da čak i nakon uvođenja u rad i relativno manjih vetroparkova dolazi do zagušenja i smetnji na mrežama nekadašnjih konfiguracija.

9. I ranije je bila poznata najtešnja povezanost razvoja energetike sa opštim privrednim razvojem, ekonomskom, ali i socijalnom stabilnošću država. To se veoma slikovito uočava na slici 1, na kojoj se vidi, na nivou sveta, da porasti energetske potrošnje i bruto društvenog proizvoda (BDP) veoma skladno prate međusobne oscilacije, posmatrano po trogodišnjim razdobljima.



Slika 1. Odnos porasta energetske potrošnje i ukupnog BDP-a (trogodišnji prosjeci) (Tverberg, 2019)

Međutim, nakon skorašnjih nesrećnih eksperimenata 'in vivo' u globalnoj svetskoj ekonomiji (politika 'paketa' ekonomskih sankcija kojima se kidaju tradicionalni trgovinski tokovi, događaji sa snabdevanjem gasom i drugim energentima, itd.) postalo je mnogo jasnije koliko su tesno povezani i ekonomska, ali i socijalna stabilnost sa normalnim, stabilnim snabdevanjem energentima. Sada je sve očiglednije da su ti 'paketi sankcija' bili velika zabluda, jer se vraćaju kao bumerang upravo onima koji su ih uvodili, ali najteže pogađaju upravo nevine, one koji su u razvoju. Kidaju se godinama uspostavljeni i usklađivani proizvodni lanci, radikalno se narušava ekonomska stabilnost, a sve ubrzanije se narušava i socijalna stabilnost, sa ishodom koji je nepredvidiv.

AKTIVNOSTI NA SVETSKOM NIVOU U CILJU SMANJENJA EMISIJE GSB

Uočavajući sve veće opasnosti od klimatskih promena koje su, prema mišljenju većine svetskih klimatoloških i geofizičkih eksperata, prouzrokovane delovanjem emisija gasova staklene bašte, već 30-tak godina svet preduzima aktivnosti na planu smanjenja emisije tih gasova. Pripremljen je u kompetentnim međunarodnim organizacijama i od strane vlada zamalja potpisan i ratifikovan niz međunarodnih dokumenata (sporazuma, konvencija, protokola). Sve te dokumente je prihvatila i ratifikovala i Srbija, a i ostale države u okruženju. Navodimo samo one ključne, koji su bili planirani za delovanje na globalnom nivou i koji imaju odraza na hidroenergetiku. Najpre je 1992. usvojena Okvirna konvencija o klimi (*United Nations Framework Convention on Climate Change — UNFCCC*), međunarodni ugovor čiji je cilj bio 'stabilizacija gasova staklene bašte na nivou koji bi spečio negativne antropogene uticaje na klimatski sistem'. Ta konvencija

je potpisana na poznatom 'Svetskom samitu' juna 1992. u Rio de Ženeiru. Jačanje obaveznosti te akcije na smanjenju emisije GSB učinjeno je Protokolom iz Kjota (*The Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*) koji je stupio na snagu 2005. godine, kada ga je ratifikovala i Rusija, čime je ispunjen uslov da Protokol postaje validan kada ga ratifikuje najmanje 55 zemalja, koje učestvuju sa najmanje 55% od ukupne emisije GSB. Protokol je izdvojio šest GSB: ugljen dioksid, metan, azot suboksid, fluorovodonik, perfluorougljenvodonik i heksafluorid. Za hidroenergetiku je Protokol bio vrlo značajan jer su u merama za postizanje cilja smanjenja GSB bila predviđena podsticajna sredstva za građenje svih hidroelektrana, uključujući i velike, tako da je tada stvoreno dobro polazište za razvoj hidroenergetike. Kasnije, stimulisanjem izgradnje samo malih hidroelektrana (MHE), onih koje najčešće imaju beznačajan energetska učinak, a koje su bezvredne sa gledišta uticaja na smanjenje emisije GSB, načinjen je korak nazad u odnosu na Kjoto protokol.

Nastavljajući sve čvršću formalizaciju sporazuma u cilju obavezivanja država na smanjenju GSB, sve do postizanja tzv. 'nulte emisije', decembra 2015. u prisustvu predstavnika 196 država i mnogobrojnih međunarodnih organizacija konsenzusom je usvojen Pariski sporazum o klimatskim promenama (*Accord de Paris*), koji je potpisan 2016. Cilj Pariskog sporazuma je da države potpisnice donesu obavezujuća nacionalna normativna akta kojima se postepeno smanjuje emisija GSB, kako bi se ostvario 'temperaturni cilj' da se porast globalne prosečne temperature zadrži znatno ispod 2°C u odnosu na predindustrijski nivo, i da se nastavi sa naporima da se porast ograniči na 1,5°C, jer je ocenjeno da će takvo ograničavanje rasta temperature značajno smanjiti rizike i uticaje klimatskih promena. Željeni cilj je da se u drugoj polovini 21. veka 'ostvari ravnoteža između antropogenih emisija GSB iz izvora i prirodne apsorpcija tih gasova'. Drugi cilj je da se stalno povećava osposobljavanje država da se prilagode negativnim uticajima klimatskih promena i da svoje razvojne planove prilagođavaju niskim emisijama GSB. Takođe, obaveza je i da se planiranje i realizacija privrednih, urbanih i infrastrukturnih sistema usmerava u pravcu da svi ti sistemi budu dovoljno otporni na nepovoljne procese koji su posledica klimatskih promena. U oblasti voda ti nepovoljni procesi su: pogoršavanje režima padavina (intenziteti velikih padavina su sve veći, sušni periodi sve duži, sve su suženije mogućnosti za suvo ratarenje, povećanje velikih voda i brzine njihove koncentracije i propagacije, smanjenje malih voda i produženje

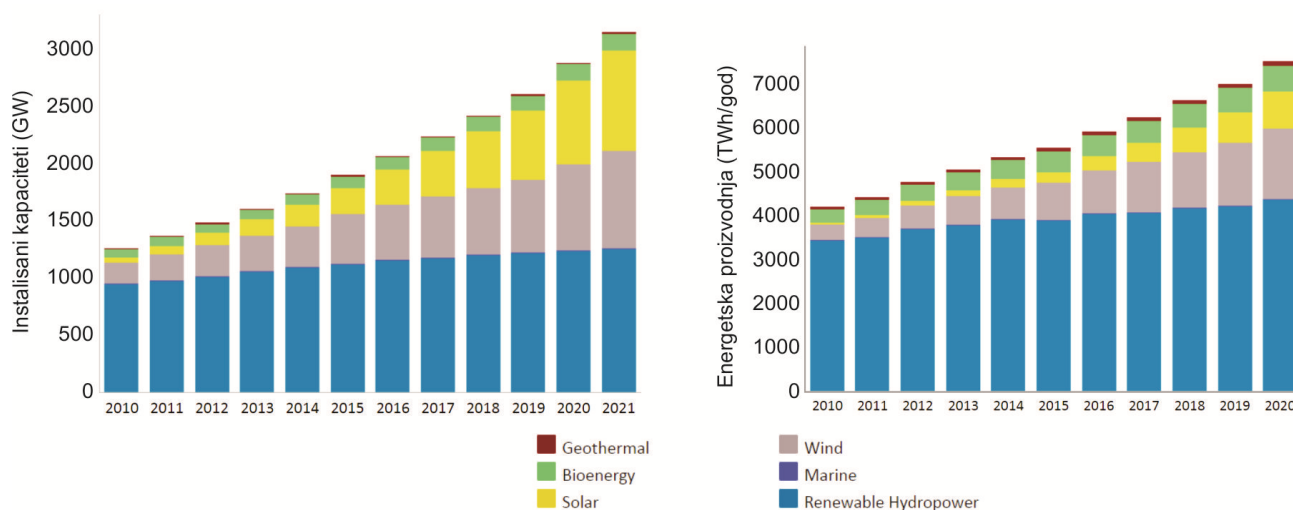
malovodnih perioda, smanjenje intenziteta obnavljanja podzemnih voda, itd.).

Ta strateška načela definisana Pariskim sporazumom odmah su operacionalizovana u zahteve da se načini radikalni zaokret u pravcu ubrzane zamene fosilnih goriva – emitera GSB - obnovljivim izvorima energije (OIE). To načelo je u suštini veoma dobro, ali je zaboravljena jedna 'sitnica', da se jasno definišu kriterijumi koji će razgraničiti koji su OIE zaista obnovljivi, odnosno, koji zaista doprinose da se smanji emisija GSB. Bez takvog kriterijuma svi planirani energetske proizvodni uređaji koji se oslanjaju na neke geofizičke procese (vetar, Sunce, energija čak i najmanjih vodotoka, plima i oseka, morske struje, energija morskih talasa) proglašeni su za obnovljive izvore energije, bez obzira što mnogi od konkretnih energetskih uređaja koji se oslanjaju na njih nisu OIE. Razlog je vrlo jednostavan: neki uređaji zahtevaju toliko mnogo energije za njihovu izradu (to uključuje i materijale potrebne za to), tako da nisu u stanju da vrate ni tu već utrošenu energiju tokom čitavog svog veka eksploatacije. Ista je stvar i sa bioenergijom, koja je zbog proizvodnih ciklusa proglašena za OIE, a da uopšte nije vođeno računa o ogromnim količinama raznih vidova primarne energije, uključujući u to i naftu, koju treba utrošiti da bi se proizvela najpre organska materija (šećerna trska, kukuruz, manioka, itd.), koji se zatim, opet uz veliku potrošnju energije prerađuju u određene vidove iskoristive bioenergije (biodizel, bioetanol, gorivni gasovi iz biodigestora, itd.). Zbog te strateške zablude čovečanstvo je došlo u situaciju da se bezumno krči Amazonija i druge tropske šume, koje su 'pluća planete Zemlje', da bi se gajile kulture za proizvodnju biogoriva. Rezultat te strateške zablude je poražavajući: za proizvodnju tog biogoriva utroši se veća količina energije od količine energije koju to gorivo ima. Analize pokazuju da se u procesu proizvodnje biogoriva iz kukuruza dobije samo oko 70% energije koja je utrošena za njegovu proizvodnju, a krče se tropske šume koje su najveći proizvođači kiseonika i najveći apsorberi CO₂, u procesu fotosinteze.

Kao što biva u vremenima tehnoloških zaokreta i prelaska na neku novu strategiju razvoja, došlo je do dosta nekritičkog preterivanja. Iz odlučivanja o smeru razvoju energetskih sistema sve više su potiskivani stvarni poznavaoци energetike, i taj jako odgovoran posao su počele da preuzimaju nedovoljno stručni pojedinci i institucije. Javnost je zasipana optimističkim idejama o

'nultoj emisiji GSB', smanjivanju 'karbonskog otiska', 'besplatnoj obnovljivoj energiji', pa je to odmah postala glavna tema na kojoj su se gradili programi sve brojnijih 'zelenih' i drugih partija. U takvoj atmosferi, kao rezultat političkih kompromisa, ishitreno su donošene odluke o zatvaranju velikih termo i nuklearnih elektrana i o enormnom uvođenju u EES raznih OIE. Bez konsultovanja energetskih stručnjaka nastalo je sasvim iracionalno političko nadmetanje ko će što pre dostići 'nultu emisiju' – ne pitajući za posledice. Dolazi i do neverovatnih odluka, te su u Holandiji, 'zemlji mleka i sireva', krave proglašene velikim krivcem za emisiju GSB, pa je doneta politička odluka, bez konsultovanja farmera, o radikalnom smanjenju stočnog fonda. I u Srbiji je zavladao nadmetanje na tom planu. U javnoj raspravi o novom Prostornom planu Srbije (PPRS) brojne NVO su se nadmetale u toj vrsti radikalizma, pa neke od njih zahtevaju da se 'odmah ugase sve termoelektane i da Srbija pređe isključivo na energije vetra, Sunca i biomase'. Ceh je platila i planirana TE Kolubara B, čiju je izgradnju zabranilo nadležno ministarstvo, upravo sledeći te procese u Evropi, bez razmišljanja ko će da obezbedi stabilnost EES u uslovima uvođenja u njega sve većih snaga OIE (vetar, Sunce), onih koji imaju veoma promenljivu i nepredvidivu raspoloživost (drastično smanjenje snage praktično u jednom trenu). Posebno zabrinjava to što je stvorena takva atmosfera u društvu da treba zabraniti sve aktivnosti na rekama, odnosno izgradnju bilo kakvog objekta za regulisanje protoka, što je posebno bilo izraženo i u javnoj raspravi o PPRS.

Kao rezultat delovanja navedenih dokumenata, od protokola u Kjotu 2005, pa sve do Pariskog sporazuma 2016, u svetu se eksponencijalno povećavaju kapaciteti vetro i solarnih elektrana. Na slici 2 su prikazani ukupna snaga i proizvedena energija iz OIE u celom svetu. Uočava se jedan blag eksponencijalni rast OIE. Međutim, porast instalisane snage je znatno brži od porasta proizvedene energije. Kada se to razmatra po vrstama OIE stvar postaje još zanimljivija: kod energija vetra i Sunca dosta brz porast instalisanih snaga nije praćen odgovarajućim porastom proizvedene energije. Tako je instalisana snaga hidroelektrana 2010. godine iznosila preko 75% od ukupne snage OIE, a iz tog energetskog izvora proizvodilo se oko 82% energije. Ti odnosi su 2020. godine bili znatno drugačiji: ideo snage HE značajno se smanjio i iznosio je oko 43%, a energetska proizvodnja je bila gotovo 60% od ukupne energije proizvedene iz OIE.



Slika 2. Ukupna snaga (levo) i proizvedena energija (desno) iz obnovljivih izvora energije (izvor: www.irena.org)

Kada bi se u razmatranje uveo i izuzetno važan pokazatelj – uticaj na stabilnost funkcionisanja EES, stvar sa vrednošću nekih OIE bila bi mnogo napovoljnija. Energetski izvori kao što su vetar i Sunce spadaju u intermitentne izvore (energetski izvori koji se mogu koristiti samo u trenutku kada je dostupna primarna energija vetar i Sunce), a karakteriše ih izrazita promenljivost raspoložive primarne energije koju koriste (transformišu). Te promene su izrazito nestacionarne, nepredvidive, tako da su moguća gotovo trenutna povećavanja snage od nule do 100%, ali i obrnuto. I jedno i drugo je izuzetno nepovoljno sa gledišta stabilnog i bezbednog funkcionisanja EES. Sa povećavanjem udela tako dobijene energije u ukupnoj energetskoj proizvodnji, postaju veoma složeni problemi vezani za upravljanje i stabilnost elektroenergetskog sistema (EES), a samim tim i za sigurnost snabdevanja. Izrazita vremenska promenljivost navedenih energetskih izvora ima dve posledica: prvo, povećava se potreba za agregatima sa velikom manevarskom sposobnošću (onih koji radeći kao rotirajuća rezerva mogu veoma brzo da pokrivaju nagle fluktuacije snage), a sa druge strane, korišćenje takvih OIE ne smanjuje potrebnu instalisanu snagu drugih konvencionalnih elektrana.

Sa povećavanjem instaliranih kapaciteta vetro i solarnih elektrana u EES povećava se potreba za hidroelektranama (posebno akumulacionim i reverzibilnim) koje mogu da izvrše balansiranja njihove neravnomerne proizvodnje. Najvažnije karakteristike hidroenergetskih objekata su:

- mogu da proizvode električnu energiju na zahtev, odnosno u periodu kada je ona potrebna korisnicima,
- obezbeđuju vršnu snagu i energiju,
- obezbeđuju rotirajuću rezervu u EES,
- imaju veliku manevarsku sposobnost, što znači da mogu brzo da podignu i da snize snagu,
- obezbeđuju najefikasniji proces konverzije energije. Savremena postrojenja mogu da pretvore više od 95% energije toka u električnu energiju.

Veliki značaj dobijaju reverzibilne hidroelektrane, naročito one sa većom zapreminom gornje akumulacije, koje mogu da veoma brzo pređu na rad u turbinskom režimu, a da u uslovima pojave viška energije, zbog povoljnih uslova za rad VG ili SE, ulaskom u pumpni režim pomažu da se povoljno iskoristi takva situacije za punjenje gornje akumulacije.

Jedno od najnovijih istraživanja (*Serdarević, 2011*) obavljeno je modeliranjem rada EES mešovite konfiguracije, sa hidro i termo elektranama, uz uvođenje kapaciteta vetrogeneratora i solarnih elektrana. Zaključci tog istraživanja su veoma bitni i upozoravajući. Pokazalo se da uvođenje u EES iole većih kapaciteta vetroelektrana i fotonaponskih solarnih elektrana narušava stabilnost i pouzdanost funkcionisanja EES. Razlog je izrazito stohastički karakter tih geofizičkih fenomena i teška predvidivost brzih promena njihove raspoloživosti. U takvim okolnostima pouzdanost EES-a može se obezbediti dodatnim investicijama u postrojenja koja obezbeđuju fleksibilnost sistema, a čiji troškovi moraju da budu uzeti u obzir pri razmatranju opravdanosti uvođenja u

EES novih jedinica OIE. Zbog toga je neophodno, pre izdavanja saglasnosti za realizaciju novih kapaciteta OIE, uraditi tehno-ekonomsku analizu do kojih se kapaciteta instalisane snaga sme povećavati udeo takvih proizvodnih kapaciteta u EES, i koje se mere moraju preduzeti da bi se održala neophodna pouzdanost i funkcionalna stabilnost mešovitog EES-a. U to se moraju uključiti i troškovi dogradnje nove prenosne mreže. Istraživanja su pokazala da samo hidroelektrane i reverzibilne HE zbog svoje fleksibilnosti mogu da obezbede pouzdanost i funkcionalnu stabilnost EES, ali da to 'plaćaju' velikim povećanjem upravljačkih intervencija, zbog potrebe balansiranja naglo promenjive proizvodnje OIE. Zato je bitno proučiti i jednu važnu, sasvim novu dimenziju problema: povećano startovanje i isključivanje agregata HE i RHE ima svoju 'cenu' u pogledu pouzdanosti tih mašina, jer na njihovu pouzdanost i funkciju opasnosti od kvarova utiče ne samo vreme eksploatacije, već i broj startovanja i isključivanja.

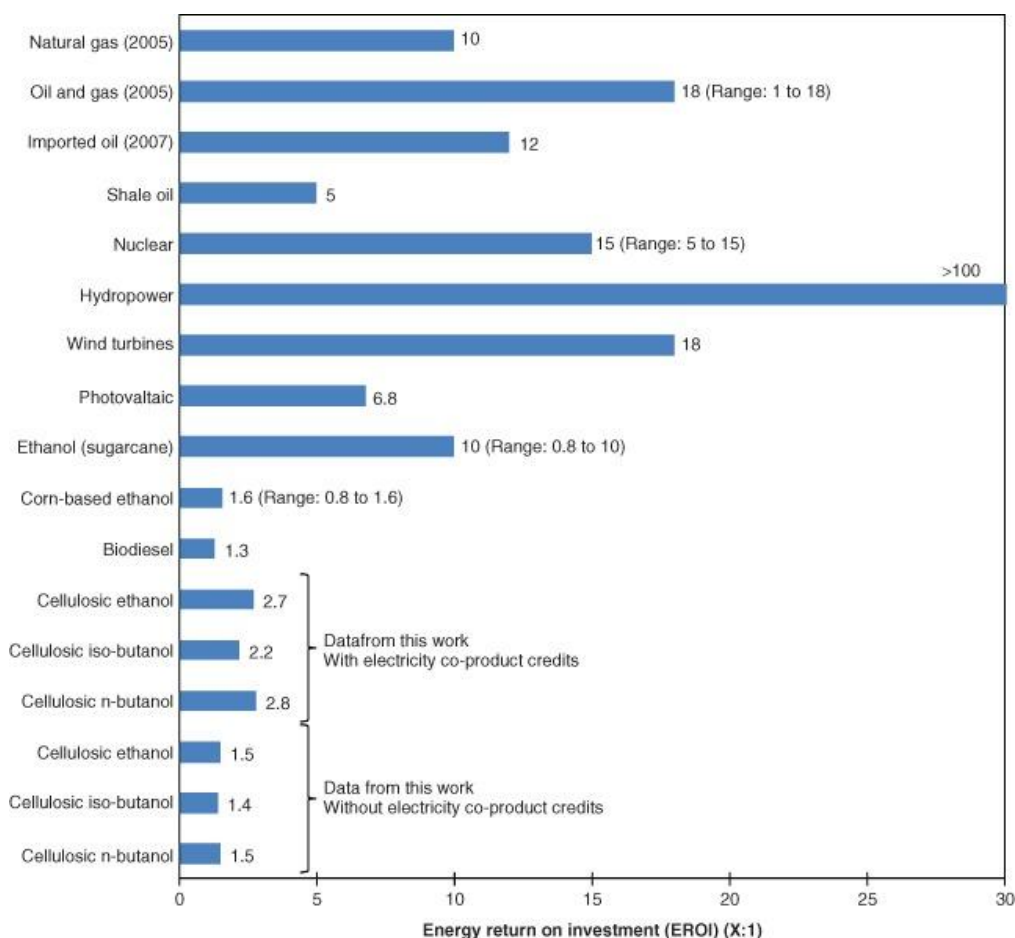
VREDNOVANJE HIDROELEKTRANA U POREĐENJU SA OSTALIM OIE

Radi upoređivanja sa ostalim OIE i drugim izvorima energije hidrelektre se mogu vrednovati na više načina. Jedan od načina je čisto energetska upoređivanje, analizom odnosa energije koju proizvede elektrana tokom čitavog radnog veka, sa jedne strane, sa energijom koja je utrošena za izgradnju i funkcionisanje tog sistema. Taj parametar poznat kao EROI (Energy Returned on Investment) razlikuje se u zavisnosti od načina eksploatacije energetskog izvora. Detaljne analize različitih energetskih izvora (u SAD) u različitim periodima eksploatacije sproveo je Charles Hall (autor ovog parametra) sa saradnicima (*Murphy and Hall, 2010*). Grafička interpretacija dela tih rezultata data je na slici 3 (*Tao et al, 2014*). Može se zaključiti da se korišćenjem hidroenergetskog potencijala za iskorišćenu jedinicu energije dobija najveća količina energije. Naravno, ova vrednost se razlikuje za različite tipove HE, i veća je za rečne pribranske HE, a manja za derivaciona akumulaciona postrojenja. Iste analize pokazuju da je vrednost parametra EROI za naftu i gas 1930. godine iznosila preko 100, da bi se godine 1970. smanjila na 30, odnosno na samo 18 godine 2005. (*Hall and Day, 2009*). To je posledica dostupnosti i načina eksploatacije ovih energenata, jer se stalno uvećavala količina primarne energije koju je potrebno uložiti za istraživanja mesta nalazišta i za njihovu eksploataciju. Vrednost EROI za vetroelektrane iznosi 18, a za fotonaponske solarne elektrane samo 6,8. Treba

naglasiti da je donja granica EROI da bi se obezbedilo održivo iskorišćenje energetskog izvora oko 7.

Dva pokazatelja upoređivanja i vrednovanja energetskih izvora uveo je B.Đorđević (2001), a zasnovaju se, takođe, na upoređivanju energije koja se utoši na izradu elektrane / uređaja i njihovo održavanje tokom njihove eksploatacije, i energiju koju će taj uređaj proizvesti tokom čitavog veka eksploatacije. Prvi pokazatelj je: vreme vraćanja ukupne energije koja je utrošena za izradu energetskog uređaja i energije koje su utrošene za održavanje. Pokazatelj je dimenzionalan, definiše se godinama: uređaj radi, održava se, proizvodi energiju, i tom proizvedenom energijom treba da 'vrati' energiju koja je utrošena za njegovu izradu, rad i održavanje. Ispostavlja se da je vreme vraćanja te utrošene energije kod brojnih OIE dugo, čak i preko 10, 15 i 20 godina, ali neka su postrojenja energetska toliko 'skupa' da za čitav vek eksploatacije ne mogu da vrate utrošenu energiju. Taj pokazatelj za HE zavisi od tipa elektrane, ali je za velika i srednja pribranska postrojenja oko 2 godine.

Drugi pokazatelj je nazvan 'indeks strateškog prioriteta' (ISP). Analitika je data u knjizi (*Đorđević, 2001*), a finalni pokazatelj ISP je definisan kao odnos: $ISP = \text{energija koju proizvede postrojenje, podeljena sa sumom energija utrošene za proizvodnju i građenje uređaja + primarna energija koja se troši pri proizvodnji u tom uređaju (ugalj, gas, mazut, itd.) + energija koja se troši u procesu održavanja elektrane}$. Taj pokazatelj ISP može da bude veći i manji od nula. Indeks $ISP < 1$ imaju svi neobnovljivi izvori energije, što ne znači da ih ne treba graditi, jer su oni proizvodno stabilni izvori energije, koji svojim radom obezbećuju i stabilnost i pouzdanost EES. Međutim, pokazatelj $ISP < 1$ imaju i svi oni navodno OIE čija je efektivnost tako mala, a energija utrošena na njihovu izradu tako velika, da ne uspevaju čak ni da svojom proizvodnjom vrate energiju koja je utrošena za građenje i održavanje. Takvi uređaji ne bi smeli da imaju atribut OIE, jer su oni, u suštini – potrošač energije. Svi zaista OIE moraju da imaju $ISP > 1$, a njihovo rangiranje se definiše po kriterijumu: $ISP \rightarrow \max$, što znači da najveći značaj sa stanovišta 'obnovljivosti' imaju oni uređaji kod kojih je taj indeks najveći. Na prvom mestu su hidroelektrane, čiji ISP varira zavisno od tipa HE (najbolji pokazatelj imaju velike pribranske HE velikih instalisanih snaga), i kreće se uvek u granicama $ISP > 5$. Može se zaključiti da su po oba navedene energetska nepristrasna pokazatelja hidroelektrane ubedljivo na čelu izvora energije po strateškom prioritetu za realizaciju.



Slika 3. Odnos proizvedene i utrošene energije (EROI) za različite energetske izvore (Tao et al, 2014)

HIDROENERGETSKI POTENCIJALI I NJIHOVA ISKORIŠĆENOST

Hidroenergetski potencijal nekog područja sagledava se preko tri pokazatelja: teorijskog potencijala, tehnički i ekonomski iskoristivog potencijala. Teorijski iskoristivi potencijal predstavlja ukupan potencijal koji bi se dobio kada bi se sav prirodni oticaj na svim lokacijama mogao hidroenergetski iskoristiti. Tehnički iskoristiv potencijal je onaj deo teorijskog potencijala za koji je odgovarajućom tehničkom dokumentacijom utvrđeno da se može tehnički realizovati. Ekonomski iskoristiv potencijal je deo tehnički iskoristivog potencijala čija je eksploatacija ekonomski isplativa, prema energetskekonomske ekonomskim kriterijumima i uslovima koji važe u analiziranom vremenskom preseku. Tehnički i ekonomski iskoristivi potencijali spadaju u dimaničku kategoriju jer se mogu menjati sa vremenom. Razlozi zbog kojih se menjaju sa vremenom su činjenica da

zavise od tehničkih kapaciteta i ekonomskih uslova iskorišćenja voda razmatranog područja, kao i zbog uslova pod kojima se valorizuje elektroenergetska proizvodnja (Đorđević, 1989).

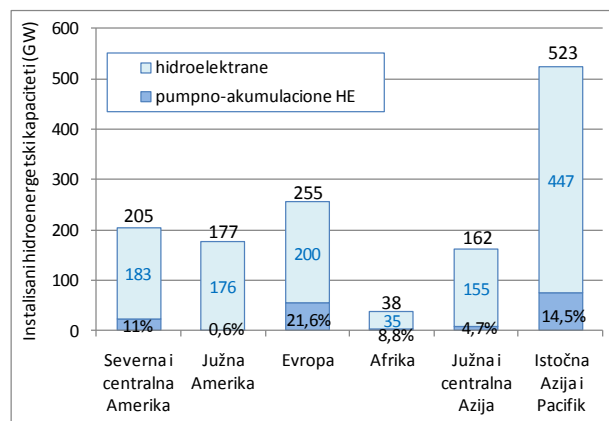
Kada je reč o svetskom teoretskom hidroenergetskom potencijalu, on je procenjen na oko 40.470 TWh/god. Ukupan tehnički iskoristiv potencijal iznosi oko 14.322 TWh/god, dok od toga ekonomski iskoristiv potencijal čini 8.080 TWh/god. U tabeli 1 su prikazane vrednosti teorijsko potencijala, tehnički i ekonomski iskoristivog potencijala po kontinentima i ukupno za svet. Trenutno je iskorišćeno nešto više od 50% ekonomski iskoristivog potencijala, ali su razlike po regionima značajne. Ekonomski iskoristiv hidroenergetski potencijal je najviše iskorišćen u regionima Severne i Centralne Amerika i Evrope, oko 70%, odnosno 65% respektivno, a najmanje je iskorišćen u Africi, manje od 4%.

Tabela 1. Svetski hidroenergetski potencijal (European Water, 2006)

	Teorijski hidroenergetski potencijal [TWh/god]	Tehnički iskoristiv hidroenergetski potencijal [TWh/god]	Ekonomski iskoristiv hidroenergetski potencijal [TWh/god]
Afrika	4000	1750	1000
Azija (sa Rusijom i Turskom)	19300	6700	3600
Australija	600	270	105
Evropa (bez Rusije i Turske)	3220	1225	775
Severna i Centralna Amerika	6330	1657	1000
Južna Amerika	7020	2720	1600
Svet	40470	14322	8080

Prema podacima Međunarodne hidroenergetske asocijacije (International hydropower association (iha)) iz Izveštaja za 2022. godinu instalisana snaga HE iznosi 1360 GW, a tokom 2021. godine proizvedeno je 4,252 TWh električne energije. Od ukupno instalisanih kapaciteta oko 12% su pumpno-akumulacione elektrane, kojih procentualno najviše ima u Evropi, preko 20%, a najmanje u Južnoj Americi, manje od 1% (slika 4). Na osnovu iha izveštaja iz 2022. u svetu postoji ukupno 486 pumpnih postrojenja od čega je 207 samo u Evropi.

Tokom 2021. godine pušteno je u pogon 26 GW novoizgrađenih kapaciteta. Od toga oko 80% (20,84 GW) u Kini, slede Kanada (0,924 GW), Indija (0,8 GW), Nepal, Laos, a među prvih 10 zemalja su i Turska (0,513 GW) i Norveška (0,396 GW).



Slika 4. Ukupni instalisani kapacitet i udeo pumpnih postrojenja po kontinentima/regionima (Hydropower Status Report, iha, 2022)

Najveći broj Evropskih zemalja je iskoristio preko 70% svojih hidroenergetskih potencijala. U tom pogledu prednjače Italija, Švajcarska, Španija, Nemačka i Austrija. Najznačajniji preostali potencijali nalaze se u Turskoj (oko 100 TWh/god) i Norveškoj (oko

70 TWh/god). Turska pripada i grupi od 15 evropskih zemalja koje su iskoristile manje od 50% raspoloživog ekonomski iskoristivog potencijala, zbog čega ga poslednjih godina veoma intenzivno koristi uvodeći godišnje u proseku oko 1,5 GW novoinstaliranih kapaciteta (10-togodišnji prosek).

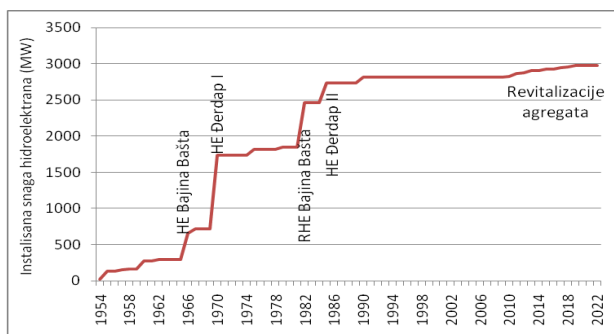
HIDROENERGETIKA U SRBIJI

Razvoj hidroenergetike u Srbiji počeo je još 1900. godine izgradnjom prvih hidroelektrana, prva u maju na reci Gradac kod Valjeva, dok je u avgustu 1990. godine (samo 5 godina nakon prve HE na Nijagarinim vodopadima) puštena u pogon prva HE sa Teslinim sistemom trofazne struje - HE „Pod gradom” na reci Đetinji u Užicu. Ipak, značajnije iskorišćenje hidroenergetskog potencijala počinje nakon drugog svetskog rata. Pedesetih godina prošlog veka izgrađene su HE Vrla 1-4 na istoimenoj reci, za najracionalnije iskorišćenje voda reke Vlasine i Vrle, zatim HE Međuvršje i Ovčar banja na Zapadnoj Moravi. Najveća hidroelektrana izgrađena u tom periodu je HE Zvornik, na reci Drini, snage 96 MW i derivacione HE Bistrica, snage 104 MW. Sledi period intenzivnog iskorišćenja hidroenergetskog potencijala. U periodu do 1990. godine izgrađeno je 16 hidroelektrana sa ukupno 51 agregatom (slika 5). Najznačajniji objekti su: HE i RHE Bajina Bašta i HE Đerdap I i II. Poslednja velika hidroelektrana je HE Piroć koji je puštena u pogon 1990. godine. Sledi dug period od više od tri decenije u kome nije izgrađena ni jedna velika hidroelektrana. Poslednjih 10-tak godina povećanje raspoložive instalirane snage hidroelektrana postiže se isključivo revitalizacijom agregata (HE Zvornik, HE Bajina Bašta i HE Đerdap I).

Prve metodološke principe za određivanje hidroenergetskih potencijala postavio je prof. dr Vujica Jevđević u svojoj doktorskoj disertaciji ‘Metode izučavanja vodnih snaga’, 1955. godine. Godine 1957.

objavljena je kapitalna monografija ‘Vodne snage Jugoslavije’ koja je, kada se pojavila, bila najuzornija i najdetaljnija analiza vodnih potencijala u svetskim razmerama. Štampana i na engleskom jeziku tretirala se kao delo koje je uticalo na fundiranje metodologije za izučavanje hidroenergetskih potencijala u svetskim razmerama.

Poslednja detaljna analiza vodnog potencijala Srbije urađena je u okviru Vodoprivredne osnove Srbije, 2001. godine, prema kojoj ukupan bruto hidroenergetski potencijal iznosi oko 27,2 TWh/god. Tehnički iskoristiv potencijal iznosi oko 19,2 TWh/god, od čega se oko 17,5 TWh/god može iskoristiti u objektima većim od 10 MW. U 16 postojećih HE iskorišćeno je nešto manje od 60% ukupnog tehnički iskoristivog potencijala. Prosečna godišnja proizvodnja iznosi oko 10,5 TWh, što čini oko 28-30% proizvodnje električne energije JP EPS (najveća proizvodnja ostvarana je 2010: 12.420 GWh).

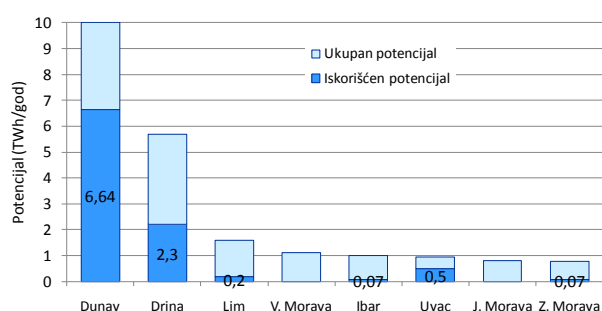


Slika 5. Ukupna instalisana snaga velikih hidroelektrana u EES Srbije

JP ‘Elektroprivreda Srbije’ u svom sastavu ima 22 termobloka, 49 hidroagregata, 1 reverzibilnu hidroelektranu sa 2 agregata (RHE Bajina Bašta) i 1 pumpno postrojenje (PAP Lisina). Ukupna instalisana snaga hidroelektrana iznosi 3.015 MW, snaga svih TE je 4.840 MW, ukupno 7.855 MW, tako da je udeo instalisane snage hidroelektrana u EES sistemu Srbije iznosi oko 38%. Problem je što je najveći deo te snage u protočnim hidroelektranama (oko 64%), u akumulacionim HE je 15%, a 21% snage čini reverzibilna (pumpno-akumulacione) hidroelektrana RHE Bajina Bašta. Imajući u vidu fluktuaciju hidroloških prilika, koji smanjuje proizvodne mogućnosti hidroelektrana, bez obzira na stepen regulisanja protoka u akumulacijama, može se zaključiti: 4.840 MW instalisanih u termoelektranama prosečno proizvede 24.360 GWh/god, dok 3.015 MW

instalirane snage hidroelektrana proizvede prosečno 10.540 GWh/god. (podaci preuzeti sa sajta EPS-a).

Od raspoloživog hidroenergetskog potencijala za korišćenje je ostalo oko 7,3 TWh/god. Ceo taj potencijal spada u kategoriju ekonomski iskoristivog potencijala. Najveći energetska potencijal (više od 50%) koncentrisan je u dve reke: Dunavu (10 TWh/god) i Drini (5680 TWh/god) (slika 6). Dodatnih oko 25% nalazi se u 4 reke: Limu (1573 TWh/god), Velikoj Moravi (1090 TWh/god), Ibru (998 TWh/god) i Uvcu (937 TWh/god).



Slika 6. Ukupni i iskorišćen deo potencijala na najznačajnijim vodotocima

Energetski najbolje iskorišćeni vodotok u Srbiji je Dunav, sa preko 66% iskorišćenog potencijala u hidroelektranama Đerdap I i II (slika 6). Potencijal reke Uvac je iskorišćen preko 50%, a iskorišćenost reke Drine iznosi oko 40%, sa prosečnom proizvodnjom od oko 2,3 GWh/god. Potencijal reke Vrla je u potpunosti iskorišćen. Imajući u vidu visoku energetska vrednost kaskade HE Vrla 1-4, potencijal je povećan dogradnjom pumpno-akumulacionog postrojenja PAP Lisina na spoju reka Božica i Lisina, kojim se u Vlasinsko jezero prosečno pumpa oko $65-75 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{god}$. Energetski efekat je izvanredan: za pumpanje se utroši oko $65-75 \times 10^6 \text{ kWh/god}$, bazne energijem onda kada je u sistemu ima dovoljno i kada je najjeftinija, a dobija se oko $280-300 \times 10^6 \text{ kWh/god}$. najkvalitetnije, najskuplje vršne energije, energetskim korišćenjem te vode na kaskadi HE Vrla 1-4. To jedan od najrentabilnijih projekata dodatnog povećanja iskoristivog hidropotencijala. Na reci Vlasini se preostali potencijal može i mora iskoristiti na nizvodnom delu toka, na profilu Svođe, sa HE Svođe, na kome se može realizovati akumulacija od oko $80 \times 10^6 \text{ m}^3$. To je po PPRS jedna od retkih mogućih novih akumulacija u Srbiji, koju kao višenamenski objekat treba i graditi i koristiti zajedno sa vodoprivrednim sektorom. Ostali vodotoci su znatno manje energetski iskorišćeni.

Za buduće korišćenje HE potencijala postoji nekoliko važnih ograničenja:

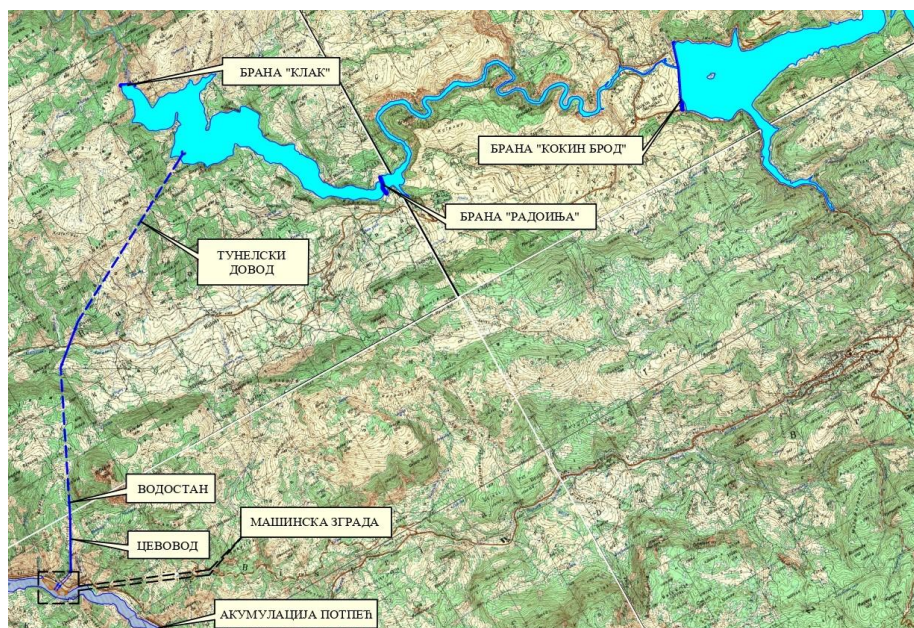
- Neki od najznačajnijih potencijala nalaze se na graničnim vodotocima Dunavu i Drini, pa iskorišćenje tog potencijala zahteva međudržavne dogovore. U slučaju Dunava tehnički je moguće i ekološki održivo, pa čak i povoljno korišćenje zajedničkog dela Dunava na granici sa Hrvatskom, ali je u sadašnjim uslovima praktično nerealno i sa tim do daljnjeg ne treba računati. Deo neiskorišćenog potencijala Dunava je i nizvodno od HEPS Đerdap 2, pa do granice sa Bugarskom. Bilo je planirano da se taj potencijal koristi u okviru rumunsko-bugarskog projekta HE Turnu Magurela -Nikopolj, ali se od tog projekta u te dve država odustalo, tako da ne treba računati ni sa iskorišćenjem tog potencijala.

- Zbog nepoštovanja PPRS i nedostatka PPPN (prostorni planovi prostora posebne namene) za svaki planiran hidroenergetski sistem, prostore koji su bili namenjeni za realizaciju velikih HE i kaskadnih sistema zaposedaju drugi korisnici prostora (potpuno nepotrebno se nisko kraj reka spuštaju putevi, neki čak u koritu za veliku vodu, a tu se grade i sve brojniji urbani sadržaji), pa se menja koncepcija korišćenja takvih prostora, sa akumulacionih HE prelazi se na kaskadne sisteme protočnih HE, a u nekim slučajevima je izgradnja hidroenergetskih objekata potpuno onemogućena.

- Potrebno je izvršiti prethodno uređenja vodotoka i slivova u smislu zaštite voda od zagađenja, sprečavanje erozije i dospevanja nanosa u prostor buduće akumulacije.

KONCEPCIJA KORIŠĆENJA HIDROENERGETSKOG POTENCIJALA U SRBIJI

Jedan od najizglednijih hidroenergetskih objekata (trenutno se završava idejni projekat) je RHE Bistrica. Donji kompenzacioni bazen ovog postrojenja je postojeća akumulacija Potpeć, na Limu, a gornji kompenzacioni bazen je planirana akumulacija Klak na reci Uvac, koja se nalazi nizvodno od akumulacije Radoinja (slika 7). Iako je prethodnim rešenjima bilo planirano spajanje akvatorija akumulacija Klak i Radoinja, od toga se odustalo. Osnovni razlog je lošiji kvalitet vode reke Lim koji ne treba mešati sa čistim vodama akumulacije Radoinja, koja se pored proizvodnje hidroenergije (u HE Bistrica) koristi i za vodosnabdevanje (Priboj i okolina). Pored toga, kvalitet vode reke Lim nije moguće kontrolisati, jer se radi o tranzitnoj reci, koja u Srbiju dotiče iz susedne države (Crne Gore). Zbog toga je, najnovijim rešenjem, usvojena kota normalnog uspora u akumulaciji Klak od 810 mm, 2 m niža od kote krune preliva brane Radoinja. RHE Bistrica koristi bruto pad od oko 380 m. Sastoji se od 4 reverzibilna agregata, ukupnog instalisanog protoka u turbinskom režimu od 216 m³/s i snage 650 MW.



Slika 7. Planirana koncepcija sistema RHE Bistrica (Moskovljević, 2022)

Reka Drina je najatraktivniji vodotok za hidroenergetsko korišćenje. Neiskorišćeni potencijal iznosi oko 3,4 TWh/god, a specifični potencijal tog vodotoka je 27,04 GWh/km god, sa nešto većim vrednostima u srednjem nego u donjem toku. Mogućnost iskorišćenja tog potencijala sagledava se integralno u okviru dva poteza: srednja Drina i donja Drina.

Potez srednje Drine obuhvata deonicu između HE Bajina Bašta i kraja uspora HE Zvornik. U prethodnom periodu razmatrano je više varijanti korišćenja tog dela reke Drine, sa jednom, dve ili tri stepenice. Međutim, zbog sve strožih ograničenja od strane drugih korisnika prostora i njihovog protivljenja potapanju objekata i obradivih površina, varijante sa visokim branama i akumulacijama velikih zapremina su napuštene. Trenutno se razmatraju varijante sa tri (Dubravica, Tegare i Rogačica) ili četiri kaskadne HE (Dubravica, Ljubovija, Tegare i Rogačica) instalisane snage do 400 MW, kojima bi se iskoristilo do 1500 GWh/god. Pri planiranju ovog sistema treba voditi računa o uređenju obala u zoni Bajine Bašte, čime se mogu stvoriti veoma pogodni uslovi za urbanizaciju tog naselja, u njegovo spuštanje na jednu stabilizovanu akvatoriju, čijim nivoima se može efikasno upravljati. Time bi taj grad dobio izvanredne uslove za urban razvoj.

Potez donje Drine, nizvodno od HE Zvornik do ušća u Savu, je manje atraktivan za korišćenje jer se radi o delu reke sa malim padovima. Prema postojećim planskim dokumentima planirano je korišćenje ovog poteza sa četiri kaskadne HE (Kozluk, Drina 1, 2 i 3). Postrojenja bi se rešila tipiziranim objektima, sa usporom od oko 14 m, ukupne snage od oko 373 MW, sa ustavama koje obezbeđuju evakuaciju velikih voda $Q_{0,1\%}$ bez značajnijeg dodatnog uspora u odnosu na prirodno stanje. Sistem "Donja Drina" se mora tretirati kao projekat integralnog uređenja čitave rečne doline. Pozitivni ekološki efekti sistema biće sledeći: (b) potpuno uređenje hidrauličkih režima i rečnog korita, sada morfološki veoma promenljivog, zbog fluvijalne erozije; (b) proizvodnja oko 1371 GWh/god čiste hidroenergije, kojom se vrši supstitucija energije iz termoelektrana; (c) uređenje obala i priobalja za turističku valorizaciju, uključujući i realizaciju fitosanacionih pojaseva; (d) rešenje ekoloških problema, kao deo integralnog projekta: kanalisanje naselja i prečišćavanje otpadnih voda, uređenje bujica, (e) realizacija projekta bi predstavljala snažan generator ekonomskog razvoja tog sada ekonomski dosta zaostalog rubnog područja Republike, što je preduslov i za socijalni i ekološki razvoj.

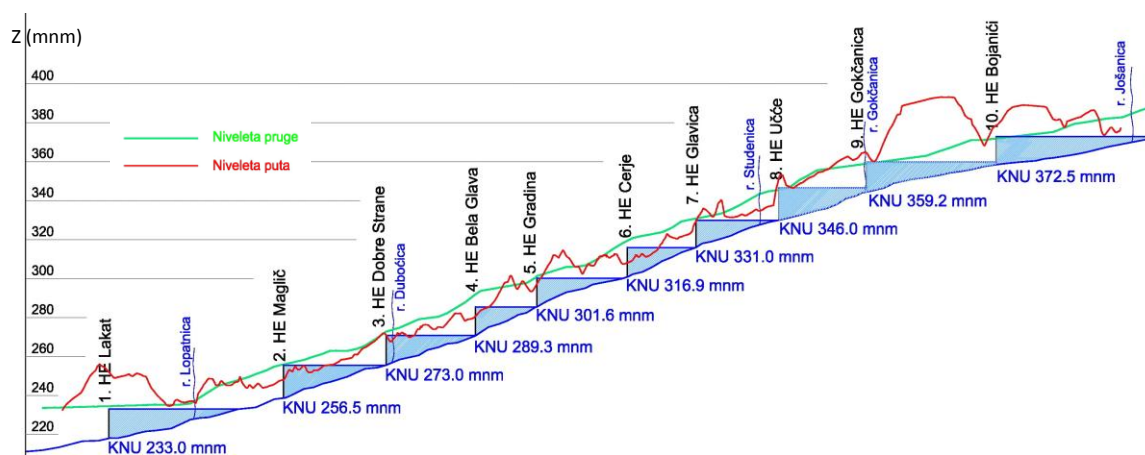
Reka Lim. Posle Dunava i Drine, reka Lim ima najveći specifični hidroenergetski potencijal, od oko 14,5 GWh/km god, dok je ukupan potencijal te reke na teritoriji Srbije oko 1580 GWh/god. Deo potencijala iskorišćen je izgradnjom HE Potpeć, sa prosečnom godišnjom proizvodnjom od 200 GWh. Veliki deo doline Lima je zauzet različitim infrastrukturnim sadržajima – pored tri veća grada (Priboj, Prijepolje i Brodarevo) neposredno uz reku je i niz manjih naselja, važna magistralna saobraćajnica (koja vodi prema Crnoj Gori, sa jedne strane i Republici Srpskoj, sa druge strane), kao i železnička pruga. Zbog toga samo manji deo raspoloživog potencijala spada u tehnički (odnosno ekonomski) iskoristiv potencijal. Strateškim planskim dokumentima planirano je iskorišćenje potencijala u okviru 2 objekta: HE Brodarevo 1 i 2 (ukupne instalisane snage 59 MW i prosečne proizvodnje od oko 230 GWh/god).

Reka Ibar. Korišćenje hidroenergetskog potencijala reke Ibar planirano je u okviru dva sistema: akumulacija Ribarići u gornjem delu toka, uzvodno od uspora akumulacije Gazivode i kaskadni sistem hidroelektrana na potezu od Kraljeva (Mataruške banje) do Raške. Specifični hidroenergetski potencijal reke Ibar iznosi oko 7,45 GWh/km god, a neiskorišćeni deo potencijala ove reke iznosi oko 920 GWh/god. Iskorišćenje dela potencijala reke Ibar uzvodno od postojeće akumulacije Gazivode planiran je u okviru višenamenskog sistema Ribarići u okviru koga bi se deo voda koristio u akumulacionoj hidroelektrani okvirne snage 47 MW i prosečne proizvodnje oko 76 GWh/god. Pored hidroenergetske proizvodnje voda iz akumulacije bi se koristila za vodosnabdevanje, navodnjavanje, oplemenjavanje malih voda i druge namene.

Deonica reke nizvodno od Raške energetski bi se koristila sistemom protočnih kaskadnih postrojenja. Prema aktuelnom rešenju planira se korišćenje oko 55 km vodotoka izgradnjom 10 kaskadnih objekata (slika 8). Ovakvu dispoziciju sistema uslovia su, u najvećoj meri, ograničenja vezana za putnu infrastrukturu (nepotapanje železničke pruge i što manje izmeštanje magistralne saobraćajnice). Objekti su rešeni kao tipska postrojenja sa Kaplanovim turbinama i padovima između 12 m i 15 m. Ukupna instalisana snaga sistema iznosi oko 120 MW, a prosečna godišnja proizvodnja oko 460 GWh. Prilikom projektovanja ovog sistema vodilo se računa o svim aspektima uticaja na okruženje. Kako bi se obezbedilo održavanje poznate manifestacije 'Veseli spust' (koja počinje u zoni HE Maglić), rešenjem je predviđena izgradnja kanala u jednom od bokova najnižvodnije stepenice HE Lakat (koja se nalazi u zoni

održavanja spusta), sa nagibom prilagođenim prolazu plovila. Sistem kaskadnih elektrana omogućava i upravljanje vodnim režimima, pa je moguće nizvodno

od HE Maglić ispuštati onu količinu vode koja je optimalna sa stanovišta održavanja manifestacije.



Slika 8. Planirano iskorišćenje hidroenergetskog potencijala reke Ibar sistemom od 10 kaskadnih HE

Velika Morava. Hidroenergetski potencijal Velike Morave razmatran je u varijanti sa 5, 6 i 7 stepenica, a kao najbolja se pokazala varijanta od 7 kaskadnih protočnih hidroelektrana. Prema tom rešenju, akumulacije bi se zadržale u okviru korita za veliku vodu, sa visinama stepenica od oko 8 m. Predviđena su tipska rešenja sa cevnim agregatima, ukupne instalisane snage od oko 180 MW i prosečne godišnje proizvodnje od oko 710 GWh. Ovaj sistem omogućio bi plovidbu na čitavom toku Velike Morave. To je potencijalna mogućnost, a brodske prevodnice bi se gradile – na mestima koja bi bila predviđena projektima, samo u slučaju da se relevantnim saobraćajnim studijama pokaže da su ta ulaganja isplativa. Međutim, neki od značajnijih problema ovog sistema odnose se na kvalitet vode i zasipanje akumulacija. Problem kvaliteta vode nameće neophodnost sanitacije svih naselja u rečnoj dolini i prečišćavanje otpadnih voda, ali to je i tako obaveza koju Srbija mora realizovati po nizu međunarodnih obavezujućih dokumenata. Problem nanosa se može i funkcionalno i komercijalno uspešno rešiti na taj način, što bi se lokacije za eksploataciju peska i šljunka, koja je sada u dolini Velike Morave veoma haotična i štetna, strogo odredile i dozvolile samo na mestima isklinjavanja uspora i na ušćima reka koja se ulivaju u glavni tok V.Morave. Zato se realizacija kaskade na Velikoj Moravi treba da tretira kao veliki, integralni projekat uređenja te rečne doline, u okviru koga je hidroenergetika samo jedan od učesnika u projektu.

ZAKLJUČAK

Poslednjih tridesetak godina preduzimaju se različite aktivnosti u cilju smanjenja uticaja na klimatske promene i ograničavanja porasta globalne temperature na manje od 2°C u odnosu na preindustrijski period. Te aktivnosti intenzivirane su u poslednjih 15-tak godina, od potpisivanja Kjoto protokola, a najznačajniji uticaj na elektro-energetski sektor imaju gašenje termo i nuklearnih elektrana (pouzdanih energetskih izvora) i uvođenje u sistem sve većih snaga iz obnovljivih izvora energije, posebno iz energije vetra i sunca (instalirana snaga iz ovih izvora eksponencijalno se povećava i za poslednjih 10-tak godina uvećana je više od 7 puta). Te energetske izvore karakteriše promenljivost raspoložive primarne energije, zbog čega upravljanje i stabilnost sistema postaju sve složeniji problem, pa se povećava potreba za agregatima velike manevarske sposobnosti, kakvi su agregati hidroelektrana, kao i za reverzibilnim hidroelektranama koje mogu da izvrše balansiranje neravnomernog rada vetro i solarnih elektrana.

Od ukupnog raspoloživog hidroenergetskog potencijala Srbije iskorišćeno je oko 60%, pa je za korišćenje preostalo oko 7,3 TWh/god. Najveći deo tog potencijala koristiće se kaskadnim sistemima sa akumulacijama koje se nalaze u okviru korita za veliku vodu, kao što su planirani sistemi na Drini, Velikoj Moravi, Ibru, Limu. Planirana je i izgradnja reverzibilne hidroelektrane Bistrica koja, uz RHE Bajina Bašta, treba da balansira

neravnomernu potrošnju i neravnomernu proizvodnju električne energije.

Na kraju i jedno veoma važno upozorenje. Da bi se iskoristiv hidroenergetski potencijal mogao da realizuje, kao najdragoceniji nacionalni resurs, izuzetno je važno da se prostornim planovima na državnom nivou (Prostorni plan Republike Srbije - PPRS), kao i prostornim planovima prostora posebne namene (PPPPN) predvidi, ali i ostvari zaštita za to neophodnih prostora od destrukcije i zauzeće drugim sistemima. Hidroenergetske infrastruktura ima najstrožije zahteve u pogledu prostora koji im je neophodan za razvoj (konkretno pregradno mesto, konkretna deonica reke koja će se naći pod usporom, itd.), dok se svi drugi linijski sistemi (saobraćajnice) i svi drugi lokacijski koncentrisani sistemi (privredni pogoni, delovi naselja) mogu bez većih teškoća usmeravati na lokacije i kote na kojima se ne ugrožava i ne devastira prostor potreban za građenje HE. To se može ostvariti bez većih problema, jer su za većinu preostalih hidroenergetskih potencijala predviđena rešanja i vidu kaskada HE, najvećim delom u koritima za veliku vodu. Znači, po Zakonu o vodama i PPRS, najveći deo budućih postrojenja će se graditi na tzv. vodnom zemljištu, znači, na prostoru na kome je zabranjena izgradnja bilo kakvih objekata, osim objekata hidrotehničke infrastrukture. Zbog toga je veoma važan zadatak da se naredne godine, pri usvajanju PPRS koji ima snagu zakona, obezbedi da u taj planski dokument uđu svi planirani hidroenergetski objekti, kako bi se kasnije, izradom PPPPN obezbedila i konkretnija zaštita prostora za tu namenu.

LITERATURA

- [1] Dašić, T. i B.Đorđević: Hidroenergetika – kroz rešavanje konkretnih probama, GRF, Beograd, 2018.
- [2] Dasic T. i B. Djordjevic: Incorporati of water storage reservoirs into the environment, Scientific Journal of Civil Engineering, Vol. 2, Issue 2, Skopje, 2013.
- [3] Đorđević, B.: Korišćenje vodinih snaga, Objekti hidroelektrana. Naučna knjiga, Beograd, 1989.
- [4] Đorđević, B.: Hidroenergetsko korišćenje voda, Građevinski fakultet, Beograd, 2001.
- [5] Đorđević, B.: Obnovljive zablude, 2018. <https://galaksijanova.rs/obnovljive-zablude/?script=lat>
- [6] Đorđević, B. i T.Dašić: Ekologija vodoprivrednih sistema. Monografija. Izdavači: Građevinski fakultet u Beogradu i Akademija inženjerskih nauka Srbije, Beograd, 2019.
- [7] Ђорђевић, Б.: Енергетско, еколошко и развојно вредновање малих хидроелектрана. У публикацији САНУ: Утицај малих хидроелектрана на животну средину. САНУ, Београд, 2020.
- [8] European Water, The Role of Hydropower in Sustainable Development, 2006.
- [9] Hall A.S. Charles and John W. Day: Revisiting the Limits to Growth After Peak Oil, American Scientist, Vol. 97, May-June, 2009.
- [10] International hydropower association (iha), Hydropower Status Report, 2022.
- [11] Moskovljević Jasmina: Određivanje optimalnih parametara derivacije RHE Bistrica, Master rad, Građevinski fakultet, Beograd, 2022.
- [12] Murphy David, Charles A S Hall: Year in review- EROI or energy return on (energy) invested, Annals of the New York Academy of Sciences 1185(1):102-18, 2010.
- [13] Paris Agreement, Unated Nations, 2015.
- [14] Prostorni plan Republike Srbije, 2010, Beograd, i Nacrt Prostornig plana (2022).
- [15] Serdarević F.: Uticaj integracije obnovljivih izvora energije na rad HE kao pouzdanih izvora fleksibilnosti EES, Vodoprivreda, Vol.53, No 311-312, Beograd, 2021.
- [16] Tao Ling et al: Techno-economic analysis and life-cycle assessment of cellulosic isobutanol and comparison with cellulosic ethanol and n-butanol, Biofuels Bioproducts and Biorefining, 2014.
- [17] The Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations, 1998.
- [18] Tverberg Gail: Why stimulus can't fix our energy problems, Our finite world, July, 2019. <https://ourfiniteworld.com>
- [19] United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations, 1992.
- [20] Vodoprivredna osnova Srbije, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd, 2001.

HYDRO ENERGY POTENTIAL - THE MOST RELIABLE AND THE INCREASINGLY NECESSARY RENEWABLE SOURCE OF ENERGY

by

Tina DAŠIĆ¹⁾, Branislav ĐORĐEVIĆ²⁾, Jasmina MOSKOVLJEVIĆ¹⁾

¹⁾ University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering,

²⁾ Academy of Engineering Sciences of Serbia

Summary

Several unfavorable processes are taking place in the field of energy: large capacities of renewable energy sources (with variable and unpredictable availability) are being put into operation without detailed analyses of its influence on electric power systems (EPS), large thermal and nuclear power plants (those who ensured the stability and reliability of EPS) are being closed, energy transmission systems are being cut off for political reasons as well as the import of some most important energy sources (natural gas, coal, oil). Those processes significantly change the role of hydropower plants in the EPS. All types of hydropower plants are becoming specially important, especially those with water storage reservoirs and large installed capacities. Their role in regulating and ensuring the reliability of EPSs is significantly increasing. Beside the storage hydropower plants, pumped-storage hydropower plants become more important due to their possibilities to

regulate the system in conditions of sudden changes of the power of wind and solar power plants,.

The article discusses the processes in the world in terms of hydropower, the available hydropower potential in Serbia, as well as the real possibilities for its utilization. The most important hydropower systems remaining for construction are presented in the article. It is pointed out the necessity to clearly delineate which energy sources are really renewable and which contribute to the reduction of greenhouse gas. The importance of spatial planning which should protect the spaces necessary for the construction of hydropower systems is particularly emphasized.

Keywords: hydropower, renewable energy sources, energy potential, Serbia.