



Заштита насеља Залуг од великих вода реке Лим

Protection of the Zalug Settlement from Flood Waters of the Lim River

Милан Туфегџић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ГРАЂЕВИНАРСТВО,
ХИДРОТЕХНИКА

Кратак садржај – У оквиру рада разматра се проблем заштите насеља Залуг од великих вода реке Лим, на деоници од км 69+741 до км 72+741, са аспекта смањења ризика од поплава и обезбеђивања стабилног и безбедног режима течења. Анализа обухвата сагледавање природних, просторних и хидролошких карактеристика предметне деонице реке, као и утицаја великих вода на насеље, инфраструктуру и пољопривредне површине. У раду је извршено дефинисање меродавних протицаја великих вода применом хидролошких анализа и расположивих података, као и хидрауличка анализа постојећег и пројектованог стања корита реке Лим. Посебна пажња посвећена је испитивању пропусне моћи корита, појави изливања воде у постојећем стању и идентификацији угрожених површина. На основу добијених резултата разматране су могућности примене одбрамбених хидротехничких објеката, као што су насипи и заштитни бетонски зидови, у циљу смањења ризика од плављења и унапређења нивоа заштите. Хидраулички прорачуни спроведени су применом једнодимензионалног модела у програмској пакету HEC-RAS, а добијени резултати представљају основу за дефинисање техничког решења одбрамбене линије и планирање мера заштите од великих вода.

Кључне речи (три до пет): Велике воде, поплавни талас, хидрауличка анализа, HEC-RAS, пропусна моћ и стабилност корита, регулација водотока

Abstract – This thesis examines the flood protection of the Zalug settlement from high waters of the Lim River, within the river reach from km 69+741 to km 72+741, with the aim of reducing flood risk and ensuring a stable and safe flow regime. The analysis includes an assessment of the natural, spatial, and hydrological characteristics of the considered river section, as well as the impacts of extreme hydrological events on the settlement, infrastructure, and agricultural areas. Design flood discharges were determined based on hydrological analyses and available data, followed by a hydraulic analysis of both the existing and the proposed river channel conditions. Particular attention is devoted to the evaluation of channel conveyance capacity, the occurrence of overbank flooding under existing conditions, and the identification of flood-prone areas. Based on the obtained results, the application of flood protection hydraulic structures, including embankments and reinforced concrete flood walls, is

analyzed in order to reduce flood risk and improve the level of protection. Hydraulic calculations were performed using a one-dimensional model in the HEC-RAS software package, and the obtained results provide the basis for defining the technical solution of the flood defense system.

Keywords: (three to five): High waters, flood wave, hydraulic analysis, HEC-RAS, channel conveyance capacity and stability, river regulation

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др. Слободан Колаковић, ванр. проф.

1. УВОД

Поплаве представљају један од најзначајнијих природних ризика за приобална насеља, јер директно угрожавају стамбене објекте, инфраструктуру и пољопривредне површине [1]. За одбрану од великих вода неопходно је применити адекватне хидротехничке мере које омогућавају контролу водотокова и смањују вероватноћу настанка материјалних штета [3]. Основни циљ пројектовања одбрамбених објеката, као што су насипи и армирани бетонски зидови, јесте обезбеђивање стабилности приобалног подручја током екстремних хидролошких догађаја, уз очување терена и постојеће инфраструктуре [4].

Река Лим представља најзначајнији водоток Пријепољског краја, у који се уливају бројне мање притоке, од којих велики број има бујични карактер. Услед обилних падавина и наглог пораста водостаја притока, долази до наглог пораста водостаја реке Лим, што у појединим деоницама изазива изливање воде из корита и плављење приобалних површина. Овакви хидролошки услови посебно долазе до изражаја у зонама где не постоје изграђени одбрамбени системи.

Насеље Залуг, које се налази уз леву обалу реке Лим у општини Пријепоље, у више наврата је било изложено негативним последицама великих вода. У прошлости су забележене значајне штете на стамбеним објектима, пољопривредном земљишту и пратећој инфраструктури, услед изливања реке током периода интензивних падавина. На предметној деоници корито реке је неуређено, приобални појас је обрастао ниским и високим растињем, док су куће и пољопривредне

парцеле смештене непосредно уз обалу, што додатно повећава степен угрожености.

Пројектни приступ у заштити од великих вода подразумева анализу водостаја, хидрауличке прорачуне и прилагођавање димензија одбрамбених објеката условима терена, како би се обезбедила дугорочна сигурност и функционалност система заштите [1]. При томе се узимају у обзир карактеристике речног корита, угрожене површине и могући сценарији појаве великих вода [7].

Предмет овог рада је израда решења за заштиту насеља Залуг од великих вода реке Лим, у зони од км 69+741 до км 72+741, применом хидротехничких објеката као што су насипи и пратећи заштитни бетонски зидови, са циљем смањења ризика од поплава и обезбеђивања безбедности становништва и инфраструктуре.

2. ХИДРАУЛИЧКО МОДЕЛОВАЊЕ УЗ ПОМОЋ СОФТВЕРА

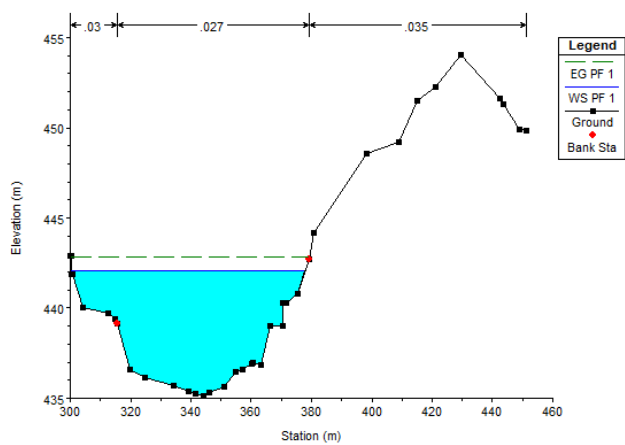
Хидрауличко моделовање представља један од кључних сегмената савремене анализе водотокова, јер омогућава прорачун и предвиђање понашања течења у условима који су у природним речним токовима изразито сложени [1]. Применом математичких модела, заснованих на основним законима механике флуида, могуће је симулирати различита хидрауличка стања и анализирати утицај природних и антропогених фактора на режим течења [2]. У природном речном току течење је најчешће неусталено, неједнолико и турбулентно, што је последица променљивости протицаја, геометрије корита и храпавости дна и обала.

Развој рачунарске технике значајно је унапредио могућности хидрауличког моделовања, те се данас прорачуни у области отворених токова најчешће спроводе применом специјализованих софтверских пакета [3]. Ови програми омогућавају увођење реалне геометрије корита, дефинисање граничних услова, анализу различитих сценарија протицаја и јасну визуелизацију добијених резултата у виду профила и просторних приказа. Избор одговарајућег софтвера зависи од карактеристика тока, циља анализе и расположивих улазних података.

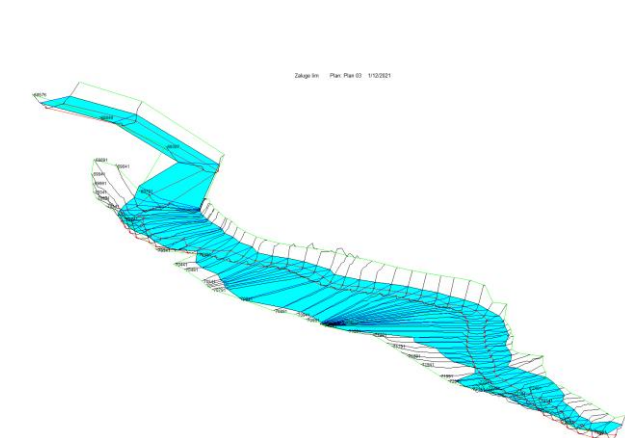
Према степену просторне детаљности, хидраулички модели се деле на једнодимензионалне, дводимензионалне и тродимензионалне [1]. Једнодимензионални модели описују течење кроз промену хидрауличких величина дуж уздужне осе водотока, при чему се унутар попречног профила користе средње вредности. Овај приступ је посебно погодан за анализу дужих речних деоница, где је уздужна компонента течења доминантна [3].

У оквиру овог рада примењен је једнодимензионални хидраулички модел, при чему је хидраулички прорачун заснован на примени закона одржања масе и енергије. Посебан значај у прорачуну има правилно дефинисање геометрије корита, Манинговог коефицијента храпавости и граничних услова, јер они

у највећој мери утичу на поузданост добијених резултата [4]. Резултати хидрауличког моделовања представљају основу за одређивање карактеристичних нивоа воде и димензионисање мера заштите од великих вода.



Слика 1. Попречни профил у софтверу HEC-RAS



Слика 2. Пример 1D модела у софтверу HEC-RAS

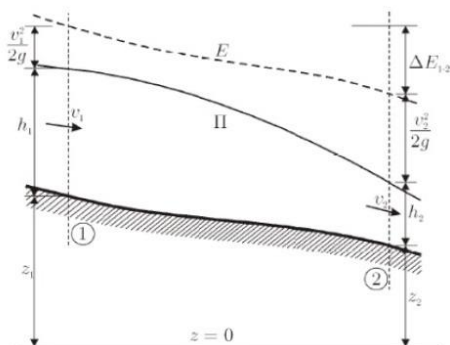
3. ХИДРАУЛИЧКА АНАЛИЗА

Хидрауличка анализа представља наставак хидролошке анализе и има за циљ да, на основу меродавних протицаја, сагледа понашање тока реке Лим у постојећем и пројектованом стању [3]. Док хидролошка анализа обезбеђује улазне протицаје, хидрауличка анализа омогућава одређивање нивоа воде, брзина течења и услова протицаја дуж посматране деонице водотока [1]. Анализа је спроведена применом једнодимензионалног (1D) хидрауличког модела у програмском пакету HEC-RAS, за усталени режим течења. Посебна пажња посвећена је анализи појаве изливања воде из корита, сагледавању услова течења при меродавним великим водама, утврђивању пропусне моћи корита и анализи утицаја предложених хидротехничких објеката на стабилност режима течења дуж предметне деонице.

Основна једначина која се користи у хидрауличком прорачуну представља једначину одржања енергије. (1). Решавањем ове једначине се одређују нивои воде у суседним попречним профилима. Једначина се

решава итеративним поступком, по деоницама ограниченим суседним профилима, при чему се енергетски губици услед трења и локалних отпора одређују применом Манингове формуле [4]. Коришћена је и једначина континуитета која се користи за решавање проблема устаљеног неједноликог течења (2).

$$\frac{v_1^2}{2g} + h_1 + Z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + Z_2 + \Delta E_{1-2} \quad (1)$$



Слика 3. Поставка Бернулијеве једначине за отворени ток два суседна речна профила

$$Q = A_1 V_1 - A_2 V_2 \quad (2)$$

За потребе прорачуна усвојен је низводни гранични услов, дефинисан као нормална дубина течења, односно као нагиб линије нивоа воде који одговара паду дна корита реке Лим. Хидраулички модел формиран је на основу геометрије корита дефинисане попречним профилима, уз усвајање одговарајућих Манингових коефицијената храпавости за минор корито и приобалне површине.

Гранични услови и улазни подаци дефинисани су применом карактеристичних протицаја добијених хидролошком анализом, који су коришћени за анализу постојећег и пројектованог стања корита. Као основни меродавни протицај за димензионисање усвојен је протицај велике воде вероватноће појаве 1%, који представља основу за проверу пропусне моћи и стабилности система заштите [5].

Хидрауличком анализом постојећег стања утврђено је да корито реке Лим на предметној деоници нема довољну пропусну моћ за пролаз меродавних великих вода, при чему долази до изливања воде на приобалне површине. Анализа нивоа воде и брзина течења указала је на неуједначен распоред брзина и локално повећане вредности, које могу довести до ерозије дна и косина корита.

У оквиру прорачуна анализирани су и параметри као што су брзине течења, Фрудов број (3) и карактер режима течења, што је омогућило свеобухватну оцену хидрауличких услова. Резултати анализе показују да је у пројектованом стању течење углавном субкритично, са стабилнијим режимом и равномернијом расподелом хидрауличких параметара.

$$Fr = \frac{Q^2 B}{g A^3} \quad (3)$$

Упоредна анализа постојећег и пројектованог стања показује да предложено техничко решење доводи до смањења нивоа воде, уједначавања брзина течења и значајног побољшања стабилности корита. На основу спроведених прорачуна може се закључити да пројектовано решење обезбеђује безбедан пролаз меродавних великих вода и значајно смањује ризик од плављења насеља Залуг.

4. ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ У РЕГУЛАЦИОНЕ ГРАЂЕВИНЕ

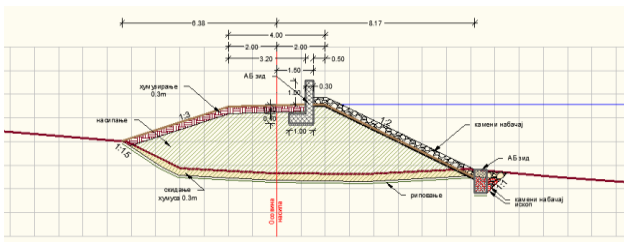
Техничко решење заштите насеља Залуг од великих вода реке Лим заснива се на резултатима спроведених хидролошких и хидрауличких анализа, са циљем обезбеђивања заштите од стогодишњих вода, смањења ризика од плављења и повећања безбедности становништва и инфраструктуре. Предложено решење обухвата примену хидротехничких објеката у складу са морфолошким карактеристикама корита и конфигурацијом терена, при чему је избор и распоред објеката прилагођен постојећем стању приобалног простора на предметној деоници.

За заштиту од поплава на левој обали реке Лим предвиђена је изградња одбрамбене линије у зони од км 69+741 до км 72+741, која се састоји од земљаних насипа, армирано-бетонских зидова и насипа са зидом на круни. Траса одбрамбене линије дефинисана је тако да обезбеди континуитет заштите брањеног подручја, уз уклињење у виши терен на крајевима појединих деоница и минимално заузимање околног земљишта.

Техничко решење обухвата четири деонице одбрамбене линије, различитог типа у зависности од локалних услова терена и положаја постојећих објеката. На деловима са довољним простором примењени су насипи са заштитним зидом на круни, док су на деоницама ограниченог простора и у близини постојећих објеката предвиђени самостални армирано-бетонски зидови. Коте круне насипа и зидова одређене су на основу меродавне велике воде вероватноће појаве 1%, уз усвојено сигурносно надвишење.

Ради обезбеђења стабилности и спречавања ерозије, небрањене косине насипа ојачане су каменом у бетону, уз примену анкерних армирано-бетонских греда, док су круне насипа и брањене косине хумузиране и затрављене. У оквиру решења предвиђена је изградња рампи, насипских капија и пропуста, чиме се обезбеђује функционалност система заштите и приступ брањеном подручју.

Применом предложеног техничког решења обезбеђује се безбедан пролаз меродавних великих вода реке Лим, значајно смањење плављених површина и унапређење стабилности одбрамбене линије, чиме се постиже ефикасна заштита насеља Залуг и припадајућег приобалног простора.



Слика 4. Карактеристичан попречни профил насипа

5. ЗАКЉУЧАК

На основу спроведених хидролошких и хидрауличких анализа може се закључити да предложено решење заштите насеља Залуг од великих вода реке Лим представља технички оправдано, хидраулички ефикасно и просторно прихватљиво решење. Применом усвојеног система одбрамбене линије, који обухвата земљане насипе, армирано-бетонске зидове и насипе са зидом на круни, обезбеђује се адекватна заштита од меродавних великих вода вероватноће појаве 1%, уз поштовање усвојених критеријума сигурносног надвишења. Оваквим приступом постиже се стабилан и контролисан режим течења дуж предметне деонице реке Лим.

Резултати хидрауличног моделовања показују да предложено решење значајно унапређује пропусну моћ корита и смањује ризик од изливања воде на приобалне површине. Упоредна анализа постојећег и пројектованог стања указује на смањење нивоа воде при меродавним протицајима, уједначенију расподелу брзина течења и побољшање услова стабилности корита. На тај начин се смањује могућност појаве ерозије дна и косина, као и негативних утицаја великих вода на стамбене објекте, пољопривредно земљиште и пратећу инфраструктуру у зони насеља Залуг.

Предложено техничко решење омогућава функционалност и поузданост система заштите, уз обезбеђен приступ брањеном подручју посредством рампи, насипских капија и пратећих објеката. Применом мера стабилизације косина и заштите конструктивних елемената обезбеђује се дугорочна трајност одбрамбене линије и њено прилагођавање условима терена. У целини посматрано, реализовано решење представља ефикасан модел заштите од поплава, који доприноси повећању безбедности становништва, очувању имовине и одрживом управљању приобалним простором дуж реке Лим.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Љубомир М. Савић (2009), Увод у хидротехничке грађевине, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд.
- [2] Проф. Др Срђан Колаковић (скрипта), Хидротехнички објекти и системи, Грађевински факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад.
- [3] Миодраг Б. Јовановић, Регулација река - Радови и грађевине, Грађевински факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад.
- [4] Миодраг Б. Јовановић, Регулација река – Речна хидраулика и морфологија, Грађевински факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад.
- [5] Јавно водопривредно предузеће „Србијаводе“. Критеријуми заштите од великих вода. Београд
- [6] Прохаска, С., и сар. (2014). Интензитети јаких киша у Србији. Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд.
- [7] Милићевић, М. (2001). Уређење водотокова. Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд.

Кратка биографија



Милан Туфегџић рођен је у Врбасу 1996. године. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинарство-Хидротехника одбранио је 2026. године.
Контакт: tufegmi@gmail.com