

Monitoring efekata toplote hidratacije betona

Zoran Stević, Mirjana Rajčić Vujasinović
Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet Bor
Bor, Srbija
zstevic@tfbor.bg.ac.rs ; mrajcic@tfbor.bg.ac.rs

Sanja Martinović, Milica Vlahović
Univerzitet u Beogradu, IHTM
Beograd, Srbija
smartinovic@tmf.bg.ac.rs ; mvlahovic@tmf.bg.ac.rs

Aleksandar Savić
Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet
Beograd, Srbija
savic.alexandar@gmail.com

Ilija Radovanović
Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet
Inovacioni centar ETF
Beograd, Srbija
ilija.radovanovic@ic.etf.rs

Tatjana Volkov Husović
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko metalurški fakultet
Beograd, Srbija
tatjana@tmf.bg.ac.rs

Sažetak— U ovom radu su praćeni efekti toplote hidratacije različitih betona upotrebom termovizijske kamere i termodavača priključenih na osmokanalni sistem za monitoring temperature na bazi PC i LabVIEW paketa, razvijen za potrebe ovog istraživanja. Temperatura ambijenta (laboratorije) beležena je i memorisana pomoću posebnog digitalnog instrumenta. Praćenje temperature svežeg betona je trajalo 24h. Vršena su poređenja temperatura površine izmerenih termodavačima i termovizijskom kamerom. Na osnovu toga uspostavljene su korelaciju koje bi mogle dovesti do pojednostavljenja daljih ispitivanja, posebno masovnih.

Ključne reči - beton; termovizija; LabVIEW

Key words - concret; thermal imaging; LabVIEW

I. UVOD

Prilikom spravljanja betonskih mešavina, u svojstvu veziva najčešće se upotrebljava cement. Hemijska reakcija hidratacije cementa, koja za krajnji ishod ima formiranje očvrslog cementnog kamena, predstavlja egzotermnu reakciju, što znači da se tom prilikom oslobađa izvesna količina toplote [1]. Količina oslobođene toplote (toplota hidratacije cementa) u betonu dominantno zavisi od sledećih parametara: tip i sastav cementa, uslovi ambijenta (temperatura i vlažnost), količina cementa u betonu, ostale komponente betona i dimenzije betonskih elemenata koji se izrađuju od datog betona [2], [3]. Takođe, toplota hidratacije cementa utiče na strukturu očvrslog betona, njegovu čvrstoću i trajnost. Na primer, previsoka toplota hidratacije može u masivnim betonskim elementima prouzrokovati pojavu pukotina i prslina, već nekoliko sati nakon izvođenja betonskih radova.

Prilikom eksperimentalnog ispitivanja prikazanog u ovom radu izrađene su četiri vrste betona, različitog sastava. Sastavi ovih betona razlikovali su se u masi sledećih komponentata: vode, upotrebljenog cementa, mineralnog dodatka letećeg

pepela i hemijskih dodataka superplastifikatora i ubrzivača vezivanja. U svim mešavinama upotrebljeno je 160 kg/m^3 vode, osim u četvrtoj (200 kg/m^3). Najveća količina cementa upotrebljena je kod prva dva betona (400 kg/m^3), dok je kod trećeg i četvrtog ona bila manja (320 kg/m^3 i 240 kg/m^3). U sastavu trećeg i četvrtog betona bio je leteći pepeo, u količini od 80 kg/m^3 i 160 kg/m^3 . Kod drugog, trećeg i četvrtog betona upotrebljen je superplastifikator u količini od 2 kg/m^3 , 8 kg/m^3 i 8 kg/m^3 , respektivno. Ubrzivač vezivanja izostao je samo kod prvog betona, a kod ostalih je doziran u količini od 4 kg/m^3 .

II. EKSPERIMENTALNA TEHNIKA

Efekti toplote hidratacije praćeni su istovremeno na sva četiri betona, na po jednom reprezentativnom uzorku (svežem betonu ugrađenom na vibro-stolu u kocku ivice 15cm), upotrebom termovizijske kamere (FLIR AX8) koja je pratila temperaturu na površini uzoraka i paralelno, sa po dva termodavača (IC LM35), ugrađena u sredini i na površini svakog od uzoraka. Snimljen je termovizijski video zapis uz pomoć VLC programa. Za 4 betonska uzorka bilo je potrebno obezbediti osmokanalni sistem za merenje, prikaz i memorisanje temperature u vremenu sa ugrađenim termodavačima. Temperatura ambijenta (laboratorije) beležena je pomoću odgovarajućeg uređaja (FLIR DM93) i kretala se u granicama od 24.3°C na početku ispitivanja do 22.2°C pred kraj ispitivanja. Praćenje temperature svežeg betona je trajalo 24h.

Na sl. 1. data je fotografija eksperimentalne postavke za praćenje efekata toplote hidratacije svežeg betona. Iznad 4 uzorka betona može se uočiti minijaturna termovizijska kamera AX8 povezana sa svojim računarom na kojoj se snima termovizijski video zapis. Na drugom računaru paralelno je pokrenuta LabVIEW aplikacija za merenje temperature u 8 tačaka.



Slika 1. Eksperimentalna postavka

III. VIŠEKANALNI SISTEM ZA MERENJE TEMPERATURE

Za potrebe ovog istraživanja razvijen je sistem za merenje temperature uzoraka u 8 tačaka na bazi PC i LabVIEW paketa.

A. Hardver

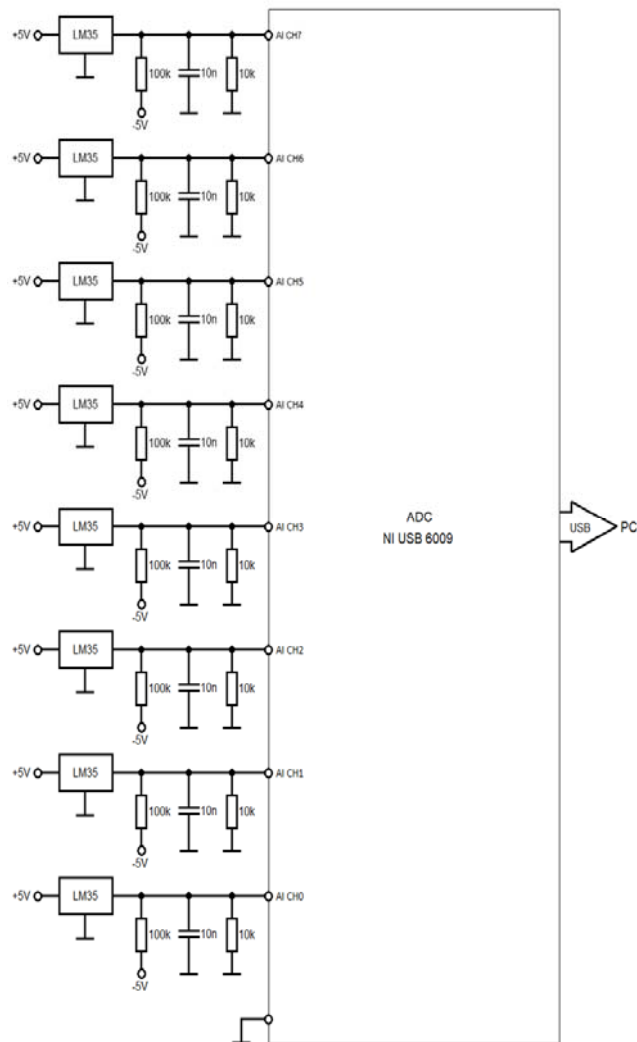
Na osnovu očekivanog opsega temperature i potrebne tačnosti, kao termodavač je upotrebljeno integrisano kolo LM35 [4]. Dodatnim otpornikom (100k) prema negativnom izvoru (-5V) omogućeno je i merenje negativnih temperatura.

Na sl. 2. prikazana je principijelna šema hardvera razvijenog osmokanalnog sistema za merenje temperature.

Posle filtracije (kondenzatori 10 nF) i prilagođenja (otpornici 10 kΩ) signali sa termodavača vode se na ulazne kanale (AI CH0 do AI CH7) analogno-digitalnog konvertora (ADC USB 6009) [5]. Dobijeni digitalni signali preko USB porta uvode se u računar (PC) i dalje softverski obrađuju.

Sami davači temperature fabrički su umereni u opsegu -40 do 110 °C, tako da dodatna podešavanja nisu potrebna.

Zbog razuđenosti sistema, za prenos analognih signala na relativno veliko rastojanje (nekoliko metara) korišćeni su oklopljeni provodnici, za svaki kanal posebno.

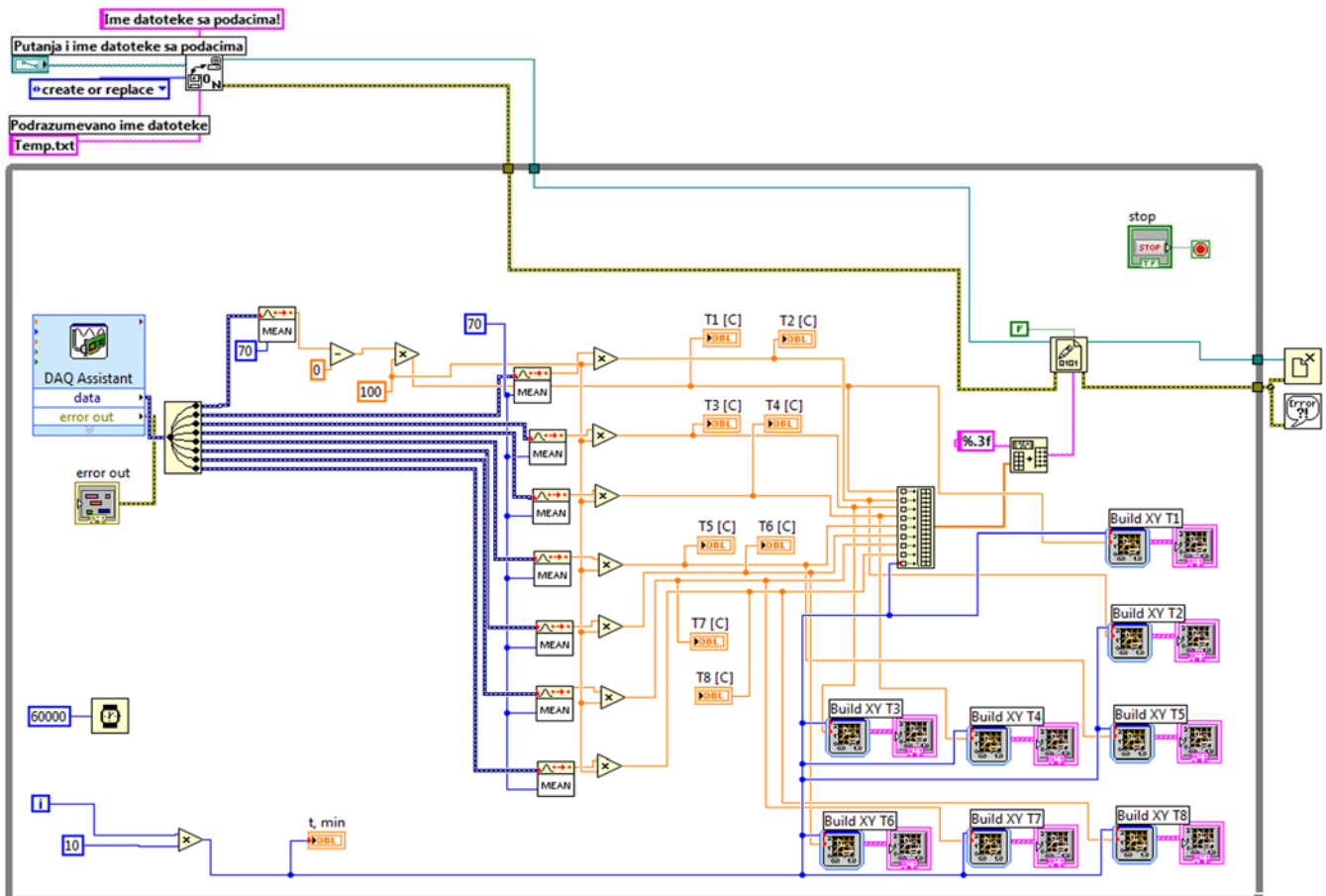


Slika 2. Principijelna šema hardvera

B. Softver

Urađena je aplikacija za merenje, prikaz i memorisanje temperature u 8 tačaka u softverskom paketu LabVIEW [6], [7] [8].

Grafički kod (blok dijagram) aplikacije prikazan je na sl. 3, a prednja ploča virtuelnog instrumenta na sl. 4. Za merenje analognih signala sa termodavača primenjen je *DAQ Assistant*, standardni modul LabVIEW paketa za akviziciju podataka. Podaci se zatim razdvajaju na osam kanala, usrednjavaju (MEAN) i množenjem sa 100 transformišu u temperaturu u °C (izlaz iz LM35 je 10 mV/°C). Dobijene temperature prikazuju se na displejima $T_i[^\circ\text{C}]$ i dijagramima (XY T_i) i na kraju memorišu u obliku tekstualnog fajla čije ime se zadaje pre početka merenja. Program se u svakom trenutku može zaustaviti klikom na taster STOP.



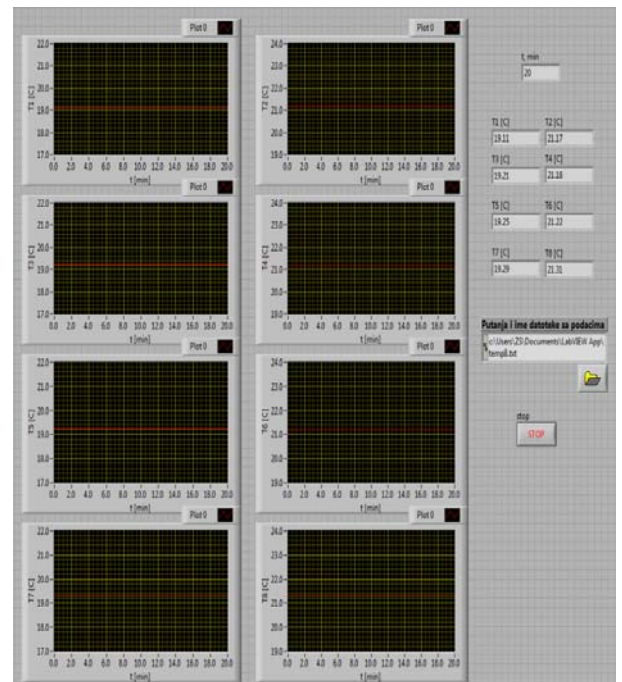
Slika 3. Blok dijagram aplikacije

Na prednjoj ploči virtuelnog instrumenta, zbog preglednosti, nalaze se posebni dijagrami za svaki kanal. Tu su i numerički displeji $T_i [^{\circ}\text{C}]$, prikaz vremena $t[\text{min}]$, polje za unos imena datoteke, taster STOP i prikaz koda eventualne greške.

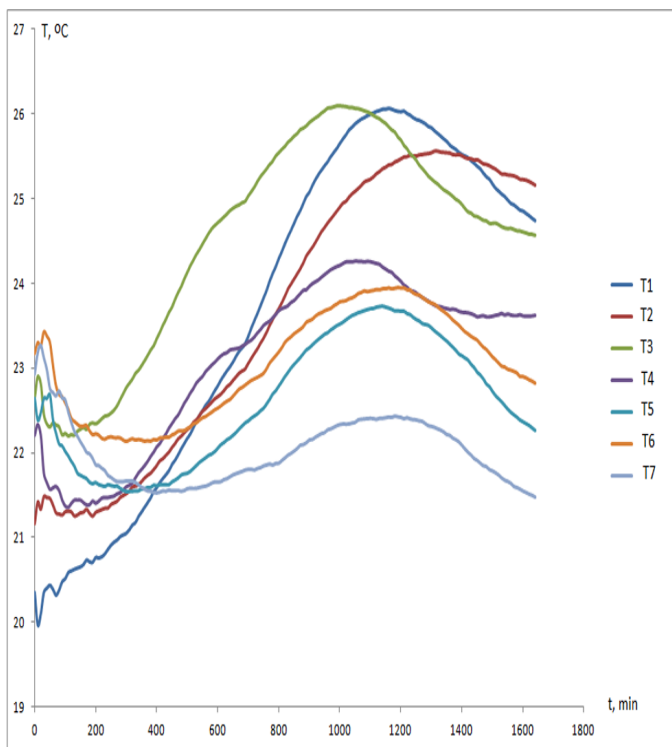
IV. REZULTATI I DISKUSIJA

Izmerene temperature za jednu seriju uzoraka prikazane su na sl. 5.

Rezultati ispitivanja potvrdili su da količina oslobođene toplote hidratacije cementa direktno zavisi od količine upotrebljenog cementa. Kod prvog i drugog betona dostignuta je temperatura od 26°C , kod trećeg 25.5°C , dok kod četvrtog betona nije došlo do značajnog povećanja temperature betona usled toplote hidratacije (najviša vrednost zabeležene temperature svežeg betona iznosila je 23.5°C). U prikazanom ispitivanju ubrzivač vezivanja doveo je do bržeg povećanja vrednosti temperature uzorka (merene kako na površini, tako i u unutrašnjosti uzorka), dok nije uticala na trenutak dostizanja najviše vrednosti temperature u konkretnom betonu. Termodaivači su se pokazali kao dobar i jednostavan način formiranja slike o efektima hidratacije cementa u betonu. Uprkos činjenici da površina betona može odavati drugačiju toplotu nego unutrašnjost, termovizijska kamera dala je uporedive rezultate na sva četiri betona.



Slika 4. Prednja ploča virtuelnog instrumenta



Slika 5. Prikaz izmerenih temperatura

V. ZAKLJUČAK

Obavljena ispitivanja ukazuju na mogućnost upotrebe dizajniranog sistema za praćenje oslobađanja toplote hidratacije na uzorcima i na terenu, što bi moglo ukazati na važne efekte kao što su narušavanje strukture betona i praćenje procesa vezivanja cementa u betonu pri niskim i visokim temperaturama sredine. U tom svetlu, očekuje se povećanje obima ispitivanja, da bi se detaljnije sagledali pravci razvoja i granice mogućnosti formulisane metode. Eksperimentalna postavka u potpunosti je opravdala očekivanja.

ZAHVALNICA

Ovo istraživanje je nastalo kao rezultat rada na naučno-istraživačkim projektima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, OI 172060 „Nov pristup dizajniranju materijala za konverziju i skladištenje energije” i

TR 32043 „Razvoj i modelovanje energetski efikasnih, adaptibilnih, višeprocorskih i višesenzorskih elektronskih sistema male snage” za period od 2011-2018 godine.

LITERATURA

- [1] R. H. Bogue, Chemistry of Portland Cement, New York, Reinhold, 1955.
- [2] A. M. Neville: Properties of concrete, Pearson Education Limited, 1996.
- [3] B. S. Divsholi, T.Y. Darren, Lim and Susanto Teng, Evaluation Of Heat Of Hydration For High Performance Concrete Incorporating Normal And Ultra Fine Ground Granulated Blast Furnace Slag, 37th Conference on Our World In Concrete & Structures: 29 - 31 August 2012, Singapore
- [4] LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors, Texas Instruments, 2017, <http://www.ti.com/product/LM35/datasheet>
- [5] NI USB-6008/6009, National Instruments, USA, 2015, <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>
- [6] National Instruments, LabVIEW Basic I Course Manual. September 2006. Part Number 320628G-01.
- [7] National Instruments, User Manual, 2010 Edition. Part Number 320999C-01.
- [8] National Instruments, Function and Reference Manual, 2010 Edition. Part Number 321526B-01.

ABSTRACT

In this paper, the effects of the hydration heat of different concrete compositions were monitored using a thermal imaging camera in combination with a thermocouple connected to a 8-channel acquisition system for temperature monitoring based on PC and LabVIEW package, developed for the purposes of this study. Ambient temperature (laboratory) is recorded and stored by using the specialized digital instrument. The temperature monitoring of fresh concrete mixture was performed for a period of 24 hours. Comparison of surface temperatures measured by thermosensors and thermovision was performed, furthermore, the correlations have been established that could lead to the simplification of further testing, especially mass ones.

MONITORING THE EFFECTS OF HEAT OF CONCRETE HYDRATION

Zoran Stević, Mirjana Rajčić Vujasinović, Sanja Martinović,
Milica Vlahović, Aleksandar Savić, Ilija Radovanović,
Tatjana Volkov Husović