

# Gradijentni senzor za merenje temperature tla

Snežana G. Luković, Ljiljana D. Živanov

Fakultet tehničkih nauka,  
Univerzitet u Novom Sadu  
Trg Dositeja Obradovića 6  
Novi Sad, Srbija

[snekslukovic63@gmail.com](mailto:snekslukovic63@gmail.com), [lilaziv@uns.ac.rs](mailto:lilaziv@uns.ac.rs)

Miloljub D. Luković, Obrad S. Aleksić, Maria V. Nikolić

Institut za multidisciplinarna istraživanja,  
Univerzitet u Beogradu  
Kneza Višeslava 1  
Beograd, Srbija

[lukovic@imsi.rs](mailto:lukovic@imsi.rs); [obradal@yahoo.com](mailto:obradal@yahoo.com)

**Sažetak-** U ovom radu je opisan gradijentni senzor temperature tla koji se koristi za merenje temperatura na različitim dubinama u zemlji. Temperatura tla se meri NTC termistorima. Termistori su dobijeni debeloslojnom tehnologijom sito štampe. Konstrukcija jednog segmentiranog termistora sastoji se od 9 debeloslojnih PdAg elektroda kvadratnog oblika. Pet elektroda je odštampano ispod i četiri iznad termistorskog sloja. Termistorski sloj je od nikl manganita koji je štampan u tri sloja da se onemogući nastanak kratkog spoja. Prikazana merenja su izvršena tokom nekoliko dana u različita vremenima i pri različitim vremenskim uslovima (suvo vreme, kiša).

**Ključne reči** - senzor temperature 1; NTC termistor 2; debeloslojna tehnologija 3;

## I. UVOD

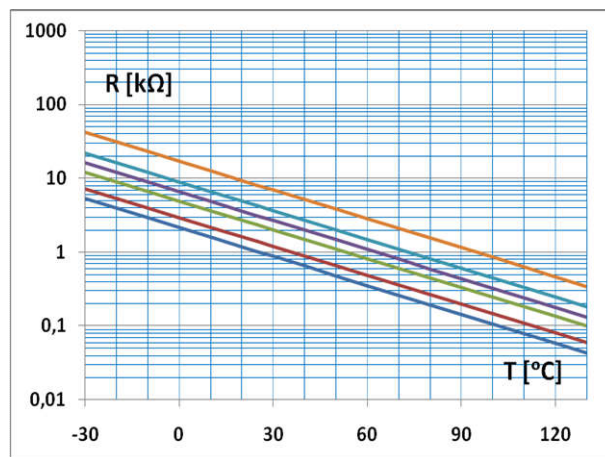
Merenje temperature zemljišta je od velikog značaja za pravilan rast i razvoj biljaka. Zemlja se ponaša kao rezervoar u kojem se skladišti voda između dva navodnjavanja ili dve kiše, da bi ta voda bila dostupna biljci za njen zdrav razvoj. Smisao upotrebe senzora za merenje temperature u zemljištu jeste preciznije znanje o tome kada je najpovoljnija temperatura za sejanje kao i za navodnjavanje. Pomoću senzora se može dobiti precizna slika ovih procesa tokom dužeg vremenskog perioda. To predstavlja osnovu za razvoj obrasca ili šeme pravilnog navodnjavanja, u skladu sa potrebama određenih kultura.

Naziv termistor nastao je spajanjem reči thermal + resistor = thermistor i označava otpornik koji menja otpornost sa promenom temperature. Koeficijent promene otpornosti sa temperaturom kod termistora na bazi olovo-titanata-cirkonata je pozitivan (PTC), a na bazi oksida nikl-manganita je negativan (NTC). Sinterovani NTC termistori na bazi oksida Ni, Mn, Fe, Co i Cu detaljno su objašnjeni u radu [1]. Na bazi prahova ovih oksida nastao je NTC materijal nikl manganit  $\text{NiMn}_2\text{O}_4$ . Paralelno sa tim razvijene su od istog materijala prve NTC hibridne paste koje su štampane na  $\text{Al}_2\text{O}_3$  podlogama kao debeloslojni senzori temperature [2]. Danas se NTC termistori koriste kao senzori temperature, protoka gasova, brzine vetra, kao komponente za kašnjenje u elektronskim kolima, za regulaciju napona i zaštitu od strujnog impulse i kompenzaciju promene otpornosti. U ovom radu je data građa gradijentnog senzora koji ima deset debeloslojnih segmentiranih NTC termistora povezanih na red i njihove električne karakteristike u zavisnosti od temperature u zemlji.

Osnovna karakteristika NTC termistora je da se njihova otpornost smanjuje sa povećanjem temperature [2]. Zavisnost električne otpornosti NTC termistora od temperature je eksponencijalna. Najčešće su korišćeni za merenje temperature u automobilskoj industriji, u kućnim aparatima i industrijskoj elektronici [1]. Nikl manganit je spinelni oksid i jedan je od najčešće korišćenih NTC materijala. Jedna od skora primena je bila za merenje protoka vode gde su za senzore korišćeni debeloslojni hibridni termistori [3,4].

U ovom radu je deset debeloslojnih segmentiranih NTC termistora korišćeno za konstrukciju gradijentnog senzora za merenje temperature tla na različitim dubinama. Početna merenja vršena su u 40 tačaka na dubini od 54 cm u različito doba dana, kao i pri različitim vremenskim uslovima.

Gradijentni senzor temperature tla se koristi za merenje temperature u zemlji: platenicima, voćnjacima kao i u meteorologiji. Temperatura se meri NTC senzorima. Na slici 1. data je promena električne otpornosti R u funkciji od temperature T (NTC-kriva).



Sl.1. Tipične vrednosti električne otpornosti R za NTC termistore u funkciji od temperature T

Električna otpornost (R) NTC termistora menja se eksponencijalno / logaritamski sa promenom temperature T prema Steinhart-Hart formuli (1):

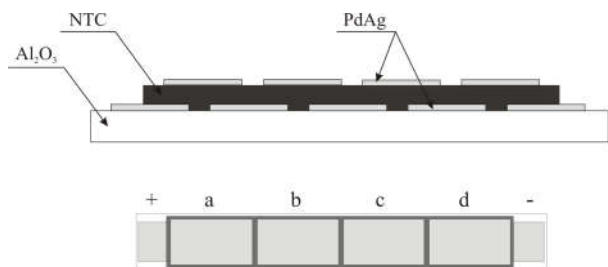
$$R(t) = A \exp\left(\frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3}\right)$$

$$\frac{1}{T} = A + B(\ln R) + C(\ln R)^3$$

gde su A, B i C konstante koje se eksperimentalno određuju.

## II. EKSPERIMENTALNI DEO

Pasta za segmentirani termistor se sastoji od niki manganitnog praha, vezivnog stakla i organskih rastvarača, kao što je detaljno opisano u [4]. Segmentirani debeloslojni termistor je dobijen tehnikom sito štampe na podlozi od alumine dimenzije 50.8 x 6.35mm i debljine 0.5 mm. Prvo je štampano pet PdAg elektroda oblika kvadrata na alumina podlozi, preko koga je štampan debeli sloj od niki manganitne paste tri puta, preko koga su štampane još četiri PdAg elektrode, kao što je prikazano na sl. 2. Na ovaj način se obezbeđuje cik-cak raspored elektroda (redno-paralelna veza).



Slika 2. Konstrukcija debeloslojnog segmentiranog termistora: poprečni presek (gore) i pogled odozgo (dole), PdAg – provodna pasta, NTC – termistorska pasta štampana u tri sloja, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – podloga od alumine

Gradijentni senzor se sastoji od deset NTC termistora koji su vezani na red i postavljeni u središnjem delu cevi čije su dimenzije 800 mm sa prečnikom od 20 mm, kao što je prikazano na sl. 3.

Žična forma je napravljena tako da prolazi kroz cev i sve žice su zalemljene na regleti gradijentnog senzora. Na sl. 3 je prikazana konstrukcija gradijentnog senzora, a na slici 5 regleta.

## III. KALIBRACIJA

Za merenje temperature u vazduhu, vodi ili zemljištu pomoću debeloslojnog segmentiranog termistora potrebno je izvršiti merenje i kalibraciju električne otpornosti u planiranom mernom opsegu. To je izvršeno u klima komori na način opisan u [4] koji omogućava određivanje termistorskog eksponencijalnog faktora B. Ova konstanta je neophodna za izračunavanje izmerene temperature termistora koja se dobija kao R<sub>1</sub> pri čemu je R<sub>0</sub> otpornost termistora na sobnoj temperaturi T<sub>0</sub> od 20 °C koja je dobijena kao srednja vrednost više ponovljenih merenja.

Osetljivost termistora je velika i on reaguje na promene temperature od 0.1 °C, menjajući otpornost za nekoliko mΩ.

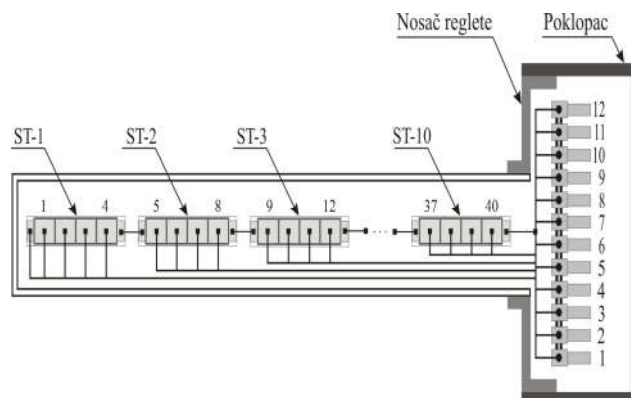
Za merenje temperature u vazduhu, vodi ili zemlji pomoću debeloslojnog segmentiranog termistora potrebno je baždarenje otpornosti R<sub>0</sub> na sobnoj temperaturi T<sub>0</sub>=293,16 K (≈20 °C), merenje otpornosti R<sub>1</sub> na temperaturi T<sub>1</sub> i zavisnost R(T) tj. jednačine (1) u prvoj aproksimaciji su:

$$R_1 = R_0 \exp\left[\frac{B(T_0 - T)}{TT_0}\right],$$

odakle je tražena temperatura termistora data formulom:

$$T_1 = \left[ \left( B \cdot T_0 / (B + T_0 \ln \frac{R_1}{R_0}) \right) \right],$$

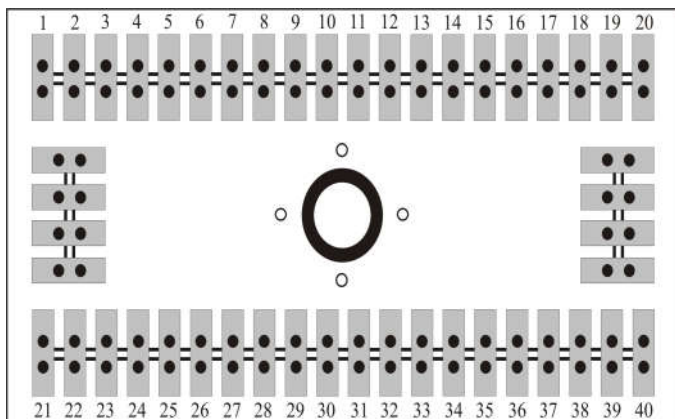
Osetljivost termistora je velika i on reaguje na promene temperature od 1mK menjajući otpornost za nekoliko mΩ što je iskorišćeno za senzore prikazane u ovom radu.



Slika 3. Konstrukcija gradijentnog senzora temperature tla



Slika 4. Gradijentni senzor temperature tla



Slika 5. Regleta gradijentnog senzora temperature tla

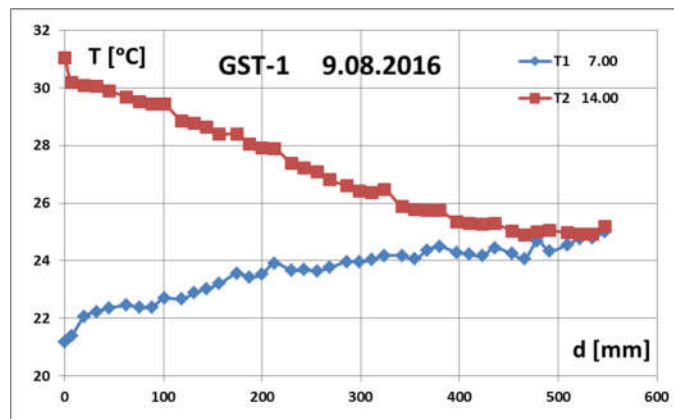
#### IV. ANALIZA I MERENJE TEMPERATURE TLA

Merenje otpornosti NTC segmentiranih termistora urađeno je multimetrom na opsegu od 2000  $\Omega$ . Test merenja temperatura zemljišta vršena su u 40 tačaka do dubine od 540 mm na livadi u rupi tokom jednog dana dva vremena: u 7 ujutro i 14 časova u sredini dana. Prikaz testiranja gradijentnog senzora temperature tla dat je na sl. 6.



Slika 6. Testiranje gradijentnog senzora temperature tla

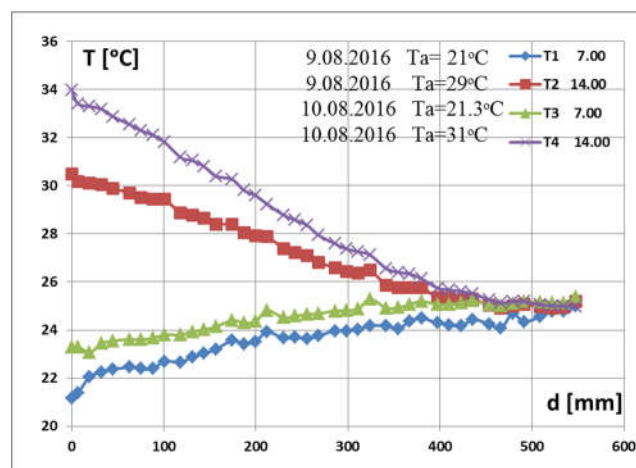
Dobijene temperature u zemlji na dubini od 540 mm su praktično iste bez obzira što su spoljne temperature bile vrlo različite. Izmene vrednosti su prikazane na sl. 7.



Sl. 7. Izmerene vrednosti temperature zemljišta u zavisnosti od promene dubine pomoću gradijentnog senzora temperature

Temperatura vazduha je u 7 ujutro bila 21  $^{\circ}\text{C}$ , dok je na površini zemlje bila 21.174  $^{\circ}\text{C}$ . U 14 časova je temperatura vazduha porasla na 29  $^{\circ}\text{C}$ , a na površini zemlje je temperatura bila 31.048  $^{\circ}\text{C}$ . Na najvećoj dubini je temperatura zemlje bila skoro ista 25.015  $^{\circ}\text{C}$  ujutro (znači ostalo je toplije u odnosu na spoljašnju temperaturu), a u 14 časova kada je najtoplije se neznatno zagrejala na 25.179  $^{\circ}\text{C}$ .

Na sl. 8. je prikazana promena temperature tla na različitim dubinama izmerena za različite temperature vazduha, tokom dva dana. Ova merenja su vršena po suvom vremenu, i može se videti da je zavisnost od dubine linearna. U sredini dana se temperatura tla smanjuje sa povećanjem dubine merenja, dok je ujutro na većoj dubini temperatura malo viša. Dnevne fluktuacije temperature imaju sve manje uticaja na temperaturu tla, kako je dubina veća i na dubinama iznad 50 cm se praktično ne menja. Ovo su preliminarni test rezultati i za određivanje neke zakonitosti je potrebno vršiti još dosta merenja po suvom vremenu pri različitim spoljnim temperaturama i u različitim vremenima u toku dana.

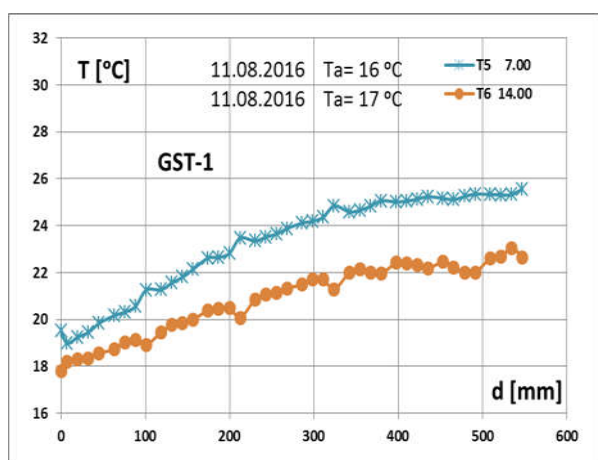


Sl. 8. Promena temperature zemljišta u zavisnosti od dubine i dana,  $T_a$  je izmerena temperatura vazduha

Potrebno je postaviti više od jednog senzora na jednu lokaciju, na različite dubine. Mi ovo nazivamo "senzorska stanica", i ona može dati bolji prikaz temperature zemljišta na celoj parceli, a samim tim i da se odrede bolji uslovi za rast i razvoj biljaka, konačno i bolji prinos.

Postavljanje senzora u zemljište zavisi od dubine korenovog sistema biljke, ali i tip i tekstura zemljišta mogu uticati na koju dubinu postaviti senzor. Sa povrtarskim kulturama manjih korena, jedna dubina može biti adekvatna (korenov sistem manji od 30 cm). Kod dubljih korenovih sistema (vinova loza), trebalo bi meriti temperature zemljišta na većoj dubini.

Na sl. 9. je prikazana promena temperature tla sa povećanjem dubine u dva vremena po kišnom danu.



Slika 9. Promena temperature tla izmerena gradijentnim senzorom temperature tla po kišnom vremenu,  $T_a$  je izmerena temperatura vazduha

Ujutro u 7 je palo oko 10 mm/m<sup>2</sup> kiše, koja je nastavila da pada da bi do 14 časova kada je izvršeno drugo merenje palo oko 15 mm/m<sup>2</sup> kiše. Može se primetiti da je ova zavisnost takođe linearna. Temperatura tla na većoj dubini je viša od temperature tla na manjoj dubini, što odražava uticaj hladne kiše na promenu temperature tla. Ova promena je slična promeni temperature tla u slučajevima merenja ujutru po suvom vremenu.

Greška merenja kod ovakvih termistora je manja od 1.5%. Dodatnim baždarenjem je moguće smanjiti na ispod 1%.

Da bi se dobila kompleksna slika promena temperatura zemljišta koja bi imala značaj za krajnje korisnike, potrebno je vršiti merenja temperature tla u više različitih vremena u toku dana, tokom dužeg vremenskog perioda i u različitim vremenskim uslovima. Preliminarni rezultati su pokazali da gradijentni senzor temperature tla može uspešno da meri promene temperature tla na različitim dubinama i pri različitim vremenskim uslovima.

#### ZAHVALNICA

Ovaj rad je deo projekata III45007 i TR32016 koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

#### LITERATURA

- [1] A. Feteira, "Negative temperature coefficient resistance (NTCR) ceramic thermistors: An industrial perspective" J. Amer. Ceram. Soc., vol. 92, no. 5, pp. 967-983, 2009
- [2] M. V. Nikolic, O. S. Aleksic, B. Radojic, M. D. Lukovic, N. Nikolic, Z. Djuric, "Optimization and application of NTC thick film segmented thermistors", Key Engineering Materials, vol. 543, pp. 491-494, 2013
- [3] M. V. Nikolic, B. M. Radojic, O. S. Aleksic, M. D. Lukovic, P. M. Nikolic, "A thermal sensor for water using self-heated NTC thick-film segmented thermistors", IEEE Sensors J. vol. 11, pp. 1640-1647, 2011
- [4] M. D. Lukovic, M. V. Nikolic, O. S. Aleksic, Z. I. Stanimirovic, L. Z. Sibinoski, I. P. Stanimirovic, "Sistem za merenje protoka tečnosti zasnovan na gubitku toplote debeloslojnih NTC termistora", Tehnika, vol. 64, pp. 822-827, 2015

#### ABSTRACT

In this paper a graded temperature sensor for measuring soil temperature at different depths has been described. The temperature was measured using NTC (negative temperature coefficient) thermistors. These thermistors were obtained using thick film screen printing technology. One thermistor was constructed of nine thick film PdAg electrodes with a square shape. Five electrodes were screen printed below and four electrodes were printed on top of the nickel manganite paste layer on an alumina substrate. Measurements performed during several days at different times and weather conditions (dry and rainy weather) have been given.

*key words* - temperature sensor, NTC thermistor, thick film technology

#### GRADED TEMPERATURE SENSOR FOR MEASURING SOIL TEMPERATURE

Snežana G. Luković, Ljiljana D. Živanov,  
Miloljub D. Luković, Obrad S. Aleksić, Maria V. Nikolić