



Non-Destructive Testing Peculiarities of the Integrity of the Reinforced Concrete Piles of the Newly Built ITOWER Building in Sofia

Dimiter DIMOV, Konstantin VELINOV

University of Architecture and Civil Engineering, Sofia, Bulgaria
e-mails: dimg.dimov@gmail.com, kvelinov@eurocode2.bg

Abstract

This article presents the complete process of non-destructive testing of 145 pouring reinforced concrete piles to establish and assess their integrity and length by applying the TRM (Transient Response Method). All stages of the study procedure are shown – minimum requirements and sample preparation, testing, analysis and evaluation of the results through the software of the specialized device TDR-2 Pile Analyzer. Some specific features of its practical application for identifying possible defects in this type of piles are presented, with the corresponding limitations and possible problems related to the diversity of geometry, age of concrete and test conditions of the elements, engineering and geological conditions of the terrain and implementation technology. The combination of the method with ultrasonic testing of the pilots provides additional information and an opportunity for a comprehensive assessment of their quality of performance.

Keywords: reinforced concrete piles, defects, non-destructive testing, short-term dynamic reflection, pulsed ultrasonic method

Особености при безразрушителното изпитване на интегритета на стоманобетонните пилоти на новостроящата се сграда „АЙТАУЪР“ в София

Димитър ДИМОВ, Константин ВЕЛИНОВ

1. Въведение

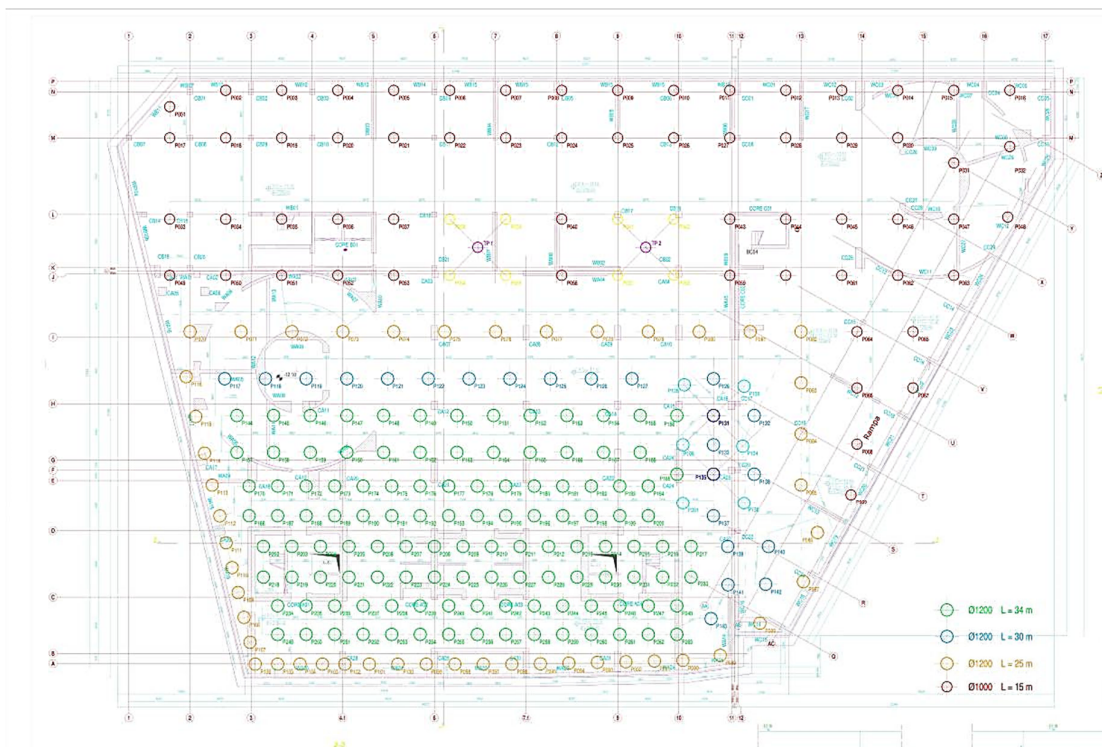
Представените изпитвания са проведени в периода от 08.03.2019г. до 13.06.2019г., за установяване на интегритета на общо 145бр. изливни стоманобетонни пилоти с диаметри 1080мм и 1200мм, и дължини по 15м, 25м, 30м и 34м, изпълнени на новостроящата се мултифункционална сграда с търговски комплекс, хотел и подземни гаражи – АЙТАУЪР в м. „Солни пазар“, р-н „Триадица“, София (фотоси 1 и 2).

Главната цел беше да се извършва поэтапна оценка на еднородността и дължината на пилотите по безразрушителен метод, с оглед постепенния напредък на строителните работи по финансирането на сградата (фотос 1). Във връзка с това изпитването на пилотите се провеждаше на отделни групи, в зависимост от готовността им, като за всяка от групите се извършваше:

- Първоначален технически оглед на място и набелязване на достъпните и годни за безразрушително изпитване пилоти;
- Подготовка и провеждане на предварително повърхностно ултразвуково прозвучаване на пилотите за установяване на действителната скорост на ултразвука в бетона;
- Подготовка и провеждане на ултразвуково „ударно“ изпитване за установяване на целостта и дължината на набелязаните пилоти;
- Анализ на резултатите, заключение и препоръки.



Фотоси 1 и 2. Състояние на строежа на сградата през м.02.2019г. (ляво) и сега (дясно)



Фиг. 3. Разположение на пилотите под фундаментната плоча на сградата

Характерни за изпитваните пилоти са следните по-важни особености:

- (1) Значителният брой – над 250бр., и голямото им разнообразие – четири вида дължини (15м, 25м, 30м и 34м) и два вида диаметри (1080мм и 1200мм) – фиг. 3;
- (2) Значителни различия във възрастта на бетона при провеждане на изпитванията им, от 55 до 281 дни, продиктувани от различния напредък и технологичните особености на строителните работи (фотоси 4 и 5);
- (3) Различно състояние и нива на горните части на пилотите, изискващи различна доработка, като: доизграждане (доливане) на по-ниските или премахване на по-високите им части;
- (4) Различия и на геоложките пластове по дължина (в дълбочина) на пилотите предвид двукратните на места различия в тяхната дължина;

(5) Значително променливи климатични условия при изпълнението на пилотите (от 30.08.2018г. до 20.12.2018г.), както и при тяхното изпитване (от 13.02.2019г. до 07.06.2019г.), обусловени от продължителността на съответните периоди.

Цитираните по-горе особености влияят съществено върху общото техническо състояние на изпитваните пилоти и могат да повлияят негативно върху достоверността на резултатите от провежданите тестове за техния интегритет, ако не бъдат правилно обхванати и отчетени с подходящо избрана методика на безразрушителен контрол и задълбочени анализи и правилна интерпретация на опитните данни.



Фотоси 4 и 5. Състояние на строителните работи в началния период на БК на пилотите през м.02.2019г. (ляво) и в края през м.06.2019г. (дясно)

2. Особенности на възприетата методика

2.1. Подготовка на пилотите за изпитване

След „скъсяване“ на по-високите от проектното ниво горни части на пилотите, челната им повърхност се обработва със шмиргел и шкурка съгласно стандарта [5] поне в две зони: централна и странична, отстоящи една от друга на около 300мм, с диаметри минимум по 100мм, с равни и гладки плоскости (фотос 6).



Фотоси 6 и 7. Повърхностна обработка (ляво) и маркиране на мерните бази (дясно)

Важен момент от предварителната подготовка се оказва и маркирането на мерните бази за повърхностното прозвучаване за определяне на скоростта на УЗ в бетона (фотос 7). Съобразно състоянието на горната челна повърхност на пилотите, скъсяването на

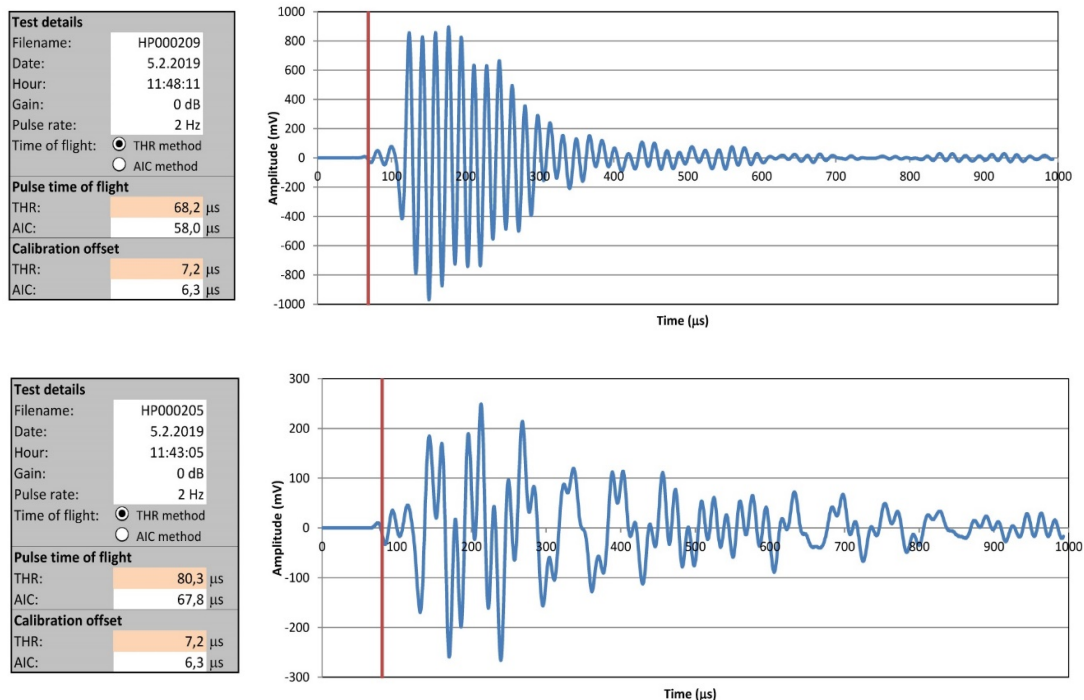
които се извършваше с хидравличен чук, при някои от тях се налагаше двете зони да са на различни нива или между тях да има неравности, което оказва известно влияние на повърхностното им прозвучаване и наложи прилагане на допълнителни корекции.

2.2. Предварително определяне скоростта на разпространение на УЗ в бетона

В настоящото изследване, въз основа на предварително (помощно) едностранно (повърхностно) прозвучаване за всеки от набелязаните пилоти са определени опитно конкретните времена и скорости на прозвучаване – фотоси 8 и 9.



Фотоси 8 и 9. Едностранно повърхностно прозвучаване (ляво) и калибриране на УЗ апарат (дясно)



фиг. 10 и 11.. Графики на затихване на предаваната енергия (амплитуди на трептене) без и с проявени микропукнатини на бетона в главите на пилотите

Прозвучаването е проведено с ултразвуков апарат *Ultrasonic pulse analyzer*, съгласно утвърдени практики [2, 3, 4] и в съответствие с БДС EN 12504-4:2005 [1].

Прилаганият метод има възможности за анализ на честотния спектър чрез трансформации на *Fourier* (алгоритъм FFT) с цел за определяне на естествената честота на ултразвуковия импулс, предаван през материала. Тази функция е подходяща за изследване на разпространението на импулса и дава индикации за възможни кухини, деляминации при многослойни елементи или подобни нехомогенности.

Много често само времето за преминаване не е достатъчно, за да се идентифицират малки повреди, например микро пукнатини на бетона или малки каверни при контакта с композитни материали, затова уредът измерва и затихването на предаваната енергия, като се обработват по подходящ начин записаните форми на ултразвуковата вълна (фиг. 10 и 11).

2.3. Основно изпитване по метода на „краткотрайно динамично отражение“

Изпитването е проведено по метода „*Transient Dynamic Response*“ с ултразвуков анализатор *Pile Integrity Test System TDR-2* на „*Testconsult*“ Ltd. UK [6] (фотоси 12 и 13).

Системата включва два основни елемента: модул за приемане на данните от изпитването и софтуерен пакет базиран на *Windows* (за прехвърляне и интерпретиране на данните и изготвяне на протокола с резултатите от изпитването), с название *TPAP (Testconsult Pile Analysis Program)* [6].

При изпитването е използвана предварително установената средна скорост на ултразвуковата вълна в бетона на всеки отделен пилот *C* в m/s, поради значителните различия във възрастта им, от 55 до 281 дни, които могат да доведат до надвишаване на допустимия толеранс на динамичния модул на бетона *E_{b, din}* от $\pm 10\%$, а с това и на точността от $\pm 5\%$, за определяне на дължините им.

Изследването на интегритета е проведено в съответствие с D 5882-07 [5] *Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations*.



Фотоси 12 и 13. Моменти от изпитване на интегритета на пилотите с TDR-2 анализатор

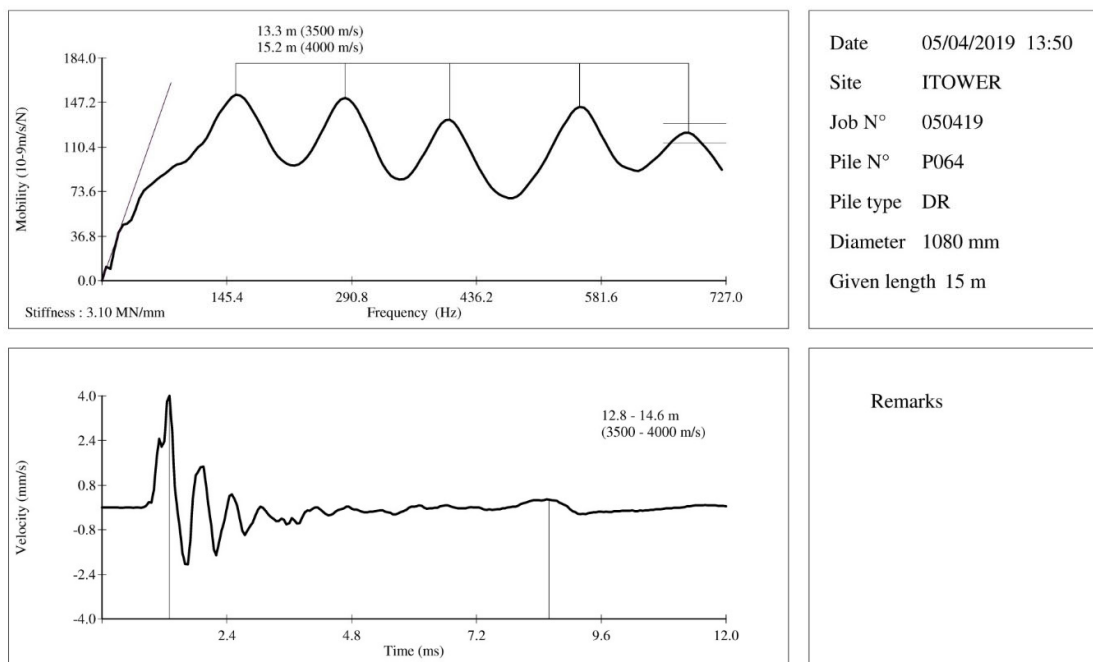
2.4. Методика на анализиране

Съобразно възприетата методика от 2007г. на германската общност по геотехника (схема на Кирш/Клингмюлер за оценка на целостта на пилоти), пилотите се разделят на показаните в табл. 1 пет класа, въз основа на анализ на двата вида графики (фиг. 14).

Таблица 1. Класове по еднородност на стоманобетонни пилоти

Клас	Оценъчни критерии
------	-------------------

A1	Пилотът притежава нормална цялост и еднородност
A2	Наличие само на позитивни отклонения от нормалната цялост и еднородност
A3	Незначително намаление на качеството вследствие на малки отрицателни отклонения
B	Значително намаление на качеството вследствие на големи отрицателни отклонения
0	Измереният сигнал не подлежи на оценка

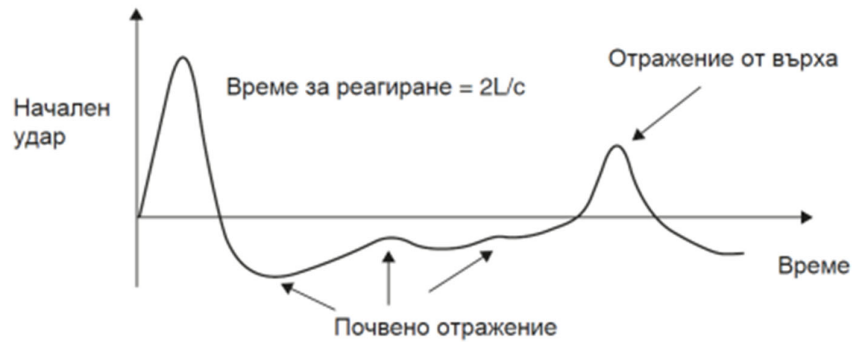


Фиг. 14 Акустически графики на отразената (честота и отразеното време) от изпитване на пилот P064 с TDR-2 анализатора

2.5. Фактори на влияние

2.5.1. Влияние на инженерно-геоложките условия

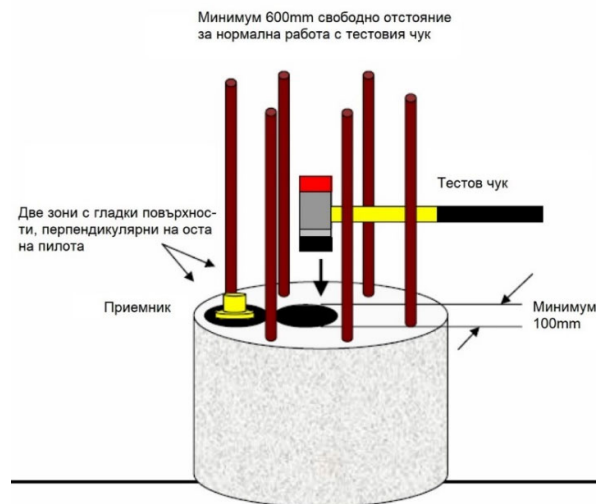
- (1) Непрекъснатата цялост на пилота и относително близките характеристики на почвите по дължината му, позволяват УЗ вълни да се разпространяват нормално и да получи ясно отражение от неговия връх (фотос 15)
- (2) Пълното затихване/разсейване/дисипиране на сигнала води до невъзможност за отражение на вълната от върха на пилота – при пилоти в твърди глини или скали. В този случай може единствено да се определи еднородността на пилотите на база индикациите за изменения на импеданса – наличие на високи пикове в графиките.
- (3) Наличието на почви с различни характеристики по дължина на пилота ще генерира частично отражение на вълната и отслабване на сигнала, който ще достигне до неговия връх без „пик“, като по този начин интерпретацията на резултатите се затруднява.



Фотос 15. Нормално отражение на УЗ вълна при почви с близки характеристики и ясно отражение от върха на пилота

2.5.2. Влияние на технологията на изпълнение и подготовка на пилотите

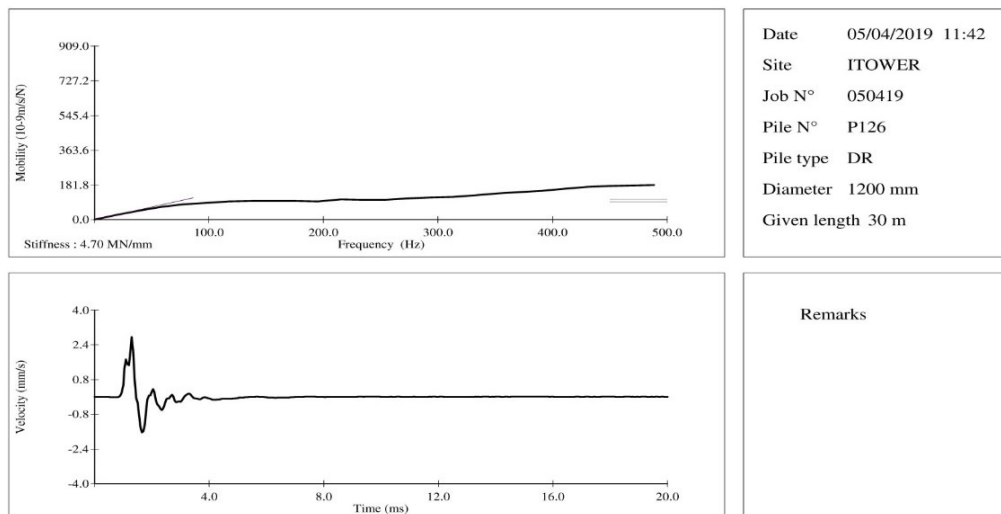
- (1) Премахването на бентонита и отстраняването на негодната горна част на пилотите, може да доведе до микропукнатини в главата на пилота и невъзможност за нормално разпространение на сигнала.
- (2) Отстраняването на негодната част в повечето случаи е трудно и отнема значително време за подготовка и осигуряване на гладка повърхност за акселерометъра, осезателите и тестовия чук (фотос 16).
- (3) Повърхността също така трябва да е суха, обезпрашена и с достатъчна площ за правилното поставяне на двата елемента на апаратурата (фотос 16).



Фотос 16. Изисквания на стандарта [5] към подготовката и изпълнението на изпитването за интегритет

2.5.3. Влияние на геометрията на пилотите

- (1) Степента на затихване на сигнала е функция на диаметъра на пилота и неговата дължина, като при големи отношения дължина/диаметър около и над 25:1, се получава пълно дисипиране на вълната и липса на отражение от върха (фотос 17).



Фотос 17. Пълно дисипиране на вълната и липса на отражение от върха на P126 със съотношение на дължина/диаметър 25 (30/1,2м)

3. Обобщени резултати и анализ

- (1) От проведените подробни анализи на получените количествени и качествени резултати и графики, е видно че измерените дължини (дълбочини) на повечето от изследваните пилоти са около проектните или в допустимия толеранс от около $\pm 5\%$. Само на 5бр. пилоти дължините са по-малки от проектната дължина с до 9,4% (P214).
- (2) Причина за редуващите се увеличения и намаления на импеданса по дължината на пилотите, както и установените по-ниски динамични коравини и еднородност спрямо нормалните средни стойности са главно наличието на незначителни отрицателни отклонения в напречните сечения и еднородността на бетона.
- (3) В Таблица 2 да дадени обобщените резултати от изпитванията на пилотите с тяхната класификация по отношение на качеството на изпълнение съгласно представената система на *Klingmuller/Kirsch* от Таблица 1.
- (4) Средната стойност на еднородността на част от изследваните пилоти е незначително по-ниска от нормалните граници, а дължината им – незначително по-малка от проектната, и те се категоризират в клас A3, а останалите – с положителни отклонения на дължините и приблизително нормални стойности на динамична коравина и еднородност – в клас A2. Общият брой пилоти попадащи в категория A (класове A1, A2 и A3) е 135бр.
- (5) Пилотите с нарушен интегритет, класифицирани в клас B, са 9бр. При тях се наблюдава значително увеличение на импеданса (прекъсване на някои техни напречни сечения около и над 50%), което не позволява определяне на пълната им дължина.
- (6) При 1бр. пилот (P120) качеството на сигнала е много лошо поради, наличие на пукнатини в горната част на пилота и измереният сигнал не подлежи на смислова оценка. Този пилот се класифицира в клас 0.
- (7) Неотговарящи на проектните изисквания са 10бр, или 6,9% от изпитаните общо 145бр. пилоти.

Таблица 2. Обобщени резултати за типа и класификацията на изпитаните пилоти

Дата	15m		25m		30m		34m		Общо
	А	В	А	В	А	В (0)	А	В	
13.02.2019г.	-	-	11	-	1	-	1	-	13
18.02.2019г.	-	-	4	1 ₁₁₂	1	(1) ₁₂₀	2	-	9
21.02.2019г.	-	-	4	-	1	-	9	1 ₂₆₀	15
05.03.2019г.	-	-	3	1 ₀₇₅	1	1 ₁₂₂	12	1 ₁₇₂	19
11.03.2019г.	-	-	2	-	2	-	19	1 ₁₇₉	24
18.03.2019г.	-	-	-	-	1	-	6	-	7
22.03.2019г.	6	-	2	-	-	-	-	-	8
29.03.2019г.	4	-	1	-	-	-	9	-	14
05.04.2019г.	1	-	3	-	3	3 _{127, 132, 137}	-	-	10
29.05.2019г.	7	-	-	-	-	-	-	-	7
01.06.2019г.	7	-	-	-	-	-	-	-	7
07.06.2019г.	12	-	-	-	-	-	-	-	12
Всичко	37бр.	-	30бр.	2бр.	10бр.	5бр.	58бр.	3бр.	145бр.

4. Изводи и заключения

(1) Класифицираните в клас А 135бр. пилоти, може да се приеме, че отговарят на проектните изисквания, защото тяхната дължина, непрекъснатост (цялост) и равномерност (еднородност) на напречните сечения по цялата им дължина са в допустими толеранси от $\pm 5\%$. Някои от тях имат незначително намаление на качеството, а всички останали са само с позитивни отклонения от нормалната цялост и еднородност. Тези с малко по-значително отклонение в проектната дължина, до 10%, но с равномерност на напречното сечение около и малко под нормалните граници също може да се приеме, че отговарят на проектните изисквания.

(2) За някои пилоти не можа да се определи скоростта на разпространение на УЗ вълни поради наличието на микропукнатини в горната част на пилота вследствие на механичната работа при изравняване (скъсяване) на главите им.

(3) При малка част от изпитаните пилоти се наблюдава заглушен сигнал без индикации за значителни изменения на импеданса, като пълната им дължина не можа да се потвърди еднозначно, но липсата на високи нива на пикове потвърди нормалната им еднородност. Този тип графики е често срещан при големи отношения дължина/диаметър в порядъка около и над 25:1.

(4) Проведеното предварително изпитване за определяне скоростта на УЗ във всеки пилот, позволи целостта (интегритета) им, да бъдат определяни според напредъка на СМР, което до голяма степен гарантира качеството и срочното изграждане на целия строеж.

Литература

1. *БДС EN 12504-4:2005*. Изпитване на бетон в конструкции. Част 4: Изпитване без разрушаване. Определяне на скоростта на разпространяване на ултразвуков импулс.
2. *Димов, Д., Вл. Костов*, Комбинирано установяване на интегритета на изливни стоманобетонни пилоти при фундирането на мостове у нас, XXVI МК „Дефектоскопия 2011“, Созопол, 13-17 юни, 2011.
3. *Димов, Д.* Безразрушителни изпитвания на строителни конструкции, Дайрект Сървисиз, София, 2011.
4. *Димов Д.* Състояние на безразрушителния контрол на строителните конструкции в България. Научни известия на НТСМ (ISSN 1310-3946), Година XX, брой 1(130), юни 2012
5. *ASTM D5882-07* – Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations. ASTM International.
6. *TDR-2 & TPAP, Pile Integrity Testing System* – Operation Manual, Testconsult Limited: Rev. 006: 2007