

# Praćenje pukotina u betonu primjenom digitalne analize slike

---

**Frančić Smrkić, Marina**

*Source / Izvornik:* **Common Foundations 2018 - uniSTem: 6th Congress of Young Researchers in the Field of Civil Engineering and Related Sciences, 2018, 72 - 75**

**Conference paper / Rad u zborniku**

*Publication status / Verzija rada:* **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

<https://doi.org/10.31534/CO/ZT.2018.10>

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:901227>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-05**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



## Praćenje pukotina u betonu primjenom digitalne analize slike

Marina Frančić Smrkić<sup>1</sup>

(1) Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Republika Hrvatska, [mfrancic@grad.hr](mailto:mfrancic@grad.hr)

### Sažetak

Digitalna analiza slike je beskontaktna optička metoda za mjerenje pomaka i deformacija na temelju usporedbe digitalnih fotografija mjernog područja pri različitim fazama opterećenja. Njezine prednosti pred drugim metodama su jednostavnost za upotrebu i ekonomska prihvatljivost. U radu su prikazani i uspoređeni rezultati mjerenja širina pukotina na armiranobetonskim uzorcima dobiveni digitalnom analizom slike i LVDT osjetilima. Oprema korištena za digitalnu analizu slike u ovom radu sastoji se od običnog digitalnog fotoaparata, osobnog računala i besplatne verzije komercijalnog programa za analizu fotografija.

*Ključne riječi: digitalna analiza slike, širina pukotina, eksperimentalno istraživanje*

## Concrete crack monitoring using digital image correlation

### Abstract

Digital Image Correlation (DIC) is a non-contact optical technique for measuring displacement and strain. DIC works by comparing digital photographs of a test area at different stages of loading. The advantages of this method are that it is simple to use and cost effective. This paper presents and compares the results of crack width on reinforced concrete elements measured by the DIC method and by LVDT sensors. The equipment used for this research consists of a plain digital camera, personal computer and free version of the commercial software for digital photograph analysis.

*Keywords: digital image correlation, crack width, experimental research*

## 1. Uvod

Digitalna analiza slike (eng. *DIC – Digital Image Correlation*) je beskontaktna optička metoda za mjerenje pomaka i deformacija, a temelji se na principu usporedbe digitalnih fotografija mjernog područja pri različitim fazama opterećenja [1]. Sustav radi na principu praćenja blokova piksela koji za tu namjenu moraju biti nasumični, jedinstveni i s dobrim kontrastom. Površina se priprema za mjerenje najčešće špricanjem boje iz spreja [2].

Digitalna analiza slike pokazala se vrlo efikasnom za mjerenje širina pukotina u betonu jer omogućuje kontinuirano praćenje širenja pukotine. Posebno je korisna u početnoj fazi nastanka pukotina kada one još nisu vidljive okom ili mikroskopom [3]. Kod korištenja LVDT (eng. *Linear Variable Differential Trasformer*) osjetila za mjerenje širine pukotina uvijek postoji opasnost da se pukotina možda neće otvoriti unutar mjernog područja ili da će se pojaviti više pukotina što može otežati naknadnu interpretaciju rezultata. Primjenom digitalne analize slike možemo pratiti neograničen broj pukotina, svaku zasebno, unutar istog mjernog područja.

Velika prednost digitalne analize slike u odnosu na konvencionalne metode mjerenja je trošak opreme. Oprema korištena u ovom istraživanju uključuje osobno računalo, digitalni fotoaparati i besplatnu verziju komercijalnog programa za analizu slike GOM Correlate.

## 2. Eksperimentalni rad

Ispitivanje je provedeno na armiranobetonskim uzorcima dimenzija 240 cm x 50 cm x 18.5 cm. Uzorci su ispitani savijanjem u četiri točke s razmakom oslonaca od 220 cm. Opterećenje je nanošeno pomoću hidrauličkog dinamičkog ispitnog stroja Zwick/Roell kapaciteta 600 kN, kontrolom pomaka s brzinom od 3 mm/min, u koracima od 25 kN s rasterećenjima. Relativne deformacije, preko kojih su izražene širine pukotina, mjerene su na tlačnoj strani uzoraka LVDT osjetilima postavljenim na mjernoj bazi od 200 mm u sredini raspona.

Uz LVDT osjetila, širine pukotina mjerene su i pomoću digitalne analize slike. Jedna bočna strana uzorka pripremljena je za mjerenje tako da se špricanjem boje iz spreja na površinu nanio nasumični točkasti uzorak (Slika 1).



**Slika 1.** Površina uzorka pripremljena za digitalnu analizu slike

Pri ispitivanju se koristio digitalni SLR fotoapararat Canon EOS 700D maksimalne rezolucije 5184 x 3456 piksela. Koristio se objektiv Canon EF-S fokalne duljine od 18 mm do 55 mm, maksimalnog otvora blende F/3.5 za fokalnu duljinu 18 mm i F/5.6 za fokalnu duljinu 55 mm. Fotoapararat je bio spojen na računalo i upravljao preko programa *digiCamControl*. Digitalni fotoapararat je prilikom ispitivanja bio pričvršćen za tronožac na koji je obješen uteg mase 10 kg radi stabilizacije i smanjenja vibracija. Tronožac je bio udaljen otprilike 1 m od uzorka, a optička os fotoapararata usmjerena okomito na površinu uzorka koja se snimala. Postavke fotoapararata prikazane su u Tablici 1.

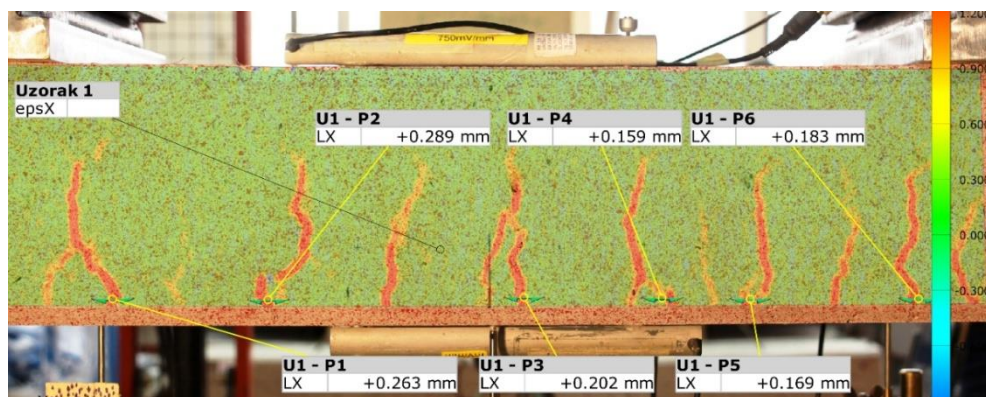
**Tablica 2.** Tablica 1. Postavke fotoapararata

Ekspozicija	1/25 s
Otvor blende	F/5.6
Osjetljivost senzora	ISO 800
Fokalna duljina	42 mm

Za obradu digitalnih fotografija korištena je besplatna verzija komercijalnog programskog paketa *GOM Correlate*. Program radi na principu usporedbe digitalne fotografije snimljene u nekom trenutku ispitivanja s bilo kojom drugom fotografijom tijekom ispitivanja. Sve fotografije snimljene tijekom ispitivanja uspoređivane su s referentnom fotografijom snimljenom na početku ispitivanja. Upravo je zato važno da na referentnoj fotografiji nema pomaka i deformacija, tj. da ona predstavlja nultu, rasterećeno stanje, a sve naknadne fotografije predstavljaju relativno stanje uzorka u odnosu na referentnu fotografiju.

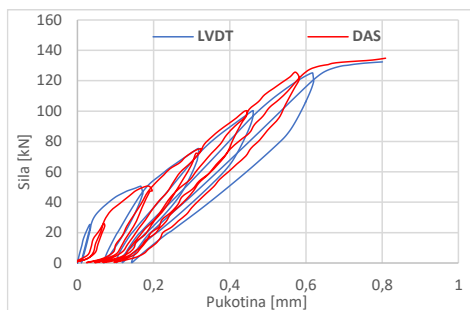
### 3. Rezultati

Velika prednost digitalne analize slike je mogućnost praćenja širine svake pojedine pukotine na uzorku. Na Slici 2 vidljiv je grafički prikaz pukotina dobiven digitalnom analizom slike. Mjerna mjesta za mjerenje širina odabranih pukotina postavljena su kao virtualni ekstenzometri preko šest najvećih pukotina na uzorku.

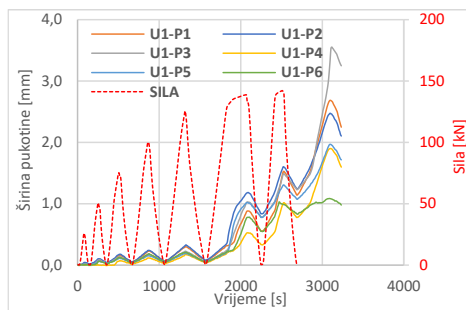


**Slika 2.** Grafički prikaz pukotina na uzorku dobiven digitalnom analizom slike

Na Slici 3 je prikazana usporedba širina pukotina na mjernoj bazi od 200 mm dobivena pomoću LVDT osjetila i digitalne analize slike (DAS). Primjećuje se relativno dobro podudaranje rezultata. Ovi se rezultati odnose na ukupnu širinu pukotina koja se otvorila na toj mjernoj bazi tj. riječ je o ukupnoj širini nekoliko nastalih pukotina u toj mjernoj zoni. Pri većoj širini pukotina (od oko 0.8 mm) došlo je do odljepljivanja LVDT osjetila pa je nakon toga mjerenje nastavljeno pomoću digitalne analize slike. Širine šest najvećih pukotina na uzorku i njihovo širenje tijekom vremena prikazano je na Slici 4.



**Slika 3.** Usporedba širina pukotina pomoću dvije metode



**Slika 4.** Širenje pukotina u vremenu

## 4. Zaključak

Digitalna analiza slike ima nekoliko prednosti kod mjerenja širina pukotina u odnosu na mjerenje LVDT osjetilima. Ova metoda omogućuje praćenje svake nastale pukotine zasebno te omogućuje praćenje širine pukotina i pri vrlo velikim pomacima pri kojima LVDT osjetila najčešće izgube kontakt s uzorkom te dolazi do njihovog odljepljivanja. Najveća prednost ove metode ispitivanja jest cijena samog ispitivanja jer je za provedbu ispitivanja potreban samo digitalni fotoaparat, osobno računalo i besplatna verzija komercijalnog programa za digitalnu analizu fotografija. Mjerenje širina pukotina LVDT osjetilima pruža visoku preciznost i točnost, ali je i znatno skuplje zbog cijena senzora i uređaja za prikupljanje podataka.

Cilj ispitivanja bio je usporediti rezultate mjerenja širine pukotina na betonskim uzorcima dobivene digitalnom analizom slike u odnosu na rezultate mjerenja LVDT osjetilima. Digitalna analiza slike pokazala se vrlo jednostavnom i ekonomski prihvatljivom za upotrebu, uz zadovoljavajuću točnost dobivenih rezultata.

## Literatura

- [1] McCormick N., Lord J.: Digital Image Correlation, *Mater Today*, 2010;13(12):52–4
- [2] Frančić Smrčić M.: Otpornost betonskih elemenata armiranih recikliranim čeličnim vlaknima pri zamoru, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2017.
- [3] McCormick N.: Digital image correlation for structural measurements, *Proc Inst Civ Eng*, 2012;165:185–90., doi:10.1680/cien.11.00040.