

Primjena savremenih nedestruktivnih metoda ispitivanja betonskih konstrukcija pri rješavanju sporova nastalih usljed grešaka u izvođenju radova

Goran Nikolić

dipl.ing.građ. EFT - Rudnik i Termoelektrana Stanari d.o.o., Ugljevik, Bosna i Hercegovina, goran.nikolic@eft-stanari.net

Rezime: Prilikom izgradnje objekata često je slučaj da investitor ili nadzor, usljed nepoštovanja njegovih naloga i definisanih procedura u izvođenju radova od strane izvođača, posumnja u kvalitet izvedenih radova, da izvedena konstrukcija ima defekte koji mogu predstavljati prijetnju po stabilnost konstrukcije, ali da to ne može lako da dokaže, jer oni nisu vidljivi na konstrukciji. Ukoliko rješenje ovakvog spora bude predmet dokazivanja na sudu, vještak ima mogućnosti da na bazi savremenih nedestruktivnih metoda ispitivanja betonskih konstrukcija, sprovedenih od strane akreditovanog pravog lica ili institucije, pripremi valjane dokaze na osnovu kojih može napraviti objektivan nalaz. Osim pri kontroli izvedenih radova na novim objektima, predmetne metode mogu biti od velike koristi pri procjeni stanja konstrukcije starih objekata, kao i za kontrolu radova izvedene sanacije betonske konstrukcije.

Ključne riječi: nedestruktivna ispitivanja, akustične metode, betonske konstrukcije.

Datum prijema rada: 21. januar 2015.

Datum odobrenja rada: 31. januar 2015.

UVOD

Realizacija investicija izgradnje zahtjevnih objekata u današnje vrijeme predstavlja jedan kompleksan proces, u otežanom privrednom ambijentu, jednu dinamičnu interakciju između investitora i izvođača u dugom vremenskom periodu, gdje su ugovorne strane sklone često neopravdanim optimizacijama troškova. Investitor to obično radi angažovanjem neadekvatnog tima koji će štiti njegove interese, biranjem nadzornog tima koji često nema kapacitet da posveti pažnju koju projekat iziskuje, neangažovanjem potrebnih konsultanata, odabirom jeftinijih projektantskih usluga i rješenja, nerealno niskim cijenama koje su izvođači prinuđeni da prihvate za izvođenje radova, dok izvođač pak, angažovanjem neadekvatnih resursa, izostankom planiranja i adekvatne organizacije radova, raznim improvizacijama u izvođenju radova kako bi uštedio na troškovima i sl. U jednom takvom ambijentu prirodno dolazi do nesuglasica i grešaka u izvođenju radova, što je osnovna pretpostavka za sukob ugovornih strana.

Odgovornost nije teško utvrditi kada su greške nastale usljed nepoštovanja procedura i tehničkih normativa očigledne i vidljive na konstrukciji. Međutim, često dolazimo u situaciju da izvođač ne ispoštuje propisane procedure i

naloge nadzornog organa, ili da se jednostavno desi havarijski događaj koji izvođač lošim planiranjem nije u stanju efikasno sa riješi (kvar na fabrici betona na primjer, nepostojanje rezervne fabrike), te da investitor ili nadzor opravdano posumnjaju u kvalitet izvedenih radova, ali da to ne mogu eksplicitno da dokažu, jer defekti na koje se sumnja u konstrukciji nisu vidljivi, a mogu predstavljati ozbiljnu prijetnju po stabilnost konstrukcije.

Primjer za ilustraciju: betoniranje masivnog betonskog nosača na visini, u kompleksnoj oplati nepravilnog oblika, nepristupačnoj za idealno vibriranje, gdje je uz neadekvatnu konzistenciju betona, velika šansa da se nepravilnom ugradnjom betona stvore gnijezda u betonskom presjeku.

Zahvaljujući savremenim metodama ispitivanja betonskih konstrukcija, danas je moguće pouzdano i precizno odrediti greške u izvođenju radova i doći do činjenica koje mogu pomoći u rješavanju sukoba dogovorom ugovornih strana ili pak obezbijediti vještaku dokaze i podloge za pripremu objektivnog nalaza. Vještacima ili ugovornim stranama, ove metode omogućavaju da dođu do pouzdane slike o stanju objekta, greškama koju su napravljane, nastaloj šteti na objektu, vrsti oštećenja, njegovom obimu, a na

bazi svega navedenog, da dođu do procjene opasnosti po stabilnost i funkcionalnost objekta.

SAVREMENA SAZNAJNA O BETONSKIM KONSTRUKCIJAMA

Široka primjena betona u građevinarstvu u posljednjih nekoliko decenija pokazala je da beton nije tako trajan materijal kao što se početkom sedamdesetih godina prošlog vijeka tvrdilo. Armirano-betonske konstrukcije pored stalnih i promjenljivih opterećenja, opterećene su i različitim djelovanjima agresivne sredine. Njihov uticaj prilikom dimenzionisanja postojećih konstrukcija primjećuje se da nije adekvatno razmatran, ali je potrebno konstatovati i da to nije u to vrijeme bilo predmet tehničkih propisa, niti je u stručnim i naučnim krugovima na to ukazivana posebna pažnja. Eksperimentalni podaci o ispitivanju svojstava koja utiču na trajnost betona nisu ni bili dostupni. Početkom osamdesetih godina prošlog vijeka još uvijek se smatralo da je beton znatno trajniji materijal i da je prirast čvrstoće kroz vrijeme podrazumijevan [1,2].

Realna procjena troškova održavanja ili sanacije armirano-betonskih konstrukcija bi trebalo da se zasniva na detaljno definisanom obimu ispitivanjima u okviru Elaborata o procjeni stanja objekta. Svakako da se destruktivne metode ispitivanja ne mogu izostaviti, a veliki značaj je potrebno dati savremenim nedestruktivnim ispitivanjima pomoću kojih se mogu odrediti vrste oštećenja, njihov obim kao i vjerovatni uzrok.

Uticaj agresivne sredine razmatran je tek djelimično, prema kriterijumima graničnog stanja upotrebljivosti (ograničenje računске širine prsline). Potrebno je imati na umu da nisu bila široko rasprostranjena softverska rješenja kojima bi se mogli modelirati složeni mehanizmi dejstva na konstrukcije. Činjenica je da agresivno dejstvo spoljašnje sredine može dovesti do smanjenja ili otkazivanja nosivosti dimenzionisanog AB presjeka. Degradacija betona usljed djelovanja sulfata, hlorida i narušavanje strukture betona na povišenim temperaturama direktno zavisi od mogućnosti transporta materije (tečnosti i gasova) kroz beton [1,3].

Stanje armirano-betonske konstrukcije je potrebno pratiti periodičnim, redovnim pregledima da bi se na vreme detektovala oštećenja. Finansijska ulaganja u sanaciju se višestruko uvećavaju ako oštećenja nakon perioda inicijacije dođe do propagacije oštećenja:

- stvaranja pukotina u AB elementima,
- otpadanja zaštitnog sloja betona,
- depasivacije armature.

Na domaćem tržištu su takođe prisutni instituti i firme koje poseduju najsavremeniju opremu i bave se ispitivanjem građevinskih konstrukcija. Potrebno je navesti sljedećih nekoliko metoda koje se najčešće primjenjuju:

- Akustične metode (ultrazvučne metode, impakt eho metoda).
- Elektromagnetne metode (radar za emitovanje i refleksiju elektromagnetnih talasa, termografija - otkrivanje

emisije toplote nakon zagrijavanja, radiografija-emitovanje rentgenskog ili radioaktivnog zračenja)

- Elektrohemijske metode
- Magnetne metode
- Spektroskopske metode

AKUSTIČNE METODE

Za dostupne tehnike nedestruktivnih ispitivanja navedene u prethodnom poglavlju, nedestruktivna ispitivanja savremenim akustičnim metodama postale su predmet istraživanja i razvoja značajnog broja kompanija širom sveta, a uređaji razvijeni u te svrhe sve tačniji čime je omogućena detekcija različitih defekata u kompozitnim materijalima. U tome prednjače ruska kompanija Acsys koja je razvila ultrazvučni tomograf A1040 - Mira (Slika 1), dok je švajcarska kompanija Proceq nedavno predstavila uređaj Pundit PL-200PE (Slika 3).

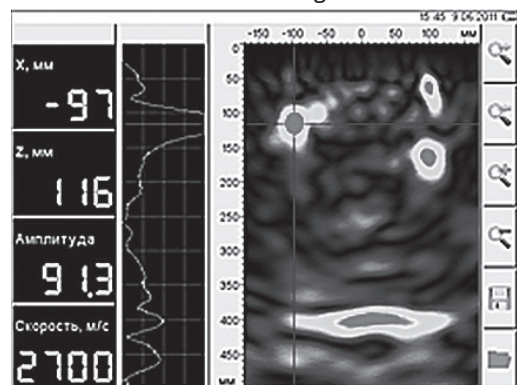
Ultrazvučne metode u građevinarstvu se najčešće upotrebljavaju za:

- mjerenje debljine konstruktivnih elemenata,
- pozicioniranje čelika za armiranje ili prednaprezanje,
- procjenjivanje dubine prsline i pukotina u betonu,
- određivanje eventualnih defekata u strukturi betona.

Iz praktičnih razloga najčešće se primjenjuje postupak kod kojeg su prijemnik i predajnik na istoj strani konstruktivnog elementa. Predajnik emituje ultrazvučni impuls određene frekvencije i vrste talasa u materijal. Pri promjeni akustične impedance (zavisi od brzine talasa i gustine materijala), talasi se reflektuju, pri čemu se sa spoljašnjih površina, šupljina i pukotina (granična područja u dodiru sa vazduhom) se talasi gotovo potpuno reflektuju. Reflektovani signal se posmatra i analizira u određenom vremenskom intervalu [4].



Slika 1. Ultrazvučni tomograf A1040-Mira



Slika 2. Pregledni režim pri mjerenju uređajem Mira

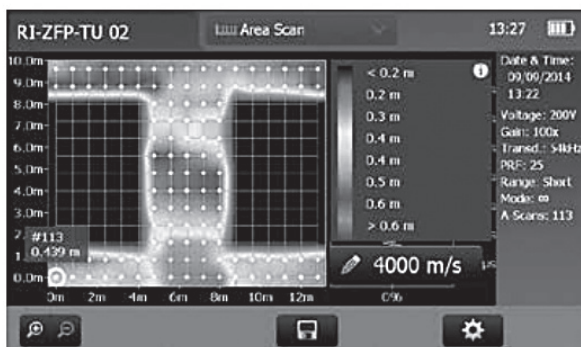
Najjednostavniji sistemi su oni koji se prijemnik i predajnik pričvršćuju za konstrukciju bez primjene posebnih mjera i sredstava. Pričvršćivanjem mjernih jedinica ostvaruje se tačkasta veza sa konstruktivnim elementom koji se posmatra. Kada se mjeri debljina konstrukcijskog elementa za povoljne granične uslove ponekad je dovoljno mjerenje u jednoj tački. Za preostale primjene, kao što je pozicioniranje betonskog čelika ili procjenjivanje dubine prsline mjerenje se sprovodi sa većim brojem tačaka na prikladno definisanoj površini.

Refleksija talasa se prikazuju u zavisnosti od kvaliteta upotrebene opreme. Najbolji rezultati se dobijaju kada se uzmu u obzir i refleksija i povratno rasipanje iz posmatrane zapremine. Za ovaj način ispitivanja konstrukcije primjenjuju se razne metode proračuna, a najpoznatija je SAFT metoda (Synthetic Aperture Focusing Technique). Aparatura omogućava odašiljanje programiranih impulsa prilagođenih konstrukcijskom elementu koji se ispituje i analizu prikupljenih podataka.

Na Slici XX prikazan je primjer otkrivanja gnijezda u betonu i armature u betonskom presjeku temeljne ploče primjenom SAFT metode. Vidljivo je i donje područje armature.



Slika 3. Ultrazvučni tomograf Pundit PL-200PE



Slika 4. Pregledni režim pri mjerenju uređajem Pundit PL-200PE

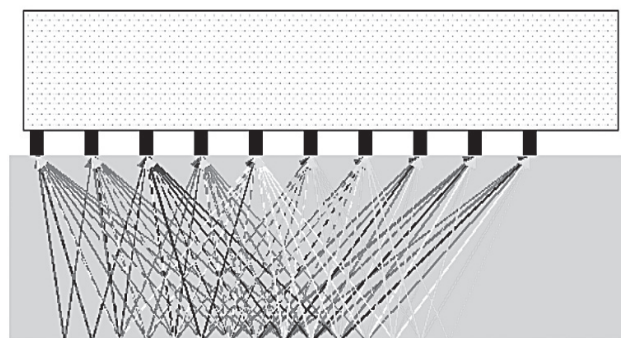
Opisani postupci kojima se dobijaju slike visoke rezolucije prikladni su i za mjerenje dubine pukotina. Postupak merenja je dosta složen, a moguće je mjeriti pukotine do dubine oko 20 cm. Uobičajeni postupci mjerenja dubine pukotina ograničene su na mjerenje dužine skretanja elastičnih talasa (talasa koji se mogu emitovati ultrazvukom ili generisati mehanički) na vrhu pukotine. Mesta gdje je pukotina još uvijek u kontaktu i prisustvo armature ograničavaju pouzdanost interpretacije rezultata mjerenja.

Impakt eho metoda

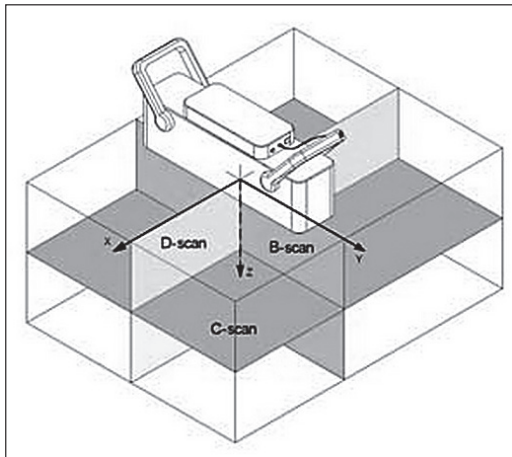
Ova metoda se najčešće primjenjuje za mjerenje debljine konstrukcijskih elemenata (najčešće temeljnih ploča). Pod određenim uslovima mogu se detektovati i druge nehomogenosti u betonu. Za razliku od ultrazvuka gdje se po pravilu mjeri vrijeme od prvog reflektovanog impulsa, kod impakt eho metode refleksije se mjere višestruko. Na gornjoj površini elementa koji se ispituje kratkim udarom kuglom generiše se akustični impuls nakon čega se analiziraju sve višestruke refleksije kroz konstrukciju. U slučaju kada se u konstrukciji pojave razlike akustične impedance na donjoj površini elementa ili na mjestu mogućeg oštećenja dolazi do refleksije.

Višestruke refleksije ulaznog impulsa se snimaju i digitalizuju pomoću senzora tokom vremena. Podaci se pomoću Furierovom transformacijom iz vremena u frekvenciju. Analizom rezultata vidljive su dominantne frekvencije od višestruke refleksije na donjoj površini konstruktivnog elementa ili na mjestima oštećenja u području od 2 do 40 kHz. Određivanje lokacije defekta se može sprovesti uz pomoć poznavanja karakteristične frekvencije (f) kod koje se ovaj maksimum javlja, brzine prostiranja talasa (v) i dubine refleksije (d).

Rezultati mjerenja impakt eho metodom mogu se prikazati kao i za ultrazvuk, pri čemu su slike koje generiše instrument za ravan paralelnoj ravni za koje se vrši mjerenje (C-scan) i u ravni upravnoj na ravan mjerenja (B-scan) najtraženije (Slika 5a-b).



Slika 5a. Način prikupljanja podataka



Slika 5b. Operativni mod

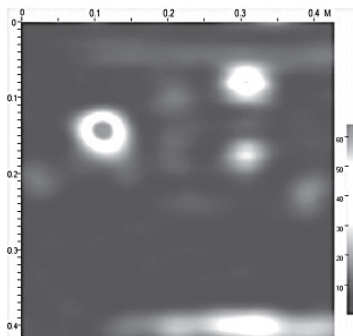
PRIMJERI PRIMJENE AKUSTIČNIH METODA

Visoka preciznost i tačnost savremene opreme za nedestruktivna ispitivanja betonskih konstrukcija omogućava kontrolu i otkrivanje potencijalnih defekata elemenata povećane debljine odnosno visine. Ispitivanja je moguće sprovesti iako druga strana elementa fizički nije dostupna [1, 6, 7].

U radu [5] je pokazana primjena ultrazvučnog tomografa A1040 Mira na modelu betonskog bloka debljine 40cm u kome su formirana tri defekta (rupe valjkastog oblika) koja nisu bila vidljiva na ispitnoj površini. Na Slici 6a prikazan je fizički model betonskog bloka. Jedna od rupa bila je širine 30mm na dubini od 140mm od površine bloka, dok su druge dvije rupe bile prečnika 13mm na dubini od 80mm, odnosno 180mm.



Slika 6a. Betonski blok [5].



Slika 6b. Prikaz izlaza za poprečni presjeka (B-scan) primenom uređaja A1040 [5].

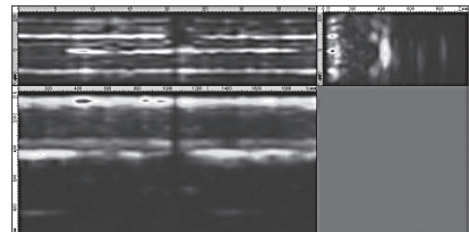
Takođe, prikazana je primjena navedenog uređaja za

kontrolu kvaliteta betonske obloge željezničkog tunela. Prostor između panela i tla je ispunjavan betonom (Slika 7.). Homogenosti strukture betona koji je nalivan iza panela se uvijek može dovesti u pitanje i zbog toga je primjenjena ultrazvučna tomografija da bi se provjerio kvalitet navedenog sloja.

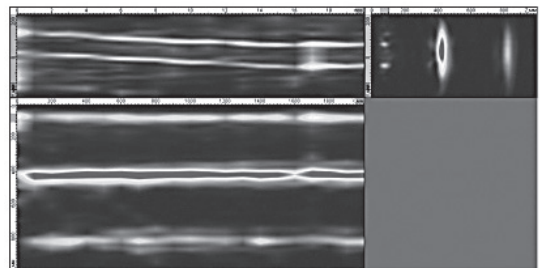


Slika 7. Primjena tomografa A1040 - procjena kvaliteta izvedenog sloja betona između betonskih panela i tla

Procjena kvaliteta je izvršena na osnovu intenziteta reflektovanih talasa na granici između panela i nalivenog sloja. Na dijelu gdje je izvršeno kvalitetno popunjavanje sloja između panela i tla postoji reflektovani talas niskog intenziteta, dok je u drugom slučaju kada je prisutan zarobljen vazduh, prisutan je reflektovani talas značajno većeg intenziteta.



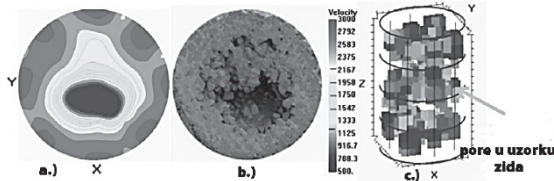
Slika 8a. Dio površine gdje ne postoji zarobljen vazduh između panela i tla



Slika 8b. Dio površine gdje postoji zarobljen vazduh između panela i tla.

Nosivi zidovi starih zidanih zgrada veoma često imaju defekte koji nisu vidljivi i posebno je to izraženo kod dvoslojnih zidova. Injektiranje spojnica zidova primjenom cementnih injekcionih masa je jedna od tehnika koja se najčešće koristi pri sanaciji. Akustične metode su veoma pogodne da se provjeri kvalitet izvedenih sanacionih radova. U radu [8] prikazani su uporedni rezultati ispitivanja mehaničkih svojstava i ispitivanja strukture zida nakon

sprovedenog injektiranja. Pokazana je dobra korelacija između datih rezultata uz dodatnu analizu uspješnosti zapunjavanja pora unutar strukture materijala primjenom 3D ultrazvučne tomografije (Slika 7a-c.).



Slika 7a. C-scan - 2D ultrazvučna tomografija, 7b. stvarni prikaz defekta, 7c. pore u uzorku - 3D ultrazvučna tomografija [8].

ZAKLJUČAK

Navedeni primjeri primjene savremenih ultrazvučnih tomografa pokazuju da je moguće veoma uspješno detektovati defekte u strukturi materijala kao i izvršiti njihovo lociranje i procjenu veličine. Prikazane metode su od velike pomoći u rješavanju nedoumica vezano za kvalitet izvedenih radova, pružajući jasne dokaze o stanju konstrukcije, čime se otvara veliki prostor za preuzimanje odgovornosti i nastavak nesmetane realizacije projekta. Ukoliko se pak pravda potraži na sudu, ove metode omogućavaju vještaku, da na bazi rezultata sprovedenih ispitivanja pribavi dokaze, te da formira jasnu sliku o stanju konstrukcije, kako bi pripremio objektivni nalaz. Ove metode mogu biti od pomoći vještaku ili ugovornim stranama za definisanje činjeničnog stanja pri kontroli izvedenih radova na novim objektima, procjeni stanja konstrukcije starih objekata, kao i za kontrolu radova izvedene sanacije konstrukcije.

LITERATURA

- Antenna, A. (2008). *17th World Conference on Nondestructive Testing*, Shanghai, China, 25-28 Oct.
- Behnia, A., Chai, H.K., Yorikawa, M., Momoki, S., Terazawa, M., Shiotani, T. (2014). *Integrated non-destructive assessment of concrete structures under flexure by acoustic emission and travel time tomography*, Construction and Building Materials, vol. 67, pp. 202-215.
- Bishko, A., Samokrutov, A., Shevaldykin, V. *Ultrasonic Echo-Pulse Tomography of Concrete Using Shear Waves Low-Frequency Phased*.
- Jorne, F., Henriques, F., Baltazar, L. (2014). *Evaluation of consolidation of grout injection with ultrasonic tomography*, Construction and Building Materials, Vol. 66, pp. 494-506.
- Muravljov, M., Živković, S., Zakić, D. (2000). *Savremene metode i tehnike ispitivanja betona i betonskih konstrukcija*, Građevinski materijali i konstrukcije, Vol. 43, br. 1-2, str. 5-11.
- Oha, T., Popovics, P., Hama, S., Shin, S.W. (2012). *Practical finite element based simulations of nondestructive evaluation methods for concrete*, Computers and Structures, Vol. 98-99, pp.55-65.
- Radić, J. (2010). *Betonske konstrukcije - Sanacije*, HSN-Sveučilište u Zagrebu-Secon HDGK-ANDRIS, p.836.
- Radonjanin, V., Malešev, M. (2005). *Karakteristična oštećenja zidanih konstrukcija*, Izgradnja, Vol. 59, br. 7-9, pp. 214-220.
- Schabowicz, K., (2014). *Ultrasonic tomography – The latest nondestructive technique for testing concrete members – Description, test methodology, application example*, Arives of Civil and Mechanical Engineering 14, pp.295-303.

Implementation of Modern Non-Destructive Methods Testing of Concrete Structures in Resolving Disputes Arising From Failures During Construction

Goran Nikolić

Abstract: During construction it is frequently a case that an investor or supervisor, due to non-compliance with his orders and defined procedures in performance of the works by a contractor, has concerns regarding the quality of the executed works, that performed structure has defects that may pose a threat to the stability of the structure, but it not easily to prove, because defects are not obvious on the structure. When such kind of dispute is addressed to the court, the expert has opportunity, based on modern methods of non-destructive testing of concrete structures, conducted by a certified company or institution, to prepare sufficient evidence based on which he can finalize an objective report. Beside the control of the performed works on new buildings, these methods can be very useful in assessing the conditions of old structures, as well as to control the performed remediation works on concrete structures.

Key words: non-destructive testing, acoustic methods, concrete structures.