

МОДЕЛИРАНЕ НА МОСТОВИ СЪОРЪЖЕНИЯ И ХИДРАВЛИЧНИ АНАЛИЗИ С HEC-RAS В ТУНДЖАНСКОТО СТРУКТУРНО ПОНИЖЕНИЕ, В РАЙОНА НА ГР. ЕЛХОВО

Красимира Кършева

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, kkursheva@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Мостовите съоръжения представляват главно звено на пътната инфраструктура. В условията на глобално затопляне и климатични промени, падналите екстремни количества валежи заплашват тези съоръжения с повреди. Най-честата причина за разрушаването на мостови съоръжения е явлението на подмиване на речния материал във фундаментите на мостовите устои. С цел да бъдат избегнати евентуални щети върху пътната инфраструктура, трябва да бъдат взети адекватни и навременни мерки за оценка и предвиждане на подобни евентуални негативни събития. В настоящото изследване е използван еднодименсионалният модул за установен поток на HEC-RAS, за моделиране събитието на подмиване при мостовите устои на моста в гр. Елхово, свързващ града със с. Изгрев. Основните параметри, влияещи върху изчисляването дълбочината на подмиване, са скорост и дълбочина на водния поток, характеристика на седиментния материал в речното корито и дебелината на мостовите устои. Целта на това изследване е прогнозиране, оценка и анализ на потенциални бъдещи събития на подмиване на мостовите основи, в резултат от въздействието на стихийно наводнение в изследвания участък и определяне на местоположението на най-уязвимите зони при основите на мостовото съоръжение.

Ключови думи: ГИС, HEC-RAS, хидравличен анализ.

BRIDGE MODELING AND HYDRAULIC ANALYSIS WITH HEC-RAS AT THE TUNDZHA STRUCTURAL DECLINE, IN ELHOVO TOWN AREA

Krasimira Karsheva

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, kkursheva@gmail.com

ABSTRACT. Bridges are main units of the road infrastructure. In terms of global warming and climate change, the fallen extreme rainfall threaten these facilities with damage. The most common cause of bridge failure is the phenomenon of pier scour at bridge foundations. In order to avoid possible damage to road infrastructure, should be taken adequate and timely measures to assess and anticipate such potential adverse events. This study used a one dimensional steady flow HEC-RAS analyses, for modeling pier scour and abutments scour of the bridge in Elhovo town. The bridge connects Elhovo town and Izgrev village. The main parameters affecting scour depth are water speed and water depth of the flow, bed sediment characteristic, and pier width. The aim of this study is forecasting, assessment and analysis of potential future scour events at the bridge foundations as a result of the impact of flash floods in the research area and determine the location of the most vulnerable areas in the foundations of the bridge facility.

Key words: GIS, HEC-RAS, hydraulic analysis.

Въведение

Мостовите съоръжения представляват главно звено на пътната инфраструктура. В условията на глобално затопляне и климатични промени, падналите екстремни количества валежи заплашват тези съоръжения с повреди. С цел да бъдат избегнати евентуални щети върху пътната инфраструктура, трябва да бъдат взети адекватни и навременни мерки за оценка и предвиждане на подобни евентуални негативни събития.

Подмиването на стълбовете и устоите на мостовите съоръжения е явление, причинено от ерозийното действие на протичащия поток в речните легла. Разрушаването на мостовите, дължащо се на изравяне на техните фундаменти, е често срещано явление. Точността на предвиждане на дълбочината на изравяне е от съществено значение за безопасното проектиране и експлоатация

на съоръжението. За анализите върху оттока на реката, представляващи еднодименсионални хидравлични изчисления в системата на речните анализи, е използван HEC-RAS софтуер, разработен от Корпуса на инженерите от американската армия (U.S. Army Corps of Engineers, 2010). Софтуерът предоставя възможност за представяне на различни изчисления върху отточните характеристики.

В това изследване модулът на HEC-RAS за моделиране на едномерен установен поток, е използван за моделиране на повърхностните профили, вида на оттока, дълбочината на водния стълб, скоростта на водата, конструкцията на моста във връзка с оценката и анализа на потенциални бъдещи събития на подмиване на мостовите основи. Наблюдавайки метеорологичните прогнози и редицата стихийни наводнения през последните години в България и по света, това моделиране е изключително важно и актуално.

Изследвана територия и детайли за моста в гр. Елхово

Обект на настоящото изследване е участъкът от коритото на р. Тунджа при гр. Елхово (фиг. 1) и преминаващият през реката мост, намиращ се в югозападната част на града и свързващ гр. Елхово със с. Изгрев.

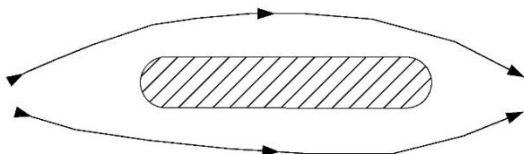
Съществуващото съоръжение над река Тунджа (фиг. 2), представлява пътен мост, разположен над водно препятствие, предназначен основно за движение на автомобили и други пътни превозни средства (селскостопански, строителни машини и др.) (Иванчев, 2005). Мостът е масивен, изграден от зидани устои (фиг. 3) и стоманобетонна конструкция, спадащ по класификация, по своята изчислителна схема към гредовите мостове. Мостът е дълъг приблизително 117 m и е изграден върху 4 зидани устои.



Фиг. 1. Местоположение на изследваната територия



Фиг. 2. Изглед към мостовото съоръжение



Фиг. 3. Форма на мостовите устои в план (по Иванчев, 2005)

Моделиране на мостовото съоръжение в гр. Елхово

За създаване на геометричните данни (централната линия на течението - талвегова линия, моделиране на главния канал, напречните профили през коритото на реката, мостовото съоръжение и др.) е използван набор от процедури и инструменти на HEC-geoRAS, разширение към ArcGIS. Данните за надморските височини и километрирането на всички геометрични обекти (напречни профили, речно корито, брегове, мост) се прибавят към атрибутните данни, чрез автоматично извличане от цифровия модел на терена (ЦМТ).

След създаването на необходимите данни за хидравличното моделиране, към приложението HEC-RAS, от ArcGIS се експортират т. нар. RAS слоеве, включващи данни за дебит, коефициент на Манинг, наклон на речното легло. След това се стартира моделът, за да се изчисли обхватът на заливането, като се приемат стабилни и неизменящи се във времето характеристики на водния отток.

Използвани данни при моделирането

Пространствените данни за разработването на еднодимензионалния хидравличен модел при установен поток, очертаващ обхвата на потенциално наводнение, скорост на водата и дълбочина, както и геометрията на мостовото съоръжение, са получени от различни източници. Данните за надморските височини, използвани за генериране на цифровия модел на терена на изучаваната територия, са получени чрез дигитализация на ЕТК в М1:5000. Информацията за земното покритие и земеползването в района, както и определянето на коефициента на триене на различните земни единици (коефициент на Манинг), е по данни от проект „КОРИНЕ /CORINE/ земно покритие 2012“, публикувани на сайта на Изпълнителната агенция по околна среда (ИАОС). На терена, с GPS-приемник, са отбелязани местоположенията на потенциално уязвими от наводнение зони по течението на реката от гр. Ямбол до гр. Елхово. За хидравличното моделиране са използвани данни от хидроложката станция на НИМХ-БАН при гр. Елхово, данни публикувани на сайта на института, както и статистически данни за периода 1961-2004г. от Плана за управление на водите 2010-2015г. на Басейнова дирекция за управление на водите, Източнобеломорски район - Пловдив.

Местоположение на напречните профили през коритото на р. Тунджа

Напречните профили, създадени с HEC-geoRAS инструмента за ArcGIS, са поставени на характерни места по протежението на речния поток (фиг. 4). Създадени са 58 напречни профила, които представят геометрията на водния поток, на приблизително еднакво разстояние един от друг, равняващо се на около 150 m. В близост до моста, разстоянието между напречните профили е съгъстено, за да се фиксират с по-голяма точност бързо променящите се отточни характеристики. Във всеки напречен профил се дефинират ляв и десен бряг, централна линия на оттока, инженерни съоръжения и др. Като основа за изчертаване на напречните профили е използвана ортофотоснимка на

изследвания участък.



Фиг. 4. Местоположение на напречните профили през р. Тунджа и мостовото съоръжение в план

Дефиниране на неефективни отточни области и блокиращи водния поток препятствия

Основният проблем при определянето на данните на моста, е определянето на неефективните отточни области и блокиращи водния поток препятствия (напр. сгради) близо до структурата на моста. Неефективните отточни области и блокиращи обструкции са използвани за определяне и представяне на влиянието, което упражняват тези структури върху симулационния модел на наводнението. Неефективните отточни области представят зони в речното легло, в които скоростта на речния поток е много ниска или равна на нула. На фигури 5 и 6, са представени дефинираните неефективни отточни области и обструкции в обхвата на речното легло.



Фиг. 5. Дефиниране на неефективни отточни области (шрихованите полета)

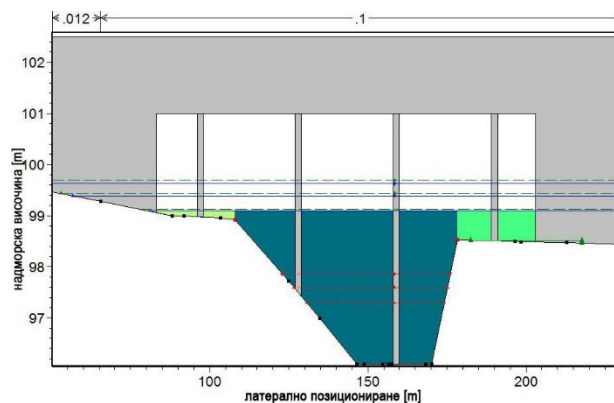
Хидравлични изчисления през моста

След като е създадена речната геометрия, следващата стъпка е да се определят отточните стойности, режимът на потока и граничните условия за извършване на хидравличните изчисления (фиг. 8 и 9). Скоростта и дълбочината на водния поток (фиг. 7) са изчислени чрез еднодименсионален хидравличен HEC-RAS модел при три

вариации на максимални отточни условия: 112, 168, 224 m^3/s . Тези стойности на оттока са прогнозни и представляват 2, 3 и 4 пъти по-голяма стойност от досегашната най-голяма стойност на оттока, измерена през последните 10 години в хидроложката станция на НИМХ-БАН при гр. Елхово. Данните за оттока са модифицирани и служат само за нуждите на това изследване.



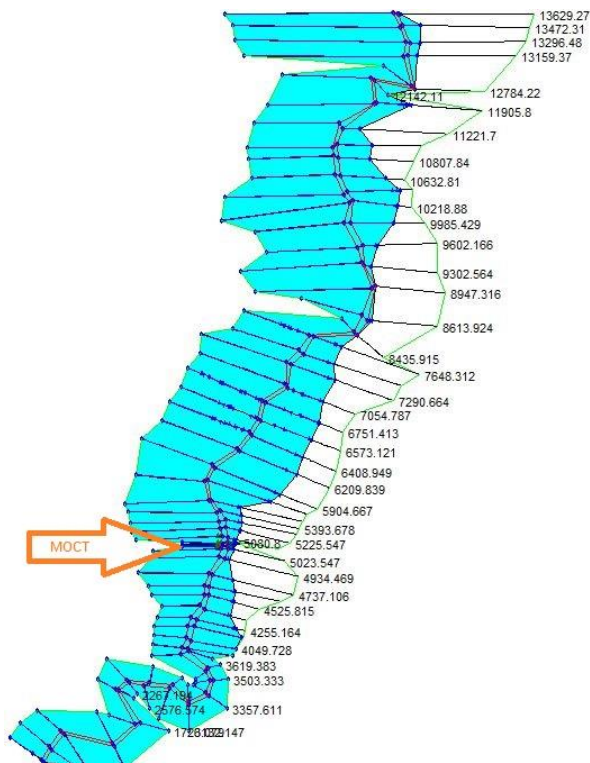
Фиг. 6. Определяне на местоположението на препятствия за водния поток (запълнените с черен цвят полигони)



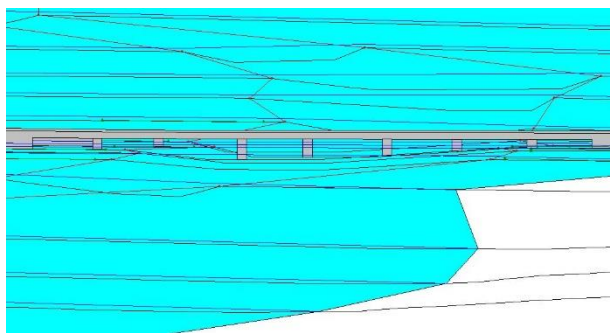
Фиг. 7. Водни нива при повтаряемост 1 път на 10, 20 и 50 г. (с пунктир) и разпределение на водната скорост (с цвят) в напречния профил при мостовото съоръжение на изхода на гр. Елхово

Изчисления при ниски води. В настоящото изследване са използвани изчисленията при ниски води, които се прилагат, когато потокът през мостовия отвор е разположен в открити речни легла и най-високата точка от повърхността на речния поток лежи под най-високата точка от хордата на светлия отвор. За изчисленията при субкритични води, софтуерът използва уравнението за динамика, за да идентифицира категорията на потока.

Това се осъществява като първо се изчислява динамиката при критична дълбочина през мостовото съоръжение, отгоре и отдолу по речната верига. Краят с по-висока скорост, следователно с по-стеснена част, представлява контролиращият моста напречен профил. Ако и двата напречни профила са идентични, програмата възприема профила от горната страна на течението, за контролиращ (US Army Corps of Engineers, 1996).



Фиг. 8. Геометрия на напречните профили през р. Тунджа и максимален разлив на водния поток при повтаряемост 1 път на 10 г., изглед в HEC-RAS



Фиг. 9. 3D изглед към мостовото съоръжение в гр. Елхово и максималния обхват на водния разлив при повтаряемост 1 път на 10 г., изглед в HEC-RAS

Изчисляване размера на подмиване на основите на мостовото съоръжение в гр. Елхово

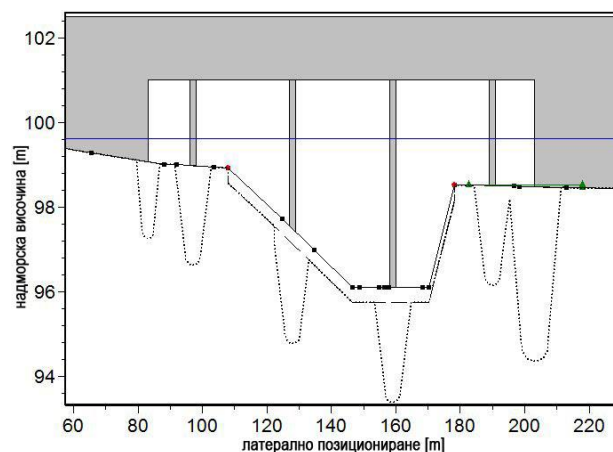
При спокойни течения реките отлагат наноси на дъното, а при скорости, надминаващи критичните за даден вид почва, се наблюдава изравяне, известно като общо подмиване. Недобре споените почви устояват на ерозията единствено под действието на теглото си и силите на триене между частиците, които се описват от уравнението на Ван дер Ваалс и се наричат сили на сцепление, или ван-дер-ваалсови сили. Около мостовите устои и стълбове, разположени в речното корито, се получава завихряне на течението, което предизвиква допълнително изравяне, наречено местно подмиване. Върху размера на местното подмиване, освен вида на почвата, скоростта на течението и температурата на водата, голямо влияние има формата на стълбовете в план и ориентацията им спрямо

оста на реката.

Събиране на данни и калибриране на модела на подмиване. Факторите, които влияят на дълбочината на местното изравяне са: скорост на потока, непосредствено в горната част на течението преди моста; дълбочината на водния стълб; ширината на устоите; сортировката на материали в речното легло; коефициентът на Манинг за грапавостта на почвата; формата и дължината на опората; геометрията на речното легло, както и ъгълът, под който речният поток атакува основата на моста. В настоящото изследване данните за големината и сортировката на почвените зърна са по Ангелова и др. (1991). За изчисление на подмиването на мостовите устои са използвани съществуващите към момента условия в речното легло. Изравянето му се получава, когато силите в напречно сечение нагоре по течението, са по-големи от праговата стойност на сцепление и също така, когато има движение на почвен материал над наблюдаваното сечение нагоре по течението.

Резултати

Резултатът от направения анализ на устойчивостта на речното легло на ерозивното действие на водния поток потвърждава констатациите, че ъгълът, под който речният поток преминава през основата на моста, е основен фактор, определящ размера на подмиването на мостовите основи и с неговото увеличаване се увеличава и подмиващата сила на водния поток, т.е. колкото по-голям е ъгълът, под който речният поток преминава през основата на моста, толкова по-големи подмиващи сили упражнява той върху мостовите устои.



Фиг. 10. Подмиване на мостовите устои при ъгъл 20°

При това изследване са изчислени няколко модела на подмиване при мостовите устои, с въведени различни стойности на ъгъла, под който водният поток преминава през основата на моста (0°, 5°, 10°, 15°, 20°). На фигура 10 е показан изчисленият модел при стойност на оттока 224 m³/s и ъгъл на преминаване на водния поток през основата на моста 20°. Графиката представя дясната гредна на моста, като най-уязвимата зона от напречния профил, в която могат да се очакват най-големи поражения, причинени от протичане на стихийни води през мостовото съоръжение. В таблица 1 са дадени крайните резултати от

изследването.

Таблица 1.

Стойности на подмиване при мостовите устои, при отток 224 m³/s

Напречен профил	Ъгъл (градуси)	Показател за режима на транспорт на речния материал	Подмиване при мостовите устои (m)	Подмиване при мостовите стълбове (m)
BR 5064.1456 Bridge	0	0,59	1,7	4,13
	5	0,59	1,66	4,13
	10	0,59	1,92	4,13
	15	0,59	2,15	4,13
	20	0,59	2,36	4,13

Заклучение

Географските информационни системи (ГИС) и дистанционните методи са изключително полезни инструменти в изследването на природния риск, и особено наводненията и процесите свързани с тях. Интегрирането на дистанционни данни, полеви изследвания и софтуер (ArcGIS, HEC-RAS) прави възможно определянето на обхвата на потенциално наводнение и допустимите конструктивни ограничения и критерии, при изграждането и експлоатацията на инженерните съоръжения по протежение на речното легло. Основното предимство на използването на ГИС за управление на наводненията е, че позволяват, не само да се генерира и очертае техният обхват, но и да се създаде потенциал за следващи анализи и определяне на размера и магнитуда на щетите, причинени от потенциално наводнение. Мониторингът на местното подмиване на основите на мостовото съоръжение е много важна част от цялостното му управление и експлоатация, за предсказване на бъдещи рискови състояния и избягване на тежки щети или

разрушения. От симулираното местно подмиване на мостовите устои, чрез използването на еднодименсионален хидравличен модел на HEC-RAS за установен поток, може да се обобщи, че то се изменя от 1,37 до 2,36 m при мостовите устои, докато подмиването в дясната греда на моста не изменя стойностите си от 4,13 m, при промяна на ъгъла, през който водният поток преминава през моста.

Като цяло резултатите от изследването предлагат по-добро разбиране на ерозивното влияние на водния поток и подмиването при мостовите устои и стълбове.

Литература

- Ангелова, Д. Н. Попов, Е. Миков. Стратиграфия на кватернерните седименти в Тунджанското понижение. - *Сп. Бълг. геол. д-во*, 52, 2, 1991. - 99-105.
- Басейнова дирекция за управление на водите Източнороморски район - Пловдив. - *План за управление на речните басейни в Източнороморски район 2010-2015, Том III Тунджа*. http://earbd.org/indexdetails.php?menu_id=367
- Иванчев, И. *Стоманобетонни мостове (лекции)*. 2005. – 138-155. <http://www.otvaszavas.eu/Bulgaria/Information/Information-2015/mostove-lekcii.pdf>
- ArcGIS Resources – Esri, Inc. ArcGIS Help Library - <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/>
- US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center – *Bridge hydraulic Analysis with HEC-RAS*. TP 151. 1996. - 26p.
- US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center – HEC-RAS, River Analysis System Application Guide. V.4.1, 2010. - 351p.

Статията е рецензирана от доц. д-р Борис Вълчев и препоръчана за публикуване от кат. „Геология и геоинформатика“.