

Igor Đurić
HEP ODS
igor.duric@hep.hr

Javor Škare, dr.sc
KONČAR-INEM
jskare@koncar-inem.hr

Tanja Marijanić
HEP ODS
tanja.marijanic@hep.hr

BATERIJSKI SPREMNICI ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

SAŽETAK

Baterijski spremnici električne energije imaju dugu povijest primjene u elektroenergetskim postrojenjima u distribuciji električne energije. Koriste se kao izvor pomoćnog, signalnog, upravljačkog i nužnog napajanja, a tijekom vremena je prikupljeno bogato stručno iskustvo u projektiranju, pogonu i održavanju.

Tehnološki razvoj i široka primjena izvora energije koji koriste snagu vjetra i sunca, u proteklih su nekoliko godina potakle značajan razvoj baterijskih spremnika električne energije. Danas su na tržištu dobavljeni spremnici električne energije većih snaga i elektroenergetskih kapaciteta za definirane funkcije u mreži, a značajniji razvoj se nastavlja u području regulative i poslovnih modela koji će omogućiti ostvarenje punog potencijala modernih baterijskih spremnika električne energije. Namjera je rada predstaviti tehnologiju i glavne funkcionalnosti baterijskih spremnika koji bi mogli biti primijenjeni kao element elektrodistribucijske mreže.

Ključne riječi: baterijski spremnici električne energije, elektrodistribucijska mreža, niski napon, srednji napon

BATTERY STORAGES IN DISTRIBUTION NETWORKS

SUMMARY

Battery storages have a long history of application in distribution substations. They are used as a source of auxiliary, signal, control and emergency power supply. A comprehensive base of knowledge and experience in the field of project design, usage and service has been gathered over time.

Technological advancement and wide application of distributed generation sources harvesting the energy of the sun and wind were key drivers for further battery storage research and development. Today, battery storage systems for power distribution network uses are available on the market. The focus of research and development today is turned to regulatory and business models aiming to achieve full potential of modern battery storages. The following paper aims to present the technology and main functionalities of battery storages that might be used as elements of power distribution systems.

Key words: battery storages, distribution network, low voltage, medium voltage

1. UVOD

Proteklih godina na distribucijsku mrežu HEP-Operatora distribucijskog sustava d.o.o. (u daljnjem tekstu: HEP ODS) priključujemo sve veći broj obnovljivih izvora energije (u daljnjem tekstu: OIE). Korisnici mreže s pravom očekuju održanje visokog standarda kvalitete opskrbe električnom energijom i ne mare da pogon sve naprednije distribucijske mreže postaje prepun sudionika, promjenjivih tokova snaga, pogonskih događaja, podataka i informacija. Za operatora to rezultira složenijim vođenjem pogona, održavanjem mreže i planiranjem razvoja.

Planiranje razvoja i izgradnje distribucijske mreže u RH postaje sve zahtjevnije zbog stalnog pritiska na povećanje učinkovitosti ulaganja, nepovoljnih demografskih trendova, razmjerno kratkotrajnih razdoblja visokih opterećenja, regulative koja ne omogućuje operatoru sustava usmjeravanje smještaja OIE u blizinu visokih opterećenja i drugih poslovnih okolnosti. U svim europskim elektrodistribucijskim tvrtkama postoje isti izazovi i odvijaju se isti procesi, ali ubrzani i preciznije definirani zbog značajnijeg porasta opterećenja, definiranih strategija pritiska industrije (EU planira biti svjetski lider u području tehnologija OIE).

U novije vrijeme, kao moguće rješenje navedenih izazova razmatra se primjena spremnika električne energije. Spremnici električne energije su prepoznati kao element elektrodistribucijske mreže koji može smanjiti nepredvidljivost proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora, uz doprinos ublažavanju nepovoljnih učinaka koje veliki udio energije proizvedene u OIE neželjeno proizvodi (porast napona na dugim priključnim vodovima i/ili slabije opterećenim mrežama). Interes investitora u OIE i elektrodistribucijskih tvrtki potaknuo je ne samo daljnji tehnološki razvoj sustava za pohranu električne energije, već i rasprave s ciljem osmišljavanja i definiranja poslovnih modela koji nose prednosti za operatore, proizvođače i korisnike mreže o kojima se više govori u nastavku. Već desetak godina predmet interesa sveučilišta i razvojnih tvrtki je studijska i tehnička analiza, modeliranje i optimiranje rada te ocjena učinkovitosti pojedinih tehnologija pohrane. Posljednjih pet godina pratimo brojne pilot projekte kojima europska i svjetska industrija prikuplja pogonska iskustva. mnoga tehnička rješenja su već definirana i dostupna na tržištu, što je vidljivo i iz brojnih projektnih i proizvođačkih dokumenata.

Spremnici električne energije preuzimaju sve značajniju ulogu u tehnološkim platformama energetske politike EU. Uz dobro poznate koncepte naprednih elektroenergetskih mreža (engl. *smart grids*), unaprjeđuju se tehnološke platforme naprednih gradova (engl. *smart cities*), naprednih domova (engl. *smart homes*) i elektromobilnosti. „Zimski paket energetskih mjera EU“ od 30.11.2016. g. predlaže razvoj tržišta električne energije na distribucijskoj razini. Takvo tržište omogućit će korištenje usluga fleksibilnosti¹, koje će se u velikoj mjeri oslanjati na primjenu spremnika električne energije manjih kapaciteta (cca 100 kWh) i spremnika u kućnim mikromrežama (cca 10 - 50 kWh).

Uvodno se može zaključiti da je tehnološki dio koncepcije primjene spremnika električne energije zaokružen i da su glavni izazovi narednog razdoblja prilagodba regulatornog okvira koja će omogućiti razvoj tržišta električne energije na distribucijskoj razini, oblikovanje poslovnih modela, te unaprjeđenje postojećih i razvoj novih funkcija u ODS-u.

Spremnici električne energije nisu samo baterije. Postoje brojna tehnička rješenja kojima se omogućuje pohrana električne energije transformacijom u neki drugi oblik. Opis dijela postojećih tehnologija skladištenja električne energije u nastavku se daje informativno, ali detalji nisu predmet ovog rada. Zainteresirani čitatelj će u referentnoj literaturi i obilju druge literature i primjera na internetskim stranicama naći brojne reference i podatke. Također, opisujući svojstva baterijskih spremnika električne energije, ne ulazi se u detaljno opis sastava baterija i elektrokemijskih procesa u baterijama različitih izvedbi.

Rad u nastavku opisuje ključne elemente primjene baterijskih spremnika električne energije u distribucijskoj mreži. Namjera je predstaviti uvod u funkcionalnosti i trendove te dati poticaj za uključenje tvrtki i stručnjaka u raspravu o primjeni spremnika električne energije u distribucijskoj mreži u dolazećem razdoblju. Rad je pisan prvenstveno s gledišta operatora distribucijskog sustava kao budućeg korisnika i vlasnika sustava za pohranu električne energije, kojemu je prioritet učinkovit rad distribucijske mreže.

¹ Fleksibilnost korisnika mreže je „izmjena injekcije proizvedene snage i/ili krivulje opterećenja potrošnje uslijed vanjskog signala (cjenovni signal ili aktivacija usluge) kako bi se pružila usluga u elektroenergetskom sustavu”

2. OSNOVE TEHNOLOGIJE SPREMNIKA ELEKTRIČNE ENERGIJE

2.1. Osnovni pojmovi i karakteristične veličine

Spremnik električne energije u širem smislu (engl. *energy storage*) se definira kao element elektroenergetске mreže koji može ostvariti pomak u vremenu između proizvodnje i potrošnje električne energije (engl. *energy shifting potential*) [1],[2], odnosno, jednom pohranjenu električnu energiju (rad kao trošilo) spremnik može prema potrebi vraćati u mrežu (rad u generatorskom režimu), uz kontrolirano moduliranje pogonskih parametara (npr. napona, cosfi, frekvencije, snage).

Osnovne veličine koje opisuju spremnike električne energije su:

- Nazivna snaga – najviša izlazna snaga sustava za pohranu energije
- Gustoća energije – količina energije koja se može pohraniti u kilogramu ili kubnom metru spremnika, bitna je za dimenzioniranje prostora za smještaj spremnika
- Vrijeme pražnjenja – vrijeme potrebno da se skladište energije isprazni
- Vrijeme odziva – vrijeme od trenutka kada sustav dobije nalog za pražnjenje do uspostave nazivne snage pražnjenja
- Samopražnjenje – gubitak pohranjene energije nevezan uz cikluse punjenja i pražnjenja
- Učinkovitost – postotni omjer između električne energije predane sustavu za vrijeme pohrane energije i električne energije predane mreži za vrijeme pražnjenja sustava.

2.2. Pregled tehnologija spremnika električne energije

Različite tehnologije spremnika električne energije imaju različite značajke. Radi toga ne mogu sve tehnologije spremnika biti jednako prikladne za sve funkcije koje mogu obavljati u elektroenergetskom sustavu.

Tablica 1. u nastavku daje pregled osnovnih značajki nekoliko tehnologija pohrane energije koje bi mogle biti primijenjene u distribucijskoj mreži [3].

Tablica 1. Pregled tehnologija spremnika električne energije

Tehnologija	Snaga [MW]	Gustoća energije [Wh/dm ³]	Vrijeme pražnjenja	Vrijeme odziva	Samopražnjenje	Učinkovitost [%]
Crpno – akumulacijske hidroelektrane	100 - 3.000	0,2 - 2	1-24 h+	minute	malo	70 - 85
Sustavi pohrane energije komprimiranim zrakom	do 300	2 - 6	1-24 h+	minute	malo	40 – 70
Pohrana energije pomoću zamašnjaka	0,1 - 20	20 - 80	1 s – 15 min	sekunde	veliko	85 – 95
Baterijski sustavi za pohranu električne energije	0 - 50	20 - 400	1 min– 24h+	ms	malo - umjereno	60 – 80
Proizvodnja i skladištenje vodika (gorivni članci)	do 60	600	1 min- 24h+	sekunde	malo	30 – 40
Superkondenzator	0 – 0,3	10 - 20	1 ms – 1 min	ms	veliko	84 - 97
Toplinski sustavi za pohranu energije	0,1 - 250	80 - 250	1 h – 10 h	minute	veliko-umjereno	30 – 60

Veličina spremnika (snaga i energija) i željeni način rada (vrijeme odziva i vrijeme pražnjenja) upućuju na odabir neke od brojnih tehnologija spremnika. Prema veličini, spremnici energije se načelno mogu kategorizirati na sljedeći način:

- Veliki centralizirani spremnici (eng. *centralized, bulk energy storages*) veće snage (>10 MW), npr. tradicionalne reverzibilne HE
- Distribuirani lokalni spremnici (eng. *decentralized/distributed storages*) ugrađeni u srednjonaponskoj ili niskonaponskoj mreži (od nekoliko desetaka kW do cca. 10 MW), bliže centrima potrošnje ili OIE

- Mikro spremnici za kućanstva (eng. *micro-storages, residential storages, behind-the-meter storages*).

Spremnici u distribucijskoj mreži obavljaju širok spektar funkcija. U jednoj krajnosti, moraju biti sposobni vrlo brzo reagirati kako bi pratili trenutne promjene opterećenja u distribucijskoj mreži, dok u drugoj krajnosti, ako prate promjene proizvodnje, vrijeme odziva može biti dulje. Kako bi se ostvario željeni način rada, odabire se tehnologija s odgovarajućim karakterističnim vremenom odziva i vremenom pražnjenja.

Najznačajniji i u svijetu najrašireniji način za pohranu velikih količina električne energije još uvijek su crpno-akumulacijske hidroelektrane (prema podacima iz 2016. od cca 160 GW spremnika električne energije na svijetu, približno 98% su reverzibilne HE). Zbog praktičnosti poznatih tehnologija baterija i potencijalnog velikog broja korisnika u distribucijskoj mreži, u budućnosti se očekuje značajno povećanje udjela baterijskih sustava za pohranu električne energije [4], [5], [6].

2.2. Baterijski sustavi za pohranu električne energije

Baterijski sustavi za pohranu električne energije (u daljnjem tekstu: BSPEE) danas se širom svijeta koriste u distribucijskim mrežama, samostalnim elektroenergetskim „mikromrežama“ i kućanstvima, s raznolikim pogonskim zahtjevima od nekoliko kW do cca. 10 MW te upravljanim pražnjenjem na razini sekunde pa do nekoliko sati.

Ključni elementi baterijskog sustava za pohranu električne energije su: baterije, usmjerivač (ispravljač i izmjenjivač), sustav upravljanja i nadzora te pomoćni sustavi prema potrebi. Sustavi upravljanja i nadzora i pomoćni sustavi postaju složeniji s povećanjem kapaciteta baterija (veći broj baterijskih ćelija/blokova) ili kad se radi o baterijama koje rade na visokim temperaturama.

Na tržištu su dostupne različite izvedbe akumulatorskih baterija. Kao i kod odabira tehnologije spremnika električne energije, i pri odabiru izvedbe baterijskog spremnika potrebno je voditi računa o funkciji u elektroenergetskoj mreži te s njome treba uskladiti tehničke značajke baterije (npr. nazivna snaga, vrijeme odziva, vrijeme pražnjenja, broj ciklusa...). Tablica 2. u nastavku daje usporedbu bitnih tehničkih značajki i cjenovnih raspona za nekoliko izvedbi akumulatorskih baterija koje se koriste u velikim baterijskim postrojenjima [3].

Tablica 2. Pregled osnovnih značajki i cijena različitih izvedbi akumulatorskih baterija

	Olovne	NiCd	Li-ion	NaS	ZEBRA	VRB	ZnBr
TEHNIČKE ZNAČAJKE							
Dugotrajnost	≤20 god.	20+ god.	≤10 god.	≤15 god.	≤15 god.	≤20 god.	≤10 god.
Broj ciklusa (DoD 80%)	200-1.000	1.000-3.500	1.000-2.000	4.000-5.000	4.000-5.000	>12.000	2.000-3.000
Gustoća energije (Wh/kg)	15-40	15-40	70 – 250	100-120	100-120	50	75-85
Nazivni napon članka (V)	2	1,2	2,4 - 3,7	2	2,5	1,2	1,8
Korisnost (%)	70-82	60-70	>90	80-90	85-95	70-85	60-75
Vrijeme punjenje / pražnjenje	5 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1
Vrijeme odziva	<1 ms	<1ms	<1 ms	5 ms	5 ms	5 ms	5 ms
Samopražnjenje (%/dan)	0,033-0,3	0,067-0,6	≤ 0,1	0 (nova)	0	malo	veliko
Radna temperatura (°C)	-10 - +40	-40 - +50	-20 - +60	+310 - +350	+310 - +350	+20 - +40	+20 - +50
Pogodne za snage (MW)	≤10	< 30	≤ 2	≤ 50	≤ 5	≤ 15	≤1
Vrijeme pražnjenja	do 5 h	< 1h	≤ 2 h	2-8 h	2-8 h	4-8+ h	2-4 h
RASPON CIJENA							
Cijena baterije (€/kW)	100-500	400-900	150 – 1.000	3.000-4.000	150-1.000	500-1.300	300-700
Cijena baterije (€/kWh)	100-200	450-1.100	700 - 1.300	400-600	550-750	100-400	450-550

Osim razlika u tehničkim značajkama različitih izvedbi akumulatorskih baterija, posebno je izražena i razlika u rasponu cijena baterija (usporedni podaci prikazani su u Tablici 2.). Upravo radi prosječno visoke cijene po jedinici snage/energije, ali i vrlo velikih razlika cijena različitih izvedbi baterija, prije donošenja odluke o ulaganju u izgradnju baterijskog sustava za pohranu električne energije,

poželjno je i uobičajeno provesti detaljnu analizu dobiti i troška takvog ulaganja. Tablica 3. u nastavku daje pregled značajki BSPEE koje treba sagledati prilikom analize isplativosti ulaganja.

Tablica 3. Pregled značajki BSPEE bitnih za prethodne analize

Značajka BSPEE	Pripadni trošak	Napomena
Nazivna snaga, nazivna energija	Cijena baterije, usmjerivača, sustava vođenja i nadzora i ostale opreme	Uobičajeno kn/kWh za sustave s dugotrajnim pražnjenjima i kn/kW za sustave s kratkim pražnjenjima, ili kn/kWh/ciklus za sagledavanje troška uzimajući u obzir čitav životni vijek
Gustoća snage, gustoća energije	Trošak osiguranja prostora za smještaj BSPEE	Smještaj u postojeći, definirani prostor ili ulaganje u izgradnju novog prostora za smještaj, upravljivo odabirom odgovarajuće tehnologije
Učinkovitost	Trošak gubitaka: punjenja, pražnjenja i samopražnjenja	Ovisno o načinu rada, kod sustava s učestalim ciklusima punjenja i pražnjenja gubici samopražnjenja se često mogu zanemariti, ali kod sustava koji se sporadično koriste samopražnjenje može znatno utjecati na učinkovitost sustava
Vrijeme punjenja, skladištenja i pražnjenja	Trošak gubitaka, trošak upravljanja i nadzora	Koristan pokazatelj je omjer između vremena potrebnog za punjenje i vremena pražnjenja spremnika energije, neke tehnologije ne dozvoljavaju potpuno pražnjenje zbog kvara ili značajnog smanjenja životnog vijeka
Životni vijek	Trošak održavanja, trošak gubitaka	Ovisno o načinu rada, životni vijek se promatra u godinama ili ciklusima punjenja-pražnjenja
Istek životnog vijeka	Trošak demontaže, dekomisije, reciklaže	Mogućnosti reciklaže, dekomisija složenih sustava i opasnih kemijskih tvari
Ostalo	Trošak projektne pripreme, prilagođenja uvjetima na mjestu ugradnje, priključenja na mrežu, sigurnosti pogona, ...	U skladu s propisima, utjecaj izvedbe baterije (kemijski sastav, opasne tvari)

U nastavku rada obrađuju se mogućnosti primjene baterijskih sustava za pohranu električne energije. Zbog razvijene tehnologije proizvodnje, jednostavne ugradnje i održavanja te povoljnih tehničkih značajki, u području spremnika manjeg i srednjeg kapaciteta česta je primjena Li-ion baterija [4], [6].

3. PRIMJENA BATERIJSKIH SUSTAVA ZA POHRANU ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

3.1. Uloga baterijskog sustava za pohranu električne energije u distribucijskoj mreži

Nedvojbeno je da baterijski sustavi za pohranu električne energije imaju svoje mjesto u modernim distribucijskim sustavima. Promišljenim dimenzioniranjem i lociranjem BSPEE, svi subjekti prisutni na distribucijskoj mreži mogu imati koristi od njihovih usluga.

Uvodno je navedeno da osmišljavanje i razrada poslovnih modela primjene baterijskih sustava za pohranu električne energije u elektrodistribucijskoj mreži sazrijeva proteklih desetak godina. Ključne funkcionalnosti su odgovor na izazove pogona i razvoja elektroenergetske mreže na naponskim razinama srednjeg i niskog napona.

Uz podršku pogonu distribucijskog sustava, BSPEE najveću korist mogu osigurati vlasnicima OIE. Ključne uloge BSPEE uz obnovljive izvore energije su:

- Umanjenje nepredvidljivosti proizvodnje EE iz energije vjetra ili sunca (engl. *short-term fluctuations smoothing*) – smanjenjem brzih promjena proizvodnje OIE smanjuje se mogući nepovoljan utjecaj na mrežu, omogućuje kvalitetnije planiranje i veća učinkovitost proizvodnje ili veća pouzdanost i sigurnost otočnog rada (u mikromrežama ili gdje je regulirano)
- Odgađanje isporuke energije u mrežu, odnosno vremensko optimiranje isporuke energije u razdoblju više cijene (eng. *time-shifting* ili *capacity firming*)
- Smanjenje potrebe za isključenjem OIE (eng. *curtailment avoidance*) – pohranom proizvedene energije u vrijeme zagušenja izbjegava se potreba za isključenjem OIE
- Ostale napredne funkcije u EES-u, npr. doprinos osiguranju vršne snage, start u uvjetima raspada mreže (eng. *black-start*) i dr.

Funkcionalnosti za krajnje kupce danas su na tržištu dostupne u zaokruženim paketima baterijskog, upravljačkog i nadzornog sustava (eng. *residential, behind-the-meter storages*), a obuhvaćaju:

- Povećanje energetske učinkovitosti – smanjenjem vršnog opterećenja (eng. *peak shaving*) smanjuje se trošak električne energije proporcionalan vršnom opterećenju
- Osiguranje besprekidnog napajanja, tj. pouzdanosti i sigurnosti u vlastitoj mreži korisnika ili energetske samostalnosti odvojene mreže korisnika, a za veće korisnike uz navedeno npr. lokalnu kompenzaciju ili optimiranje potrošnje kroz kompenziranje vršne potrošnje (eng. *reactive power compensation*).

Na sličan način, funkcionalnosti BSPEE za operatora prijenosnog sustava su u području održanja stabilnosti EES-a (regulacije frekvencije: mogućnost primarne, sekundarne i tercijarne regulacije, regulacija napona), upravljanja zagušenjima (regulacija kuta i snage), dinamičkog uravnoteženja na sučelju mreža te funkcije „*black-start*“, odnosno usluge nužnog napajanja za proizvodne objekte koji se ne mogu pokrenuti bez mreže [3], [8], [9].

Detalnija razrada ključnih usluga koje BSPEE može pružiti operatoru distribucijskog sustava prikazana je u Tablici 4. u nastavku. Napravljen je presjek kroz nekoliko izvora podataka te strukturiran prema uobičajenim funkcionalnostima u elektrodistribucijskoj mreži. Uz opis usluga zadržani su uobičajeni termini na engleskom jeziku, radi lakšeg snalaženja u inozemnoj literaturi. U nastavku rada dodatno se razmatraju mogućnosti doprinosa BSPEE rješavanju ograničenja u distribucijskoj mreži, pri tome ne ulazeći u ono što je trenutno provedivo i regulatornim okvirom uređeno te neovisno o stupnju razvoja tržišta električne energije na distribucijskoj razini.

Tablica 4. Pregled usluga koje BSPEE može pružiti operatoru distribucijskog sustava

Usluga BSPEE	Usluga BSPEE, eng. izraz	Učestalost rada / vrijeme djelovanja / vrijeme odziva	Napomena
Upravljanje vršnim opterećenjem	<i>Peak shaving, capacity support, energy arbitrage²</i>	Povremeno, dnevno / do nekoliko sati / odziv unutar minute	U normalnom pogonu BSPEE može rasteretiti element ili dio mreže, na taj način smanjenjem vršnog opterećenja odgađa se potreba ulaganja u mrežu i povećava iskoristivost postojeće mreže, ključno područje za razvoj usluga fleksibilnosti
Doprinos regulaciji napona	<i>Voltage control</i>	Povremeno, dnevno / do nekoliko sati / odziv unutar minute	Usmjerivač u BSPEE može prema potrebi upravljati jalovom ili djelatnom snagom kako bi održao napon u zadanim granicama, na ovaj način povećava se sposobnost prihvata OIE i smanjuje broj isključenja zbog prenapona
Povećanje kvalitete napona i pouzdanosti napajanja	<i>Power quality support, quality of service support</i>	Povremeno, mjesečno / do nekoliko sati / odziv unutar sekunde	Skraćenje trajanja ili ograničenje prekida napajanja, moguć brz odziv na događaje u mreži, napajanje korisnika u izvanrednom pogonu (otočni rad značajnih korisnika ili mobilni izvor napajanja), privremena mjera do uspostave novog uklopnog stanja
Povećanje kvalitete napona	<i>Contingency grid support</i>	Povremeno, mjesečno / do nekoliko sati / odziv unutar sekunde	Za vrijeme rezervnog napajanja u poremećenom pogonu slabija su ograničenja na kvalitetu napona (dopušteni veći padovi napona nego u normalnom pogonu), BSPEE daje podršku pogonu mreže i podiže kvalitetu napona
Kompenzacija jalove snage	<i>Reactive power compensation</i>	Povremeno, dnevno / do nekoliko sati / odziv unutar minute	Moguće smanjenje gubitaka i rasterećenje mreže
Upravljanje kvalitetom napona na sučelju prema prijenosnoj mreži	<i>Power quality support</i>	Povremeno, dnevno / do nekoliko sati / odziv unutar minute	Skup mjera koje se koriste za usklađivanje pogonskih parametara na sučelju operatora

3.2. Odgoda ulaganja u pojačanje distribucijske mreže

Krajnja korist koju ODS-u donosi svaka od prethodno navedenih funkcionalnosti BSPEE je povećanje učinkovitosti poslovanja kroz odgodu ulaganja u pojačanje mreže (engl. *deferral of investment*), tj. povećanje iskoristivosti postojeće mreže (engl. *increased network utilization*).

Sva pogonska ograničenja u modernim distribucijskim mrežama mogu se ukloniti konvencionalnim ulaganjima u pojačanje mreže. Takav pristup može rezultirati velikim ulaganjima i istovremeno povećati problem slabog iskorištenja elemenata mreže. Primjerenom primjenom usluga BSPEE na učinkovitiji, i brži, način mogu se ukloniti ograničenja u mreži.

Od usluga navedenih u Tablici 4., za ODS su trenutno najzanimljivije usluge upravljanja vršnim opterećenjem te doprinosa regulaciji napona.

²Engl. *energy arbitrage*, sudjelovanje BSPEE na dan unaprijed tržištu električne energije, rad u generatorskom režimu u vrijeme visokih cijena, punjenje BSPEE u vrijeme niskih cijena električne energije na tržištu.

A. Upravljanje vršnim opterećenjem

Tradicionalno se razvoj mreže planira na način da tehničke značajke elemenata zadovoljavaju dugoročni porast opterećenja (do 20 godina), pri čemu se svi elementi mreže dimenzioniraju za maksimalno opterećenje. Iskustva HEP ODS-a, kao i drugih elektrodistribucijskih tvrtki, pokazuju da je većina distribucijske mreže najveći dio vremena iskorištena značajno ispod nazivnog kapaciteta, a blizu preopterećenja ili preopterećena uglavnom u vrlo kratkom dijelu dana, često i u kratkom razdoblju godine (npr. ljetna vršna opterećenja u turističkim središtima uobičajeno u prvoj polovici kolovoza). Dimenzioniranje elemenata mreže za rijetka i kratkotrajna vršna opterećenja nema pozitivan utjecaj na učinkovitost poslovanja ODS-a.

Pristup rješavanju ovog problema kreće od analize krivulje opterećenja, uključujući analizu trajanja vršnog opterećenja te rekapitulacije tehničkih, pogonskih i regulatornih i zakonskih ograničenja. Nužno je precizno utvrditi razdoblje u kojem postojeća mreža ne zadovoljava potrebe te hoće li se problem u budućnosti pogoršavati (dalji porast opterećenja ili daljnji porast trajanja vršnog opterećenja) ili će se ublažiti tradicionalnim pogonskim rješenjima (promjena uklopnog stanja, pojačanje mreže kroz planirani razvoj, prijelaz na 20 kV). Moguća tehnička rješenja vrednuju se kroz analize troškova i dobiti i studije izvodljivosti. Pri tome jedno od tehničkih rješenja može biti i ugradnja BSPEE.

Radi smanjenje vršnog opterećenja u dijelu distribucijske mreže, BSPEE se priključuje na 10(20) kV sabirnice transformatorske stanice 35/10(20) kV ili niskonaponske sabirnice transformatorske stanice TS 10(20)/0,4 kV i pohranjuje energije u razdoblju slabijeg opterećenja, a u doba visokog opterećenja isporučuje pohranjenu energiju i tako smanjuje vršno opterećenje.

Također, s istim se ciljem mogu se koristiti i usluge fleksibilnosti. Te se usluge u osnovi temelje na istim funkcionalnostima koje BSPEE može nuditi operatorima distribucijskog sustava (opisane u Tablici 4.), ali bi ih na budućem tržištu električne energije na distribucijskoj razini mogli pružati i drugi subjekti, pravne ili fizičke osobe, u ugovorenim vremenskim blokovima i prema ugovorenim pogonskim parametrima. Usluge fleksibilnosti područje su brojnih istraživanja upravo zbog koristi koje mogu donositi i operatorima sustava i korisnicima mreže [10], [11].

Važno je napomenuti da mnoge elektrodistribucijske tvrtke danas gledaju na BSPEE kao privremeno rješenje neposrednih pogonskih problema, i to u uvjetima:

- Pogonskih ograničenja kada je neizvjesna dugoročna perspektiva porasta opterećenja i porasta trajanja opterećenja
- Izvanrednog pogonskog ograničenja kad treba premostiti vrijeme potrebno za projektiranje ili nabavu i ugradnju opreme za pojačanje mreže (nekoliko mjeseci) ili vrijeme do realizacije drugog redovitog i planskog ulaganja (nekoliko godina),
- Kada je nužno povećati kvalitetu, pouzdanost i sigurnost napajanja korisnika mreže.

B. Doprinos regulaciji napona

Drugi problem s dimenzioniranjem i kapacitetom mreže je povremeno povišenje napona iznad najvećeg dopuštenog iznosa do kojeg dolazi zbog proizvodnje OIE uzduž slabije opterećenih niskonaponskih ili srednjonaponskih vodova, tj. zbog tokova snage iz dubine mreže prema pojnim točkama.

Kako bi se odgodila ulaganja u pojačanje mreže, problem porasta napona može se rješavati ugradnjom BSPEE koji će za vrijeme niskog opterećenja pohranjivati električnu energiju i tako povećavati ukupno opterećenje, a za vrijeme višeg opterećenja preuzimati dio opterećenja i rasteretiti distribucijsku mrežu. U ovom slučaju, BSPEE se priključuje na srednjonaponsku ili niskonaponsku mrežu u blizini distribuiranog izvora koji uzrokuje probleme u mreži.

4. IZAZOVI, TREND OVI I VIZIJE RAZVOJA SUSTAVA ZA POHRANU ELEKTRIČNE ENERGIJE

Brojni razvojni planovi i strateški dokumenti svjedoče interesu dionika za daljnji razvoja sustava za pohranu električne energije i ukazuju da bi spremnici električne energije mogli imati značajno mjesto u elektroenergetskoj budućnosti EU. Kod spremnika energije u širem smislu nastoje se procijeniti razvojni potencijali svih tehnologija (ne samo baterijskih), a posao usložnjavaju velike razlike u tehnologijama, troškovima, korisnosti, veličini i ostalim značajkama. Korist od spremnika električne energije se promatra kroz doprinos fleksibilnosti, pouzdanosti i učinkovitosti elektroenergetskog sustava, mogućnosti većeg

prihvata OIE i energetske učinkovitosti općenito, ali se očekuje i doprinos razvoju novih rješenja, posebice u prometu i zgradarstvu. Zbog toga se promovira otvorena interdisciplinarna rasprava.

Konkretna prepreka široj upotrebi BSPEE utvrđeni su na području tehnologije te regulatornog i tržišnog okvira [2], [5], [12], [13].

Radi sustavnog pristupa tehnološkim izazovima razvoja na razini europskih stručnih udruženja izrađen je razvojni plan spremnika energije do 2030. g [2], sukladan sa strateškim planom razvoja energetske tehnologije EU (ETIP, European technology and innovation platform for smart networks and energy technologies [1]). Među glavnim ciljevima su unaprjeđenje tehnologije i proizvodnje te standardizacija – usmjereni bržem stvaranju preduvjeta za širu primjenu spremnika različitih veličina i funkcionalnosti u distribucijskim mrežama, ali i provedba demonstracijskih projekata, studija i analiza koji će pomoći razumijevanju uloge BSPEE u modernim elektroenergetskim mrežama. Najveća zapreka široj primjeni BSPEE je još uvijek visoka cijena baterija. EU je postavila ambiciozni cilj [2] postizanja cijene baterije (za primjene u elektroenergetskim mrežama) ispod 150 EUR/kWh (za bateriju cca 100 kW), s učinkovitosti 90% i životnim vijekom od 1.000 ciklusa (punjenja – pražnjenja) do 2030. godine.

Sustavi za pohranu električne energije u distribucijskoj mreži nisu interes samo operatora sustava, već i ostalih sudionika na tržištu električne energije. Kako bi se zaštitili interesi svih dionika na budućem tržištu, bit će potrebno revidirati regulatorne okvire te precizno definirati tržišne modele, uloge i odgovornosti svih dionika. Zbog vlasništva nad mrežom i raspolaganja pogonskim podacima, za očekivati je da će u ispitivanju primjene spremnika energije prednjačiti operatori distribucijskih sustava, što im treba regulatorno i omogućiti. Pri tome je izrazito značajno da aktivnosti operatora sustava ne narušavaju uspostavljene tržišne odnose. Također, postojeći tarifni sustavi trebat će se prilagoditi konceptima zrele napredne mreže u kojoj se potiče energetska učinkovitost na svim razinama, veći prihvati OIE, ugradnja BSPEE, upravljanje potrošnjom, pružanje usluga fleksibilnosti i općenito aktivno sudjelovanje svih korisnika mreže na tržištu.

Procjenjuje se da će poslovni modeli brže zaživjeti u zemljama u kojima su elektroenergetske mreže „naprednije“, s visokim udjelom OIE i razvijenijim sustavima za prikupljanje, obradu i razmjenu informacija o značajkama pogona mreže te s učinkovitom regulativom i pravnom zaštitom.

Dosadašnja iskustva ukazuju da je lakše produbiti odnos povjerenja i pojačati interakciju između operatora mreže, korisnika i (budućih) pružatelja usluga fleksibilnosti, dok je nešto teže je organizirati rad tržišta električne energije na distribucijskoj razini, a trenutačno je najteži dio osigurati rješenja BSPEE po cijeni koja i praktično može usluge BSPEE učiniti profitabilnima, bez značajnog povećanja troškova za kupce električne energije [7],[10],[11].

5. ZAKLJUČAK

Baterijski sustavi za pohranu električne energije su tehnološka koncepcija koji pokazuje veliki potencijal u masi drugih tehnoloških koncepcija u elektroenergetici. U tradicionalnoj mrežnoj paradigmi, uravnoteženje proizvodnje i potražnje se osiguravalo upravljanjem snagom velikih proizvodnih objekata, a dostava energije kupcima se osiguravala ulaganjima u mrežu dimenzioniranu za maksimalni protok snage. Danas se takav pristup smatra tradicionalnim i neučinkovitim, a tehnička rješenja poput BSPEE opisanih u radu predstavljaju jedno od mogućih uporišta novog pristupa. Primjena BSPEE za regulaciju napona ili upravljanja vršnim opterećenjima u funkciji odgađanja pojačanja mreže svakako je potrebna i treba se detaljnije analizirati kroz studije izvodljivosti i uspoređivati s tradicionalnim rješenjima. Širu primjenu usluga BSPEE trenutačno priječi još uvijek visoka cijena baterijskih spremnika te nepripremljenost regulatornog okvira za nove uloge u distribucijskom sustavu. Daljnji tehnološki razvoj te razvoj zaokruženih tehničkih kompleta spremnih za ugradnju (eng. „*plug-and-play, off-the-shelf*“) rješenja za korisnike dovest će do pada cijene baterijskih sustava za pohranu električne energije. Veća isplativost ugradnje BSPEE neminovno će potaknuti regulatorne promjene nužne za aktivno sudjelovanje BSPEE na tržištu električne energije. Rezultat promjena bit će učinkovitiji sustav i korist za sve dionike.

Iako je za sada neizvjesna skora uloga BSPEE na hrvatskom tržištu električne energije svakako se treba nastaviti uključivati u pilot projekte, prikupljati iskustva, a u konkretnim primjerima razvoja mreže analizirati tehničke mogućnosti primjene i poslovne modele.

6. LITERATURA

- [1] „Final 10y ETIP SNET R&I roadmap 2017-2026. support to R&D development strategy in the area of smart grid and energy storage“, EC, grupa autora, 2016.
- [2] „EASE/EERA recommendations Energy storage development roadmap 2030“, EASE+EERA, 2013.
- [3] „Baterijski sustavi za pohranu električne energije i mogućnost njihove primjene u distribucijskoj mreži HEP ODS-a“, Končar-INEM, 2018.
- [4] „Battery storage for renewables, market status and technology outlook“, IRENA report, 2015.
- [5] „Decentralized storage impact on future distribution grids“, EURELECTRIC report, 2012.
- [6] „Tracking clean energy progress 2017“, IEA, 2017.
- [7] F.Teng. i sur. „Business case for distributed energy storage“, CIRED 24th. Int.Conference, Glasgow, 2017.
- [8] Z.Luburić, H.Pandžić, „Uloga spremnika energije u elektroenergetskom sustavu“, HRO CIGRE, 12. simpozij o sustavu vođenja EES, Split 2016.
- [9] Z.Zbunjak, H.Pandžić, „Integracija baterijskog spremnika energije u EES za osiguranje n-1 kriterija sigurnosti“, HRO CIGRE, 13. savjetovanje, Šibenik, 2017.
- [10] M.Skok T.Baričević, „Pomoćne usluge i usluge u distribucijskoj mreži u vrtlogu novih značajki pogona distribucijske mreže, HRO CIGRE, 12.savjetovanje, Šibenik 2015.
- [11] „Analize utjecaja nove EU energetske politike od interesa za HEP grupu i prijedlog prilagodbe“, FER 2018.
- [12] „The future role and challenges of energy storage“, EC DG ENER Working paper, 2013.
- [13] „Energy storage – role of electricity“, EC SWD(2017) 61 Brisel, 2017.
- [14] <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/technology-and-innovation/energy-storage>
- [15] Electricity storage handbook, DOE/EPRI“, SANDIA Labs report, 2015.
- [16] <http://siren.fer.hr/>
- [17] <http://www.batstorm-project.eu/downloads>
- [18] <http://www.grid4eu.eu/results/grid4eu-deliverables.aspx>
- [19] <http://www.gridplusstorage.eu/deliverables>
- [20] Baterijski spremnici energije (Energy storage), brošure, publikacije, prezentacije proizvođača