

ЕКСТРЕМНЕ ХИДРОЛОШКЕ СИТУАЦИЈЕ НА РЕЦИ ДУНАВ*

Владислава БАРТОШ ДИВАЦ,
Др Марина БАБИЋ МЛАДЕНОВИЋ
Институт за водопривреду "Јарослав Черни", Београд

РЕЗИМЕ

Објекти за заштиту од великих вода дуж српског сектора Дунава димензионисани су на велику воду стогодишњег повратног периода. Стога појава поплавног таласа са максималним протицајем који одговара или је већи од меродавне велике воде представља екстремну ситуацију.

Екстремни талас велике воде на секторима Дунава у Србији низводно од великих притока може настати само услед истовремене појаве таласа великих вода на Дунаву и једној или више притока.

У овом раду су приказани резултати анализе могућих услова настанка екстремних ситуација на Дунаву. Испитане су различите комбинације таласа великих вода карактеристичних вероватноћа појаве на главном току Дунава, Тиси и Сави. На крају је дата оцена статистичке значајности рачунских хидрограма великих вода на профилу Велико Градиште, односно на доњем току Дунава кроз Србију.

Кључне речи: Дунав, поплазни талас, коинциденција, вероватноћа.

1. УВОД

Са аспекта одбране од поплава, под великим водама неког водотока најчешће се подразумевају протицаји код којих долази до изливања воде из основног (минор) корита реке, плављења приобалног подручја (ако није заштићено) или налегања воде на одбрамбене линије, које потенцијално угрожава заштићено приобално подручје.

Хидротехнички и водопривредни објекти у речним токовима, као што су насипи, бране, загати,

водозахвати и друго, граде се на одређени век трајања. Углавном су за њихову изградњу потребна значајна улагања, а касније су потребна и средства за њихово одржавање и експлоатацију. Због тога се не сме дозволити њихово неконтролисано плављење и рушење.

Димензионисање хидротехничких и водопривредних објеката врши се на меродавне велике воде које, по правилу, имају мале вероватноће превазилажења, односно релативно велике повратне периоде. Овако високи захтеви у погледу степена заштите хидротехничких и водопривредних објеката произилазе, углавном, из висине штете која би могла настати услед плављења, као последица недовољног капацитета објеката, односно пропусне моћи корита реке.

Избор вероватноће појаве, односно повратног периода меродавне велике воде за димензионисање хидротехничких и водопривредних објеката и система веома је значајан и сложен економско-технички проблем. Имајући у виду наведене околности, избору меродавних вода мора се приступити веома пажљиво и свеобухватно. Неопходно је спровести обимне и исцрпне анализе свих релевантних фактора на релацији поплава-потенцијалне штете. Дужина повратног периода меродавне велике воде у функцији је намене и значаја објекта који се штити, вредности материјалних добара, броја становника лоцираних на брањеном подручју, карактера водног режима и других природних и економских чинилаца.

Имајући у виду стохастички карактер процеса отицаја у сливу, па и процеса формирања великих вода, произилази да без обзира на повратни период

* Овај чланак резултат је рада на пројекту - 410020 Интегрално уређење водотока и одбрана од поплава у контексту одрживог развоја и заштите природних богатстава.

меродавне велике воде, увек постоји реалан ризик да ће меродавна велика вода бити превазиђена током експлоатационог периода или чак током периода изградње.

Поплаве могу бити и последица хаварије, односно отказа појединих заштитних објеката (насипа, брана, устава), као и грешака и пропуста учињених при пројектовању, извођењу, одржавању и управљању објектима.

2. ВЕЛИКЕ ВОДЕ НА РЕКАМА У СРБИЈИ

Због разноликости водних токова по величинама сливних подручја, плувиометријским режимима, рељефу, геолошком саставу, биљном покривачу и другим карактеристикама, велике воде на различитим водотоцима у Србији се међусобно разликују, како по периоду настајања, тако и по другим параметрима, а посебно по апсолутним вредностима максималних водостаја и протицаја, дужини трајања и интензитету пораста и опадања водостаја.

Бујични токови су водотоци брдско-планинског региона. Одликују се великим уздужним падом речног корита, реда величине 1-10%. Величине водотока и кореспондентних сливова могу варирати у ширем дијапазону, обухватајући категорије бујичних јаруга, потока и бујичних река. Уобичајено је да се под бујичним токовима подразумевају водотоци са површином слива мањом од 100 km². Са аспекта речне хидраулике, бујичне токове одликују изразита нестационарност, силовитост и турбулентност. Од посебног је значаја двофазни карактер бујичних токова, са великом концентрацијом чврсте фазе.

Бујични карактер хидролошког режима манифестује се великим распоном протицаја и карактеристичном формом хидрограма великих вода. Однос протицаја великих вода и малих вода је реда величине $Q_{\max}/Q_{\min}>1000$, за разлику од великих алувијалних водотока где је $Q_{\max}/Q_{\min}<10$. С друге стране, трајање великих вода је врло кратко, реда величине неколико часова. Хидрограми бујичних таласа имају кратку временску базу, при чему је посебно кратко време пораста (узлазна грана), због брзог формирања и наглог надоласка великих вода.

Бујичне поплаве чини скуп феномена који се при наиласку таласа великих вода одигравају у

бујичном водотоку и приобаљу. Поред класичне манифестације поплава (услед изливања великих вода из корита), упоредо се јављају и феномени бујичне лаве, одрона и клизишта. Бујични таласи имају врло изражено стрмо чело ("бујична песница"), које има велику деструктивну моћ. Чело таласа руши дрвеће и дрвене објекте у кориту и приобаљу и захвата сав отпад из овог појаса. Услед тога, бујични таласи проносе велике масе "површинског наноса", које се заустављају и гомилају при наиласку на уско грло у речном кориту (природно сужење, мостови са стубовима у кориту и др.). То проузрокује велики допунски успор, који се суперпонира са основним таласом великих вода и повећава размере плављења узводно од загушења.

Мањи водотоци са бујичним карактером хидролошког режима су прелазна категорија између бујичних токова, с једне стране, и великих алувијалних река, с друге стране. Категорија "мањих водотока" приближно се може дефинисати помоћу површине слива са дијапазоном $100 < A < 1000 \text{ km}^2$. На територији Србије има преко 100 водотока ове категорије, који имају своје специфичне карактеристике.

У категорији мањих водотока, бујични карактер хидролошког режима испољава се, пре свега, специфичном генезом, брзом концентрацијом и кратким трајањем великих вода. Таласи великих вода имају типичне карактеристике бујичних таласа, са наглим порастом и кратком временском базом, као и изразито великим транспортом суспендованог и вученог наноса.

За разлику од класичних бујица, код категорије мањих водотока није увек подједнако изражен бујични карактер великих вода. У зависности од распореда и интензитета падавина у сливу, генеза великих вода може бити различита, у просторном и временском смислу. Отуда се јављају и таласи великих вода са дужом временском базом и мањим максималним протицајем, али и типични бујични таласи, са карактеристичном формом хидрограма.

Велике равничарске водотоке (Дунав, Сава, Тиса, Морава и друге) одликује однос $Q_{\max}/Q_{\min}<10$, велике осцилације водостаја ($H_{\max}-H_{\min}>8$ до 10 m), спор пораст и дуго трајање великих вода. У приобаљу ових водотока углавном се налазе значајна добра која је потребно штитити. У случају

појаве екстремне ситуације на овим водотоцима може доћи до рушења или оштећења водопривредних и других објеката и система у окружењу, што угрожава материјална добра и људске животе у браћеном подручју. Стога је појава екстремних хидролошки ситуација односно појава поплавних таласа малих вероватноћа појава анализирана на овом типу водотока.

3. РЕЖИМ ВЕЛИКИХ ВОДА ДУНАВА И ГЛАВНИХ ПРИТОКА

Реке Дунав, Тиса и Сава су највећи водотоци на територији Србије. Због различите величине сливова, велике воде на Дунаву и главним притокама углавном не коинцидирају, мада постоји одређена вероватноћа оваквих догађаја.

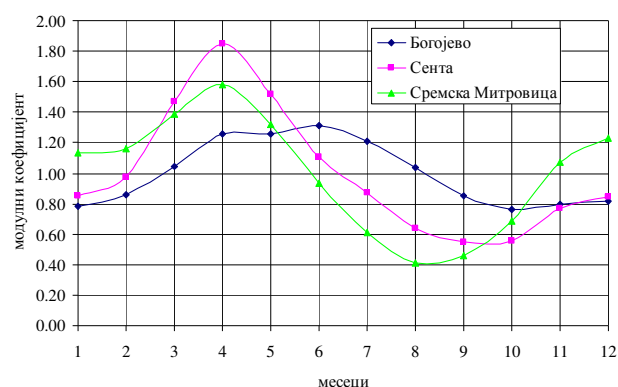
Дунав, Сава и Тиса имају снежно-кишни режим отицаја. Велике воде се обично јављају у пролећним месецима, услед топљења снега у горњим деловима слива. Ова правилност режима протицаја илустрована је на слици 1 унутаргодишњом расподелом модуларних коефицијената (однос средње месечних протицаја и средњег вишегодишњег протицаја) у периоду 1931-2006. година.

Дунав, као водоток са највећом сливном површином (површина слива 251 590 km² до х.с. Богојево, 570 375 km² до х.с. Велико Градиште) има најмање варијације модуларног коефицијента које се крећу у дијапазону од 0,76 у октобру до 1,31 у јуну. Издвајају се два периода - воднији период од почетка марта до краја августа (просечни месечни протицаји изнад вишегодишњег просека) и маловодни период септембар – март.

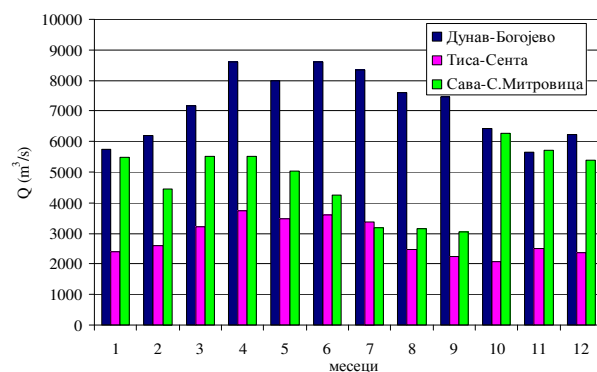
Веће варијације уочавају се на Сави (површина слива до х.с. Сремска Митровица 87 966 km², до ушћа у Дунав 95 500 km²), где се модуларни коефицијент креће од 0,42 у августу до 1,58 у априлу. Воднији период на Сави јавља се у току зиме и пролећа, од средине октобра до средине маја.

На Тиси (површина слива до х.с. Сента 141 715 km², до ушћа у Дунав 157 200 km²) су варијације модуларног коефицијента још веће (од 0,55 у септембру до 1,85 у априлу). Воднији период на Тиси почиње нешто раније него на Дунаву, већ у фебруару, а завршава се средином јуна.

Са аспекта одбране од поплава, веома је важан и унутаргодишњи режим великих вода, односно појава максималних протицаја по месецима унутар године. На слици 2 приказани су максимални месечни протицаји на Дунаву, Тиси и Сави, према осматрањима у периоду 1931-2006. година.

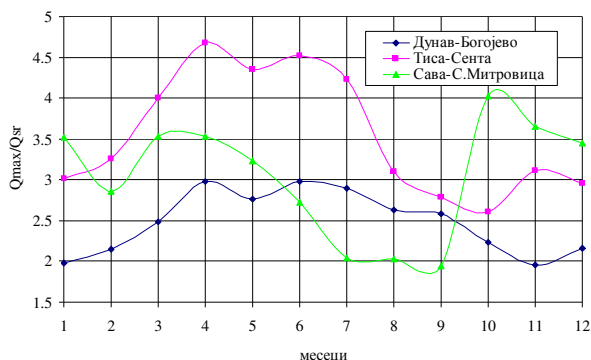


Слика 1. Унутаргодишња расподела модуларних коефицијената Дунава, Саве и Тисе



Слика 2. Максимални протицаји по месецима

На слици 3. је приказан однос максималних месечних и средњег вишегодишњег протицаја. Максимални протицаји Дунава код Богојева јављали су се у априлу, мају, јуну и јулу, а релативно значајни таласи су могући од марта до септембра. Апсолутни максимум у досадашњем периоду осматрања износио је 8 630 m³/s, реализован за време поплавног таласа 2006. године. На слици 4. се уочава да вредности максималних протицаја Дунава узводно од Тисе могу да достигну троструку вредност просечног вишегодишњег протицаја.



Слика 3. Однос Q_{max}/Q_{sr} по месецима

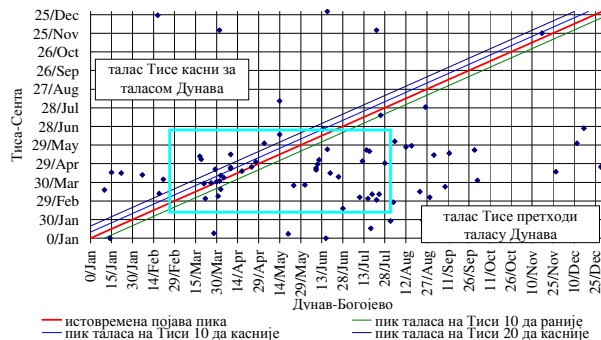
Максимални протицаји на Тиси код Сенте су се јављали у периоду март - јун. Распон Q_{max}/Q_{sr} је шири него на Дунаву и достиже чак 4,7 (за максималну осмотрену вредност $Q=3\,730\text{ m}^3/\text{s}$ регистровану 1932. године).

Таласи на Сави се јављају у пролеће (март-мај) и у периоду јесен-зима (октобар-јануар). Екстремни протицај је регистрован у октобру ($Q=6\,275\text{ m}^3/\text{s}$, 1974. године). У овом сливу је присутна изразита варијабилност протицаја, тако да однос Q_{max}/Q_{sr} варира од 1,95 до 4,02.

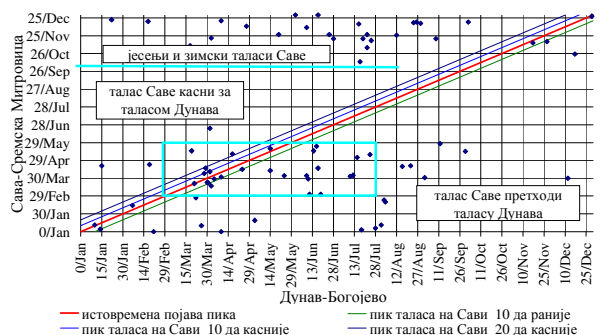
Како топљење снега настаје услед повишених температура ваздуха на већем простору, постоји вероватноћа истовремене појаве пролећних таласа великих вода на Дунаву и притокама. Ова појава је илустрована корелацијама датума појаве максималних годишњих протицаја Дунава и Тисе (слика 4) и Дунава и Саве (слика 5).

Са слике 4 се види да таласи Тисе углавном претходе таласима великих вода на Дунаву. Међутим, у периоду када се јављају велике воде на Дунаву (ограничен плавим правоугаоником) поплазни таласи Тисе претходе више од 20 дана дунавским таласима, тако да не могу створити екстремну ситуацију.

Корелација датума појаве максималних протицаја Дунава код Богојева и Саве (слика 5), показује да је истовремена појава екстремних протицаја на овим водотоцима мало вероватна, јер се на Сави таласи великих вода јављају у јесење-зимском периоду. У периоду када је могућа суперпозија таласа Дунава и Саве (поље означено правоугаоником на слици 5) талас великих вода Саве у већини случајева претходи таласу Дунава.



Слика 4. Корелација датума појаве максималних годишњих протицаја Дунава и Тисе



Слика 5. Корелација датума појаве максималних годишњих протицаја Дунава и Саве

У случају јаких киша на великом делу слива Дунава, може се формирати талас великих вода, са кратким трајањем и наглим порастом протицаја. Пример је талас Дунава у августу 2002. године, који је на узводном сектору Дунава кроз Србију био значајан, али није коинцидирао са већим водама Тисе и Саве, тако да низводно од Београда није формирао екстремну ситуацију. Ова појава је мало вероватна, али се не може потпуно занемарити.

3. РАЧУНСКИ ХИДРОГРАМИ ВЕЛИКИХ ВОДА ДУНАВА И ПРИТОКА

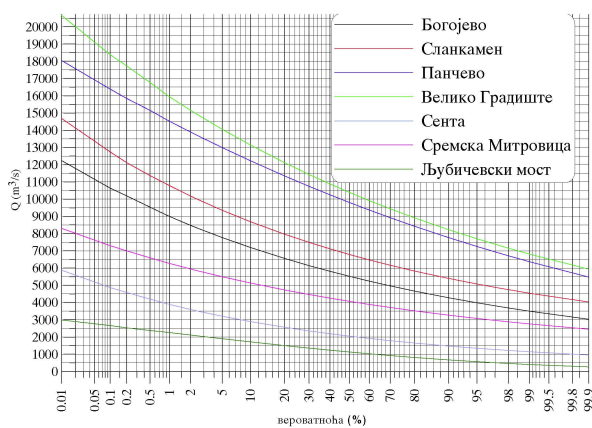
Протицаје Дунава и притока прати Републички хидрометеоролошки завод Републике Србије, чија је законска обавеза да прати стање квантитета површинских вода на свим значајнијим водотоцима систематским мерењима и осматрањима на хидролошким станицама.

За дефинисање рачунских хидрограма великих вода на профилима хидролошких станица на Дунаву (Богојево), Тиси (Сента), Сави (Сремска

Митровица) и Великој Морави (Љубичевски мост) коришћени су подаци РХМЗ Србије из периода 1931-2006. година. Мање притоке нису разматране, полазећи од претпоставке да њихове велике воде не могу битно да утичу на формирање екстремног поплавног таласа Дунава, због битно различите величине сливова.

На наведним профилима дефинисани су рачунски хидрограми различитих вероватноћа појава применом композиционе методе. Конструкција рачунског хидрограма великих вода композиционом методом заснована је на одређивању таквог хидрограма, чији делови, карактеристични по максималној величини отицаја, одговарају по запремини отицаја одређеној вероватноћи појаве. Дефинисање рачунских хидрограма великих вода извршено је на основу података из периода 1931-2006. година.

Максимални протицаји воде карактеристичних вероватноћа појаве Q_0^p одређени су применом Pearson III и Log Pearson III расподеле (слика 6). На свим профилима, осим на х.с. Љубичевски мост на Великој Морави, усвојена је максимална вредност пика поплавног таласа добијена применом Log Pearson III закона расподеле.



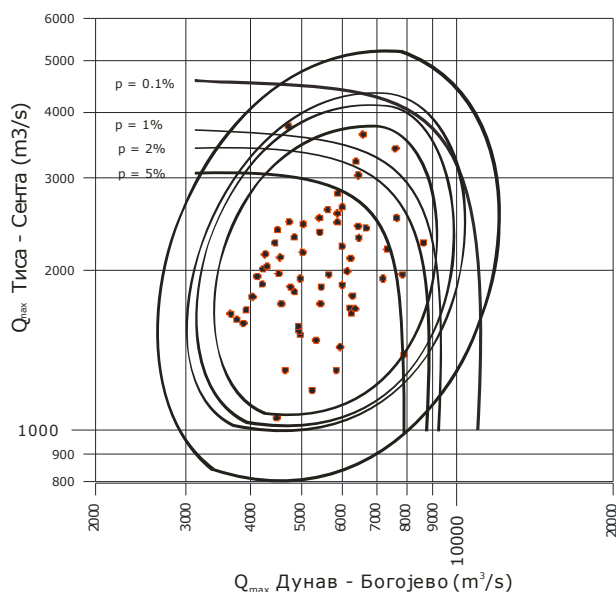
Слика 6. Вероватноћа појаве максималних годишњих протицаја

4. КОИНЦИДЕНЦИЈА ТАЛАСА ВЕЛИКИХ ВОДА НА ДУНАВУ И ПРИТОКАМА

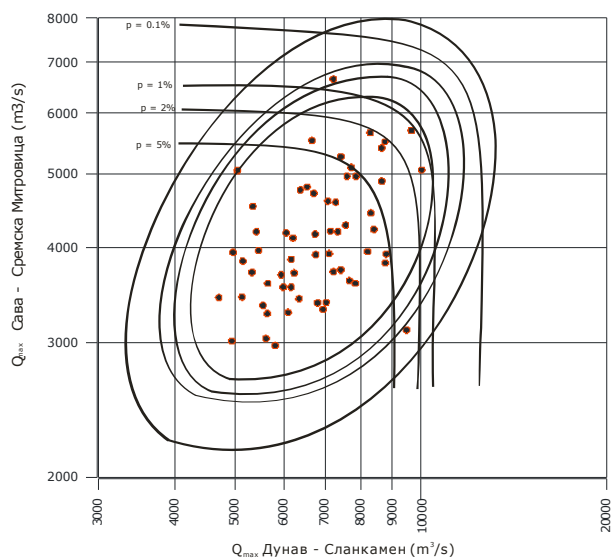
На сваком од ушћа притока (Дунав-Тиса, Дунав-Сава и Дунав-Велика Морави) различите комбинације таласа великих вода на главном току и притоци могу имати исту вероватноћу

превазилажења коинциденције појаве. То је илустровано графичким приказом коинциденције протицаја на ушћу Тисе у Дунав (слика 7), ушћу Саве (слика 8) и ушћу Великој Морави (слика 9).

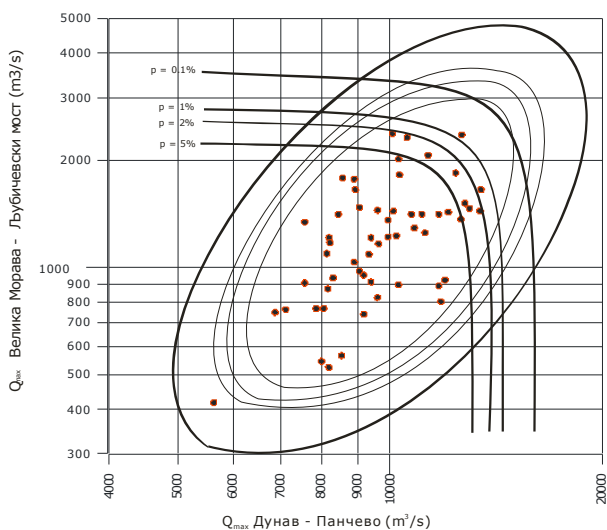
Комбинације максималних протицаја у таласима великих вода на Дунаву и притокама одређене на основу раније извршених прорачуна [1].



Слика 7. Коинциденција појаве максималних протицаја Дунава и Тисе



Слика 8. Коинциденција појаве максималних протицаја Дунава и Саве



Слика 9. Коинциденција појаве максималних протицаја Дунава и Велике Мораве

5. ПРОПАГАЦИЈА ТАЛАСА ВЕЛИКИХ ВОДА НА ДУНАВУ И ПРИТОКАМА

Прорачун пропагације таласа великих вода на Дунаву извршен је применом адаптираног модела Калињин-Миљуков [2]. Моделом је обухваћен главни ток Дунава од хидролошке станице Богојево до х.с. Велико Градиште, река Тиса од бране "Нови Бечеј" до ушћа у Дунав, река Сава од хидролошке станице Сремска Митровица до ушћа у Дунав и река Велика Морава од хидролошке станице Љубичевски Мост до ушћа у Дунав. Улазни подаци за модел су рачунски хидрограми великих вода Дунава, Тисе, Саве и Велике Мораве. Излаз из модела су протицаји Дунава на профилима х.с. Сланкамен, х.с. Панчево и х.с. Велико Градиште.

Рачунска шема хидролошког модела пропагације приказана је на слици 10. На њој су означени сектори Дунава, на којима се таласи великих вода формирају услед коинциденције таласа на главном току и притокама:

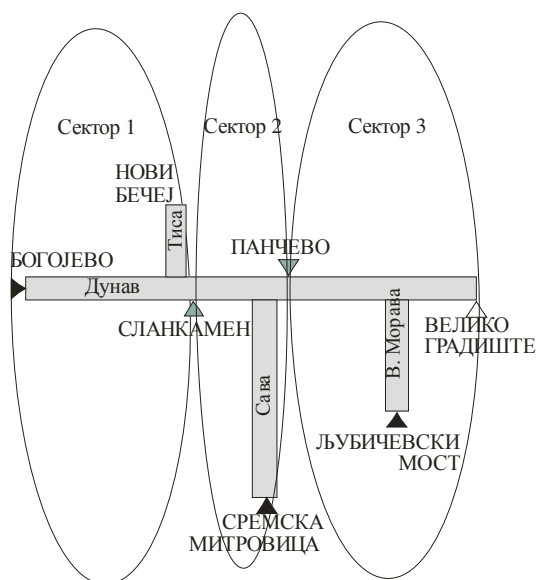
Сектор 1: Улаз: Дунав (Богојево) и Тиса (Сента); Излаз: Дунав (Сланкамен)

Сектор 2: Улаз: Дунав (Сланкамен) и Сава (С. Митровица); Излаз: Дунав (Панчево)

Сектор 3: Улаз: Дунав (Панчево) и Велика Морава (Љубичевски мост); Излаз: Дунав (Велико Градиште).

Улазни подаци за модел пропагације дефинисани су као комбинације таласа Дунава и притока које

имају одређене вероватноће превазилажења коинциденције појаве великих вода (5%, 2%, 1% и 0,1%).



Слика 10. Шематски приказ модела

За анализу настанка таласа великих вода на сектору 1, са дијаграма коинциденције за чвор ушћа Тисе у Дунав одабране су комбинације максималних протицаја различитих вероватноћа појаве, којима су придружени одговарајући рачунски таласи великих вода. За све одабране комбинације прорачун пропагације урађен је за више варијанти, које се разликују по времену појаве:

- истовремена појава пика таласа на Дунаву и Тиси,
- појава пика поплавног таласа Тисе 10 дана пре пика таласа на Дунаву и
- појава пика поплавног таласа Тисе 10 и 20 дана после пика таласа на Дунаву.

За поплавне таласе Дунава **на сектору 1** (између ушћа Тисе и ушћа Саве) констатовано је да:

- Са аспекта максималних протицаја најнеповољнија варијанта настаје при истовременој појави пикова поплавних таласа Дунава и Тисе. У том случају пик таласа Дунава код Сланкамена јавља се један дан после пика таласа на Богојеву.
- Уколико поплавни талас Тисе претходи 10 дана дунавском, пик поплавног таласа Дунава код Сланкамена се такође јавља 1 дан после Богојева.

Међутим, мењају се облик таласа и величина максималног протицаја.

- Уколико поплавни талас на Тиси касни 10 или 20 дана у односу на дунавски, пик поплавног таласа код Сланкамена касни два дана у односу на Богојево (за вероватноће превазилажења 5%, 2% и 1%) односно један дан (за вероватноћу превазилажења 0,1%). Величина максималног протицаја се смањује, а трајање великих протицаја се продужава. Ово је нарочито наглашено уколико талас на Тиси касни 20 дана у односу на дунавски.

За таласе добијене пропагацијом на сектору 1, одређени су одговарајући таласи великих вода на реци Сави, помоћу дијаграма коинциденције у чвору ушће Саве у Дунав. Пропагација је рађена за све варијанте разматране на сектору 1 (истовремена појаву пика на Дунаву и Тиси и појава пика поплавног таласа Тисе 10 дана раније, 10 и 20 дана касније), за следеће комбинације:

- истовремена појава пика таласа Дунава, Тисе и Саве,
- пикови поплавних таласа Дунава и Саве се јављају истовремено, а пик таласа Тисе претходи 10 дана,
- пикови поплавних таласа Дунава и Саве се јављају истовремено, а пик таласа Тисе касни 10 и 20 дана,
- пик таласа на Сави се јавља 10 односно 20 дана после пика таласа на Дунаву, а пик таласа Тисе касни 20 дана у односу на Дунав.

Констатовано је да поплавни таласи Дунава на **сектору 2** (између ушћа Саве и ушћа Велике Мораве) имају следеће карактеристике:

- Са аспекта максималних протицаја најнеповољнија је истовремена појава пикова поплавних таласа Дунава, Саве и Тисе. У том случају пик таласа Дунава код Панчева се јавља један дан после пика таласа на Богојеву.
- У ситуацији када се пикови поплавних таласа Дунава и Саве јављају истовремено, а пик таласа Тисе претходи 10 дана, јавља се временско померања пика поплавног таласа Дунава код Панчева за 1 дан у односу на Богојево. Међутим, мењају се облик таласа и величина максималног протицаја.
- Уколико се поплавни таласи Дунава и Саве појаве истовремено, а поплавни талас Тисе касни 10 или 20 дана, пик поплавног таласа код Панчева помера се за 1 дан у односу на Богојево. Вредност максималног протицаја се смањује и продужава

се трајање великих протицаја. Као и на узводном сектору, смањење пика и продужење трајања таласа Дунава низводно од ушћа Саве нарочито је наглашено у варијанти када талас на Тиси касни 20 дана у односу на дунавски.

- Када се поплавни талас на Сави јави 10 дана после таласа на Дунаву, уз поплавни талас Тисе који 20 дана касни у односу на Дунав, пик таласа низводно од ушћа Саве касни 10 дана у односу на Богојево. Овај талас је сложен талас са два пика, дугог трајања.
- Када се на Сави и Тиси истовремено јаве поплавни таласи, 20 дана после дунавског, на сектору низводно од ушћа Саве се формира талас чији пик касни 10 дана у односу на пик таласа код Богојева. Пропагирани талас је сложен талас са два пика, изузетно дугог трајања.

На основу дијаграма коинциденције у чвору ушће Мораве у Дунав (слика 9), констатовано је да је коинциденција великих вода Дунава и Велике Мораве веома слабо изражена. Стога су таласи великих вода Дунава на сектору 3 одређени на основу рачунских таласа на профили Панчево, уз претпоставку да је улаз из слива Велике Мораве константан - поплавни талас вероватноће појаве 50% (што је на страни сигурности). Прорачун пропагације таласа је урађен за све комбинације таласа на Дунаву, Тиси и Сави које су разматране на сектору 2.

Констатовано је таласи великих вода на **сектору 3** (низводно од ушћа Велике Мораве) имају следеће карактеристике:

- Најнеповољнија варијанта са аспекта максималних протицаја остварује при истовременој појави пикова поплавних таласа на Богојеву, Сремској Митровици и Сенти. У том случају пик пропагираног таласа се јавља један дан после пика таласа на Богојеву.
- Поплавни талас на профили Велико Градиште, настао услед истовремене појаве поплавних таласа Дунава и Саве, уз талас Тисе који претходи 10 дана, имао би пик истовремено кад и Дунав код Богојева. Облик таласа и величина максималног протицаја су различити у односу на случај истовремене појаве пика таласа на свим улазним водотоцима.
- Уколико се поплавни таласи на Богојеву и Сремској Митровици јаве истовремено, а поплавни талас на Тиси касни 10 или 20 дана, пик поплавног таласа код Великог Градишта касни

1 дан у односу на Богојево, вредност максималног протицаја се смањује и продужава се трајање великих протицаја.

- У случају да се најпре јави поплавни талас на Дунаву код Богојева, 10 дана касније талас на Сави, а после 10 дана и талас Тисе, пик таласа на сектору 3 биће померен 10 дана у односу на Богојево. Пропагирани талас је сложен талас.

- Уколико се поплавни таласи на Тиси и Сави јаве истовремено, 20 дана после таласа на Дунаву код Богојева, пик сложеног поплавног таласа на најнизовнијем сектору Дунава касни 10 дана у односу на пик таласа код Богојева.

6. ОЦЕНА СТАТИСТИЧКЕ ЗНАЧАЈНОСТИ ЕКСТРЕМНИХ ПОПЛАВНИХ ТАЛАСА НА ДОЉЕМ ТОКУ ДУНАВА

Прикази комбинација таласа Дунава и притока карактеристичних вероватноћа превазилажења коинциденције појаве великих вода ($p_{пр}=5\%, 2\%, 1\%$ и $0,1\%$) и резултујућих таласа на профилу Велико Градиште дати су је у табелама 1-4.

Ознаке у табелама 1-4 се следеће:

$p_{пр} (\%)$ – вероватноћа превазилажења коинциденције појаве великих вода

$p (\%)$ – вероватноћа појаве пика поплавног таласа

t (дани) – померање пика поплавног таласа у односу на пик таласа Дунава код Богојева

$Q_{max} (m^3/s)$ – максимални протицај (пик) поплавног таласа

T (година) – повратни период појаве пика поплавног таласа

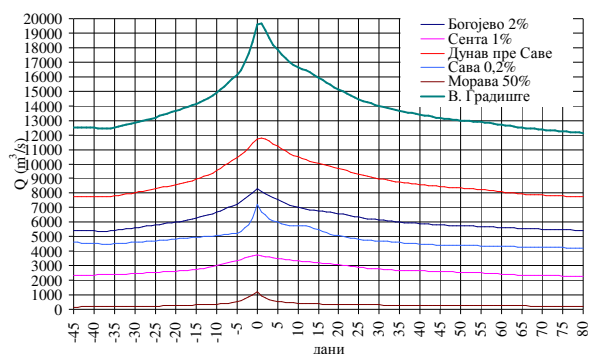
- екстремна ситуација

У овом раду су графички приказани (на слици 11) само рачунски таласи чија комбинација има вероватноћу превазилажења коинциденције појаве таласа великих вода $0,1\%$. Резултујући талас велике воде Дунава код Великог Градишта имао би вероватноћу појаве $p=0,05\%$ (повратни период око 2 000 година).

У табелама 1-4 је дата оцена статистичке значајности рачунских поплавних таласа на профилу х.с. Велико Градиште (вероватноћа појаве и повратни период максималног протицаја). Статистичка значајност таласа је оцењена на основу криве расподеле вероватноће појаве максималних

годишњих протицаја на профилу х.с. Велико Градиште. Ова расподела је дефинисана прилагођавањем Лог Pearson III закона расподеле подацима о максималним годишњим протицајима из периода 1931-2006. година.

Анализом рачунских таласа на профилу Велико Градиште констатовано је да се екстремне ситуације могу јавити за вероватноће превазилажења коинциденције таласа великих вода Дунава, Тисе и Саве мање од 5% .



Слика 11. Екстремна ситуација повратног периода око 2 000 година

Табела 1. Варијанте прорачуна и резултати пропагације ($p_{пр}= 5\%$)

P _{пр}	Карактеристике улазних поплавних таласа					Карактеристике излазних поплавних таласа				
	Дунав - Богојево	Тиса - Сента	Сава - С. Митровица	Дунав - Велико Градиште	Дунав - Богојево	Тиса - Сента	Сава - С. Митровица	Дунав - Велико Градиште	Дунав - Богојево	
	p	p	t	p	t	Q _{max}	t	p	T	
5	10	40	-10	20	0	14422	0	3,91	26	
			0	30	0	14506	1	3,66	27	
			10	30	0	14149	1	4,72	21	
			20	20	0	14016	1	5,21	19	
			20	20	10	12714	10	14,20	7	
	20	20	-10	20	0	12461	20	16,68	6	
			0	20	0	14268	0	4,37	23	
			0	30	0	14295	1	4,29	23	
			10	20	0	14226	1	4,49	22	
			20	10	0	14204	1	4,56	22	
	50	5	20	10	10	12887	1	12,51	8	
			20	10	20	12585	20	15,47	6	
			-10	10	0	14265	0	4,38	23	
			0	20	0	14204	1	4,56	22	
			10	10	0	14141	1	4,74	21	
50	5	20	10	0	13696	1	6,97	14		
		20	10	10	12408	1	17,20	6		
		20	10	20	12116	20	20,08	5		

Табела 2. Варијанте прорачуна и резултати пропације ($R_{пр}=2\%$)

R _{пр}	Карактеристике улазних поплавних таласа						Карактеристике излазних поплавних таласа				
	Дунав - Богојево		Тиса - Сента		Сава - С. Митровица		Дунав - Велико Градиште				
	р	т	р	т	р	т	Q _{max}	т	р	Т	
5	5	20	-10	10	0	15690	0	1,32	76		
			0	10	-10	15185		1,97	51		
			0	10	0	16064	1	0,93	108		
			10	10	0	15688	1	1,32	75		
			20	5	0	15593	1	1,45	69		
			20	5	10	14378	10	4,04	25		
	10	10	20	5	20	14157	20	4,70	21		
			-10	5	0	15861	1	1,10	91		
			0	10	-10	15001		2,30	43		
			0	10	0	15859	1	1,11	90		
			10	5	0	15782	1	1,21	83		
			20	5	0	15335	1	1,77	56		
	20	5	20	5	10	14112	10	4,83	21		
			20	5	20	13896	20	5,87	17		
			-10	5	0	15623	0	1,41	71		
			0	10	-10	14723		3,02	33		
			0	10	0	15615	1	1,42	71		
			10	5	0	15478	1	1,59	63		
	50	2,5	20	2,5	0	15365	1	1,74	58		
			20	2,5	10	14068	10	4,96	20		
			20	2,5	20	13876	20	5,98	17		
			-10	2,5	0	15213	0	1,93	52		
			0	5	-10	14349		4,13	24		
			0	5	0	15226	0	1,91	52		
10	2,5	10	2,5	0	15004	1	2,30	44			
		20	2,5	0	14570	1	3,47	29			
		20	2,5	10	13249	10	9,42	11			
		20	2,5	20	13080	20	10,62	9			

Табела 3. Варијанте прорачуна и резултати пропације ($R_{пр}=1\%$)

R _{пр}	Карактеристике улазних поплавних таласа						Карактеристике излазних поплавних таласа				
	Дунав - Богојево		Тиса - Сента		Сава - С. Митровица		Дунав - Велико Градиште				
	р	т	р	т	р	т	Q _{max}	т	р	Т	
1	2	10	-10	10	0	16586	1	0,61	164		
			0	20	-10	15675		1,34	75		
			0	20	0	16540	1	0,64	157		
			10	10	0	16537	1	0,64	156		
			20	5	0	16430	1	0,71	142		
			20	5	10	15300	10	1,82	55		
	5	5	20	5	20	15164	20	1,99	50		
			-10	5	0	16647	0	0,57	174		
			0	10	-10	15782		1,21	83		
			0	10	0	16656	1	0,57	176		
			10	5	0	16527	1	0,65	155		
			20	2,5	0	16414	1	0,71	140		
	10	2,5	20	2,5	10	15205	10	1,94	52		
			20	2,5	20	15090	20	2,13	47		
			10	2,5	-10	16762	0	0,50	198		

R _{пр}	Карактеристике улазних поплавних таласа						Карактеристике излазних поплавних таласа			
	Дунав - Богојево		Тиса - Сента		Сава - С. Митровица		Дунав - Велико Градиште			
	р	т	р	т	р	т	Q _{max}	т	р	Т
1	2	0	5	-10	15863		1,10	91		
		0	5	0	16783	1	0,50	202		
		10	2,5	0	16563	1	0,62	160		
		20	2	0	16232	1	0,82	121		
		20	2	10	14966	10	2,37	42		
		20	2	20	14897	20	2,50	40		

Табела 4. Варијанте прорачуна и резултати пропације ($R_{пр}=0,1\%$)

R _{пр}	Карактеристике улазних поплавних таласа						Карактеристике излазних поплавних таласа				
	Дунав - Богојево		Тиса - Сента		Сава - С. Митровица		Дунав - Велико Градиште				
	р	т	р	т	р	т	Q _{max}	т	р	Т	
0,1	1	2	-10	0,5	0	18686	1	0,09	1140		
			0	0,5	-10	18230	0	0,12	816		
			0	0,5	0	19068	1	0,07	1375		
			10	0,5	0	18491	1	0,10	1048		
			10	0,5	10	17948	10	0,17	601		
			10	0,5	20	17011	20	0,42	236		
		2	20	0,2	0	18835	1	0,08	1221		
			20	0,2	10	17728	10	0,20	496		
			20	0,2	20	17785	20	0,19	521		
			-10	0,2	0	19274	1	0,06	1548		
			0	0,2	-10	18403	0	0,10	1011		
			0	0,2	0	19673	1	0,05	2045		
	5	1	10	0,2	0	19008	1	0,08	1332		
			10	0,2	10	18162	10	0,13	751		
			10	0,2	20	17162	20	0,38	265		
			20	0,2	0	18596	0	0,09	1096		
			20	0,2	10	17422	11	0,30	337		
			20	0,2	20	17553	20	0,26	391		
		0,5	10	0,2	0	18924	1	0,08	1276		
			0	0,2	-10	18108	0	0,14	707		
			0	0,2	0	19357	1	0,06	1630		
			10	0,2	0	18594	1	0,09	1095		
			10	0,2	10	17779	10	0,19	519		
			10	0,2	20	16687	20	0,55	182		
10	2,5	20	0,2	0	18202	1	0,13	788			
		20	0,2	10	16922	10	0,45	221			
		20	0,2	20	17126	20	0,39	257			

Генерално се констатује да су вероватноће појаве пикова поплавних таласа код Великог Градишта знатно мање него вероватноће превазилажења коинциденције појаве поплавног таласа Дунава и притока (разматране су 5, 2, 1 и 0,1%). Изузетак су случајеви таласа који настају када су пикови таласа на Тиси и Сави померени 10 или 20 дана у односу на пик поплавног таласа Дунава на профилу Богојево.

На основу приказаних података може се закључити следеће:

- Повратни периоди Q_{max} за разматране комбинације улазних хидрограма 5%-не вероватноће превазилажења коинциденције великих вода Дунава и главних притока су 5-27 година. Најдуже повратне периоде (22-27 година), имају таласи који настају услед истовремене појаве пика поплавних таласа на Дунаву, Тиси, Сави и Великој Морави. Као што је већ речено, овакви случајеви не спадају у категорију екстремних ситуација.
- Повратни периоди Q_{max} за вероватноћу превазилажења коинциденције великих вода Дунава и главних притока 2% су 9-108 година. Као и у претходном случају, најдуже повратне периоде (52-108 година) имају таласи настали истовременом појавом великих вода на Дунаву и притокама. Најнеповољнији случај би настао при истовременој појави поплавних таласа вероватноће појаве 5% на Дунаву, 20% на Тиси, 10% на Сави и 50% на Великој Морави.
- У случају вероватноће превазилажења коинциденције великих вода 1% повратни периоди Q_{max} на профилу Велико Градиште су 40-202 године. При истовременој појави таласа на свим улазним профилима, повратни периоди су 157-202 године, при чему најнеповољнија ситуација настаје у случају појаве 10% на Дунаву, 2,5% на Тиси, 5% на Сави и 50% на Великој Морави.
- Разматрани случајеви таласа са вероватноћом превазилажења коинциденције великих вода Дунава и главних притока 0,1% резултују на Великом Градишту екстремним ситуацијама, које имају повратне периоде 182-2045 година. Истовремена појава поплавних таласа на свим водотоцима је најнеповољнија (повратни периоди 1375-2045 година), а најекстремнији случај би се јавио при појави поплавних таласа вероватноће појаве 2% на Дунаву, 1% на Тиси, 0,2% на Сави и 50% на Великој Морави.

Као што је већ речено, оцена статистичке значајности рачунских таласа заснива се на низу података из периода 1931-2006. година. Међутим, уколико би се оцена статистичке значајности вршила на основу криве расподеле за други период осматрања, резултати би били другачији. Приказ

утицаја дужине низа на промену параметара расподеле вероватноће максималних протицаја на профилу х.с. Велико Градиште дат је у табели 5, док је графички приказ кривих расподеле за различите периоде обраде дат на слици 12. Карактеристични повратни периоди, оцењени на основу кривих расподела вероватноће за различите периоде, приказани су у табели 6.

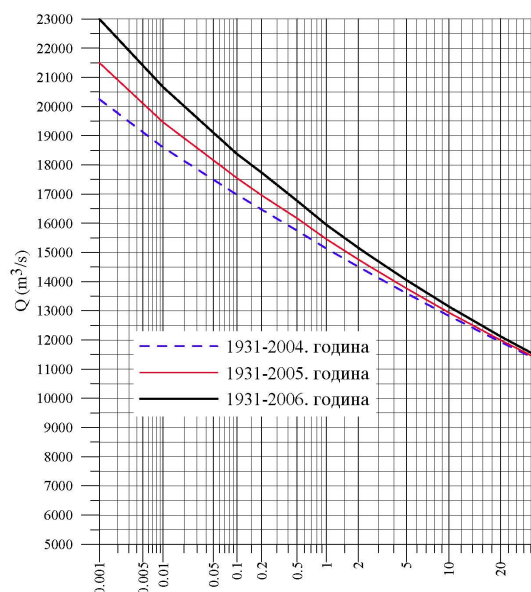
На основу приказаних резултата види се да повратни периоди великих вода Дунава на профилу Велико Градиште у великој мери зависе од укључивања историјских (изузетних) догађаја.

Табела 5. Статистички параметри Pearson III и Log Pearson III расподеле добијени прилагођавањем подацима за различите периоде

период	1931-2004.		1931-2005.		1931-2006.	
	Pearson	Log Pearson III	Pearson	Log Pearson III	Pearson	Log Pearson III
број података	74		75		76	
$Q_{5\%}$	10446	4,012	10492	4,014	10567	4,017
σ	1814	0,076	1845	0,077	1948	0,0794
C_v коефицијент варијације	0,174	0,019	0,176	0,019	0,184	0,0198
C_s коефицијент асиметрије	0,346	-0,108	0,337	-0,104	0,518	0,0157

Табела 6. Кореспондентни повратни периоди према кривама расподеле вероватноће за различите периоде

подаци из периода		
1931-2004	1931-2005	1931-2006
повратни период		
100 000	14 859	3 551
10 000	1 975	1 096
1 000	510	230
500	259	147
200	125	80
100	69	49
50	39	27
40	31	23
20	17	13
10	8,9	7,6
5,0	4,8	4,4
3,3	3,2	3,1
2,5	2,5	2,4
2,0	2,0	2,0



Слика 12. Вероватноће појаве максималних протицаја на профилу Велико Градиште

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Coincidence of the Flood Flow of the Danube River and its Tributaries, The Danube and its Basin – A
- [2] HydroLogical Monograph, Follow-up volume IV, Regional Co-operation of the Danube Countries in
- [3] the Frame of International HydroLogical Programme of UNESCO, Bratislava, 1999.
- [4] Симулациони модел слива реке Саве, Трећа фаза, Свеска 2Б - Хидролошко-хидраулички модели пропагације и трансформације, 1990. год.
- [5] Упутство за управљање ХЕ "Ђердап" при екстремно великим водама, Институт Јарослав Черни, 2007.

EXTREME HYDROLOGICAL SITUATIONS ON THE DANUBE RIVER

by

Vladislava BARTOŠ DIVAC, Dr Marina BABIĆ MLADENOVIĆ,
Institute for the development of water resources Jaroslav Černi, Belgrade

Summary

Flood defense structures along the Serbian reach of the river Danube were built to enable the protection from floods of return periods once in 100 years. Therefore, the appearance of flood wave with peak discharge equal or higher of 100-years value is considered as an extreme situation.

Extreme flood wave along stretches of the river Danube downstream of its large tributaries can emerge only in the case of simultaneous appearance of high waters on the Danube itself and on one or more tributaries.

This paper presents some results of the analysis of conditions that may lead to extreme flood situations on the river Danube. Different combinations of flood waves on the Danube, the rivers Tisza and Sava were investigated. Finally, the statistical ranking is presented of calculated flood waves at the Veliko Gradiste cross section, characterizing the lower part of the Danube in Serbia .

Key words: Danube, flood wave, coincidence, probability

Redigovano