

# Senzorski sistem za merenje temperature asfalta

Milan Radovanović, Goran Stojanović, Mladen Dinić,  
Bojan Matić  
Fakultet tehničkih nauka  
Novi Sad, Srbija  
rmilan@uns.ac.rs

Obrad Aleksić  
Institut za multidisciplinarna istraživanja  
Beograd, Srbija  
obradal@yahoo.com

Katarina Cvejin  
Instytut of Electron Technology Krakow Division  
Krakow, Poland  
cvejin.katarina@gmail.com

*Sadržaj*— U ovom radu opisan je sistem za merenje temperature asfalta sa redno vezanim komercijalnim senzorima za merenje temperature DS1820, ali takođe i sa razvijenim NTC (*Negative Temperature Coefficient*) segmentiranim termistorom koji je proizveden na alumina supstratu. Predložena je primena tri redno vezana termistora na zajedničkom nosaču za merenje temperature asfalta. Snimanje karakteristika NTC segmentiranih termistora odnosno promena njihove impedanse u zavisnosti od temperature merena je pomoću uređaja Impedance Analyzer HP 4194A, u opsegu od 100 Hz do 40 MHz, a temperatura je merena pomoću termalne kamere ULIRVision 160, u temperaturnom opsegu od 25°C do 80°C.

*Ključne riječi*- NTC termistor; Merenje temperature asfalta; Senzor;

## I. UVOD

Merenje temperature spada u jedan od najvažnijih parametara koji se mere, počev od temperature vazduha u svakodnevnom životu, pa preko laboratorijskih merenja temperature pa sve do složenih industrijskih procesa gde je potrebno znati tačnu vrednost temperature u svakom trenutku i to sa tačnošću od jedne desetine stepena [1]-[4]. Temperatura asfalta predstavlja jedan od važnih parametara u poslednje vreme, a pogotovo je važno znati promenu temperature po dubini odnosno profilu asfalta. Pravovremena i tačna informacija o temperaturi asfalta može biti prenešena do nekog upravljačkog mesta gde bi se onda aktivirali grejni sistemi, naročito na osetljivim mestima kao što su mostovi, nagibi, krivine na putu, itd. Za merenje temperature asfalta se mogu koristiti komercijalni temperaturni senzori, ali takođe i specijalno dizajnirani termistori.

Izgradnja asfaltnih puteva je jako skup tehnološki proces i za optimalno održavanje puteva pored opterećenja puteva, klimatskih uslova potrebno je imati uvid u temperaturu različitih slojeva, i u toj oblasti postoji veliki broj instrumenata i različitih tipova senzora za merenje temperature asfalta počev od fiber optičkih senzora [5], termoparova [6], bežičnih senzora zasnovanih na RFID tehnologiji [7].

Termistori – su termički osetljivi otpornici čija je osobina da im se sa promenom temperature menja električni otpor. Oni su pasivni elektronski poluprovodnici čiji električni otpor varira sa temperaturom i nalazi se između provodnika i izolatora. Važna karakteristika termistora je njihova ekstremna osetljivost na promenu temperature. Dok većina metala imaju male pozitivne temperaturne koeficijente otpora, termistori pokazuju širok spektar negativnih i pozitivnih temperaturnih koeficijenata. Veliki koeficijenti i nelinearnost otpornosti sa promenama temperature, karakteristike su termistora koje im omogućavaju različite primene. Za njihovu izradu koriste se različiti materijali kao što su mangan, nikl, kobalt i drugi metalni oksidi [8].

NTC termistori su otpornici čija otpornost opada sa povećanjem temperature [9]. Oni se široko koriste za merenje temperature. Koriste se za praćenje i merenje temperature u kućnim aparatima, industrijskoj proizvodnji, medicini i automobilskoj industriji [10]. NTC termistori se takođe primenjuju u termalnim senzorima za merenje protoka, zapremine tečnosti i protoka gasova [11].

U ovom radu je predstavljen sistem za merenje temperature u asfaltu pomoću redno vezanih komercijalnih senzora temperature DS1820 (*Dallas Semiconductor*), a pored toga opisan je NTC termistor proizveden na alumina supstratu. Sistem baziran na komercijalnim senzorima DS1820 je implementiran u asfaltu, tako da je njegovo ispitivanje i testiranje urađeno u realnim uslovima na putu i razvijen je softver za praćenje temperature po dubini poprečnog preseka asfalta. Testiranje sistema baziranog na NTC segmentiranim termistorima je za sada izvršeno u laboratorijskim uslovima. Merenja impedanse su vršena pomoću uređaja Impedance Analyzer HP4194A dok je temperatura u laboratorijskim uslovima praćena termalnom kamerom ULIRVision 160 u temperaturnom opsegu od 25°C do 80°C.

## II. SISTEM ZA MERENJE TEMPERATURE ASFALTA

Prvi sistem, koji smo razvili, za merenje temperature asfalta sastoji se od šest komercijalnih senzora (DS1820) koji

se nalaze na međusobnom rastojanju od 3 cm na držaču (Sl. 1). Prilikom ugrađivanja senzora za merenje temperature kolovoza po dubini, prvo je izvađen uzorak, na osnovu koga su određeni slojevi kolovozne konstrukcije koji se analiziraju. Utvrđeno je da je debljina ispitivanih asfaltnih slojeva 14,0 cm. Nakon izvađenog uzorka i definisanja slojeva kolovozne konstrukcije koji se ispituju, napravljen je otvor u asfaltu dubine 14 cm i pripremljena podloga za polaganje kabla koji povezuje senzore u cilju napajanja strujom (Sl. 2).



Slika 1. Izgled držača senzora.

Kabel koji povezuje senzore sa mikrokontrolerom je postavljen tik ispod površine asfalta (Sl. 3), pa kroz zid do kancelarije u kojoj se nalazi računar za prikupljanje informacija. Prilikom ugradnje senzora u asfalt vodilo se računa da su senzori zaista u dodiru sa asfaltom. Da bi se izbeglo formiranje vazdušnog džepa između asfalta i senzora, držač sa sensorima je uronjen u bitumen. Radi obezbeđenja korektnog rada senzora oni su prethodno izolovani termoskupljajućim bužinom. Mesto sastava je pažljivo izolovano sa dve vrste termo skupljajućeg bužira. Sve je uredno zaptiveno tako da prilikom prelaska automobilske točke nema nikakvog mehaničkog opterećenja na senzore. Potom je napravljen softver za očitavanje temperatura koji jasno prikazuje temperaturni gradijent po slojevima asfalta. Temperature asfalta, kao i datum i vreme očitavanja, su uredno beležene u za to predviđeni fajl. Vreme očitavanja temperature moguće je podešavati u softveru.

Sistem je pomoću RS232 komunikacionog interfejsa povezan sa računarom, na kome je napravljen softver za komunikaciju, očitavanje i prikaz temperature. Dužina držača senzora je 15 cm i postavljen je u asfalt uspravno da bi se pratila temperatura u slojevima koji se nalaze na različitoj dubini.

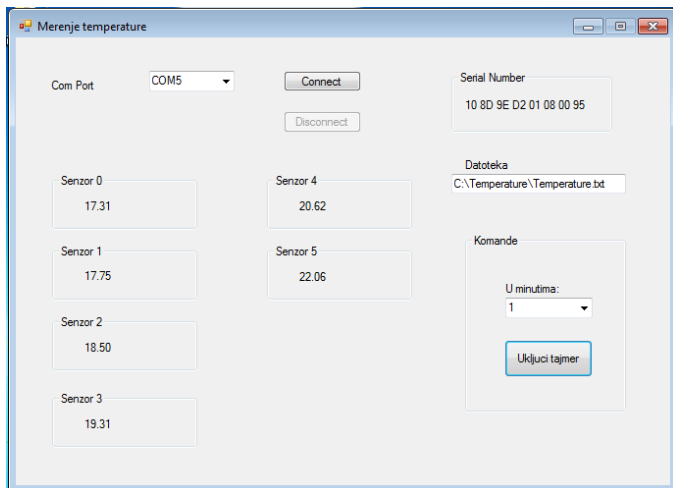


Slika 2. Priprema otvora za postavljanje senzora.



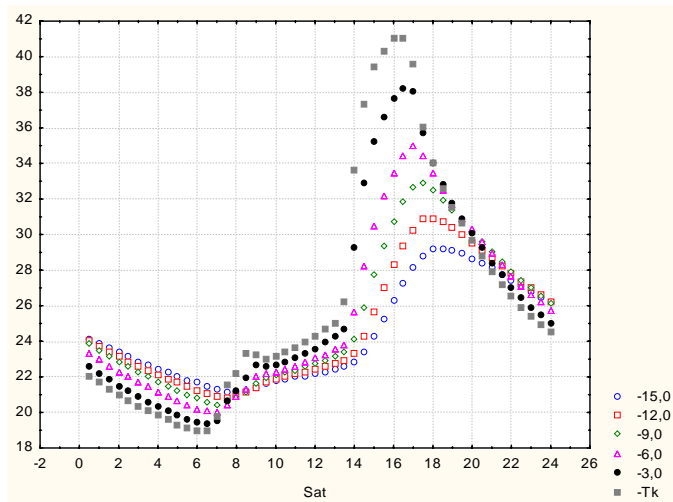
Slika 3. Postavljanje držača senzora u asfalt i njegovo zaptivanje radi zaštite od vlage i mehaničkog oštećenja.

Na Sl. 4 prikazan je izgled prozora softvera za praćenje temperature asfalta po dubini. Možemo videti na slici 4 da se temperatura prikazuje za svaki senzor posebno i da su senzori označeni sa Senzor 0 do Senzor 5. Takođe sa slike može se uočiti da Senzor 0 koji se nalazi na najvećoj dubini ima temperaturu od 17,31°C, dok Senzor 5 koji je najbliži površini beleži temperaturu od 22,06°C. Na osnovu ovoga može se zaključiti da je temperatura površine asfalta veća za 4,75°C od temperature sloja na dubini od 15 cm.



Slika 4. Osnovni izgled softvera za prikazivanje izmerene temperature asfalta po dubini.

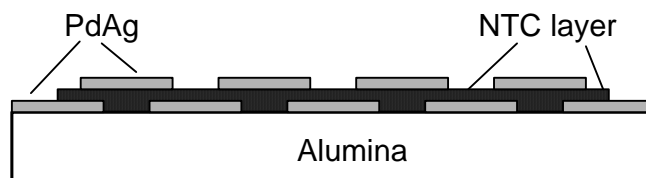
Vrednosti izmerenih temperatura asfalta po slojevima za period od 24 časa koje su snimljene ovim sistem merenja možemo videti na Sl. 5. Na slici je plavim kružićima označen senzor koji se nalazi na najvećoj dubini, a simbol sive kočke označava senzor koji meri temperaturu površine kolovoza. Takođe sa slike se može uočiti da je najveća promena temperature kolovoza u periodu od 14 do 18 časova, i da temperatura površine dostiže oko 41°C. Može se uočiti da na temperaturu slojeva kolovoza na određenoj dubini utiče temperatura kolovoza prethodnog dana, jer se temperature po slojevima kolovozne konstrukcije znatno sporije menjaju u odnosu na temperaturu površine kolovoza [12].



Slika 5. Prikaz temperatura po slojevima kolovozne konstrukcije za jedan dan (24 časa).

### III. DIZAJN NTC TERMISTORA

Drugi deo istraživanja je bio baziran na tome da se komercijalni senzor zameni našim NTC termistorom. NTC termistor je realizovan u tehnologiji debelog filma a izgled njegovog poprečnog preseka prikazan je na Sl. 6.



Slika 6. Poprečni presek realizovanog NTC termistora kao temperaturnog senzora.

Sastoji se od NTC sloja, koji je zapravo pasta, koja je nanešena na podlogu od alumine. Na Sl. 7 prikazan je izgled termistora izrađenog NTC termistora dimenzija 50 mm × 6 mm.



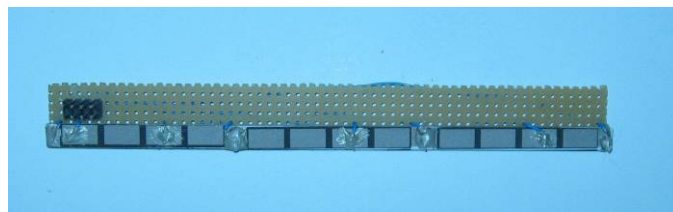
Slika 7. Izgled realizovanog NTC termistora.

U gornjem sloju postavljene su četiri elektrode od paladijum srebra (PdAg), dok se u donjem sloju nalazi pet elektroda. Tako se jedan termistor zapravo može posmatrati kao redna veza pet termistora. Kontakt sa elektrodama se ostvaruje uz pomoć provodnog dvokomponentnog epoksidnog lepljaka, zbog osjetljivosti na više temperature lemljenja.

### IV. KARAKTERIZACIJA NTC TERMISTORA

Kao prvi korak izvršeno je testiranje jednog termistora. Izvedeni su kontakti sa svih PdAg elektroda, kratkim žicama, i sprovedeni do uređaja Impedance Analyzer HP 4914 za merenje impedanse u režimu CpRp. Termistor je zagrevan iz izvora toplog vazduha (vrsta fena sa mogućnošću tačnog podešavanja temperature), a temperatura na samom termistoru je praćena termalnom kamerom.

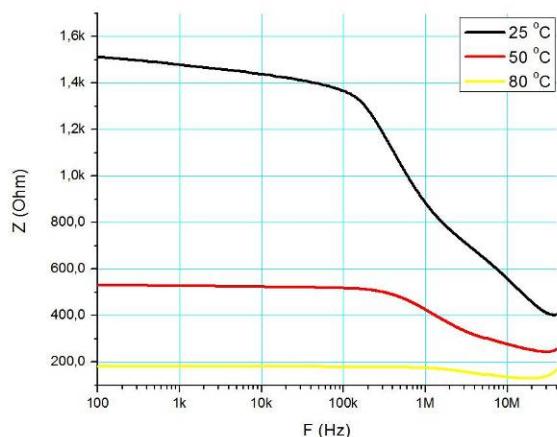
Po završetku početnih merenja, pristupilo se izradi prvog prototipa senzora. To je zapravo redna veza od tri termistora, sa ukupno 8 izvedenih kontakata. Izgled prototipa je prikazan na Sl. 8. Tri senzora su montirana na bušenom pertinaksu. Kontakti su sprovedeni do 2 × 4 hedera, radi lakšeg pristupa. Ovakvim načinom vezivanja dobijeno je 7 termistora. Dimenzije prototipa su 150 mm × 28 mm.



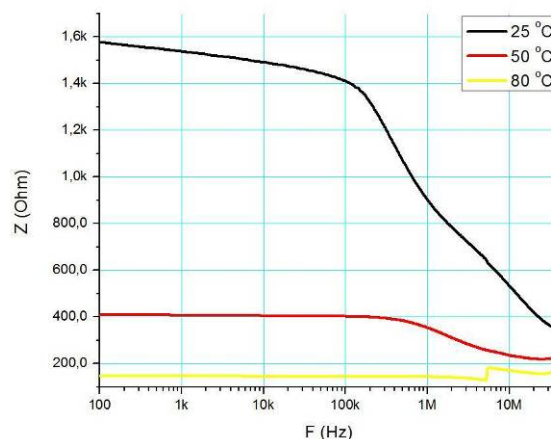
Slika 8. Prototip senzora za merenje temperature po slojevima.

## V. REZULTATI I DISKUSIJA

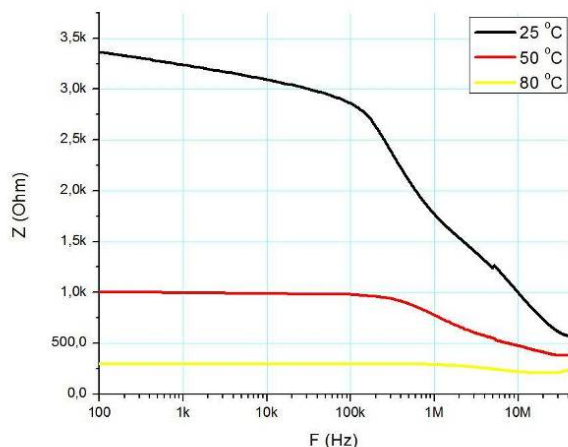
Pošto se prikazani senzor na Sl. 8 sastoji od 7 manjih senzora koji su redno vezani, ispitani su svi segmenti, i označeni su brojevima od 0 do 6 (ovo bi odgovaralo ustvari mernim tačkama po dubini asfalta, slično kao što je prikazano na slici 4). Ispitivanja su vršena na 25, 50 i 80 stepeni celzijusa, u opsegu od 100 Hz do 40 MHz, da bi se videlo ponašanje senzora na višim učestanostima, i da bi se okarakterisao uticaj parazitnih elemenata. Na graficima koji su označeni kao slike 9 do 15 data je zavisnost impedanse od temperature i frekvencije za svih 7 segmenata prototipa senzora.



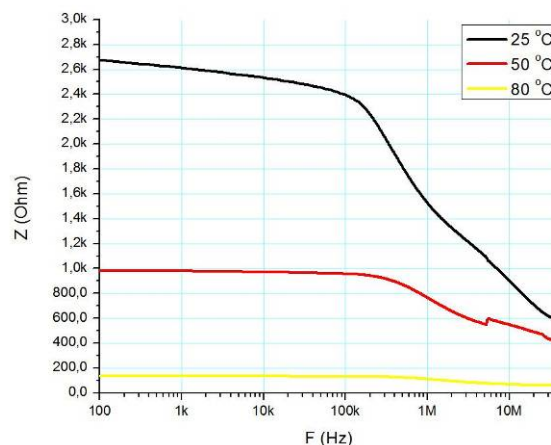
Slika 9. Zavisnost impedanse od temperature i frekvencije za Segment 0 prototipa senzora temperature.



Slika 11. Zavisnost impedanse od temperature i frekvencije za Segment 2 prototipa senzora temperature.



Slika 10. Zavisnost impedanse od temperature i frekvencije za Segment 1 prototipa senzora temperature.



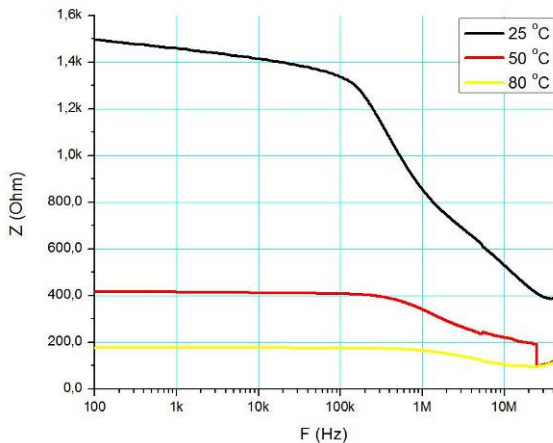
Slika 12. Zavisnost impedanse od temperature i frekvencije za Segment 3 prototipa senzora temperature.

Na Sl. 9 prikazana je zavisnost impedanse od temperature i frekvencije za Segment 0 prototipa senzora temperature. Sa slike možemo videti da se za frekvenciju od 100 Hz impedansa najviše razlikuje na temperaturama 25°C, 50°C i

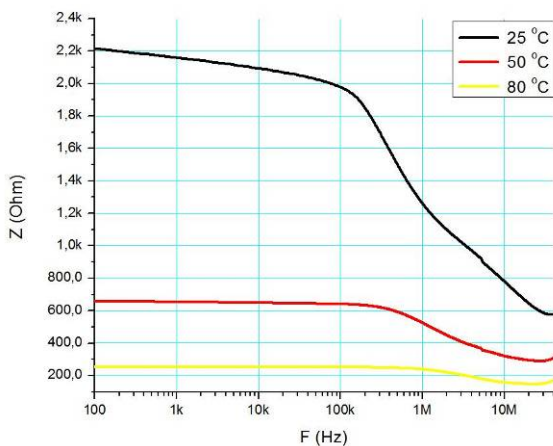
80°C. Sa povećanjem frekvencije sa grafika se može zaključiti da je razlika impedanse za različite temperature sve manja, što je posledica sve izraženijih parazitnih efekata.

Zavisnost impedanse od temperature i frekvencije za Segment 1 prikazana je na Sl. 10. Na ovoj slici možemo uočiti da je impedansa za temperaturu od 80°C na frekvenciji od 100 Hz najveća u odnosu na sve segmente i iznosi oko 3,3 kΩ. Na Sl. 11 prikazana je zavisnost impedanse od temperature i frekvencije za Segment 2 prototipa senzora temperature, i može se zaključiti da je vrednost impedanse gotovo identična kao kod Segmenta 2 i 4.

malo razlikuju na nižim frekvencijama, dok su vrednosti impedanse na većim frekvencijama gotovo identične.



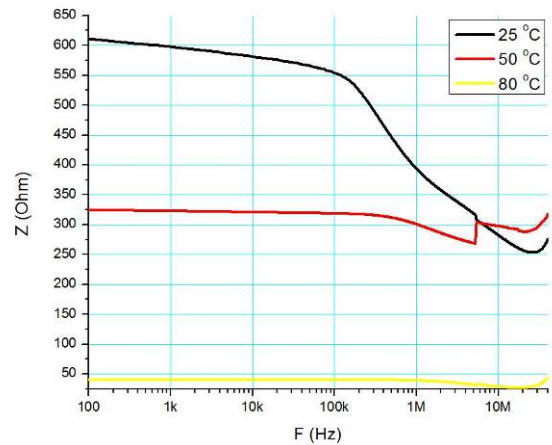
Slika 13. Zavisnost impedanse od temperature i frekvencije za Segment 4 prototipa senzora temperature.



Slika 14. Zavisnost impedanse od temperature i frekvencije za Segment 5 prototipa senzora temperature.

Zavisnost impedanse od temperature i frekvencije za Segment 6 prototipa senzora temperature prikazana je na Sl. 15. Sa grafika se može zaključiti da je vrednost impedanse za ovaj segment najmanja na nižim frekvencijama dok je na većim frekvencijama gotovo identična kao i kod ostalih segmenata.

Iz prikazanih grafika vidi se da je impedansa svih segmenata zavisna od temperature, ali i od frekvencije. To se dešava zbog parazitne kapacitivnosti između elektroda samog NTC termistora. Vidi se da impedansa opada sa frekvencijom, što znači da bi se u realnom AC režimu senzor ponašao kao VF filter.



Slika 15. Zavisnost impedanse od temperature i frekvencije za Segment 6 prototipa senzora temperature.

## VI. ZAKLJUČAK

U prvom delu ovog rada opisan je sistem za merenje temperature asfalta po dubini, koji je realizovan korišćenjem 6 komercijalnih senzora temperature DS1820. Sistem je takođe uspešno instaliran i testiran u realnom okruženju. U drugom delu rada prikazan je prototip senzora za merenje temperature u slojevima koji se sastoji od tri redno vezana sementirana NTC termistora. Na osnovu merenja impedanse za svih sedam segmenata od kojih se sastoji senzor može se zaključiti da impedansa svih segmenata opada sa povećanjem temperature, odnosno da svi segmenti imaju negativan temperaturni koeficijent. Merenja impedanse su vršena u tri tačke odnosno na 25°C, 50°C i 80°C. Takođe je snimana i zavisnost promene impedanse sa promenom frekvencije. Na osnovu svega može se zaključiti da se predloženi prototip senzora za merenje temperature slojeva može uspešno primeniti za merenje temperature asfalta u već postojećem realnom sistemu.

## ZAHVALNICA

Ovaj rad delimično je finansiran of strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, u okviru projekta TR32016 i FP7 projekta SENSEIVER, broj 289481.

## LITERATURA

- [1] L. Cathles, L. M. Cathles, M. Albert, "A physical based method for correcting temperature profile measurements made using thermocouples", *Journal of Glaciology*, Vol. 53, No. 181, pp. 298-304, 2007.
- [2] A. Oprea, N. Barsan, U. Weimar, M.L. Bauerfeld, D. Ebling, J. Wollenstein, "Capacitive humidity sensors on flexible RFID labels", *Sensors and Actuators*, B 132, pp. 404-410, 2008.
- [3] Y. Wang, Y. Jia, Q. Chen, W. Yanyun, "A passive wireless temperature sensor for harsh environment applications", *Sensors*, Vol. 8, pp. 7982-7995, 2008.
- [4] R. Rodriguez, Y. Jia, "A wireless inductive-capacitive (L-C) sensor for rotating component temperature monitoring", *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, Vol. 4, No. 2, pp. 325-337, 2011.

- [5] J. N. Wang, J. L. Tang, "Feasibility of fiber Bragg grating and long-period fiber grating sensors under different environmental conditions", *Sensors*, Vol. 10, pp. 10105-10127, 2010.
- [6] <http://www.peigroup.com>
- [7] G. Pfeiffer, "Using Radio-Frequency Identification Technology to measure asphalt cooling", *Thesis degree for Master of Science*, University of Maryland, 2010, <http://hdl.handle.net/1903/10506>.
- [8] P. Lyons, P. Waterworth, "The use of NTC Thermistors as sensing devices for TEC controllers and temperature control Integrated Circuits", *Measurements Specialties*, Ireland, [www.meas-spec.com](http://www.meas-spec.com).
- [9] C. Zhao, B. Wang, P. Yang, L. Winnubst, C. Chen, "Effects of Cu and Zn co-doping on the electrical properties of Ni<sub>0.5</sub>Mn<sub>2.5</sub>O<sub>4</sub> NTC ceramics", *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 28, pp. 35–40, 2008.
- [10] S. Jagtap, S. Rane, S. Gosavi, D. Amalnerkar, "Low temperature synthesis and characterization of NTC powder and its 'lead free' thick film thermistors", *Microelectronics Engineering*, vol. 87, pp. 104-107, 2010.
- [11] A. Skinner, M. Lambert, "A log-antilog analog control circuit for constant-power warm-thermistor sensors – applications to plant water status measurements", *IEEE Sensors Journals*, vol. 9, pp. 1049-1057, 2009.
- [12] B. Matić, „Razvoj modela za predviđanje temperatura asfaltnih slojeva kolovoznih konstrukcija u Srbiji“, *Doktorska teza*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2012.

#### ABSTRACT

This paper describes a system for measuring the temperature of the asphalt with commercial sensors for measuring the temperature of DS1820 as well as with in-house developed NTC (*Negative Temperature Coefficient*) segmented thermistor made on alumina substrate. It is proposed the use of three serially connected thermistors on a holder to measure the temperature of asphalt. Variation of impedance with as a function of frequency and temperature of NTC segmented thermistors was measured using an Impedance Analyzer HP 4194, in the range of 100 Hz to 40 MHz. The temperature was monitored using a thermal camera ULIRVision 160, in the range from 25 °C to 80 °C.

#### **SENSOR'S SYSTEM FOR MEASURING THE TEMPERATURE OF THE ASPHALT**

Milan Radovanovic, Goran Stojanovic, Mladen Dinic, Bojan Matic, Obrad Aleksic, Katarina Cvejcin