

Električne instalacije niskog napona u medicinskim ustanovama - kliničko bolničkim centrima

Ninoslav Simić¹

¹Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Univerzitet u Beogradu, Koste Glavinića 8a
11000 Beograd, Srbija
ninoslav.simic@ieent.org

Kratak sadržaj: U radu su prezentovana zapažanja prikupljena tokom ispitivanja električnih instalacija u medicinskim ustanovama. Navedene su specifičnosti sistema napajanja, električnog razvoda i primenjenih sistema zaštite od strujnog udara. Kroz primere iz prakse navedeni su uzroci nekih problema tokom eksploatacije objekata, a detaljno je objašnjen problem uzrokovan prodorom vode u izolaciju električne instalacije. Naglašen je značaj održavanja, primene najnovijih standarda iz ove oblasti, kao i obuke stručnog osoblja.

Ključne reči: električne instalacije, medicinske ustanove, napon dodira, Faradejev kavez.

1. Uvod

Zbog specifičnosti medicinskih ustanova tipa kliničko bolničkog centra KBC, gde su osim prijemnika opšte namene instalirani i jedinstveni medicinski uređaji koji se koriste u dijagnostičkim pristupima, terapiji i delikatnim operativnim zahvatima, električna instalacija u ovim objektima je svakako zahtevnija u smislu projektovanja, izvođenja, korišćenja i održavanja. Osobnosti instalacije se ogledaju u simbiozi više izvora napajanja, koji su prilagođeni po snazi i vremenu raspoloživosti, čime se pre svega obezbeđuje pouzdanost. Nadogradnju čine opšte i dodatne mere zaštite od električnog udara koje pacijentima i medicinskom osoblju garantuju bezbednost tokom upotrebe. U ovom slučaju pravilno i redovno održavanje je preduslov za očuvanje bezbednosti korisnika na visokom nivou, ali ne treba zanemariti neophodne obuke medicinskog osoblja, čija su zapažanja značajna tokom

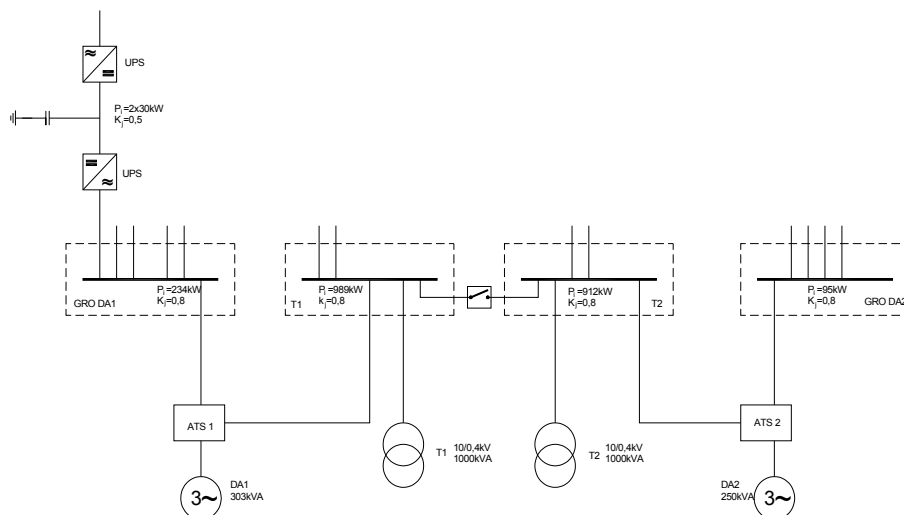
eksploatacije. Ova oblast je kod nas uređena standardima [1] [2], koje unose neke promene u odnosu na ranije verzije, u cilju povećanja bezbednosti.

2. Primeri električne instalacije u kliničko bolničkim centrima

2.1. Snabdevanje električnom energijom i izvori sigurnosnog napajanja

Zbog velike instalisane snage objekta, očekivano je da se KBC napaja iz javne distributivne mreže sa naponskih nivoa 10kV i više. Pri tome se obično napajanje zbog pouzdanosti izvodi sa dva transformatora iz transformatorske stanice TS npr. 10/0,4kV. Na slici 1 je prikazana principijelna blok šema jednog objekta (faktor jednovremenosti $K_j=0,8$). Sa obzirom na potrebu neprekidnosti napajanja objekta, obavezni su izvori sigurnosnog napajanja, u ovom slučaju dva dizel-električna agregata DA, čija je instalisana snaga oko 25-30% instalisane snage transformatora. Uključenje agregata je automatsko po nestanku napona iz javne distributivne mreže, preko ATS jedinice (Automatic Transfer Switch) sa mogućnošću ručnog uključenja, npr. prilikom redovnih periodičnih provera starta agregata. Dodatno se koriste i rezervni izvori u vidu baterija (UPS), koji istina imaju ograničen kapacitet, ali omogućavaju medicinskom osoblju završetak operativnog procesa bez prekida u napajanju električnom energijom. Odabir nužnih potrošača koji ostaju pod naponom u ovom slučaju je zadatak projektanta, a pri tome je neophodna pomoć stručnog osoblja iz KBC, u smislu objašnjenja pojedinih operativnih zahvata i neophodnog vremena u kome ne sme doći do nestanka električne energije. Ovi potrošači se grupišu u posebne razvodne ormane, a njihova strujna kola se izvode priključnicama različitih boja, kako bi se mogle razlikovati. Takođe, u slučaju nestanka napona u javnoj elektrodistributivnoj mreži, kao i u slučaju pojave požara, na napon dizel-električnog agregata priključuju se i sistemi sigurnosnih instalacija i instalacija za sisteme ventilacije i klimatizacije. Svi energetske i komandno kontrolni kablovi koji se priključuju na napon agregata moraju biti proizvedeni prema posebnim zahtevima za rad u uslovima požara (npr. NHXHX FE120/E60).

Vreme uključenja sigurnosnih sistema napajanja definiše klasu sistema, kako je navedeno u standardu [1]. U ovom, trenutno važećem standardu, naveden je niz dopuna u odnosu na osnovni standard [2] i na prethodne standarde iz ove oblasti, a najznačajnije izmene su: definicija lokacija za pružanje medicinskih usluga u grupama 0, 1 i 2, granica konvencionalnog napona dodira od 25V/50Hz i za jednosmerni napon 60V, merenje struje odvoda medicinskog IT transformatora, merenje otpornosti zaštitnog provodnika itd...



Slika 1. Blok šema napajanja jednog kliničko bolničkog centra

Jasno je da izvođenje električne instalacije[3] [4], u kojoj su prisutni izvori iz TS, dizel-električnih agregata i UPS sistema, sa još dodatnim specifičnostima sistema razvoda (opšte i dopunske mere zaštite od električnog udara) predstavlja stvarni izazov za projektante.

2.2. Opšte i dodatne mere zaštite od električnog udara

Opšta mera zaštite od električnog udara (indirektni dodir) je po pravilu TN-S, odnosno TN-C/S sistem, što zavisi od načina priključenja na distributivnu mrežu. U svakom slučaju, kada se razdvoje PE i N provodnici, kroz ceo objekat do svih razvodnih ormara se vodi petožilni provodnik.

Dodatna mera zaštite u vidu ZUDES (zaštitni uređaj diferencijalne struje), struje reagovanja od najviše 30 mA, primenjuje se u prostorijama u kojima se priprema medicinsko osoblje (npr. garderobe, prostorije sa tušem itd), kao i na lokacijama definisanim u [1].

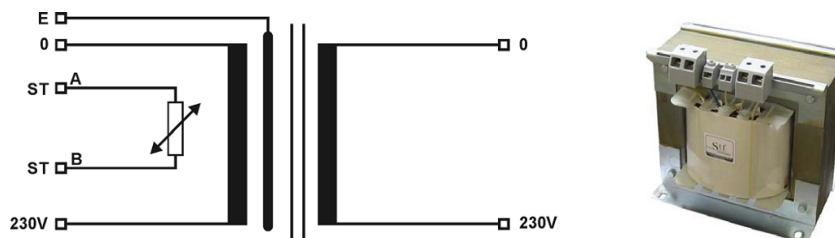
U prostoriji gde se obavljaju operacije, terapija ili dijagnostika, a pri tom pacijenti dolaze u direktni dodir sa metalnim delovima medicinskih aparata moraju se primeniti dodatne mere zaštite. Prema [1], za napajanje potrošača u operacionim salama primenjen je „medicinski IT“ sistem. U konkretnom slučaju, da bi se sistemi napajanja prilagodili nameni, svaka operaciona sala i pripadajuća prostorija za pripremu pacijenata je napajana iz jednog razvodnog ormara na istom spratu u kome su smeštena dva odvojena

sistema napajanja i dva monofazna izolovana transformatora. Jedan transformator je napajan sa sabirničkih šina koje pripadaju krugu UPS, a drugi je napajan sa sabirničkih šina dizel-električnog agregata, odnosno distributivne mreže. Da bi korisnik razlikovao sisteme napajanja (više priključnica na parapeti, kao i priključnice na operativnom stolu i na plafonskim stativima za hirurge i anesteziologe) priključnice su razvrstane po bojama i to: priključnice IT napona neprekidnog napajanja iz baterija (UPS) su zelene boje, priključnice IT napona neprekidnog napajanja iz dizel-električnog agregata su crvene boje, dok su ostale priključnice TN-S sistema bele boje (slika 2). Podrazumeva se da je medicinsko osoblje obučeno za rad u ovim uslovima.



Slika 2. Izgled bolničkog parapeta sa priključcima

Navedeni izolacioni transformatori za medicinsku primenu su specifične izrade (slika 3) i osim što su namotaji ulaznog i izlaznog kola galvanski izolovani, izolacija je pojačana. Transformator ima ugrađenu temperaturnu zaštitu, dok su kalemska tela izrađena od samogasivih materijala. Između primarnog i sekundarnog kola postoji elektrostatički ekranski sloj koji se povezuje na šinu za izjednačenje potencijala. Prema [1], snage ovih transformatora su od 0,5kVA-10kVA, a strujna kola ne treba da budu duža od 25 metara. Na priključnim stezaljkama transformatora je predviđen ulaz za kontrolnik izolacije, kojim se nadgleda izolacija svih potrošača, te se u slučaju kvara oglašava zvučni i vizuelni alarm.



Slika 3. Šema i izgled monofaznog izolovanog transformatora za medicinsku upotrebu

Dodatne mere zaštite se odnose i na samu medicinsku električnu opremu koja se izrađuje u klasi izolacije II (dopunsko izolovanje) i klasi izolacije III (medicinski mali naponi). Dodatna mera zaštite u vidu primene dopunskog izjednačavanja potencijala u konkretnom slučaju podrazumeva da su sve metalne mase povezane, a sabirnice za izjednačenje potencijala postoje na više nivoa u objektu, da bi se uticaj otpornosti zaštitnog provodnika što više smanjio. Stoga je neophodno obratiti pažnju na zaštitne kontakte priključnica i zaštitne kontakte cevovoda medicinske opreme koji su posebno izvedeni u operacionim salama, kako na zidovima, tako i na pokretnim stativima za hirurge i anesteziologe. Ovde npr. spadaju: razvodna mreža cevovoda kiseonika, razvod cevovoda komprimovanog vazduha, razvod cevovoda azot suboksida, razvod cevovoda vakuuma itd....

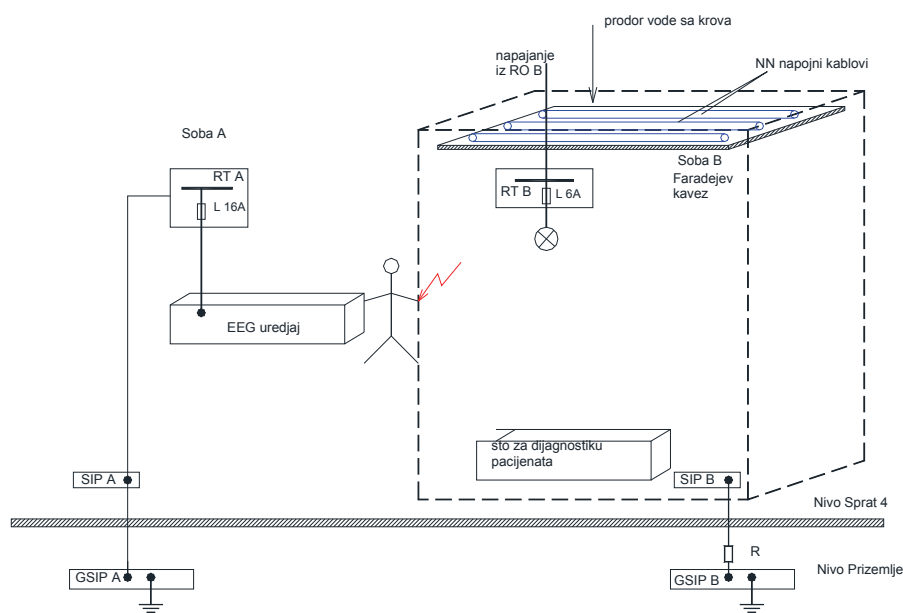
2.3. Problemi u eksploataciji

Tokom eksploatacije objekta može doći do povećanja otpora petlje kvara, ali se ovim promenama u periodičnim pregledima objekata ne pridaje dovoljan značaj, a često se i ne primećuju. Naime, povećanje otpora petlje kvara neće značajnije uticati na vreme reagovanja zaštitnog uređaja. Pretpostavimo da je prilikom tehničkog prijema objekta izmerena vrednost $Z_s = 0,55\Omega$ a za tri godine vrednost od $0,80\Omega$. U sledećem merenju za tri godine izmerena je vrednost od $0,95\Omega$ (struja kvara 240A). U svim slučajevima slučaja vreme reagovanja osigurača 16A je u granicama dozvoljenog i standard je zadovoljen. Ako se rezultati uporede sa prethodnim ispitivanjem promene se lako uočavaju, pogotovo ako se uporede vrednosti impedanse petlje kvara po fazama [5].

Povećanje otpora je obično posledica izvedenih spojeva u priključnicama i na osiguračima, gde se danas uobičajeno provodnik umeće u kontakt ispod opruge, dok je ranije spoj bio izveden „na okce“. Stoga možemo govoriti o uticaju kvaliteta izrade ugrađene opreme. Ali povećanje otpora petlje kvara može biti i posledica povećanja otpora zaštitnog provodnika na spojevima. U objektima opšte namene, ovaj uticaj nije od značaja, ali se u medicinskim ustanovama ne sme zanemariti, stoga se u standardu [1] jasno navode maksimalno dozvoljene vrednosti: „Na lokacijama za pružanje medicinskih usluga grupe 1, otpornost zaštitnog provodnika, uključujući otpornost spojeva, između priključaka za zaštitni provodnik priključnica i fiksne opreme ili svih stranih provodnih delova i sabirnice za izjednačenje potencijala ne sme biti veća od $0,7\Omega$, a na lokacijama za pružanje medicinskih usluga grupe 2 otpornost zaštitnog provodnika ne sme biti veća od $0,2\Omega$ “. Koliko su važne ove granice biće pokazano na sledećem primeru.

U jednom objektu KBC iz 80-tih godina primenjen je petoprovodnički TN sistem zaštite od indirektnog dodira delova pod naponom. Strujna kola

pojedinih potrošača u prostoriji A (slika 4) se štite automatskim instalacionim osiguračima L16A koji su smešteni u RT A. U prostoriji A je smešten elektroencelelograf EEG, koji se napaja iz monofazne priključnice. U prostoriji B smešten je pacijent na kome se obavlja elektroencelelografija. U strujnim kolima A i B nisu instalirani ni ZUDS, niti uređaji za nadzor izolacije. U prostoriji B se nalazi strujno kolo osvetljenja koje je zaštićeno osiguračem, L6A. Trasa ulaska provodnika u prostoriju B je kroz otvor na krovu prostorije, predviđen za tu namenu. Prostorija B je izvedena u vidu Faradejevog kaveza, u smislu da je u podu i zidovima ugrađena veoma gusta tanka bakarna mreža koja onemogućava pojavu napona dodira i koraka. Pri tome je sabirna šina za izjednačenje potencijala SIP B svih metalnih provodnih delova povezana direktno sa glavnom sabirnicom u prizemlju GSIP B na koju su povezane i ostale prostorije koje su izrađene u vidu Faradejevog kaveza. Zabeležen je slučaj prodora vode sa krova objekta KBC u instalaciju prostorije B, na lokaciji pre osigurača u RT B. Osigurači u stepenu iznad RT B su bili neosetljivi na ovu pojavu, a zbog postojanja prelazne otpornosti na spojevima zaštitnog provodnika prema uzemljivaču $R=2,2\Omega$ nastala je potencijalna razlika od 50V između metalnog rama vrata prostorije B i izloženog provodnog dela - kućišta uređaja EEG. Ovaj napon dodira je prijavljen od strane medicinskog osoblja. Problemi prodora vode u instalaciju su veoma specifični zbog isparavanja vode i promenljive vrednosti otpora izolacije [5].



Slika 4. Primer napona dodira na odeljenu neurologije

U slučaju kada se pojavi potencijalna razlika između dve prostorije, pacijent je od strujnog udara (naponi dodira i koraka) zaštićen Faradejevim kavezom, dok je posebnom izradom uređaja EEG (sigurnosno mali napon, galvanski izolovan) zaštićen od napona [6], koji bi se preneo preko ispitnih

sondi (aplikacioni deo medicinske opreme ME [1]). S druge strane, napon dodira prilikom ove vrste kvara može trajati duže vreme (dok voda ne ispari) i praktično se može izbeći redovnim ispitivanjem otpornosti zaštitnih provodnika. Naime, ova otpornost treba biti dovoljno mala, da bi napon dodira u bilo kom slučaju imao maksimalnu dozvoljenu vrednost. Činjenica je da postoji razlika između nekada korišćenih i danas važećih standarda, a u navedenom slučaju ukoliko se električna instalacija ne menja, važeći su standardi iz projektne dokumentacije objekta.

3. Zaključak

Kliničko bolnički centri po pravilu zahtevaju značajnu instalisanu snagu, uz podrazumevanu pouzdanost, pa se napajanje objekta uvek obezbeđuje iz više izvora napajanja. U ovim objektima posebna pažnja se posvećuje odabiru i električnom razvodu nužnih potrošača. Akcenat je stavljen na bezbednost od električnog udara, te se osim opštih mera obavezno sprovode i dodatne mere zaštite. Tokom eksploatacije objekta, mogu se pojaviti nepredviđeni problemi, kao što je prodor vode u izolaciju. Da bi se izbegle neželjene posledice potrebno je pripremiti medicinsko osoblje na slične pojave. Stoga se dugogodišnja pouzdanost i bezbednost u celini ispunjavaju kvalitetnim i redovnim održavanjem, tako da čak i u slučaju kvara, električna instalacija ne predstavlja opasnost za pacijente i osoblje.

Literatura

- [1] SRPS HD 60364-7-710:2012 „Električne instalacije niskog napona - Zahtevi za specijalne instalacije ili lokacije - Lokacije za pružanje medicinskih usluga”
- [2] SRPS HD 60364-4-41:2012 „Električne instalacije niskog napona – Zaštita radi ostvarivanja bezbednosti – Zaštita od električnog udara”
- [3] ABB „Practical guide for group 2 medical locations“ 2010, [https://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/4a4aa114b82cacf3c125793d0034c65a/\\$file/Installationsguide-medicinske+omr+2csc470010b0201.pdf](https://www02.abb.com/global/dkabb/dkabb501.nsf/0/4a4aa114b82cacf3c125793d0034c65a/$file/Installationsguide-medicinske+omr+2csc470010b0201.pdf)
- [4] A. Baggini: „Application note Electricity Systems for Hospitals“ 2014, ECI Publication No Cu0114, http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/Cu0114_WP_Electricity%20for%20hospitals_v2.pdf
- [5] N.Simić, „Verifikacija električnih instalacija niskog napona – najčešći problemi u projektovanju i izvođenju“ *Elektrotehnički institut Nikola Tesla - Zbornik radova*“, Knjiga 24, strana 147-156

- [6] Stefanos C. Angelakis, Giorgos Saatsakis, Dimitris Prionas and Ioannis Valais „Electrical Safety of Medical Equipment An Experimental Approach“ e-Journal of Science & Technology (e-JST) (3), 9, 2014, strana 25-30, http://e-jst.teiath.gr/issue_37/Angelakis_37.pdf

Abstract: This paper presents the observations collected during the testing of electrical installations in medical buildings. The details of the power supply, wiring systems and the implemented systems of protection against electric shocks are described. The causes of some faults during the exploitation of the facilities are presented through practical examples, and the specific problem caused by water leaking through the insulation of electrical installations is explained in detail. It is pointed out how important maintenance, monitoring and application of the latest standards in this area are, as well as adequate training of professional staff.

Keywords: electrical installations, medical buildings, touch voltage, Faraday Cage.

Low-Voltage Electrical Installations in Medical Buildings – Clinical Centres and Hospitals

Rad primljen u uredništvo: 03.11.2015. godine
Rad prihvaćen: 10.11.2015. godine