

Kristijan Jurilj  
HEP ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka  
[kristijan.jurilj@hep.hr](mailto:kristijan.jurilj@hep.hr)

Nikola Bogunović, dipl.ing.el  
HEP ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka  
[nikola.bogunovic@hep.hr](mailto:nikola.bogunovic@hep.hr)

Dr.sc. Vitomir Komen, dipl.ing.el  
HEP ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka  
[vitomir.komen@hep.hr](mailto:vitomir.komen@hep.hr)

Matej Šimunović, mag.ing.el  
HEP ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka  
[matej.simunovic@hep.hr](mailto:matej.simunovic@hep.hr)

## TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA NEOPTIMALNOG KORIŠTENJA SPREMNIKA ELEKTRIČNE ENERGIJE U NN MREŽI

### SAŽETAK

Skladištenje energije iz električne mreže odnosi se na postupak za spremanje el. energije unutar ili izvan elektroenergetskog sustava, a isto je izuzetno korisno uz korištenje intermitentnih izvora energije poput fotonaponskih sustava i vjetroelektrana koji su po prirodi nepredvidivi jer se količina električne energije koju proizvode tijekom vremena znatno se mijenja i veoma ovisi o nasumičnim čimbenicima vremenskih uvjeta. Skladištenje energije je način kako se može prilagođavati proizvodnja prema potrošnji električne energije, koja se tijekom vremena mijenja, ali i povećavati učinkovitost, smanjivati troškovi i olakšavati upotreba intermitentnih izvora energije kod korisnika mreže.

Namjera rada je prikaz tehno-ekonomske analize neoptimalnog korištenja spremnika el. energije u NN mreži od strane korisnika mreže, te prikazati glavne funkcionalnosti baterijskih spremnika koji se primjenjuju ili bi se mogli primjenjivati kao elementi distributivne mreže.

**Ključne riječi:** baterijski spremnik, potrošnja, snaga, trošak, optimizacija

## TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF NON-OPTIMAL USE OF ENERGY STORAGE SYSTEM IN LV NETWORK

### SUMMARY

Storage of energy from the electrical grid refers to the procedure for storing electricity. energy inside or outside the electricity system, and is also extremely useful with the use of intermittent energy sources such as photovoltaic systems and wind farms, which are unpredictable in nature because the amount of electricity they produce changes over time and is highly dependent on random weather factors. Energy storage is a way to adapt production to electricity consumption, which changes over time, but also increases efficiency, reduces costs, and facilitates the use of intermittent energy sources by network users.

The purpose of this paper is to present a techno-economic analysis of sub-optimal use of the el. energy in the LV network by the network users, and demonstrate the main functionalities of the battery tanks that are or may be used as elements of the distribution network.

**Key words:** battery storage, consumption, power, cost, optimization

## 1. UVOD

U elektroenergetskom sustavu u svakom trenutku proizvodnja električne energije trebala bi biti jednaka potrošnji. Zbog karaktera električne energije, odnosno nemogućnosti njene pohrane i nepredvidivosti potrošnje, tu je jednakost izrazito teško održavati. Tehnološki razvoj i sve šira primjena izvora energije koji dolaze iz vjetroelektrana i fotonaponskih elaktrana, tijekom proteklog razdoblja potaknuli su značajni rad na razvoju spremnika el. energije u svrhu rješenja koje olakšava održavanje ravnoteže.

U isto vrijeme s druge strane, neovisno i neopterećeno o proizvodnji, imamo korisnike mreže koji s pravom očekuju održanje visokog standarda kvalitete opskrbe električnom energijom i ne mare da pogonsko stanje sve naprednije distribucijske mreže koja je prepuna sudionika, promjenjivih tokova snaga, pogonskih događaja, podataka i informacija. Za operatora sustava to rezultira specifičnijim i složenijim vođenjem pogona, posebnim pristupom održavanju mreže i kao i planiranju razvoja iste.

U novije vrijeme, kao moguće rješenje navedenih izazova razmatra se i pristupa se primjeni spremnika električne energije. Spremnici el. 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) [1].

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. Postoje mehanički, električni, kemijski i elektrokemijski spremnici energije [2].

## 2. BATERIJSKI SPREMNICI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Kao što je spomenuto, u elektroenergetskom sustavu najidealnije bi bilo kada bi u svakom trenutku proizvodnja električne energije mora biti jednaka potrošnji, a što je teško za održavati, te se stoga spremnik el. energije definira kao element EE mreže uz pomoć kojega možemo ostvariti pomak u vremenu između proizvodnje i potrošnje el. energije, tj. uz pomoć spremnika pohranjenu energiju možemo po potrebi vraćati u mrežu ili je iskoristiti za svoje potrebe.

Baterijski spremnici pripadaju kategoriji elektrokemijskih spremnika, a donedavno najčešće korištene baterije bile su olovne koje je karakterizirala visoka pouzdanost, relativno niska cijena i dobre performanse pri niskim temperaturama kao visoka specifična snaga. S druge strane, sporo se pune, te su niske specifične energije, što znači da za potrebe više energije i njihove dimenzije rastu [3].

Trenutno najpopularniji tehnologija su litij – ionske baterije. Ono što je znatno poboljšanje u odnosu na olovne baterije je da se kratko pune, karakterizira ih visoka specifična energija, dug životni vijek bez potrebe za održavanjem, visoka efikasnost. Naravno, kao i kod drugih tehnologija postoje negativne strane, kao činjenice da je pri niskim temperaturama punjenje jako teško, a pri visokim temperaturama, isto kao i pri visokim naponima, dolazi do degradacije baterije. Što se više ciklusa punjenja – pražnjenja odvije, to kapacitet baterije više opada.

Investicije u baterijske spremnike ovise o tehnologiji, a prikazani su na tablici br. 1 koja pokazuje informativno raspon kretanje cijena [4]

Tablica I Pregled cijena različitih izvedbi baterijskih spremnika

Tehnologija	Učinkovitost (%)	Ener. gustoća (Wh/kg)	Invest. cost (€/kW)	Invest. cost (€/kWh)
Pb	70-90	30-50	350	300
Na-S	80-90	150-240	370	300
Na-Ni-Cl	85-90		480	500
Ni-Cd	60-65	50-75	250	780
Li-ion	85-90	75-200	450	800
VRFB	85-90		500	460

Naravno, nisu samo iznosi investicija čimbenici koji karakteriziraju i odlučuju u odabiru baterijskih spremnika, nego su tu i osnovne tehnološke veličine koje definiraju spremnike električne energije i koji bi trebali biti prioritetni u odnosu na investicijsku vrijednost, a to su:

- Očekivani životni vijek – dugotrajnost
- Korisnost – omjer između el. energije predane sustavu za vrijeme pohrane i predane mreži za vrijeme pražnjenja,
- Očekivani broj ciklusa punjenje – pražnjenje (do 80%),
- 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
- Gustoća energije – količina energije koja se može pohraniti u kilogramu ili kubnom metru spremnika, bitna je za dimenzioniranje prostora za smještaj spremnika
- Nazivna snaga – najviša očekivana izlazna snaga sustava za pohranu energije
- Samopražnjenje – gubitak pohranjene energije nezvan uz cikluse punjenja i pražnjenja

Baterijski spremnici u mreži imaju vrlo širok spektar funkcija, osim kao ispomoć u mreži operatora sustava pri održavanju ravnoteže sustava, spremnici se mogu koristiti i za smanjenje troškova korisnika mreže. Naime, u trenucima niske potražnje i cijene, baterijski spremnik bi se punio, dok bi u trenucima isporučivao „*skladištenu*“ energiju mreži ili samom korisniku mreže, jednostavno se može povući paralela s principom rada reverzibilne hidroelektrane. Uz smanjenje potrošnje u smislu financijske uštede, može pomoći pri rezanju špice ostvarene vršne obračunske snage.

Korisnici mreže s instaliranim obnovljivim izvorima el. energije i baterijskim spremnicima el. energije povećavaju svoju funkcionalnost u smislu povećanja energetske učinkovitosti i osiguranja neprekidnog napajanja, tj. pouzdanosti i sigurnosti u vlastitoj mreži, ali na sličan način mogu operatoru sustava pružiti neke od ključnih usluga (ovisno o „*veličini*“ korisnika mreže i spremnika el. energije) 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.

Neke od tih usluga su npr.:

- Povećanje kvalitete napona i pouzdanosti napajanja,
- Upravljanje vršnim opterećenjima,
- Doprinos regulaciji napona,
- Kompenzacija jalove energije,
- Sastavni dio virtualne elektrane.

Krajnja korist koju operatoru sustava donosi neka od prethodno navedenih usluga je povećanje učinkovitosti poslovanja kroz odgodu ulaganja u pojačanje mreže, ali također pred operatora stavljaju znatne izazove s kojima se do sada nije susretao u većoj mjeri.

### 3. ANALIZA KORIŠTENJA SPREMNIKA EL. ENERGIJE KORISNIKA MREŽE

U nastavku ćemo pokazati kratku analizu investicije spremnika jednog hotela s planiranim spremnikom od 600 kW u konačnoj fazi, ali s početnim kapacitetom od 100 kW i fotonaponskom elektranom za pokrivanje vlastite potrošnje, a za glavni cilj imaju uštedu el. energije, pa tek u budućnosti možebitno pružanje usluge operatoru sustava.

Potrošnja i troškovi hotela s fotonaponskom elektranom optimirani su ovisno o različitim cijenama baterijskog spremnika [5]

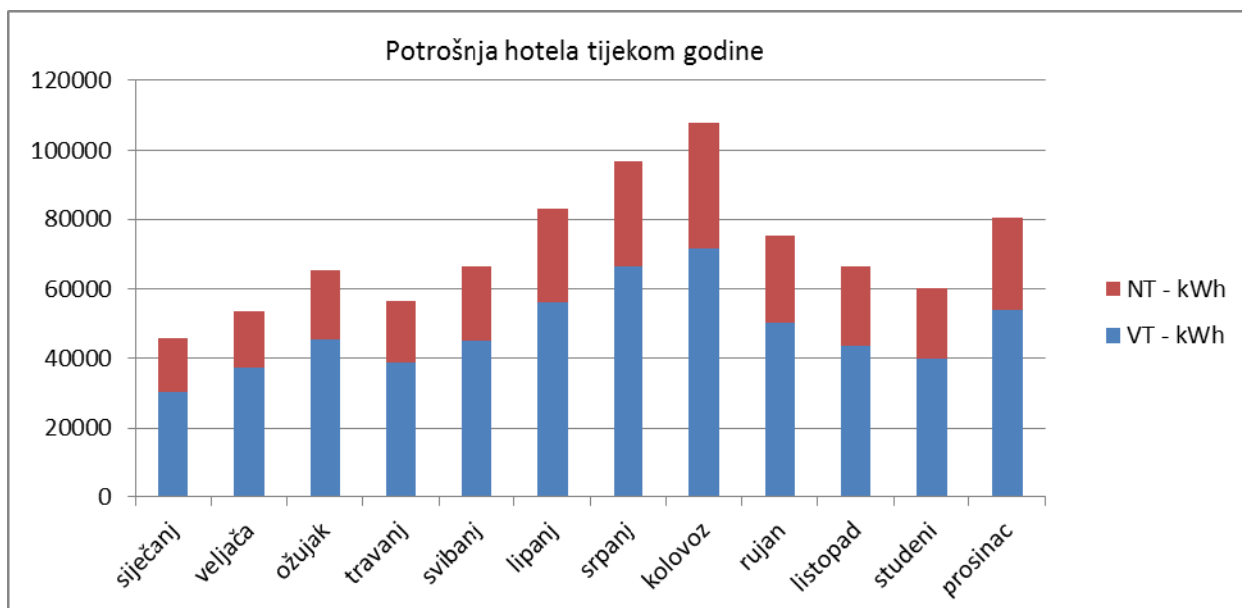
Tablica 2 Cijene baterijskog spremnika

Naziv	Cijena po kW	Cijena po kWh
Visoka (Li-ion)	450	200
Niska (Pb)	150	100

### 3.1. Cijena spremnika

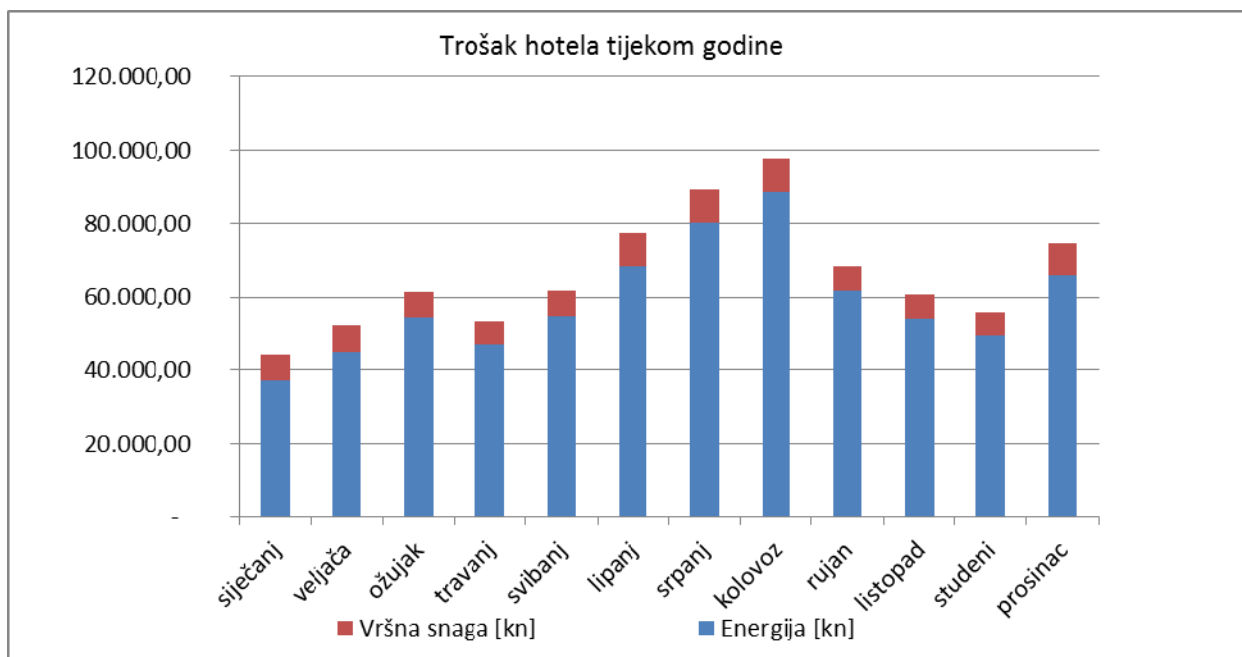
Uz pretpostavku da cijena instalirane snage prema tablici I iznosi 450 €/kW, a energije 800 €/kWh. Troškovi baterijskog spremnika uz tolike cijene, ne bi pomogli u smanjenju troškova, već bi dodatno povećali troškove hotela. Stoga je optimalan baterijski spremnik za ovaj hotel da nema instalacije baterijskog spremnika.

Potrošnja hotela veća je za vrijeme ljeta u odnosu na zimu, kao što se vidi na slici 1. Najveća potrošnja javlja se u kolovozu, kao posljedica korištenja rashladnih uređaja, a najmanja je u siječnju kada je hotel većim dijelom neiskorišten. Također je iz grafa moguće iščitati kolika je mjesečna potrošnja neovisno o dnevnoj tarifi. Tijekom dana, u doba više tarifne stavke potrošnja je veća nego po noći u doba niže tarifne stavke.



Slika 1. Pregled razdiobe potrošnje hotela bez spremnika

Sukladno tome na slici 2 vidljivo je kako su troškovi tijekom godine najveći u mjesecu najveće potrošnje – kolovozu. Financijski troškovi energije znatno su veći u odnosu na troškove vršne snage.



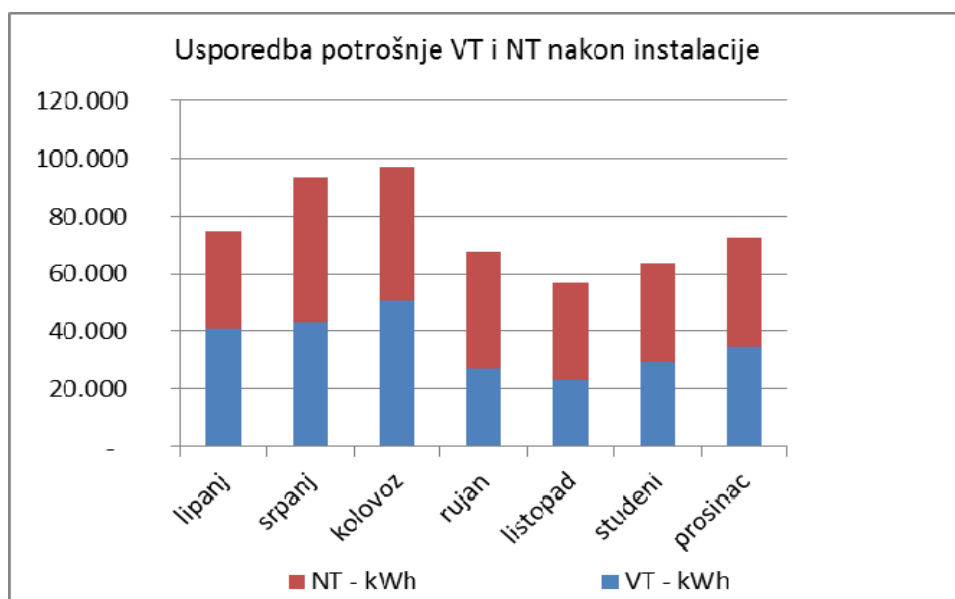
Slika 2. Pregled troškova hotela za EE bez spremnika

Iz svega prikazanog, razvidno je da spremnik energije uz instalaciju fotonaponske elektrane ima za zadatak smanjiti troškove hotela u dijelu vršne snage i troškova energije.

Trošak instalacije baterijskog spremnika Li-ion za prvu fazu u kojoj će biti instalirano 100 kW procjenjuje se na 450.000,00 kn, a u konačnoj verziji procjenjuje se da bi troškovi za energiju i troškovi za snagu uz troškove instalacije spremnika iznosili znatno preko 2.000.000,00 kn, dok je procijenjeni trošak instalacije za spremnik Pb tehnologije oko 1.000.000,00 kn

### 3.2. Analiza uštede nakon instalacije

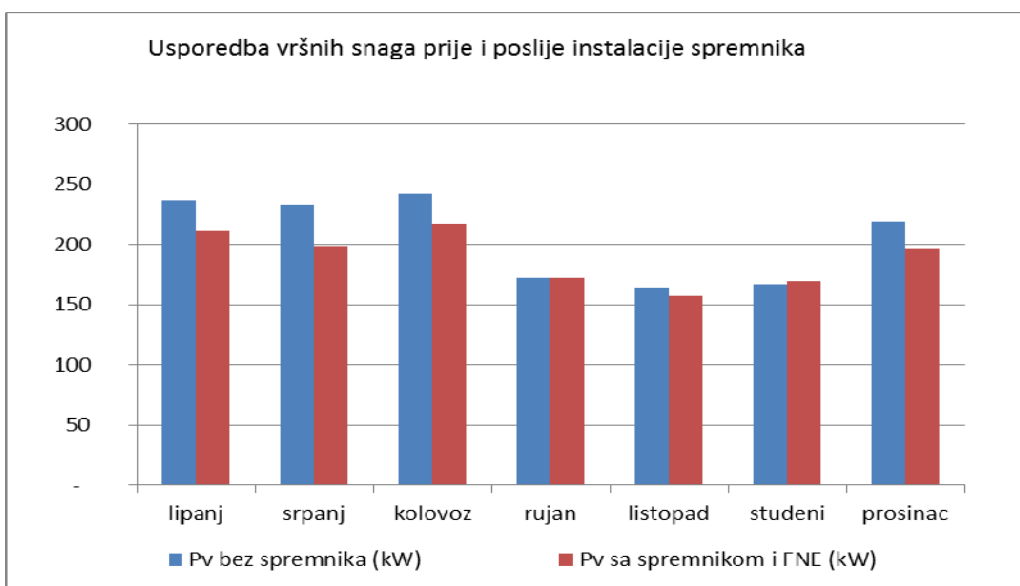
Nakon instalacije i puštanja u pogon spremnika koji radi na principu reverzibilne elektrane, što znači da se u doba niže tarifne stavke puni iz distributivne mreže, a tijekom više tarifne stavke predmetna energija troši se za vlastite potrebe u instalaciji korisnika mreže vidljiv je porast potrošnje energije u NT, a smanjenje potrošnje u VT .



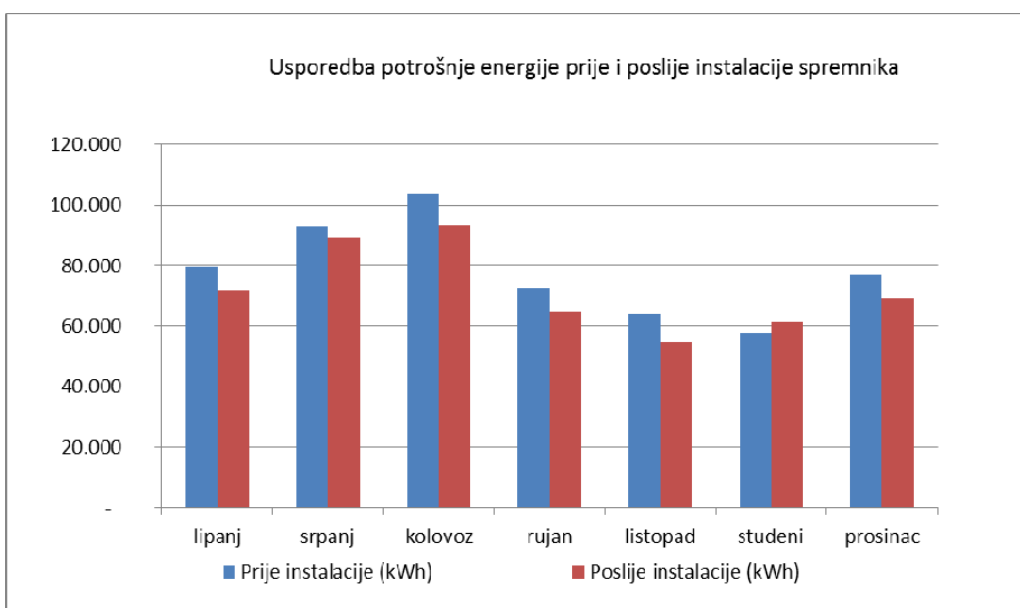
Slika 3. Pregled razdiobe potrošnje hotela nakon instalacije spremnika

Ako bi promjenu angažmana tarifnih stavki za energiju pretočili u financijske pokazatelje usporedbe 6 istovjetnih mjeseci kada nije bilo spremnika energije i poslije kada je spremnik el. energije pušten u pogon vidljiva je ušteda od 7,78% što s aspekta energije i ušteda od 7,80% iz aspekta angažirane snage, uzimajući dodatnu uštedu koja je morala nastati korištenjem fotonaponske elektrane koja ima za cilj isključivo korištenje proizvedene energije u vlastite svrhe.

Navedenu činjenicu da se potrošnja el. energije i angažirane snage nakon instalacije spremnika ipak nije smanjila pokazuje grafovi na slikama 4 i 5 iz kojih se nedvosmisleno može zaključiti da su pojavile uštede u navedenim parametrima troškova, ali prema svemu sudeći ne u mjeri koja se očekivala.



Slika 4. Usporedba angažirane snage hotela prije i poslije instalacije spremnika



Slika 5. Usporedba potrošnje energije hotela prije i poslije instalacije spremnika

Ako bi krenuli u još dublju analizu i pokušaj otkrivanja razloga velike investicije postavljanja fotonaponske elektrane i spremnika energije koji bi radio kao reverzibilna elektrana isključivo za svoje potrebe, a relativno male i/ili nikakve uštede na potrošnji električne energije trebamo sagledati svaki pojedinačni dan i režim rada korisnika mreže i instaliranog spremnika.

Ako pogledamo graf na slici br. 6 koji obuhvaća potrošnju predmetnog hotela kroz 4 dana tijekom ljeta, lako je odmah uočiti razlog neostvarenja planirane uštede na el. energiji i pogotovo na angažiranoj snazi – riječ je o neoptimalnom i neadekvatnom korištenju spremnika el. energije.



Slika 6. Dijagram dnevne potrošnje hotela korisnika mreže nakon instalacije spremnika el. energije

Korisnik mreže puni spremnik energije u doba niže tarifne stavke, a u potpunosti ga aktivira tijekom jutarnjih sati za potrebe pokrivanja potrošnje el. energije u pripremi hrane ne obazirući se na početak korištenja kao niti na trajnost akumulirane energije.

Naime,

- korisnik svoj spremnik električne energije počinje prazniti za vrijeme niže tarifne stavke,
- korisnik u potpunosti angažira veliku količinu energije iz spremnika u kratkom roku,
- korisnik tijekom dana, a prije ponovnog početka niže tarifne stavke angažira snagu koju je angažirao i prije instalacije spremnika,
- korištenje uskladištene energije nije optimizirano.

#### 4. ZAKLJUČAK

Za cijene baterijskih spremnika slobodno možemo reći da su i dalje dosta visoke. Povrat uloženi sredstava je upitan ne samo u srednjoročnom nego i u dugoročnom razdoblju, naravno ukoliko samo gledamo korištenje u vlastite svrhe.

Ulaganje u spremnike energije postaje isplativa tek pri nižim troškovima nabavke spremnika kao i instalacije, no i tada je kao što se vidi iz analize ušteda relativno niska. Međutim, kako smo prije kroz sam rad na uvodnom dijelu spomenuli, spremnik energije korisnika mreže donosi dodatnu fleksibilnost i omogućuje mu sudjelovanje na tržištu pomoćnih usluga pružanjem rezerve, zatim pružanje usluge crnog starta, sastavni dio virtualne elektrane ili regulacije napona u mreži. Ali, svakako sam za sebe u ovom trenutku još uvijek nije isplativ.

#### 5. LITERATURA

- [1] Igor Đurić, Tanja Marijanić, Javor Škare, „Baterijski spremnici el. energije u distribucijskoj mreži“, 6(12) savjetovanje CIRED, Opatija, Hrvatska, svibanj 2018.
- [2] Global dana, Grid-connected battery energy storage system, update 2018, svibanj 2018,
- [3] Hrvoje Pandžić, Ivan Pavić, Vedran Bobanac, predavanje iz predmeta Energy Storage: 3. Batteries, svibanj 2019.
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/Electricity\\_pricing#cite\\_note-2](http://en.wikipedia.org/wiki/Electricity_pricing#cite_note-2); T.Capuder, „Pogon distribucijskog sustava“, HR CIRED seminar, 2015
- [5] Nikolina Čović, Hrvoje Pandžić, „Optimalna investicija hotela u punionicu za el. vozila i baterijski spremnik – stohastički pristup“, CIGRE, Šibenik, studeni 2019.