

*Nebojša Đuranović<sup>1</sup>*

## **ISPITIVANJE STANJA NAPONA METODOM BUŠENJA OTVORA – PRIMJENA KOD AB KONSTRUKCIJA**

### ***Rezime:***

Bušenje otvora, čak i veoma malog prečnika u elementu koji je napregnut dovodi do relaksacije napona na posmatranom mjestu. Eliminacija napona koji su postojali na mjestu formiranog otvora, mijenja stanje napona i u njegovom neposrednom okruženju, prouzrokujući da se i lokalne deformacije na površini promjene u skladu sa tim. Mjerenjem ovih promjena moguće je definisati postojeće naponsko stanje u betonskim i armiranobetonskim konstrukcijama. Ovaj rad daje osnovne informacije o aplikaciji metode, uključujući i osvrt na slične postupke ispitivanja, zasnovane na istom principu.

*Ključne riječi: postojeće stanje napona, eksperiment, metoda otvora, beton*

## **ESTABLISHING CURRENT STATE OF STRESS USING DRILLED HOLE METHOD – USE IN RC STRUCTURES**

### ***Summary:***

Drilling a hole in a structure that is exposed to the outside loading will lead to the relaxation of the stresses at the place of drilling. Elimination of the stresses at the removed part of the structure also causes the change of stresses in the vicinity of the drilled hole, what in return leads to the changes in the state of stress on the surface of the tested element. By measuring these changes it is possible to establish stress state of the concrete and RC elements. This paper provides basic information regarding application of the method, and provides an insight in to the similar testing procedures based on the same principle.

*Key words: current state of stress, experiment, method of hole drilling, concrete*

---

<sup>1</sup> Dr, vanredni profesor, Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica

## **1 UVOD**

Mjerenje zaostalih napona ili trenutnog stanja napona u postojećim AB konstrukcijama i elementima ne može se sprovesti konvencionalnim procedurama eksperimentalne analize napona, budući da su klasični ekstenzometri i ekstenzometarske metode u potpunosti neosetljivi na predhodnu istoriju opterećenja na samoj konstrukciji, tj. mogu da mjere samo promjenu deformacija koja se desila poslije postavljanja senzora.

Usljed toga, jedan od mogućih načina rješavanja problema je put suprotan klasičnom načinu ispitivanja konstrukcija - umjesto da se dodatno opterećuje, konstrukcija (ili njen manji ili veći dio) se, formiranjem otvora, rasterećuje. Preciznije rečeno, kada se mjerenje postojećih napona sprovodi korišćenjem standardnih ekstenzometara, postojeći naponi moraju biti na neki način relaksirani, tj. "oslobođeni", pri čemu ekstenzometri moraju biti unaprijed postavljeni, kako bi registrovali promjenu deformacije koja je prouzrokovana »uklanjanjem« postojećih napona. Znači, ako su, prije uklanjanja dijela ispitivanog elementa, ekstenzometri pravilno postavljeni oni će biti u mogućnosti da zabilježe (povratne) deformacije koje je prouzrokovalo uklanjanje tog dijela elementa iz konstrukcije, jer, logično u tom novonastalom stanju uklonjeni dio elementa neće biti opterećen, tj. imaće napone jednake nuli. Početno (nulto) stanje napona i deformacija može se zatim uporediti sa stanjem izmjerenim nakon vađenja ili uklanjanja dijela posmatranog elementa iz konstrukcije - a njihova razlika će predstavljati stanje koje je vladalo u konstrukciji prije početka ispitivanja, tj. stanje pod postojećim opterećenjem na objektu. Pri tome, analizu je neophodno izvršiti koristeći postulate elastičnog ponašanja materijala u konstrukcije.

Bušenje otvora, čak i veoma malog prečnika u elementu koji je napregnut dovodi do relaksacije napona na posmatranom mjestu. Eliminacija napona koji postoje na mjestu otvora, mijenja stanje napona u njegovom neposrednom okruženju, prouzrokujući da se i lokalne deformacije na površini promjene u skladu sa tim.

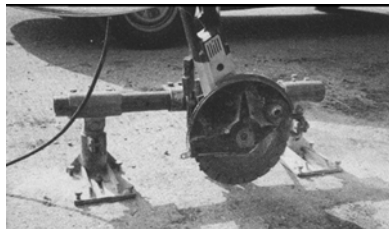
## **2 PRIMJENE TEHNIKE BUŠENJA OTVORA ZA ODREĐIVANJE POSTOJEĆEG STANJA NAPONA KOD BETONSKIH I ARMIRANO BETONSKIH KONSTRUKCIJA**

Eksperimentalno utvrđivanje postojećeg stanja napona u betonskoj ili armirano betonskoj konstrukciji, koja je znači već izložena opterećenju, je veoma komplikovano. Prije nego pogledamo aplikaciju predhodno opisanog metoda formiranja otvora i mjerenja "oslobođenih" dilatacija mjernim trakama, pogledajmo i jednu drugu tehniku, zasnovanu na istom principu.

### **2.1 METODA PROŠLICAVANJA**

Ponekad se u svrhu definisanja postojećih napona kod betonskih konstrukcija koristi tehnika takozvanog "prošlicavanja" konstrukcije (1). Ova metoda koristi se uglavnom za određivanje postojećih napona pritiska, ali uz modifikacije, može se primijeniti i kod

zatezanja. Postupak se sprovodi tako što se betonska konstrukcija prošlicava (slika 1.), otvorom širine oko 4 cm, pri čemu je dubina šlica u svakom inkrementu po 10 mm, sve do ukupne dubine od 80 mm.



*Slika 1 - Prošlicavanje betonske konstrukcije*

Poslije svakog inkramenta, posebni uređaj za nanošenje sile, slika 2., postavlja se u otvor i njime se u prošlicano mjesto na konstrukciji unosi bočni pritisak koji je potreban da bi se povratilo prethodno stanje deformacija na zasječenom mjestu.



*Slika 2 - Uređaj za unošenje sile na prošlicano mjesto u betonskoj konstrukciji*

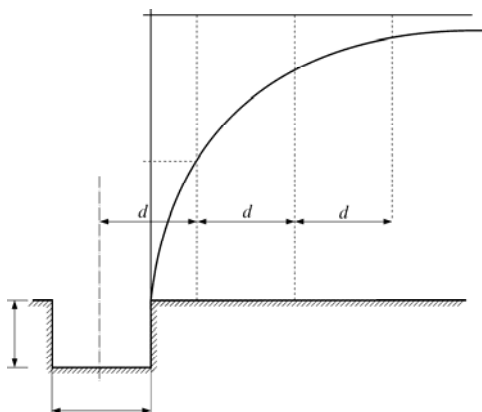
Za niske nivoe napona u konstrukciji, ova tehnika ponekad daje čak i bolje rezultate nego tehnike kod kojih se formira kružni otvor i mjere relaksirani naponi, a što će biti objašnjeno u daljem tekstu.

## **2.2 APLIKACIJA METODE FORMIRANJA OTVORA KOD BETONSKIH KONSTRUKCIJA**

Kako smo predhodno vidjeli, tehnika formiranja otvora zasniva se na definisanju relaksacije napona prouzrokovane bušenjem relativno malog otvora na ravnomjerno napregnutoj betonskoj konstrukciji, i ona po svojoj suštini u potpunosti odgovara tehnici objašnjenjenu u (2).

Radijalni naponi na ivici novoformiranog otvora su jednaki nuli, tj. razlika napona prije bušenja otvora i onih koji postoje nakon toga je jednaka ukupnoj relaksaciji napona - tj. naponima koji su postojali u konstrukciji prije formiranja otvora. I kod betonskih konstrukcija ukupna relaksacija napona smanjuje se (parabolično, asimptotski se

približavajući stanju napona u elementu) kako se odmičemo od otvora, kako je prikazano na slici 3, gdje je  $d$  veličina baze ekstenzometra koji se koristi (3).



*Slika 3 - Relaksacija napona prouzrokovana pravljjenjem otvora u konstrukciji*

Mjerenjem promjene dilatacije na određenom rastojanju (u literaturi se načešće pominje rastojanje od otprilike dva prečnika otvora - mjereno od centra otvora) moguće je, kod betonskih konstrukcija, utvrditi kolika je bila veličina deformacija, a odatle i napona, prije nego što je počelo formiranje otvora. Ova tehnika najkvalitetnije rezultate daje ako u blizini pravljjenja otvora nema armature.

U slučaju betonskih konstrukcija umjesto formiranja malih otvora na stvarnim konstrukcijama se vade kernovi, slika 4, i to primjenom što kvalitetnijih dijamantskih rezača. Zato se i ovdje, kao kod metalnih konstrukcija, metoda smatra poludestruktivnom.



*Slika 4 - Vađenje kerna u cilju određivanja postojećeg stanja napona u betonskoj konstrukciji*

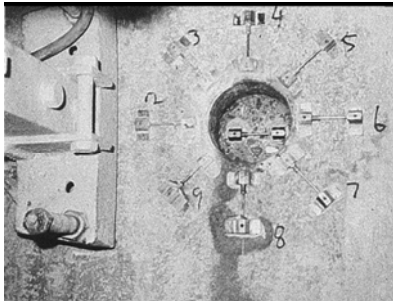
Dubina i prečnik otvora koji se formira, kao i veličina i položaj mjernih traka koje se koriste, određuje se na osnovu dubine na kojoj treba odrediti napone. Pri tome dubina

otvora ne bi trebala da bude manja od polovine debljine ispitivanog elementa AB konstrukcije. Kod određivanja predhodnih parametara u razmatranje treba uzeti i veličinu zrna agregata u ispitivanom betonu, pri čemu većem zrnu agregata odgovara i veći prečnik otvora. Prečnik otvora trebalo bi da bude najmanje dva puta veća nego što je veličina zrna agregata koji je korišćen za spravljanje betona. Kod betona veličine zrna agregata do 20mm najprecizniji rezultati se dobijaju ako se bušenje vrši dijamantskom bušilicom prečnika oko 65 mm (koji za sobom ostavlja otvor veličine oko 75 mm) i ako se ide do dubine od oko 50mm.

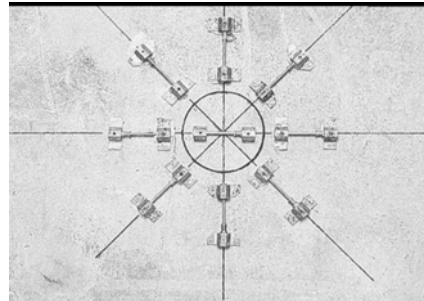
Ponekad je promjena napona po dubini elementa veoma značajna, i u takvim slučajevima posebno je značajno obezbijediti da formirani otvor bude paralelnih stranica i konstantnog prečnika.

Eksperimentalnim provjerama došlo se do zaključka da otvor proizvodi uticaj na naponsko stanje elementa sve do udaljenosti od 5 prečnika od ivice otvora. U ovoj oblasti se vrše i mjerenja, tako da je poželjno da tu nema nikakvih ivica, niti drugih diskontinuiteta.

Kako se obično radi o veoma malom nivou oslobođenih (zaostalih, postojećih) napona to se obično koristi, mjerni sistem koji se sastoji od 8 elemenata - mjernih traka veličine 50 mm, slika 5, ili odgovarajućih dilatometara, slika 6. Ovoliki broj dilatometara (osam, a ne neophodna tri) se postavlja, jer se obično računa na otkazivanje pojedinih od ovih ekstenzometara - usled pojave prslina, oštećenja drugog tipa, ali i drugih razloga.



*Slika 5 - Upotreba mjernih traka za određivanje postojećeg stanja napona u betonskim konstrukcijama*



*Slika 6 - Upotreba klasičnih dilatometara umjesto mjernih traka*

Veličina otvora koji se formira vađenjem kerna je obično takva da je omogućava postavljanje mjerne trake i na samom kenu, gdje se inače ostvaruje potpuna relaksacija napona.

Kada je otvor od 75 mm prevelik, kao recimo kod prethodno napregnutih nosača gdje je rastojanje kablova i manje od toga, postoje razrađene metode sa pravljenjem otvora manjih prečnika. Ovakvi postupci se obično koriste u cilju određivanja jednoosialnog stanja napona, pri čemu se prave otvori veličine 35 do 50 mm (4).

Nekad se umjesto mjernih traka ili klasičnih dilatometara mogu koristiti vibrirajuće žice veličine 50 mm koje su postavljene radijalno od centra otvora na površini betona, ali i u sredini kerna. Pri tome se, tokom formiranja otvora do dubine od 50 mm, vrši nekoliko inkrementalnih čitanja. Nakon toga se uklanja kern, dno otvora se ravna i tu se stavlja još jedna vibro žica. Poslije toga se ponovo vrši bušenje za sljedećih 50 mm. Modul elastičnosti E za ovakav materijal obično se dobija testiranjem samog kerna. Greška pri određivanju glavnih napona je reda veličine  $\pm 0,3$  MPa, a ide najviše do  $\pm 3\%$  od ukupnog čitanja.

## ZAKLJUČAK

Bušenje otvora, čak i veoma malog prečnika u elementu koji je napregnut dovodi do relaksacije napona na posmatranom mjestu. Eliminacija napona koji postoje na mjestu otvora, mijenja stanje napona u njegovom neposrednom okruženju, prouzrokujući da se i lokalne deformacije na površini promjene u skladu sa tim. Aplikacija metode pokazuje da se ona efikasno može primijeniti i na betonske i armiranobetonske konstrukcije.

## LITERATURA

- [1] *Manual of bridge engineering*, C.Abdunur, urednici, M.J RYall, itd., Thomas Telford, UK, 2000.
- [2] *Ispitivanje stanja napona metodom zaostalih napona – ideja i primjena kod armatura i kablova*, N. Đuranović, XXIV Kongres Društva za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije, 2008.
- [3] *Repair of concrete bridges*, G.P.Malet, Thomas Telford, UK, 1994.
- [4] *Informacije sa Interneta*, Razni proizvođači opreme;