

Grafička analiza funkcije raspodele temepratura kao indikator detekcije prisustva neekspoldiranih sredstava

Dejan Blagojević, Milan Protić, Nemanja Cenić
Katedra za Informaciono komunikacione tehnologije
Akademija Tehničko Vapsitačkih Strukovnih Studija
Niš, Srbija

dejan.blagojevic@akademijanis.edu.rs,
milan.protic@akademijanis.edu.rs

Bojan Glamočlija, Jelena Krstic
Centar za razminiranje Republike Srbije
Beograd, Srbija
bojan.glamoclija@czrs.gov.rs
jelena.krstic@czrs.gov.rs

Sažetak—Temperaturne raspodele i odstupanja od referente predstavljaju dobru osnovu za detekciju i istraživanje odgovarajućih anomalija i nehomogenosti u prostoru. U kombinaciji sa savremenim tehnologijama predstavljaju moćan alat za dalja istraživanja. U ovom radu predstavljeni su rezultati, istraživanja anomalija u temperaturnim raspodelama u prostoru sa neekspolidiranim eksplozivnim sredstvima. Istraživanje je rađeno na primeru pešadijske mine PMR 2. Pored toga, predstavljeni su i različiti aspekti primene bespilotnih letilica u detekciji minskih polja, sa posebnim naglaskom na tehnike snimanja i obradu podataka u programskom okruženju PIX4D, kao i termalnom analizom pomoću DJI Thermal Analysis Tools programa. Istraživanja su realizovana u dva navrata na terenima Centra za razminiranje Republike Srbije u Grockoj, tokom aprila meseca 2022 u različitim vremenskim uslovima. Dobijeni rezultati predstavljaju dobru osnovu za dalja istraživanja i primenu ovih tehnologija u oblasti razminiranja imajući u vidu specifičnosti i zahteve ove oblasti.

Ključne riječi: bespilotne letilice; tehnike mapiranja, termovizijska snimanja, PIX4D, humanitarno razminiranje.

I. UVOD

Temperaturne anomalije u velikom broju slučajeva predstavljaju pouzdan indikator detekcije prisustva drugih tela i objekata u prostoru od interesa. Termin temperaturna anomalija, označava odstupanje od referentne vrednosti ili dugogodišnjeg proseka [1]. Positivna anomalija ukazuje da je posmatrana temperatura veća od referentne vrednosti, dok negativna anomalija ukazuje da je posmatrana temperatura manja od referentne vrednosti. Pristupi u analizi problema zasnovani na posmatranju i uočavanju poremećaja u temperaturnoj raspodeli u prostoru, pokazali su se kao veoma korisni u širokom spektru aplikacija. Postoji veliki broj metoda koje na jedinstven način kombinuju precizne, emisiono bazirane temperaturne mape, mape intenziteta toplotnog zračenja, mape sa simuliranim temperaturnim vrednostima i sl. Postoji veliki broj istraživanja koja su bazirana na proračunskim rezultatima o tome kako termo-fizička svojstva stranog tela zakapanog u

zemlji i parametri procesa prirodne razmene toplove koji karakterišu uslove sredine utiču na temperaturu površine tla odnosno na njenu raspodelu u okolnom prostoru, kako po površini, tako i u zapremini. Ovaj vid pristupa zaokružuje se procenom gustine verovatnoće uočenih raspodela, kao dobrom osnovnom u daljem procesu odlučivanja. Ovakav pristup u kombinaciji sa savremenim tehnologijama beskontaktnе detekcije, predstavlja moćan aparat u istraživanju i razvoju.

Primena bespilotnih letelica iz dana u dan dobija na značaju i sa sigurnošću se može reći da su bespilotne letelice sinonim inovacije i razvoja. Spektar aplikacija postaje sve širi, upotreba sve intenzivnija, a razvoj sve kreativniji. Oblasti aplikacije prema poslednjim izveštajima kažu da se u ovom trenutku posebno izdvajaju po intenzivnoj primeni oblasti: energetike, građevine, poljoprivrede i medijske produkcije. Ovde je potrebno istaći na prvom mestu, da bespilotne letelice u svakoj aplikaciji treba posmatrati kao sinergiju različitih tehnologija [2].

Na tržištu se nalazi i bogata ponuda različitih vrsta bespilotnih letelica, različitih namena i različitih proizvođača. Kao najpoznatije, izdvaja se paleta komercijalnih DJI letelica, zatim ELIOS, kao i FreeFly. Svi ovi proizvođači, kombinuju svoje proizvode sa različitim tipovima opreme za akviziciju podataka poput opreme za termografska istraživanja, LIDAR (Laser Ranging and Detection), opremom za georadarska istraživanja, hiperspektralnom opremom i sl. Rezultati primene su vidljivi a benefiti višestruki, poput, brzine dobijanja rezultata, tačnosti dobijenih rezultata, raznovrsnosti dobijenih rezultata i mogućnosti njihove dalje obrade, pa do rešavanje kompleksnih problema i zadataka.

Bespilotne letelice su u najvećem broju slučajeva opremljene optičkim digitalnim senzorima – kamerama čiji su geometrija i kvalitet sistema sočiva nepoznati. U tom smislu parametri unutrašnje orientacije i vrednosti distorzija objektiva su nepoznate veličine. U cilju korišćenja jednog ovakvog sistema u merne – fotogrametrijske svrhe, od presudnog je značaja ocena ovih veličina u cilju dobijanja kvalitetnog – tačnog i preciznog 3D modela objekta od interesa ili površi terena [3].

Sa druge strane, humanitarno razminiranje je veliki izazov za čovečanstvo. Danas u svetu, 60 zemalja, se suočava sa problemima Prisustvo eksplozivnih ubojnih sredstava ograničava pristup sredstvima za život i svakodnevnim aktivnostima stanovništva na ugroženim područjima. Takođe značajno utiče na brzinu rekonstrukcije i razvoj nakon završetka ratnih sukoba, raseljavanje i preseljenje interna raseljenih lica i izbeglica i životnu sredinu [4]. Dugo nakon okončanja sukoba, eksplozivna sredstva nastavljaju da ubijaju, ranjavaju i utiču na svakodnevni život pogođenih zajednica. Uprkos značajnim naporima u protekle dve decenije da se ograniči uticaj eksplozivnih ubojnih sredstava, nedavni oružani sukobi izazvali su nagli porast broja žrtava, iako mnoge nesreće ostaju neprijavljene, posebno u područjima sukoba. Nova, složenija kontaminacija, koja uključuje improvizovane eksplozivne naprave, ima ozbiljan uticaj na civile i infrastrukturu [5], [6].

II. KONCEPT ISTRAŽIVANJA I METODOLOGIJA

Kao deo sveopštег pristupa i trendova u ovoj oblasti, primarni cilj je bio da se utvrdi kako male bespilotne letilice mogu da unaprede stanje u HMA (Humanitarian Mine Action) terenskim operacijama, povećaju efikasnost procesa i optimizuju ga u kombinaciji. Ovo istraživanje ima za cilj da doprinese razvoju koncepta primene komercijalnih letilica dostupnih po pristupačnim cenama kombinujući vizuelne multimedijalne sadržaje, slike i GIS/ kartografiju /fotogrametriju [7], [8], [9].

Fokus istraživanja stavljen je na temperaturne raspodele u okolini stranih tela u prostoru, u ovom slučaju eksplozivnih sredstava u različitim situacijama kao i uslovima na terenu. Elementi koji izdvajaju ovaj rad od drugih istraživanja sprovedenih na teritoriji bivše Jugoslavije, jeste upravo kombinacije savremenih tehnologija, različitih programskih okruženja i GIS osnova, kao i detaljne analize termalnih karakteristika. Za datu lokaciju, izrađen je Digitalni model terena (DTM) koji predstavlja transformaciju svih informacija sadržanih u izvornom skupu podataka, odnosno u njihovoj strukturi koja je raspoloživa za opis visinske predstave površi Zemlje, sa određenom degradacijom kvaliteta [10],[11],[12]

Simulacija kontaminirane oblasti, realizovana je na terenu Centra za Razminiranje Republike Srbije u Grockoj krajem marta. Raspored maketa mina bio je u skladu sa tradicionalnom vojnom taktikom i često su se pojavljivali u linearnim obrascima. Prostor nadletanja pokriva je površinu od 100 m^2 . Simulirana su dva okruženja, jedno je predstavljalo kamenito okruženje i drugo koje je predstavljalo okruženje sa gustom vegetacijom [13]. Eksperiment je sproveden krajem marta i sredinom aprila 2022. godine u različitim vremenskim terminima. Postavljena su dva različita scenarija za ispitivanje, koja su se odnosila na različite uslove okruženja o kojima će kasnije biti više reči. Istraživanje je rađeno na primeru pešadijske mine PMR 2.

Za snimanje terene korišćena je letilica Matrice 300 RTK i kamera Zenmuse H20T proizvođača DJI. Matrice 300 RTK je najnovija DJI platforma za profesionalna rešenja sa širokom paletom primena, sa do 55 minuta leta, omnidirekcionom tehnologijom i tehnologijom izbegavanja, i pouzdanošću bez

premca. Njegova priključna oprema, H20T kombinuje RGB kameru sa termalnim senzorom od 640×512 piksela i laserskim daljinomerom.

Pored toga odlikuje se i sledećim karakteristikama

- Prenosiva i brzi za postavljanje
- Dostupni su reflektori, zvučnici, farovi i RTK dodaci
- Maksimalni domet od 10 km (FCC) • 1/2" CMOS (42 MP) RGB senzor • 640×512 piksela termalni senzor
- Trostruko opterećenje
- Približno 43 minuta leta
- Baterije i baterijska stanica sa zamenljivom brzinom • 7,1 kg • 15 m/s otpor vetra (FCC) • IP45 (drone) + IP44 (korisno opterećenje)
- Maksimalni domet od 15 km • 1/1,7" CMOS (20 MP) RGB senzor • 640×512 piksela termalni senzor
- Laserski daljinomer



Slika 1. Matrice 300 RTK I H20T kamera

Kao što je gore i navedeno, za snimanje terena korišćena je DJI H20T dualna kamera sa termalnim karakteristikama: senzorom *Uncooled VOx Microbolometer* sočivom od 13.5mm, rezolucijom 640×512 piksela sa 30Hz i sa MP4 video formatom i JPEG 16 bita, zatim spektralnim opsegom od 8-14 μm , osetljivošću $\leq 50 \text{ mK } @f/1.0$. Što se tiče karakteristika širokogaone kamere potrebno je istaći da poseduje 1/2.3" CMOS, 12 MP, DFOV: 82.9° . Žižnu daljinu: 4.5 mm (ekvivalent 24 mm), aperture: f/2.8, focus: 1 m to ∞ I rezolucijom 1920x1080@30fps

Takođe, važno je istaći da DJI pruža podršku nacionalnim, regionalnim i lokalnim agencijama za javnu bezbednost u korišćenju svojih proizvoda. DJI-jev program kvalifikovanih subjekata (KEP) ima za cilj da minimizuje operativna ograničenja oblasti i javne bezbednosti. Većina komercijalnih korisnika i korisnika entuzijasta leti i primenjuje tehnologiju geofencinga, koja postavlja ograničenja na visinu i letove u zonama zabranjenih letova (NFZ). Za javne i bezbednosne službe potrebna je veća fleksibilnost za raspoređivanje za upotrebu letelica, na bilo kojoj visini i bilo gde. KEP proces otključava NFZ-ove i daje veću kontrolu nad ograničenjima visine.

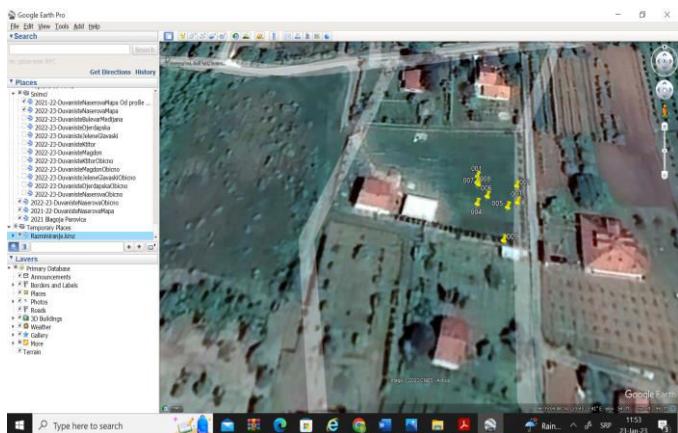
Dobijeni rezultati se zatim obrađuju u različitim programskim okruženjima, koja daju i različite izlazne formate u zavisnosti od oblasti primene i namene (interaktivne mape u

različitim georeferenciranim sistemima, multimedijalni sadržaji u različitim formatima, različiti 3D modeli i sl.

III. REZULTATI I ANALIZA

U prvom koraku sprovedeno je mapiranje i izrada ortofoto snimka prostora od interese (Region of interest - ROI). Oblast koja je centar interesovanja obeležena je u aplikaciji „Google Earth“, gde je iscrtan poligon koji obuhvata celokupnu oblast (Sl. 2). Ovaj poligon izvezen je iz „Google Earth“ aplikacije kao fajl ekstenzije „.KML“. „KML“ fajl je uvezen u aplikaciju „DJI Pilot“ koja je instalirana na daljinskom upravljaču bespilotne letilice i u njoj su dalje definisani parametri leta (visina, preklop fotografija, brzina leta...). Na osnovu zadatih parametara visine i preklopa fotografija, aplikacija „DJI Pilot“ automatski generiše putanju leta.

KML; za svoj referentni okvir koristi 3D geografske koordinate odnsono, geografsku dužinu, širinu i nadmorsku visinu. Ovi podaci (decimalni stepeni) određuju se prema *Svetском geodetskom sistemu 1984 (WGS84)*.



Slika 2. Orotfoto snimak u Google Earth okruženju

Nakon mapiranja na terenu fotografije se uvoze u program „Pix4D Mapper“ na dalju obradu. U ovoj aplikaciji se vrši odabir koordinatnog sistema, provjeri tačnosti i povezivanje sa kontrolnim tačkama po potrebi.

U sledećem koraku određuju se opcije za kreiranje 3D modela, ortofoto mape i radiometrijskih mapa. Svaka od ovih opcija može se uključiti ili isključiti pojedinačno i nisu zavisne jedna od druge. U ovom koraku takođe možemo da izaberemo opciju kreiranja „.kml“ fajla koji sadrži mape kompatibilne sa „Google Earth“ aplikacijom, QGIS aplikacijom i ostalim sličnim aplikacijama.

Obrada fotografija i kreiranje svih odabranih modela i fajlova se vrši automatski, tako što program prvo pronađe zajedničke tačke na fotografijama na osnovu kombinovanja vizuelnog prepoznavanja i podudaranja GPS koordinata na fotografijama, zatim vrši preklop i na kraju kreira željene fajlove. Ovi koraci obeleženi su brojevima od 1 do 4 i nakon svakog završenog koraka generiše se izveštaj koji je moguće pogledati u realnom vremenu, odmah nakon kreiranja. Vreme

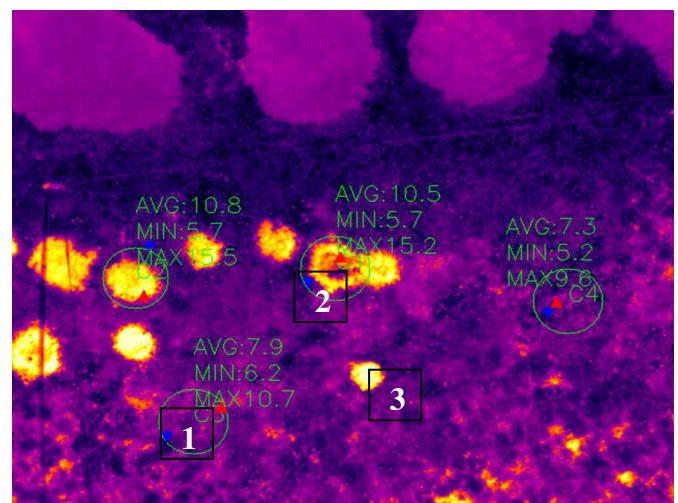
obrade zavisi od želenog kvaliteta, broja izabranih opcija, vrste fajlova i njihove kompleksnosti.

Na ovaj način realizovan je DTM prostora sa georeferenciranim podacima, koji je pružio detaljniji uvid u stanje na terenu, u veoma kratkom vremenskom intervalu, koji nam je poslužio za dalje analize (Sl. 3). Potrebno je istaći da smo paralelno dobili i termalni prikaz lokaliteta (Sl. 4), čime je proces analize teren dobio još jednu dimenziju.



Slika 3. Prikaz lociranog eksplozivnog sredstva

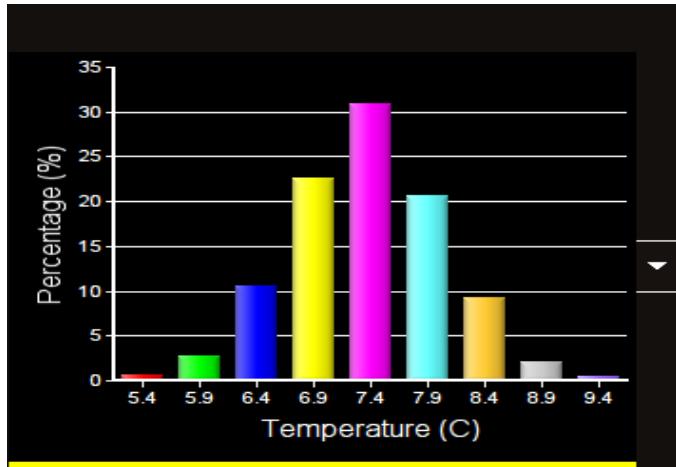
Na ovaj način smo stvorili uslove da sprovedemo inicijalnu analizu stanja na terenu prostim poređenjem JPG i RJPG zapisa. Naime, prikazani orotfoto snimak u GIS okruženju daje nam mogućnost detaljnije analize stanja terena kao i prisustva određenih tela i objekata na terenu. Istovremeno, ovo je inicijalni korak u daljoj analizi.



Slika 4. Prikaz primene opcije ROI u okviru DJI Themral Tools-a

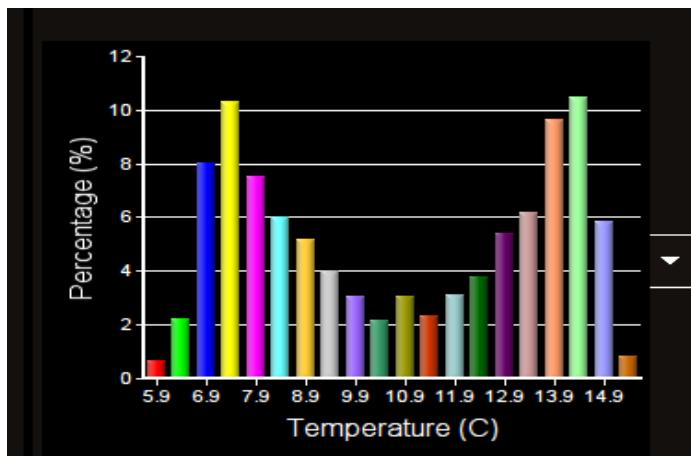
U narednom koraku, radiometrijske slike su analizirane u okviru „DJI Thermal Analysis Tools“ programskog paketa. Radi se o korisnički orientisanom paketu sa širokom paletom opcija koji je u svojoj razvojnoj fazi. Međutim sa stanovišta cilja ovog rada, u potpunosti je ispunjavao postavljene zahteve za analizu R-JPG dokumenata. Za analizu R-JPEG slika korišćeni su različiti alati kao što su „spot metar“, „pomoću

koje smo analizirali temperature tačaka od interesa, zatim ROI (Region of Interest) u okviru koje se obeležava deo oblasti od interesa u obliku pravougaonika, kvadrata ili kružnice, iz koga se izdvajaju podaci o raspodeli temperature u obeleženom delu prostora (min, max i prosečna temperatura) kao i grafički prikaz raspodele temperatura.



Slika 5. Grafički prikaz raspodele temperature u ROI (tačka 1) u kojoj nije detektovano pristivo eksplozivne naprave, odnosno stranog tela (scenario 1)

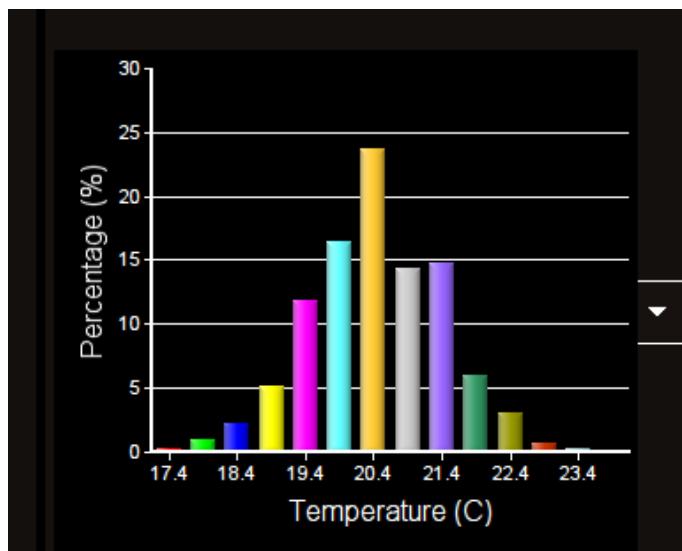
Prikaz temperaturnih raspodela, jasno ukazuju na nehomogenost u oblasti raspodele temperature (sl. 6 i sl. 7). U slučajevima kada je u prostoru prisutno strano telo u našem slučaju neeksplodirano eksplozivno sredstvo (sl. 3) u odnosu na delove prostora gde ista nisu detektovana (sl. 5). Snimanja su realizovana u ranim jutarnjim satima uz poštovanje osnovih postulata termografskih ispitivanja.



Slika 6. Grafički prikaz raspodele temreperatuare u ROI (tačka 2) u kojoj je detektovano prisustvo stranog tela (scenario 1)

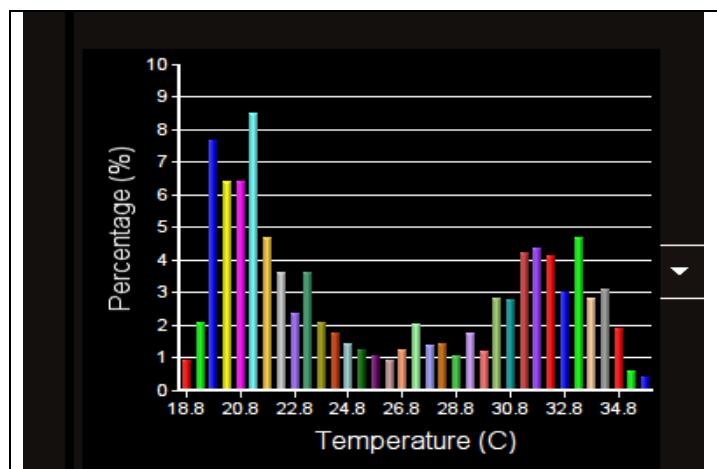
Konstatovano je da u oblastima, gde je detektovano prisustvo neeksplodiranih eksplozivnih sredstava, opseg detektovanih temperatura je širi $5,9 - 14,9^{\circ}\text{C}$ nego u oblastima gde ista nisu prisutna ($5,4 - 9,4^{\circ}\text{C}$). Pre sprovedene analize, postavljene su vrednosti parametara sredine poput, udaljenosti detektovanog eksplozivnog sredstva od kamere (u našem

slučaju 23m), vlažnost vazduha 70%, emisivnost površine 65% i temperature refleksije od 23°C (scenario 1).



Slika 7. Grafički prikaz raspodele temreperatuare u ROI (tačka 1) u kojoj nije detektovano prisustvo stranog tela (scenario 2)

Kao što je već navedeno, eksperiment je ponovljen u različitim uslovima: udaljenost objekta 10m, temperatura refleksije 5°C , vlažnost vazduha 45% (scenario 2). Posmatrajući grafičke raspodele vrednosti temperatura za scenario 2 (Sl. 8 i Sl. 9) i poredeći ih sa raspodelama u iz scenarija 1, konstatujemo da je došlo do proširenja temperaturnog opsega, kao i povećanja stepena disperzije temperature u prostoru. Oblik funkcije raspodele ostao je nepromenljiv, što pruža dobru osnovu za dalja istraživanja i razvoj ovog pristupa.



Slika 8. Grafički prikaz raspodele temperature u ROI (tačka 2) u kojoj je detektovano prisustvo stranog tela (scenario 2)

IV. ZAKLJUČAK

Temperaturne raspodele i odstupanja od referente predstavljaju dobru osnovu za detekciju i istraživanje odgovarajućih

anomalija i nehomogenosti u prostoru. Fokus istraživanje stavljen je na forme temperaturnih raspodela u okolini stranih tela u prostoru, u ovom slučaju eksplozivnih sredstava u različitim situacijama, kao i uslovima na terenu. Pokazali smo da faktori koji utiču na performanse su visina leta, fizička svojstva pojedinačnih nagaznih mina, dnevni elementi, dubina zakopavanja, sunce, vetar i eventualno oblačno vreme.

Eksperiment je ponavljan u različitim vremenskim uslovima (doba dana, temperatura, stepen vlažnosti). Poređenjem dobijenih rezultata konstatovane su promene temperaturnih opsega i povećanje stepena disperzije temperature, dok je oblik funkcije raspodele ostao nepromjenjen.

S obzirom na oblike raspodela temperature u slučajevima kada u prostoru ne postoje eksplozivna sredstva, odnosno pravilnosti u raspodelama, kao i malu disperzivnost u pogledu temperaturnih vrednosti, konstatujemo da dalja istraživanja i precizno određivanje funkcije raspodele temperature daće novi kvalitet i može bitno da unapredi stanje u ovoj oblasti.

LITERATURA

- [1] Donat, M.G., Sillmann, J., 2014. Consistency of temperature and precipitation extremes across various global gridded in situ and reanalysis datasets. *Journal of Climate*, vol. 27, article 17.
- [2] Donat, M.G., Sillmann, J., 2014. Consistency of temperature and precipitation extremes across various global gridded in situ and reanalysis datasets. *Journal of Climate*, vol. 27, article 17. Ember, I., & Kovács, Z. (2020). Drones above EOD operators during their public duty. Marián, Beňovský (editor): *Zborník Prednášok Trhacia Technika-2020*.
- [3] Banská Bystrica, Slovenska spoločnosť pre trhacie a vrtacie prace, 90-97. Horváth, T., & Szatai, Z.J. (2020). History of detection of explosive devices 2. (1951 to the present).
- [4] Land Forces Academy Review, Vol. 25, Issue 4, 290-301. International Campaign to Ban Landmines – Cluster Munition Coalition (ICBL – CMC). (2020). Landmine Monitor-2020. 22nd Annual Edition. Available at: <http://www.themonitor.org/media/3168934/LM2020.pdf>, accessed on 02 February 2021. ISBN: 978-2-9701146-8-0.
- [5] Kovács, Z. (2008). Műszaki zárak felderítésének korszerű eszközei. (Modern devices for detecting engineer barriers). *Bolyai Szemle*, Vol. XVII, Issue 2, 1-9. Budapest: "Haditehnika-2008" Nemzetközi Szimpózium anyaga, ISSN 1416-1443.
- [6] Krause, P., Salahat, E., & Franklin, E. (2018). Diurnal Thermal Dormant Landmine Detection Using Unmanned Aerial Vehicles. *IECON 2018 – 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2299-2304, doi: 10.1109/IECON.2018.8591378. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Diurnal-Thermal-Dormant-LandmineDetection-Using-Krause-Salahat/bf6db73c47230275c995bf6fb7c2a2146c47d3a1>, accessed on 03 September 2021.
- [7] Lukács, L. (2006). Az aknafelderítés korszerű módszerei és eszközei. (The modern methods and devices of mine detection). *Bolyai Szemle*, Vol. XV (Különszám), 1-7. Budapest: "Haditehnika-2006" Nemzetközi Szimpózium anyaga, ISSN 1416-1443. Tóth, J., Lukács, L., & Volszky, G. (2012).
- [8] Hajime Aoyama, Kazuyoshi Ishikawa, Junya Seki, Mitsuo Okamura, Saori Ishimura and Yuichi Satsumi, "Development of Mine Detection Robot System".
- [9] L. Robledo, M. Carrasco and D. Mery, "A survey of land mine detection technology" in *International Journal of Remote Sensing*, Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago, 7820436, Chile:Pontificia Universidad Católica de Chile, Computer Science Department, vol. 30, no. 9, May 2009.
- [10] Ahmed Ismail, Mohammed Elmogy and Hazem ElBakry, "Landmines Detection Using Autonomous Robots: A Survey", *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS)*, vol. 3, no. 4, pp. 184-187, July –August 2014.
- [11] Dirman Hanafi, Mongkhun Qetkeaw and Rozaimi Ghazali, "Simple GUI Wireless Controller of Quadcopter" in , Colorado 80523:Department of Electrical and Computer Engineering Colorado State University Fort Collins.
- [12] Sukhvinder Singh, Qilian Liang, Dechang Chen, Li Sheng et al., "Sense through wall human detection using UWB radar", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2011.
- [13] Acheroy M., Bajić M., Bloch I., Fecher J., Galardini D., Suess H., Wolf E., et al., 2000, Space and airborne mined area reduction tools - SMART, European Commission Research Directorates General - project 2001. – 2003., Information society technologies programme, IST-2000-25044, Brussels, ožujak – studeni 2000. g., 74 str.

ABSTRACT

Temperature distributions and deviations from the referent represent a good basis for the detection and investigation of relevant anomalies and inhomogeneities in space. In combination with modern technology, they represent a powerful tool for further research. This paper presents the results of the research of anomalies in the temperature distribution in the space with unexploded explosive devices. In addition, various aspects of the use of unmanned aerial vehicles in the detection of minefields will be presented, with a special emphasis on recording techniques and data processing in the Pix4D program environment, as well as

thermal analysis using the DJI Thermal Analysis Tools program. Research was carried out on two occasions on the grounds of the Demining Center of the Republic of Serbia in Grocka, during the month of April 2022. The obtained results represent a good basis for further research and the application of these technologies in the field of demining, bearing in mind the specifics and requirements of this field.

**GRAPHIC ANALYSIS OF THE TEMPERATURE
DISTRIBUTION FUNCTION AS AN INDICATOR OF
THE DETECTION OF THE PRESENCE OF NON-
EXPLODING ORDNANCE**

Dejan Blagojević, Milan Protić, Nemanja Cenić, Bojan Glamočlija, Jelena Krstić