

Biblid: 0350-2953 (2017) 43(3): 121-130
UDK: 620; 62.6; 697;

Originalni naučni rad
Original scientific paper

PREGLED TEHNIKA SKLADIŠTENJA ENERGIJE

OVERVIEW OF THE ENERGY STORAGE TECHNIQUE

Borivoj Stepanov, Đordije Doder

Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija

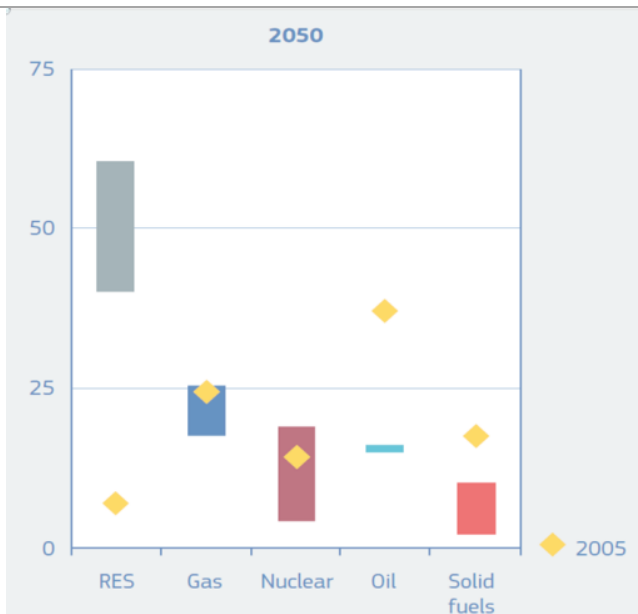
SAŽETAK

Skladišta energije dobijaju na značaju što je posledica tranzicije ka većem udelu obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije. Nalaženje optimalne kombinacije obnovljivi izvor – skladište energije je tekući problem. Sa ciljem da se stekne bolji uvid u mogućnosti koje su na raspolaganju u radu je prvo dat presek brojčanog stanja i kapaciteta aktivnih skladišta energije po tehnologijama i zemljama (top 5). Zatim je proučavana energetska politika Nemačke po ovom pitanju. Kako je udeo obnovljivih izvora (energije vetra i sunca) u proizvodnji električne energije naše države mali još se ne suočavamo sa problemom usklađivanja promenljivosti produkcije usled obnovljivih izvora sa opterećenjem, ali bi mogli da ulažemo u one projekte energetskih skladišta koji donose i ekonomski benefit i smanjuju emisiju CO₂.

Cljučne reči: emisija CO₂, skladištenje, obnovljivi izvori, električna energija.

1. UVOD

Prema rezultatima istraživanja tržišta od strane IHS, tržište za energetska skladišta očekuje eksponencijalni skok na instalisanih 6 GW u 2017 i preko 40 GW do 2022, od početnih 0,34 GW instalisanih u 2012 i 2013. [i] Razlog za ova predviđanja je transformacija energetskog sistema ka održivom. EU je postavila cilj da se do 2050 smanji emisija CO₂ na 80% od vrednosti emisije iz 1990. Svaka od članica EU ima autonomiju da odredi svoj put kako će postići dati cilj.



Sl. 1. Rasponi udela (u zavisnosti od scenarija) u 2050 obnovljivih izvora, prirodnog gasa, nuklearne energije, nafte i čvrstih goriva u odnosu na 2005 [2]

Fig. 1. Distribution share (depending on the scenario) in 2050 renewable sources, natural gas, nuclear energy, oil and solid fuels compared to 2005 [2]

Postoji 5 puteva ili scenarija. Na slici 1 su predstavljeni prognoze njihove primene u 2050. U prvom je akcenat na uštedi energije, sa ciljem postizanja 41% smanjenja potrošnje energije do 2050 u poređenju sa 2005-6, u drugom se nijedna od tehnologija ne favorizuje, u trećem se postavljaju kao osnova obnovljivi izvori energije, gde se predviđa dostizanje u 2050 75 % učešća obnovljivih izvora u finalnoj potrošnji, a 97% u proizvodnji struje, u četvrtom se nuklearna energija projektuje na 18 % dok se predviđa kasna primena izdvajanja i skladištenja CO₂, a u petom se primenom izdvajanja i skladištenja CO₂ postiže udeo fosilnih goriva od 32% uz smanjenje udela nuklearne energije. **[Error! Bookmark not defined.]**

Zajedničko za sve puteve je da se propisuje povećanje udela obnovljivih izvora energije u primarnoj energiji, da se povećava efikasnost, i da se povećava udeo električne energije u finalnoj potrošnji.

Problem sa obnovljivim izvorima pogotovo u proizvodnji električne energije je njihov prekidan karakter. Vetar može da prestane da duva, dan može da bude oblačan. Da bi se kompenzovao ovaj karakter potrebna je primena skladišta energije, koja će skladištiti energiju u periodu kada ima viškova produkcije, a te viškove će plasirati kada nastupi smanjenje produkcije.

Takođe i po pitanju efikasnosti energetska skladišta imaju značajnu ulogu. To što omogućavaju da bazne elektrane rade konstantnim parametrima omogućava visok stepen konverzije energije u njima. Odnosno elektrane na ugalj ne moraju da prate opterećenje i

da izlaze iz optimalnog opsega rada, time se i šteti gorivo i smanjuju štetne emisije u okolinu.

Koju tehnologiju za skladištenje odabrati? Imamo čitav niz tehnologija na raspolaganju.

2. MATERIJAL I METOD RADA

Da bi se to učinilo korišćiće se globalna baza energetskih skladišta Departmana za Energetiku (DOE) vlade SAD.[ii] Ova baza uključuje 1603 projekta ukupne instalisane snage 192 GW. U njoj je za svaki projekat uneto mnoštvo podataka, od osnovnih podataka kao što su naziv, mesto i zemlja, preko kratkog opisa, veb adrese projekta, do funkcija koje vrši ovo postrojenje, pa i finansijski elementi ako su dostupni. Radi detaljnije i efektivne analize ove baze je korištena funkcionalnost Microsoft paketa Excela pod nazivom Pivot tabelle.

Rezultati analiza su podeljeni po tipovima tehnologija i to na elektromehaničke, elektrohemijske, vodonik, toplotne i reverzibilne hidroelektrane. Rezultati pretrage baze su sortirani prema broju aplikacija u pojedinoj zemlji, a dodatno je data i zbirna snaga svih projekata te tehnologije u datoj zemlji. Prikazani su aktivni projekti, pored njih u bazi se nalaze i projekti u najavi, u izgradnji, pod ugovorom kao i projekti koji su ugašeni.

Kod elektromehaničkih sistema (pregled prikazan u tabeli 1) dominiraju po broju zamajci, oni su našli svoje mesto za kratka električna pražnjenja i UPS. Po snazi kod elektromehaničkih sistema prednjači sistem koji viškove struje koristi za kompresiju vazduha, a potom kada je potrebna struja, taj komprimovani vazduh se koristi za sagorevanje u gasnom ciklusu. Prvo takvo postrojenje je instalirano u gasnoj elektrani Hunterf u Nemačkoj snage 321 MW, vremena pražnjenja 2 h, u funkciji od 1978, sledilo ga je postrojenje u elektrani McIntosh u SAD snage 110 MW, vremena pražnjenja 26 h. Elektrana Hunterf se nalazi kod Hamburga na severu Nemačke, u blizini vetroparkova.

Tab. 1 Primena elektromehaničkih skladišta energije [ii]

Tab. 1 Application of electromechanical energy storage [3]

Tip tehnologije	SAD		EU		Kanada		Australija		Šva
	Br.	kW	Br.	kW	Br.	kW	Br.	kW	Br.
Zamajac	21	57875	13	863240	2	7000	3	2000	
Skladište komprimovanog vazduha za sagorevanje p. gasa u šupljini	1	110000	1	321000					
Modularno skladište komprimovanog vazduha	1	80			1	1000			
Izotermalno skladište komprimovanog vazduha u šupljinama	1	2000	1	200000					
Modularno skladište komprimovanog vazduha u šupljinama	1	1500							
Adijabatno skladište komprimovanog vazduha									1
Skladište komprimovanog vazduha					1	660			
Skladište tečnog vazduha			1	350					
	25	171455	16	1384590	4	8660	3	2000	1

Kod elektrohemijskih tehnologija (pregled prikazan u tabeli 2) prednjači Li-jonski tip baterije sa najvećim brojem aplikacija i najvećom instalisanom snagom. Jedinu u Japanu se kao konkurencija razvija Na-S tip baterije, a u Kini se akcentat stavlja Li-Fe-Fosfat tip baterije.

Tab. 2 Primena elektrohemijskih skladišta energije [3]

Tab. 2 Application of electrochemical energy storage [3]

Tip tehnologije	SAD		EU		Kina		Južna Koreja		Japan	
	Br.	kW	Br.	kW	Br.	kW	Br.	kW	Br.	kW
Litijum jonska baterija	135	266740	57	161454	4	2565	24	218090	14	90459
Litijum Fe Fosfatna baterija	30	114534	26	3852	43	38675	2	4500	1	48
Vanadijum Redox strujna baterija	5	2310	12	930	10	11930	2	150	5	23030
Olovo-kiselina baterija	17	15950	10	5348			2	300	1	2000
Natrijum-sumpor baterija	11	21200	6	37600					12	119100
Elektrohemijski kondenzator	5	2348	4	4350			16	24205		
	203	423082	115	213534	57	53170	46	247245	33	234637

Po pitanju skladištenja vodonika (pregled prikazan u tabeli 3), EU prednjači, odnosno Nemačka sa 6 aplikacija. Ako se posmatra zrelost tehnologije ona se još nalazi u fazi istraživanja i razvoja. Pre komercijalizacije još treba da prođe kroz fazu demonstracije i upotrebe.

Tab. 3 Primena vodonika kao skladišta energije [ii]

Tab. 3 Application of hydrogen as energy storage [3]

Tip tehnologije	EU	
	Nr	kW
Vodonično skladište energije	7	8,1E+03
	7	8,1E+03

Po pitanju skladištenja toplotne energije (pregled prikazan u tabeli 4), brojačno prednjače ledena skladišta u kojima se koristi jeftina struja noću da se voda zaledi, a preko dana se taj led umesto struje koristi u rashladnom ciklusu, ali u domenu ovog rada su mnogo interesantnije primena rastopljenih soli, koja i prednjači po ukupnoj snazi. Ova tehnologija je primer kako obnovljivi izvor energije, u ovom slučaju solarna energija može biti u potpunosti uklopljena u elektroenergetski sistem. Ona je deo solarnih elektrana na bazi koncentrisanja sunčevog zračenja. Rastopljena so se koristi kao medijum za prijem i predaju toplote. Solarna energija se koncentriše preko paraboličnih ogledala koje reflektuju sunčeve zrake u prijemnik na vrhu solarnog tornja. Ovaj prijemnik je razmenjivač toplote u kome se so u tečnom stanju zagreva na temperature od 250 do 500 °C. Zatim ta so predaje toplotu vodi, koja isparava i zatim u parnom ciklusu proizvodi energiju. Najveći broj ovakvih postrojenja se nalazi u Španiji. Vreme skladištenja može da bude 16h.

Tab. 4 Primena skladišta toplotne energije [3]

Tab. 4 Application of heat energy storage [3]

Tip tehnologije	SAD		EU		Indija		J. Afrika		Čile	
	Br.	kW	Br.	kW	Br.	kW	Br.	kW	Br.	kW
Skladište rashladne energije u ledu	106	58980	1	4560						
Skladište toplotne energije u tečnoj soli	4	541400	24	1E+06	3	225000	3	250000	1	110000
Skladište rashladne energije u pothlađenoj vodi	19	136631	1	400	1	175				
Skladište toplotne energije	7	4590	5	47000	1	1000	1	50000	1	10500
Skladište toplotne energije	1	72000	2	57900					1	360000
	137	813601	33	1E+06	5	226175	4	300000	3	480500

Po pitanju broja i po instaliranoj snazi reverzibilnih hidroelektrana prednjači Evropa (pregled prikazan u tabeli 5). U našem regionu kao i u Turskoj se procenjuje da postoje značajni kapaciteti za izgradnju novih skladišta hidroenergije.

Tab. 5 Primena reverzibilnih elektrana [3]

Tab. 5 Application of reversible power plants [3]

Tip tehnologije	EU		Japan		SAD		Kina		Švajcarska	
	Nr	kW	Nr	kW	Nr	kW	Nr	kW	Nr	kW
Reverzibilne hidroelektrane sa jednim protočnim rezervoarom	133	43684620	43	28251780	38	22560700	34	31999000	15	4527000
Reverzibilne hidroelektrane bez protočnih rezervara	3	2088006								
Reverzibilne hidroelektrane	1	360000								
	137	46132626	43	28251780	38	22560700	34	31999000	15	4527000

3. Studija slučaja Nemačka

Nemačka je 2010 odlučuje na energetske zaokret tzv. Energiewende sa ciljem smanjenja emisije CO₂ kroz ulaganje u obnovljive izvore, vetar i sunce. Postavljeni cilj je glasio da se do 2020 smanji emisija CO₂ za 40 posto u odnosu na 1990. Tada 20% električne energije dolazilo iz CO₂ neutralnih nuklearnih elektrana. 2011 se dešava nuklearni akcident u Fukušimi što za posledicu ima gašenje 8 najstarijih nuklearnih i najava gašenje preostalih 9 u 2022. Nakon gašenja nuklearnih elektrana cene skaču 10 posto, a dodatno od svakog računa 15 posto ide u obnovljive izvore. Dodatna posledica je značajno oslanjanje na elektrane na uglj.

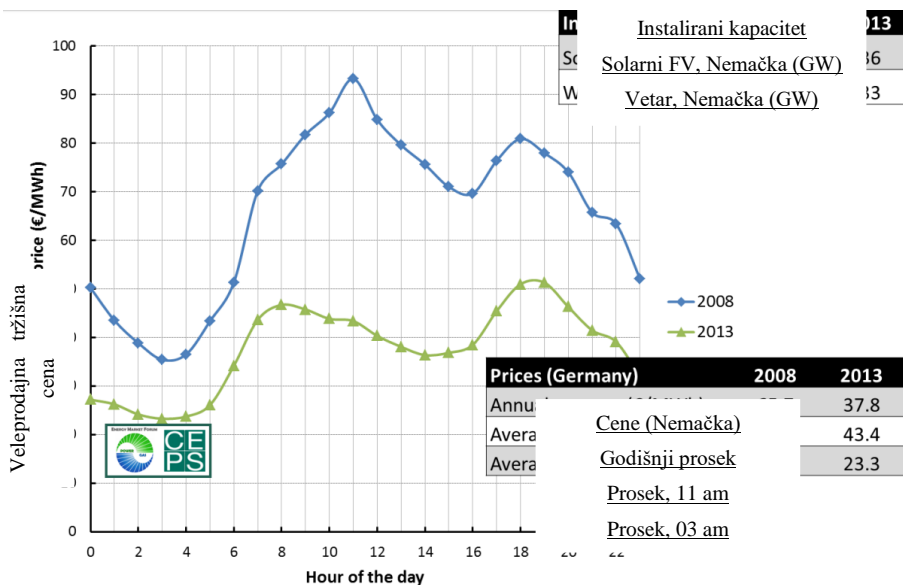
Sa povećanjem udela obnovljivih na 1/3 sada sa jedne strane postoje fluktuacije i na strani proizvodnje i na strani potrošnje. Pre povećanja udela obnovljivih u proizvodnji struje je bilo predvidivo trajanje i vreme uključenja vršnih gasnih elektrana. Da bi se održao stabilan elektroenergetski sistem dve varijante se razmatraju: izgradnja novih vršnih gasnih elektrana ili izgradnja dodatnih energetskih skladišta. Ono što je nepoznanica jesu cene prirodnog gasa i emisije CO₂ u Evropi u budućnosti. Nemačka raspolaže sa 31 reverzibilnom hidroelektranom čiji kapacitet iznosi 38 GWh. Ovaj iznos je dovoljan da pokrije vršnu produkciju vetroparkova u trajanju od 90 minuta. [iii]

Potencijalno rešenje se nalazi u Norveškoj koju danas često nazivaju baterija Evrope. Ideja je da se višak proizvedene struje izvozi u Norvešku, a kada je prisutan manjak da se uvozi hidroenergija. Za unapređenje hidro energetskog sistema u Norveškoj, 20 hidroelektrana, je potrebno ulaganje u iznosu od 6 milijardi eura. Kod jednog broja hidroelektrana će biti povećan kapacitet, a neke će biti transformisane u pumpna skladišta,

tako što će se ugraditi reverzibilne turbine, a da bi se postigao traženi kapacitet potrebno je da se prokopaju dodatni tuneli između rezervoara. [iv]

Dodatni problem predstavlja transmisija električne energije u i iz Nemačke. Da bi se to omogućilo potrebna je postavljanje skupih podmorskih kablova u okviru projekat NordLink koji treba 2020 da poveže Nemačku i Norvešku. Cena ovog projekta iznosi €1.5-2 milijardi. 2021 sledi NSN Link, projekat koji bi trebao da poveže Englesku i Norvešku. Ovaj način rešavanja problema sa obnovljivim izvorima već koristi Danska, gde danas 40 % električne energije potiče iz obnovljivih izvora.

Još jedan problem se nalazi na putu. Veza između severa Nemačke i juga gde su situirani najveći potrošači električne energije. Tu se mogu desiti tačke zagušenja, prosto iz razloga što se pojedine lokalne zajednice mogu suprotstaviti izgradnji novih prenosnih kapaciteta.



Sl. 2. Dnevni trend promene cene struje tokom dana pre i posle ekspanzije korišćenja obnovljivih izvora ene

Fig. 2. Daily trend of electricity price during the day before and after the expansion of the use of renewable energy sources [5]

Na slici 2 su prikazane promene cene struje tokom dana u 2008 i u 2013, pre i posle zelene revolucije. Ono što vidimo je da je varijacija cena značajno opala, sa gotovo €/MWh 57,9 na 20,1. Podnevni maksimumi potrošnje i cene su nestali. A ta razlika cena je izvor prihoda pumpnih skladišta hidro energije. Druga krajnost je da se dešavaju slučajevi kada je cena električne energije negativna. To se dešava kada nema potrošača, a višak proizvodnje je prisutan.

4. Primer primene skladišta energije u termoelektranama toplinama

U susjedstvu u Hrvatskoj je 2015 izvršeno ispitivanje i puštanje u pogon akumulatora toplote 750 MWh / 150 MW . [v] Svrha ugradnje akumulatora je optimizacija proizvodnje električne i toplotne energije.

Način na koji se vrši optimizacija je kroz upravljanje viškom toplotne energije koji se u akumulator skladišti u vidu tople vode. Razlika temperatura ulazne i izazne vode iznosi do 40 stepeni. O efektima uštede će tek biti studija, ali postoji slično postrojenje u TETO Ljubljana u Sloveniji za koje postoje podaci.[vi] Toplotni akumulator je izgrađen 1997, prečnika 25 metara i visine 50 metara. Postignuta je manja zavisnost proizvodnji električne i toplotne energije. Proizvodnja i toplotne i električne energije se može prilagoditi potrebama oba konzuma, pokrivena je vršna potrošnja toplotne energije, ujednačen je rad kotlovskih postrojenja, olakšano je upravljanje kotlovskim postrojenjem, povećana je raspoloživost sistema proizvodnje.

Rezultati iz 1998 godine pokazuju da je povećana proizvodnja kombinovane toplote 90690 MWh.

Povećanje proizvodnje iznad maksimalne proizvodnje 37954 MWh. Smanjenje troškova pri proizvodnji električne energije zbog veće protivpritisne proizvodnje električne i toplotne energije. I to smanjenje specifične potrošnje 11960 kJ/kWh na 11541 kJ/kWh.

5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Iz priloženih analiza vidimo da Nemačka koja prednjači na polju gasnih elektrana (Siemens), vodeća je na polju baterija (Varta), ima prvo skladište na bazi komprimovanog vazduha spregnutog sa gasnom elektranom (Huntorf) se odlučuje za hidro energiju kao bafer neravnomernosti proizvodnje vetro i solarnih elektrana. I to ne odlučuje se na izgradnju novog nego na povezivanje na postojeće u Norveškoj. Iako su neophodna i dodatna unapređenja u hidrosistemu Norveške i polaganje električnog kabla po dnu severnog mora i izgradnja dodatne elektroenergetske infrastrukture kroz Nemačku.

Kada Srbija dođe do udela obnovljivih izvora u proizvodnji sigurno će se i cene promeniti. Na osnovu cena baterija, CO₂ i prirodnog gasa ćemo moći da se odlučimo. Sa sadašnjim cenama deluje logično da se kao prvi scenario ispita mogućnost proširenja kapaciteta reverzibilne hidroelektrane.

U međuvremenu da damo naš doprinos smanjenju emisije CO₂ logično je da se skladišta primenjuju u oblasti gde je zagarantovan profit, kroz uštedu energije, i ne samo da će se CO₂ smanjivati nego i emisija ostalih štetnih gasova, a to je nešto što je demonstrirano kroz slučaj u TE-TO.

6. LITERATURA

-
- [1] Energy storage association: Facts and figures, <http://energystorage.org/energy-storage/facts-figures>
 - [2] Office of Electricity Delivery & Energy Reliability and Sandia National laboratories: DOE global energy database, <http://www.energystorageexchange.org/>
 - [3] MIT Technology review: The great German experiment, <https://www.technologyreview.com/s/428145/the-great-german-energy-experiment/>
 - [4] GEMINI science news from NTNU and SINTEF: Norway is Europe's cheapest "battery", <http://gemini.no/en/2014/12/norway-is-europes-cheapest-battery/>

- [5] Big investment in production of heat energy in Zagreb (in Croatian: Velika investicija u proizvodnju toplotne energije u Zagrebu): <http://serbia-energy.eu/sr/hrvatskavelika-investicija-u-proizvodnju-toplotne-energije-u-zagrebu/>
- [6] Đuro Držajić (Siemens): Heat accumulator in TE-TO Ljubljana (in Croatian: Toplotni akumulator u TE-TO Ljubljana), Proceedings of the Eighth Forum: Croatian Energy Day Energy markets and energy efficiency in transition economy countries, [ISBN 953-96345-6-3](#), 1999, p. 271-282

OVERVIEW OF THE ENERGY STORAGE TECHNIQUE

Borivoj Stepanov, Đordije Doder

University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences,
Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija

SUMMARY

Energy stores are gaining importance as a result of the transition to a larger share of renewable energy sources in electricity generation. Finding the optimal combination of renewable energy sources is an ongoing problem. In order to gain a better insight into the possibilities available in the work, it is first given an overview of the number and capacity of active energy storage by technologies and countries (top 5). Then Germany's energy policy on this issue is overshadowed. As the share of renewable sources (wind and solar energy) in our country's electricity production is small, we are still not faced with the problem of aligning production change due to renewable sources with load, but we could invest in those energy store projects that bring economic benefit and reduce CO₂ emissions.

Ključne reči: CO₂ emission, storage, renewable sources, electric energy.

Primljeno: 18. 08. 2017. god.

Prihvaćeno: 29. 08. 2017. god.