

S. Avdić, D. Ćorović, M. Musić, E. Hasić,
A. Arapčić*, F. Adrović, I. Gazdić, E. Cokić

Prirodno-matematički fakultet u Tuzli, Odsjek za fiziku

*Fakultet elektrotehnike u Tuzli

PILOT-STUDIJA PRIMJENJIVOSTI NEUTRONSKE TEHNIKE ZA DETEKCIJU EKSPLOZIVNIH MINA U BOSNI I HERCEGOVINI KAO FUNKCIJA VLAŽNOSTI TLA

DOI: 10.58584/2490-3752.2021.7.6.57

SAŽETAK

Eksperimentalno određivanje vlažnosti tla u kontaminiranim područjima Bosne i Hercegovine predstavlja početnu fazu dugoročnih istraživačkih aktivnosti u cilju ispitivanja mogućnosti primjene savremenih nuklearnih metoda u humanitarnom deminiranju. Eksperimentalni rezultati prezentovani u ovoj studiji, mada se odnose samo na sjevero-istočni dio BiH i na test- -polje sa karakterističnim uzorcima tla, pokazali su da je raspodjela vlažnosti u tlu veoma varijabilna ne samo prostorno nego i vremenski, i da na složen način zavisi od vrste tla i meteoroloških uslova. Rezultati prezentovani u ovom radu su pokazali da vrijednosti vlažnosti za različite tipove tla u Tuzlanskom kantonu prevazilaze kritičnu vrijednost koja je preporučena za primjenu nuklearne detekcione metode, zasnovane na povratnom rasijanju neutrona (*NBT, neutron-backscattering technique*, engl.). Test-polje sa pet karakterističnih vrsta tla iz različitih dijelova BiH praćeno je svakodnevno tokom 30 dana i pokazalo je da tekstura tla značajno utječe na vlažnost tla. Preliminarni rezultati su pokazali da bi zemljište iz minama kontaminiranih područja u

blizini Mostara moglo biti pogodno za ispitivanje neutronskom metodom, posebno u sušnoj sezoni. Međutim, rezultati ispitivanja ne mogu se ekstrapolirati kako bi se predvidjele performanse NB-detektora u drugim miniranim sredinama ili čak pod različitim vremenskim uslovima. Stoga je neophodno stvoriti vizuelnu sliku područja koje se skenira neutronima kako bi NB-tehnika bila uspješna u detekciji mina. Ova studija predstavlja inicijalni doprinos formiranju baze podataka o svojstvima tla i vlažnosti tla, koja je neophodna za primjenu multisenzorskih fuzionih sistema, za detekciju mina sa poboljšanim performansama. Ovaj rad se odnosi na prvi pokušaj ispitivanja primjenjivosti napredne tehnike za otkrivanje mina u BiH.

Ključne riječi: *detekcija, mina, neutron, rasijanje, tlo, vlažnost*

1. Uvod

Bosna i Hercegovina je zemlja sa najviše aktivnih minskih polja u Evropi. Mine na ovom području uglavnom su zakopane u tlu (zatrpane), nemetalne ili sa minimalnim sadržajem metala ([1], [2]). Konvencionalne metode (metal-detektori, biološka inspekcija - psi, ubodna metoda) lokalizacije i identifikacije eksplozivnih mina zakopanih u tlu su dugotrajne, skupe i veoma opasne. Širok spektar tehnika detekcije mina razvijen je kao alternativa konvencionalnim metodama. Razvijeno je nekoliko različitih tehnika za detekciju eksplozivnih mina, ali ni jedna od njih nije dovoljna da bi u potpunosti zadovoljila sve detekcione zahtjeve. Jedan od glavnih problema u humanitarnom deminiranju je odvajanje signala koji dolaze od nagaznih mina i benignih materijala u tlu. Tehnike zasnovane na zračenju mogu biti korisne da bi se utvrdilo da li anomalija u tlu, identifikovana nenuklearnim sredstvima, sadrži eksplozivni materijal ili ne. Za praktične aplikacije je najrelevantnija tehnika sa povratno rasijanim neutronima NBT (*neutron-backscattering technique*, engl.) ([3], [4], [5]). Primjena NB-senzora nakon skeniranja terena metalnim detektorima bi znatno redukovala generisanje „lažnih” alarmnih signala pri ispitivanju kontaminiranih područja i na taj način poboljšala efikasnost postupka deminiranja. U slučaju kritične vlažnosti tla, mina se ne može otkriti jer nema razlike u odnosu na pozadinu. Kritične vrijednosti vlage u tlu za različite vrste nagaznih mina, pronađene u regiji Balkana, uključujući Bosnu i Hercegovinu, kreću se uglavnom od oko 10 % do oko 50 % [6]. Stoga se

preporučuje da sadržaj vlage u tlu za primjenu NBT-a ne prelazi 0, 1 kg.kg⁻¹ (10 % mase).

Analiza vlažnosti tla u područjima kontaminiranim eksplozivnim materijalima predstavlja prvu fazu dugoročnog programa istraživanja u vezi s procenom mogućeg otkrivanja i identifikacije zakopanih mina nuklearnim metodama. Rezultati ovog istraživanja trebali bi pružiti dovoljno informacija da bi se zaključilo da li je NB-tehnika pogodna za identifikaciju nagaznih mina u kontaminiranim područjima Bosne i Hercegovine. Ova vrsta istraživanja ranije nije sprovedena u Bosni i Hercegovini i predstavlja otvoreno polje za istraživanje.

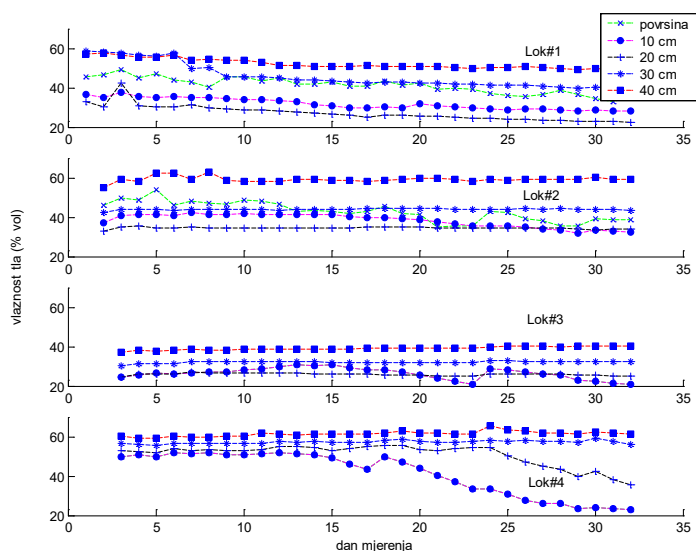
2. Analiza vlažnosti tla na različitim lokacijama u Tuzlanskom kantonu

Prvi terenski eksperiment izveden je u okviru Tuzlanskog kantona. Mjerena je vlažnost tla tokom augusta i septembra 2005, na dnevnoj bazi, na nekoliko lokacija u Tuzlanskom kantonu tokom 30 dana. Mjerna mjesta odabrana su na područjima susjednih minskih polja. Mjerenja su vršena na različitim vrstama tla. Komponente tla i zapreminska gustina odabranog tla mjerene su standardnim metodama. Zapreminski sadržaj vlage u prvom uzorku praćen je na lokaciji # 1 sa GPS koordinatama N 44 ° 24 '55,5 ", E 18 ° 25' 28,5" (selo Musići), drugi uzorak tla je praćen na lokaciji # 2 sa GPS koordinatama N 44 ° 26 '41,5 ", E 18 ° 25' 18,2" (selo Jaruške), treći uzorak je praćen na lokaciji # 3 (selo Seona) sa GPS koordinatama N 44 ° 26 '07.7 ", E 18 ° 23' 16.1", a četvrti uzorak je praćen na lokaciji # 4 sa GPS koordinatama N 44 ° 24 '57,7 ", E 18 ° 25' 26,6" (selo Pribitkovići). Theta sonda tipa ML2x i sonda PR2 proizvođača Delta-T-Devices Ltd. su korištene za mjerenje vlažnosti površinskog sloja tla i vlažnosti tla na dubinama 10 cm, 20 cm, 30 cm i 40 cm, respektivno. Da bi se usrednjila moguća anizotropija u raspodjeli vlažnosti i maksimizirao odziv sonde, izvršena su tri očitavanja na svakoj lokaciji, rotirajući sondu za 120° između svakog očitavanja. To je potrebno pošto sadržaj vlage može značajno da varira, čak i u maloj zapremini tla. Tokom mjerenja korištene su obje sonde uz kalibraciju koja pretpostavlja "normalno" tlo. Obje sonde su korištene u kombinaciji sa jedinicom za očitavanje i memorisanje podataka tipa HH2 ([8], [9], [10]). Između prve i posljednje kampanje uzorkovanja u Tuzlanskom kantonu ukupna količina padavina je iznosila 98.1 l/m² [11].

Procentualno učešće komponenti tla i gustina za sve uzorke tla sa različitih lokacija u Tuzlanskom kantonu dati su u Tabeli 1. Rezultati eksperimentalne analize vlažnosti tla (od površine pa sve do dubine 40 cm) na lokaciji #1 su pokazali da se mjerene vrijednosti nalaze u intervalu 22-58 % vol (11-30 % maseni sadržaj vode), uzorak tla na lokaciji #2 ima zapreminski sadržaj vode u intervalu između 32-63 % vol (17-35 % maseni), za uzorak tla na lokaciji #3 vrijednosti vlažnosti se nalaze u intervalu 21-41 % vol (10-20 % maseni), dok tlo na četvrtoj lokaciji ima zapreminski sadržaj vode u intervalu između 23-65 % vol (12-35 % maseni). Unutar slojeva na konstantnoj dubini postoje značajne slučajne varijacije u sadržaju vode u tlu na različitim lokacijama. Time je potvrđeno da eksperimentalni podaci dobijeni sondama PR2 i ML2x približno prate normalnu raspodjelu. Za svako od mjesta uzorkovanja izračunati su srednji zapreminski sadržaj vode i standardna odstupanja. Statistička analiza pokazuje da postoji razlika između srednjih vrijednosti podataka na različitim dubinama na sve četiri lokacije. Rezultati mjerenja zapreminskog sadržaja vode u uzorcima tla na četiri različite lokacije i na različitim dubinama u zavisnosti od dana mjerenja prikazani su na Slici 1.

Tabela 1. Procentualno učešće komponenti tla i gustina tla sa različitih lokacija u Tuzlanskom kantonu [7]

Komponente	Uzorak #1	Uzorak #2	Uzorak #3	Uzorak #4
Glina (%)	15.5	12.5	0.0	15.5
Prah (%)	33.3	44.3	15.5	43.6
Pijesak (%)	42.8	43.2	46.3	34.6
Šljunak (%)	8.4	0.0	38.2	6.3
Gustina tla (10^3 kg/m^3)	1.91	1.80	2.02	1.83



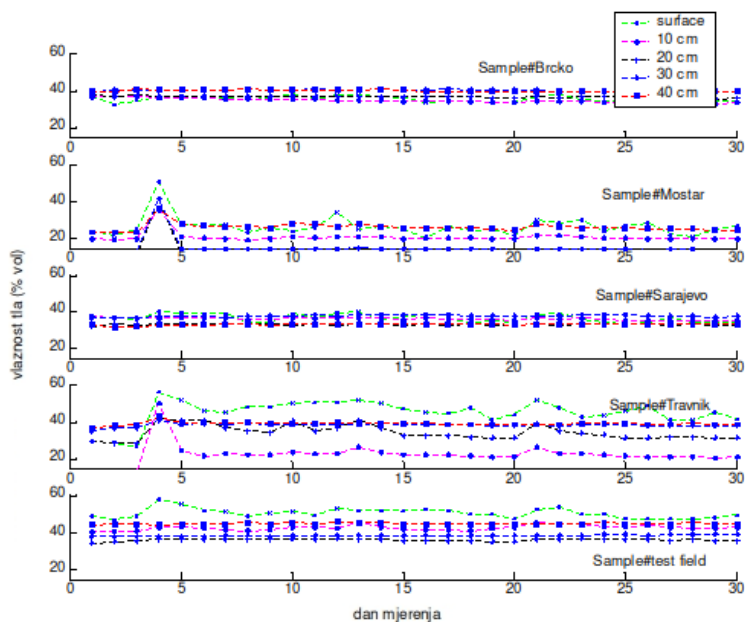
Slika 1. Rezultati monitoringa vlažnosti tla sa četiri lokacije u Tuzlanskom kantonu na različitim dubinama

3. Analiza vlažnosti različitih uzoraka tla u test-polju

Test-polje sa pet različitih uzoraka tla blizu minskih polja kod Mostara, Sarajeva, Travnika, Brčkog i Banovića je bilo smješteno na lokaciji sa GPS koordinatama N 44°24' 47.3", E 18° 25' 08.0" (selo Pribitkovići). Svi uzorci tla su disturbirani prilikom kopanja na mjestu uzorkovanja, transporta do test-polja, odstranjeni su ostaci kamenja i tlo je homogenizovano. Uzorci tla su u okviru test-polja bili separirani pomoću nepropusnih folija. Svi uzorci su imali cilindričan oblik, dijametra 60 cm i dubine oko 70 cm. Stepenn vlažnosti uzoraka tla na površinskom sloju i različitim dubinama je monitorovan na dnevnoj bazi u septembru i oktobru 2005, u periodu od 30 dana. Ukupna količina padavina od 35.9 l/m² je izmjerena između prve i posljednje kampanje mjerenja vlažnosti tla u test-polju. Procentualno učešće komponenti tla za uzorke u test-polju i gustina tla dati su u Tabeli 2.

Tabela 2. Procentualno učešće komponenti tla i gustina tla u test polju [7]

Komponente tla	Uzorak #Brčko	Uzorak #Travnik	Uzorak #Mostar	Uzorak #Sarajevo	Uzorak #test polje
Glina (%)	4.6	2.1	2.3	5.9	4.3
Prah (%)	23.5	16.6	15.4	18.5	39.4
Pijesak (%)	70.7	33.8	33.4	75.6	56.3
Šljunak (%)	1.2	47.5	48.9	0.0	0.0
Gustina tla (10^3 kg/m^3)	2.0	1.87	2.11	2.05	2.03

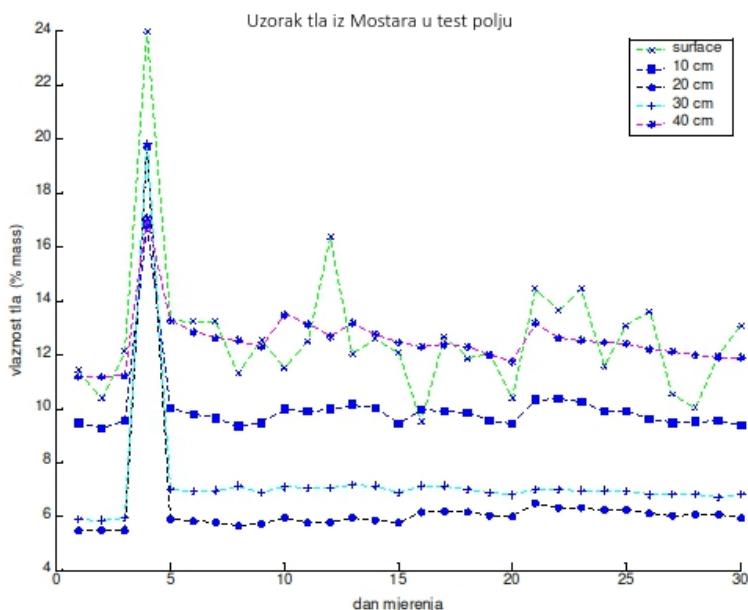


Slika 2. Rezultati monitoringa vlažnosti tla u test-polju

Vrijednosti vlažnosti uzorka #Brčko od površinskog sloja do dubine od 40 cm su bili u intervalu 32.5-41.3 % vol (16.3-20.6 % maseni), za uzorak #Travnik između 13.1-56.0 % vol (7.0-29.9 % maseni), za uzorak #Mostar između 11.5-50.6 % vol (5.5-23.9 % maseni), za uzorak #Sarajevo mjerene vrijednosti su bile između

31.8-40.3 % vol (15.5-19.6 % maseni) i na lokaciji samog test-polja sadržaj vlage se kretao između 34.8-57.7 % vol (17.1-28.4 % maseni). Eksperimentalni rezultati mjerenja zapreminskog sadržaja vode u uzorcima tla u test-polju prikazani su na Slici 2. Eksperimentalni rezultati analize uzoraka tla u test-polju su pokazali da uzorak tla iz Mostara ima maseni sadržaj vlage manji od 10.3 % na dubini od 10 cm, 6.5 % na dubini od 20 cm and 7.2 % na dubini od 30 cm, dok se vlažnost površinskog sloja kretala do 16.3 % masenih u toku suhih dana i do 23.9 % masenih u toku kišnih dana.

Rezultati dobijeni mjerenjem vlažnosti pomoću sonde ML2x i PR2 u uzorku tla iz Mostara prikazani su na Slici 3.



Slika 3. Varijacija vlažnosti tla za uzorak tla iz Mostara na svim dubinama u toku perioda monitoringa u test-polju

Eksperimentalni rezultati su pokazali da vlažnost različitih tipova tla pri istim vremenskim prilikama zavisi značajno od vrste i sastava tla. Pošto vrsta i vlažnost tla imaju značajan utjecaj na performanse NBT-senzora, dobijeni eksperimentalni rezultati se ne mogu ekstrapolisati na druge tipove tla, niti se može predvidjeti

odziv NBT-senzora u uzorcima iste vrste tla, ali pri drugim vremenskim prilikama.

Zaključak

Mjerenje sadržaja vode u tlu korisno je za ispitivanje mogućnosti detekcije mina, jer karakteristike mnogih senzora zavise od vlažnosti tla kao važnoj varijabli. Najvažnija tema istražena u ovom radu bila je određivanje vlažnosti tla i njeno dinamičko kretanje u različitim vrstama tla na nekoliko lokacija susjednih minskih polja u Bosni i Hercegovini. Na osnovu rezultata predstavljenih u ovoj studiji može se zaključiti da nije prikladno koristiti NB-tehniku sa sistemom koji se sastoji od izvora neutrona i detektora od jednog piksela za otkrivanje nagaznih mina u gotovo svim istraženim područjima BiH gdje sadržaj vlage tla prelazi preporučenu vrijednost od 10% mase. Međutim, rezultati ispitivanja vlažnosti uzoraka tla iz različitih klimatskih zona BiH u okviru test-polja pokazuju da bi se NB-tehnika mogla primijeniti na tipove tla kao što je uzorak tla sa kontaminiranog područja blizu Mostara, i to na dubinama od 10 cm do 30 cm i u toku sušnog perioda. Da bi se donio definitivni zaključak o primjenjivosti nuklearne tehnike za detekciju mina u južnim dijelovima BiH, potrebno je izvršiti više mjerenja u dužem periodu i na više različitih lokacija. Nedavno se pokazalo da se utvrđivanjem raspodjele vodonika u gornjem sloju tla može povećati vjerovatnoću detekcije mina [12]. Savjetuje se kombinovanje metode povratnog rasijanja neutrona s drugim metodama, poput radara koji prodire u zemlju (GPR) ili infracrvene slike (IR) radi poboljšanja performansi sistema detekcije [13]. Vrsta tla i vlaga, također, imaju značajan utjecaj na GPR-performanse i IR-senzore za snimanje. Ako se integrisani senzorski sistem može optimizirati tako da uzima u obzir učinke lokalnog okruženja tla, mogao bi se postići vrlo visoki nivo performansi kombinovanog sistema detekcije. Pošto performanse pomenutih senzora intenzivno variraju sa svojstvima tla, inkorporiranje informacija o svojstvima tla u senzorski fuzioni proces bi doprinio poboljšanju performansi multisenzorskog detekcionog sistema. Ova studija predstavlja početni doprinos uspostavljanju banke podataka o osnovnim svojstvima ispitivanih uzoraka tla i vrijednostima vlažnosti tla u nekim regijama BiH. Dobijeni rezultati bi mogli biti korisni za primjenu novih i naprednih detekcionih tehnologija.

Budući rad uključivat će eksperimentalna ispitivanja vlažnosti tla u ostalim dijelovima BiH. Analiza prostorne i vremenske varijabilnosti vlažnosti tla i njihov utjecaj na detekciju nagaznih mina pomoću NBT-a bit će ispitani u sljedećoj fazi istraživačkog programa. Također se predviđa da se izvrši analiza podataka o vlažnosti tla pri različitim rezolucijama uzorkovanja i na različitim veličinama mreže kako bi se utvrdila optimalna prostorna skala i gustoća uzorkovanja na kojoj bi podaci trebali biti predstavljeni.

Priznanje

Ovaj rad financiran je grantom Federalnog ministarstva obrazovanja Bosne i Hercegovine (Projekat 01-3670 / 04-10). Ljubazno se zahvaljujemo na njihovoj podršci. Autori izuzetno cijene ljubaznu podršku i mnoge dragocjene komentare prof. I. Pazsita. Veoma smo zahvalni dr. S. Zekanu, dr. A. Nuriu, dr. S. Nuriu, dr. T. Knezicegu, H. Bešiću, Z. Majstoroviću i E. Saraču na njihovoj pomoći i korisnim savjetima.

Literatura

1. Landmine Monitor Report 2004, <http://www.icbl.org/lm/2004/bosnia>
2. Bosnia and Herzegovina Mine Action Centre, <http://www.bhmac.org>
3. G. Nebbia at al, in: 6th International Conference on Applications of Neutron Science, Crete, Greece, June, (1999).
4. G. Viesti et al., The EXPLODET project: advanced nuclear techniques for humanitarian de-mining, Nucl. Instr. Meth. A 422 (1999) 918
5. E. Fioretto at al, Neutron Back-scattering for the Detection of Land Mines, EXPLODET Report (1998-2002).
6. J. Obhodas, D. Sudac, K. Nad, V. Valkovic, G. Nebbia, G. Viesti, The Soil Moisture and its Relevance to the Landmine Detection by Neutron Backscattering Technique. Nuclear Instruments And Methods in Physics Research B 213 (2004) 445-451.

7. S. Zekan, Report on physical and mechanical investigation of the soil samples, Faculty of Mining, Geology and Civil Engineering Department for Mechanics and Geotechnik, University of Tuzla, Bosnia and Herzegovina, (2005).
8. User Manual for the ThetaProbe type ML2x, AT Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK, (2004).
9. User Manual for the Profile Probe type PR2, PR2-UM-2.0, AT Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK, (2004).
10. User Manual for the Moisture Meter type HH2, Version 3.0, AT Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK, (2004).
11. Z. Majstorovic, E. Sarac, Report on precipitation in Tuzla for three months, Federal Meteorological Service of B&H, Sarajevo, (2005).
12. C.P. Datema, V.R. Bom, C.W.E. van Eijk, Monte Carlo Simulations of Landmine Detection Using Neutron Backscattering Imaging, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 513 (2003) 398-402.
13. Alternatives to Landmine Detection, Multisensor System to Improve Mine Detection Capability, <http://www.rand.org/publications/MR/MRI608/>