



Уређење реке Штире узводно од постојеће регулације

Regulation of the river Štira upstream of the existing regulation

Андреја Николић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм – ГРАЂЕВИНАРСТВО,
ХИДРОТЕХНИКА

Кратак садржај – У оквиру рада се сагледава уређење реке Штире на деоници узводно од постојеће градске регулације у Лозници, са аспекта заштите од великих вода и обезбеђивања стабилног режима течења. Анализа обухвата испитивање природних и просторних карактеристика сливног подручја, дефинисање меродавних протицаја великих вода применом хидролошких метода, као и хидрауличку анализу постојећег и разматраног регулисаног стања корита. У оквиру рада разматра се пропусна моћ корита, појава изливања воде у постојећем стању и могућности примене регулационих грађевина у циљу смањења ризика од плављења. Хидраулички прорачуни спроведени су применом једнодимензионалног модела у програмском пакету HEC-RAS, а добијени резултати представљају основу за дефинисање техничког решења уређења водотока.

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

Abstract – As part of the work, the regulation of the Štira river in the reach upstream of the existing urban regulation in Loznica is considered from the perspective of flood protection and ensuring a stable flow regime. The analysis includes the assessment of natural and spatial characteristics of the catchment area, the determination of design flood discharges using hydrological methods, and a hydraulic analysis of the existing and the considered regulated channel conditions. The study addresses the channel conveyance capacity, the occurrence of overtopping under existing conditions, and the applicability of river training structures aimed at reducing flood risk. Hydraulic computations were performed using a one-dimensional model in the HEC-RAS software, and the obtained results provide the basis for defining the technical solution for river regulation.

Keywords: (three to five): Flood flows, flood wave, hydrological and hydraulic analysis, HEC-RAS, SCS method, 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

Мањи водотоци представљају један од најосетљивијих елемената водног система, посебно у условима повећане учесталости екстремних падавина и изражених климатских промена. Због ограничене пропусне моћи корита и кратког времена концентрације отицаја, ови водотоци су склони наглом формирању поплавних таласа, што често доводи до изливања воде и угрожавања приобаљног простора [4]. Типичан пример мањег водотока у Србији је река Штира, која је предмет овог рада.

Река Штира је десна притока реке Дрине и протиче кроз подручје западне Србије, при чему својим током обухвата како брдске, тако и равничарске делове сливног подручја. Извориште реке налази се на падинама западне Борање, где се главни ток формира спајањем више изворишних кракова. Након изворишне зоне, река тече у правцу северозапада ка граду Лозници, где се у доњем делу тока улива у реку Дрину.

Слив реке Штире карактерише издужен облик и релативно мала површина, што условљава кратко време концентрације отицаја и изражену осетљивост на интензивне падавине [5]. У узводном делу слива доминира брдски терен са већим падовима, док се у доњем делу развија равничарска долина са благим нагибима и ширим поплавним простором. Оваква морфолошка разноликост условљава различите услове течења и транспортне способности дуж водотока.

Корито реке Штире показује значајне промене геометријских карактеристика дуж тока. У изворишном и средњем делу корито је уско и релативно дубоко, са израженим падовима и повећаним брзинама течења, док у доњем делу тока долази до проширења корита и смањења нагиба, што погодује таложењу наноса и изливању воде при већим протицајима. Доњи део тока кроз град Лозницу је регулисан и прилагођен урбаним условима, док узводно корито задржава природне морфолошке карактеристике и недовољну пропусну моћ за пролаз великих вода.

Оваква комбинација регулисаног и нерегулисаног дела тока доводи до сложених хидролошких и хидрауличких односа, посебно током периода обилних падавина, што представља основни разлог за разматрање мера уређења реке Штире на предметној деоници.

Предмет овог рада је сагледавање услова течења и разматрање могућности уређења реке Штире на деоници узводно од постојеће градске регулације, са циљем смањења ризика од плавлeња и обезбеђивања стабилног режима течења при великим водама.

2. ХИДРОЛОШКА АНАЛИЗА

Циљ хидролошке анализе у оквиру овог рада је одређивање карактеристичних протицаја великих вода за слив реке Штире, уз уважавање природних карактеристика сливног подручја и климатских услова.

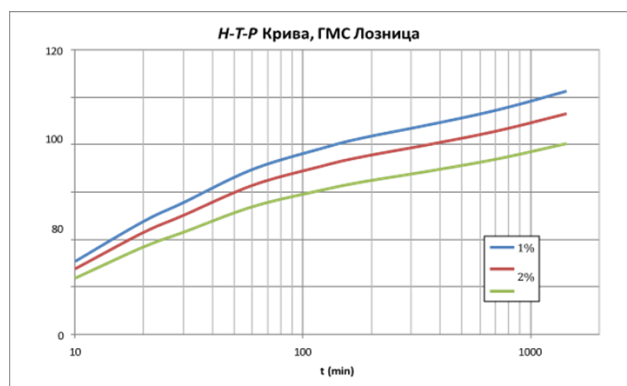
Интензитети јаких киша дефинисани су применом редуccionих кривих, утврђених на основу осматрања на главној метеоролошкој станици Лозница [8]. Редуccionоне криве формиране су на основу односа максималних висина падавина краћег трајања и одговарајућих максималних дневних падавина, према зависности датог једначином (1)

$$\psi_p^{(\tau)} = \frac{P_{max,p}(\tau)}{P_{max,dn,p}} \quad (1)$$

У циљу иновирања и усклађивања Н–Т–Р криве са новијим подацима, извршена је статистичка анализа максималних дневних падавина за период од 1952. до 2017. године, укључујући и мерења у периоду 2009–2017 [8]. Максималне висине падавина краћег трајања за поједине интервале трајања τ и вероватноће појаве p одређене су применом једначине (2).

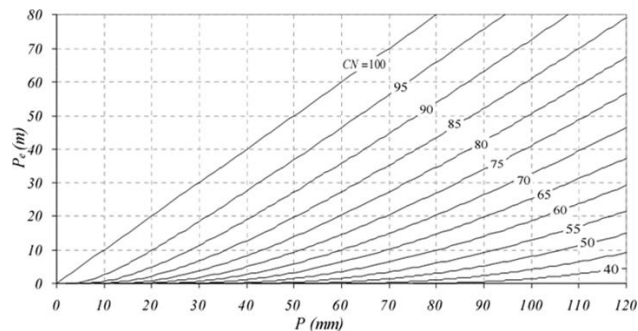
$$P_{\tau,p} = P_{max,dn,p} * \Psi(\tau) \quad (2)$$

Где $P_{max,dn,p}$ представља максималну дневну падавину вероватноће појаве p , а $\Psi(\tau)$ ординату редуccionоне криве јаких киша. На основу наведеног поступка дефинисана је меродавна Н–Т–Р крива, приказана на слици 1 [7].



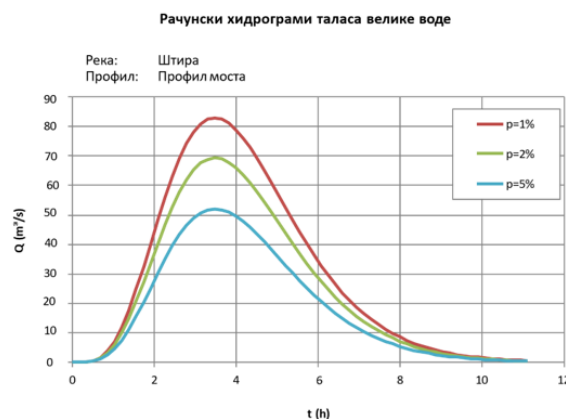
Слика 1. НТР зависност за ГМС Лозница

Ефективне падавине одређене су применом SCS методе, при чему је анализиран однос укупне и ефективне кише. Дијаграм односа укупне и ефективне падавине по SCS методи указује на утицај инфилтрације, задржавања воде у сливу и осталих губитака на формирање протицаја (слика 2) [5].



Слика 2. Дијаграм односа укупне и ефективне кише по SCS методи

На основу одређених ефективних падавина и примене методе синтетичког јединичног хидрограма формиран су рачунски хидрограми поплавних таласа великих вода [6]. Спроведеним поступком прорачуна добијени су максимални протицаји за вероватноће појаве $p=1\%$, $p=2\%$ и $p=5\%$, односно за повратне периоде од 100, 50 и 20 година. Рачунски хидрограм поплавног таласа великих вода приказан је на слици 3. Анализа добијених рачунских хидрограма омогућава сагледавање динамике поплавног таласа и интензитета протицаја за различите вероватноће појаве.



Слика 3. Рачунски хидрограм таласа велике воде

На основу спроведеног хидролошког прорачуна као меродавни протицај за димензионисање мера уређења корита усвојен је протицај велике воде вероватноће појаве 1%, који износи $Q_{1\%} = 82,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Усвојени меродавни протицај представља основни улазни параметар за хидрауличку анализу постојећег и регулисаног стања корита реке Штире и проверу пропусне моћи водотока.

3. ХИДРАУЛИЧКА АНАЛИЗА

Хидрауличка анализа представља наставак хидролошке анализе и има за циљ да, на основу меродавних протицаја, сагледа понашање тока реке Штире у постојећем и разматраном стању [3]. Док хидролошка анализа обезбеђује улазне протицаје, хидрауличка анализа омогућава одређивање нивоа воде, брзина течења и услова протицаја дуж посматране деонице водотока.

Анализа је извршена применом једнодимензионалног (1D) хидрауличног модела у програмском пакету HEC-RAS за устаљено течење [3]. Посебна пажња посвећена је анализи појаве изливања воде из корита, сагледавању услова течења у постојећем и разматраном регулисаном стању корита, утврђивању пропусне моћи водотока за пролаз меродавних великих вода, промени нивоа воде и утицају предложених регулационих мера на стабилност режима течења. [3]

Основна једначина одржања енергије, чијим решавањем се одређује ниво воде у задатим профилима, има облик дат једначином (2) [3].

$$Y_2 + Z_{dna,2} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_{dna,1} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (3)$$

Једначина се решава итеративним поступком, по деоницама ограниченим суседним попречним профилима, при чему се губици енергије услед трења и локалних отпора одређују применом Манингове формуле [3].

За хидраулички прорачун усвојен је низводни гранични услов. Низводни гранични услов дефинисан је као нормална дубина, односно као просечан нагиб линије нивоа воде који одговара нагибу дна корита [1].

Рачунски модел формиран је на основу геометрије корита дефинисане попречним профилима, уз усвајање одговарајућих Манингових коефицијената храпавости за минор корито и приобални простор. Гранични услови дефинисани су применом карактеристичних протицаја добијених хидролошком анализом, који су коришћени за проверу режима течења и пропусне моћи корита [1].

За потребе хидрауличног прорачуна анализирани су меродавни и рачунски протицаји. Наведени протицаји коришћени су за анализу постојећег и регулисаног стања корита, при чему је као основни меродавни протицај за димензионисање усвојен протицај велике воде вероватноће појаве 1%, $Q_{1\%} = 82,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Хидрауличком анализом постојећег стања утврђено је да корито реке Штире нема довољну пропусну моћ за пролаз меродавних великих вода, при чему у појединим попречним профилима долази до изливања воде из корита већ при мањим протицајима. Анализа нивоа воде и брзина течења показала је неуједначен распоред брзина, као и локално повећане вредности које могу довести до ерозије дна и косина корита [2].

У оквиру прорачуна посебно су анализирани брзине течења, као и тангенцијалних напона и Фрудовога броја, што је омогућило свеобухватну оцену хидрауличног режима.

Резултати указују да је течење у регулисаном кориту углавном субкритично, са стабилним условима течења и равномернијом расподелом хидрауличких параметара у односу на постојеће стање.

Упоредна анализа постојећег и регулисаног 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 регулисано корито обезбеђује безбедан пролаз меродавних великих вода и значајно смањење ризика од плавлена приобалног подручја.

4. ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ У РЕГУЛАЦИОНЕ ГРАЂЕВИНЕ

Техничко решење уређења реке Штире на деоници узводно од постојеће градске регулације заснива се на резултатима спроведених хидролошких и хидрауличких анализа, са циљем повећања пропусне моћи корита, смањења ризика од плавлена и обезбеђивања стабилног режима течења при меродавним великим водама. Примењен је скуп регулационих мера и грађевина, усклађених са морфолошким карактеристикама водотока и локалним хидрауличким условима, при чему је избор и распоред интервенција прилагођен уоченим проблемима у кориту и приобалном простору.

За заштиту од поплава на предметној деоници предвиђени су заштитни насипи на левој и десној обали водотока, којима се обезбеђује заштита приобалног простора и пратеће инфраструктуре од дејства меродавних великих вода [1]. Траса насипа дефинисана је тако да се минимизује заузимање околног земљишта и обезбеди континуитет заштите брањеног подручја, уз поуздано укореењавање у виши терен на крајевима деонице. Облик и конструкција насипа прилагођени су хидротехничким захтевима, уз примену биотехничких мера ради стабилизације косина, заштите од ерозије и бољег уклапања у природно окружење [9].

У циљу стабилизације корита и обезбеђивања повољних хидрауличких услова, предвиђено је извођење обалоутврда дуж читавог минор корита, као и дуж небрањених косина заштитних насипа. Примена камене облоге залирене цементним малтером омогућава заштиту дна и обала од ерозије, смањење хидрауличких отпора и повећање пропусне моћи водотока при великим водама, чиме се обезбеђује дуготрајна стабилност регулисаног корита [2].

На појединим деоницама водотока предвиђена је израда просека корита, као значајна регулациона мера за побољшање услова течења и стабилизацију трасе корита. Просецима се обезбеђује концентрисање протицаја у дефинисаном профилима, исправљање неповољне геометрије и смањење ерозионих процеса који су у постојећем стању довели до израженог меандрирања и локалних сужења [2]. На овим деоницама примењен је правилан трапезни попречни профил, који обезбеђује адекватну пропусну моћ и повољне услове транспорта воде и наноса, уз рационално коришћење ископаног материјала за уређење терена.

Ради смањења подужног пада реке Штире, ограничења ерозионе моћи тока и стабилизације подужног профила, примењене су каскаде као попречне регулационе грађевине. Каскаде су позициониране на местима прелома нивелете и промене типског

попречног профила корита, чиме је обезбеђено њихово функционално и конструктивно уклапање у трасу регулације. Типске армирано-бетонске каскаде, са геометријом усклађеном са профилем корита, додатно су осигуране каменом обалоутврдом, чиме се спречава подлокавање и локална ерозија и обезбеђује уједначен и стабилан режим течења [2].

Поред наведених мера, предвиђено је проширење и профилисање минор корита формирањем типског попречног пресека, који обезбеђује безбедан пролаз меродавних великих вода у оквиру јединственог система регулационих мера. Дуж целе регулисане деонице планирано је чишћење корита од постојеће вегетације, жбуња и коренских система који умањују протицајни профил. Овом мером смањују се хидраулички отпори, повећава пропусна моћ корита и обезбеђују повољнији услови течења, као и стабилност регулисаног профила и правилно функционисање осталих регулационих грађевина [1].

Дуж предметне деонице евидентирани су постојећи и планирани објекти који утичу на режим течења и који су усклађени са решењем уређења корита. Постојећи водозахват за воденицу задржава се, уз локално уређење корита и контролисано захватање воде, док је за планирани нови водозахват дата концептуална препорука повољнијег позиционирања у зони каскаде. Постојећи саобраћајни мостови, чији протицајни профили нису довољни за пролаз меродавних великих вода, предвиђени су за уклањање и замену новим мостовским конструкцијама одговарајућег распона. Дуж целе регулисане деонице обезбеђен је сервисни пут, који омогућава приступ и редовно одржавање корита и регулационих објеката.

5. ЗАКЉУЧАК

На основу спроведених анализа може се закључити да предложено решење регулације реке Штире представља технички оправдан, хидраулички ефикасан и просторно прихватљив модел уређења водотока. Применом међусобно усклађених регулационих мера обезбеђује се стабилан и контролисан режим течења при великим водама, уз значајно повећање пропусне моћи корита и смањење ризика од плављења приобалног подручја. Истовремено, предложено решење доприноси стабилизацији корита и смањењу ерозионих процеса, чиме се обезбеђује дугорочна функционалност и одрживост речног система.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Љубомир М. Савић (2009), Увод у хидротехничке грађевине, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд.
- [2] Миодраг Б. Јовановић, Регулација река - Радови и грађевине, Грађевински факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад.
- [3] Миодраг Б. Јовановић, Регулација река – Речна хидраулика и морфологија, Грађевински факултет Универзитета у Новом Саду, Нови Сад.

[4] Др Марина Бабић Младеновић (2018), Уређење водотока

[5] Јовановић, С. (1989). Хидрологија. Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд.

[6] Брајковић, М., Јовановић, С. (1989). Синтетички јединични хидрограми за сливове у Србији. Водопривреда, бр. 3–4, Београд.

[7] Прохаска, С., и сар. (2014). Интензитети јаких киша у Србији. Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд.

[8] Републички хидрометеоролошки завод Србије (РХМЗ). Хидролошки и метеоролошки подаци за ГМС Лозница, период 1952–2017.

[9] Милићевић, М. (2001). Уређење водотокова. Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд.

Кратка биографија:



Андреја Николић рођена је у Сомбору 1992. године. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинарство-Хидротехника одбранила је 2026. године.

Контакт:

andrejanik26692@gmail.com