

DOI: [10.46793/CIGRE37.B2.08](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B2.08)**B2.08****PRIMENA BESPILOTNIH LETELICA (DRONOVA) NA POSLOVIMA ODRŽAVANJA
VISOKONAPONSKIH VODOVA****APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (DRONES) IN THE
MAINTENANCE OF HIGH-VOLTAGE POWER LINES****Nikola Dilparić, Nikola Šćekić, Darko Živković, Žolt Kančar***

Kratak sadržaj: U ovom radu su opisane mogućnosti i praktična primena bespilotnih letelica (dronova) u poslovima održavanja nadzemnih vodova u prenosnom sistemu EMS AD. Cilj rada je da se predstavi i ukaže na prednosti primene bespilotnih letelica u odnosu na tradiciionalne načine rada i da se identifikuju poslovi u kojima bespilotna letelica može doprineti poboljšanju procesa održavanja. Naglasak je na unapređenju pouzdanosti elektroenergetskog sistema integracijom bespilotnih letelica u poslovima održavanja i vizuelne i dijagnostičke inspekcije nadzemnih visokonaponskih vodova. Opisane su i mogućnosti bespilotne letelice sa osvrtom na tehničke karakteristike opreme koju EMS AD koristi kao i njihova konkretna primena. Korišćenjem bespilotnih letelica u ovim operacijama, značajno se smanjuju operativni troškovi, vreme potrebno za inspekciju i rizici koji su povezani sa tradicionalnim metodama, poboljšanje bezbednosti radnika pri radu na visini i u nepristupačnim područjima. Kroz praktične primere je demonstrirana upotreba u realnim vremenskim uslovima i uslovima terena, ističući njihovu ulogu u preventivnom, redovnom i interventnom održavanju u „teškim“ terenskim i vremenskim uslovima.

Ključne reči: *bespilotna letelica, visokonaponski vod, inspekcija, održavanje*

Abstract: This paper describes the possibilities and practical application of unmanned aerial vehicles (drones) in the maintenance of overhead power lines in the EMS AD transmission system. The aim of the paper is to present and highlight the advantages of using drones over traditional methods and to identify tasks where unmanned aerial vehicles can contribute to improving the maintenance process. The focus is on enhancing the reliability of the power system through the integration of drones in maintenance, visual, and diagnostic inspections of overhead high-voltage power lines. The paper also describes the capabilities of the drone, with a review of the technical characteristics of the equipment used by EMS AD and their specific application.

* Nikola Dilparić, Elektromreža Srbije, nikola.dilparic@ems.rs
Nikola Šćekić, Elektromreža Srbije, nikola.scekic@ems.rs
Darko Živković, Elektromreža Srbije, darko.zivkovic@ems.rs
Žolt Kančar, Elektromreža Srbije, zolt.kancar@ems.rs

By using drones in these operations, operational costs, inspection time, and risks associated with traditional methods are significantly reduced, improving worker safety when working at heights and in inaccessible areas. Practical examples demonstrate the use of drones in real-time and field conditions, highlighting their role in preventive, regular, and emergency maintenance in "challenging" terrain and weather conditions.

Key words: *unmanned aerial vehicle, high-voltage line, inspection, maintenance*

1 UVOD

Razvojem novih tehnologija i savremenih rešenja u oblasti izrade bespilotnih letelica (dronova) iste nalaze primenu i u održavanju nadzemnih visokonaponskih vodova (dalekovoda). Primena dronova omogućava efikasnije upravljanje poslovima na redovnom, preventivnom i interventnom održavanju optimizujući angažovanje ljudstva i utrošenog vremena za potrebe pregleda i inspekcije elemenata visokonaponskih vodova.

Bespilotne letelice opremljene RGB kamerama visokog kvaliteta, termalnim senzorima i LiDAR sistemima mogu dati preciznu ocenu stanja opreme visokonaponskih vodova. Na osnovu velikog broja dobijenih podataka može se preciznije oceniti stanje izolacije, provodnika, ovesne opreme, zaštitnog užeta, konstrukcije stubova, temelja, kao i udaljenost objekata u rasponu ukrštanja od provodnika.

Dronovi omogućavaju brz pristup dalekovodima u teško dostupnim područjima, čime se smanjuje rizik za radnike i optimizuje potrebno vreme za izvršenje radnih zadataka. Takođe, dronovi pored redovnih inspekcija nalazi primenu prilikom vanrednih situacija izazvanih lošim vremenskim uslovima.

Integracijom bespilotnih letelica u poslovima održavanja i vizuelne i dijagnostičke inspekcije nadzemnih visokonaponskih vodova unapređuje se pouzdanost i sigurnost rada prenosnog elektroenergetskog sistema Republike Srbije.

Upotreba bespilotnih letelica u održavanju dalekovoda postaje sve zastupljenija i nalazi svakodnevnu primenu prilikom poslova redovnog održavanja.

2 MOGUĆNOSTI BESPILOTNE LETELICE (TEHNIČKE KARAKTERISTIKE)

Upotrebom bespilotnih letelica se ostvaruje bolje upravljanje resursima, smanjuje se potreba za opasnim radovima na visini i omogućava brža i preciznija inspekcija elemenata nadzemnih visokonaponskih vodova.

U poslovima održavanja visokonaponskih vodova, dronovi prevashodno nalaze primenu u pregledu dalekovodnih stubova i raspona na teško pristupačnim mestima (močvare, jezera, rečna ostrva...), pregled visokonaponskog voda nakon ispada, lociranje kvara prilikom trajnih ispada.

Da bi se ti poslovi obavljali što efikasnije nabavljena je odgovarajuća bespilotna letelica koja je opremljena odgovarajućom opremom.

Kao dodatnu opreme EMS AD je nabavio:

- RGB kameru sa termalnim senzorom

- Kamera za mapiranje (LiDAR)
- Mobilna stanica za precizno pozicioniranje
- Reflektor
- Bacač plamena
- Oprema za kontinualno (besprekidno) napajanje bespilotne letelice

2.1 Tehnička specifikacija opreme

Nabavljena bespilotna letelica (dron) ima sledeće ključne karakteristike:

- Maksimalno vreme leta: do 55 minuta (zavisi od korisnog tereta)
- Maksimalna nosivost: do 2,7 kg
- Maksimalna brzina: do 82,8 km/h (23 m/s)
- Radna visina: do 7000 m nadmorske visine (uz odgovarajuće elise)
- Otpornost na vetar: do 12 m/s
- IP zaštita: IP55 – otpornost na vodu i prašinu (pogodno za rad u teškim vremenskim uslovima)
- Radna temperatura: od -20 °C do +50 °C

RGB kamera sa termalnim senzorom je kamera visoke rezolucije koja omogućava da se uz pomoć bespilotne letelice izvrši na kvalitetan način inspekcija elemenata dalekovodnog stuba. Glavne karakteristike kamere su:

- Kamera od 20MP sa do 23x hibridnim zumom i maksimalnim zumom 200x
- Širokougaona kamera od 12MP
- Kamera sa termalnim senzorom
- Laserski daljinometar (do 1200m)

Kamera za mapiranje (LiDAR kamera) integriše RGB kameru za mapiranje i softver visoke preciznosti. Kombinovanjem GNSS-a i visokopreciznog razvijenog softvera postiže se vertikalna tačnost od 4 cm i horizontalna tačnost od 5 cm.

Mobilna stanica za precizno pozicioniranje je nadograđeni GNSS prijemnik visoke preciznosti koji podržava sve glavne globalne sisteme satelitske navigacije, pružajući diferencijalne korekcije u realnom vremenu koje generišu podatke o pozicioniranju na centimetarskom nivou radi poboljšane relativne tačnosti.

Reflektor je snage do 300W, a osvetljenost prelazi 30.000 lumena. Jasan i svetao zrak se projektuje pod uglom od 45 stepeni.

Reflektor je moguće pomerati u tri ose, ugao osvetljenja je fleksibilno podesiv i omogućava da se snažno svetlo osvetljenja projektuje precizno na ciljnu lokaciju.

Bacač plamena je specijalni dodatak koji omogućava uklanjanje „prepreka“ sa faznih provodnika. Uz bacač plamena se montira rezervoar zapremine od 1l goriva. Obzirom da je protok goriva 4.5L/min to znači da je moguće imati plamen u trajanju od 13.3 sekundi.

Oprema za kontinualno napajanje čine stanica za neprekidno napajanje drona i agregat. Stanica je opremljena kablom dužine od 100m (kabl preko kojeg se vrši napajanje baterija drona). Ulazni napon u stanicu je 230V i može se napajati ili putem standardnih električnih instalacija ili preko agregata. EMS AD je nabavio akumulatorsku bateriju velikog kapaciteta preko koje dron može kontinualno da leti približno 4 sata.

Sva dodatno nabavljena oprema je kompatibilna sa samom bespilotom letelicom i vrlo lako se montira.

3 PRIMENA BESPILOTNE LETELICE

3.1 Primena u preventivnom i redovnom održavanju

Primena bespilotnih letelica (dronova) u preventivnom i redovnom održavanju dalekovoda predstavlja savremeni pristup koji omogućava efikasniju, sigurniju i jeftiniju inspekciju elemenata elektroenergetske infrastrukture.

Primenom dronova kod preventivnog održavanja postiže se niz pogodnosti koje se ogledaju u uočavanju potencijalnih nedostataka koji mogu da dovedu trajnih kvarova i havarija.

Prilikom pregleda dalekovoda uz pomoć drona moguće je proceniti stanje sledećih elemenata:

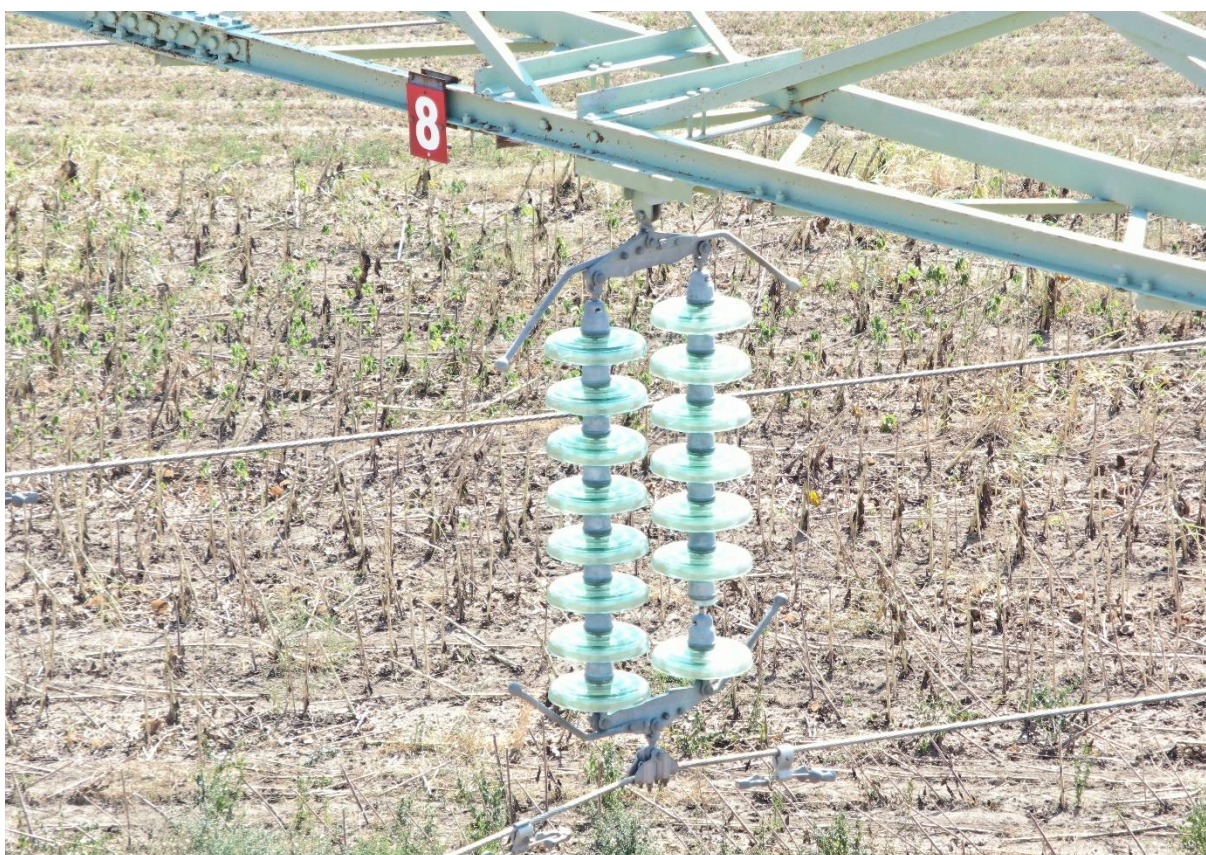
- Izolacije
- Ovesne i spojne opreme
- Faznog provodnika
- Zaštitnog užeta
- Konstrukcije stuba
- Temelja

Sa bespilotnom letelicom opremljenom visokorezolucionom kamerom i mogućnošću zumiranja do 200x moguće je izvršiti detaljan vizuelni pregled izolatora na dalekovodima. Inspekcija može da uključuje sledeće:

- Oštećenje izolatorskog članka
- Zaprljanost izolacije (aerozagađenje, ptice, tragovi poljoprivrednih čestica...)
- Korozijski metalnih delova izolacije
- Tragove preskoka i proboja



Slika 1: Tragovi preskoka na izolatoru na DV 110 kV br. 132/1 TS Sombor 3 – TS Crvenka



Slika 2: Oštećenje izolatorskog članka na DV 110 kV br. 102A/2 TS Požarevac – TS Petrovac

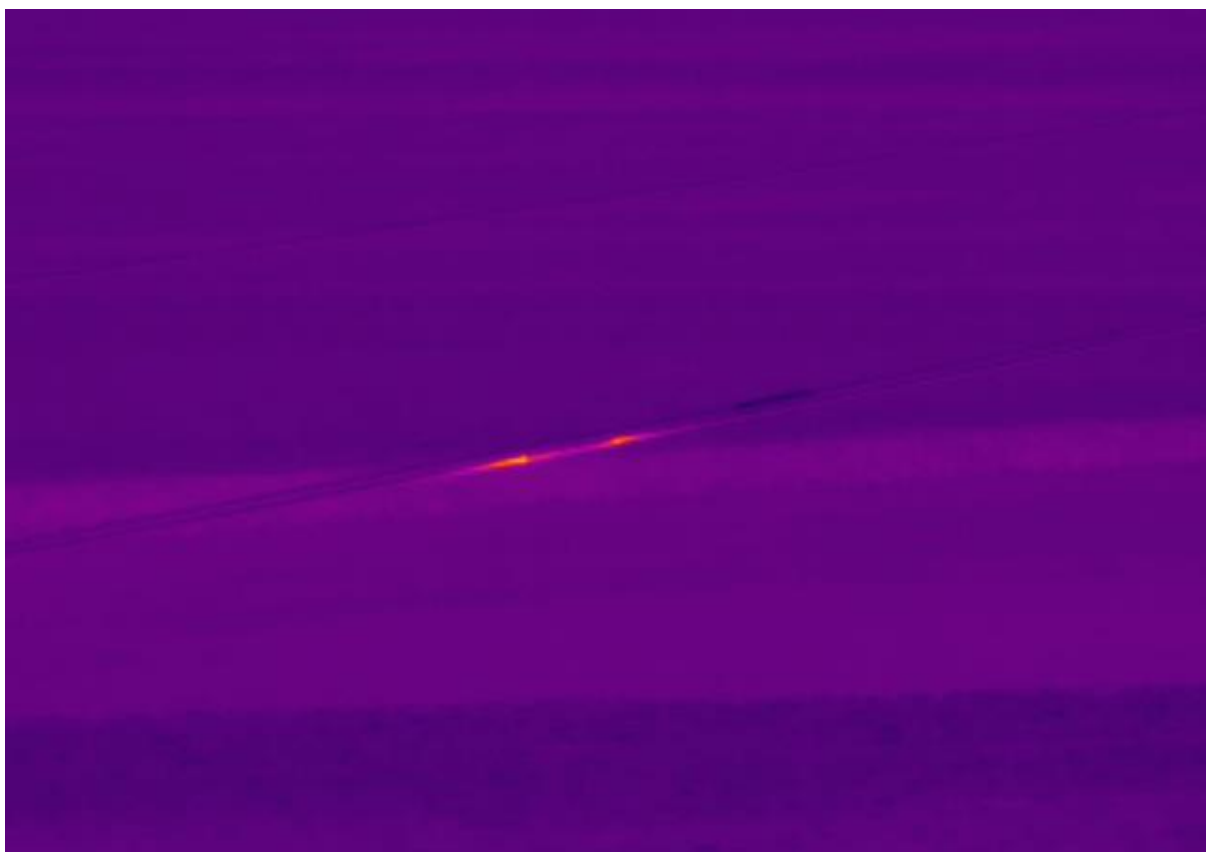
Inspekcija ovesne i spojne opreme je važan deo pregleda dalekovoda, obzirom na veliku važnost ovih elemenata u pogledu uloge samih elemenata pomoću kojih se vrše kačenje, zatezanje i povezivanje provodnika i izolatora na stubovima.

Vremenom, usled mehaničkog naprezanja, uticaja vremenskih uslova i korozije, može doći do njihovog oštećenja, što predstavlja potencijalni rizik za pouzdanost rada dalekovoda.

Moguće je detektovati sledeće nedostatke:

- Mehanička oštećenja (pukotine, deformacije, topljenja...)
- Koroziju i rđu
- Labave spojeve i topla mesta
- Pogrešno montirani elementi

Primenom dronova u inspekciji, moguće je preventivno delovati u pogledu uočenih nedostaka.



Slika 3: Labav spoj (toplo mesto) na kompreionoj nastavnoj spojnici na DV 400 kV br. 453/2
PRP Čibuk 1 – TS Pančevo 2



Slika 4: Oštećenje zaštitnog elementa (roga) izolatorskog lanca na DV 110kV br. 102A/2 TS
Požarevac – TS Petrovac

Pregledom faznog provodnika i zaštitnih užadi moguće je detektovati mehanička oštećenja samih užadi. Uz pomoć LiDAR sistema i zahvaljujući razvoju softvera moguće je izvršiti obradu LiDAR snimaka iz kojih je moguće dobiti preciznu udaljenost faznih provodnika od svih objekata od interesa. U poslovima održavanja visokonaponskih vodova je jako važno imati preciznu informaciju o udaljenostima elemenata pod naponom od rastinja, objekata, kao i od tla.



Slika 5: LiDAR snimak jednog raspona na DV 110kV br. 137/2 EVP Resnik – TE Kolubara



Slika 6: Oštećenje faznog provodnika na DV 110 kV br. 132/1 TS Sombor 3 – TS Crvenka

Pregled konstrukcije uz pomoć dronova omogućava nam da uz pomoć kamere visokog kvaliteta izvršimo pregled na kvalitetan i detaljan način. Moguće je detektovati sledeće:

- Uočavanje korozije na čelično rešetkastim stubovima
- Nedostatak profila
- Oštećenje konstrukcije



Slika 7: Oštećenje konstrukcije na DV 2x110 kV br. 136A/1 TS Beograd 3 – TS Beograd 11 i
br. 136A/2 TS Beograd 11 – TS Beograd 17

3.2 Primena u interventnom održavanju

Pored primene bespilotnih letelica u poslovima preventivnog održavanja, moguća je primena i u sledećim slučajevima:

- Prilikom pronalaženja kvara
- U noćnim uslovima rada
- Pregled prilikom vanrednih vremenskih uslova
- Uklanjanje objekata za provodnika

Nabavljena oprema uz dron omogućava EMS-u brzo reagovanje prilikom trajnih ispada. Pre svega dronovi su se pokazali kao jako korisni i efikasni prilikom lociranja kvara na dalekovodu u teškim vremenskim uslovima (prilikom velikih snežnih padavina). Prilikom takvih vremenskih uslova najveći otežavajući faktor je neprohodnost puteva. Potrebno je uložiti veliki napor i utrošiti poprilično vreme da bi se došlo do pojedinačnog stuba visokonaponskog voda. Uz pomoć drona se lako i brzo može pregledati i po par stubova i raspona.



Slika 8: Primena bespilotnih letelica u teškim vremenskim uslovima na teško pristupačnim stubnim mestima

Za noćne uslove rada je nabavljen adekvatan reflektor i uz pomoć opreme za kontinualno napajanje je moguće osvetliti elemente na kojima je potrebno raditi prilikom interventnih radova.



Slika 9: Primena bespilotnih letelica u noćnim uslovima rada [1]

Za uklanjanje objekata bilo sa faznih provodnika ili zaštitinih užadi je nabavljen bacač plamena sa dovoljnom zapreminom boce za skladištenje goriva.



Slika 10: Primena bacača plamena za skidanje prepreke sa dalekovoda [2]

4 PREDNOSTI PRIMENE BESPILOTNIH LETELICA

Primena bespilotnih letelica (dronova) u oblasti održavanja visokonaponskih vodova donosi brojne prednosti, od povećane bezbednosti i smanjenja troškova do veće efikasnosti i preciznosti u detekciji problema.

Jedna od najvećih prednosti korišćenja dronova je smanjenje rizika po ljudski život. Inspekcija i održavanje visokonaponskih vodova tradicionalno zahtevaju angažovanje radnika na velikim visinama, što nosi ozbiljne opasnosti. Korišćenjem dronova moguće je sa zemlje izvršiti detaljan pregled svih elemenata visokonaponskog voda, čime se značajno smanjuje potreba za radom na visini.

Upotreba dronova značajno smanjuje operativne troškove u poređenju sa konvencionalnim metodama inspekcije. Tradicionalni načini pregleda često zahtevaju korišćenje skupe opreme, primenu specijalnih transportnih sredstava, kao i angažovanje velikog broja radnika. Dronovi, s druge strane, omogućavaju brz i efikasan pregled uz znatno niže troškove, jer ne zahtevaju skupu logistiku niti dugi vremenski angažman na terenu.



Slika 10: Pregled stuba na teško pristupačnom rečnom ostrvu

Savremeni dronovi su opremljeni kamerama visoke rezolucije, termalnim senzorima i LiDAR sistemima, što omogućava detaljan pregled i analizu stanja visokonaponskog voda. Termalne kamere, na primer, mogu otkriti pregrevanje spojeva, dok LiDAR senzori omogućavaju kreiranje 3D modela visokonaponskih stubova i okolnog terena. Ovi podaci pružaju precizne informacije o stanju infrastrukture, omogućavajući donošenje pravovremenih i tačnih odluka o održavanju.

5 ZAKLJUČAK

Primena dronova u održavanju visokonaponskih vodova donosi brojne prednosti koje doprinose sigurnosti, efikasnosti i smanjenju troškova. Njihova sposobnost da brzo, precizno i sigurno obavljaju inspekciju i analizu infrastrukture čini ih nezamenljivim alatom u modernim elektroenergetskim sistemima. Sa daljim razvojem tehnologije i uvođenjem veštačke inteligencije u obradu podataka, očekuje se da će dronovi igrati još značajniju ulogu u preventivnom održavanju i optimizaciji elektroenergetskih mreža.

6 LITERATURA

[1] <http://www.harwar.com/en/solution/electricity.html>

[2] <https://esdnews.com.au/flame-throwing-drone-burns-debris-off-power-lines-china/>