

FLEKSIBILNOST ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA I NOVA ULOGA RHE U HIDROBIZNISU

Aleksandar Gajic¹, Željko Đurišić²

¹Akademija inženjerskih nauka Srbije i NO JP EPS

²Elektrotehnički fakultet u Beogradu

Rezime: Pretvaranje električne energije u druge oblike energije i njeno skladištenje u periodima smanjene potrošnje i raspoložive povećane proizvodnje, kao i proizvodnja električne energije u periodima povećane potražnje i smanjene proizvodnje, jesu od ključnog značaja za stabilnost i efikasnost elektroenergetskog sistema. Ovaj zahtev je posebno izražen danas zbog ekspanzije uključivanja vetroelektrana i solarnih elektrana sa varijabilnom proizvodnjom. Ovi obnovljivi izvori su inherentno promenljivi, kako u dnevnom periodu, tako i u periodima od nekoliko dana, nedelja ili meseci. Ovo je izrazito ispoljeno u energetskej krizi ove godine. Stoga je neophodno obezbediti zamenske kapacitete i postrojenja za akumulaciju energije.

Različite tehnologije se mogu koristiti za konverziju i akumulaciju električne energije, ali jedina u potpunosti razvijena raspoloživa tehnologija velikog kapaciteta je bazirana na reverzibilnim hidroelektranama. U okviru ovog rada se razmatra potencijal reverzibilnih hidroelektrana za efikasno i ekonomski prihvatljivo skladištenje električne energije proizvedene u vetroelektranama, u solarnim elektranama, protočnim hidroelektranama i iz drugih obnovljivih izvora, kao i iz konvencionalnih termoelektrana, uključujući i nuklearne elektrane.

Ključne reči: reverzibilne hidroelektrane, obnovljivi izvori energije, akumulacije.

1. UVOD

Visokopritisne i reverzibilne hidroelektrane omogućavaju optimizaciju električne mreže, pomažu u sprečavanju raspada sistema i limitiraju varijaciju cene energije. Drugim rečima ublažavaju posledice promena cena energije na tržištu, varijaciju proizvodnje vetroelektrana, solarnih elektrana i drugih obnovljivih elektrana kao i potrošnje, tehničkih problema proizvodnje, odnosno povećavaju profit i pouzdanost elektroenergetskog sistema.

Reverzibilne hidroelektrane su od izuzetnog značaja kao najpouzdaniji i najprilagodljiviji vid akumulacije čiste energije, dobijene iz varijabilnih obnovljivih izvora: vetroelektrana i solarnih elektrana, kao i protočnih hidroelektrana. Pumpnoakumulacione hidroelektrane su najbolja lako upravljiva i najefikasnija postrojenja ove namene, bez čijeg prisustva bi bila otežana, skoro nemoguća primena nuklearnih i termoelektrana.

Vetro i solarna energija su istovremeno čisti i obnovljivi izvori energije; oni su najbrže rastući izvori električne energije i biće najznačajniji izvori u bliskoj budućnosti. Ipak, do danas varijabilnost vetra i sunca, kao primarnih izvora je ostao primarni problem. Da bi vetroelektrane i solarne elektrane dostigle svoj puni potencijal treba naći efekatan način skladištenja električne energije.

Potrošnja energije iz električne mreže mora uvek da bude jednaka energiji isporučenoj od strane električnih generatora. U sistemima sa velikim varijabilnostima proizvodnje javljaju se debalansi koji mogu ugroziti stabilnost sistema. Iz tog razloga od presudnog značaja za stabilan sistem su balansna postrojenja sa brzim odzivom. Pumpnoakumulacione hidroelektrane imaju odličnu upravljivost u radu. Hidroelektrana može da se pokrene do pune snage za nekoliko minuta.

Operatori elektroenergetskog sistema obično drže pumpnoakumulacione hidroelektrane u takvom režimu, tako da su pumpe-turbine spremne da pokriju sve pikove potrošnje. Ipak, moguće je da se i dalje poboljša manevarnost sa rotiranjem pumpe-turbine u vazduhu, bilo u pumpnom ili u turbinskom smeru obrtanja. Dostizanje pune snage iz ovih rezervnih režima može da se ostvari za manje od 10 sekundi, bilo u pumpnom bilo u turbinskom režimu. Ovi režimi su najčešće istovremeno režimi sinhronih kompenzatora, za poboljšanje faktora snage i smanjenje gubitaka prenosa u dalekovodima, koji mogu biti čak mnogo više od potrošnje za pogon.

Dodatna fleksibilnost pumpno akumulacionih hidroelektrana se postiže obezbeđivanjem varijabilne brzine obrtanja. Hidraulične mašine sa promenljivom brzinom obrtanja rade u širokom opsegu protoka sa visokim stepenom korisnosti, uz značajno smanjenje vibracija, pa su operativni troškovi održavanja niži za čak 50%. Samo, takva postrojenja zahtevaju veća ulaganja kapitala, pa je kompromisno rešenje da se kombinuju agregati sa fiksnom i promenljivom brzinom obrtanja. Projektovanje, izgradnja i eksploatacija hidroelektrana zahtevaju rešavanje velikog broja detalja, dobro osmišljen i precizan projekat. Podprojekti moraju biti pažljivo koordinirani radi postizanja bezbednog, pouzdanog i ekonomičnog rada, i ostvarenja socijalnog, tehnološkog i ekološkog uspeha.

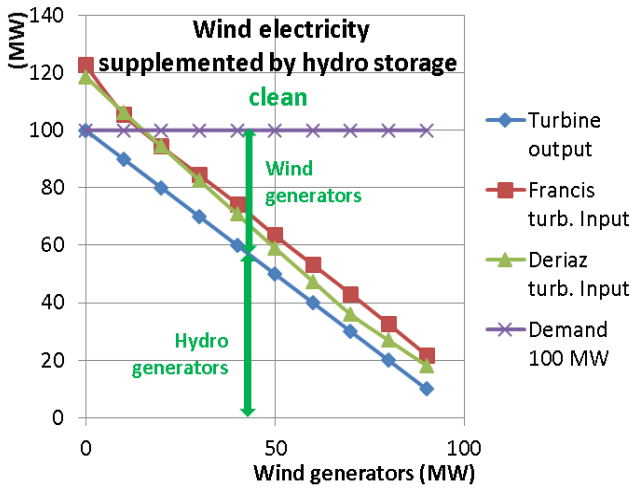
Konkurentna rešenja reverzibilnim hidroelektranama, kao što su gasnoturbineske elektrane nisu ekološki prihvatljive i ne mogu obezbediti energetska nezavisnost elektroenergetskog sistema jer zahtevaju uvozni energent. Osim toga, ova postrojenja ne mogu skladištiti viškove električne energije, tako da pružaju balansiranje samo u uslovima nedostatka energije u sistemu. Vodonik kao gorivo ne može biti jeftin i ekonomičan za skladištenje električne energije. Efikasnost transformacije ciklusa (višak električne energije - vodonik – pik električne energije) je na nivou ispod 40%, često čak i manje od 30% (tzv. termodinamička uskih grla). Vodonik je, s druge strane ozbiljan kandidat za zamenu benzina. Razni instituti istražuju nove tehnologije za proizvodnju vodonika kao čistog goriva za vozila.

2. ENERGIJE IZ TERMO, NUKLEARNIH, VETRO I SOLARNIH ELEKTRANA

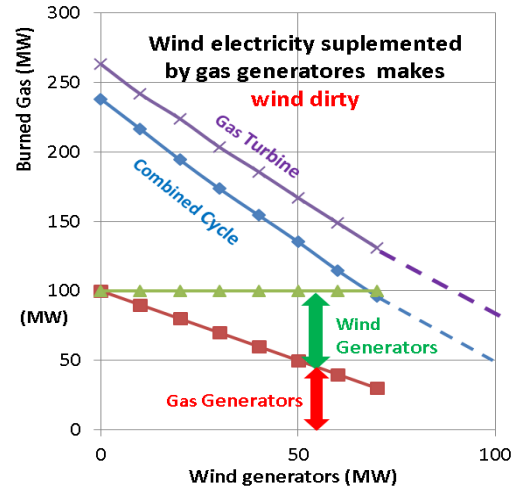
Vetar je čist i obnovljivi izvor energije; to je jedan od najbrže rastućih izvora električne energije i može biti značajan konkurent u bliskoj budućnosti. Do sada je varijabilnost vetra i nemogućnost regulacije količine proizvedene energije ostao primarni problem. Tu su periodi vremena kada vetroelektrane daju višak energije u odnosu na potrošnju. Takođe, postoje periodi slabog vetar ili kada ga uopšte nema, i kada nema proizvodnje energije [11].

Da bi vetar dostigao svoj puni potencijal, potreban je povoljan način za skladištenje energije. Nuklearne i termoelektrane na ugalj mogu menjati svoju snagu, ali uz izuzetno visoke troškove održavanja i rasipanje toplotne energije. Pored toga, zbog svoje velike inercije potrebno je značajno vreme da se prilagode na mrežu. Naftne i gasne elektrane ako su van pogona zahtevaju 15 do 20 minuta za dostizanje pune snage, a u slučaju da rade sinhronizovane na mreži još manje, ali i dalje ostaje problem emisije štetnih gasova. Pumpnoakumulacione hidroelektrane su kao balansni mehanizam za energiju vetra i sunca su ekonomski i ekološki najprihvatljivije rešenje.

Termoelektrane na prirodni gas sprečavaju zagađenje životne sredine i klimatske promene samo malo manje od uglja (slika 2). Stoga je kombinacija energije vetra sa energijom iz hidroelektrana i pumpnoakumulacionih elektrana ključna strategija da bi se osigurao stabilan izvor čiste obnovljive energije (slika 1).



Sl. 1. Vetro i hidroelektrane = čista energija



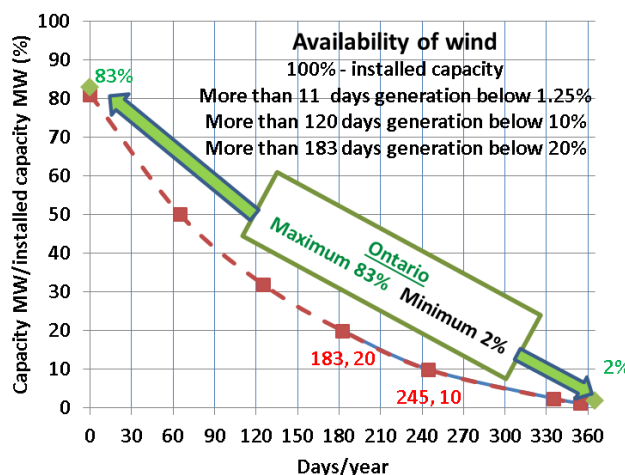
Sl. 2. Vetro i termoelektrane na gas

Hidro i pumpno akumulacione elektrane imaju centralnu ulogu u funkcionisanju elektroenergetskog sistema. Oni su stabilizatori elektroenergetske mreže, pomažući da se osigura redovno snabdevanje električnom energijom i stabinost sistema. One mogu da uskoče u svakom trenutku kako bi proizvele dodatnu snagu u cilju da mreža ostvari sve svoje zadatke.

Zaključci zasnovani na analizi višegodišnjih skupljanja podataka o snagama vetra u Velikoj Britaniji [28], ukazuju:

- Prosečna proizvodnja iz vetra je 24 - 27%;
- Za četiri najvišeg pika potražnje energije proizvodnja iz vetroelektrana je bila izuzetno mala, odnosno 4,7%, 5,5%, 2,6% i 2,5% snage;
- Raspoloživa snaga ispod 20% je tokom polovine vremena;
- Snaga od samo 2,5% raspoloživa je tokom cele godine.

Analiza vetra u Ontariju, Kanada pokazuje skoro identične karakteristike, v. sl. 3.



Sl. 3. Raspoloživost vetra u V. Britaniji (2008. do 2010. i Kanadi ((IESO <http://www.ieso.ca>))

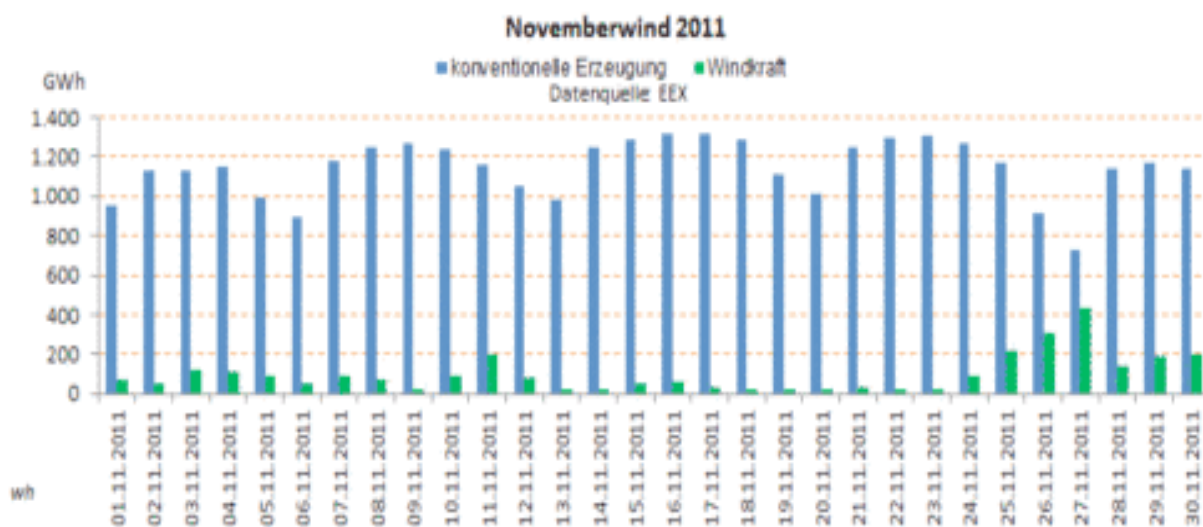
Postoji potreba za dugoročnim skladištenjem energije u dužim periodima bez vetra ili slabog vetra. Periodi u trajanju deset dana bez vetra nisu neuobičajeni ni u Nemačkoj. I zaista, u oktobru i novembru 2011., ta država je doživela dugotrajnu blokadu za 44 dana uzastopno, izazivajući slom

proizvodnje energije iz vetroelektrana. Tokom 27 dana u novembru, od 27,215 MW energije vetra instalirane u Nemačkoj u to vreme, vetrogeneratori su u stanju da samo obezbedi sledeće [7]:

- 30% njihove potencijalne električne energije za samo 2 dana
- 15% za 4 dana
- 7 - 8% za 5 dana
- 4 - 5% za 2 dana
- 2-2,5% 11 dana

U periodu 2020 do 2021 energetska potencijal vetroelektrana je katastrofalan.

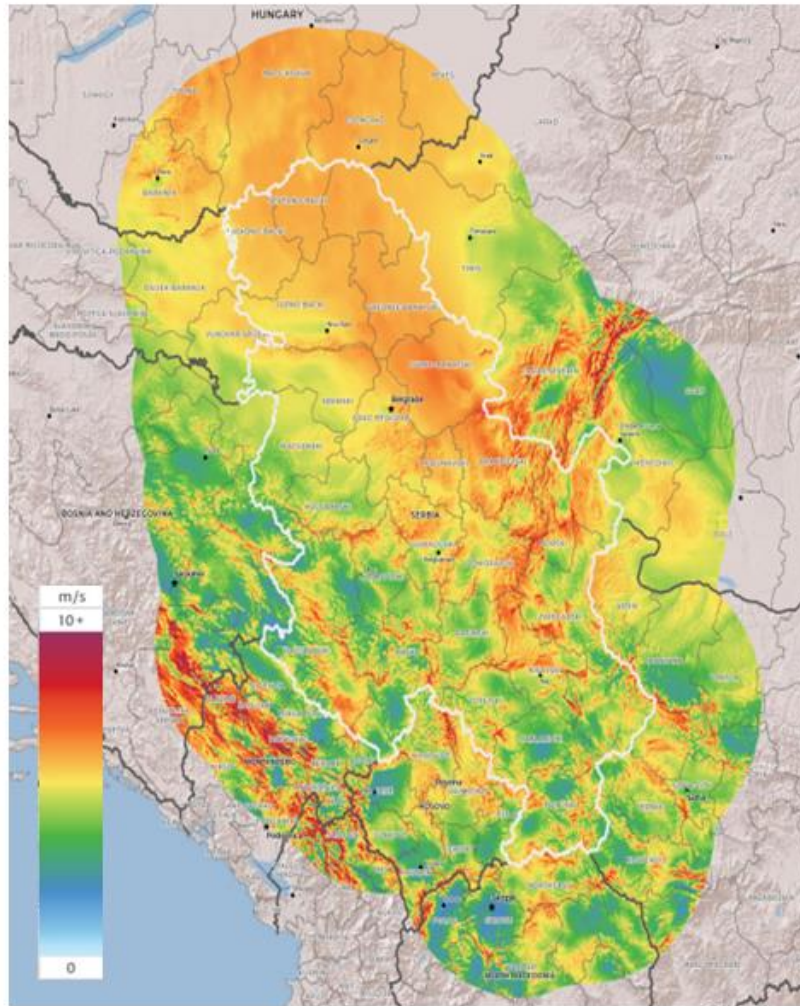
Izuzetno nisko učešće vetra u proizvodnji električne energije u novembru 2011. godine je prikazano na slici. 4. Na primer, u 2010. godini Kanada je imala instaliran kapacitet 35,183 MW od kojih je 33,481 MW bilo dostupno. Do 2030. godine se očekuje da će instalirani kapacitet biti 40,900 MW a na raspolaganju samo 30,200 MW [12]. Povećanje kapaciteta vetra i solarne energije treba pažljivo analizirati ili će se u suprotnom povećati nestabilnost, cena i zagađenja. Analize pokazuju da postoji jak ekonomski razlog za gradnju pumpnoakumulacionih postrojenja. Prema istraživanju ova postrojenja bi se isplatila za svega četiri (4) do sedam (7) godina [4]. Količina energije koja može da se čuva, podeljena sa količinom energije potrebne da za izgradnju je 21 puta bolja od najboljih litijumskih baterije i 110 puta bolji od olovnih akumulatora [21]. Drugi elektro i elektro-hemijski akumulatori su ili još uvek u razvoju ili su suviše skupi i ne se mogu takmičiti sa hidroakumulacijom [20].



Sl. 4 Konvencionalna proizvodnja energije i iz vetroelektrana tokom novembra 2011.
Plavo konvencionalna proizvodnja, zeleno iz vetra

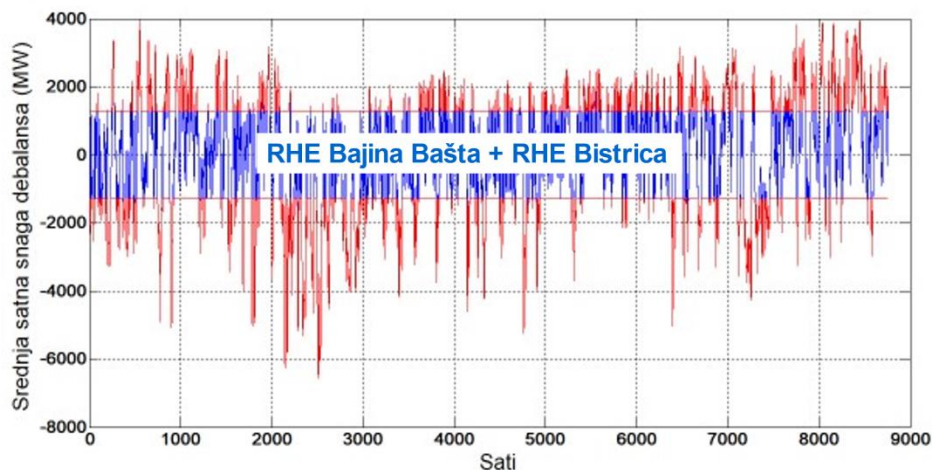
3. TEHNIČKI POTENCIJAL ZA IZGRADNJU VETROELEKTRANA I SOLARNIH ELEKTRANA U SRBIJI

Najnovija iskustva pokazuju još veću varijabilnost rada obnovljivih izvora energije. U Saveznoj republici Nemačkoj je zbog odsustva vetra je proizvodnja električne energije iz vetroelektrana u ovoj godina opala na svega 10 % u odnosu na prethodnu 2020. godinu. A te 2020.-e su prodavali viškove energije sa negativnom cenom. Naši potencijali su neravnomerno raspoređeni, najvuše u Banatu. Na slici 1 prikazana je mapa sa potencijalom energije vetra na teritoriji Srbije. Prema analizama sprovedenim u [28], tehnički potencijal za izgradnju vetroelektrana u Srbiji je oko 10.75 MW, koje bi radile sa prosečnim faktorom kapaciteta od 0.29. Prema [28], tehnički potencijal fotonaponskih elektrana je blizu 20.4 GW_p iz kojih bi se moglo proizvesti oko 26.2 TWh električne enerije godišnje.



Sl. 5 Mapa potencijala energije vetra u Srbiji, [28]

U studiji [28] izvršen je proračun optimalnog odnosa instalisanih snaga solarnih elektrana i vetroelektrana i zaključeno je da je za prirodni balans sa potrošnjom u sistemu najbolje da instalisana snaga solarnih elektrana i vetroelektrana bude približno jednaka. U takvom elektroenergetskom sistemu, u kojem bi hipotetički vetroelektrane i solarne elektrane u potpunosti zamenile termoelektrane analiziran je debalans proizvodnje i potrošnje. Na slici 6 [28] prikazan je debalans snaga u sistemu i mogući opseg pokrivanja debalansa sa postojećom RHE Bajina Bašta i perspektivnom RHE Bistrica.

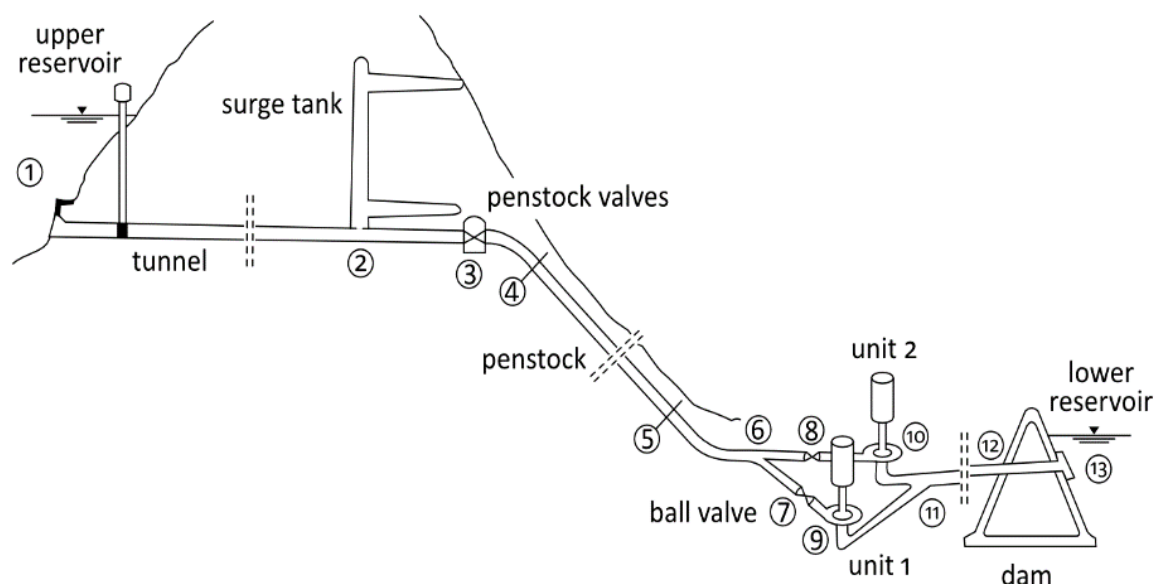


Sl. 6. Debalans snaga u dekarbonizovanom EES-u Srbije, [28]

4. PUMPNOAKUMULACIONE HIDROELEKTRANE – TEHNIČKI I EKONOMSKI ASPEKTI IZGRADNJE

Konvencionalne hidroelektrane imaju eksploataciona ograničenja u zavisnosti od varijacije padavina i nivoa vode u akumulaciji. Međutim, one mogu brzo da odgovore na zahteve mreže i njene nepravilnosti. Konvencionalne hidroelektrane mogu da akumuliraju energiju i proizvedu je kada je potražnja visoka. Sasvim je uobičajeno da se hidroelektrane koriste samo u vreme kada je najveća potražnja za energijom. One mogu da brzo startuju i brzo se zaustave po maloj ceni. Da bi to bilo pouzdano potreban je znatan gornji rezervoar, tzv. akumulacija. Konvencionalne hidroelektrane nemaju sposobnost da apsorbiraju energije vetra, sunca i višak iz mreže kao što to mogu pumpno akumulacione elektrane. Pored obnovljivih izvora energije, ova funkcija je od vitalnog značaja za nuklearne elektrane jer one mogu sporo menjati režim i reverzibilne hidroelektrane se mogu koristiti da apsorbiraju njihovu proizvodnju u režimima smanjene potrošnje u sistemu. Troškovi održavanja termoelektrane na gas znatno rastu ako su primorane da smanje svoju proizvodnju. Čak i termoelektrane na naftu i na ugalj mogu da rade bliže svom optimumu, uz smanjenu emisiju štetnih gasova ako energetska sistem sadrži pumpnoakumulacione elektrane [25].

Za skladištenje energije kod pumpnoakumulacione hidrocentrale se koriste dva rezervoara vode na različitim visinama. Prilikom pumpnog režima voda se pumpa iz donjeg u gornji rezervoar. U suprotnom, generatorskom režimu voda teče iz gornjeg u donji obrće kolo turbine i proizvodi električnu energiju. Neki inovativni metodi su se pojavili poslednjih godina, kao što je korišćenje mora kao donji rezervoar (Japan) ili predlog da se koriste površinski rezervoar kao gornji rezervoar i podzemni rezervoar kao donji [4]. To je zrela tehnologija, rasprostranjena širom sveta, sa visokom izdržljivošću. Efikasnost starijih sistema se može povećati rekonstrukcijom vitalnih komponenti, posebno njihovih turbina. Nedostaci mogu biti ograničenja lokacije, duga prolazna vremena, pitanja zaštite životne sredine, kao i visoki početni troškovi. "Dinorvig" (Velika Britanija) sa 1800 MW je najveći objekat te vrste u Evropi, sa izvanrednom sposobnosti brzog starta. RHE "Bajina Bašta" je prva akumulaciona elektrana sa jednostepenim pumpama-turbinama izgrađena u Evropi (sl. 7). Pomoću pumpnoakumulacionih postrojenja, proizvodnja i potrošnja mogu se optimizovati na sledeće načine: poboljšanjem efikasnosti, smanjenjem troškova, smanjenjem zagađenja, prevencijom raspada, porastom profita i poboljšanjem zaštite potrošačkih cena.



Sl. 7 Reverzibilna hidroelektrana "Bajina Bašta" (2X300 MW)

Pumpnoakumulacione elektrane mogu obezbediti stabilnost mreže tokom nepredviđene havarije i spreče restrikcije. Troškovi SAD 2003. zbog nestanka struje su premašili \$ 10 milijardi dolara i izazvali su 11 smrtnih slučajeva [2]. Sveobuhvatan pristup optimizaciji elektroenergetskog sistema omogućava realizaciju dva značajna cilja: prvo, za dobijanje rotirajuće rezerve, i istovremeno dostizanje noptimalnog rada sistema. Ako mreža nije optimizovana privreda je ranjiva i svaki raspad može koštati milijarde dolara. Ima li problema se objavljuje na vreme.

Analize pokazuju da postoji jak ekonomski razlog za gradnju pumpnoakumulacionih postrojenja pogotovo u nedostatku vršnih elektrana i drugih hidroakumulacija. Neizvesnost u vezi sa tržišnim pravilima su jedan od razloga zbog nedostatka investicija. Međutim, mnoge zemlje (uključujući Švajcarsku, Nemačku, Austriju i Kinu) su već investirali u reverzibilne hidroelektrane zbog ostvarivanja predvidivih koristi. Ključni faktori koji utiču na ekonomiju su smanjenje troškova, pravna ograničenja, i efikasnost. Analiza zasnovana na podacima tržišnih cena u SAD pokazuje da bi pumpnoakumulaciona hidroelektrana sa visokim padom i podzemnom mašinskom halom se isplatila u 7 do 10 godina, sa prosečnim prihodima (\$ 300.000 / MWgod) ili čak za 5 godina ako je prihod (\$ 600,000 / MWgear). Na povoljnim lokacijama povraćaj sredstava se može očekivati čak za četiri do šest godina [4].

5. ZAKLJUČAK

Pumpno akumulacione hidroelektrane nisu samo značajan ekološki čist izvor koji može nadoknadi potrebu zbog ograničenja proizvodnje vetroelektrana, već i balansirati ponudu i potražnje električne energije u distributivnim mrežama. One pomažu da sistem i tržište učine efikasnijim i pouzdanijim. Mogu da zamene do 50% nuklearnih i termoelektrana na uglj. Lako su regulišu i upravljaju, stepen korisnosti ciklusa je 75 - 85%. Njihovim angažovanjem u vreme povećanih zahteva za energijom (pikova potrošnje) umesto starijih postrojenja može se smanjiti emisija štetnih gasova, i akumulirati čistu energiju vetra, sunca, pribranskih hidroelektrana sa manjim akumulacijama, nuklearna energija noću. Takođe se mogu primeniti da zamene rad hidroelektrana u režimima parcijalnog opterećenja, neefikasne režime stand-by i rotirajuće rezerve [6]. Njihovi režimi su prilagodljivi zahtevima snabdevanja, stabilnosti i drugih karakteristika mreže.

Klasična postrojenja i tehnologije koje se primenjuju više od jednog veka suočavaju se sa izazovima. Iskustvo nas uči da veliki broj klasičnih hidroelektrana imaju velike probleme u radu. Sistematska i potpuna posvećenost organizovanog transfera znanja i iskustva mogu da čine temelj za dalji napredak ka suštinskoj potrebu za zadovoljenje energije.

Reference

- [1] The ASME Guide to Hydropower Mechanical Design, (Pejovic S., Co-Author), Prepared by ASME Hydro Power Technical Committee, HCI Publication, 1996 pp. 374, new edition under review.
- [2] The Economic Cost of the Blackout: An Issue Paper on the Northeastern Blackout, ICF Consulting, "August 14, 2003." <http://www.solarstorms.org/ICFBlackout2003.pdf>
- [3] The Economic Impacts of the August 2003 Blackout, Prepared by the Electricity Consumers Resource Ogas%20markets%20IAAE%20Proceedings.pdf
- [4] Ferreira H.L., Garde R., Fulli G., Kling W., Lopes J.P., Characterisation of electric energy storage technologies, Energy 53 (2011) 288-298.
- [5] Gajić A., Pejovic S., Karney B., Stevanovic V., Pumped hydro storage reduces electricity costs and keep wind and solar unpolluted, Energija, Ekonomija, Ekologija, UDC 621.22(497.17), pp. 32-41
- [6] A Gajic, V Stevanovic, S Pejovic, B Karney, Hydro storage reduces electricity costs and keep wind and solar unpolluted, IAHR. 2018, Invited paper 461
- [7] Guzman H.A.R., Value of Pumped-Storage Hydro for Wind Power Integration in The British Columbia Hydroelectric System, PhD Thesis, University Of British Columbia, 2010. https://circle.ubc.ca/bitstream/handle/2429/26233/ubc_2010_fall_rivas_humberto.pdf?sequence=1

- [8] Hatch Ltd. (2010, April). OPG's Deep Geologic Repository for L&ILW - Preliminary Design Report. Retrieved 04 06, 2011, from The Nuclear Waste Management Organization ("NWMO"): http://www.nwmo.ca/uploads_managed/MediaFiles/1606_h333000-wp700-05-124-0001.pdf
- [9] Keil G., Germany's Energy Supply Transformation Has Already Failed, European Institute for Climate and Energy, 2011. <http://www.eike-klima-energie.eu/news-cache/germanys-green-energy-supply-transformation-has-already-failed/>
- [10] Maricic T., Karney W. B., Pejovic S., Knowledge Transfer with Intention to Improve Design While Reducing Operational Expenses, VIPSI-2009 Belgrade.
- [11] Minkel JR., The 2003 Northeast Blackout--Five Years Later, Scientific American, 2008. <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=2003-blackout-five-years-later>
- [12] Muir J. (John Muir Trust and Stuart Young Consulting), Analysis of UK Wind Power Generation November 2008 to December 2010, National Wind Watch, April 7, 2011. <http://www.wind-watch.org/documents/analysis-of-uk-wind-power-generation-november-2008-to-december-2010/>
- [13] Ontario's Long-Term Energy Plan: Building Our Clean Energy Future 1, Ministry of Energy, IESO, March 2, 2011 http://www.ieso.ca/imoweb/pubs/consult/sac/sac-20110302-Item5_LTEP.pdf
- [14] Patrick L. A., Northeast Blackout Likely to Reduce US Earnings by \$6.4 Billion, AEG Working Paper 2003-2. <http://www.andersoneconomicgroup.com/Portals/0/upload/Doc544.pdf>
- [15] Pejovic S., Gajic A., Karney B., Bergant B., Pumped and Hydro Storage Reduce Electricity Costs, Clean Environment and Keep Wind and Solar, Int. Conf. Thynk-Hydro.com, Resita, Romania, 2013.
- [16] Pejovic S., Karney B., Zhang Q., Kumar G., Smaller Hydro, Higher Risk, IEEE Electrical Power Conference CD Montreal 2007.
- [17] Pejovic S., Kennedy C., Karney B., Maricic T., Achieving a Comprehensive and Integrated Energy System through Electricity, IPSI-2009 Belgrade. Link: <http://internetjournals.net/journals/tar/2008/July/Full%20Journal.pdf>
- [18] Pejovic S., Zhang Q., Karney B., Gajic A., Key invited presentation, Analysis of Pump-Turbine "S" Instability and Reverse Waterhammer Incidents in Hydropower Systems, 4-th International Meeting on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems, Belgrade, October 26-28, 2011, Links: Aarticle: [IAHR WG Bgd 2011 4-th International Meeting onPub31381.pdf](http://www.info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub31381.pdf) and <http://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub31381.pdf>; Presentation: [IAHR WG Bgd Oct 2011 Pejovic BG KZ AG Keynote Instability Reverse WH Incidents.pdf](http://www.info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub31381.pdf)
- [19] Shwartz M., Stanford scientists calculate the carbon footprint of grid-scale battery technologies, Stanford Report, 2013 <http://news.stanford.edu/news/2013/march/store-electric-grid-030513.html>
- [20] Smart Generation, Powering Ontario with Renewable Energy, Report, David Suzuki Foundation, 2004. http://www.davidsuzuki.org/publications/downloads/2004/Smart_Generation_summary.pdf
- [21] Spears J., Ontario energy plan raises tough issues, Toronto Star, Published Nov 24 2010. <http://www.thestar.com/business/companies/article/895694--ontario-energy-plan-raises-tough-issues;>
- [22] Stasko R., Pejovic S. Developing The Business Case for a Pumped Storage Project In Ontario, Ministry of Energy RFI (Request for Information), 2013, Sci (Science Concepts International, 2013
- [23] Tanaka H., Benefits of pumped storage., Advanced Sustainable Hydropower, International Hydropower Association, 2005. <http://www.hydropower.org/psd/articles/benefits.html>
- [24] Walawalkar, R., Apt J., Mancini R., Economics of electric energy storage for energy arbitrage and regulation in New York, Carnegie Mellon Electricity Industry Center Working Paper CEIC-06-04. https://wpweb2.tepper.cmu.edu/ceic/pdfs/CEIC_06_04.pdf
- [25] Williams E., Dinorwig, the Electric Mountain, Public Relations, The National Grid Company plc, National Grid House, Summer Street, London SE1 9JU, Registered in England and Wales No2366877 (year of publication not available)
- [26] Weber T., Toll from Blackout Could Reach \$2-Billion: Cfib, Be and Mail September 11, 2003 <http://www.globeinvestor.com/servlet/ArticleNews/story/RTGAM/20030911/wbbiz0911>
- [27] Zandt D.V., Freeman L., Zhi G., Piwko R., Jordan G., Miller N., Brower M., Ontario Wind Integration Study, Ontario Power Authority (OPA), Independent Electricity System, Operator (IESO), Canadian Wind Energy Association (CanWEA), Final Report, EB-2007-0707, Exhibit D-5-1, Attachment 2, http://www.powerauthority.on.ca/sites/default/files/page/4536_D-5-1_Att_2.pdf
- [28] Ž. Đurišić, Resursi za dekarbonizaciju i fleksibilnost EES-a Srbije, 35. Savetovanje Cigre, Zlatibor, oktobar 2021.
- [29] Ž. Đurišić, B. Škrbić, Analiza potencijala energije sunca i vetra i strateško planiranje scenarija dekarbonizovane proizvodnje električne energije u Srbiji, Beograd, 2021.