

*Получена: 15.09.2017 г.*

*Приета: 15.11.2017 г.*

## МЕТОДИЧЕСКИ ОСОБЕНОСТИ И ТЕХНИКА ПРИ ОБСЛЕДВАНЕ НА СЪЩЕСТВУВАЩИ ЖП МОСТОВЕ

Д. Димов<sup>1</sup>

*Ключови думи: обследване, методика и техника, жп мостове*

### РЕЗЮМЕ

В статията са представени приложените методи и използваната диагностична техника при провеждане на обследванията на значителен брой съществуващи жп мостове у нас.

Специално внимание е обърнато, не само върху обхвата и методическите особености на проведените проучвания и анализи, но и върху избора и комплексното прилагане наред с традиционните, и на някои съвременни специализирани техники за безразрушителен контрол на вложените строителни материали – бетон, армировка и конструкционни стомани.

### 1. Въведение

Едно от най-важните и необходими качества на опитните изследвания, в т.ч. на обследванията и изпитванията, е тяхната достоверност и истинност. Поради голямото разнообразие на изследваните конструкции и съоръжения, непостоянността на окръжаващата среда, естественото разсейване на свойствата на материалите в тях и пр., тази достоверност се явява функция на много на брой и различни фактори.

Влиянието на тези различия върху достоверността на резултатите от изследванията може да бъде сведено до минимум, само чрез оптимално уеднаквяване на техническите средства и начините за извършване на обследванията и изпитванията, независимо от мястото и времето.

---

<sup>1</sup> Димитър Димов, проф. д-р инж., кат. „Масивни конструкции, УАСГ, София 1046, бул. Хр. Смирненски № 1, e-mail: ddimov@eurocode2.bg

*Такава система (съвкупност) от общи правила, закономерности и зависимости, които трябва да се спазват с оглед на най-целесъобразното провеждане на дадено обследване и/или изпитване и които до голяма степен ще гарантират достоверността на опитните резултати, е прието да се нарича методически особености.*

Практически те представляват резултат от систематизирането, обобщаването и анализа на множество извършени обследвания и изпитвания, поради което позволяват да се получат най-достоверни и сравними помежду си и с теоретичните изчисления резултати.

Методическите особености са водещи при съставянето на работната програма на всяко съвременно строително-конструктивно изпитване. Благодарение на тях, обобщаването, анализите и направените изводи могат да служат като основа за по-нататъшното подобряване и усъвършенстване на методите за изчисляване на конструкциите и за правилното им обследване и изпитване.

В настоящата статия се разглеждат възприетите и приложени методи и техники [7, 8, 9, 10] при обследването на значителен брой жп мостове, надлези и подлези, проведени във връзка с модернизацията и реконструкцията на едно от основните жп направления у нас – от жп възел София до Турската и Гръцката граница. Това направление се явява част от трансевропейската жп мрежа.

Комплексното прилагане на специално подобрите методи и техники, независимо от многообразието и различията на обследваните жп съоръжения по вид, възраст, местоположение, материали и начини на изграждане, позволиха тяхното актуално техническо състояние да бъде установено достоверно и обосновано в съответствие с действащите у нас хармонизирани БДС EN стандарти [1, 2, 3, 4, 5, 6].

## **2. Общи сведения за обследваните мостови съоръжения**

Обследвани са общо 47 бр. жп съоръжения (мостове, надлези и подлези), разположени в 9 бр. жп отсечки на участъците: жп възел София; (Централна гара – гара Казичене и гара Биримирци – гара Подуяне разпределителна); междугарията Елин Пелин – Ихтиман, Ихтиман – Септември, Септември – Пазарджик, Пазарджик – Стамболийски, Стамболийски – Пловдив, Харманли – Свиленград и Свиленград – Турската и Гръцката граница. От всички обследвани мостови съоръжения 38 бр. са със стоманобетонни връхни конструкции, а 9 бр. – със стоманени. Най-общите данни за тях са следните:

### **2.1. Мостове със стоманобетонни връхни конструкции**

От обследваните 38 бр. стоманобетонни мостови съоръжения 33 бр. са мостове и надлези, а 5 бр. – пешеходни подлези. По вид и основни параметри те са:

**2.1.1. Плочни връхни конструкции:** изпълнени през 60-те и 70-те години от монолитен стоманобетон или от монтажни ст.б. панели, най-често с отвори до 3 – 4 m за пешеходните подлези и от 5 – 6 m до 8 – 10 m за мостовете, с масивни плоско фундаментни ст.б. стени и устои.

**2.1.2. Плочогредови връхни конструкции:** монолитно изпълнени предимно през 60-те години, с отвори на главните греди от 8 m до 12 m и масивни устои, някои от които фундаментни на пилоти.

**2.1.3. Гредови връхни конструкции:** с отвори 10 – 12 m, изпълнени в периода 1976 – 1979 г. от монтажни главни греди и монолитни напречни греди, пътна плоча и стоманобетонни устои, както и една с отвор 19,60 m, изпълнена през 1993 – 1994 г. от монтажни греди и монолитни пътна плоча и рамкови опори – конструкция за пешеходен подлез на km 3+576 при гара Подуяне (вж. фиг. 1).



Фиг. 1



фиг. 2

**2.1.4. Кутисобразни връхни конструкции:** изпълнени през периода 1976 – 1978 г. от обикновен монолитен стоманобетон, с отвори от около 13 m до 20 m, със стоманобетонни устои и междинни стълбове, както и една с отвори по 28 m, със стенни рамкови устои и междинни кръгли колони, изпълнена през 1993 – 1994 г. – многоотворна конструкция за пътен подлез над бул. „Ботевградско шосе на km 3+576 при гара Подуяне (вж. фиг. 2).

**2.1.5. Конструкция с предварително напрегнати главни греди** с отвори по 18 m, монолитна пътна плоча и монолитни устои (рамкови опори), изпълнена през 1988 г. при реконструкция на мост на km 43+256 по път 1 на жп линия София – Пловдив в участъка Елин Пелин – Ихтиман.

## 2.2. Мостове със стоманени връхни конструкции

Според вида на главните носещи елементи те са следните:



Фиг. 3



Фиг. 4

**2.2.1. Конструкции с пълностенни главни греди** с път горе и по средата, с отвори 6 – 10 m с нитовани съединения и бетонни основи с каменна облицовка фундаментно, изпълнени през 30-те години, както и с отвори по 18 и 27 m със заварени съединения и ст.б. устои и стълбове, изпълнени през 1986 г. – по път 1 и по път 2 на km 154+004 в гр. Пловдив (фиг. 3).

**2.2.2. Конструкции с фермови главни греди** с път долу, с отвори 12 m и 24 – 25 m, с нитови съединения и бетонни устои и стълбове с каменна облицовка, фундаментно, изпълнени през 30-те години, както и една с отвори по 26 m, също нитована, изпълнена през 1979 г. върху съществуващите опори на стария мост – по път 2 на km 106+701 по жп линията София – Пловдив в участъка Септември – Пазарджик (фиг. 4).

### 3. Методика и техника на обследване

Както вече стана дума, за обследване на всички тези жп мостове, надлези и подлези, е възприета единна методика с комплексно прилагане на различни безразрушителни методи, така че да се получат възможно най-достоверни резултати за техническото състояние на основните им носещи елементи и части.

При проучванията специално внимание е обърнато и на превантивността на контрола, като наред с традиционните са приложени и някои съвременни специализирани техники, свързани с определяне на вероятността за развитие на корозия в армировките (т.нар. потенциал на бетона за корозия на армировката), както и за възможността за развитие на вътрешни дефекти и вероятността за умора на стоманените елементи и конструкции. В систематизиран вид приложените методи и техники са следните:

#### 3.1. При обследване на стоманобетонните мостове

##### 3.1.1. Визуални огледи за проявени дефекти и повреди

(1) При съоръженията с възможен достъп до връхните конструкции, лагерите и опорите те са извършвани предимно пряко, като са използвани преместваеми стационарни помощни средства (стълби, платформи и др.) и автовишки (фиг. 5 и 6).



Фиг. 5



Фиг. 6

(2) За недостъпните елементи и части – главно за фугите, лагерните площадки и лагерите на стоманобетонните мостове (стоманени тангенциални и от оловни плочи) е прилагана и дистанционна диагностика с видеоскопска система *Iplex MXR* на *Olympus* (фиг. 7 и 8).



Фиг. 7



Фиг. 8

### 3.1.2. Изследване на взети проби от бетона

(1) Възприетата методика за безразрушителни изпитвания на бетона е в пълно съответствие с изискванията на БДС EN 13791:2007 [5] и БДС EN 13791:2007/NA:2011 [6], визиращи оценката на стари конструкции, които се налага да бъдат променени, преизчислени, или имат повреди. Тази методика включва:

- БК на бетона с твърдомер на Шмидт на всеки вид главни носещи елементи – в случая гл. греди и/или плочи на вр. конструкции и опори (устои и стълбове);
- изрязване на пробни тела (ядки) с диаметри  $\varnothing 100$  mm или  $\varnothing 150$  mm, от 3 до 14 бр. или над 15 бр., от места, предварително изпитани с твърдомер на Шмидт чрез определяне на големината на отскока;
- лабораторни изпитвания на пробните тела на натиск до разрушаване.

По този начин се решават два важни въпроса:

- установява се структурата и се определят действителните физико-механични свойства на бетона;
- прави се паралел между установената повърхностна твърдост чрез големината на отскока по БДС EN 12504-2:2005 [3], с действителната якост на бетона в изследваните части на съоръженията, получена по БДС EN 206-1/NA:2008 [1] и БДС EN 13791:2007/ NA:2011 [6] чрез разрушаване на изрязани пробни тела от самите тях (фиг. 5 и 9).

(2) От изрязаните сондажни ядки се оформят цилиндрични пробни бетонни тела с височини колкото е диаметърът им (фиг. 10).

(3) На всички пробни тела се определя обемната маса, акустическата плътност (скоростта на прозвучаване с ултразвук – фиг. 11) и якостта им на натиск (фиг. 12).

(4) При необходимост може да се стигне и до определяне на зърнометричния състав на бетона в пробните тела.



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12

### 3.1.3. Ултразвукови изпитвания на бетона

(1) Те са провеждани чрез двустранно прозвучаване с ултразвуков апарат, например *Unipan*, модел 543 (фиг. 11), в съответствие с БДС EN 12504-4:2000 [4], на оформените цилиндрични пробни тела, както и на отделни елементи на мостовите съоръжения.

(2) При прозвучаването са получени подробни данни за акустическата плътност (времена и скорости на преминаване на ултразвуковите импулси), както и информация за евентуални вътрешни (скрити) дефекти в прозвучаваните конструктивни елементи.

(3) Въз основа на измерените времена и скорости на прозвучаване са изчислявани динамичният  $E_{c,dyn}$  и статичният  $E_c$  модул на линейни деформации на бетона по познатите зависимости от физиката [8, 9]:

$$E_{c,dyn} = k\rho V_{c,m}^2, \quad (1)$$

където  $k = 0,9$  е коефициент, който се приема равен на  $(1+\nu)(1-2\nu)/(1-\nu)$  при прозвучаване на масивни елементи и  $k = 1,0$  – при прозвучаване на линейни елементи;

$\rho = \gamma_c/g$  – акустическа плътност на бетона в  $\text{kN}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$  и

$$E_c = 0,87; 0,91 \quad \text{или} \quad 0,954E_{c,dyn} \quad (2)$$

за бетони съответно с ниски, средни и високи якости, докато якостта на бетона се изчислява според БДС 15013-84, по методиката на „тарировъчните криви”, посредством зависимостта:

$$f_{c,i} = cV_{c,i}^{3,75}, \quad (3)$$

където  $c = 0,157 \div 0,231$ , коефициент който зависи от възрастта и състоянието на изпитваните повърхности,  $V_{c,i}$  е в km/s, а  $f_{c,i}$  в МРа.

### 3.1.4. Безразрушителни изпитвания на бетона чрез големината на отскока

(1) Те са провеждани с механичен твърдомер на Schmidt, в пълно съответствие с изискванията на стандарта [3].

(2) При изпитанията са третираны не по-малко от 10% и не по-малко от 3 бр. от всеки тип елементи в обследваното мостово съоръжение, като всеки произволно избран елемент е изпитван най-малко в 3 бр. места (повърхности).

(3) Обхващани са главните носещи елементи на връхните конструкции и опорите на всичките мостови съоръжения (фиг. 13 и 14).

(4) При математическата обработка и анализа на резултатите са използвани установените от комбинираното изпитване съответни „коефициенти на съгласуване”.



Фиг. 13



Фиг. 14

### 3.1.5. Изследване на карбонизацията на бетона



Фиг. 15



Фиг. 16

(1) Дълбочината на карбонизация на бетона в стоманобетонните елементи на мостовете е изследвана чрез съвременно третиране на изрязаните бетонни ядки, както и на пряко откъртени парчета от бетонното покритие на някои от елементите, посредством 1% разтвор на фенолфталейн в спирт (фиг. 15).

(2) При това положение липсата на оцветяване показва дълбочината на неутрализиране на течната фаза на бетона със стойност на  $\text{pH} \leq 10,8$ , под която бетонът не е в състояние да защитава арматурката от корозия.

### 3.1.6. Изследване на потенциала за корозия на арматурката

(1) Потенциалът за корозия на арматурката е определен чрез измерване с анализатор за корозия *CANIN+* на швейцарската фирма *Proceq* (фотосн. 16).

(2) Корозията на арматурката в бетона е електрохимически процес. Той възпроизвежда електрическа проводимост, базирана на разликите между електрическите потенциали. Тези разлики се измерват чрез поставяне на полупроводник на повърхността на бетона (в случая медно-сулфатен) и измерване на потенциалната разлика между него и арматуръчната стомана с високочувствителен волтметър.

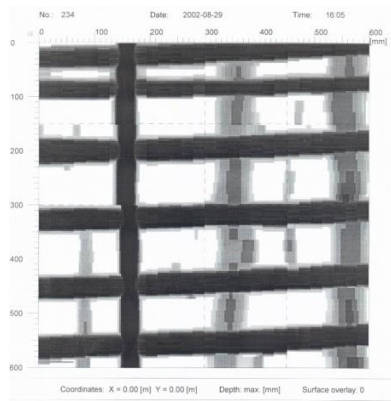
(3) Прието е, че ако измереният потенциал с такъв вид полупроводник е по-малък от  $-0,35$  волта ( $-350$  mV), вероятността за поява на корозия на арматурката е над 90%.

### 3.1.7. Диагностика на положението и аранжирането на арматурката

(1) Тя е извършвана посредством електромагнитен сканиращ апарат *Ferrosan FS200* на *HILTI Corporation*. Проучвани са по 2 – 3 бр. от всеки тип главни носещи елементи – греди, плочи, стени, като в зависимост от геометричните размери на елементите са правени площни (фиг. 17 и 18) и/или линейни сканирания на арматурките.



Фиг. 17



Фиг. 18

## 3.2. При обследване на стоманени мостове

### 3.2.1. Визуални огледи за проявени дефекти и повреди

(1) Както и при стоманобетонните мостове, те са извършвани предимно пряко визуално при съоръженията с възможен достъп до връхните конструкции, лагерите и опорите, като са използвани преместваеми стационарни помощни средства (стълби, платформи) и/или автовишки (фиг. 4 и 19).

(2) По същия начин, за визуално трудно достъпните елементи и части, главно за лагерните площадки, лагерите и някои съчетани кутиеобразни елементи на стоманените мостове е прилагана и дистанционна диагностика с видеоскопска система *Iplex MXR* на *Olympus* (фиг. 21).

(3) Освен за наличните дефекти и повреди, свързани с корозията, постоянството на формата и целостта на отделните елементи, при стоманените връхни конструкции с нитовани съединения, е извършвана и ревизия на по-голяма част от нитовете (фиг. 19 – 20).



Фиг. 19



Фиг. 20

(4) За установяване на състоянието на масивните бетонни и стоманобетонни устои и стълбове на обследваните стоманени мостове са прилагани същите методи за проучване на бетони и армировки, както при стоманобетонните мостови (вж. т. 3.1.2 до 3.1.6 и фиг. 14 и 22).



Фиг. 21



Фиг. 22

### 3.2.2. Изследване на проби от конструкционната стомана

(1) Това изследване е провеждано за по-достоверно определяне на опънната якост на стоманата. За целта са изрязвани проби от ненапрегнати крайни части (фланшове) на хоризонтални противовеетрови връзки и/или на укрепващи ребра при пълностенните греди.

(2) От тях са оформяни от 3 до 6 бр. пробни тела (стоманени епруветки – фиг. 23), които са изпитвани лабораторно на опън (фиг. 24).



Фиг. 23



Фиг. 24

### 3.2.3. БК на конструкционната стомана чрез повърхностната твърдост

(1) В случая е използван основно интегрираният портативен електронен твърдомер за метали *Vambino 2* от серията *EQUOTIP* на швейцарската фирма *Proceq*. Това по-скоро е динамичен тест, при който удрящото тяло с твърд метален изпитващ връх се задвижва от силата на пружина срещу повърхността на изпитваната част. Когато ударникът срещне повърхността, се получава деформация, причиняваща загуба на кинетична енергия. Тази загуба се изчислява чрез измервания на скоростта, когато ударникът е на точно определено еднакво разстояние от повърхността и за двете фази на изпитването – удар и отскок. Така е извършено деректно измерване на твърдостта на всички елементи (фиг. 25 и 26).



Фиг. 25



Фиг. 26



Фиг. 27



Фиг. 28

(2) За контрол паралелно са провеждани тестове и със значително по-сигурните, но неудобни за работа твърдомерни апарати НРС или уред на Франк-Бауман (фиг. 27) и твърдомер на Полди (фиг. 28), които работят на принципа на пластичния отпечатък.

(3) Електронният твърдомер е приложен допълнително в лабораторни условия и върху еталонния образец на Полди, който е с добре позната твърдост и якост.

### 3.2.4. Изследване на корозията на конструкционната стомана

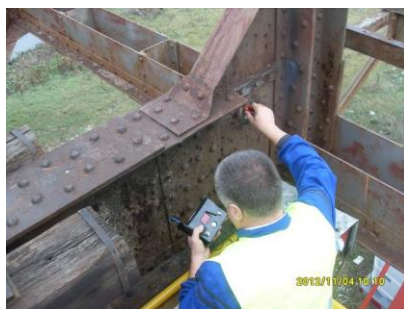
(1) Тя е определяна косвено, чрез измерване на нетната дебелина на съставните плочи на всички главни носещи елементи с помощта на ултразвуков дебеломер, модел DM1 на германската фирма *Krautkramer* с точност 0,1 mm (фиг. 29 и 30).

(2) Изследвани са всички главни носещи елементи, като всеки елемент е изследван най-малко в по 3 бр. участъка (места), във всеки от които са провеждани поне по 5 бр. измервания.

(3) Степента на корозия в % на изследваните елементи е определяна като съотношение на разликите между установените нетни дебелини и номиналните по проект към номиналните, и тези съотношения са и допълнително статистически обработвани.



Фиг. 29



Фиг. 30

### 3.2.5. Специализирани изследвания с АЕ

(1) Безразрушителните измервания по метода на Акустическата емисия (АЕ) са провеждани в експлоатационен режим, за да се диагностицират съединенията и връзките (както и наличието на евентуални дефекти и в другите елементи) на стоманените връхни конструкции. Измерванията са провеждани от екип специалисти от фирма „УЕЛДТЕХ“ ООД с 16, канална апаратура *AMSY-5* на германската фирма „*VALLEN Systeme*“ *GMBH* с резонансен тип датчици *VS-150M* (фиг. 31 и 32).



Фиг. 31



Фиг. 32

(2) Диагностика е приложена върху целите връхни конструкции на основните отвори и част от лагерите. За всеки от отворите са реализирани по две основни схеми на измерване. При едната са обхванати възлите и елементите в средните сечения (фиг. 33), които получават максимални премествания и усилия в поясите на гредите и съответните им снаждания, а при другата – крайните елементи и връзки при опорите, вкл. и лагерите (фиг. 34), където меродавни са съсредоточените максимални опорни реакции.



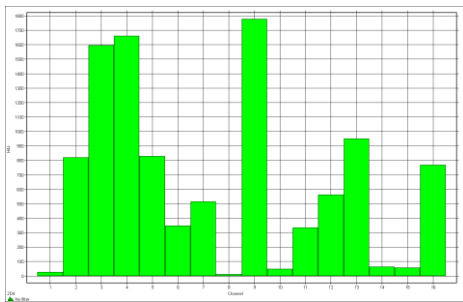
Фиг. 33



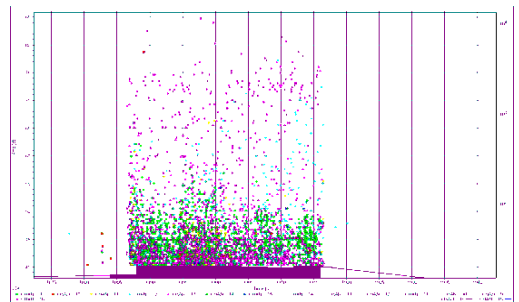
Фиг. 34

(3) Тези схеми са изследвани по няколко режима на реално преминаващото експлоатационно натоварване – моториси, бързи влакове, и товарни композиции. Регистрирани са:

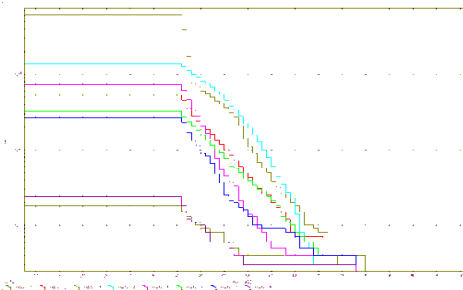
- Броят на постъпващите акустически сигнали от всеки датчик – Hits/Channel (фиг. 35);



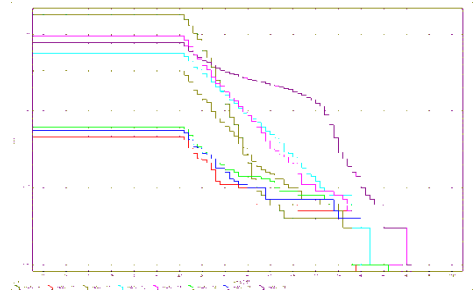
Фиг. 35



Фиг. 36



Фиг. 37



Фиг. 38

- Амплитудите на постъпващите сигнали също във функция от времето – Amp/Time (фиг. 36) и
- Характерът на изменение на постъпилите сигнали в зависимост от амплитудите – диаграмите Hits/Amp (фиг. 37 и 38).

(4) От диаграмите Hits/Channel (фиг. 35) много ясно проличават и се локализируют евентуалните скрити повреди и дефекти, в зависимост от разположението на съответните датчици (канали).

(5) Евентуални регистрирани амплитуди над 80 dB, установени от диаграмите Amp/Time (фиг. 36), показват развитие на вътрешни макродефекти.

(6) От графиките Hits/Amp (фиг. 37 и 38) категорично може да се установи дали АЕ е „неактивна“, „активна“ или „високоактивна“, които характеризират степента на развитие на макродефектите съответно като неразвиващи се или развиващи се в различна степен.

## 4. Изводи

Въз основа на извършените прегледи и анализи на възприетите и приложени методики и техники за безразрушителни изпитвания и диагностики при обследването на на тези няколко десетки жп мостови съоръжения, могат да се направят следните основни изводи:

(1) Установени са достоверно актуалното техническо състояние: налични дефекти – видими и скрити, вида и действителните физико-механични свойства на вложените материали и потенциала за тяхното износване, въз основа на което проектантите на модернизацията на жп линия по разглежданото направление от София до Турската и Гръцката граница (част от трансевропейската жп мрежа), вече са дали съответните адекватни решения за саниране и/или реконструкция на този значителен брой жп мостове, надлези и подлези, реализацията на които вече е факт или в процес на изпълнение.

(2) За повишаване на надеждността на резултатите са приложени комбинации от различни методи и техники и са спазвани следните препоръки, критично осмислени [8, 9, 10] и потвърдени от практиката:

- Измерваните величини да характеризират различни свойства на вложените материали или да зависят от различни техни показатели, например при бетона: от еластичните и пластичните му свойства, от неговата влажност, плътност, еднородност, параметри на втвърдяване и др.;
- Да се контролират с различни методи едни и същи характеристики, когато същите трябва да се определят с особено висока точност;
- За измерване е целесъобразно да се използва диагностична техника, която позволява да се определят едновременно няколко параметъра, съответстващи на различни свойства на вложените материали. Такива са твърдомерните уреди, които позволяват да се получат отпечатъци върху повърхността на бетона или конструкционната стомана и едновременно големината на отскока на ударника.

(3) От друга страна, комбинирането на различните безразрушителни методи за контрол и диагностика значително повишават употребеното време за провеждане на изпитванията и стойността им. Ето защо е необходимо още в началото да се прецени доколко е оправдано увеличаването на тези загуби, за да се получи частично подобряване на точността при оценката на свойствата на бетона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. БДС EN 206-1/NA:2015. Бетон – Част 1: Спецификация, свойства, производство и съответствие.
2. БДС EN 12504-1:2009. Изпитване на бетон в конструкции. Част 1: Ядки. Изрязване, проверка и изпитване на натиск.
3. БДС EN 12504-2:2005. Изпитване на бетон в конструкции. Част 2: Изпитване без разрушаване. Определяне на големината на отскока.
4. БДС EN 12504-4:2005. Изпитване на бетон в конструкции. Част 4: Изпитване без разрушаване. Определяне на скоростта на разпространяване на ултразвуков импулс.
5. БДС EN 13791:2007. Оценяване на якостта на натиск на бетона в конструкции и готови бетонни елементи.
6. БДС EN 13791:2007/NA:2011. Оценяване на якостта на натиск на бетона на място в конструкции и готови бетонни елементи (Национално приложение NA към БДС EN 13791:2007).
7. ASTM C876-99. Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete.
8. Димов, Д. Безразрушителни изпитвания на строителни конструкции. Дайрект Сървисиз, София, 2011.
9. Димов, Д. Обследване и изпитване на строителни конструкции и мостове. УАСГ, София, 2006, 2010, 2016.
10. 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.

## METHODOLOGICAL CHARACTERISTICS AND TECHNIQUES FOR INVESTIGATION OF EXISTING RAILWAY BRIDGES

**D. Dimov<sup>1</sup>**

*Keywords: investigation, methods and techniques, railway bridges*

### ABSTRACT

The paper presents applied methods and utilized techniques for investigations of considerable number of existing railway bridges in Bulgaria.

A special attention is paid, not only to the scope and methodological characteristics of the carried out investigations and analysis, but also to the choice and complex appliance of any contemporary specialized techniques for non-destructive control of utilized construction materials – concrete, reinforcement and construction steels.

---

<sup>1</sup> Dimitar Dimov, Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ddimov@eurocode2.bg