

КОНТРОЛА РЕЗУЛТАТА ТЕСТА ИНТЕГРИТЕТА ШИПОВА- КАРАКТЕРИСТИЧНИ ПРИМЕРИ ИЗ ПРАКСЕ

Никола Божовић*, Марија Крстић*, Стефан Митровић**

* *Институт ИМС, Булевар војводе Мишића 43, Београд,
nikola.bozovic@institutims.rs, marija.krstic@institutims.rs*

** *Грађевински факултет, Универзитет у Београду, Булевар краља
Александра 73, smmitrovic@grf.bg.ac.rs*

РЕЗИМЕ

У раду је приказана метода испитивања интегритета шипова Sonic Integrity Test (SIT) којом се утврђује да ли геометрија шипа задовољава пројектне захтеве у погледу усвојеног пречника и дужине шипа. Издвојени су карактеристични примери шипова из праксе код којих су рефлектограми добијени тестом интегритета указали на могуће неправилности у грађи шипова. Како је тест интегритета шипа недеструктивна метода, тумачење рефлектограма може да има одређени ниво непоузданости. Накнадно су спроведене деструктивне методе бушења кроз тело шипа или је спроведен тест оптерећења за утврђивање носивости шипа како би се потврдила инжењерска процена интегритета шипа.

КЉУЧНЕ РЕЧИ: шип, интегритет, рефлектограм

CONTROL OF RESULTS OF PILE INTEGRITY TEST- CHARACTERISTIC EXAMPLES FROM PRACTICE

ABSTRACT

The paper is presents a method for testing the integrity of piles Sonic Integrity Test (SIT) which determines whether the geometry of the pile meets the design requirements in terms of the adopted diameter and length of the pile. Characteristic examples of piles from practice have been singled out, in which the reflectograms obtained by the integrity test indicated possible irregularities in the structure of piles. As the pile integrity test is a non-destructive method, the interpretation of reflectograms may have a certain level of unreliability. Subsequently, destructive drilling methods were performed through the pile body or a load test was performed to determine the bearing capacity of the pile in order to confirm the engineering assessment of the pile integrity.

KEY WORDS: pile, integrity, reflectogram

УВОД

Sonic Integrity Test (SIT) је звучна, ехо метода која се заснива на теорији једнодимензионалног простирања напонског таласа. Ударом о врх шипа (глава шипа) ручним чекићем производи се компресиони талас који се простира кроз шип и рефлектује од базу шипа. Акцелерометар (сензор), причвршћен на глави шипа, региструје убрзања главе шипа изазвана рефлексijом таласа унутар шипа. Свака промена дуж стабла шипа, проширења и сужења попречног пресека, промена у квалитету материјала, изазивају рефлексiju таласа коју сензор региструје као промену убрзања. Интеграцијом убрзања добија се запис брзине у времену који се дигитално приказује. То је крајњи продукт који доноси податке о квалитету уграђеног шипа.

На основу претпостављене брзине простирања звучног таласа кроз бетон (c) и познате дужине шипа из пасоша шипова (L), може се одредити време за које рефлектовани део таласа стигне до сензора.

$$t = \frac{2L}{c} \quad (1)$$

Рефлексija таласа условљена је променом импеданце (Z) која зависи од карактеристика шипа: модула еластичности бетона (E) и површине попречног пресека шипа (A).

$$Z = \frac{EA}{c} \quad (2)$$

Проширење попречног пресека утиче на повећање импеданце и талас се рефлектује као компресиони, док сужење попречног пресека изазива пад импеданце, а талас се рефлектује као тензиони. Свака рефлексija изазвана променом импеданце дуж стабла шипа отежава контролу дужине шипа, јер је рефлексija на месту базе ослабљена.

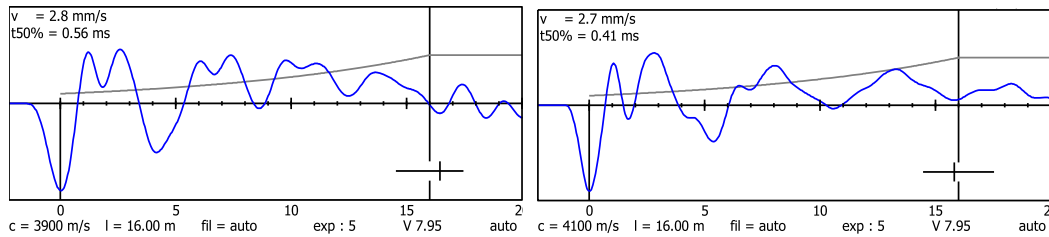
Геологија је битан фактор при одређивању интегритета шипа. Гло око шипа делује као пригушење па је због тога неопходно вршити амплификацију сигнала по експоненцијалном закону , где је L дужина шипа, а D пречник шипа. Зато ова метода има ограничење у примени у зависности од односа L/D и врсте тла кроз које пролази шип. За тврда тла тај однос износи 20 док за мека може досећи и 60. Трење по омотачу има сличан ефекат као повећање импеданце.

КОНТРОЛА РЕЗУЛТАТА ИНТЕГРИТЕТА МЕТОДОМ БУШЕЊЕ СА ЈЕЗГРОВАЊЕМ

Пример 1

На терену су испитана два шипа на једном стубном месту. Испитивани шипови у погледу технологије извођења представљају бушене шипове кружног попречног

пресека. Дужина шипова износила је 16 m, а пречник $\text{\O}1200$ mm. На Слици 1 приказани су рефлектограми испитаних шипова.



Слика 1. Рефлектограми испитаних шипова
Figure 1. Reflectograms of tested piles

Испитивани шипови, према класификацији рефлектограма према Liang & Rausche (2011), класификовани су као PF (Potential Flow) шипови. Не постоји јасан одзив од базу шипа. Негативна рефлексија забележена је на дубини између 4m и 5 m. Негативне рефлексије се појављују на еквидистантним растојањима што указује да се талас више пута одбија од “препреку” на сса 5m па се велики део енергије утроши док талас допре до базе шипа. Будући да је већина шипова, који су до тог тренутка испитани на овој локацији, имала униформно стабло, геолошки састав тла је елиминисан као могући узрок нерегуларности. На терену је добијен податак да је на поменутој дубини дошло до вишечасовног прекида у бетонирању шипова. Ради даљег утврђивања исправности резултата неструктивне методе, спроведено је бушење шипова са језгровањем, при чему је свака бушотина снимљена видео камером.

Бушење је спроведено у три тачке код оба шипа. Коришћена је бушећа гарнитура са једноструком цеви. Извршено је картирање језгра бушотине и снимање зидова бушотине.

На дубинама до 4 m забележен је слабији квалитет бетона у односу на бетон на већим дубинама. Такав закључак је донет на основу изгледа језгра избушеног у шипу. У првих 4 m језгра из већине бушотина у бетону не постоји веза између зрна агрегата, тј дошло је до појаве сегрегације. Зидови бушотина се обрушавају и имају пукотине зева до 1cm. На Слици 2 је приказано језгро и изглед зида бушотине.



Слика 2. Изглед језгра и зида бушотине
Figure 1. Look of the core and wall of the well

Пример 2

Конструкција моста фундирана је на 4 шипа S1,S2,S3 и S4. У погледу технологије, реч је о бушеним шиповима $\varnothing 900$ mm и дужине 19.5 m. Бушење је спроведено са континуалним зацевљењем. Утрошак бетона код шипова S3 и S4 био је за 50% већи у односу на потребну количину бетона за бетонирање шипа.

Код шипова S1 и S3 није постојао јасан одзив од базе, па самим тим није било могуће поуздано утврдити дужину шипова. Одзив од базе је слабијег интензитета због појаве рефлексја које указују на проширење шипа на сса 6.0 m и сса 5.0 m (респективно) од врха шипа. Слика 3.

Компресорско бушење рупе спроведено је у шиповима S1 и S3. Приликом бушења,компресором је избациван издробљени материјал (бетон и др.) у зону око рупе у шипу.

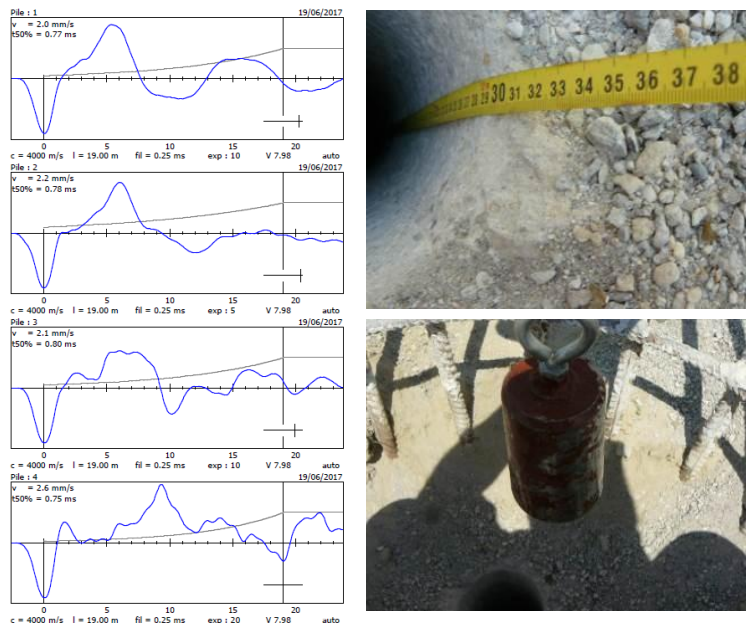
Током бушења чекић је ударио у повијену арматуру шипа. Непосредно пред удар бушећег прибора у повијену арматуру шипа, компресором је избачен невезан песковити материјал.

Избачени неvezан песковити материјал на дубини 12.44 m указује да је приликом израде шипа, након уградње арматурног коша, дошло до урушавања избушене рупе у зони шипа, што није могло бити попуњено бетоном током уградње.

Закључено је да је ниво базе шипа на сса 5-10cm испод нивоа избушене рупе. Утврђена је дужина шипа сса $LS1 = 12.54m$, са вероватноћом поузданости од 95%.

Након завршетка бушења рупе у шипу S1, извршена је контрола дубине избушене рупе челичном пантљиком са фиксираним тегом укупне дужине продужења пантљике од сса 0.20m, што је приказано на Слици 3.

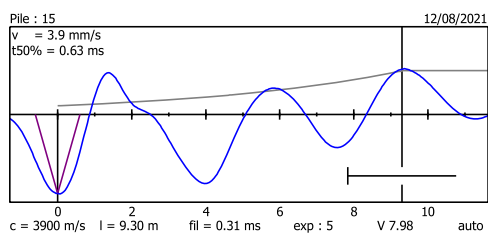
Приликом мерења, након вађења тега обешеног на пантљику за мерење, установљено је да је исти влажан, а што указује да је дошло до продирања воде у базу шипа.



Слика 3. Рефлектограми испитаних шипова, зид бушотине и тег са пантљиком за мерење
Figure 3. Reflectograms of tested piles, wall of the well and measuring equipment

КОНТРОЛА НОСИВОСТИ ШИПА СА НЕРЕГУЛАРНИМ ИНТЕГРИТЕТОМ

Испитана су четири шипа у темељној стопи стуба, изведени за потребе фундирања моста. Шипови су дужине 9.3m и пречника 1.2m. Сви шипови су стојећи и својом базом улазе у стенски материјал. Три шипа имају регуларан интегритет са јасним одзивом у бази шипа и униформним стаблом шипа. На рефлектограму једног шипа из батерије од четири истиче се негативна рефлексја таласа на 4m мерено од врха шипа (Слика 4).



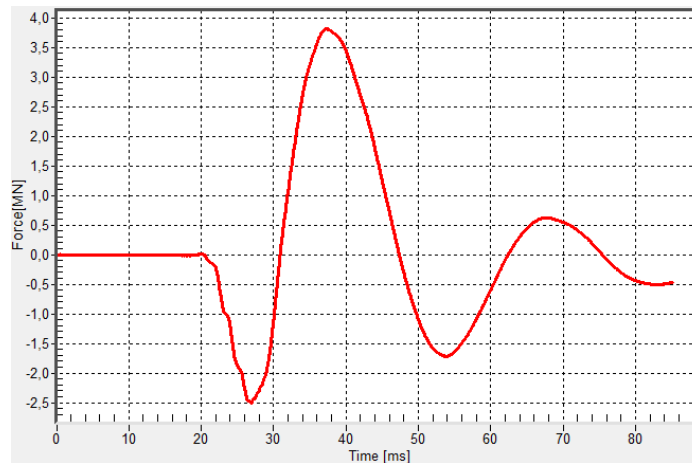
Слика 4. Рефлектограм оштећеног шипа
Figure 4. Reflectogram of damaged pile

На захтев наручиоца радова спроведен је опит динамичког оптерећења шипа за утврђивање носивости шипа. Динамичко оптерећење шипа као и тест интегритета су у основи засновани на таласној теорији. Интегритет шипа представља нискодилатациони тест где се ударац о главу шипа остварује ручним чекићем, док је динамичко испитивање шипа високо дилатациони тест где се ударац о главу шипа спроводи тегом одговарајуће тежине. За потребе утврђивања носивости шипа употребљен је тег тежине 10t (Слика 5). Прорачунска сила у шипу износила је 2500kN.



Слика 5. Опрема за динамичко оптерећење шипа
Figure 5. Equipment for dynamic load test

За одређивање носивости из теста динамичког оптерећења, врши се компатибилизација сигнала повратне силе (Слика 6). То је сигнал који носи податак о реактивним силама које производе омотач и база при ударцу тег о шип. На сигналу повратне силе уочава се изражена негативна рефлексивна у временском домену од 3ms, што говори да до 5m стабла шип није у могућности да пренесе оптерећење трећем по омотачу и да се укупна статичка носивост остварује делом стабла који је укљештен у стенску масу и базом шипа. Тиме је потврђено тумачење рефлектограма из теста интегритета да на сва 5m постоји оштећење стабла шипа. И поред утврђеног оштећења шип је мобилисао захтевану носивост.



Слика 6. Талас повратне силе из теста динамичког оптерећења
Figure 6. Upward wave from dynamic load test

ЗАКЉУЧАК

Испитивање интегритета шипова је тест којим се на једноставан начин може утврдити да ли шип задовољава пројектом дефинисане захтеве у погледу дужине и пречника. Искуство инжењера који спроводи испитивање је од пресудног значаја за исправно тумачење рефлектограма. Рефлексије које се јављају у рефлектограму могу бити последица геолошких промена, присуства подземне воде у тлу, проширења насталих утискивањем бетона у лоше носиво тло, неадекватне припреме главе шипа и других појава које захтевају опрезно тумачење добијених резултата испитивања. Вишечасовни прекид у бетонирању шипа, неуједначен квалитет бетона у стаблу шипа, обрушавање зидова бушотине шипа при извлачењу обложне колоне и други фактори могу бити узрок лошег резултата у тесту интегритета.

Чест случај у пракси је да шипови имају неадекватан интегритет. Уколико су оштећења на мањим дубинама, шип се додатно крајцује и добетонира до пројектоване коте. Уколико је оштећење дубље, врши се прерачунавање носивости шипа са дужином до утврђеног оштећења и по потреби се изводи додатни шип.

Испитивањем интегритета могу се, на брз и економичан начин, у раној фази пројекта открити потенцијалне нерегуларности које би угрозиле сигурност и функционалност објекта у експлоатацији. У том случају, свака санација у фази израде пројекта фундарања је технички једноставнија и исплативија што потврђује велики значај и оправданост спровођења теста интегритета шипова.

ЛИТЕРАТУРА

- Пројектно-техничка документација, Архива Института ИМС.
Основе испитивања интегритета шипова с примерима из праксе, Душан Берисављевић, др
Ненад Шушић
Method Statement Sonic Integrity Testing, Profound, Netherlands
ASTM 5882D-16-Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep
Foundations
Review of deep foundations integrity testing methods and case histories, Samuel G. Paikowsky, and
Les R. Chernauskas
Pile Integrity testing and analysis, F. Rausche, G Likins, Shen Ren Kung