



ДГКМ
ДРУШТВО НА
ГРАДЕЖНИТЕ
КОНСТРУКТОРИ НА
МАКЕДОНИЈА

Партизански одреди 24,
П.Фах 560, 1001 Скопје
Северна Македонија

MASE
MACEDONIAN
ASSOCIATION OF
STRUCTURAL
ENGINEERS

Partizanski odredi 24,
P. Box 560, 1001 Skopje
North Macedonia



mase@gf.ukim.edu.mk
http://mase.gf.ukim.edu.mk

ПРЕГЛЕД НА СТАНДАРДИ ЗА СТАТИЧКО И ДИНАМИЧКО ИСПИТУВАЊЕ НА АБ. МОСТОВИ СО ПРОБНО ТОВАРЕЊЕ

Дејан ЈАНЕВ¹, Тони АРАНЃЕЛОВСКИ², Дарко НАКОВ³, Горан МАРКОВСКИ⁴

АПСТРАКТ

Основна цел на испитувањето на конструкциите со пробно товарење е да се добијат податоци за нивната реална носивост, стабилност, употребливост, како и за останатите параметри на нивното однесување, односно за усогласеноста на изведената конструкција со користениот пресметковниот модел. Покрај ова, ваквото испитување може да претставува и завршна контрола (потврда) на квалитетот на новоизградените објекти.

Мостовите се едни од конструкциите кои, во зависност од нивната намена и распон, задолжително подлежат на испитување со пробно товарење кое во зависност од начинот на нанесување на товарот може да биде статичко и динамичко. Како предуслов за извршување на квалитетно испитување потребно е да се следат и применат стандардизирани постапки, кои вклучуваат: квалитетно изработена програма за испитување и примена на прецизна, баждарена мерна опрема.

Овој труд најпрво се фокусира на постапките за статичко и динамичко испитување на армиранобетонските мостови. Потоа се изнесени специфичните аспекти на испитувањата со пробно товарење, при што е даден осврт на потребните претходни работи кои што треба да се извршат пред да се започне со испитувањето, определувањето на интензитетот на пробниот товар, процедурите што следат при самиот процес на испитување, како и на пост-обработката на измерените резултати и нивната анализа.

Врз основа на извршениот преглед и систематизација на постапките за испитување со пробен товар, како и на искуствата стекнати со испитување на поголем број реални објекти, на крај се предлагаат конкретни постапки и практични препораки за спроведување ваков тип на испитувања.

Клучни зборови: статичко пробно товарење; динамичко пробно товарење, испитување на конструкции; армиранобетонски мостови.

¹ Асист. м-р, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, janev@gf.ukim.edu.mk

² Проф. д-р, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, arangelovskitoni@gf.ukim.edu.mk

³ Вонр. проф. д-р, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, nakov@gf.ukim.edu.mk

⁴ Проф. д-р, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, markovski@gf.ukim.edu.mk

1. ВОВЕД

Основна цел на испитувањето на конструкциите со пробно товарење е да се добијат вистинските параметри на однесување на конструкцијата или на нејзините конструктивни елементи. Во таа смисла, од особена важност е испитувањето да се направи доколку постои неизвесност во поглед на процена на носивоста или стабилноста на одредена конструкција. Покрај определувањето на вистинскиот одговор на конструкцијата, испитувањето овозможува пронаоѓање на недостатоци и оштетувања кај стари конструкции кои се во експлоатација. Исто така, испитувањето овозможува и споредба помеѓу однесувањето на реалните конструкции со нивните аналитички модели, што е од суштинска важност кога е потребно да се определи влијанието на одредени параметри кои со сигурност не може да се земат предвид при пресметката на аналитичките модели.

Развојот на испитувањето на конструкциите како научна дисциплина се базира на знаења и од други сродни технички науки, како математиката, механиката, електрониката, хемијата, геологијата и други фундаментални и применливи науки. Оттука може да се констатира дека една од задачите на испитувањето на конструкции е и дефинирањето на нови методи за испитување, но и на мерни инструменти кои на доверлив и поквалитетен начин ќе извршат контрола на состојбата и својствата на конструкцијата.

Пробното товарење е најчесто применувана метода за испитување на конструкциите. Тоа претставува збир од шеми на оптоварувања кои можат да се појават во текот на експлоатација на конструкцијата и очекувано е истите да се појават во критичните места на конструкцијата. Мостовите се едни од конструкциите кои задолжително подлежат на испитување. Во зависност од природата на товарење со кои мостовската конструкција е изложена во текот на испитувањето постојат: статички и динамички испитувања. Статичките испитувања се извршуваат при краткотрајно, мирно, неподвижно товарење, додека пак динамичките испитувања се извршуваат при подвижни товари кои можат да бидат еднократни или повеќекратни (циклични) и истите зависат од временската компонента на нанесување на товарот.

2. ИСПИТУВАЊЕ НА МОСТОВСКИ КОНСТРУКЦИИ

Испитувањето со пробно товарење е метода за испитување на мостовските конструкции каде што на истите се нанесува оптоварување кое што го претставува влијанието на проектниот подвижен товар за време на експлоатација на мостот. Доколку за време на испитувањето не се забележат евентуални промени во работата на конструкцијата од аплицираниот пробен товар, тогаш испитувањето може да се смета за успешно. Тоа се врши според претходно дефинирани прописи и стандарди кои се регулирани со соодветни правилници. Пробното испитување на конструкциите е дел од процесот за предавање на објектот во употреба и истото е од големо значење кога проектната документација не е во потполност испочитувана или пак кога одредени показатели на однесувањето на конструкцијата не се позитивни.

Домашната техничка регулатива од оваа област прецизно ја дефинира потребата од испитување на конструкциите со пробно натоварување. Истата пропишува испитувањето да се врши со цел да се [1]:

- Определи вистинскиот одговор на конструкцијата под дејство на статичко и динамичко товарење;
- Провери квалитетот на вградениот материјал и квалитетот на изведбата на конструкцијата;
- Провери големината на деформационите карактеристики во однос на проектираните;
- Определи подобноста на конструкцијата за прифаќање на предвидените оптоварувања;
- Определи функционалноста на конструкцијата;
- Добијат експериментални податоци за усовршување на пресметковните методи;
- Определи одговорот на конструкцијата под нови или променети оптоварувања.

За време на испитувањето постои ризик од евентуално оштетување на конструкцијата или во најлош случај да дојде до нејзино уривање. Покрај безбедносниот ризик на самата конструкција, постојат и ризици за персоналот што го извршува испитувањето како и за учесниците во сообраќајот. За да се намалат и минимизираат овие ризици, потребно е за време на испитувањето конструкцијата да биде соодветно инструментирани со мерна опрема и мерењата да се следат во реално време.

Безбедносниот план за испитувањето со пробен товар треба да се развие по излегување на терен и технички преглед на мостот. Оваа проверка треба да сигнализира можни безбедносни ризици и треба да

го земе предвид пристапот до конструкцијата подложна на испитување. Потребно е да се регистрираат и пријават сите можни опасни ситуации и сите можни проблеми (технички, електрични, електронски, поврзани со планирање, итн.) кои можат да се појават за време на активностите на лице место и треба да се предвидат и предложат можни решенија и резервни планови за овие настани [2].

За време на испитувањето само на извршниот и квалификуван персонал му е дозволен пристап до мостот. За сите останати присутни потребно е да се ограничи пристапот до мостовската конструкција што се испитува. При тоа, никој не смее да оди под мостот, освен ако овој настан не е претходно соопштен до одговорните лица и товарот е отстранет. Ако мостот не може да се затвори за сообраќај за време на испитувањето со пробен товар, треба да се преземат посебни безбедносни мерки за учесниците во сообраќајот. Доколку е возможно, се препорачува привремено затворање на мостот кога ќе се нанесе целиот интензитет на пробниот товар.

За таа цел, испитувањето секогаш треба да биде извршено според претходно изработена програма за пробно товарење. Во самата програма, покрај определувањето на интензитетот на пробниот товар, потребно е да се дефинираат и горните граници на параметрите преку кои што ќе се следи употребливоста на конструкцијата. Ако претходно поставениот праг за овие параметри (т.н. критериум за запирање) е постигнат или надминат, не е дозволено понатамошно оптоварување на конструкцијата без разлика дали е постигната вредноста на интензитетот на предвидениот пробен товар. Изработката на програмата, како и самото пробно товарење, се поверува на организации кои поседуваат специјализирани кадри и опрема за овој вид работи [3]. Од друга страна, сепак, постои потреба од развивање на методи за брзо извршување на испитувањата со пробно товарење, така што со минимален број на мерни инструменти и поедноставен протокол ќе се обезбедат соодветни сознанија за однесувањето на конструкциите. Овој „брз и едноставен“ начин на испитување со пробно товарење засега може да се примени само кај мостови со едноставен конструктивен систем чие конструктивно однесување е добро разбрано. Развојот на препораки за ваквиот начин на испитување со пробно товарење сеуште е предмет на тековни истражувања, но се верува дека истите би имале ветувачка примена во иднина.

Во зависност од тоа кога се извршува пробното товарење, разликуваме [3]:

- Редовно, пред предавање и пуштање на мостот во сообраќај;
- Контролно, во текот на експлоатација за да се констатираат евентуално настаните промени во работата на конструкцијата.

Подготовките за редовно испитување со пробен товар вклучуваат опсежни пресметки и предвидувања на однесувањето на мостот. Дополнително потребно е да се направи план за поставување на мерната опрема во зависност од тоа кои мерни големини ќе се следат, како и дефинирање на граничните вредности за критериумите за застанување. За време на испитувањето најмалку двајца квалификувани инженери треба да ги следат и да го оценат квалитетот на измерените резултати.

2.1. Видови на конструкции кои задолжително се испитуваат

Во различни прописи и стандарди од оваа област се дадени критериуми за задолжително испитување на мостовските конструкции. Според прописите во областа на бетонските и армиранобетонските конструкции [4] [5] со пробно товарење треба да се испитуваат мостовите со распон од или поголем од $L \geq 15\text{m}$.

Во „Нацрт правилникот за технички нормативи за проектирање и пресметка на инженерски објекти во сеизмички подрачја, 1986“ [6], пропишано е задолжително испитување на модел во соодветен размер. Испитувањето се врши за инженерски објекти кои се градат во зони од VIII и IX степен на сеизмички интензитет и кај кои сеизмичката пресметка е направена со методот на динамичка анализа. Според овој правилник, покрај останатите инженерски објекти, задолжително се испитуваат модели на мостовски конструкции, и тоа:

- Мостови и вијадукти со распон $L \geq 50\text{m}$, или кај оние кај кои висината на столбовите е $H \geq 30\text{m}$;
- Мостови и вијадукти со помал распон или помала висина на столбовите од горенаведените, ако се изведуваат како конструкции со сложен конструктивен систем, односно во сложени услови за фундамирање.

Според стандардот за испитување на мостови со пробно товарење [7], неопходно е да се испитуваат сите патни мостови со распон $L \geq 15m$, а доколку на мостовите се одвива железнички сообраќај тогаш се испитуваат сите мостови со распон $L \geq 10m$. Истото е пропишано и во „Правилникот за начинот на одржување, начинот на водење на евиденција и користењето на податоците од евиденција на долниот строј на пругите, 2007“ [8], во кој е предвидено и испитување на мостови со помали распони со невообичаена концепција на конструктивниот систем како и на провизорни или стари мостови.

3. ПРОЦЕДУРИ ЗА ИСПИТУВАЊЕ СО ПРОБЕН ТОВАР

3.1. Претходни работи

Пред да се започне со испитувањето на конструкциите, во техничката регулатива се пропишани одредени претходни работи кои треба да се извршат. Во тој поглед, различни прописи пропишуваат различни работи, но постојат неколку генерални постапки кои доколку се спроведат може со сигурност да се каже дека се обезбедени неопходни услови за да се пристапи кон самото испитување. Како неопходен услов за спроведување на постапката за испитување потребно е објектот што ќе се испитува да биде потполно изграден. За динамичко испитување на мостови посебно е нагласено дека и пристапите на мостот мора да бидат завршени.

На самиот почеток на подготовките за испитување потребно е да се изврши увид на проектната и останата техничка документација со цел да се добијат потребните информации за [1]:

- Геометрискиот облик на конструкцијата и димензиите на конструктивните елементи;
- Староста на конструкцијата;
- Пресметаните влијанија во критични пресеци според кои е извршено димензионирање на конструкцијата;
- Пресметаните вредности на отвор на пукнатини, големина на угибот и на останатите параметри од граничната состојба на употребливост;
- Предвидената количина, распоред, вид и карактеристики на вградените материјали;
- Останати релевантни податоци кои се неопходни за да се спроведе квалитетно испитување.

Од посебно значење е да се изврши увид на документите со кои се докажува квалитетот на вградените материјали и елементи на конструкцијата како и за останатата достапна документација, односно записници од претходни испитувања, записници од забележани оштетувања на објектот и слично. Притоа од посебна важност е да се знае староста на вградениот бетон за време на испитувањето и истата не треба да биде помала од 28 дена.

Пред почетокот на испитувањето потребно е да се направи детален преглед и фотографирање на конструкцијата. Исто така се прави и визуелен, односно макроскопски преглед на конструкцијата за да се забележат евентуални оштетувања, корозија на челикот, отпаднат заштитен слој, појава на сегрегација на бетонот, присуство на пукнатини и слично. Доколку по извршениот преглед се е во ред, може да се констатира дека геометрискиот облик и димензиите на конструктивните елементи одговараат со оние дадени во проектната документација. Овие прегледи првенствено се прават за се констатираат и евентуално да се отстранат одредени недостатоци кои можат да влијаат на однесувањето на конструкцијата под дејство на пробно товарење.

Испитувањето со пробно товарење не може да се изврши ако не е изработена програма за испитување на конкретната конструкција. Програмата за испитување ја изработува раководителот на испитувањето и истата може да биде изработена во фаза на изработка на основниот проект или да биде изработена подоцна и истата да претставува посебен дел од техничката документација. Во принцип, најдобро е идејното решение на програмата за испитување да се дефинира во фаза на изработка на основниот проект, а конечната верзија на програмата за испитување да биде изработена по изградбата на конструкцијата со цел, доколку има промени, истите да се земат предвид.

Програмата за испитување со пробно товарење треба да содржи [1]:

- Краток опис на конструкцијата која треба да се испита;
- Вид и начинот на испитување;
- Дефинирање на конструктивните елементи кои ќе се испитуваат и опис за тоа што ќе се испитува;

- Положба на карактеристичните пресеци на елементите кои ќе се испитуваат;
- Вид на пробното товарење;
- Положба и правец на дејствување на пробниот товар;
- Големина и распоред на пробниот товар по фази на нанесување;
- Времетраење на поединечните фази на пробниот товар;
- Организациона шема на испитувањето;
- Положба на мерни места;
- Потребни мерни инструменти кои ќе се користат при испитувањето;
- Пресметани вредности на влијанијата за предвидениот пробен товар;
- Пресметка на очекувани пукнатини, угиби и на останати параметри од граничната состојба на употребливост;
- Критериуми за оцена на добиените резултати;
- Диспозиција на помошни конструкции на кои ќе бидат поставени мерните инструменти;
- Датум и временски интервал кога испитувањето треба да се изврши;
- Останати информации кои можат да бидат релевантни за испитувањето (мерки за заштита и безбедност, времено сопирање на сообраќај и сл.).

Во зависност од видот на пробниот товар со кој што ќе се испитува конструкцијата, вообичаено е пред да се започне со испитувањето да се определи тежината на товарот кој ќе се нанесе на конструкцијата.

3.2. Дефинирање на пробен товар

Изборот на пробниот товар, начинот на нанесување и интензитетот на истиот, претставува една од основните задачи во организирањето на испитувањето на мостовските конструкции. Како пробен товар при испитувањето на објектите, најчесто се применуваат:

- Мртов товар (тежина), кој се поставува на конструкцијата и дејствува гравитационо на истата;
- Товарни возила, како пробен подвижен товар;
- Системи со хидраулични дигалки и против тежина.

Мртвите тежини, како пробен товар, може да се користат само за статичко испитување на мостовите. Дополнителен недостаток е тоа што истите дејствуваат како рамномерно распределен површински товар и не можат да го симулираат дејството на концентрираните оптоварувања од тркалата на проектираниот подвижен товар. Поради овие причини се препорачува примена на товарни возила (камиони-кипери) како пробен подвижен товар. Бруто тежината на возилата кои што се користат како пробен товар најчесто се движи од 250 kN до 350 kN. Притоа, потребно е со мерење на вага да се определат и приближно да се изедначат предните и задните осовински тежини од возилото, а исто така и поодделните користени возила да имаат еднаква вкупна тежина [3]. Во случај кога е потребно да се примени пробен товар со поголема тежина, како опција може да се користат армиски оклопни возила [9].

3.2.1. Пробен товар за статичко пробно товарење

За да може пробниот товар да биде соодветен за статичко испитување на мостовски конструкции, тој треба да ги исполнува следниве барања:

- Безбедно нанесување на товарот и можност за брзо отстранување на истиот во случај на појава на индикации за неповратни оштетувања или губење на носивоста на одделни конструктивни елементи или на конструкцијата како целина;
- Можност за циклично товарење на конструкцијата: нанесување и зголемување на товарот во чекори, товарење и растоварување во разумен временски период, константно ниво на товарот и можност за повторно нанесување на истото ниво на оптоварување;
- Симулирање на концентрираните оптоварувања од тркалата на проектираниот подвижен товар.

Примената на циклично оптоварување со различни нивоа на интензитетот на пробниот товар овозможува проверка на измерените резултати по секој извршен циклус. Таквиот начин овозможува етапно да се следи однесувањето на конструкцијата и навремено да се забележат евентуални знаци на нарушување на употребливоста на истата. Последниот циклус претставува највисокото ниво на

интензитетот на пробниот товар кое што најчесто одговара на целното оптоварување, додека средните нивоа на оптоварување одговараат на граничната состојба на употребливост.

Во Холандија развиен е протокол за циклично пробно товарење [10] со најмалку четири нивоа на интензитетот на пробниот товар:

- Ниво 1: ниско ниво на оптоварување (20% до 30% од Ниво 4) за да се провери дали мерната опрема и системот за собирање и регистрирање на податоци функционираат правилно;
- Ниво 2: ниво на оптоварување што одговара на граничната состојба на употребливост;
- Ниво 3: средно ниво помеѓу нивоата 2 и 4;
- Ниво 4: највисокото ниво на оптоварување кое треба да се докаже преку испитувањето со пробен товар.

За секое од нивоата на интензитетот на пробниот товар треба да се извршат најмалку три циклуси на товарење и растоварување со времетраење од две минути. Помеѓу циклусите на оптоварување, треба да се одржува пониско ниво на оптоварување (5% до 10%) за да се осигура дека сите сензори од мерната опрема остануваат активирани. За нивоата на оптоварување 3 и 4, се врши дополнителен циклус пред трите циклуси на оптоварување. Во овој циклус, оптоварувањето сукцесивно се зголемува со мали чекори, и на секое средно ниво на оптоварување во текот на овој циклус тоа се одржува константно во текот на три минути за да се потврдат сите мерења.

Според македонскиот стандард [7] пробниот товар за мостови е дефиниран според интензитет и положба и истиот се поставува на конструкцијата во меродавните пресеци за да се добијат посакуваните големини кои се од интерес. Во овој стандард воведен е параметар на ефикасност на пробното оптоварување кој што зависи од интензитетот на пробниот товар и се оценува според Рав. 1:

$$U = \frac{V_{sta}}{V_n \cdot DAF} \quad (1)$$

каде што:

- V_{sta} , теоретска вредност во разгледуваниот пресек од влијанието на статичкиот пробен товар;
- V_n , теоретска вредност во истиот разгледуван пресек од влијанието на проектниот подвижен товар без динамички коефициент;
- DAF , динамички коефициент според проектот.

Во зависност од големината и местоположбата на товарот, пробниот товар дефиниран според параметарот на ефикасност може да биде:

- нормален: $0.5 \leq U \leq 1.0$
- посебен: $1.0 \leq U \leq 1.1$
- исклучителен: $1.1 \leq U \leq 1.3 - L/1000$

Посебниот пробен товар претставува построг критериум за спроведување на контрола на квалитетот на мостовите. Исклучителното пробно натоварување, за распони до $L = 100m$, се применува кога е потребно товарење на конструкцијата со поголеми товари од оние предвидени во проектната документација. Во сите претходно наведени ситуации, се смета дека пред нанесување на пробниот товар, веќе е нанесен постојаниот товар со својот полн интензитет дефиниран во проектот.

При изборот на шемата на натоварување потребно е прецизно да се определи влијанието на соседните конструктивни елементи врз елементот кој што се разгледува, односно треба точно да се определи текот на силите.

3.2.2. Пробен товар за динамичко пробно товарење

Динамичкото пробно товарење со брзината на движење, но и со останатите важни карактеристики, треба да одговара на најнеповолните влијанија на кои испитуваната конструкција подлежи во текот на експлоатација. Треба да се напомене дека дури и за мостови со ист или сличен конструктивен систем, различни параметри како што се: состојбата на површината на патот, положбата на пробниот товар тежината и типот на возилото, траекторијата и брзината на движење на возилото, конструктивните елементи и сл., може да доведат до значителни разлики кај динамичките карактеристики кои што се

следат. Влијанието на тежината на пробниот товар врз интензитетот на динамичкиот коефициент е испитувано од страна на многу истражувачи. Се верува дека истиот има тенденција да се намалува со зголемувањето на тежината на подвижниот товар.

Кај динамичките испитувања, според „Правилникот за начинот на одржување, начинот на водење на евиденција и користењето на податоците од евиденција на долниот строј на пругите, 2007“ [8], брзината на движење на пробниот товар не треба да биде помала од 10km/h и таа треба да се зголемува за по 20km/h се до максималната брзина која што е предвидена на тој дел од сообраќајницата. Доколку станува збор за брзини кои предизвикуваат појава на резонанса, тогаш почетната брзината се зголемува sukcesивно со помали брзини. Исто така со овој правилник за секоја мерна точка, за секоја брзина и за секој товар со кој што конструкцијата се испитува предвидено е барем четири поминувања на товарот преку мостот кој што се испитува, и тоа по две во двата правци на одвивање на сообраќајот. Овој правилник го пропишува и редоследот на нанесување на товарот на конструкцијата. За двоколосечни железнички мостови товарот треба да се движи прво по едниот колосек, додека другиот колосек е неоптоварен. Во втората комбинација пробниот товар поминува на првиот колосек, а на вториот колосек товарот е поставен во состојба на мирување, додека пак кај третата комбинација истовремено во иста насока на движење поминуваат товарите и на двата колосека.

Кај патни мостови се препорачува пробниот товар да се движи по секоја од сообраќајните ленти со цел да се симулира реален сообраќај на самата конструкција.

3.3. Меродавни параметри на однесување кај задолжително испитување на конструкции

Бидејќи при испитувањето со пробно товарење се нанесуваат големи оптоварувања на конструкцијата, следењето на однесувањето на мостот за време на испитувањето е важно за да се избегне неповратно оштетување на конструкцијата или нејзин колапс. Овој мониторинг треба да се врши во реално време за време на испитувањето. Како што е споменато и претходно, добра пракса би било на почетокот од испитувањето да се нанесе товар со помал интензитет за да се провери дали мерна опрема функционира правилно. Пред да се започне со испитувањето, потребно е да се знае дали мерните инструменти и опремата се чувствителни на амбиентална температура и влажност на воздухот. Доколку истите се чувствителни, потребно е да се користат и компензациони мерни инструменти кои што ќе го одвојат одговорот на конструкцијата од пробниот товар и од влијанијата на надворешната околина.

Параметрите на однесување на конструкцијата се следат во оние места и пресеци на конструкцијата каде што пресметаните напрегања, деформации и поместувања се најголеми. Овие параметри се определуваат со цел прецизно да се дефинираат граничната состојба на носивост и граничната состојба на употребливост и истите да се споредат со пропишаните вредности кои го дефинираат квалитетот на испитуваната конструкција и на нејзините конструктивни елементи.

3.3.1. Параметри на однесување при статичко испитување

При статичкото испитување на мостови со пробно товарење задолжително е да се измерат: вертикалниот угиб во најнеповолниот пресек од главниот носач на секој распон од мостот, слегнувањето на потпорите, деформациите на местата каде што се очекуваат максимални влијанија и трајните (заостанати) угиби и деформации. Мерењето на ротација на завртување во пресекот на вклучување и хоризонталните поместувања не се задолжителни, односно истите се мерат дополнително на барање на раководителот на испитувањето. За време на испитувањето се препорачува да се следат и проценат следниве конструктивни одговори на мостот [11]:

- Дијаграмот сила-поместување;
- Дилатациите во конструктивните елементи, за да се потврди дали не се надминати дозволените граници. За гредни носачи, дилатациите може да се следат на различни локации по висината на напречниот пресек со што би се доловил дијаграмот на дилатации и положбата на неутралната оска;
- Кај армиранобетонските мостови, отворот на постоечките пукнатини може да се следи за да се види дали пукнатините се активирани. Отворот на пукнатината помала од 0.05 mm може да се смета за еднаква на 0 mm.

Исто така, потребно е да се следат измерените резултати од угибометрите за да се види дали резултатите се во согласност со нумерички пресметаните угиби. Доколку има значителни разлики помеѓу измерените и пресметаните угиби, резултатите треба дополнително да се анализираат и да се бара причината за разликата.

3.3.2. Параметри на однесување при динамичко испитување

Определувањето на динамичките карактеристики опфаќа определување на тонови форми на слободни осцилации и соодветни фреквенции, динамички коефициент и пригушување на конструкцијата.

При динамичкото испитување на мостовите, претходно споменатите динамички карактеристики се определуваат со мерење на вибрациите и вертикалните угиби во тек на време во најнеповолниот пресек од главниот носач за време на поминување на пробниот товар и веднаш по неговото излегување од конструкцијата. Притоа се мери брзината и траекторијата на движење на пробниот товар кој што поминува преку конструкцијата. Доколку во програмата за испитување се предвидени, тогаш се испитуваат и динамичките деформации на местата каде што се очекуваат максимални влијанија, напречни и надолжни поместувања во средината на главниот носач, како и останати релевантни динамички карактеристики на конструкцијата. При дефинирање на параметрите кои што треба да се следат за време на динамичкото испитување значаен е и „Правилникот за начинот на одржување, начинот на водење на евиденција и користењето на податоците од евиденција на долниот строј на пругите, 2007“ [8]. Во него е пропишано и определување на динамичките напрегања во конструкцијата и притоа нивното определување не е ограничено само на главниот носач, туку динамичките мерења се вршат и на други елементи од конструкцијата. При мерењето на хоризонтални вибрации стандардот препорачува истите да се мерат во рамнина на коловозната плоча или на појасот од главниот носач кој е најблизок до коловозната плоча.

Кај мостови кај кои што фреквенцијата од првата тонова форма се движат од 2 Hz до 5 Hz треба да се очекува дека динамичкиот коефициент ќе има поголеми вредности. Ова е затоа што овој фреквенцен опсег ја опфаќа вообичаената фреквенција на отскокнување на возилото при неговото движење. Совпаѓањето на фреквенциите на возилото и мостот може да доведе до квази-резонанца, предизвикувајќи голем динамички одговор на мостот.

3.4. Опрема за мерење на параметрите на однесување кај задолжително испитување

Мерната опрема која се користи за време на испитувањето, нејзината точност и распоредот на поставување на конструкцијата треба да одговара на потребите на испитувањето. За таа цел во техничката регулатива, во зависност од бараните параметри, се спомнати: угибометри, екстензометри, клинометри, деформетри, акцелерометри и други мерни инструменти и за истите се дадени нивните карактеристики. Пред да се започне со испитувањето, потребно е да се провери дали мерните инструменти кои што ќе се користат се исправни и баждарени. Со цел да се развие план за распоред на мерната опрема, може да се применат следниве препораки:

- Најмалку пет мерни места во надолжен и најмалку три мерни места во напречен правец на мостот за мерење на угиби;
- Мерни места кај потпорите од двете страни на испитуваниот распон доколку се користат еластомерни лежишта;
- Најмалку една електроотпорна мерна лента на долниот раб од главниот носач каде што се очекува максимална вредност на нормалните напрегања од свиткување;
- Мерен уред кој ќе ја регистрира промената на температурата и влажноста на воздухот за време на испитувањето;
- Соодветни кабли за пренос на сигнал при динамичко испитување;
- Стабилизатор на напонот на електричната енергија;
- Стабилен систем за собирање на податоци – „datalogger“.

Што се однесува до осетливоста и точноста на самите инструменти, во „Правилникот за начинот на одржување, начинот на водење на евиденција и користењето на податоците од евиденција на долниот строј на пругите, 2007“ [8], пропишано е угибометрите да имаат точност од 0.1 до 0.001 mm . Истиот

правилник пропишува електроотпорните мерни ленти да имаат должина од: 10 до 25mm за челични мостови и 80 до 200mm за бетонски мостови.

Во истиот правилник е пропишан и мерниот опсег на инструментите за испитување на динамички карактеристики. Овие мерни инструменти мора да бидат во можност да измерат високи фреквенции од 500Hz за челични мостови и 300Hz за бетонски мостови, а притоа дозволената грешка при мерењето не смее да биде поголема од +3%, односно -5%.

3.5. Критериуми за техничка исправност на испитуваните конструкции

Критериумите за техничка исправност на испитуваните конструкции претставуваат граници помеѓу кои треба да се наоѓаат измерените големини на параметрите на однесување, врз основа на кои може да се констатира дека конструкцијата е квалитетно изведена и истата може да се пушти во употреба.

3.5.1. Критериуми за техничка исправност на испитуваните конструкции при динамички пробен товар

За една конструкција да биде технички исправна, при динамичко испитување на мостовите, мора да бидат исполнети следните критериуми:

- Вибрациите на конструкцијата да не предизвикуваат чувства на непријатност кај корисниците;
- Измерениот динамички коефициент DAF_m , определен од резултатите од испитувањето, да се движи во границите на оној предвиден во проектот DAF_c ;
- Измерените периоди на слободни осцилации $f_{0,m}$ да се движат во границите на теоретските вредности $f_{0,c}$;

Постојат повеќе начини за пресметување на горенаведените динамички карактеристики добиени од извршените мерења со динамичко пробно товарење, но во нашата техничка регулатива истите не се имплицитно дефинирани.

3.6. Методи за обработка на добиените резултати од испитувањето

По завршувањето со статичкото и динамичкото испитување на мостовите со пробен товар, потребно е добиените резултати од мерењето дополнително да се обработат. Во техничката регулатива за динамичко испитување на мостовите не се потенцирани конкретни методи за обработка на добиените резултати од мерењето. За таа цел, потребно е да се применат препорачани методи [12] за обработување на резултатите за ваков тип на мерења.

3.7. Изработка на студија за извршеното испитување со пробно товарење

По секое спроведено испитување се пристапува кон изработка на студија за извршеното испитување со пробно товарење. Изработката на самата студија за спроведеното испитување започнува уште на почетокот од самото испитување. Во тој поглед, раководителот на испитувањето мора однапред да подготви посебни формулари во кои соработниците за време на испитувањето ќе ги внесуваат добиените резултати. Овие формулари вообичаено содржат податоци за: конструкцијата која што се испитува, мерни точки и пресек (распон) во кој што истите се наоѓаат, големината која што се мери, како и останати потребни податоци и забелешки за самиот тек на испитувањето (време, час и временски услови кога испитувањето е вршено) [1].

По завршувањето на испитувањето со пробно товарење, раководителот на испитувањето преминува кон изработка на студија за извршено испитување на мостот. Студијата, во прва фаза, се изработува како привремена, со основните податоци од испитувањето и заклучоци за носивоста на мостот со предвидените проектни товари. Во привремената студија, покрај наведените содржини, потребно е да биде дефиниран и временскиот рок за која има важење, односно кога истата ќе биде заменета со конечна студија. Во втора фаза се изработува конечната студија за спроведеното испитување. Конечната студија е пообемна и подетална во однос на привремената студија и истата ги содржи следните податоци [1]:

- Одговорен раководител на испитувањето и членовите на тимот кои го извршиле испитувањето;
- Датум на испитувањето;

- Релевантни општи податоци за испитуваната конструкција, вклучувајќи ги и името на мостот, проектантите, изведувачите, година на градба и сл.;
- Податоци за условите под кои е извршено испитувањето: метеоролошки податоци, податоци за прекин при текот на испитувањето и сите останати релевантни податоци кои би можеле да влијаат на резултатите и квалитетот на спроведеното испитување;
- Податоци за целта и намената на испитувањето;
- Краток опис за испитуваната конструкција;
- Податоци за постапката на испитување;
- Податоци за карактерот, големината и останатите карактеристики на пробниот товар;
- Податоци за користената мерна опрема;
- Податоци за состојбата на конструкцијата пред и после испитувањето;
- Пресметани влијанија со помош на софтверски пакети за вредности на пробниот товар кој ќе се користи при испитувањето;
- Резултати од испитувањето, прикажани табеларно и/или графички;
- Споредба на пресметаните со измерените резултати, прикажани табеларно и/или графички;
- Анализа на добиените резултати;
- Краток и јасен заклучок за носивооста на мостот и можноста да ги прими товарите кои се предвидени со проектот.

4. ЗАКЛУЧОК

Предложените процедури во овој труд, за статичко и динамичко испитување на армиранобетонски мостови, можат да бидат добра подлога за креирање на детално упатство за испитување на конструкциите со пробен товар. Треба да се нагласи дека испитувањето на конструкциите претставува одговорна и комплексна задача и пред се истата треба да ја врши стручен и квалификуван кадар. Честопати во пракса сме сведоци на провизорни испитувања на мостовски конструкции кои ги занемаруваат горенаведените постапки, што доведува до сомнеж во веродостојноста и употребливоста на измерените резултати. Токму од овие причини потребен е сериозен пристап и организирање на високо ниво на испитувањето со цел измерените резултати да обезбедат соодветни научни сознанија.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Djuranovic, N., (2009), „Uvod u ispitivanje konstrukcija sa primjerima“, Univerzitet Crne Gore, Gradjevinski fakultet, Montenegro.
- [2] Koekkoek, R. et. all, (2015), „Proof Loading of the Viaduct in the Zijlweg: Risk Analysis and Planning“ Stevin Report nr. 25.5-15-07. Delft University of Technology, The Netherlands.
- [3] Десовски, З. (2010), „Армиранобетонски мостови“, Универзитет Св. „Кирил и Методиј“, Градежен факултет – Скопје, Р. Македонија
- [4] Правилник за технички нормативи за бетон и армиран бетон, ПБАБ/87, Сл. весник на СФРЈ бр. 11/1987.
- [5] Правилник за технички мерки и услови за претходнонапрегнат бетон, ПНБ/71, Сл. весник на СФРЈ бр. 51/1971.
- [6] Нацрт правилник за технички нормативи за проектирање и пресметка на инженерски објекти во сеизмички подрачја, 1986.
- [7] Испитување на мостови со пробно товарење, МКС 1019:2018
- [8] Правилник за начинот на одржување, начинот на водење на евиденција и користењето на податоците од евиденција на долниот строј на пругите, Сл. весник на Р. Македонија бр. 98/2007.
- [9] Varela-Ortiz, W. et. all, (2013), „Load testing and GPR assessment for concrete bridges on military installations“. Construction and Building Materials, 38, 1255–1269.
- [10] Lantsoght E, van der Veen C, de Boer A and Hordijk DA., (2017), „Proof load testing of reinforced concrete slab bridges in the Netherlands“, Structural Concrete, 2017. <https://doi.org/10.1002/suco.201600171>
- [11] Lantsoght, E., (2019), „Load Testing of Bridges: Proof Load Testing and the Future of Load Testing“, CRC Press, Structures and Infrastructures Series, Volume 13, DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429265969>
- [12] Janev D., Arangjelovski T., Nakov D., Markovski G. (2022) Application of Different Methods for Determination of DAF from Moving Loads on Roadway Reinforced Concrete Bridges. In: Pellegrino C., Faleschini F., Zanini M.A., Matos J.C., Casas J.R., Strauss A. (eds) Proceedings of the 1st Conference of the European Association on Quality Control of Bridges and Structures. EUROSTRUCT 2021. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 200. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91877-4_141