

УГРОЖЕНОСТ ПУТЕВА I И II РЕДА ОД ПОЈАВЕ ПОПЛАВА У СЛИВУ ВЕЛИКЕ МОРАВЕ

VULNERABILITY OF ROADS I AND II ROW FROM FLOOD IN THE VELIKA MORAVA BASIN

Нада Живановић^{1*}, Рената Пузовић^{1*}, Милутин Стефановић^{1*}

Институт за водопривреду „Јарислав Черни“, ул. Јарослава Черног 80, Пиносава,
Београд, Србија

Извод: Поплаве и бујичне поплаве, представљају најчешће елементарне непогоде које могу да проузрокују вишенедељне прекиде саобраћаја (*Стефановић at al., 2014*). Кише великог интензитета и нагло отапање снега у горњим деловима речних сливова најчешћи су узроци поплава. Огромна количина воде која се слива у речна корита има велику кинетичку енергију. Бујична поплава представља нагли надолазак воде у речном кориту, оптерећене високом концентрацијом чврсте фазе наносом који резултира изливањем из корита. Вода у бујичним токовима достиже брзину од 5 до 10 метара у секунди и са собом повлачи огромне количине наноса који су последица деловања ерозивних процеса. Циљ израде Студије угрожености путева I и II реда од појаве поплава и бујичних поплава је регистровање места (стационажа) на мрежи путева угрожених појавом поплава и бујичних поплава и дефинисање стратегије заштите путне мреже од екстремних падавина и последично великих вода ($Q_{1\%}$) у сливу Велике Мораве (без слива Јужне и Западне Мораве). Из Студије је произашао и предлог одређених приоритета у погледу мера и радова које треба предузети ради постизања адекватног нивоа заштите од поплава и бујичних поплава.

Кључне речи: поплаве, путеви I и II реда, противерозионе мере

Abstract: Floods and torrential floods are the most common natural disasters that can cause several weeks of traffic disruptions. Heavy rains and sudden melting of snow in the upper parts of river basins are the most common causes of floods. The huge amount of water that flows into riverbeds has great kinetic energy. A torrential flood is a sudden influx of water in a riverbed, burdened by a high concentration of solid phase sediment that results in overflow from the bed. Water in torrents reaches a speed of 5 to 10 meters per second and brings with it huge amounts of sediment that are a consequence of the action of erosive processes. The aim of the Study of endangerment of roads of I and II order from floods and torrential floods is to register places (stationing) on the network of roads endangered by floods and torrential floods and to define the strategy of road network protection from extreme rainfall and consequent high waters ($Q_{1\%}$) Morava (excluding the South and West Morava basins). The Study also resulted in a proposal of certain priorities in terms of measures and works to be undertaken in order to achieve an adequate level of protection against floods and torrential floods.

Keywords: floods, I and II order roads, anti - erosion measures

*nada.zivanovic@jcerni.rs, renata.puzovic@jcerni.rs, milutin.stefanovic@jcerni.rs

1. УВОД

Слив Велике Мораве заузима око 8% од укупне територије Србије и заузима њен централни део са значајним саобраћајницама (Слика 1). Укупна дужина државних путева у оквиру слива износи 1712 km. Услед промене климе и физичко-географских карактеристика слива долази до честе појаве поплава и бујичних поплава, које највеће штете наносе управо саобраћајној инфраструктури и објектима.

Циљ овог студијског истраживања је да се утврди степен угрожености путева I и II реда од појаве поплава у сливу Велике Мораве, као и да се прикаже предлог решења за смањење ризика од поплава.



Слика 1 Мрежа државних путева у оквиру слива Велике Мораве

У оквиру издвојене мреже путева за истражно подручје издвојена је и регистровано 874 локације на стационажној мрежи путева I и II реда за које је извршена процена ризика од поплава и дефинисана стратегија заштите од појаве велике воде. Регистроване локације представљају прелазе путева преко водотокова, као и деонице пута које су угрожене задржавањем воде у близини трупца пута или на самом путу. Сви предложени радови и мере, који ће утицати на режим велике воде и на заштиту од великих вода дефинисани су према критеријуму степена заштите државним путевима I и II реда.

2. МЕТОД РАДА

С обзиром да званична методологија није дефинисана законским прописима нити признатом стручном литературом, за потребе реализације предметног пројекта коришћена је методологија за оцену ризика, у складу са одговарајућим критеријумима. Методологија

је креирана за потребе израде претходних Студија угрожености путева I и II реда од појаве поплава у сливу Јужне Мораве, у сливу Саве, у сливу Западне Мораве, у сливу Дрине и Лима (2018,2019,2020). Током реализације овог пројекта и оцене угрожености путева I и II реда, као и прелаза, коришћена је методологија оцењивања (бодовања) на основу три доминантна критеријума. Критеријуми за оцмену угрожености путева од бујичних поплава заснивају се на хидролошким карактеристикама (максимални протицај одређене вероватноће појаве), хидрауличким карактеристикама (површина попречног пресека пропуста или мостовског отвора; површина попречног пресека речног корита непосредно низводно и узводно од пропуста или моста; коефицијент рапавости услед већег или мањег присуства вегетације; засутост корита, пропуста и мостова ерозионим материјалом) и антропогеним утицајима (дивље депоније у речним коритима и у зонама пропуста). Критеријуму који су коришћени су:

- Специфичан отицај велике воде, вероватноће појаве $p=1\%$;
- Површина попречног пресека пропуста или мостовског отвора, у зони укрштања путева I и II реда са водотоковима;
- Процена обраслости речног (поточног) корита у зони укрштања са путевима I и II реда; процена засутости наносом и комуналним отпадом.

3. РЕЗУЛТАТИ СА ДИСКУСИЈОМ

3.1 Геопросторне карактеристике истражног подручја Велике Мораве

Велика Морава настаје спајањем Јужне и Западне Мораве близу Сталаћа, малог града и централне железничке раскрснице у централној Србији. Од тог места до ушћа у Дунав североисточно од Смедерева Велика Морава је дуга 185 km. Ушће у Дунав је између села Кулич и Дубравица, великог угљеног басена Костолац.

У непосредном сливу Велике Мораве издвајају се три главне целине рељефа: Велико Поморавље, које обухвата широку долину Велике Мораве од Сталаћа до ушћа; затим већи део Шумадије у којој се истичу површи, изнад којих се уздижу ниске острвске планине са котлинама и широким долинама; и део Источне Србије који је у Карпатско-балканској зони, коју одводњавају најиздашније десне притоке Велике Мораве.

Притоке Велике Мораве су кратке по дужини. Најдужа је Јасеница (79 km) а друге су ретко преко 50 km. Од непосредних притока веће количине воде Великој Морави доносе њене десне притоке Ресава и Црница, које одводњавају Бељаницу и Кучај, док су леве притоке које одводњавају источне делове Шумадије мање богате водом. Веће десне притоке су: Јовановачка река, Крежбински поток, Црница, Раваница и Ресава. Леве притоке су бројније: Каленићка река, Лугомир, Белица, Осаоница (или Осаница), Лепеница и Рача. Многе од њих нису богате водом, али током кишних година оне изазивају велике поплаве, што је главни проблем целог моравског слива. На слици (Слика 2) приказана је хидрографска мрежа слива Велике Мораве са већим подсливовима.



Слика 2 Хидрографска карта слива са већим подсливовима

3.2 Геолошке и педолошке карактеристике истражног подручја Велике Мораве

Велико Моравски басен са геолошког аспекта представља изузетно сложену структурну форму, и уважавајући елементе познавања досадашњих услова појава и миграција подземних вода, представља генерални дрен за све површинске и подземне воде централног дела територије Републике Србије.

Геоморфолошку слику ширег комплекса леве и десне долине Велике Мораве од Сталаћа до ушћа у Дунав код Костолца, чине две морфолошке целине: горње и доње Поморавље између којих се налази Багрданско сужење (теснац). Горњи део чини пространа Параћинско-јагодинска котлина. На југу ова котлина, преко Ражањске преседлине, везује се са Алексиначком котлином док се на југозападу долина Западне Мораве спаја са Крушевачком котлином.

Долина Велике Мораве усечена је у језерско-маринским седиментима који су наталожени у току медитерана, сармата, панона, понта у некадашњем заливу Паратетиса. Дно долине прекривено је квартарним наслагама а на долинским странама има лесних оаза. Стране су изграђене и од неогених и старијих седимената. Најстаријих, палеозојских стена има у Багрданској клисури и на источној страни Јухора.

Поморавље је Панонска макрорегија и мезорегија перипанонске Србије. То је геотектонска целина - тектонски ров створен у пиринејској фази и испуњен језерским седиментима, те се разликује од брежуљкасте Шумадије и планинско-котлинске источне Србије (Анђелковић, 1988).

Постојећа геолошка подлога условила је доминантан правац педогенезе и појаву одређених типова земљишта на истраживаном подручју. Укупно за предметно подручје, највеће површине заузима тип гајњача са 42% учешћа и тип земљишта смоница са 23% учешћа у укупној површини подручја. Осим ова два доминантна типа земљишта, заступљен је и тип земљишта алувијум са 10 %, скелетоидно земљиште са 8 %, а затим смеђе-кисело земљиште и рендзине на једром кречњаку са по око 4 % учешћа у укупној површини подручја. Преостали типови земљишта заузимају 2% или мање укупне површине истражног подручја.

3.3 Начин коришћења земљишта на истражном подручју Велике Мораве

Долина Велике Мораве и њени околни предели су привредно веома активни крајеви наше земље. Развијено је ратарство, сточарство, воћарство, рударство. Као последица освајања нових пољопривредних површина, узгојем култура и на већим надморским висинама, данас је слив Велике Мораве у највећем обиму под њивама и пашњацима.

Карта основног земљишног покривача истражног подручја преузета је из Corine Land Cover базе података за 2018. годину за Србију. Према карти основног земљишног покривача, површине су класификоване у 22 класе од 44 класа CLC номенклатуре.

Пољопривредне површине доминирају са преко 65,6 % од укупне површине предметног подручја. Шуме и полуприродна подручја покривају скоро 28,6 % површине (широколисне шуме – 24,4 %), земљиште класификовано као вештачке површине покрива скоро 5,3 % површине и остатак од приближно 0,5 % класификовано је као влажно подручје и водени басени.

3.4 Хидролошки прорачун великих вода

Задатак хидролошке анализе великих вода је да се дефинишу карактеристике великих вода у задатим профилима. За потребе ове хидролошке анализе, срачунати су максимални протоци велике воде за вероватноће појаве од 1%, 2%, 5% и 10%, односно за повратне периоде од 100, 50, 20 и 10 година.

За потребе прорачуна меродавних великих вода у задатим профилима примењен је модел падавине-отицај, који се заснива на теорији синтетичког јединичног хидрограма за детерминисање вршне ординате јединичног отицаја, као и на SCS методи за одређивање ефективних падавина.

Напомиње се да на разматраним водотоцима до сада нису вршена никаква хидролошка осматрања и мерења, тако да су коришћене методологије које се у пракси користе за хидролошки неизучене сливове.

Основне морфолошке карактеристике водотока и сливова: површина слива, дужина тока и уравни пад најдужега тока на сливу, одређени су на основу топографских карата размере 1:25.000 и на основу јавно доступног дигиталног модела терена просторне резолуције 25x25 (2020)

3.4.1 Анализа киша јаког интензитета

За потребе ове хидролошке анализе коришћени су подаци са падавинских станица на истражном подручју (укупно размотрено 33 станице), као и са главних метеоролошких станица (ГМС Смедеревска Паланка, Крагујевац и Ћуприја).

На самом истражном подручју се мерења помоћу плувиографа врше само на Главним метеоролошким станицама Смедеревска Паланка, Крагујевац и Ћуприја. За дефинисање максималних висина киша одређеног повратног периода и трајања кише, на конкретним сливним подручјима, коришћена су својства редукционих кривих јаких киша:

$$P_{\max, p}^{\tau} = \varphi^{\tau} \cdot P_{\max, \text{dn}, p}$$

где су: $P_{\max, p}^{\tau}$ - максимална висина падавина повратног периода p , и трајања кише τ , φ^{τ} - коефицијент редукције за трајање кише τ и $P_{\max, \text{dn}, p}$ - максималне дневне падавине повратног периода p .

Како се цело разматрано подручје налази између три главне метеоролошке станице (Смедеревска Паланка, Крагујевац и Ћуприја) усвојено је да се коефицијент редукције на конкретним сливним подручјима рачуна на основу све три редукционе криве:

$$\varphi^{\tau} = \sum_{i=1}^3 w_i \cdot \psi_i^{\tau}$$

где су: w_i - тежински фактор, ψ_i^{τ} - ордината редукционе криве са i -те ГМС, за трајање кише τ

Тежински фактор је одређен методом инверзне раздаљине тежишта разматраног слива и ГМС на следећи начин:

$$w_i = \frac{\frac{1}{d_i}}{\sum_{i=1}^3 \frac{1}{d_i}}$$

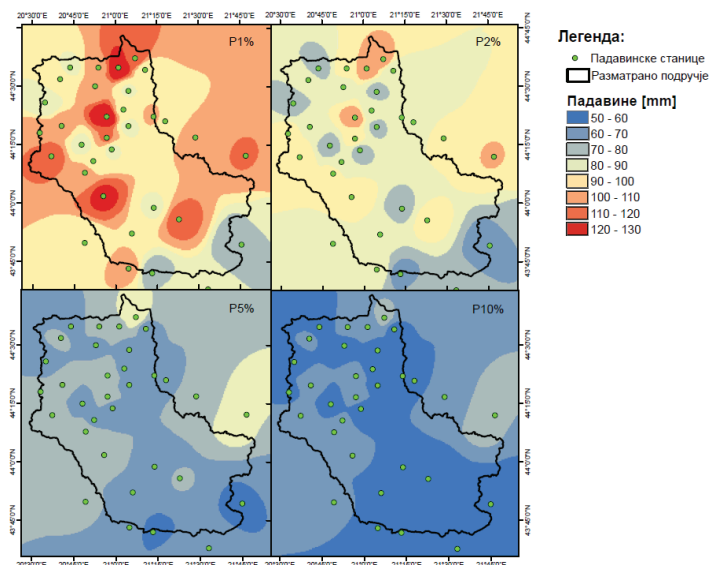
Где d_i предстаља растојање од тежишта разматраног слива до ГМС.

Вредности годишњих максимума дневних падавина за кишомерне станице на истражном подручју преузете су из документације (2009).

3.4.2 Прорачун максималних дневних падавина за појединачне сливове

Макималне падавине одређеног повратног периода за појединачна сливна подручја рачунате су на основу просторног распореда падавина за 33 падавинске и 3 главне метеоролошке станице.

Просторни распоред максималних дневних падавина одређен је методом изохијета. Интерполација вредности максималних дневних падавина са станица извршена је помоћу "IDW" (Inverse Distance Weighting) методе, за целокупну површину истражног подручја, за све разматране вероватноће појаве.



Слика 3 Просторни приказ изохијета максималних дневних падавина за повратне периоде: 100 год. (горе лево), 50 год. (горе десно), 20 год. (доле лево) и 10 год. (доле десно)

Као реферетна вредност за сваки појединачни слив узета је просечна вредност падавина одређеног повратног периода на том подручју (сливу), на основу распореда максималних дневних падавина

3.4.3 SCS метода за ефективну кишу

Губици, односно ефективне падавине рачунате су по методи SCS, коју је развила Америчка агенција за заштиту земљишта (Soil Conservation Service - SCS, danas National Resource Conservation Service - NRCS).

Основна поставка SCS методе за губитке кише је да је висина ефективне кише P_e увек мања или једнака укупној висини кише P , а да је вода упијена у земљиште након почетка отицаја I_a увек мања или једнака максималном капацитету тла S .

Количина воде коју земља упије пре него што почне отицај назива се почетним губитком I_a тако да је максимална „потенцијална“ ефективна киша $P - I_a$. Претпоставка SCS методе је да је однос стварне и потенцијалне ефективне кише и стварних и потенцијалних губитака једнак, односно:

$$\frac{P_e}{P - I_a} = \frac{I}{S}$$

при чему важи

$$P = P_e + I_a + I$$

Из претходна два израза следи да је

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)}$$

Проучавањем великог броја експерименталних сливова, дошло је до везе између почетног I_a (енг. initial abstraction), и максималног капацитета SS земљишта:

$$I_a = 0,2 \cdot S$$

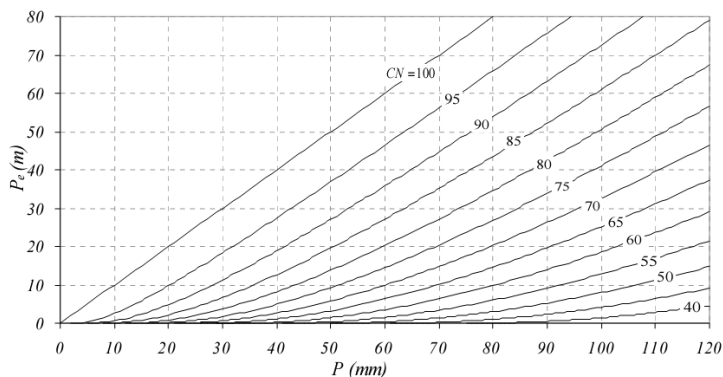
Уношењем овог израза, следи да су ефективне падавине::

$$P_e = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{(P + 0,8 \cdot S)}$$

Уместо капацитета земљишта S , уводи се тзв. број криве отицаја CN као параметар у горњој једначини. Број CN је без димензије и вредности му се крећу између 1 и 100, а његова веза са S је дата са:

$$S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

где се S добија у mm. За непропусне и водене површине CN узима вредност 100, док је за природне површине $CN < 100$. Веза између P , P_e и CN представља SCS дијаграм, слика 6. Овај дијаграм важи за нормалне услове отицаја.



Слика 4 Дијаграм односа укупне и ефективне кише по SCS методи

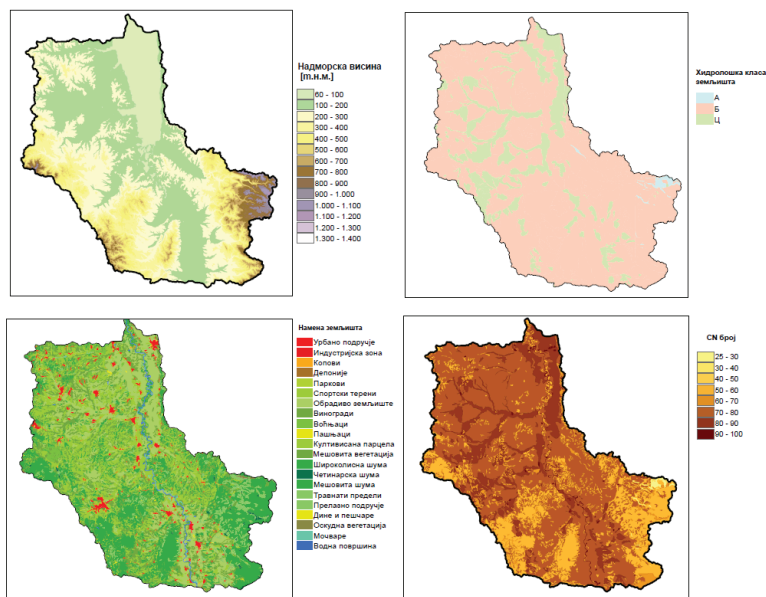
3.4.4. Одређивање CN броја за појединачне сливове

Вредност криве отицаја CN заснива се на хидролошкој класи земљишта, начину коришћења земљишта, начину обраде и претходним условима отицања.

Према SCS земљишта су подељена у четири хидролошке класе у зависности од потенцијалних услова отицања. Четири хидролошке класе земљишта су означене као А, Б, Ц и Д, где класа А има најмањи потенцијал отицања, а класа Д највећи. Критеријуми за класификацију земљишта у хидролошке класе укључују минимални износ инфилтрације, дубину до водонепропусног слоја, нивоа подземних вода итд.

Број криве отицаја CN се одређује прво дефинисањем свих комбинација хидролошке класе земљишта и начина коришћења у целом сливном подручју, а потом се пондерисањем добија средња вредност за слив.

Карте распореда CN_{II} броја за цело разматрано подручје настала је комбиновањем карте намемена површине (2018), педолошких карата (1963) као и усвојених вредности CN_{II} бројева за одређене комбинације намене и хидролошке класе земљишта (Стеван Ј. Прохаска, 2009). Приказ коришћених подлога као и саме карте дат је на слици (Слика 5).



Слика 5 Дигитални модел терена (горе лево), хидролошке класе земљишта (горе десно), начин коришћења земљишта (доле лево) и срачунати меродавни CN (доле десно)

3.4.5 Метода синтетичког јединичног хидрограма

Јединични хидрограм се дефинише као хидрограм директног отицаја услед јединичне ефективне кише која је равномерно распоређена по површини слива и констатног је интензитета током ефективног трајања.

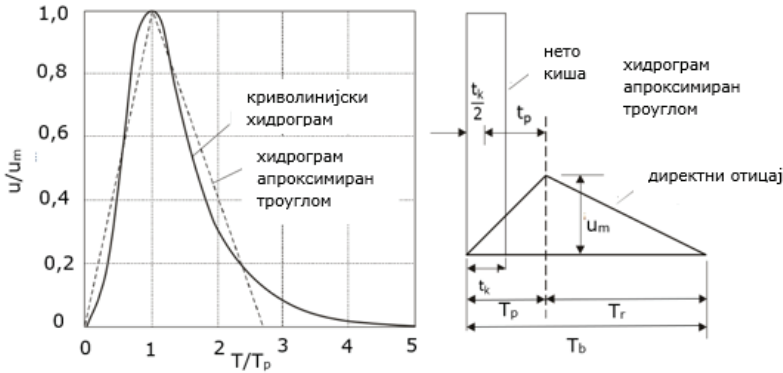
На неизученим сливовима се користе синтетички јединични хидрограми чија се конструкција заснива на транспозицији података са других сливова кроз регионалне везе између карактеристика слива и карактеристика хидрограма.

Код SCS бездимензионалног јединичног хидрограма време се изражава у односу на време подизања хидрограма T_p , а ординате у односу на максималну ординату јединичног хидрограма U_m . Да би се овакав хидрограм применио, потребно је познавати време подизања T_p , док се максимална ордината U_m одређује из услова да површина испод будућег јединичног хидрограма буде једнака запремини отицаја.

Време подизања хидрограма T_p може се изразити помоћу времена кашњења слива t_p тако да је:

$$T_p = t_p + \frac{t_k}{2}$$

где је t_k трајање кише. Време кашњења t_p се најчешће одређује или посредством физичких карактеристика слива или проценом времена концентрације слива.



Слика 6 Синтетички јединични хидрограм по SCS-у

У пракси се често користи модификација синтетичког хидрограма коју су предложили Брајковић и Јовановић (Јовановић, 1989). Према овој модификацији, време опадајуће гране хидрограма T_r , као и база хидрограма T_b , нису фиксирани већ износе:

$$T_r = r \cdot T_p$$

и

$$T_b = (1 + r) \cdot T_p$$

Време кашњења слива t_p које одређује време подизања хидрограма T_p , одређује се из регионалне зависности:

$$t_p = a \cdot t_k + t_0$$

где су сва времена изражена у часовима. Сматра се да параметар a зависи од површине слива и креће се од 0,3 до 0,7. Параметар t_0 зависи од физичких карактеристика слива и рачуна се емпиријски:

$$t_0 = 1,06 \cdot \left(\frac{L}{I_{ur}} \right)^{0,47}$$

где је: L - највећа дужина тока у km и I_{ur} - уравни пад тока у процентима.

Максимална ординара протока (изражена у m^3/s) рачуна се као:

$$Q_{max} = \frac{2 \cdot A \cdot P_e}{T_b \cdot 60}$$

где је: A - површина слива у km^2 , P_e ефективне падавине у mm и T_b база хидрограма тј. време од почетка до краја троугаоног хидрограма у min .

База хидрограма је сума времена подизања хидрограма T_p и време опадања хидрограма T_r . Као меродавно време трајања кише t_k усваја се трајање кише које за усвојену НТР криву даје највеће (најнеповољније) протоке.

3.4.6 Резултати хидролошких прорачуна великих вода

Укупно је разматрано 874 профила (локација), али од тог броја хидролошка анализа, прорачун великих вода, је урађен за њих 507. Методологија коришћена за одређивање граница слива није могла да одређује сливне површине мање од 1 km^2 , због тога прорачун није одрађен за све профиле. Такође профили који се налазе на каналима за наводњавање нису обухваћени овом анализом, јер је меродаван проток за њих проток за који су пројектовани. Сprovedеним поступцима прорачуна добијени су максимални протоци на разматраним профилима вероватноће појаве $p=1\%$, $p=2\%$, $p=5\%$ и $p=10\%$ односно максимални протоци за повратне периоде од 100, 50, 20 и 10 година. У табели 1 дати су топографско морфолошке карактеристике сливова, рачунске падавине и резултати хидролошких прорачуна за укупно 507 разматраних профила, где су: A - сливна површина (у km^2), L - дужина најдужега тока на сливу (у km), I_{ur} - уравни пад најдужега тока (%), CN - број криве отицаја, $P_{dn}(p)$ - максималне дневне падавине на сливној површини вероватноће појаве p , $Q_{max}(p)$ - максимални проток вероватноће појаве p .

Табела 1 Део табеле - Топографско морфолошке карактеристике сливова, рачунске падавине и рачунски протоци на разматраним профилима

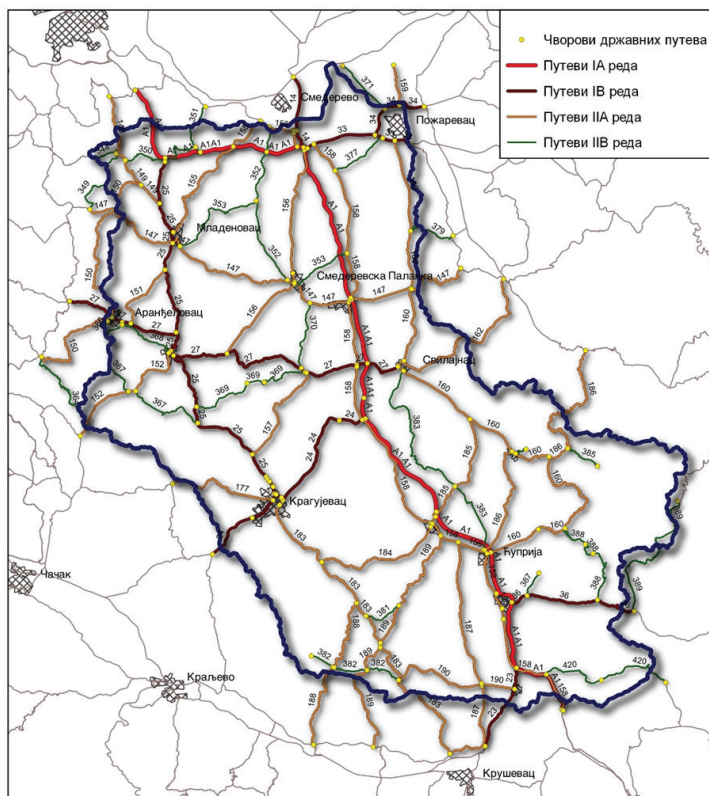
Ознака локације/профила	A [km^2]	L [m]	I_{ur} [%]	CN_{III} Број	$P_{dn} 1\%$ [mm]	$P_{dn} 2\%$ [mm]	$P_{dn} 5\%$ [mm]	$P_{dn} 10\%$ [mm]	$Q_{max} 1\%$ [m^3/s]	$Q_{max} 2\%$ [m^3/s]	$Q_{max} 5\%$ [m^3/s]	$Q_{max} 10\%$ [m^3/s]
1	63,88	14.275	0,678	86	94,7	82,8	68,3	58,1	114	92,69	67,9	51,44
3	8,05	4.729	1,898	85	97,3	85,3	70,6	60,2	35,8	28,89	20,87	15,57
4	10,83	7.028	2,003	87	95	83	68,4	58,2	45,33	36,77	26,84	20,26
6	16,59	9.445	1,506	86	92,7	80,7	66,2	56,2	50,44	40,29	28,7	21,19
8	6,85	5.121	1,946	84	89,3	77,2	62,9	53,1	25,34	19,77	13,58	9,69
10	10,23	7.880	1,254	88	95	82	66,6	56,1	36,43	29,14	20,87	15,52
12	18,25	10.717	1,024	88	103,6	89,1	72	60,3	59,74	47,83	34,3	25,67
13	24,15	8.629	1,33	88	107,5	92,4	74,5	62,3	99,72	80,12	57,8	43,31
15	9,05	10.003	0,597	88	120,2	99,9	77,8	63,8	32,02	24,8	17,22	12,66
16	5,05	5.287	1,24	88	121	100,4	77,9	63,8	30,55	23,48	16,06	11,66
20	163,04	32.038	0,355	87	103,7	87,6	69,5	57,7	182,19	143,06	100,43	74,04
21	20,85	10.951	0,958	87	97,4	84	68,4	57,8	60,09	48,06	34,63	26,31
22	4,97	4.979	2,159	86	91,5	80,2	66,6	57	23,3	18,95	13,9	10,56
23	14,08	8.788	1,124	87	100,2	85,9	69,4	58,4	50,37	39,94	28,43	21,2
24	1,03	2.655	4	86	93,6	81,7	67,4	57,4	7,26	5,86	4,27	3,23
25	7,57	7.144	1,455	85	98	84,6	68,9	58,3	29,4	23,29	16,48	12,17
26	1,06	1.484	3,115	83	96,3	83,5	68,4	58	7,12	5,59	3,88	2,8
27	2,97	3.596	3,117	85	97,6	84,4	68,9	58,3	18,42	14,62	10,37	7,67
30	14,3	7.370	1,549	87	97,8	84,6	68,9	58,3	58,91	47,26	34,1	25,64
33	1372,36	78.460	0,293	87	103,4	89	72,3	61,1	617,93	497,47	362,61	276,22

3.5 Мрежа државних путева I и II реда на истражном подручју Велике Мораве

При изради Студије коришћене су пројекцијске дужине путне мреже из верзије Референтног система државних путева верзија септембар 2019. године, за истражно подручје Велике Мораве.

На предметном подручју налази се укупна дужина изграђене и неизграђене путне мреже од око 1712 km (Слика 7) од чега:

- путеви IA реда 303,47 km,
- путеви IB реда 270,70 km,
- путеви IIA реда 772,68 km и
- путеви IIB реда 364,98 km.



Слика 7 Пројекцијске дужине државних путева I и II реда у сливу Велике Мораве

3.6 Категоризација прелаза и деоница према угрожености

На истраживаном подручју у највећој мери су распрострањени бујични водотокови. Већи део истраживаног подручја обухвата претежно брдски и брдско-планински део где се бујице јављају као природна последица таквог терена.

Као што је познато, генеза великих вода се одвија у горњем делу слива, док се поплаве јављају у речним долинама, у доњем току. Доњи токови већине бујичних водотока

у Србији, са развијеним речним долинама, имају велики социјални и привредни значај. Наиме у њима су смештена насеља, пољопривредне површине, индустрија и саобраћајнице. Услед наглог надоласка великих вода у кратком временском периоду бујица носи велике количине наноса, покреће клизишта и одроне.

Бујичне поплаве су врло честа појава на предметном подручју, али изградња заштитног система није пропорционална убрзаној урбанизацији. Наиме, постојећи заштитни систем је ослабио услед пораста обима незаштићених објеката, недостатка средстава за изградњу нових и неодржавања постојећих заштитних система. Поред слабљења постојећег и непостојања нових заштитних система, велики узрок плављења јесте неуређеност корита, смањен проток пропуста и мостова услед велике количине наноса, обрастлости вегетацијом и одлагања чврстог отпада.

Категорије угрожености су подељене према табели бр.2 на четири категорије, односно, нивоа ризика, у складу са припадајућим бодовима који су додељени према три наведена критеријума.

Табела 2 Категорије угрожености (ризика)

Категорије угрожености	Ниво ризика	Број поена
I Категорија угрожености	Веома висок ризик	100-81
II Категорија угрожености	Висок ризик	80-50
III Категорија угрожености	Умерен ризик	49-30
IV Категорија угрожености	Низак ризик	30 <

3.6.1 Опис методе

За добијање категорије угрожености коришћена су три критеријума. Први од критеријума је хидролошка анализа велики вода. Хидролошка анализа велики вода је рађена на основу вероватноће појаве $Q_{\max(1\%)}$ односно повратни период од 100 година, коришћењем комбиноване методе, која има два основна сегмента:

- SCS поступак за раздвајање ефективних падавина P_e (формирају директан отицај) од укупних (брuto падавина P_{br});
- Теорију синтетичког јединичног хидрограма за детерминисање вршне ординате јединичног отицаја $q_{\max}$.

Према добијеним протицајима за истраживане деонице, вршена је расподела поена на основу 4 категорије према специфичном протицају, дато у табели бр.3.

Табела 3 Одређивање ризика у зависности од специфичног протицаја

Специфични протицај $q_{\max}$ $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$	Број поена
до 0,5	10
0,5 – 1,0	15
1,0 – 2,0	25
>2,0 $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$	35

Други критеријум се односи на анализу пропусне моћи пропуста и отвора мостова на путевима I и II реда. Оцена овог критеријума је рађена на основу површине попречног пресека отвора пропуста и мостова, која је процењена на терену и класификована у три категорије, према табели бр.4.

Табела 4 Одређивање ризика у зависности од површине пропуста

Површина отвора пропуста	Број поена
до 1,0 m ²	30
1,0 m ² – 4,0 m ²	20
> 4,0 m ²	10

Трећи критеријум се односи на оцену количине наноса, вегетације и отпада у зони укрштања путева I и II са водотоковима, на основу детаљног теренског истраживања. Према овом критеријуму, број поена се додељује на основу три категорије, приказане у табели бр.5.

Табела 5 Одређивање ризика у зависности од количине наноса и вегетације у зони пропуста

Количина наноса и вегетације у зони пропуста	Број поена
Обрасло вегетацијом и засуто наносом	30
Присутна количина наноса без вегетације	10
У зони порпуста нема вегетације и наноса	5

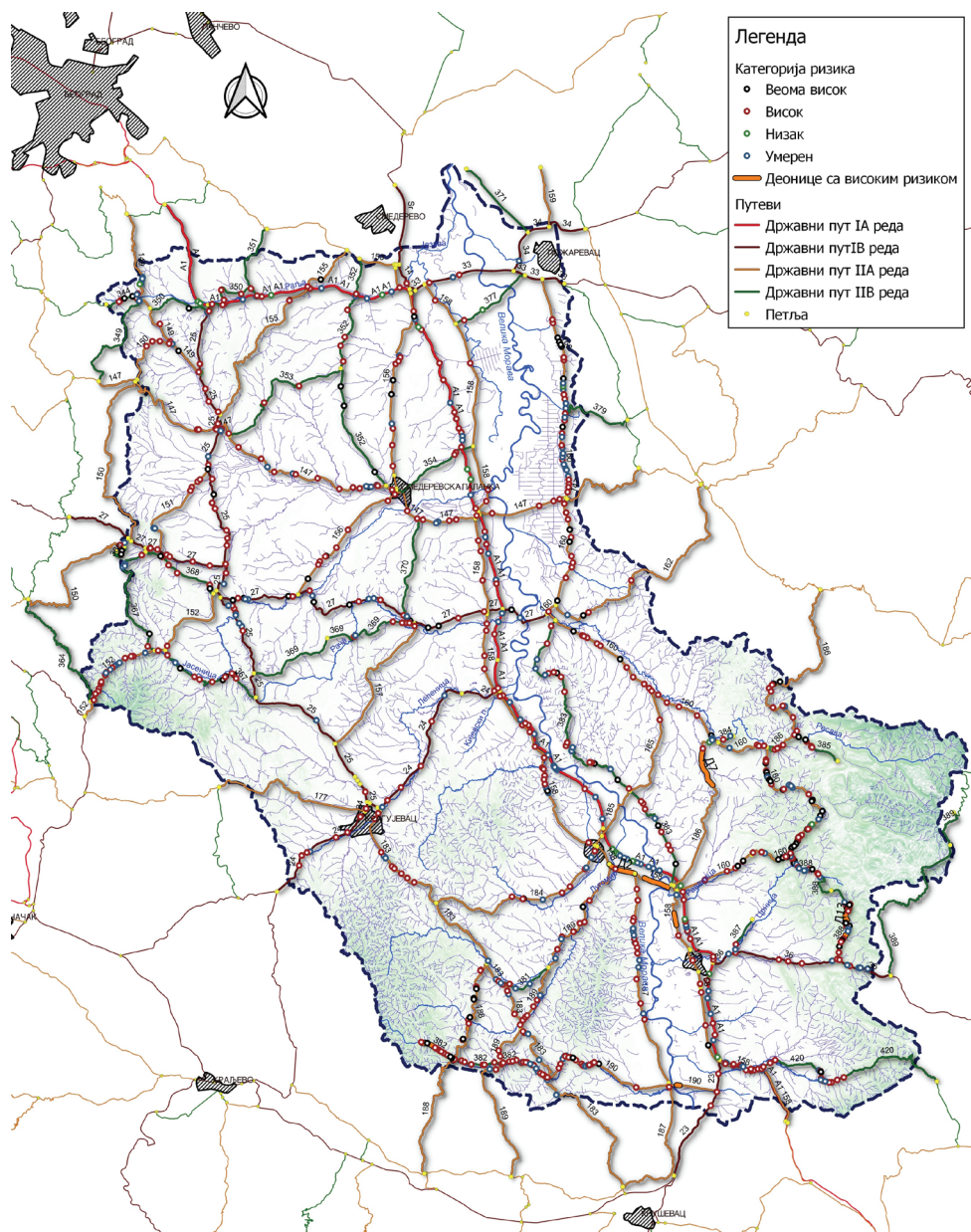
3.7 Анализа података који се односе на угрожена места

Локације (места) на којима долази до укрштања питева I и II реда и водотокова, разврстане у 4 нивоа ризика: врло висок, висок, умерен и низак, табела бр.6 и слика 8.

Табела 6 Број угрожених локација у односу на ниво ризика

Ниво ризика	Број угрожених локација
веома висок	111
висок	472
умерен	203
низак	22

Видимо да је укупно 583 локације под веома високим и високим ризиком од поплава и бујичних поплава. Умерени ризик је заступљен на 203, а низак ризик на 22 локација. У овој табели није било могуће да се прикаже колика дужина путева је угрожена бујичним поплавама.



Слика 8 Карта угрожених локација са степеном ризика од поплава

3.8 Предлог мера заштите путева од поплава

Бујични токови представљају сталну опасност по путну инфраструктуру. Имајући то у виду путна привреда мора да предузме мере и радове да се та опасност смањи или потпуно елиминира.

Због карактеристика бујичних токова одбрана од бујичних поплава се разликује од одбране од поплава великих река. Једини начин одбране од бујичних поплава је превенција. Превенција се састоји у контроли ерозионих и бујичних процеса у сливовима што се постиже сталним извођењем противерозионих радова у сливу и хидрографској мрежи бујичног тока, односно интегралним уређењем сливова (*Гавриловић, 1972*). Заштита од ерозије и одбрана од бујичних поплава су према Закону о водама Републике Србије ("Службени гласник РС", бр. 30/2010, 93/2012, 101/2016, 95/2018 и 95/2018 – др. Закон) у надлежности локалних самоуправа.

Кад је одбрана од бујичних поплава у питању као најекономичније и најцелисходније решење показало се интегрално уређење целог слива бујичног тока. То практично значи да се изврше они противерозиони радови (биолошки, биотехнички и технички) којима би се уједно отклониле садашње и предупредиле будуће штете од ерозије, а у исто време би се знатно променили хидролошки услови у сливу, смањила би се могућност нагле концентрације вода и директног отицања, што би довело до знатног смањења шпигева поплавних таласа и тиме би се спречиле бујичне поплаве (*Костадинов, 2008*). Услед тога би произашли и други корисни ефекти противерозионих радова и интегралног уређења слива, као што су смањење продукције и транспорта ерозионог наноса, повећане биљне производње, повећање корисне воде за водоснабдевање, наводњавање, индустрију, рекреацију итд.

Имајући у виду да су за ерозију и бујичне поплаве одговорне локалне самоуправе, ЈП „Путеви Србије“ треба тесно да сарађује са њима у решавању проблема ерозије и бујичних поплава. Ако би свака општина донела напред поменута два плана - План издвајања ерозионих подручја и Оперативни план одбране од бујичних поплава на својој територији, ако би те планове спроводила у пуној мери, од тога би поред осталих велике користи имала и путна привреда. То би било од обостране користи, а ту би се нашли заинтересовани и из других привредних сфера.

3.8.1 Скуп превентивних мера заштите

У складу са уоченим природним карактеристикама дела слива Велике Мораве, анализом израђених подлога, анализом расположиве техничке документације, као и непосредним обиласком терена, детерминисане су основне смернице за противерозионо уређење. Оне садрже следеће сегменте:

- побољшање инфилтрационо-ретенционих карактеристика земљишта на нагибима подизањем нових шумских култура и применом биотехничких мера;
- изградњом попречних објеката у мањим притокама, у циљу спречавања дубинских ерозионих процеса у кориту бујичних токова, заустављања наноса, стабилизације корита и обала;
- примена административних мера (забране и препоруке), на основу одговарајуће планске документације (Планови за проглашење ерозионих подручја и Планови за одбрану од бујичних поплава).

4. ЗАКЉУЧЦИ

На основу анализе постојећег стања система заштите од поплава, хидролошке анализе и детаљне проспекције терена извршена је процена ризика од поплава на државним путевима у сливу Велике Мораве и дат је предлог мера за унапређење система заштите. На основу тога може се констатовати следеће:

- 72% од укупно анализираних локација се налази под високом и веома високом категоријом ризика;
- Локације које се налазе на путу IA реда су у највећој мери изложене умереној и ниској категорији ризика. Другим речима, систем заштите на овим путевима се налази у најбољем стању;
- Поред локација, издвојене су и деонице пута, оцењене са високим степеном ризика. Овде углавном спадају деонице пута са непостојећим системом за одвођење кишног отицаја и деонице на неутврђеним и нестабилним косинама и падинама које се налазе у усеку или насипу;
- Дат је предлог мера за сваку анализирану локацију и деоницу, којима се повећава протицајни капацитет и стабилност пута. У ову групу радова спадају чишћење објеката и корита од наноса, санација, замена постојећих објеката, изградња нових, утврђење косина и санација клизишта и др.;
- Дат је предлог мера за радове у сливу, односно предлог противерозионих радова, који подразумева: изградњу бујичних преграда, пошумљавање, затрављивање, изградњу плетера и других биотехничких радова;
- Применом наведених мера ниво ризика би се свео на минимум. Наиме, на 50% локација са високим и веома високим ризиком од поплава, применом само једне од мера редовног одржавања - чишћењем смањио би се степен ризика за једну до две категорије. Међутим, на локацијама које се налазе у бујичним сливовима са наглим надоласцима поплавног таласа и са високим садржајем чврсте фазе, поред мера редовног одржавања неопходно је приступити уређењу читавог слива применом противерозионих радова. Дугорочно гледано, у економском и безбедоносном смислу, највећи степен заштите се може постићи синхронизацијом противерозионих радова у сливу и радова у кориту, односно радова на изградњи и одржавању објеката (пропуста и мостова и пратећих елемената).

ЛИТЕРАТУРА

- (1963) Педолошка карта Републике Србије размере 1:50.000. Институт за педологију и агрохемију Београд-Топчидер,.
- Гавриловић, С. (1972). Инжењеринг о бујичним токовима и ерозији. Београд. Часопис „Изградња“.
- Анђелковић, М. (1988). Геологија Југославије - тектоника. Београд. Грађевинска књига.
- Јовановић С., (1989) “Хидрологија”, Грађевински приручник - техничар 6, Грађевинска књига
- (2001) Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ АД & Министарство за пољопривреду, шумарство и водопривреду. Водопривредна основа. Београд.
- Костадинов, С. (2008). Бујични токови и ерозија. Београд. Шумарски факултет.
- (2009) Водопривредне основе Републике Србије, Хидрометеоролошке подлоге. Институт за водопривреду „Јарслав Черни“ и РХМЗ
- Стеван Ј. Прохаска (2009). Хидрологија I део, Београд
- Прохаска и сарадници (2014). Интензитети јаких киша у Србији, Институт за водопривреду Јарослав Черни, Београд
- Стефановић, М., Гавриловић, З. и Бајчетић, Р. (2014). Локална заједница и проблематика бујичних поплава. OEBS Србија.
- Ђерег, Н. и Марковић, П. (2016). Могућности Србије за достизање стандарда ЕУ у области управљања водама. Београд. Европски покрет у Србији.
- (2017) Институт за шумарство. (2017). Студија угрожености путева I и II реда од појаве поплава и бујичних токова у сливу Колубаре. Београд.
- (2018) CORINE Land Cover Technical Guide - Addendum 2000, Bossard M. et al, European Environment Agency, Copenhagen 2018.
- (2018) Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ АД. Студија угрожености путева I и II реда од појаве поплава у сливу Јужне Мораве. Београд
- (2018) Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ АД. Студија угрожености путева I и II реда од појаве поплава у сливу Саве. Београд
- (2018) Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ АД. Студија угрожености путева I и II реда од појаве поплава у сливу Западне Мораве. Београд
- (2019) Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ АД. Студија угрожености путева I и II реда од појаве поплава у сливу Дрине. Београд
- (2020)] Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ АД. Студија угрожености путева I и II реда од појаве поплава у сливу Лима. Београд
- др Д. Стојадиновић и проф. др З. Никић. Инжењерскогеолошке појаве и ерозиони процеси.
- (2020) <http://www.carpatclim-eu.org/>, излаз на сајт 5.12.2020.