

ISPITIVANJE INTEGRITETA ŠIPOVA METODOM SONIC INTEGRITY TEST (PILE INTEGRITY TEST)

Duško Hini, MSc.CEng.,
Institut za građevinarstvo IG Banja Luka

Sažetak:

U građevinskom konstrukterstvu često se primjenjuje duboko fundiranje kao jedan od sigurnijih načina za prenos sila sa konstrukcije u temeljno tlo. Postoji širi izbor načina izrade šipova koji zavise od zahtjeva interakcije objekta i tla, raspoložive tehnike i tehnologije te u konačnom, od materijalizacije samog šipa. Često primjenjivana tehnologija izrade šipa je metoda bušenja koja je jednostavna sa stanovišta tehnološkog postupka i potrebne tehnike za izradu. Nakon izrade šipova neophodno je da imamo informaciju o kvalitetu izvedenog šipa, odnosno o njegovoj neprekinutosti (integritetu). Na raspolaganju postoji nekoliko metoda a jedna od njih je ispitivanje sonic integrity testom. Ova metoda mjeri odziv šipa, kao funkciju vremena, na pobudu izazvanu udarom čekića. Podaci se ocjenjuju obično u frekventnom domenu. Metoda ima ograničenja u pogledu detekcije samo određenih defekata nastalih u toku izrade šipa. U radu je dat prikaz rezultata dobijenih ispitivanjima šipova za mostove na autoputu Banja Luka-Doboj, dionica Prnjavor-Doboj (Johovac 1) km 49+945,00 km - 71+909,72 km izvedenih tokom 2015. god.

ključne riječi:

Šipovi, integritet šipova, defekti, akcelerometar

PILE INTEGRITY TESTING USING THE SONIC INTEGRITY TEST (PILE INTEGRITY TEST)

Summary:

In civil engineering constructing deep foundation is often used as one of the safer ways to transfer forces from constructions to subsoil. There is a wider range of choices for creating piles that depend upon the interaction requirements between the construction and the ground, available techniques and technologies, and ultimately, of the pile materialization itself. Frequently applied technology in pile production is the drilling method. The drilling method is a pile creation method with both simple technological process and simple development technique. Upon the creation of piles, it is necessary to have information about quality of the produced pile in regards to its integrity. There are several pile integrity testing methods, one of which is a sonic testing integrity test. This method measures the pile response, as a function of time, to the shock caused by a hammer excitation. The data is usually evaluated in the domain of frequency. This method has a limit due to its detection of only certain defects generated during the pile creation. This paper presents the results of pile testing for bridges on the highway Banja Luka-Doboj, section Prnjavor-Doboj (Johovac 1) km 49 + 945.00 km - 71 + 909.72 kilometers performed during 2015.

Key words:

Pile, pile integrity, defects, accelerometer

1. NEOPHODNOST UTVRĐIVANJA INTEGRITETA ŠIPOVA

Za objekte fundirane na šipovima, u cilju proučavanja ponašanja konstrukcije u eksploataciji, neophodno je da utvrdimo kvalitet izvedenih šipova. Neophodno odnosi se na njihov integritet i eventualne defekte nastale tokom izrade. Za pravilno rješavanje potencijalnih problema interakcije tlo-temelj-konstrukcija [7] kao i za otkrivanje grešaka u fundiranju [8] važno je imati ove podatke.

Analiza fundiranja na šipovima rješava se metodama zasnovanim na teorijskom pristupu i postupcima koji koriste podatke iz geomehanike kod ispitivanja tla, dostignutog teorijskog znanja i pozitivne građevinske prakse. Metode proučavanja šipova po raznim prijedlozima za proučavanje nosivosti ne utiču značajno na varijabilitet u konačnom rezultatu koliko određivanje karakteristika geomehanike tih parametara po predloženim rješenjima pojedinih autora.

Formirani matematički model za proučavanje nosivosti šipova uključuje proučavanje uske pretpostavke i upućuje na to da se udaljava od stvarnog fizičkog sistema. Odgovor teorijskog modela se razlikuje od odgovora stvarne konstrukcije [5]. Korištenje rezultata dobijenih na modelu nisu isti i za stvarnu konstrukciju ali mogu značajno doprinijeti u njejoj analizi.

Ispitivanjima konstrukcije „in situ“ dobijaju se podaci za konkretnu konstrukciju, ili njenih elemenata, na osnovu kojih vršimo analizu i obradu rezultata. Problematiku svih ispitivanja u osnovi čine teorijska saznanja, vještine i iskustvo ispitivača kao i raspoloživa ispitivačka oprema. Rezultati dobijeni ispitivanjem stvarne konstrukcije moraju biti detaljno opisani kako bi bili od koristi za donošenje zaključaka kako za konkretnu tako i za sličnu konstrukciju. Zbog specifičnosti konstrukcije, uslova temeljenja, uslova ispitivanja, primjenjene ispitivačke metodologije i tehnike, u inženjerskim pretpostavki, izabranog računskog modela i teorije, upotrebljenog softvera svako dalje korištenje rezultata ispitivanja nameće oprez u konačnom donošenju zaključaka za ispitivani ili sličnu konstrukciju.

Na početku svakog ispitivanja potrebno je definisati cilj ispitivanja jer se na osnovu rezultata ispitivanja donijeti konkretan zaključak. Postoji i zakonska obaveza osmatranja tla i proučavanja stanja objekata u eksploataciji a naročito u seizmički aktivnim područjima. Ispitivanja mogu biti u skladu sa standardima ili sa opštom prihvaćenom metodologijom za konkretno ispitivanje.

Po izvršenim ispitivanjima, na osnovu kojih se daje ocjena integriteta šipa, ima smisla vršiti neka sljedeća ispitivanja. Statističkom obradom većeg broja dobijenih rezultata može se izvesti korelacija po određenim parametrima koji opisuju trenutno stanje šipa. Sljedeća ispitivanja mogu biti statička ili dinamička na osnovu kojih se definiše nosivost šipova. Faktori koji utiču na nosivost šipa, uz njegov ostvareni kvalitet materijala od kojeg je izrađen, integriteta na cijeloj dužini fundiranja, temeljnog tla i uslova u eksploataciji zahtijevaju interaktivnu višeparametarsku analizu u procesu zaključivanja. Svaki od navedenih faktora utiče na nosivost pojedinog šipa kao i šipova u grupi.

2. INTEGRITET ŠIPOVA

Za kontinualnost šipa, koji može biti izveden pobijanjem prefabrikovanih ili gotovih šipova ili metodom bušenja i livenja betona na licu mjesta, smatramo da je ostvarena u potpunosti ako nema defekata i oštećenja nastalih tokom izvođenja ili tokom eksploatacije. Šipovi mogu biti izvedeni od različitog materijala kao što su drvo, čelik, beton i od kompozitnih materijala sa raznim geometrijskim oblikom poprečnog presjeka i dužina.

Oštećenjem šipa smanjuje se njegova nosivost a posljedica konstrukcija može doći u stanje neupotrebljivosti. U kombinaciji sa heterogenim sastavom tla, smanjenim, te potencijalno mogući smanjenjima nosivosti pojedinih litoloških slojeva ili promjenom eksploatacionih uslova, bilo koja imperfekcija šipa (geometrijska, dispozicija opterećenja, neravnomjerno raspoređene karakteristike materijala ili greške u materijalu) može značajno uticati na stabilnost konstrukcije u cjelini.

Integritet šipa i kvalitet njegove izrade utiče na globalno ponašanje konstrukcije u cjelini i na grani na stanja: nosivosti, pomjeranja, prslina ili vibracija. U dinamičkoj analizi konstrukcije, prilikom korištenja metode konačnih elemenata (MKE) [6], defekti mogu izazvati promjenu broja masa oscilatornog sistema.

U izboru statičkog sistema kao i izbora fundiranja konstrukcija, kao što su mostovi, najviše se primjenjuju bušeni šipovi. Pravci razvoja mostova, proistekli iz potrebe i težnje, imaju tendenciju povećanja raspona, smanjenje vlastite težine i povećanje korisnog opterećenja, povećanje trajnosti, pouzdanosti i životnog vijeka, smanjenje cijene građevine i troškova eksploatacije [9]. Trendovi razvoja sadrže konceptualna i konstruktivna unaprjeđenja koja pri projektovanju teže izboru integralnih mostova te unaprjeđenju presjeka rasponske

konstrukcije uz primjenu novih dostignu a u teorijama konstrukcija, stati kim i dinami kim analizama pomo u softwera [3], te ta nijem odre ivanju pouzdanosti.

2.1. Defekti nastali pri izradi šipova

Prilikom izvo enja šipova postoji mogu nost odstupanja od zahtjeva u projektu koja su izazvana razli itim uticajima. Razli iti uticaji u kona nom imaju nepravilno izveden šip koji nema zahtjevano performanse. Naj eš i uzroci defekata šipova su: neodgovaraju e tehnološke karakteristike svježeg betona, sastav tla i njegov heterogeni sastav, prisustvo litoloških slojeva koji mogu da izmijene osnovne geomehani ke parametre, loš izbor tehnike te slabo obu ena posada na mašinama za izvo enje radova.

Uobi ajene manifestacije ošte enja betonskih šipova izra enih na licu mjesta su: prekid šipa izazvan ispiranjem betona usljed cirkulacije vode i vazduha pod pritiskom, kaverne u betonu izazvane neodgovaraju im tehnološkim karakteristikama svježeg betona (konzistencija, po etak o vrš avanja, ugradljivost, obradljivost), lokalno smicanje šipa izazvano mekim muljevitim slojevima, prekid šipa izazvan naglim povla enjem kolona ili kontrakt cijevi (izlazak iz betona), prekid armaturnog koša i ošte enje spiralne armature. Kada su u pitanju prefabrikovani šipovi od drveta, elika ili betona postojanje nekvalitetnih zona u materijalu, postojanje prslina koje sti u propagaciju prilikom ugradnje ili ošte enja u bazi šipa usljed slabe otpornosti vrha šipa su est uzrok defekata na izvedenim šipovima.

Defekti su ostvareni u toku izrade šipova bez prijema sila od projektovanih optere anje koja e kasnije uslijediti po izvedenim elementima, odnosno kompletnog objekta u cjelini. U eksploataciji, kada se aplicira i korisno optere enje, defekti mogu zna ajno smanjiti upotrebljivost objekta za predvi enu namjenu. Ne uti u svi defekti negativno na ponašanje konstrukcije u eksploataciji. Kontinualno pove anje promjera šipa ka bazi ili konstantno pove anje presjeka šipa sve do baze pove avaju nosivost šipa ali i utrošak materijala za izradu.

2.2. Cilj ispitivanja integriteta šipova

Najbrža i najekonomi nija, a pritom veoma pouzdana nerazaraju a metoda za utvr ivanje kvalitete šipova svakako je *sonic integrity test (SIT)*. Ova metoda se bazira na dobro poznatoj talasnoj teoriji, te softverskoj obradi prikupljenih podataka.

Zadatak testa prvenstveno je utvr ivanje integriteta ugra enog betona po cijeloj dužini šipova (stubova ili kombinovano). Pod integritetom podrazumijeva se šip (stub ili kombinovano) sa projektom zadanim geometrijskim karakteristikama, bez prekida u betoniranju, bez inkluzija, suženja, zadebljanja ili promjene kvaliteta ispune (betona).

2.3. Opis metode ispitivanja integriteta šipova

SIT (*sonic integrity test*) odnosno *Pile integrity test (PIT)* metoda zasniva se na analizi uticaja promjene impedanse duž tijela šipa ili svih elemenata u nizu, na formu reflektovanog mehani kog talasa koji mjerimo akcelerometrom na gornjoj strani ispitivanog konstruktivnog elementa. Impedansu definišemo kao:

$$Z = A\sqrt{E^* \dots} \quad (1)$$

Pri emu je:

- površina popre nog presjeka šipa A =
- modul elasti nosti E =
- gusto a materijala šipa =

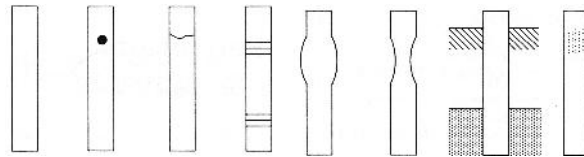
Ta nost rezultata ispitivanja direktno zavisi od ta nosti procjene ili mjerenja gore navedenih veli ina, kao ulaznih parametara za softverski prora un. Iz gore navedenog slijedi da je metoda ograni ena na detekciju sljede ih pojava koje uzrokuju refleksije mehani kih talasa:

- Detekcija baze šipa
- Otkrivanje ve ih šupljina u tijelu šipa (kaverne)

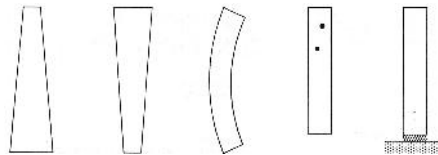
- Pukotine, pogotovo pore ne na osu šipa, te prekidi kod betoniranja
- Nagle promjene veličine poprečnog presjeka
- Variranje kvaliteta betona
- Promjene mehaničkih karakteristika tla
- Preklopi armature kod jačanih armiranih šipova

Pojave koje se ne mogu utvrditi metodom SIT (PIT):

- Postupno povećanje ili smanjenje promjera šipa
- Zakrivljenost šipa
- Manje šupljine
- Loš materijal na dnu bušotine (baza šipa)



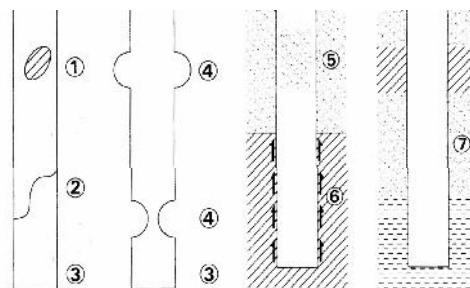
Sl. 1. Pojave koje se mogu sa sigurnošću utvrditi SIT (PIT) metodom



Sl. 2. Pojave koje se ne mogu sa sigurnošću utvrditi SIT (PIT) metodom

Treba takođe napomenuti da je tačnost utvrđivanja dužine šipova smanjena kod jako dugih šipova ili u slučaju jakog prigušenja signala usljed određenih mehaničkih karakteristika tla. Međutim, primarni cilj ovog testa nije verifikacija dužine, već utvrđivanje kvaliteta i cjelovitosti šipa.

SIT-sonic integrity test metoda predstavlja jedan vrlo jednostavan način kontrole šipova. Moguća je primjena na svim tipovima šipova. Kontrola izrade podrazumijeva otkrivanje, kao i kvalitativno-kvantitativnu procjenu sljedećih pojava kod izvedenih šipova:

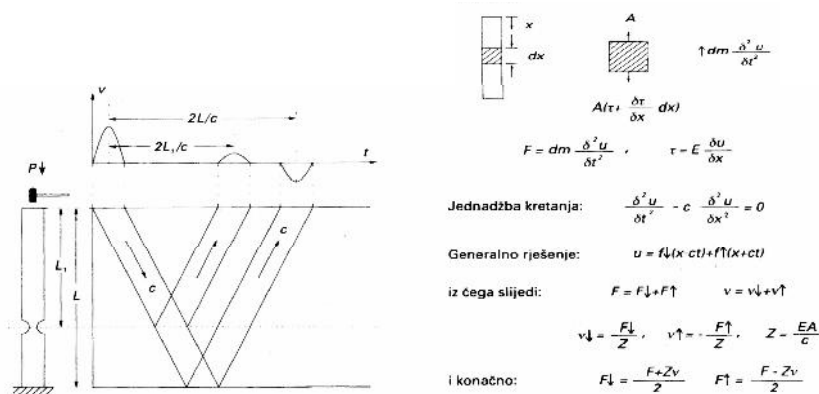


1. Inkluzije
2. Prekidi
3. Uslovi oslanjanja
4. Zadebljanja i suženja
5. Promjena kvaliteta ispune
6. Trenje po plaštu
7. Slojevitost tla

Sl. 3. Mogućnosti primjene SIT (PIT) metode

Pomoću impulsnih sila P na vrhu šipa uvodi se u šip elastični naponski talas F koji putuje brzinom $c=const$ prema dole. Svaka promjena u šipu kao mediju širenja ovog talasa, uzrokuje djelimičnu ili potpunu refleksiju i stvara talas F koji putuje brzinom c prema gore. Ovaj fenomen pruža mogućnost da se analizom povratnih talasa postigne osnovni cilj testa.

Spomenuto talasno oscilovanje u šipu potpuno je pokriveno jednodimenzionalnom talasnom teorijom.



Sl. 4. Teorijske osnove za proraun

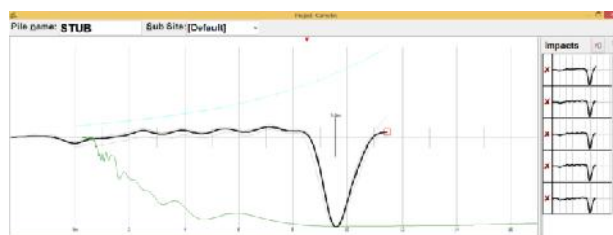
2.4. Oprema za ispitivanje

Na raspolaganju postoji više proizvođača a ispitivačke opreme sa različitom hardverskom softverskom podrškom. Za ispitivanja u konkretnom slučaju korištena je oprema za testiranje šipova proizvođača Pile Test, London, United Kingdom. Konfiguraciju sistema imamo:

- Laptop
- Piezoelektrični akcelerometar ES-08100
- A/D konverter
- Jedinica pojačanja i kondicioniranje signala
- Thorex najlonski otklani za unošenje elastičnog naponskog talasa u šip
- Softver za prikupljanje i analizu podataka "PET" Version 3.02

2.5. Kalibracioni testovi

Prije početka ispitivanja izvršena je provjera funkcionisanja opreme na linijskom elementu poznatih karakteristika. Kalibracioni test prije ispitivanja šipova izvršen je za gredu poznatih karakteristika: vrste i betona, dužine i poprečnog presjeka. Stvarna dužina grede je 9,6 m. Dužina grede određena PIT instrumentom je takođe 9,6 m.



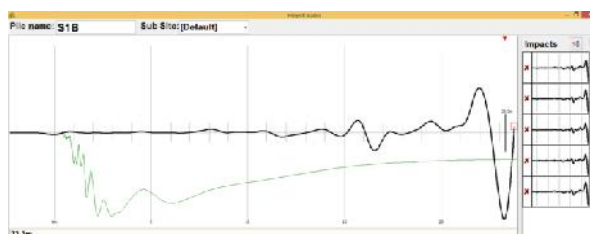
Sl. 5. Rezultati ispitivanja betonske grede poznate dužine

3. REZULTATI ISPITIVANJA INTEGRITETA ŠIPOVA

Rezultati dobijeni ispitivanjem kontinuiteta izvedenih šipova na mostu Baši i na Autoputu Banja Luka-Doboj, dionica Prnjavor-Doboj (Johovac 1) km 49+945,00 km - 71+909,72 km izvedenih tokom 2015. god. prikazani su u tabeli br. 1. Rezultati su prikazani u obliku seizmograma te predstavljaju prosječne signale pojedinih zona. Ostvaren je zadovoljavajući kvalitet signala, dovoljan za analizu integriteta. Ulazni podaci za brzinu rasprostiranja mehaničkog talasa kroz beton izvedeni su povratno iz podatka o ukupnoj dužini kretanja talasa kroz sve elemente i armaturne koševе i vidljivoj konačnoj dužini zajedničkog elementa (greda/šip ili greda/stub/greda/šip). Ispitivanje je rađeno u skladu sa standardom ASTM D 5882 [1].

Tabela 1. Rezultati ispitivanja integriteta šipova za nadvožnjak Bašići

Ispitno mjesto	Starost betona	Brzina talasa	Dužina šipa	defekt
	[dan]	[m/s]	[m]	[da/ne]
U1B	>28	4150	20,10	ne
S1B		4100	23,30	ne
S2B		4100	27,90	ne
S3B		4150	27,50	ne
U2B		4100	27,10	ne
U1D	>28	4150	20,10	ne
S1D		4100	23,30	ne
S2D		4100	27,90	ne
S3D		4150	27,50	ne
U2D		4100	27,10	ne



Sl. 6. PIT filtriran grafik za stub S1B

4. ANALIZA REZULTATA

Na osnovu kontinuiteta signala u pogledu integriteta šipa, kvalitet svih šipova u osi stubova je zadovoljavaju i. Na osnovu izmjerene vrijednosti talasne brzine može se zaključiti da je prosje na pritiska vrsto a betona u okviru o ekvianih za klasu betona C25/30.

Na sl. 6 na dubini od 16 m primjetno je neznatna devijacija signala. Uvidom u geomehani ki izvještaj na tom mjestu nalazi se promjena litološkog sloja. Utrošak betona za izradu ovog šipa se poklapa sa teoretskim tako da je poreme aj signala nastao usljed uticaja refleksije talasa od bolje zbijenog tla u kojem je šip i fundiran.

5. DISKUSIJA I KOMENTARI DOBIJENIH REZULTATA ISPITIVANJA INTEGRITETA ŠIPOVA

Na raspolaganju za ocjenu integriteta i kvaliteta izvedenog šipa je nekoliko skalarnih veli ina i oblik reflektograma. Iz mjenom vremena odziva konstrukcije izazvanih vibracija pobudom udara eki a i akvizicije signala, brzom furijeovom transformacijom (FFT) softverski je obra en signal i dat je grafi ki prikaz rezultata. Prelaskom iz vremenskog u frekventni domen omogu je da se skalarno prikaže promjena kretanja talasa kroz strukturu šipa i kroz razli ite litološke slojeve.

Signal ulazi u strukturu u vidu pobude izazvane udarom eki a, propagira kroz šip i reflektuje se nazad na mjesto gdje se nalazi akcelerometar. Svaka promjena se registruje u zavisnosti od geometrije šipa i brzine prolaza talasa kroz beton.

U slu aju zna ajnijeg prekida šipa signal nema propagaciju niti refleksiju od one sa baze šipa. Za o ekivane dužine šipova za koje se imaju podaci rezultat ispitivanja je ocjena integriteta šipa. Za nepoznate dužine šipova koji se ispituju, naknadno se može utvrditi kvalitet betona, na uzetim uzorcima utvrditi brzina, a potom prilikom obrade podataka unijeti ovu brzinu u softver te dobiti dužinu šipa. Ova dužina je do baze šipa ili zna ajnijeg prekida šipa.

Za ocjenu dobijenih rezultata od presudnog je zna aja osjetljivost instrumenta i vještina, znanje i sposobnost ispitiva a. Prefabrikovani šipovi se mogu ispitati neposredno prije ugradnje a potom po ugradnji. Zna ajniji defekti pri ugradnji se mogu registrovati ovom metodom.

Zbog svoje praktičnosti i brzine u dobijanju rezultata metoda dobija na značajnu pogotovost ako je u pitanju ispitivanje većeg broja šipova. Oprema za ispitivanje je namjenska i nema širi ispitivani spekter. Primjenjuje se za dimenzije elemenata od 3 do 40 m.

Za sticanje uvida u metodu i edukaciju na raspolaganju su demo varijante programa dostupnog na internetu [4].

6. REFERENCE

- [1] ASTM D 5882,-Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations
- [2] <http://www.piletest.com/>
- [3] <http://axisvm.eu/index.html>
- [4] <http://www.piletest.com/Show.asp?id=PileWave>
- [5] Šuranović N., Uvod u ispitivanje konstrukcija sa primjerima, GF CG, Podgorica, 2009
- [6] Kovačević D., MKE Modeliranje u analizi konstrukcija, Građevinska Knjiga, Beograd, 2006
- [7] Milović D., Čigoj M: Problemi interakcije tlo-temelj-konstrukcija, SANU, Novi Sad, 2009
- [8] Milović D., Čigoj M: Greške u fundiranju, UNS FTN, Novi Sad, 2005
- [9] Pržulj M., Mostovi, Izgradnja, Beograd, 2014