

ZNAČAJ PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA IZVORA BESPREKIDNOG NAPAJANJA U TRANSFORMATORSKIM STANICAMA VN(SN)/SN

THE PREVENTIVE MAINTENANCE IMPORTANCE OF UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLIES IN TRANSFORMER STATIONS HV(MV)/MV

Miroslav DOČIĆ, Elektrodistribucija Srbije, Ogranak Leskovac, Srbija
Nikola CVETANOVIĆ, Elektrodistribucija Srbije, Ogranak Leskovac, Srbija
Aleksandar ANĐELKOVIĆ, Elektrodistribucija Srbije, Ogranak Leskovac, Srbija

KRATAK SADŽAJ

Izvor besprekidnog napajanja predstavlja jedan od najznačajnijih elemenata u sistemu jednosmernog razvoda u transformatorskim stanicama (TS) VN(SN)/SN. Njegovo preventivno održavanje je od velike važnosti za pravilan rad TS kako u normalnim tako i u havarijskim pogonskim uslovima. Nepravilan i nepouzdan rad izvora besprekidnog napajanja može dovesti do oštećenja vitalnih delova postrojenja što u konačnom može uzrokovati duži prekid u snabdevanju kupaca električnom energijom, havarije i uništenja opreme u TS.

U radu su prikazani rezultati preventivnog održavanja akumulatorskih baterija u TS 110/X kV i TS 35/10 kV na teritoriji ED Leskovac. Najpre je dat kratak pregled aktuelnih standarda koji razmatraju problematiku održavanja akumulatorskih baterija u elektroenergetskim postrojenjima. Na osnovu obavljenih periodičnih pregleda, kontrolnih merenja i kapacitivne probe, izvršena je analiza rada svake akumulatorske baterije ponaosob. Nakon toga, izvršena je revitalizacija svih akumulatorskih baterija sa smanjenim kapacitetom (manjim od 80%) i prikazani dobijeni rezultati. Na kraju je data analiza stanja baterije pre i posle revitalizacije.

Ključne reči: izvor besprekidnog napajanja, akumulatorska baterija, preventivno održavanje, kapacitivna proba, revitalizacija baterije.

SUMMARY

The uninterruptible power supply is one of the most important elements in the DC auxiliary power system in transformer stations (TS) HV(MV)/MV. Its preventive maintenance has a great importance for the proper TS operation both in normal and emergency operation condition. Irregular and unreliable uninterruptible power supplies operation can lead to vital part damage of the plant which can ultimately cause a longer interruption in the electricity supply of the customers, damage and equipment destruction in the TS.

In this paper, the results of rechargeable batteries preventive maintenance in TS 110/X kV and TS 35/10 kV are presented. First, a brief overview of current regulative which considers the issue of rechargeable batteries preventive maintenance in power distribution plants is given. On the basis of periodic inspections, control measurements and capacity testing, the operation analysis of each battery is performed. Then, all batteries with reduced capacity (less than 80%) were revitalized and obtained results are presented. Finally, a battery condition analysis before and after revitalization is given.

Key words: uninterruptible power supply, rechargeable battery, preventive maintenance, capacity testing, battery revitalization.

Miroslav Dočić, Elektrodistribucija Srbije, Ogranak Leskovac, Stojana Ljubića 16, 16000 Leskovac, Srbija, miroslav.docic@ods.rs
Nikola Cvetanović, Elektrodistribucija Srbije, Ogranak Leskovac, Stojana Ljubića 16, 16000 Leskovac, Srbija, nikola.cvetanovic2@ods.rs
Aleksandar Andelković, Elektrodistribucija Srbije, Ogranak Leskovac, Stojana Ljubića 16, 16000 Leskovac, Srbija, aleksandar.andjellkovic@ods.rs

UVOD

Normalan rad elektroenergetskog objekta ne može se zamisliti bez postrojenja sopstvene potrošnje. Sopstvena potrošnja mora obezbediti besprekidno i pouzdano napajanje vitalnim delovima postrojenja kao što su pogonski mehanizmi prekidača i rastavljača, relejna zaštita, upravljački uređaji, telekomunikaciona oprema, video nadzor, pomoćna rasveta, itd. Na nju se priključuju svi važni potrošači u postrojenju i to na naizmjenični (AC) napon $3 \times 400/230$ V, 50 Hz ili jednosmerni (DC) napon 220 V, 110 V, 48 V ili 24 V. Zadatak ovih potrošača je da obezbede pravilan rad postrojenja kako u normalnim tako i u havarijskim pogonskim uslovima.

Osnovni izvor napajanja sopstvene potrošnje elektroenergetskog postrojenja čini naizmjenični napon dobijen sa transformatora sopstvene potrošnje. Ovaj napon obezbeđuje napajanje potrošača naizmjenične, a preko ispravljača AC/DC, takođe i potrošača jednosmerne struje. Sistem jednosmernog razvoda je svakako najosetljiviji deo sopstvene potrošnje postrojenja. Sastoji se od akumulatorske baterije, ispravljača, instalacije jednosmernog napona (sklopna i rastavna oprema, uređaji zaštite, merenja i signalizacije, kablovi) i pripadajućih potrošača.

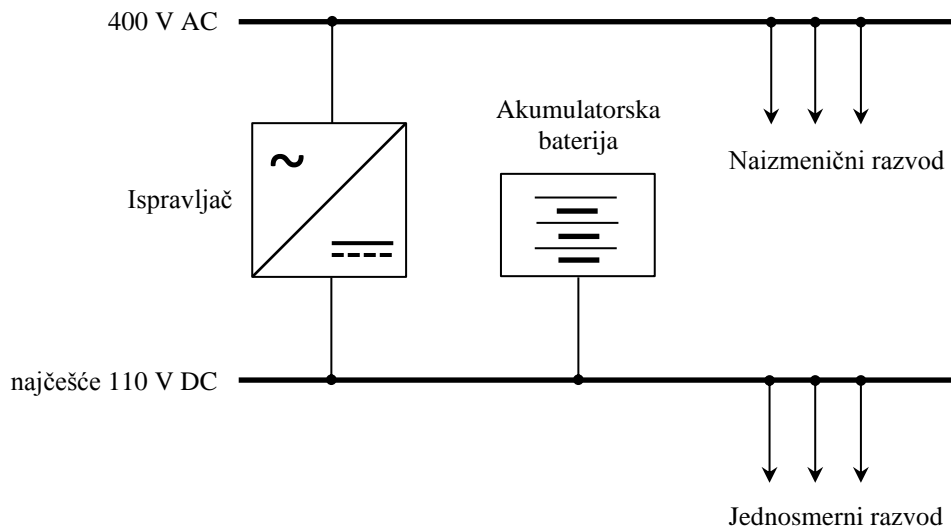
Imajući u vidu značaj sistema jednosmernog razvoda na rad postrojenja, preventivno održavanje akumulatorske baterije kao vitalnog elementa predstavlja ključnu ulogu u očuvanju besprekidnosti njegovog rada. U radu su prikazani rezultati periodičnog održavanja akumulatorskih baterija u TS 110/X kV i TS 35/10 kV na teritoriji ED Leskovac. Rezultati su dobijeni iz godišnjeg ciklusa preventivnih pregleda svih relevantnih parametara akumulatorskih baterija prema propisanim procedurama. Na osnovu istih, doneti su zaključci o stanju svake baterije ponaosob i odluke o neophodnosti revitalizacije pojedinih. Nakon revitalizacije pojedinih baterija, izvršena su ponovna ispitivanja i tako dobijeni rezultati uporedo prikazani. Konačno, doneta je odluka o daljim koracima za održavanje konkretnih akumulatorskih baterija.

SISTEM JEDNOSMERNOG RAZVODA U TS VN(SN)/SN

Sistem jednosmernog razvoda u TS VN(SN)/SN je deo sopstvene potrošnje elektroenergetskog objekta koji za cilj ima obezbeđenje pouzdanog i besprekidnog napajanja vitalnih delova postrojenja. Nepravilan i nepouzdan rad sistema može dovesti do oštećenja vitalnih delova postrojenja što u konačnom može uzrokovati duži prekid u snabdevanju kupaca električnom energijom, havarije, uništenje opreme i slično. Ovaj sistem mora da radi ispravno kako u normalnim, tako i u havarijskim pogonskim uslovima.

Osnovni element sistema jednosmernog razvoda su stacionarne akumulatorske baterije koje su paralelno povezane sa ispravljačima AC/DC na sabirnice jednosmernog napona. Ispravljači se napajaju sa sabirnicama 0,4 kV sopstvene potrošnje postrojenja. U normalnom radu napajaju sve jednosmerne potrošače i istovremeno dopunjavaju akumulatorske baterije uz stabilizaciju napona na sabirnicama potrošača, dok u slučaju nestanka naizmjeničnog napona ili kvara napajanje jednosmernih potrošača preuzimaju akumulatorske baterije. Sa sabirnicama jednosmernog napona su priključeni bitni DC potrošači u postrojenju kao što su pogonski mehanizmi prekidača i rastavljača, uređaji relejne zaštite, upravljački uređaji, telekomunikaciona oprema, video nadzor, pomoćna rasveta, itd.

Osnovna pojednostavljena principijelna šema sistema jednosmernog razvoda data je na slici 1 [1]. U zavisnosti od važnosti elektroenergetskog objekta, postoje različiti načini izvođenja ovog sistema bazirani uglavnom na pouzdanosti i besprekidnosti rada. Pouzdanost rada ogleda se u upotrebi više akumulatorskih baterija i ispravljača koji rade u redundantnom režimu uz ravnomernu raspodelu opterećenja. Besprekidnost rada je omogućena modularnom konfiguracijom sistema u kojem se lako vrši zamena neispravnog elementa i zatim njegova popravka ili servisiranje.



Slika 1. Principijelna šema jednosmernog razvoda u TS VN(SN)/SN

U većini distributivnih TS VN(SN)/SN na teritoriji Republike Srbije primenjen je koncept jedne akumulatorske baterije i jednog ispravljača. Akumulatorska baterija i ispravljač su paralelno povezani sa jednosmernim potrošačima. Prednost ovog rešenja je njegova jednostavnost i visoka pouzdanost, dok su nedostaci velika razlika napona na potrošačima pri punjenju i pražnjenju akumulatorskih baterija. TS novijeg datuma imaju dve akumulatorske baterije i dva ispravljača. TS u prenosnoj mreži i elektrane imaju složenije sisteme jednosmernog razvoda [2].

IZVORI BESPREKIDNOG NAPAJANJA

Izvor besprekidnog napajanja u TS VN(SN)/SN, po pravilu, čini stacionarna akumulatorska baterija. To je obnovljivi hemijski izvor električne energije sastavljen od više redno vezanih ćelija. Koristi se kao izvor sigurnosnog napajanja jednosmernom strujom u trenucima kada dođe do nestanka napona iz mreže. Kada je mrežni napon prisutan, ona je u režimu dopunjavanja. Broj ćelija akumulatorske baterije određuje se prema nominalnom naponu potrošača, dozvoljenim promenama napona na sabirnicama potrošača i načinu rada automatskog regulisanog ispravljača sa kojim baterija radi u paralelnom spoju. Kapacitet akumulatorske baterije zavisi od veličine i karakteristika TS u kojoj se baterija koristi. On se definiše kao količina elektriciteta u amper-časovima (Ah) koja se može dobiti iz nje kroz definisano vreme pražnjenja stalnom strujom do najnižeg dozvoljenog napona pri određenoj temperaturi [3].

Postoje različiti tipovi akumulatorskih baterija u primeni, naročito poslednjih godina kada je tehnološki razvoj raznih elektronskih uređaja iziskivao i napredak u proizvodnji baterija. Ipak, za primenu u TS VN(SN)/SN gde su neophodne stacionarne baterije većeg kapaciteta, koriste se i dalje olovne (Pb) ili nikel-kadmijum (NiCd) akumulatorske baterije. Na slici 2 je prikazana jedna ćelija olovne (a) i nikel-kadmijum (b) baterije [4].



Slika 2. Prikaz olovne (a) i nikel-kadmijum (b) ćelije akumulatorske baterije

Olovne baterije kao elektrolit koriste vodom razblaženu sumpornu kiselinu (H_2SO_4) čija dozvoljena gustina se kreće u granicama 1,23–1,3 g/cm³ [2, 5]. Mogu da budu nalivene („*Vented Lead-Acid*“ – VLA) ili hermetizovane („*Valve-Regulated Lead-Acid*“ – VRLA). VLA baterije se često označavaju sa OPzS, dok se VRLA baterije označavaju pod skraćenicama OPzV za gel baterije i AGM („*Absorptive Glass Mat Recombination Batteries*“) za baterije sa apsorbovanim elektrolitom). Karakteristike ovih baterija zavise od temperature i daju se za temperaturu baterije od 20 °C. Nikl-kadmijum baterije kao elektrolit koriste lužinu čija dozvoljena gustina se kreće u granicama 1,19–1,21 g/cm³ [5, 6]. Elektrolit je kalijum hidroksid (KOH) sa malim količinama litijum hidroksida (LiOH) koji mu popravlja karakteristike pri cikličkim opterećenjima i visokim temperaturama. Za razliku od olovnih, kod NiCd baterija elektrolit ne učestvuje u hemijskom procesu već samo služi za prenošenje jona između elektroda. Gustina elektrolita se ne menja pri punjenju i pražnjenju i na osnovu gustine ne može se izvesti zaključak o napunjenosti baterije. Ove baterije su otpornije na promene temperature, ali kao nedostatak imaju nizak napon ćelije od 1,2 V u odnosu na olovne kod kojih je 2 V. To iziskuje obezbeđenje većeg prostora za njihovo postavljanje u odnosu na olovne za isti napon na njenim krajevima jer je potreban veći broj ćelija. Takođe, NiCd baterije imaju relativno visok napon punjenja i održavanja (1,41–1,45 V/ćel.) što je oko 20% više u odnosu na nominalni napon po ćeliji, dok je kod olovnih baterija ovaj napon viši za otprilike 12% [5]. Ove baterije su manje osetljive na naizmeničnu komponentu napona punjenja ispravljača, nisu podložne iznenadnim gubicima kapaciteta i imaju znatno veći broj ciklusa punjenja i pražnjenja [1, 4, 5]. U poređenju sa olovnim baterijama, NiCd baterije su se ranije manje ugrađivale u elektroenergetskim postrojenjima, prvenstveno iz razloga njihove cene.

Bez obzira koja baterija će se ugraditi u TS VN(SN)/SN, od nje se očekuje da ispuni nekoliko kriterijuma [1]:

- dugotrajnost;
- velika specifična snaga koja se izražava u Ah/kg;
- malo samopražnjenje;
- otpornost na iznenadni gubitak kapaciteta;
- mogućnost izvršenja velikog broja ciklusa punjenja i pražnjenja;
- pogodnost za rad u režimu stalnog dopunjavanja;
- kratko vreme punjenja;
- sposobnost savladavanja udarnih opterećenja;
- otpornost na povremena duboka pražnjenja;
- niska cena.

ODRŽAVANJE IZVORA BESPREKIDNOG NAPAJANJA

Postoje različiti pristupi za održavanje i ispitivanje izvoda besprekidnog napajanja (akumulatorskih baterija). Neki od njih su sledeći [7]:

- prosta zamena baterije kada više nije u funkciji – bez održavanja i ispitivanja (ovakav pristup nosi veliki rizik jer se može dogoditi da životni vek baterije bude kraći od očekivanog i mora se posedovati zamenska baterija ukoliko se zahteva pouzdanost sistema jednosmernog razvoda);
- zamena nakon određenog vremena – minimalno održavanje ili bez održavanja i ispitivanja (ovo je takođe rizičan pristup jer baterija može otkazati ranije nego što se očekuje. Uz minimalno održavanje i ispitivanje može se produžiti životni vek do unapred određenog vremena);
- ozbiljan program održavanja i ispitivanja (obezbeđuje se da baterija bude u dobrom stanju, produžava njen životni vek i pronalazi optimalno vreme za njenu zamenu. Degradacija i kvarovi se ovom prilikom na vreme otkrivaju, pa nema većih iznenađenja. Troškovi održavanja su veći, ali se zbog toga ima pouzdaniji sistem jednosmernog razvoda).

Najbolji pristup za održavanje je onaj koji pravi balans između troškova održavanja i rizika prestanka rada baterije.

Održavanje akumulatorske baterije podrazumeva niz radnji koje se vrše u propisnim rokovima u cilju obezbeđenja njegove tehničke ispravnosti i pouzdanosti. Može biti redovno i vanredno, obuhvatajući sledeće vrste radova:

- pregledi i provere;
- revizije;
- remont (redovni i generalni).

Pregledi i provere predstavljaju utvrđivanje pogonskog stanja i ispravnosti akumulatorske baterije u normalnom radu. Obavljaju se pod naponom, najčešće vizuelnim putem i očitavanjem pojedinih parametara. Tokom pregleda i provere mogu se sprovesti i tekuće održavanje, otklanjanje nedostataka manjeg obima, zamena potrošnih delova, ali i priprema planiranih revizija, remonata i poslova većeg obima. Pri tekućem održavanju vrši se vizuelni pregled baterije, provera mostova i fleksibilnih veza, provera napona ćelije, provera nivoa i gustine elektrolita i delimično pražnjenje.

Vizuelni pregled akumulatorske baterije obavlja se sa ciljem da se proveru [8]:

- čistoća prostorije za smeštaj akumulatorskih baterija;
- čistoća akumulatorske baterije;
- oksidacija (korozija) polova;
- mehaničko oštećenje kućišta, poklopca, ploča, spojnice i polova;
- postojanje uvećanog taloga aktivnog materijala (kod ćelija sa providnim sudom).

Vizuelnim pregledom vrši se takođe i kontrola mostova, odnosno fleksibilnih veza. Na livnim mostovima proverava se mehanička ispravnost i postojanje kristala soli. Fleksibilne veze se čiste i pritežu.

Provera napona svake ćelije vrši se isključenjem baterije sa sabirnica potrošača i ispravljača i zatim, nakon uspostavljanja napona mirovanja (obično oko 1 h), merenje napona na svakoj ćeliji. Ukoliko nominalni napon neke od ćelija odstupa više od $\pm 0,05$ V od prosečnog napona ostalih ćelija, takva ćelija se posebno obeležava.

Provera nivoa elektrolita može se vršiti vizuelno (kod ćelija sa providnim sudom) ili pomoću staklene cevčice (kod poluprovodnih ili neprovodnih sudova koji poseduju otvore). Cevčica se uranja do elektroda baterije i po sistemu pipete izvlači elektrolit. Vizuelno se proverava nivo elektrolita u cevčici i ukoliko je niži od propisanog vrši se dolivanje destilovane vode. Pri merenju gustine elektrolita potrebno je meriti i njegovu temperaturu. Gustina elektrolita baterije meri se areometrom. Ukoliko se temperatura razlikuje od referentne, onda se gustina elektrolita preračunava u skladu sa uputstvom proizvođača. Ako se utvrdi da je gustina elektrolita ispod propisane vrednosti, može se zaključiti da baterija nije puna, odnosno da je napon dopunjavanja nizak.

Delimično pražnjenje se vrši u cilju sprečavanja sulfatizacije ćelija. Baterija se isključuje sa ispravljača i prazni dok ne izgubi oko 20-25% svog nominalnog kapaciteta. Pri tome se prate napon, gustina i temperatura elektrolita. Na ovaj način se produžava životni vek i pouzdanost rada.

Revizije akumulatorskih baterija se vrše kada baterije nisu u pogonu. Obavljaju ih zaposleni koji su zaduženi održavanje TS VN(SN)/SN, ali je moguće angažovanje ekipa proizvođača ili specijalizovanih eksternih ustanova kada se žele sprovesti posebna merenja, ispitivanja i analize. Revizijom se obavljaju aktivnosti koje se već rade prilikom pregleda i provere, otklanjaju kvarovi, menjaju potrošni delovi i sprovodi test dubinskog pražnjenja (kapacitivna proba).

Dubinsko pražnjenje, odnosno ispitivanje nominalnog kapaciteta baterije obavlja se jedanput godišnje [9]. Vrši se pražnjačem koji ima mogućnost regulacije struje, radi održavanja konstantne struje pražnjenja. Tom prilikom se kontroliše napon na ćelijama, gustina i temperatura elektrolita, napon cele baterije i upisuju u listu ispitivanja. Test kapaciteta se sprovodi tek nakon što se napunjena baterija isključi sa sabirnica potrošača i svog ispravljača. Preporuka je da se akumulatorska baterija prazni desetočasovnom (I_{10}) ili petočasovnom (I_5) konstantnom strujom. Izmereni kapacitet izražen u amper-časovima (Ah) je jednak proizvodu struje i vremena pražnjenja. Ukoliko tokom testa kapaciteta temperatura elektrolita odstupa od propisane temperature od 20 °C, vrši se temperaturna korekcija kapaciteta. Za vreme pražnjenja, ukoliko postoje, ventilacioni čepovi na ćelijama moraju biti odvrnuti. Baterija ne mora dati 100% nazivnog kapaciteta, ali kapacitet nakon sprovedenog testa ne sme da padne ispod 80% nazivnog. Test kapaciteta se prekida kada napon na polovima ćelija padne na najniži dozvoljeni napon koji je propisan od strane proizvođača (najčešće 1,75–1,8 V/ćel. za olovne, odnosno 1,0–1,1 V/ćel. za NiCd baterije) [3, 6].

Remonti akumulatorskih baterija se ređe sprovode i obuhvataju složenije radove kao što su veće popravke, zamena neispravnih ćelija, hemijska analiza elektrolita, revitalizacija baterije ili zamena cele baterije. Obavljaju se takođe u beznaponskom stanju.

Zamena neispravnih ćelija vrši se ukoliko je prilikom ispitivanja ustanovljeno da njihov napon, gustina elektrolita i kapacitet odstupaju od deklariranih vrednosti. Ako baterija ima dug vek eksploatacije (preko 20 godina), broj neispravnih ćelija je veći od 10% i kapacitet padne ispod 80% nominalnog, onda je potrebno zameniti celu bateriju

novom [3]. Nakon izvršenih zamena, potrebno je ponovo izvršiti novo pogonsko ispitivanje. Neispravne ćelije ili kompletna akumulatorska baterija mogu se revitalizovati od strane ovlašćene ustanove. Najpre se vrši njihovo čišćenje i pranje, a onda zamena elektrolita. U zavisnosti od stanja, ćelije se podvrgavaju režimu višestrukog punjenja i pražnjenja sa ciljem da se kapacitet dovede u propisane granice. Revitalizovane ćelije se vraćaju u upotrebu, a neispravne rashoduju.

STANDARDI ZA ODRŽAVANJE AKUMULATORSKIH BATERIJA

U svetu postoji čitava paleta standarda (IEC, IEEE) koji se odnose na izvore besprekidnog napajanja. Ovi standardi obično sadrže definicije, načine dimenzioniranja, prijema i instalacije baterija, preglede (opažanja, radnje i merenja) koji se sprovode u normalnom pogonu i testove kapaciteta. Nacionalni standardi Republike Srbije prate međunarodne IEC standarde, pa je korisno pomenuti nekoliko njih [10]:

- SRPS EN 50272-2:2009 – Zahtevi za bezbednost za sekundarne baterije i baterijska postrojenja, Deo 2: stacionarne baterije;
- SRPS EN 60896-11:2010 – Stacionarne olovne baterije, Deo 11: Tipovi sa ventilacijom – Opšti zahtevi i metode ispitivanja;
- SRPS EN 60896-21:2010 – Stacionarne olovne baterije, Deo 21: Tipovi sa regulacijom pomoću ventila – Metode ispitivanja;
- SRPS EN 60623:2017 – Sekundarne ćelije i baterije koje sadrže alkalne ili druge elektrolite koji nisu kiseli – Nikl-kadmijumove prizmatične pojedinačne ćelije sa oduškom.

Iz domena održavanja akumulatorskih baterija, autori su izdvojili najpoznatije IEEE standarde:

- IEEE Std 450™-2002: IEEE preporuke za održavanje, ispitivanje i zamenu nalivenih olovnih baterija za stacionarne primene [11];
- IEEE Std 1188™-2005: IEEE preporuke za održavanje, ispitivanje i zamenu hermetizovanih olovnih baterija za stacionarne primene [12];
- IEEE Std 1106™-2005: IEEE preporuke za ugradnju, održavanje, ispitivanje i zamenu nalivenih nikl-kadmijum baterija za stacionarne primene [13].

Standardi [11], [12] i [13] opisuju učestalost i vrstu pregleda koje je potrebno preduzeti da bi se potvrdilo stanje baterije. Obuhvataju skup provera, procedura za testiranje, korektivnih radnji, kriterijuma za zamenu baterije, zapisa, uputstva za reciklažu i rashodovanje, itd. koje treba sprovesti na odgovarajućoj akumulatorskoj bateriji.

REZULTATI ISPITIVANJA

U TS VN(SN)/SN na teritoriji ED Leskovac ugrađivane su olovne, a u novije vreme nikl-kadmijum baterije. Na osnovu godišnjeg plana preventivnog održavanja, izvršeno je redovno održavanje akumulatorskih baterija u TS 110/X kV i TS 35/10 kV. Održavanje je rađeno u 6 TS 110/X kV i 32 TS 35/10 kV i podrazumevalo je najpre vizuelni pregled, pranje i čišćenje ćelija. Zatim je izvršen pregled mehaničko-fizičke ispravnosti instaliranih ćelija, pregled pravilnog priključenja polnih izvoda i međućelijskih spojeva, provera razmaka između montiranih ćelija, provera nivoa elektrolita u svim ćelijama i dolivanje destilisane vode po potrebi, merenje gustine i temperature elektrolita. Proverena je ispravnost veze između ispravljača i baterije i izmerena ulazna DC struja.

TABELA 1 – Najznačajniji rezultati ispitivanja akumulatorskih baterija u TS VN(SN)/SN

| Naziv TS | Tip ćelije | Broj ćelija | Nazivni kapacitet [Ah] | Napon baterije [V] | Srednja gustina elektrolita [g/cm ³] | Srednja temp. elektr. [°C] | Srednja vrednost napona ćelije [V/ćel.] | Provodljivost ćelija u odnosu na referentnu vrednost [%] | Vreme ispitivanja [h] | Izmereni kapacitet [%] |
|------------|------------|-------------|------------------------|--------------------|--|----------------------------|---|--|-----------------------|------------------------|
| Leskovac 4 | 4OPzS | 55 | 200 | 118,3 | 1,235 | 22,09 | 2,166 | 113,13 | 4 | 80 |
| Leskovac 6 | 4OPzS | 55 | 200 | 121,75 | 1,244 | 22,99 | 2,214 | 119,9 | 4 | 90 |
| Leskovac 1 | 4OPzS | 53 | 200 | 116,5 | 1,234 | 20 | 2,297 | 51 | - | - |
| Vlasotince | 4OPzS | 55 | 200 | 122,015 | 1,2 | 25 | 2,218 | 109,96 | 4 | 90 |
| Belo Polje | 4OPzS | 55 | 250 | 125,2 | 1,25 | 23,81 | 2,289 | 87,91 | 4 | 80 |
| Bosilegrad | 4OPzS | 53 | 200 | 119,945 | 1,239 | 19,23 | 2,263 | 78,79 | 4 | 80 |
| Batulovce | NO | 85 | 80 | 123,4 | 1,21 | 21,5 | 1,453 | 80 | 1,58 | 32 |
| Biljanica | KPL | 90 | 100 | 122,57 | 1,18 | 20 | 1,355 | 81 | 0,333 | 10 |
| Bojnik 1 | KPL | 87 | 80 | 126,5 | 1,98 | 19,5 | 1,454 | 76 | 1,9 | 38 |

| | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|------|-----|---------|----------------------|-------|-------|------|-------|------|
| Bojnik 2 | KPL | 89 | 80 | 128 | 1,194 | 19,8 | 1,438 | 72 | 3,85 | 77 |
| Bosilegrad 1 | KPL | 90 | 80 | 127,5 | 1,192 | 19,6 | 1,421 | 85 | 3,65 | 73 |
| Brestovac | 2OPzS | 55 | 100 | 127,8 | 1,242 | 15,14 | 2,324 | 73,2 | 4 | 80 |
| BTS | KPL | 90 | 80 | 130,1 | 1,15 | 22,37 | 1,453 | 61 | 0,133 | 3 |
| Crna Trava | KPL | 89 | 80 | 129,3 | 1,975 | 14 | 1,423 | 69 | 3,66 | 73,3 |
| Gazdare | KPL | 90 | 80 | 126,1 | 1,196 | 18,25 | 1,402 | 64 | 3,266 | 65 |
| Guberevac | KPL | 85 | 80 | 119,8 | 1,18 | 12,7 | 1,426 | 60 | 2,48 | 50 |
| Jug | NO | 35+5 | 80 | 52,23 | 1,2 | 21 | 1,485 | 72 | 2,23 | 42 |
| Lebane 1 | KPL | 90 | 100 | 129,2 | 1,195 | 22 | 1,433 | 85 | 4 | 100 |
| Lebane 2 | KPL | 90 | 100 | 129,3 | 1,184 | 23 | 1,432 | 80 | 3,716 | 71 |
| Lece | NO | 20 | 80 | 27 | 1,194 | 12 | 1,317 | 50 | 0,51 | 10 |
| Leskovac 3 | AK | 85 | 80 | 125 | 1,197 | 21,7 | 1,456 | 58 | 0,583 | 12 |
| Lisina | KPL | 90 | 80 | 129,1 | 1,17 | 13,7 | 1,46 | 48 | 1,666 | 33 |
| Medveđa | NO | 90 | 80 | 126,2 | 1,195 | 23,46 | 1,432 | 64 | 0,08 | 2 |
| Miroševce | KPL | 87 | 80 | 126,9 | 1,185 | 20,05 | 1,464 | 63 | 2,666 | 53 |
| Nevit | KPL | 90 | 80 | 127,2 | 1,195 | 20 | 1,416 | 64 | 2,166 | 43 |
| Pečenjevac | 2OPzS | 55 | 100 | 126,825 | 1,248 | 17,28 | 2,306 | 98 | 4 | 80 |
| Predejane | 4MVR | 6 | 225 | 27,28 | hermetički zatvorene | | 4,548 | 82 | 0 | 0 |
| Promaja | 90AK | 90 | 80 | 119,83 | 1,2 | 17 | 1,331 | 54 | 2,666 | 53,3 |
| Sastav Reka | KPL | 90 | 100 | 128,1 | 1,186 | 19,5 | 1,423 | 70 | 4 | 80 |
| Sijarin. banja | KPL | 90 | 80 | 131,11 | 1,195 | 21,6 | 1,455 | 61 | 3,46 | 69 |
| Surdulica 1 | NO | 90 | 80 | 126 | 1,175 | 22 | 1,421 | 89 | 0,032 | 1 |
| Surdulica 2 | KPL | 90 | 80 | 128,3 | 1,179 | 19,47 | 1,427 | 90 | 3,78 | 76 |
| Tlmino | KPL | 90 | 80 | 121,8 | 1,85 | 18,4 | 1,365 | 80 | 0 | 0 |
| Turekovac | 2OPzS | 55 | 90 | 120,469 | 1,203 | 22,94 | 2,19 | 88 | 1,083 | 21,6 |
| Vlasotince 1 | 4MVR | 6 | 225 | 28,036 | hermetički zatvorene | | 4,673 | 39 | 0 | 0 |
| Vučje | AK | 90 | 80 | 128,98 | 1,198 | 20,6 | 1,433 | 59 | 2,916 | 58 |
| Ždeglovo | 2OPzS | 55 | 100 | 125,245 | 1,23 | 23,7 | 2,277 | 109 | 4 | 80 |
| Žitni Potok | KPL | 90 | 80 | 127,89 | 1,195 | 13,6 | 1,421 | 69 | 3,58 | 72 |

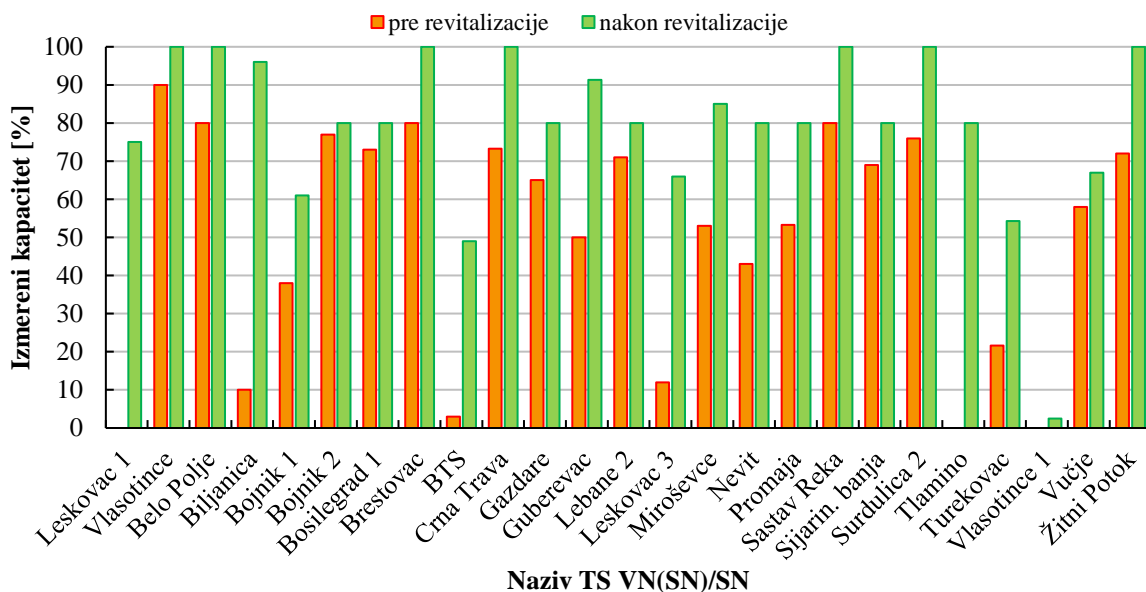
U sledećem koraku obavljena su električna merenja koja su obuhvatala merenje napona na svakoj od ćelija, merenje provodljivosti svake ćelije (nakon čega je obračunata temperaturna kompenzacija), merenje temperature na „-“ polu i merenje otpora međućelijskih veza. Na kraju je urađena kapacitivna proba baterije. Imajući u vidu da je tokom godišnjeg ciklusa ispitivanja svih TS VN(SN)/SN prikupljeno dosta podataka, u Tabeli 1 dat je pregled nekih najznačajnijih na osnovu kojih su izvučeni zaključci o daljim aktivnostima koje su sprovedene na konkretnim baterijama [14].

Od 38 ispitivanih baterija, samo 10 baterija je, nakon kapacitivne probe, imalo izmereni kapacitet veći od 80%. Čak 8 baterija imalo je kapacitet manji od 10% čiji osnovni uzrok su bili kratki spojevi u ćelijama. Razlog ovome leži u činjenici da je prosečan vek eksploatacije baterija veći od 20 godina, jer je više od polovine ugrađenih baterija u TS VN(SN)/SN bilo starije od 20 godina. Osim eksploatacionog veka, kao najčešći uzrok smanjenog kapaciteta baterija bili su kratki spojevi u ćelijama. Oni su prouzrokovali samopražnjenje ćelija što je dovelo do toga da pojedine, kada se odvoje od ispravljača, imaju napon na krajevima od 0 V. Samopražnjenje ćelija se javilo i kao posledica smanjenog otpora izolacije ćelija. Usled velikog otpora pojedinih veza i mostova između ćelija, iste je bilo neophodno zameniti. Na pojedinim ćelijama i mostovima uočeno je prisustvo karbonata, pa su one očišćene i oprane toplom vodom. U pojedinim TS je bilo neophodno popraviti osvetljenje prostorije u kojoj je smeštena akumulatorska baterija, kao i omogućiti prirodnu ventilaciju. Dešavale su se situacije da naponi između ćelija nisu međusobno ujednačeni usled različite provodljivosti ćelija. Takođe, kod 22 baterije je srednja vrednost provodljivosti ćelija u odnosu na referentnu vrednost bila manja od 80%. Srednja vrednost gustine elektrolita i srednja vrednost napona ćelija nisu bile u granicama koje su izvan dozvoljenih.

Nakon sprovedenog godišnjeg ciklusa preventivne revizije i zabeleženih neregularnosti, imajući u vidu da većina baterija ne zadovoljava kriterijume sigurnog rada, doneta je odluka da se krene u postupak revitalizacije ćelija akumulatorskih baterija. Parametri koji su praćeni bili su provodljivost ćelija i izmereni kapacitet. Kod baterija kod kojih su istovremeno ovi parametri bili relativno niski, nije rađena revitalizacija baterije (npr. u TS Jug, Lece, Lisina, Surdulica 1, Medveđa, Predejane). Takođe, u pojedinim TS je planiran prelazak sa napona jednosmernog razvoda od 24 V (Predejane, Lece) i 48 V (Jug) na 110 V. Postupak revitalizacije ćelija nije vršen u ranijem periodu i do sada je urađen u 3 TS 110/X kV i 22 TS 35/10 kV. Te baterije su demontirane, a u TS postavljene zamenske. Revitalizacija je obavljena u prostorijama specijalizovane ustanove. Izvršeno je električno pražnjenje baterija, demontirani spojevi i međućelijske veze (pregled, čišćenje, otklanjanje karbonata i korozionih produkata), zamenjen elektrolit novim (čime je ujednačena njegova gustina po ćelijama), isprano kućište ćelija, zamenjeni mostovi i fleksibilne veze između ćelija i zamenjene neispravne ćelije. Nakon toga, izvršeno je punjenje baterije DC strujom za izjednačavanje napona u toku 12 h i stabilizacija elektrolita tokom 2 h. Na kraju, izvršen je ponovni test kapaciteta baterija. Novi rezultati za ispitivane TS su dati u Tabeli 2 [15].

TABELA 2 – Rezultati ispitivanja akumulatorskih baterija u TS VN(SN)/SN nakon revitalizacije

| Naziv TS | Napon baterije [V] | Srednja gustina elektrolita [g/cm ³] | Srednja temp. elektr. [°C] | Srednja vrednost napona ćelije [V/ćel.] | Provodljivost ćelija u odnosu na referentnu vrednost [%] | Vreme ispitivanja [h] | Izmereni kapacitet [%] | Broj zamenjenih ćelija | Uspešnost revitalizacije |
|----------------|--------------------|--|----------------------------|---|--|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| Leskovac 1 | 119,061 | 1,229 | 13,9 | 2,246 | 55 | 3,75 | 75 | 0 | ✘ |
| Vlasotince | 125,466 | 1,235 | 22,1 | 2,281 | 107 | 10 | 100 | 0 | ✓ |
| Belo Polje | 122,43 | 1,275 | 13,14 | 2,278 | 103 | 4 | 100 | 0 | ✓ |
| Biljanica | 128,63 | 1,2 | 17 | 1,429 | 103 | 5 | 96 | 1 | ✓ |
| Bojnik 1 | 123,636 | 1,19 | 20,1 | 1,421 | 100 | 3,066 | 61 | 6 | ✘ |
| Bojnik 2 | 128,053 | 1,18 | 19 | 1,439 | 94 | 4 | 80 | 0 | ✓ |
| Bosilegrad 1 | 129,632 | 1,19 | 21,2 | 1,44 | 110 | 4 | 80 | 0 | ✓ |
| Brestovac | 124,408 | 1,237 | 21,3 | 2,262 | 116 | 10 | 100 | 0 | ✓ |
| BTS | 130,04 | 1,18 | 20,3 | 1,444 | 53 | 2,45 | 49 | 0 | ✘ |
| Crna Trava | 128,772 | 1,8 | 19,7 | 1,447 | 97 | 5 | 100 | 0 | ✓ |
| Gazdare | 128,26 | 1,19 | 21,7 | 1,425 | 79 | 4 | 80 | 6 | ✓ |
| Guberevac | 121,695 | 1,18 | 19,1 | 1,432 | 92 | 5 | 91,3 | 1 | ✓ |
| Lebane 2 | 129,331 | 1,19 | 19,6 | 1,44 | 86 | 4 | 80 | 0 | ✓ |
| Leskovac 3 | 123,66 | 1,2 | 19,5 | 1,455 | 75 | 3,316 | 66 | 6 | ✘ |
| Miroševce | 124,413 | 1,18 | 19,9 | 1,43 | 80 | 4,25 | 85 | 6 | ✓ |
| Nevit | 128,575 | 1,19 | 22,9 | 1,429 | 84 | 4 | 80 | 1 | ✓ |
| Promaja | 130,25 | 1,19 | 21,3 | 1,447 | 71 | 4 | 80 | 0 | ✓ |
| Sastav Reka | 129,175 | 1,18 | 19,5 | 1,435 | 95 | 5 | 100 | 0 | ✓ |
| Sijarin. banja | 129,015 | 1,18 | 22,8 | 1,434 | 85 | 4 | 80 | 5 | ✓ |
| Surdulica 2 | 130,461 | 1,2 | 20,5 | 1,45 | 95 | 5 | 100 | 5 | ✓ |
| Tlamino | 129,345 | 1,19 | 20,1 | 1,437 | 99 | 4 | 80 | 4 | ✓ |
| Turekovac | 139,793 | 1,228 | 3,37 | 2,609 | 91 | 2,716 | 54,32 | 0 | ✘ |
| Vlasotince 1 | 32,483 | hermetički zatvorene | | 5,414 | 37 | 0,25 | 2,5 | 0 | ✘ |
| Vučje | 129,599 | 1,19 | 19 | 1,44 | 71 | 3,366 | 67 | 0 | ✘ |
| Žitni Potok | 129,05 | 1,18 | 22,4 | 1,434 | 100 | 5 | 100 | 0 | ✓ |



Slika 3. Uporedni pregled kapaciteta baterija pre i nakon revitalizacije

Nakon obavljenog postupka revitalizacije, od ukupno 25 baterija je 18 njih dovedeno u stanje sposobno za dalji rad (poboljšana provodljivost ćelija, ujednačeni naponi na ćelijama i kapacitet podignut iznad 80%). Kod 8 baterija je bilo neophodno izvršiti zamenu neispravnih ćelija, čime se kasnije kapacitet doveo na propisanu vrednost. Kao primer može se navesti baterija u TS Tlamino na kojoj je odmah nakon početka testa kapaciteta napon na dve ćelije pao ispod propisanog 1 V, pa je kapacitet bio 0 Ah. Nakon zamene 4 ćelije i revitalizacije baterije, novim testom kapaciteta postignut je propisan kapacitet. Na preostalim 10 baterija je, praktično, izvršen samo remont. U zavisnosti od tipa baterije, dodatni troškovi nastali ovom intervencijom su u rangu troškova 3–4 preventivna pregleda [14, 15] i daleko su manji od cene nove baterije. Efekti postignutih rezultata videće se nakon sledećeg ciklusa preventivnih revizija. Na slici 3 prikazan je uporedni pregled kapaciteta baterija po TS VN(SN)/SN u odnosu na nazivni kapacitet pre i nakon izvršene revitalizacije.

Iako je revitalizacijom postignuto poboljšanje stanja baterija prvenstveno u dobijenom kapacitetu, na osnovu električnih merenja koja su pokazala malu provodljivost ćelija, visoke otpore međućelijskih veza i period eksploatacije, predloženo je rashodovanje 7 baterija. S obzirom na izvršenu revitalizaciju ovih baterija, moguće je izdvojiti ispravne ćelije za buduću zamenu u postojećim akumulatorskim baterijama.

ZAKLJUČAK

Održavanje izvora besprekidnog napajanja u TS VN(SN)/SN je jednako važno kao i održavanje ostalih delova elektroenergetskog postrojenja. Akumulatorska baterija je ispravna onoliko koliko je ispravna svaka njena pojedinačna ćelija. Kvarovi na akumulatorskoj bateriji se, po pravilu, ne pojavljuju odjednom već se kvar razvija tokom vremena. U početku, kvarovi su manjeg obima i mogu se relativno lako otkloniti. Zbog toga je neophodno stalno nadgledanje i sprovođenje svih propisanih mera za održavanje akumulatorske baterije. Izostanak održavanja baterije može dovesti do kvara u najnezgodnijem trenutku za postrojenje čime se mogu izazvati havarije kako zbog nereagovanja pojedinih zaštita usled nestanka jednosmernog napona, tako i zbog havarije na samoj bateriji. Preventivni pregledi i revizije moraju biti stalna aktivnost kojima se prate svi propisani parametri akumulatorske baterije. Praćenje trenda određenih veličina omogućuje pravovremeno uočavanje bilo kakvog problema i ostaviće dovoljno vremena da se isti otkloni. Time će se produžiti životni vek baterije. Ukoliko ipak dođe do pojave ozbiljnijeg kvara, potrebno je izvršiti revitalizaciju baterije. Revitalizacija je proces koji će sa sigurnošću, u manjoj ili većoj meri, popraviti karakteristike akumulatorske baterije. Troškovi koji se pri tome imaju su daleko manji od cene nove baterije ili bilo koje primarne opreme na kojoj može doći do havarije usled nepouzdanosti baterije. Ako se revitalizacija na vreme sprovede (do 5 godina eksploatacije i najmanje 80% nazivnog kapaciteta), moći će uz malo ulaganja da se vrate karakteristike baterije na propisane vrednosti potrebne za ispravan rad u TS. Pokazalo se da je kod baterija čiji je kapacitet bio iznad 40% od nazivnog, nakon revitalizacije, došlo do dovođenja baterije u stanje sposobno za bezbedan dalji rad. Takođe, baterije kod kojih su pojedine ćelije bile u kratkom spoju su nakon revitalizacije i zamene neispravnih ćelija dovedene u ispravno stanje. Kod baterija koje su prilikom ispitivanja imale izuzetno niske vrednosti kapaciteta, revitalizacijom je postignuto povećanje istog. Međutim, to nije bilo dovoljno da bi se baterija smatrala ispravnom. Revitalizacija baterija je ukazala na neophodnost zamene onih baterija koje pri ponovljenom ispitivanju nisu zadovoljile kapacitet od 80%. Loše ćelije je potrebno odložiti na bezbedan način, a zatim reciklirati. S obzirom da većina akumulatorskih baterija ima dug vek eksploatacije, može se konstatovati da je revitalizacija bila uspešna. O dugoročnim efektima potrebno je govoriti onda kada se budu imali rezultati sledećih periodičnih ispitivanja. Zbog svih navedenih razloga i značaja održavanja akumulatorskih baterija potrebno je razmišljati o uvođenju posebnih procedura i preporuka za održavanje izvora besprekidnog napajanja u elektroenergetskim objektima.

LITERATURA

1. Skok S., 2007, „Sustavi istosmjernih razvoda u elektroenergetskim postrojenjima“, Kigen, Zagreb, ISBN 978-953-6970-41-4.
2. Interni standard IS-EMS 133:2014, 2014, „Sopstvena potrošnja u transformatorskim stanicama, razvodnim postrojenjima i dispečerskim centrima“, EMS, Beograd.
3. Tehničko uputstvo TU-TS-06:2018, 2018, „Tehničko uputstvo za održavanje stacionarnih olovnih akumulatorskih baterija“, EMS, Beograd.
4. Kiehene H.A., 2003, „Battery Technology Handbook“, Marcel Dekker, Inc., New York, ISBN 0-8247-4249-4.
5. Škare J., 2012, „Akumulatorske baterije za sustave besprekidnog napajanja“, Končar, Zagreb.
6. „Uputstvo za održavanje niki-kadmijum akumulatora – tip KPL, KPM i KPH“, Krušik akumulatori, Valjevo.
7. 2009, „Battery testing guide“, Megger, www.megger.com
8. Ćirić R.M, Mandić S.N., 2015, „Održavanje elektroenergetske opreme“, AGM knjiga, Beograd, ISBN 978-86-86363-59-6.
9. Tehnička preporuka br. 15, 2012, „Obim i učestanost radova na održavanju elektroenergetskih objekata“, EPS – Direkcija za distribuciju električne energije, Beograd.
10. Institut za standardizaciju Srbije, Beograd, www.iss.rs
11. IEEE Std 450™-2002, 2003, “IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications”, IEEE Power Engineering Society, New York.
12. IEEE Std 1188™-2005, 2006, “IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA) Batteries for Stationary Applications”, IEEE Power Engineering Society, New York.

13. IEEE Std 1106™-2005, 2005, “IEEE Recommended Practice for Installation, Maintenance, Testing, and Replacement of Vented Nickel-Cadmium Batteries for Stationary Applications”, IEEE Power Engineering Society, New York.
14. 2018, „Izveštaji o održavanju besprekidnog napajanja u TS 110/X kV i TS 35/10 kV“, Lidac, Beograd.
15. 2019, „Izveštaji o revitalizaciji besprekidnog napajanja u TS 110/X kV i TS 35/10 kV“, Lidac, Beograd.