ИНСТИТУТ ЗА ВОДОПРИВРЕДУ „ЈАРОСЛАВ ЧЕРНИ“
Завод за уређење водних токова
Завод за бране, хидроенергетику, руднике и саобраћајнице

СТУДИЈА УНАПРЕЂЕЊА ЗАШТИТЕ ОД ВОДА У СЛИВУ РЕКЕ КОЛУБАРЕ

ПРЕТХОДНИ ИЗВЕШТАЈ – КОНАЧНА ВЕРЗИЈА

НАРУЧИЛАЦ: **UNDP Србија у сарадњи са Канцеларијом за помоћ и обнову поплављених подручја Владе Републике Србије, уз финансијску помоћ Владе Јапана**

From the People of Japan

Канцеларија за помоћ и обнову поплављених подручја

Empowered lives. Resilient nations.

КООРДИНАТОР ИЗРАДЕ СТУДИЈЕ: **ЈВП „Србијаводе“**

United Nations Development Programme

INCREASED RESILIENCE TO RESPOND TO EMERGENCY SITUATIONS

УНАПРЕЂЕНА ОТПОРНОСТ ЗА ОДГОВОР НА ВАНРЕДНЕ СИТУАЦИЈЕ

The Project "Increased Resilience to Respond to Emergency Situations" is funded by the Government of Japan and is implemented by the United Nations Development Programme (UNDP) in partnership with with the Serbian Government Office for Reconstruction and Flood Relief.

Пројекат "Унапређена отпорност за одговор на ванредне ситуације" финансира Влада Јапана, а спроводи Програм Уједињених нација за развој (УНДП) у партнерству са Канцеларијом за помоћ и обнову поплављених подручја Владе Републике Србије.

Београд, новембар 2015.

ИНСТИТУТ ЗА ВОДОПРИВРЕДУ „ЈАРОСЛАВ ЧЕРНИ“
Завод за уређење водних токова
Завод за бране, хидроенергетику, руднике и саобраћајнице

СТУДИЈА УНАПРЕЂЕЊА ЗАШТИТЕ ОД ВОДА У СЛИВУ РЕКЕ КОЛУБАРЕ

ПРЕТХОДНИ ИЗВЕШТАЈ – КОНАЧНА ВЕРЗИЈА

Руководилац Студије

Др Марина Бабић Младеновић

Директор Завода
за уређење водних токова

Заменик руководиоца Студије

Проф. др Дејан Дивац

Директор Завода
за бране, хидроенергетику,
руднике и саобраћајнице

Генерални директор
ИНСТИТУТА „ЈАРОСЛАВ ЧЕРНИ“

Проф. др Милан Димкић

Студија унапређења заштите од вода у сливу реке Колубаре - Претходни извештај урађен је у периоду 20.07.2015. – 20.10.2015. године у:

- ИНСТИТУТУ ЗА ВОДОПРИВРЕДУ „ЈАРОСЛАВ ЧЕРНИ" (ИЈЧ)

На изради Студије учествовале су и следеће институције:

- Институт за архитектуру и урбанизам, Београд (ИАУС)
- Грађевински факултет Универзитета у Београду (ГФ)

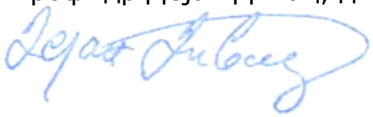
Руководилац Студије и Key expert (KE) за управљање водним ресурсима

Др Марина Бабић Младеновић, дипл.грађ.инж.



Заменик руководиоца Студије и Key expert за управљање водним ресурсима

Проф. др Дејан Дивац, дипл.грађ.инж.



Key expert за хидрологију

Проф. др Стеван Прохаска, дипл.грађ.инж



Key expert за хидраулику

Зоран Кнежевић, дипл.грађ.инж



Небојша Поповић, дипл.грађ.инж



СПИСАК УЧЕСНИКА

у изради документације

Студија унапређења заштите од вода у сливу реке Колубаре
- Претходни извештај -

Управљање водним ресурсима

- Др Марина Бабић Младеновић, дипл.грађ.инж. (KE-key expert) - (ИЈЧ)
- Проф. др Дејан Дивац дипл.грађ.инж. (KE) - (ИЈЧ)

Хидрологија

- Проф. др Стеван Прохаска, дипл.инж.грађ. (KE) - (ИЈЧ)
- др Милош Станић, дипл.инж.грађ. (ГФ)
- Милан Стојковић, дипл.инж.грађ. (ИЈЧ)
- Никола Златановић, дипл.инж.грађ. (ИЈЧ)
- Зоран Симић, дипл.инж.грађ. (NKE - Non-key expert) - (ИЈЧ)
- Александра Орлић Момчиловић, дипл.инж.грађ. (ИЈЧ)
- Андријана Тодоровић, дипл.инж.грађ. (ГФ)
- Александар Дробњак, дипл.инж.шум. (ИЈЧ)
- др Весна Трипковић, дипл.инж.геол. (ИЈЧ)

Хидраулика и објекти

- Зоран Кнежевић, дипл.инж.грађ. (KE) - (ИЈЧ)
- Небојша Поповић, дипл.грађ.инж. (KE) - (ИЈЧ)
- Вања Дамјановић, дипл.грађ.инж (NKE) - (ИЈЧ)
- Борис Крунић, дипл.грађ.инж (ИЈЧ)
- Иван Ковач, дипл.грађ.инж. (ИЈЧ)
- Жељка Станић, дипл.грађ.инж. (ИЈЧ)
- Александар Милановић, грађ.инж. (ИЈЧ)

Управљање ризицима од поплава

- мр Васиљка Коларов, дипл.инж.пољ. (NKE) - (ИЈЧ)
- Владислава Бартош Дивац, дипл.инж.грађ. (ИЈЧ)

Хидротехничке конструкције

- Дејан Вучковић, дипл.грађ.инж. (NKE) - (ИЈЧ)
- Драган Даниловић, дипл.грађ.инж. (ИЈЧ)
- Марко Раднић, дипл.грађ.инж. (ИЈЧ)
- Миодраг Хренек, грађ.инж. (ИЈЧ)

Ерозија и бујице

- Милутин Стефановић, дипл.инж.шум. (NKE) - (ИЈЧ)
- Јелена Чотрић, дипл.инж.шум. (ИЈЧ)

- Ирина Миловановић, дипл.инж.шум. (ИЈЧ)

Геодезија

- Драгиша Аргакијев, дипл.инж.геод. (NKE) - (ИЈЧ)
- Младен Костић, дипл.инж.геод. (ИЈЧ)

Геологија и геотехника

- Предраг Бабић, дипл.инж.геол. (NKE) - (ИЈЧ)
- Зоран Данков, дипл.инж.геол. (ИЈЧ)

Просторно планирање

- проф. др Марија Максин, дипл.инж.арх. (ИАУС)
- др Марина Ненковић-Ризнић, дипл. просторни планер (ИАУС)
- др Никола Крунић, дипл. просторни планер (ИАУС)
- др Владица Ристић, дипл.инж.арх. (ИАУС)
- Гордана Џунић, дипл. инж. грађ. (NKE) - (ИАУС)
- Предраг Срна, дипл. инж. грађ. (ИАУС)
- Александра Гајић, дипл. просторни планер (ИАУС)

Економија

- др Здравко Стојановић, дипл.маш.инж. (NKE) - (ИЈЧ)
- Слађана Милојковић, дипл.ецц. (ИЈЧ)

Социологија

- др Бошко Јосимовић, дипл. просторни планер (NKE) - (ИАУС)
- Владимир Вукајловић, дипл.социолог (ИАУС)
- др Никола Крунић, дипл. просторни планер (ИАУС)
- др Марина Ненковић-Ризнић, дипл. просторни планер (ИАУС)

Екологија

- др Првослав Марјановић, дипл.инж.грађ. (NKE) - (ИЈЧ)
- Миомир Васиљевић, дипл.инж.техн. (ИЈЧ)

Географски информациони систем

- Драгана Нинковић, дипл.грађ.инж. (NKE) - (ИЈЧ)
- Љиљана Марјановић, дипл.грађ.инж. (ИЈЧ)

Информатика и компјутерске науке

- др Никола Миливојевић, дипл.маш.инж. (NKE) - (ИЈЧ)
- Владимир Миливојевић, дипл.маш.инж. (ИЈЧ)

САДРЖАЈ

Сажетак/Executive summary

1 Уводне напомене 1

1.1 Основне карактеристике слива Колубаре 1

1.2 Проблематика поплава на сливу Колубаре 3

1.3 Предмет, циљеви, садржај и организација израде Студије 5

2 Израда и калибрација хидролошких модела 8

2.1 Образложење избора и основне концепцијске поставке хидролошких модела 8

2.2 Теоријске основе хидролошких модела 13

2.2.1 Теоријске основе хидролошког модела ИЈЧ-ГФ 13

2.2.2 Теоријске основе хидролошког модела HEC-HMS 32

2.2.3 Теоријске основе за одређивање екстремних протока различите вероватноће појаве 42

2.3 Приказ и анализа расположивих ГИС подлога 66

2.3.1 Дигитални модел терена 66

2.3.2 Хидрографска мрежа 67

2.3.3 Геолошка карта 68

2.3.4 Педолошка карта 70

2.3.5 Карта коришћења земљишта 71

2.4 Приказ и анализа расположивих хидрометеоролошких серија 73

2.4.1 Приказ расположивих хидролошких серија 74

2.4.2 Приказ расположивих метеоролошких серија 77

2.4.3 Анализа обима и квалитета података 80

2.5 Структура хидролошког модела слива Колубаре 81

2.5.1 Приказ релевантних профила у сливу Колубаре 81

2.5.2 Приказ декомпозиције слива и мреже HRU у моделу ИЈЧ-ГФ 83

2.5.3 Интеракција са хидрауличким моделом 86

2.6 Методологија калибрације и верификације хидролошких модела 87

2.6.1 Приказ теоријских поставки и алгоритма калибрације 87
2.6.2 Приказ и коментар параметара који се калибришу са проценом опсега вредности 91
2.6.3 Критеријуми калибрације 92
2.7 Опис софтверске платформе 95
2.7.1 Имплементација хидролошког модела ИЈЧ-ГФ 95
2.7.2 Имплементација хидролошког модела HEC-HMS 98
3 Израда и калибрација хидрауличких модела 102
3.1 Структура хидрауличког модела 102
3.2 Основне поставке хидрауличког модела 102
3.2.1 Основне једначине 103
3.2.2 Течење по сложеном речном току 104
3.2.3 Моделирање хидротехничких објеката 105
3.2.4 Дефинисање граничних услова хидрауличког модела 105
3.3 Приказ и анализа расположивих подлога 106
3.3.1 Дигитални модел терена 106
3.3.2 Морфолошке подлоге 108
3.3.3 Подаци о објектима из система за заштиту од поплава и другим објектима дуж водотокова 115
3.4 Карактеристике модела и интеракција са хидролошким моделом 115
3.4.1 Декомпозиција модела по водотоковима 115
3.4.2 Интеракција са хидролошким моделом и гранични услови 117
3.5 Калибрација и верификација хидрауличких модела 120
3.5.1 Калибрација модела 121
3.5.2 Верификација модела 123
3.6 Опис софтверске платформе HEC-RAS - HEC-GeoRAS 124
3.6.1 HEC-RAS 124
3.6.2 HEC-GeoRAS 127
4 Стање и функције постојећих објеката и система за заштиту од поплава 130
4.1 Приказ постојећих објеката за заштиту од вода 130

4.1.1 Објекти за заштиту од поплава спољним водама 130

4.1.2 Противерозиони радови и контрола бујица 158

4.1.3 Акумулације 158

4.2 Санације објеката за заштиту од поплава после поплаве 2014. године 167

4.3 Смернице за процену садашњег степена заштите по деоницама 170

5 Хидролошко-хидрауличка реконструкција поплаве из маја 2014. године и анализа функционисања одбрамбеног система током тог догађаја 171

5.1 Предмет и циљеви реконструкције поплаве из маја 2014. 171

5.1.1 Опште напомене о поплави из маја 2014. године 171

5.1.2 Улога хидролошко хидрауличке реконструкције поплаве из маја 2014. год. у развоју хидролошких и хидрауличких модела 174

5.1.3 Улога анализе функционисања одбрамбеног система током поплаве из маја 2014. год. у изради предметне студије 174

5.2 Приказ метеоролошких услова пре и за време трајања поплаве 175

5.3 Приказ хидролошких услова пре и за време и након трајања поплаве 176

5.4 Приказ поплављених подручја, са описом узрока и обима плављења 179

5.4.1 Колубара кроз Ваљево 179

5.4.2 Колубара од ушћа Пештана до Лајковца 183

5.4.3 Колубара од ушћа Турије до ушћа Пештана 184

5.4.4 Колубара од ушћа Тамнаве до ушћа Турије 187

5.4.5 Колубара од ушћа у Саву до ушћа Тамнаве 187

5.4.6 Десне притоке Колубаре 191

5.4.7 Леве притоке Колубаре 193

6 Хидролошки параметри и критеријуми за процену угрожености од плављења и димензионисање објеката за заштиту од поплава 198

6.1 Опште напомене о хидролошким параметрима и критеријумима и приказ параметара и критеријума из законске регулативе и стратешких опредељења 198

6.2 Улога хидролошких и хидрауличких модела у дефинисању хидролошких параметара и критеријума 199

6.3 Методологија за израду карата угрожености од поплава 200

7 Потенцијалне штете од поплава 201

7.1 Приказ и анализа расположивих подлога 201

7.2 Анализа коришћења земљишта у садашњем стању и будућности 201

7.2.1 Територијални обухват 201

7.2.2 Анализа стања на подручу слива и у зони поплаве из 2014. године 204

7.2.3 Коришћење земљишта до 2035. године 206

7.3 Методологија процене броја становника угрожених поплавама, у садашњем стању и будућности 208

7.4 Методологија процене потенцијалних штета за дефинисане рецепторе ризика, у садашњим условима и на крају планског периода 209

8 Започети и планирани објекти и радови за унапређење заштите од поплава. 213

8.1 Преглед постојеће планске документације релевантне за изградњу и реконструкцију објеката за одбрану од поплава у сливу Колубаре 213

8.2 Приказ започетих објеката и радова на изградњи и реконструкцији објеката за одбрану од поплава у сливу Колубаре 215

8.2.1 Приказ започетих радова на изградњи и реконструкцији објеката за одбрану од поплава, чији су инвеститори ЈВП „Србијаводе" и ЈВП „Београдводе" или локалне самоуправе 215

8.2.2 Приказ започетих радова на изградњи и реконструкцији објеката за одбрану од поплава чији је инвеститор ЈП „Електропривреда Србије" ... 219

8.2.3 Приказ започетих радова на изградњи и реконструкцији објеката за одбрану од поплава чији су инвеститори из сектора путне привреде 224

8.3 Приказ планираних објеката и радова и за изградњу и реконструкцију објеката за одбрану од поплава у сливу Колубаре 227

9 Предлог система објеката и мера за постизање пројектованог степена заштите од поплава у сливу Колубаре 236

9.1 Осврт на узроке погоршања режима великих вода у сливу Колубаре 236

9.2 Смернице за унапређење заштите од поплава у сливу Колубаре 236

9.3 Предлог комплекса радова и мера за унапређење заштите од поплава у сливу Колубаре 238

9.3.1 Инвестициони радови и мере 238

9.3.2 Неинвестициони радови и мере 239

9.4 Концепцијска решења радова на унапређењу заштите од поплава у сливу Колубаре 241

9.4.1 Ретензиони простори на сливу Колубаре 241

9.4.2 Ретензиони простори у долинама реке Колубаре и притока 296

9.4.3 Насипи и друге пасивне мере заштите од поплава на сливу Колубаре ... 300

9.4.4 Мере антиерозионе заштите на сливу Колубаре 300

10 Ефекти предложеног решења на режим великих вода и смањење угрожености од поплава 303

10.1 Методолошки приступ анализи ефеката предложених објеката и мера 303

10.2 Приказ простора обухваћеног хидролошко-хидрауличким анализама ефеката планираног система заштите од поплава 303

11 Економско вредновање предложеног решења 306

11.1 Приказ методологије за економско вредновање засноване на benefit-cost анализи 306

11.1.1 Општа оцена предложених мера 306

11.1.2 Процена штета 307

11.1.3 Процена трошкова примене мера 307

11.1.4 Процена користи од мера и трошкова 307

11.1.5 Примена BCA и оцена економске оправданости 307

11.1.6 Дефинисање приоритета мера и избор оптималног решења применом MCA 308

11.1.7 Анализа изабраног решења 308

12 Утицај предложеног решења на социјалне чиниоце 310

12.1 Генерални приказ простора на коме разматрани радови и мере могу имати утицаја на социјалне чиниоце 310

12.2 Приказ методологије и критеријума за оцену утицаја предложеног решења на социјалне чиниоце 310

13 Утицај предложеног решења на животну средину 313

13.1 Генерални приказ простора на коме разматрани радови и мере могу имати утицаја на животну средину 313

13.1.1 Слив Колубаре 313

13.1.2 Индустријски и производни објекти на сливу 313

13.1.3 Комуналне отпадне воде 314

13.1.4 Чврсти комунални отпад 314

13.1.5 Културно-историјске знаменитости 315

13.1.6 Природне реткости и знаменитости 316

13.2 Приказ методологије и критеријума за оцену утицаја предложеног решења на животну средину 317

14 Смернице и услови за израду и измену планске документације релевантне за унапређење заштите од поплава, као и за ограничења у коришћењу и уређењу водног земљишта 318

15 Имплементација података и резултата студије у Водопривредни информациони систем Србије (ВИСС) и комуникација са корисницима студије путем интернет портала 319

15.1 Приказ елемената ВИСС модела података од значаја за Студију 319

15.2 Гис база података 320

15.3 Интернет портал за везу са стручном и широм јавношћу 323

15.3.1 Предмет и циљ израде интернет портала 323

15.3.2 Развој интернет портала 323

15.3.3 Безбедност података 324

15.3.4 Софтверски и хардверски захтеви за коришћење интернет портала 325

САЖЕТАК/EXECUTIVE SUMMARY

Учесталост поплава и величина штета од поплава у сливу реке Колубаре, а посебно величина и разорна енергија поплавног таласа из маја 2014. године, указују да је неопходно унапредити заштиту од вода и створити услове да се боље управљање ризицима од поплава у складу са потребама просторног и привредног развоја подручја.

Задатак Студије унапређења заштите од вода у сливу Колубаре је да се изради концепција интегралне заштите од великих вода у сливу Колубаре, која ће обухватити: антиерозионо уређење слива, акумулисање вода у горњим деловима слива, формирање ретензионих простора, доградњу и реконструкцију објеката за одбрану од поплава.

Студијом треба да се дефинише стратегија изградње система за заштиту од вода која ће бити усаглашена са плановима просторног и привредног развоја јединица локалне самоуправе, затим плановима електропривреде и других државних инфраструктурних система. Стратегија заштите од вода треба да се заснива на интегралном приступу, односно одговарајућој комбинацији инвестиционих и неинвестиционих мера и јединственим критеријумима у погледу степена заштите насеља, привредних објеката и пољопривређених површина у приобаљу. Предложена решења и мере заштите од поплава у сливу Колубаре треба да буду изводљиви са техно-економског, социјалног и еколошког аспекта.

Плански период у коме се предвиђа реализација предложених решења је 20 година (између 2015 и 2035. године). Да би се остварили ефекти предложених решења и мера потребно је да постоји јасна динамика и приоритети у њиховој реализацији. Као полазна година („нулто стање") се узима стање објеката и слива у 2015. години. Из студије треба да произађе предлог одређених приоритета у погледу мера и радова које треба предузети и то за хоризонте који одговарају шестогодишњим циклусима планирања управљања ризиком од поплава.

Студија се ради фазно, са периодичним извештавањем о постигнутим резултатима и смерницама за даљи рад:1 фаза – Претходни извештај, 2 фаза – Прелиминарни извештај и 3 фаза – Завршни извештај.

У складу са чланом 2.5 уговора који је склопљен 20.07.2015. године између UNDP-а (Програма уједињених нација за развој) и Института за водопривреду „Јарослав Черни" а.д., Извршилац је припремио Претходни извештај после 3 месеца рада на Студији.

Претходни извештај се састоји од 15 поглавља, у којима су приказани до сада завршени радови на Студији, основна концепција решења и методологије које ће се примењивати у следећој фази израде. У наставку је дат кратак садржај Претходног извештаја, по поглављима.

У поглављу **2. Израда и калибрација хидролошких модела** су дате опште поставке хидролошких модела, преглед прикупљених подлога и опис планиране примене модела на сливу Колубаре.

Поглавље **3. Израда и калибрација хидрауличких модела** даје приказ теоријских основа, расположивих подлога, опис интеракције са хидролошким моделом и декомпозицију хидрографске мреже.

У поглављу **4. Стање и функције постојећих објеката и система за заштиту од поплава** дат је преглед објеката који чине садашњи систем за заштиту од поплава у сливу Колубаре (насипи, акумулације, противерозиони радови и објекти за контролу бујица), уз опис санационих радова извршених после поплаве 2014. године. Такође је приказано како ће се у даљој изради Студије проценити постојећи степен заштите по деоницама свих водотока.

Поглавље **5. Хидролошко-хидрауличка реконструкција поплаве из маја 2014. године и анализа функционисања одбрамбеног система током тог догађаја** даје опис поплаве маја 2014. у сливу Колубаре, приказ функционисања система одбране и биланс штета по општинама. Истакнуто је да ће се основни задатак овог дела Студије -

што је могуће реалнија реконструкција поплавних таласа у сливу Колубаре - извршити у даљем току израде Студије. За то ће се користити развијени хидролошки и хидраулички модели (описани у поглављима 2 и 3), прикупљени метеоролошки и хидролошки подаци, као и снимљени трагови великих вода на Колубари и притокама.

У Поглављу **6. Хидролошки параметри и критеријуми за процену угрожености од плављења и димензионисање објеката за заштиту од поплава** су дата опредељења из законске регулативе и стратешких докумената за одређивање степена заштите који треба обезбедити брањеним подручјима. Такође је дат предлог методологије за израду карата угрожености која ће се користити у даљим фазама израде Студије.

Поглавље **7. Потенцијалне штете од поплава** садржи приказ расположивих подлога, анализу садашњег коришћења земљишта и инфраструктуре на сливу Колубаре и исте показатеље 2035. годину. Такође, дате су методологије процене броја угрожених становника и процене потенцијалних штета, које ће се надаље користити у Студији.

Поглавље **8. Започети и планирани објекти и радови за унапређење заштите од поплава** садржи приказ објеката и радова, по водотоцима, било да су објекти републичког значаја (започети или планирани у сектору вода, путне привреде, електропривреде) или објекти на нивоу локалних самоуправа.

У поглављу **9. Предлог система објеката и мера за постизање пројектованог степена заштите од поплава у сливу Колубаре** дат је иницијални предлог инвестиционих и неинвестиционих мера које треба применити на сливу Колубаре. Од инвестиционих мера су на концепцијском нивоу разраде приказане потенцијалних чеоне ретензије на притокама Колубаре и бочне ретензије у долини река Колубаре и притокана.

Поглавља **10. Ефекти предложеног решења на режим великих вода и смањење угрожености од поплава, 11. Економско вредновање предложеног решења, 12. Утицај предложеног решења на социјалне чиниоце** и **13. Утицај предложеног решења на животну средину** садрже предлоге методологија који ће се користити у наредној фази изради Студије, ради оцене предложеног система мера и радова за унапређење заштите од поплава у сливу Колубаре.

Поглавља **14. Смернице и услови за израду и измену планске документације релевантне за унапређење заштите од поплава, као и за ограничења у коришћењу и уређењу водног земљишта** и **15. Имплементација података и резултата студије у Водопривредни информациони систем Србије (висС) и комуникација са корисницима студије путем интернет портала** су такође дата у иницијаном облику, а следи њихова разрада до Прелиминарног извештаја.

Може се констатовати да су Претходним извештајем покривени су сви радови предвиђени Пројектним задатком за израду Студије. Ниво обраде се разликује, јер су неки делови скоро завршени, а неки су тек у почетном стадијуму.

Претходни извештај представља стабилну основу за даље активности на изради Студије које ће се се одвијати у уговореним роковима.

1 УВОДНЕ НАПОМЕНЕ

1.1 Основне карактеристике слива Колубаре

Подручје које се разматра у Студији је веома велико и обухвата слив Колубаре величине 3638,5 km^2. Слив Колубаре има облик неправилног четвороугла чија је ширина у правцу запад-исток износи 81 km (од Влашића до Космаја), а дужина у правцу север-југ је око 66 km.

Слив реке Колубаре лежи у северозападном делу Србије. Облик слива је приближно четвороугаони, који је са три стране оивичен средњим и ниским планинама Ваљевског и Шумадијског региона. Са четврте стране, према северу, благо заталасаним побрђем шире се отвара у Панонску низију.

Колубара је последња већа притока Саве у коју се улива 27 km узводно од Београда. Ушће Колубаре лежи на коти 76 mнм, док је највиша тачка на јужној вододелници Повлен, са надморском висином 1346 mнм.

Колубара и њене притоке извиру у брдским и планинским пределима, средњим делом протичу кроз благо заталасана, брдовита подручја, док је остатак речног слива углавном раван. Просечна надморска висина слива Колубаре је мала, приближно 206 mнм. У сливу преовлађује низија, док се побрђе, ниске (до 1000 mнм) и средње високе планине налазе само у изворишном делу слива Колубаре и њене притоке реке Љиг.

Централни део Колубарског слива је релативно раван са околним, благо заталасаним, брдовитим подручјем. Овде је усечен ток реке Колубаре, који меандрира долином ка којој гравитирају долински системи њених главних притока: са леве стране Тамнава са Убом и Кладницом, а са десне стране Љиг, Пештан и Турија са Бељаницом. Генерални пад сливног подручја је у правцу југозапад-североисток.

Централну реку слива – реку Колубару формирају код Ваљева саставнице: Обница, која извире испод Кулиног брда (924 mнм) и Јабланица испод Повленског венца "Новаковићи" (1000 mнм). Обе реке су дуге по 28 km, и савладавају велике висинске разлике, при чему Обница има просечан пад од 26,5‰, а Јабланица 29,3‰. Након састава ове две реке, просечан пад Колубаре на целокупној деоници до ушћа у Саву је око 1,2‰.

Код Ваљева Колубари се прикључује и река Градац, а идући низводно река Колубара прима бројне притоке: Лепеницу, Рибницу, Топлицу, Љиг, Лукавицу, Враничину, Пештан, Туријy (са Бељаницом), као и Тамнаву (са Убом и Грачицом).

Према саставу геолошке подлоге може се сматрати да се хидролошка вододелница целог слива или појединих токова поклапа са топографском вододелницом изузев на карстификованом подручју јужно од Ваљева.



Слика 1.1 Слив реке Колубаре

Слив реке Колубаре има врло неповољан водни режим, који стварају хидрометеоролошки, топографско-геолошки и хидраулички услови на сливу. Неповољна временска и просторна расподела падавина и велики падови притока уз непогодан распоред хидрографске мреже токова, редовно изазивају брзо и концентрисано сливање вода на сразмерно кратку деоницу централне долине Колубаре.

Хидрографска мрежа је таква да омогућује велику коинциденцију великих вода из притока у централном делу долине Колубаре, уз разливање поплавних вода по пространој равници.

Неповољне услове наглог дотицања воде још више појачава недовољна пропусна моћ корита реке Колубаре у равници, да би овако велики концентрисани доток могла директно спровести у главни реципијент - реку Саву, услед чега настају честе поплаве у долини.

Велике воде, услед стрмих нагиба сливова притока, отичу у кратком интервалу времена, тако да силаском у централну долину Колубаре разарају бујичним водама и плаве наносом пољопривредна земљишта, стварају спрудове у речном кориту, који изазивају јако меандрирање тока и наносе велике штете насељима, индустрији и саобраћајницама.

Поплаве угрожавају око 31000 ha најквалитетнијег земљишта, већи број насеља и важних индустријских погона, као и саобраћајнице.

Већи део слива Колубаре је густо насељен. Просечна густина становништва на сливу је око 92 становника по km^2, а укупан број становника око 335000. Највећа насеља на сливу су: Ваљево, Лазаревац и Обреновац.

Подручје слива Колубаре обухвата делове или целе територије општина: Обреновац, Барајево, Сопот, Лазаревац, Коцељева, Владимирци, Шабац, Осечина, Уб, Лајковац, Мионица, Љиг, Аранђеловац, Горњи Милановац и Косјерић, као и града Ваљева, односно делове територија Колубарског, Мачванског, Моравичког, Шумадијског и Златиборског округа и Града Београда.

Путну мрежу чине локални путеви у укупној дужини од 1.144 km, регионални (737,5 km) и магистрални путеви (231,7 km). Кроз слив пролази пруга Београд-Бар, а постоји и индустријска пруга која обезбеђује снабдевање ТЕНТ А угљем из површинских копова.

На сливу Колубаре пољопривреда је веома заступљена. Преко 2/3 земљишта користи се за пољопривреду. Пољопривредно земљиште користи се за биљну производњу на земљиштима различитих бонитета. Највећи део пољопривредног земљишта је под њивама, затим воћњацима, ливадама и пашњацима, док је један мањи део под виноградима. Пољопривредна имања углавном су мања и у приватном власништву. Гајење говеда и обрада земље углавном су екстензивни.

Колубарски лигнитски басен представља део сливног подручја река Колубаре у коме се више од 50 година експлоатише и прерађује угаљ. Подручје садржи делове територија општина Лазаревац, Уб, Лајковац и Обреновац, укупне површине 547 km^2. Унутар његових граница налазе се површине постојећих и планираних површинских копова лигнита, објекти за припрему и прераду угља, системи спољашњег и унутрашњег транспорта, депоније раскривке, шљаке и других отпадних материјала од рударства и других индустријских и комуналних извора, подручја рекултивације оштећеног земљишта, насеља, објекти водне инфраструктуре, објекти саобраћајне инфраструктуре, енергетски и индустријски објекти, итд.

Човек је утицао, а и данас интензивно утиче на особине земљишта у сливу Колубаре. Процеси антропогенизације првенствено су имали регресиван карактер. Неправилан начин искоришћавања земљишта без минималних предузетих мера, уништавање шума, као и нерационално коришћење травних површина, учинили су да је утицај човека на земљишта имао регресиван карактер. Сви наведени чиниоци који су утицали на образовање земљишта и даље делују у сливу Колубаре.

1.2 Проблематика поплава на сливу Колубаре

Подручје које се разматра у Студији је веома велико и обухвата слив Колубаре величине 3.638,5 km^2. Колубара и њене притоке извиру у брдским и планинским пределима (висине 1000-1500 m), средњим делом протичу кроз благо заталасана, брдовита подручја, док је остатак речног слива углавном раван.

Проблеми заштите од поплава у овом сливу су у снажној вези са различитим геоморфолошким карактеристикама. На водотоцима у горњим деловима слива јављају се бујичне поплаве, које карактерише кратко трајање, веома велике брзине тока и масовно кретање наноса. Са друге стране, на доњим деловима токова Колубаре и притока, таласи великих вода настају спорије, а нивои зависе од коинциденције са нивоима њихових реципијената.

Заштита од поплава долинских подручја у сливу Колубаре је одувек веома актуелан проблем. На озбиљност проблема је указала последња поплава у мају 2014. године,

када су становништво, привреда, инфраструктура и природни ресурси дуж Колубаре и њених притока претрпели веома велике штете.

Слична поплава се догодила 1926. године, када се Колубара излила на целој дужини тока, плавећи целу долину, при чему је дубина воде на инундацијама је износила и до 2 m. Ширина поплављеног подручја код Обреновца је била 5 km, а код Ваљева 300 m.

Поред наведених екстремних поплава, слив Колубаре су у новијој историји погодиле и друге значајне поплаве са великим штетним последицама, пре свега по становништво и привреду.

Треба поменути поплаву Обреновца 1981. године. Тада је у време високих водостаја Саве дошло до формирања бујичних вода на свим притокама Колубаре и суперпонирања поплавних таласа на реци Колубари. Само на територији Обреновца су поплављени 20.000 ha пољопривредног земљишта, око 900 стамбених објеката и већи број привредних објеката, а штете су се јавиле на свим објектима комуналне и друге инфраструктуре.

Велике воде Колубаре су се само у последњој деценији изливале више пута. Значајна поплава се јавила 2001. године, када је на територији Ваљева, Мионице и Лајковца, Колубара са притокама поплавила 3.800 ha и 110 стамбених објеката, као и Казнено поправни завод и Истражни затвор у Ваљеву. 2006. године је у општини Обреновац поплављено 3.000 ha, 280 стамбених објеката и угрожено 1.100 становника. Такође, 2010. године је у општини Обреновац поплављена површина од 2.000 ha и 135 стамбених објеката.

Град Ваљево угрожава река Љубостиња, која је 2007. године поплавила површину од 50 ha, укључујући 72 стамбена објекта, основну школу и обданиште, одакле је евакуисано 220 деце и 35 запослених.

У подсливу Тамнаве, на територији општине Уб, честесу поплаве од Тамнаве, Уба и Грачице. Најзначајније поплаве у новијем периоду су се догодиле 1999, 2006 и 2009. године.1999. је поплављено 6.000 ha, 480 стамбених објеката и угрожено 2.050 становника, а 2006. године 5.600 ha и 129 домаћинстава у општини Уб. 2009. године су Тамнава и Уб поплавили 3.000 ha и 280 стамбених објеката, а угрожено је било 1.100 становника, а веће штете су избегнуте пуштањем воде у рибњак у Докмиру.

Поплаве које су у Прелиминарној процени ризика од поплава идентификоване као значајне на нивоу Републике Србије приказане су на слици 2. Међутим, у сливу Колубаре се често јављају и поплаве локалног карактера, које наносе штете пољопривредним површинама које нису заштићене од поплава. Пример је потез реке Колубаре Међулужје - Конатице – Пољане у општини Обреновац.

Како је често изливање вода из речних корита било увек праћено значајним штетама на околном пољопривредном земљишту и саобраћајницама, у протеклим деценијама су предузете бројне мере на регулацији корита водотока и изградњи одбрамбених насипа дуж Колубаре и њених бројних притока.



Слика 1.2 Значајне поплаве у периоду 1965-2011.

1.3 Предмет, циљеви, садржај и организација израде Студије

Учесталост поплава и величина штета од поплава у сливу реке Колубаре, а посебно величина и разорна енергија поплавног таласа из маја 2014. године, указују да је неопходно унапредити заштиту од вода и створити услове да се боље управља ризицима од поплава у складу са потребама просторног и привредног развоја подручја.

Задатак Студије унапређења заштите од вода у сливу Колубаре је да се изради концепција интегралне заштите од великих вода у сливу Колубаре, која ће обухватити: антиерозионо уређење слива, акумулисање вода у горњим деловима слива, формирање ретензионих простора, доградњу и реконструкцију објеката за одбрану од поплава.

Студијом треба да се дефинише стратегија изградње система за заштиту од вода која ће бити усаглашена са плановима просторног и привредног развоја јединица локалне самоуправе, затим плановима електропривреде и других државних инфраструктурних система. Стратегија заштите од вода треба да се заснива на интегралном приступу, односно одговарајућој комбинацији инвестиционих и неинвестиционих мера и јединственим критеријумима у погледу степена заштите насеља, привредних објеката и пољопривређених површина у приобаљу. Предложена решења и мере заштите од поплава у сливу Колубаре треба да буду изводљива са техно-економског, социјалног и еколошког аспекта.

Резултати студије треба да омогуће израду плана управљања ризицима од поплава, као што је предвиђено постојећим Законом о водама.

Плански период у коме се предвиђа реализација предложених решења је 20 година (између 2015 и 2035. године). Да би се остварили ефекти предложених решења и мера потребно је да постоји јасна динамика и приоритети у њиховој реализацији. Као полазна година („нулто стање") се узима стање објеката и слива у 2015. години. Из студије треба да произађе предлог одређених приоритета у погледу мера и радова које треба предузети и то за хоризонте који одговарају шестогодишњим циклусима планирања управљања ризиком од поплава.

Осим испуњења примарних циљева у вези са заштитом од вода у сливу Колубаре, студија би требало да оствари и друге ефекте од значаја за имплементацију предложеног концепта унапређења заштите од вода и смањења штета од поплава, као што су:

- Стандардизација поступака израде хидролошких и хидрауличких симулационих модела за велике воде;
- Едукација стручног кадра путем дистрибуције резултата студије;
- Остваривање обавештености и учешћа јавности у процесу изградње и коришћења система за заштиту од поплава, као и у процесу управљања ризиком од поплава.

Студија унапређења заштите од вода у сливу Колубаре ће обухватити следеће теме:

1. Израда и калибрација хидролошког модела
2. Израда и калибрација хидрауличких модела
3. Стање и функције постојећих објеката за заштиту од поплава
4. Хидролошко-хидрауличка реконструкција поплава из маја 2014. године и анализа функционисања одбрамбеног система током тог догађаја
5. Хидролошки параметри и критеријуми за процену угрожености од плављења и димензионисање објеката за заштиту од поплава
6. Унапређење заштите од великих вода у сливу Колубаре
7. Потенцијалне штете од поплава
8. Започети и планирани објекти за унапређење заштите од великих вода у сливу Колубаре
9. Предлог система објеката и мера за постизање пројектованог степена заштите од поплава у сливу Колубаре
10. Ефекти предложеног решења на режим великих вода и смањење ризика од поплава
11. Економско вредновање предложеног решења
12. Утицај предложеног решења на социјалне чиниоце
13. Утицај предлошеног решења на животну средину
14. Смернице и услови за израду и измену планске документације релевантне за унапређење заштите од поплава, као и за ограничења у коришћењу и уређењу водног земљипта

Предвиђено је и да се резултати студије сажето прикажу и кроз синтезни извештај, као и да се у оквиру израде студије изврши имплементација података и резултата студије у Водопривредни информациони систем (ВИС) и успостави Интернет портал за дистрибуцију информација и комуникацију са корисницима студије и стручном јавношћу.

Процес израде студије је интерактиван. Комуникација са корисницима студије и јавношћу обавља се преко ЈВП „Србијаводе". Корисници студије су:

- Јавна водопривредна предузећа ЈВП „Србијаводе" и ЈВП „Београдводе"

- ЈП Електропривреда Србије и РБ „Колубара", Коридори Србије (ЈП Путеви Србије)
- Министарство за пољопривреду и заштиту животне средине, Министарство за енергетику, Министарство за инфраструктуру и Републички хидрометеоролошки завод Србије.
- Град Београд (градске општине: Обреновац, Лазаревац, Барајево и Сопот), Коцељева, Владимирци, Шабац, Осечина, Уб, Лајковац, Мионица, Љиг, Аранђеловац, Горњи Милановац и Косјерић и град Ваљево. Укупно - 16 општина.
- Привредни субјекти са подручја, грађани, стручна јавност и медији.

Студија се ради фазно, са периодичним извештавањем о постигнутим резултатима и смерницама за даљи рад:

1. фаза – Претходни извештај
2. фаза – Прелиминарни извештај
3. фаза – Завршни извештај

Генерално, претходни извештај садржи опис проблема и методологије која ће бити примењена, анализу постојећег стања и предлог концепта решења за унапређење заштите од поплава у сливу Колубаре.

Претходни извештај ће прегледати Савет пројекта, који ће у року од 15 дана доставити своје примедбе и коментаре, након чега Савет пројекта треба да донесе одлуку о наставку рада на Студији.

Прелиминарни извештај треба да садржи комплетну студију, односно представљаће радну верзију Завршног извештаја, што значи да ће обухватити све садржаје предвиђене Пројектним задатком. Прелиминарни извештај ће се доставити Савету пројекта, као и свим корисницима, који ће у року од највише 30 дана доставити своје примедбе и коментаре, након чега ће Савет пројекта донети одлуку о прихватању и одобрити израду Завршног извештаја.

Завршни извештај ће бити достављен Наручиоцу у планираном року од 12 месеци од почетка израде Студије. Наручилац ће у року од 30 дана обавити контролу Завршног извештаја и донети одлуку о усвајању Студије.

Информатички садржаји ће бити расположиви непрекидно од трећег месеца израде студије, за сво даље време израде студије.

Уколико се у току израде студије појави потреба за додатним подлогама, било да их захтева извршилац или наручилац студије, потребно је да их одобри Стручна комисија и да се уради анекс Пројектног задатка, који ће прихватити извршилац и наручилац, посебно водећи рачуна о евентуалној могућности да припрема додатних подлога захтева додатно време или додатна средства.

2 ИЗРАДА И КАЛИБРАЦИЈА ХИДРОЛОШКИХ МОДЕЛА

2.1 Образложење избора и основне концепцијске поставке хидролошких модела

Основни циљ развоја хидролошког модела слива реке Колубаре је стварање погодног математичког апарата који ће превасходно служити за анализу утицаја различитих варијанти техничких мера и пројектованих система за заштиту од вода у сливу реке Колубаре. Геоморфолошка сложеност слива и постојећи степен инфраструктурне и индустријске изграђености долине слива реке Колубаре захтева развој веома флексибилне структуре хидролошког модела. Осим тога, треба имати у виду да је процес формирања поплавних таласа у сливу реке Колубаре веома сложен. На водотоцима у горњем делу слива јављају се бујичне поплаве, које карактеришу кратка времена концентрације падавина са слива, што има за последицу формирања наглих поплавних таласа која кратко трају, са великим брзинама тока и масовним покретањем наноса. На доњим деловима водотока Колубаре и притока поплавни таласи настају спорије. Преовладавајући правци кретања ваздушних маса изнад територије предметног слива углавном доносе кише, приближно равномерно распоређене по простору. У таквим условима долази до коинциденције поплавних таласа са вршних делова слива стварајући изражене нагле поплавне таласе дуж тока реке Колубаре. У таквим условима развој хидролошког модела слива реке Колубаре мора се базирати на рачунским поступцима претварања падавина у отицај, њиховој трансформацији и пропагацији дуж главног водотока и притока, укључујући анализу утицаја постојећих и пројектованих објеката и система за заштиту од поплава.

Постоји много хидролошких модела, који се генерално могу класификовати према:

- Начину на који се описују процеси формирања отицаја:
    - Физички засновани модели садрже једначине које су изведене применом закона одржања (нпр. *Penman-Monteit* једначина за прорачун ПЕТ или Ричардсова једначина за моделирања струјања у незасићеном земљишту).
    - Концептуални хидролошки модели (модели „сиве кутије") подразумевају апроксимацију компонената хидролошког циклуса резервоарима (нпр. резеровари вегетације, земљишта итд.), при чему за резервоаре важе једначине одржања масе, док се флуксеви између њих описују емпиријским релацијама (нпр. једначине линеарних и нелинеарних резервоара).
    - Емпиријски модели (модели „црне кутије") су базирани на функционалном пресликавању улазних (нпр. падавине, температуре, и сл.) у излазне величине (нпр. проток), без експлицитног описивања процеса генерисања отицаја. Овој групи модела припадају емпиријске релације засноване на регресионим анализама, трансфер функције и неуронске мреже. С обзиром да је структура ових модела заснована на подацима (енгл. *data-driven models*), њихова примена ван опсега осмотрених података није препоручљива. Додатно, било какво увођење нових објеката (акумулација и ретензија) није могуће.
    - Комбиновани модели. Код ових модела неки процеси се могу моделирати као код физички заснованих или концептуалних модела, док се неки могу апроксимирати чисто емпиријским релацијама.
- Начину на који је просторна хетерогеност карактеристика слива и/или метеоролошких величина укључена у модел:

- Укрупњени (хомогени) модели (енгл. *lumped models*) подразумевају просторно осредњене метеоролошке величине и јединскствен скуп параметара за цело сливно подручје.
- Семи-хомогени модели (енгл. *semi-lumped models*) препознају просторну расподељеност метеролошких величина, с тим да за цело сливно подручје важи јединствен скуп параметара. На пример, слив може бити подељен на више висинских зона, при чему за сваку зону важи исти скуп параметара, док се падавине и температуре засебно одређују за сваку зону чиме се урачунавају промене са надморском висином. Аналогно, слив може бити подељен на подсливове или хидролошке јединице.
- Семи-дистрибуирани модели (енгл. *semi-distributed models*) подразумевају делинеацију слива на подсливове, при чему сваки подслив има своје улазне (метеоролошке) податке и свој скуп параметара. Другим речима, семи-дистрибуирани модел представља комбинацију укрупњених модела за сваки од подсливова. Број параметара се повећава у односу на нпр. укрупњени модел слива, с тим да се параметри сваког подслива оптимизују у односу на протоке осмотрене на његовом излазном профилу.
- Дистрибуирани модели (енгл. *distributed models*) су базирани на рачунској мрежи, при чему се свакој ћелији мреже додељује сопствени вектор улазних података и скуп параметара. Иако би овај приступ због нивоа детаљности требало да има највећу ефикасност, калибрација ових модела је веома комплексна с обзиром да се број параметара знатно увећава.

- Трајању симулационог периода:
  - Континуални хидролошки модели подразумевају симулацију отицаја током дужег периода који обухвата више кишних епизода, као и бескишне периоде и периоде са снегом. Код ових модела је веома важно да се коректно симулира влага у земљишту, односно процеси током сушних периода (нпр. ЕТ и рецесионе гране хидрограма – базни отицај), с обзиром да влажност земљишта пре кишне епизоде у знатној мери одређује ефективне кише. Стога су за ове симулације примерени физички „заснованији" хидролошки модели, који подразумевају симулацију процеса као што су задржавање падавина на вегетацији (интерцепција) или формирање и топљење снежног покривача.
  - Модели епизода подразумевају симулацију отицаја само услед једне изоловане кишне епизоде. Ови модели су често упрошћенији у односу на континуалне моделе, зато што неки процеси (нпр. евапотранспирација) нису укључени у симулацију отицаја.

Избор хидролошких модела вршен је према следећим критеријумима:

- Доступност: биће коришћени хидролошки модели који су јавно доступни или модели за које Институт „Јарослав Черни" поседује лиценцу.
- Претходно искуство учесника на пројекту са моделима: модел би требало да је већ коришћен за симулацију отицаја са више већих река, а учесници на пројекту такође да имају искуства.
- Квалитет модела: да изабрани хидролошки модели могу задовољавајуће да репродукују осмотрене хидрограме са улазним подацима датог квалитета.
- Структура модела: на сливу реке Колубаре доминирају шуме и пољопривредно земљиште, па су модели бирани тако да садрже модуле који имају адекватан приступ у прорачуну компоненти вертикалног водног биланса (падавине, интерцепција, инфилтрација, континулана симулација количине воде у земљишту, итд.), имајући у виду да управо компоненте имају највећи утицај на генерисање отицаја са слива. С обзиром да у горњем делу слива реке Колубаре постоји карст, бирани су модели који омогућавају симулацију трансфера отицаја са дела слива (уколико подаци о трансферу дела отицаја са слива постоје).

За симулацију отицаја са слива реке Колубаре у овој студији одабрана су два хидролошка модела: ИЈЧ-ГФ и HEC-HMS.

HEC-HMS је јавно доступан концептуални, семи-дистрибуирани хидролошки модел развијен од стране US Army Corps of Engineers. Овај модел садржи више модула за симулацију ефективних падавина, директног и базног отицаја и трансформацију хидрограма у хидрографској мрежи, који се могу комбиновати. У модул за пропагацију хидрограма се могу укључити и рачвања и спајања тока, као и трансформација поплавних таласа у акумулацији. Модул за симулацију ефективних падавина опционо може да садржи и резервоар вегетације површинских депресија, а у модел се може укључити и компонента за симулацију снега. На овај начин се структура модела HEC-HMS може прилагодити потребама израде модела и доступним подацима. Иако је овај модел превасходно намењен симулацији отицаја услед изолованих кишних епизода, постоје две варијанте модула за симулацију ефективних падавина које омогућавају континулне хидролошке симулације. Структура модела и његове компоненте се приказују графички, што овај модел чини једноставним за коришћење. Одабрана комбинација модула одређује сложеност модела и број параметара. Овај модел поседује модул за оптимизацију параметара, међутим аутоматска калибрација је омогућена само за најједноставније конфигурације модела.

Хидролошки модел ИЈЧ-ГФ је резултат заједничког вишегодишњег развоја Института за водопривреду Јарослав Черни и Института за хидротехнику Грађевинског факултета у Београду. ИЈЧ-ГФ је физички заснован, дистрибуирани хидролошки модел, развијен у програмском језику C++ и реализован као динамичка библиотека (dll) ради смањења времена трајање симулација чији је код могуће мењати и прилагођавати условима у сливу (ова динамичка библиотека се може позивати из различитих апликација).

Потребно је напоменути да је хидролошки модел ИЈЧ-ГФ основа за бројне оперативне хидролошке моделе у региону, остварене кроз имплементацију комплексних хидро-информационих система које је Институт Јарослав Черни развио и које активно одржава:

- Хидро-информациони систем "Дрина" (Србија) - оперативни хидролошки модел слива Дрине, површине скоро 20.000 km^2
- Хидро-информациони систем "Власина" (Србија) - оперативни хидролошко-хидраулички модел сложеног хидро-система "Власина", са каналима и акумулацијама
- Хидро-информациони систем "Требишњица" (Република Српска) - оперативни хидролошко-хидраулички модел сложеног карстног система са вештачким акумулацијама
- Хидро-информациони систем "Врбас" (Република Српска) - оперативни хидролошки модел речног система са акумулацијама и умереним карстом

Са становишта информационих технологија, платформа обезбеђује стандардне протоколе комуникације са осталим информационим системима, као што је случај са оперативном разменом података између хидро-информационог система "Дрина", са једне стране, и РХМЗ и ВИС информационим системима, са друге стране. Хидро-информациони систем је дистрибуирани систем пројектован у складу са сервисно-оријентисаном архитектуром, креиран за подршку одлучивању у управљању водним ресурсима. Састоји се од различитих сервиса за управљање подацима, база података и нумеричких модула. Централни део је хидролошки модел. Овим моделом се симулирају процеси падавине/отицај, са широким спектром просторне и временске дискретизације. Такође су моделирани утицаји акумулисања и топљења снега и вегетације, као и ток кроз отворена корита и акумулације и објекти. Алатке за оперативно управљање наменама акумулације се заснивају на модулу за хидролошке прогнозе, а они се ослањају на краткорочне хидролошке прогнозе. За дугорочне анализе и прогнозе обезбеђен је сет алатки за стратешко планирање, са унапред дефинисаним сценаријима тренутне намене и будућег развоја у сливу.

Предност коришћења хидролошког модела ИЈЧ-ГФ је тај што је, услед бројних улазних параметара, овај модел тачнији од општих модела, под условом да су параметри одређени на основу стварних карактеристика слива. Поред тога, предност се огледа у могућности за већу временску и просторну дискретизацији. Са друге стране, модел је спреман за примену метода ажурирања стања на основу осмотрених података, што је предуслов за оперативну прогнозу. Важни фактори који утичу на процес отицаја су намена земљишта и земљишни покривач. Хидролошки модел пружа решење и за процену утицаја промена у намени земљишта и земљишног покривача на отицај. У погледу климатских промена, овај модел се може користити за припрему хидролошких сценарија који се заснивају на дугорочним прогнозама метеоролошких низова у складу са различитим сценаријима емисије гасова стаклене баште.

Иако се за ИЈЧ-ГФ хидролошки модел може рећи да је у зрелој фази развоја, обзиром да је тестиран и примењиван на бројним претходно поменутим сливовима, као и да се ради о веома ефикасном симулационом моделу, због поређења са моделом који је постао стандард у хидрологији, одлучено је да се паралелно ураде прорачуни и у хидролошком моделу у програму HEC-HMS.

Имајући у виду чињеницу да ће оба модела (ИЈЧ-ГФ и HEC-HMS) бити паралелно коришћени за решавање истог задатка – унапређење заштите од вода у сливу реке Колубаре, више је него јасно да они морају бити међусобно компатибилни и хармонизовани. Сама процедура хармонизације хидролошки модела HEC-HMS и ИЈЧ-ГФ састојаће се у следећем:

- Јединствена конфигурација терена слива реке Колубаре. То практично значи да ће се на истом дигиталном моделу терена (који је приказан у поглављу 2.3.1) дефинисати: хидрографска мрежа главних токова и притока; положаји локација званичних хидролошких, метеоролошких и падавинских станица; положаји локација свих карактеристичних профила (брана акумулација/ретензија, улазно излазних објеката ретензија, ушћа значајних притока), просторни положаји објеката за заштиту од поплава – насипа, просторни положаји преливених/пробијених насипа, плавне зоне у инундацијама, поплављене површине отворених рудних копова, градова и насеља током поплаве из маја 2014. године.
- Јединство коришћења подлога. Коришћењем истих улазних подлога биће одређене почетне вредности параметара модела на бази педолошке карте (поглавље 2.3.4), геолошке карте (поглавље 2.3.3) и карте коришћења земљишта (поглавље 2.3.5).
- Јединство коришћења улазно/излазних хидрометеоролошких података. Хидрометеоролошки подаци које користе оба модела (HEC-HMS и ИЈЧ-ГФ) морају бити исти, са истим периодом дискретизације времена (1 час) и за исте кишне епизоде. Остали метеоролошки подаци које користи модел ИЈЧ-ГФ морају такође бити са истим периодом дискретизације времена и за исте кишне епизоде. Оба модела користиће исте хидролошке, метеоролошке, падавинске и аутоматске станице. За трансформацију дневних сума падавина у часовне падавине на падавинским станицама користиће се исти софтвер са истим улазним часовним вредностима падавина на ГМС (плувиографима). Расположиве хидрометеоролошке серије приказане су у делу 2.4.
- Избор карактеристичних улазно/излазних и контролних профила мора бити јединствен, а то су: водомерне станице, бране акумулација/ретензије, улазно/излазни објекти ретензија, ушћа значајних притока. Карактеристични профили приказани су у делу 2.5.1
- Начин приказивања резулатата прорачуна у периодима калибрације и верификације параметара модела мора бити јединствен, и то: на истим улазно/излазним и контролним профилима. Процес калибрације и верификације хидролошког модела биће спроведен путем оптимизационих алгоратама приказаних у делу 2.6.1.

- Оцена квалитета резултата прорачуна по оба модела HEC-HMS и ИЈЧ-ГФ мора бити јединствена, тј. на основу истог критеријума за оцену квалитета модела у фази идентификације и верификације параметара модела. Оцена ефикасности хидролошког моделирања ће се спроводити путем критеријумских функција датих у поглављу 2.6.3.

Крајњи циљ хидролошког моделирања слива реке Колубаре коришћењем предложених хидролошких модела је процена утицаја различитих техничких мера за заштиту од поплава у сливу реке Колубаре (акумулација, ретанзија, насипа и др.) на простирање (пропагацију и трансформацију) поплавних таласа дуж тока реке Колубаре и главних притока, за различите вероватноће појаве поплава, како би се утврдио постигнут степен заштите поплавних подручја.

У случају да постоје довољно дуги (најмање тридесет година) расположиви историјски метеоролошких и хидролошких података, применом хидролошког модела било би могуће претварања падавина у хидрограме протицаја на сливу реке Колубаре, на профилима постојећих водомерних станица, профилима ушћа значајних притока, затим кључним профилима постојећег и будућег система за заштиту од поплава, па све до ушћа реке Колубаре у реку Саву. Пожељно би било да се ови прорачуни раде за све расположиве историјске поплавне таласе (максималне таласе великих вода у свакој години) у свим пројектованим варијантним решењима будућег система за заштиту од поплава у сливу реке Колубаре. Екстракцијом вредности срачунатих протицаја формираће се временске серије максималних годишњих хидрограма протицаја на свим наведеним кључним профилима за све пројектована варијантна решења система за заштиту од поплава. На наведене временске серије максималних годишњих хидрограма протицаја применио би се стандардни статистичко-пробабилистички поступак за одређивање теориских типских хидрограма протицаја различитих вероватноћа појаве (поглавље 2.2.3 овог извештаја).

Имајући у виду расположивост историјских метеоролошких и хидролошких података (односно, непостојање довољно дугих низова релевантних података), може се применити следећа процедура.

На свим кључним профилима са аспекта заштите од поплаве, као што су профили брана постојећих и пројектованих акумулација и ретензија, као и карактеристични профили насипа, затим на ушћима свих притока реке Колубаре и главних притока које се уливају у брањеном подручју (плавној зони) дефинисаће се теоријски хидрограми великих вода различитих повратних периода, коришћењем теорије изложене у 2.2.3.2 и 2.2.3.3 овога извештаја. Посебна пажња биће посвећена сагледавању коинциденције теоријских (рачунских) хидрограма различитих вероватноћа појаве у наведеним кључним профилима, и то у циљу изналажења реално могућих констелација рачунских хидрограма на узводном делу слива које ће имати за последицу појаву хидрограма одређене (задате) вероватноће појаве на карактеристичном профилу релевантном за заштиту од поплава. Ова процедура се може примењивати за све карактеристичне профиле система заштите од поплава у сливу реке Колубаре. За све одабране констелације „познатих" рачунских хидрограма великих вода, „инверзном" применом хидролошког модела претварања падавина у хидрограме протицаја, дефинисаће се (реконструисаће се) улазне метеоролошке променљиве на свим разматраним деловима слива, односно подсливова.

Даље, хидролошким моделом се на основу „реконструисаних" метеоролошких података, може извршити прорачун формирања и простирања поплавног таласа дуж тока реке Колубаре и њених притока, а за различите варијанте објеката и мера за заштиту од поплава. Поступак прорачуна трансформације и пропагације поплавног таласа изазваног „реконструисаним" метеоролошким подацима, може се вршити помоћу хидролошког модела за различите варијанте објеката и мера за заштиту од поплава, са циљем да се постигне жељени степен заштите (повратни период) низводног (брањеног) подручја од плављења. Овако дефинисани теоријски хидрограми великих вода,

односно типски хидрограми великих вода, су једна од основних подлога за потребе хидрауличких прорачуна који треба да дефинишу плавне зоне за различите степене заштите у условима изградње узводних објеката за заштиту од поплава у сливу реке Колубаре.

У развоју хидролошког модела слива реке Колубаре, веома је значајна хидролошко-хидрауличка реконструкција полаве из маја месеца 2014. године. У вези са тим, основни задатак хидролошког модела ће бити анализа формирања, пропагације и трансформације наведеног поплавног таласа. Сама структура хидролошког модела треба да омогући и симулирање свих последица које је попава изазвала, а то су продори и пробоји одбрамбених насипа и потапање површинских копова "Тамнава-Западно поље" и "Велики Црљени", пробој бране "Кладница" и плављење насеља, пре свега града Обреновца. Теоријске поставке основних компоненти модела остају исте. За потребе калибрације параметара хидролошког модела користиће се осмотрени метеоролошки и хидролошки подаци на званичним станицама РХМЗ Србије, са часовним периодом дискретизације времена, затим постојећи подаци осмотрени на хидротехничким објектима – акумулацијама „Ровни" и „Паљуви Виш", као и расположиви подаци о поплављеним површинским коповима у систему РБ „Колубара". Излазни резултати прорачуна из хидролошког модела су рачунски хидрограми у профилима свих активних (делимично порушених или преливених) званичних лимниграфских станица РХМЗ Србије, затим улазни хидрограми поплавног таласа на постојећим водопривредним објектима у сливу (акумулације „Ровни" и „Паљуви Виш"), хидрограми на кључним профилима система за одбрану од поплава, на ушћима свих притока у зони интензивних плављења, као и дотока са неконтролисаних међусливова дуж тока реке Клубаре и њених главних притока. Сви ови хидрограми су основа за калибрисање хидрауличког модела који треба да дефинише плавне зоне у током поплаве из маја 2014. године.

Посебан значај се даје калибрацији хидролошко-хидрауличког модела на екстремни догађај из 2014. године. Наиме, анализом протока на карактеристичним профилима, биће утврђена вероватноћа екстремних протока из 2014. године и уколико се закључи да су ови протоци одговарајуће вероватноће појаве, те да се према усвојеној Стратегији управљања водама на територији Републике Србије (2015) могу сматрати меродавним, онда ће се, за димензионисање објеката и анализу ефеката примене мера одбране од поплава, за ове делове слива, користити метеоролошки подаци и сценарији који су довели до овог екстремног догађаја. Ова анализа има посебан значај и ако се има у виду да би, сасвим сигурно, било социјално неприхватљиво усвајање нивоа одбране од поплаве који би био нижи од екстремног догађаја који се већ догодио у недавној прошлости.

2.2 Теоријске основе хидролошких модела

2.2.1 Теоријске основе хидролошког модела ИЈЧ-ГФ

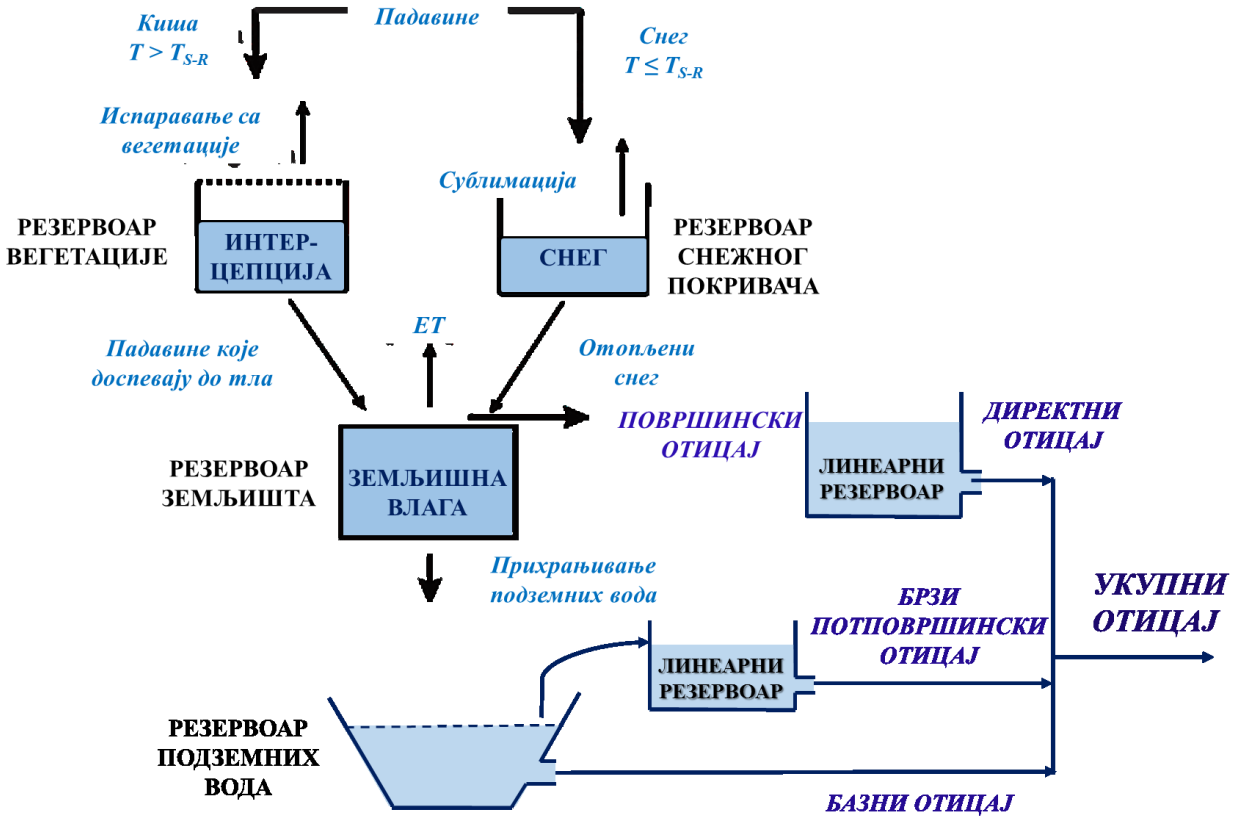
2.2.1.1 Основне поставке

Модел ИЈЧ-ГФ је дистрибуирани концептуални хидролошки модел намењен континуалним хидролошким симулацијама. Садржи модуле за интерцепцију, снег и земљиште (вертикални водни биланс), и модул за трансформацију отицаја и модул за пропагацију хидрограма дуж деоница водотока (хоризонтални водни биланс).

Симулација отицаја се заснива на тзв. хидролошким јединицама HRU (енгл. HRU – *Hydrologic Response Units*), у којима се врши симулација вертикалног водног биланса. Проток на неком хидролошком профилу добија се трансформацијом отицаја са свих узводних HRU-ова. У моделу се симулирају површински и брзи и спори базни отицај, а једна од карактеристика модела је да се могу дефинисати различити профили за површински и за базни отицај. На пример, може се дефинисати да се базни отицај са датог подлива отиче према профилу ван тополошких граница слива, док се површински

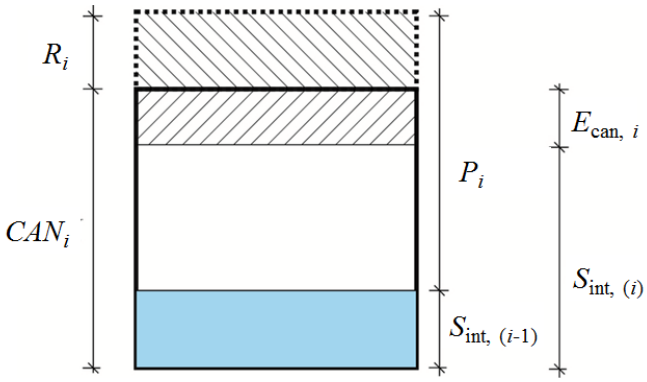
отицај дренира према тополошки низводном профилу. Ово својство модела је посебно корисно за симулацију отицаја са сливовима на којима постоји карст.

Симулација вертикалног водног биланса у сваком HRU-у обухвата симулацију задржавања воде на вегетацији (интерцепција), формирање и топљење снега и симулацију земљишне влаге (Слика 2.1).



Слика 2.1 Симулирање отицаја у моделу ИЈЧ-ГФ – схематски приказ

Задржавање воде на вегетацији (интерцепција). Вегетација је представљена једним резервоаром (Слика 2.2). Улаз у резервоар су падавине, а излаз евапотранспирација (ET) и падавине које доспевају до земље (енгл. *throughfall*). Параметри овог модула су максимални капацитет резервоара вегетације CAN_{MAX} и максимална вредност *LAI* (енгл. *Leaf Area Index*) LAI_{MAX}, као и функција промене вредности *LAI* током године. Ова функција се обично дефинише као синусоида током вегетационпг периода.



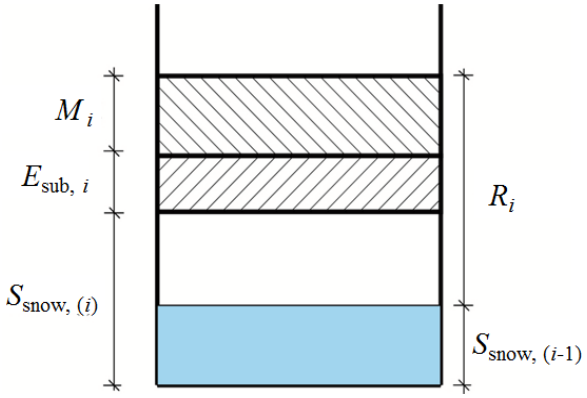
$$CAN_{(i)} = CAN_{\max} \frac{LAI_{(i)}}{LAI_{\max}}$$

$$R_i = \min\left[\max\left(0;\ S_{\text{int},(i-1)} + P_i - CAN_{(i)}\right);\ P_i\right]$$

$$E_{\text{can},\,i} = \min\left(S_{\text{int},(i)}^{*};\ PET_i\right)$$

Слика 2.2 Симулирање отицаја у моделу ИЈЧ-ГФ – резервоар вегетације.

Формирање и топљење снежног покривача. Биланс резервоара снега чине падавине при температурама мањим од граничне температуре $T_{S\text{-}R}$, топљење снега и сублимација (Слика 2.3). Модел не препознаје падавине у облику суснежице, већ се падавине при температурама мањим од $T_{S\text{-}R}$ се сматрају снегом. Све компоненте биланса изражене су у милиметрима дубине воденог талога. Симулација топљења снега заснива се на методи степен-дан (енгл. *degree-day*), што значи да је топљење снега пропорционално разлици између температуре ваздуха и температуре топљења снега (T_{MELT}). Фактор топљења снега (енгл. *meltrate factor*) варира током сезоне пратећи синусоиду која има највећу вредност 21.јуна, а најмању 21. децембра. Топљење снега такође зависи и од покривености површине слива снегом и дебљине сенжног покривача. Овај модул има шест параметара: гранична температура ($T_{S\text{-}R}$), температура топљења снега (T_{MELT}, опционо се може претпоставити да је овај параметара једнак $T_{S\text{-}R}$), фактори топљења снега 21.6.($b_{MELT,6}$) и 21.12. ($b_{MELT,12}$), дебљина снежног покривача у милиметрима воденог талога при којој је цео HRU покривен снегом ($S_{SNOW,100}$) и коефицијент пондерације температуре снежног покривача (λ).



Слика 2.3 Симулирање отицаја у моделу ИЈЧ-ГФ – резервоар снежног покривача

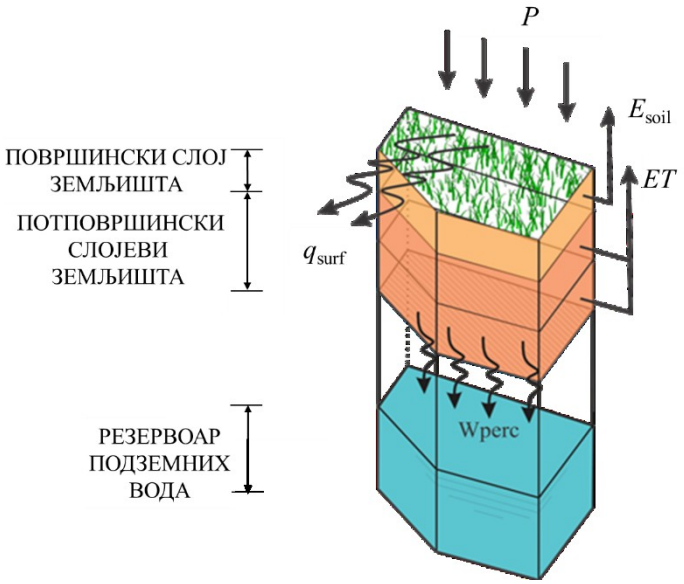
Резервоари земљишта. Модул за симулацију влаге намењен је континуалним симулацијама влаге у површинском слоју земљишта и произвољном броју потповршинских слојева – резервоара (Слика 2.4). Најчешће се усваја само један потповршински слој земљишта.

Биланс површинског слоја земљишта састоји се из инфилтрације, испаравања и процуривања у потповршинске слојеве земљишта. Површински (Хортонов) отицај одређује се применом SCS методе, а падавине (падавине које доспеју до земље и / или топљење снега) које не учествују у површинском отицају се инфилтрирају у површински слој земљишта. Инфилтрација у површински слој земљишта зависи од влажности овог слоја. Уколико овај слој не може да прими инфилтрирану количину воде (разлику између падавина и директног отицаја и евапорације из земљишта), вишак воде се додаје површинском отицају (енгл. *saturation excess runoff*). Процуривање у потповршински слој земљишта рачуна се на основу Ричардсове једначине која је интеграљена у вертикалном правцу (по дубини слоја земљишта), при чему се коефицијент филтрације из незасићеног земљишта оцењује методом ван Генухтена уз претпоставку да је резидуална влажност једнака влажности трајног увенућа.

Биланс потповршинског слоја земљишта се састоји из перколације из горњег (површинског) слоја земљишта, транспирације и перколације у дубљи слој земљишта, односно у резервоар подземних вода (Слика 2.4).

Параметри овог модела обухватају хидролошки (*CN*) број и иницијалну апстракцију (I_a), као и број потповршинских слојева земљишта. За сваки слој земљишта потребно је дефинисати дебљину, ефективну порозност, коефицијент филтрације у вертикалном правцу при засићењу земљишта, влажност трајног увенућа, влажност пољског капацитета и индекс расподеле пора (параметар у једначини ван Генухтена). Дебљина површинског слоја је око 10 cm, док је дебљина потповршинских слојева земљишта

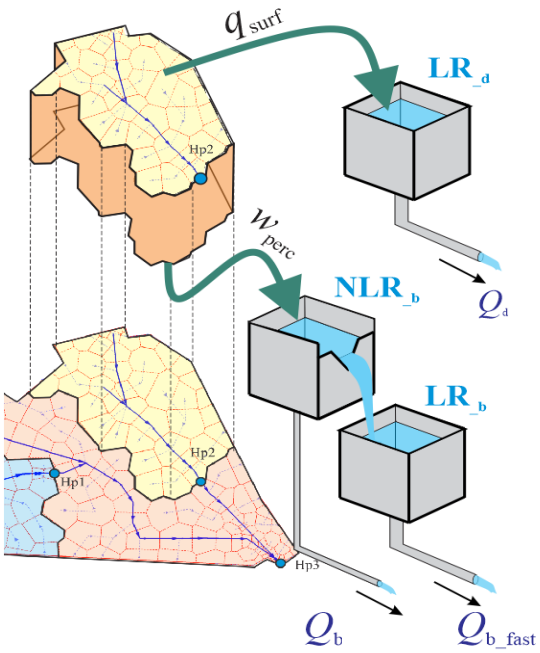
знатно већа. Број параметара зависи од тога да ли су неки параметри земљишта исти за све слојеве.



Слика 2.4 Симулирање отицаја у моделу ИЈЧ-ГФ – резервоари земљишта и резервоар подземних вода.

Трансформација отицаја. Површински отицај и процуривање из најдубљег слоја земљишта се трансформишу у проток на разматраном хидропрофилу помоћу линеарних и нелинеарних резервоара (Слика 2.1 и Слика 2.5). Површински се трансформише у диретни отицај на хидропрофилу кроз низ линеарних резервоара (тзв. Нешова каскада), при чему већи број резервоара резултује расплинутијим поплавним таласима. Перколација из најдубљег слоја земљишта се трансформише кроз нелинеарни резервор са преливом. Количина воде у нелинеарном резервоару изнад „прага" се трансформише кроз линеарни резервоар (Слика 2.1), што симулира брзи потповршински отицај карактеристичан за карстне сливове. Отицај који истиче из нелинеарног резервоара чини спори потповршински отицај. Проток на разматраном хидропрофилу представља збир ове три компоненте.

Параметри овог модула су број линеарних резервоара за трансформацију површинског отицаја и коефицијент ових резервоара, коефицијент линеарног резервоара за трансформацију брзог потповршинског отицаја, и висина прелива нелинеарног резервоара (у милиметрима воденог талога по јединици површине слива), максимални базни отицај по јединици површине слива и коефицијент нелинеарности резервоара. Коефицијент линеарног резервоара за трансформацију директног отицаја се може оценити на основу очекиваног времена концентрације до датог хидропрофила. Уколико је време концентрације слива кратко, препоручљиво је да се усвоји само један линеарни резервоар.



Слика 2.5 Симулирање отицаја у моделу ИЈЧ-ГФ – трансформација отицаја.

Модел ИЈЧ-ГФ омогућава симулацију пропагације хидрограма у хидрографској мрежи. Пропагација дуж једне деонице водотока се симулира једначином линеарног резервоара, при чеми је потребно дефинисати коефицијент резервоара.

Потребни улазни подаци обухватају:

Просторни подаци:

1. Дигитални модел терена (ДМТ).
2. Хидрографска мрежа са положајима профила у хидрографској мрежи (хидропрофила – HP) у којима се рачунају хидрограми отицаја са узводног дела слива. ДМТ и хидрографска мрежа су неопходни за просторну декомпозицију слива. Подаци о хидрографској мрежи (нпр. дужине, просечни нагиби, Манингов коефицијент храпавости) потребни су за процену времена концентрације, односно коефицијената линеарних резервоара.
3. Подаци о намени земљишта, типу тла и сл. Ови подаци су веома значајни за калибрацију модела, односно постављање почетних опсега неких од параметара модела који се користе за прорачун вертикалног водног биланса.

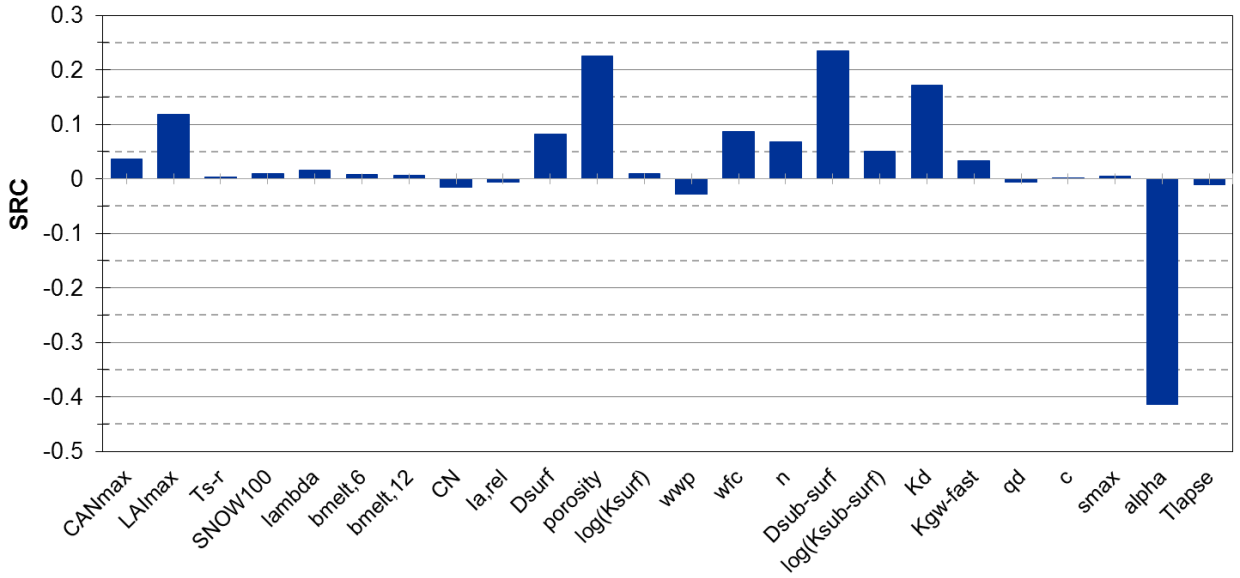
Метеоролошки подаци (осмотрене временске серије): падавине, температуре, потенцијална евапотранспирација (ПЕТ). Подаци о ПЕТ могу бити осмотрени или се могу срачунати екстерно и унети у програм. Уколико не постоје подаци о ПЕТ, у оквиру модела се ПЕТ може срачунати методом Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1982).

Хидролошки подаци (осмотрене временске серије): осмотрени протоци на разматраним профилима хидролошких станица, се користе за калибрацију и верификацију хидролошког модела.

С обзиром да се вертикални водни биланс у моделу ИЈЧ-ГФ симулира на нивоу хидролошких јединица (HRU), осмотрене метеоролошке величине се интерполују и коригују према надморској висини. У моделу је претпостављен линеарни пораст висине падавина и линеарно смањење температуре са надморском висином. Ова два градијента са надморском висином (a и T_{LAPSE}) могу се одредити на основу осмотрених података или у поступку калибрације као слободни параметри модела.

Осим што задовољава све претходно наведене критеријуме за избор адекватног хидролошког модела за моделирање отицаја на сливу Колубаре, ИЈЧ-ГФ има предност у томе што је резултат „домаћег" развоја па се може лако прилагодити потребама студије уколико је то потребно. Предност овог модела је и његова просторна расподељеност, што значи да се могу добити хидрограми у било ком профилу на сливу. Модел је написан у програмском језику C++, што и поред чињенице да се ради о дистрибуираном хидролошком моделу подразумева веома ефикасан прорачун, односно релативно кратко трајање симулација. Модел је развијен као динамичка библиотека, и може се позивати из различитих апликација, од којих је једна MATLAB, чиме је омогућено повезивање модела са било којим оптимизационим или агоритмом за процену неодређености и / или осетљивости параметара модела који су доступни у MATLAB-у.

Проблем у примени овог модела представља релативно велики број параметара који се калибришу. Овај проблем се може до неке мере превазићи уколико се вредности параметара који нису осетљиви (њихово варирање не утиче значајно на симулиране хидрограме) фиксирају, чиме се број параметара који се калибрише знатно смањује. Осетљивост параметара модела ИЈЧ-ГФ који су одређениза слив реке Колубаре до хидролошке станице Словац (Слика 2.6). Осетљивост параметара одређена је методом која се базира на линеарној регресији између параметара и вредности Неш-Сетклифовог коефицијента ефикасности модела у периоду 1988-2013. Ови прелиминарни резултати показују да су за репродуковање осмотрених хидрограма најважнији градијент падавина са надморском висином, дебљине слојева земљишта, коефицијенти линеарног резервоара за директни отицај и *LAI*, док су параметри везани за снег и базни отицај мање значајни. Детаљи о овој методи одређивања осетљивости параметара модела дати су у Sieber and Uhlenbrook (2005), Marino et al. (2008) и Pan et al. (2011).



Слика 2.6 Осетљивост параметара модела ИЈЧ-ГФ – слив реке Колубаре до хидролошке станице Словац (1988-2013)

2.2.1.2 Нумерички алгоритам модела ИЈЧ-ГФ

Основна просторна јединица ИЈЧ-ГФ модела је HRU (hydrological response unit). HRU се HRU посматра као целина, улазни подаци за прорачун компоненти вертикалног водног биланса су:

1. R' - укупне падавине и
2. E_o – потенцијална евапотранспирација;

задати у форми флукса (mm/dan) на површини терена.

Резултати прорачуна су флуксеви који представљају излаз из HRU-а:

3. Q_{surf} – директан отицај и
4. W_{perc} – процуривање и

сумарна промена количине воде у резервоарима који чине HRU - ΔS.

HRU се декомпонује на три основна резервоара:

1. Вегетација – резервоар у коме се одвија интерцепција;
2. Снежни покривач – резервоар у коме се одвијају процеси сублимације и топљења снега и
3. Земљиште – које је подељено на неколико резервоара (лејера) у оквиру којих се одигравају процеси отицаја, евапорације, транспирације и процуривања.

2.2.1.2.1 Резервоар вегетације

Вегетација се третира као резервоар за прихватање дела падавина (процес интерцепције). Тренутни капацитет (CAN) зависи од периода развоја вегетације и максималног капацитета (CAN_{max}):

$$CAN = CAN_{max} \frac{LAI}{LAI_{max}} \quad (1)$$

где је LAI индекс површине листа и представља однос између пројекције површине листа на терен и површине терена (m^2 m^{-2}). Вредност LAI варира у току вегетационог периода и зависи од врсте вегетације и фазе развоја. LAI_{max} је максимална вредност која се усваја у зависности од заступљености појединих врста вегетације на површини HRU-а.

Први корак у прорачуну биланса у овом резервоару је да се редукују укупне падавине за онај део који ће се задржати на вегетацији:

$$R = \min\left(R'; \max\left(0;\ R_{int}(i-1) + R' - CAN(i)\right)\right) \quad (2)$$

Стање овог резервоара након интерцепције се рачуна:

$$R_{int} = R_{int}(i-1) + R' - R \quad (3)$$

Испаравање са вегетације E_{can} је лимитирано потенцијалним испаравањем E_o и стањем резервоара након интерцепције:

$$E_{can} = \min\left(R_{int}, E_o\right) \quad (4)$$

За прорачун коначног стања резервоара након i-тог периода потребно је одузети срачунато испаравање са вегетације:

$$R_{int}\ (i) = R_{int} - E_{can} \quad (5)$$

Потенцијална евапотранспирација E_o се сада умањује за део енергије (изражене у еквивалентним mm воде која је испарила) која је потрошена за испаравање са вегетације:

$$E_0' = E_0 - E_{can} \quad (6)$$

На крају прорачуна се рачуна коефицијент cov_{soil} на основу кога ће се потенцијална евапотранспирација (E_0') делити на потенцијалну евапорацију (E_s) и потенцијалну транспирацију (E_t):

$$cov_{soil} = \exp(-0{,}4\ LAI) \quad (7)$$

Улазни подаци за прорачун су: R', E_0, CAN, $R_{int}(i-1)$, LAI.

Резултати прорачуна су: R, $R_{int}(i)$, E_0', cov_{soil}.

2.2.1.2.2 Резервоар снега

Падавине су у форми снега када је температура испод неке граничне вредности (T_{s-r}) и у том случају су укупне падавине у форми снега R' изражене у еквивалентној висини воденог талога (mm воде).

Ако стање снежног покривача на крају периода $(i-1)$ означавамо са $SNO(i-1)$ онда је снежни покривач након падавина:

$$SNO = SNO(i-1) + R' \quad (8)$$

Ако срачуната вредност SNO није већа од нуле, прорачун за овај резервоар треба прескочити и компоненте биланса изједначити са нулом.

За прорачун отапања снега SNO_{melt} треба прво срачунати покривеност земљишта снегом sno_{cov}. Прорачун се спроводи на основу параметра SNO_{100} који одговара висини снега (израженој у еквивалентним mm воде) при којој је 100% површине HRU-а под снегом.

$$sno_{cov} = \min\left(\frac{SNO}{SNOcov_{100}}; 1\right) \quad (9)$$

За прорачун топљења снега треба срачунати температуру снега T_{sno} која се рачуна као пондерисана вредност између температуре снега у претходном временском кораку и средње дневне температуре T:

$$T_{sno}(i) = (1-\lambda_{sno})T_{sno}(i-1) + T_{sr}\lambda_{sno} \quad (10)$$

где је λ_{sno} коефицијент пондерације који узима вредност од 0 до 1.

Коефицијент топљења снега b_{mlt} (чије су јединице mm воде C-1 dan-1) може се срачунати на основу карактеристичних вредности коефицијената b_{mlt6} и b_{mlt12} и редног броја дана у години (dn):

$$b_{mlt} = \frac{b_{mlt6} + b_{mlt12}}{2} + \frac{b_{mlt6} - b_{mlt12}}{2}\ sin\left(\frac{2\pi}{365}(dn - 81)\right) \quad (11)$$

Коефицијенти b_{mlt6} и b_{mlt12} су везани за почетак лета (21.јун) и почетак зиме (21.децембар) и карактеристичне вредности се крећу од 1,5 до 8 mm воде C-1 dan-1. С тим у вези треба бити обазрив у случају да се не користи дневна дискретизација, па

вредности овог параметра треба кориговати. У оквиру модела овај параметар се не рачуна већ представља улазну серију која се може срачунати у предпроцесирању.

$$SNO_{mlt} = min\left(SNO; max\left(0;\ b_{mlt}\, sno_{cov}\ \left(\frac{T_{sno} + T_{max}}{2} - T_{mlt}\right)\right)\right) \tag{12}$$

Након прорачуна отапања, коригује се стање снежног покривача:

$$SNO' = SNO - SNO_{mlt} \tag{13}$$

Сублимација представља процес у коме снег прелази из чврстог у гасовито агрегатно стање, при чему се троши енергија. Сублимација (E_{sub}) се рачуна само уколико је преостала дебљина снежног покривача након топљења SNO', већа од нуле.

У случају да има снега, коригује се и параметар sno_{cov} који не може бити мањи од вредности 0,5:

$$cov_{soil}{}' = \max\left(0{,}5; \exp(-0{,}4\ LAI)\right) \tag{14}$$

Стварна сублимација је ограничена количином снега и расположиве енергије:

$$E_{sub} = \min\left(SNO';\ E_0{}'\ cov_{soil}{}'\right) \tag{15}$$

На крају прорачуна који се спроводи за овај резервоар, рачуна се преостала количина снега:

$$SNO(i) = SNO' - E_{sub} \tag{16}$$

Улазни подаци за прорачун су: R', $E_0{}'$, LAI, $SNO(i-1)$, $T_{sno}(i-1)$, T_{sr}, T_{max}, λ, SNO_{100}, T_{mlt}.

Резултати прорачуна су: SNO_{mlt}, E_{sub}, $SNO(i)$, T_{sno}.

2.2.1.2.3 Резервоар земљишта

Резервоар земљишта је подељен на слојеве. Подразумева се да постоји један површински слој дебљине D_s (око 10 cm) у коме се одвијају процеси евапорације и отицаја и ограничени број (n_l) подповршинских слојева у којима су доминантни процеси транспирације и процуривања.

Сваки слој земљишта има предефинисане карактеристичне вредности које дефинишу стање резервоара (SW) при карактеристичним влажностима:

$STO = p\ D$ – је максимални капацитет земљишне влаге (mm) који се рачуна на основу порозности p и дебљине слоја земљишта D;

$FC = \omega_{fc}\ D$ - је стање резервоара које се рачуна на основу влажности пољског капацитета;

$WP = \omega_{wp}\ D$ - је минимална количина воде у земљишту која је дефинисана карактеристичном влажношћу трајног венућа.

Површински слој

Први корак у прорачуну биланса у вертикалном слоју земљишта је прорачун отицаја Q_{surf}. Ово се спроводи применом SCS методе:

$$Q_{surf} = \frac{(R + SNO_{mlt} - I_a)^2}{R + SNO_{mlt} - I_a + S} \tag{17}$$

где је S параметар који представља максимални капацитет земљишта (mm) и рачуна се на основу CN броја:

$$S = 25{,}4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \tag{18}$$

Карактеристична вредност CN броја за HRU се усваја на основу намене површине и карактеристика земљишта које су описно дате у наставку текста. Овај параметар је комбинација хидролошке групе земљишта и начина коришћења земљишта (покривача), па је стога и израз CN добио назив хидролошки комплекс земљишта и покривача. Вредност параметра CN указује на потенцијал отицаја земљишта (када није замрзнуто); што је вредност CN већа, то је већи и потенцијал отицаја. Максимална вредност CN је 100 и односи се на непропустљиву подлогу и водене површине. За одређивање величине CN, поред познавања начина коришћења земљишта, неопходно је и познавање хидролошке групе земљишта. Њих има четири и означене су са A, B, C и D. Наведене хидролошке групе земљишта одређене су на бази потенцијалне способности земљишта да задржи падавине и тиме смањи отицај. У SAD је извршена анализа око 4000 типова и подтипова земљишта и сва су она добила карактеристичну ознаку од A до D покривајући тако око 10.000 земљишних типова, односно назива земљишта која су идентификована на територији SAD.

Основне карактеристике издиференцираних хидролошких група земљишта су:

- A - Земљишта која имају високу инфилтрацију, чак и када су потпуно наквашена и састоје се од дубоких, добро до изузетно пропустљивих пескова и шљункова. Таква земљишта имају висок степен водопропустљивости.
- B - Земљишта са средњом инфилтрацијом када су потпуно навлажена и састоје се углавном од средње дубоких до са средње фином до средње грубом текстуром. Таква земљишта имају средњу водопропустљивост.
- C - Земљишта која имају слабу инфилтрацију када су потпуно наквашена и састоје се углавном од земљишта са слојем који спречава кретање воде наниже или земљишта са средње фином до фином текстуром. Таква земљишта имају малу водопропустљивост.
- D - Висок потенцијал отицаја. Земљишта са веома слабом инфилтрацијом када су потпуно наквашена и састоје се углавном од глиновитих земљишта са високим потенцијалом бубрења, земљишта са константно високом подземном водом, земљишта са глињеним хоризонтом на или близу површине и плитка земљишта преко скоро непропустљиве подлоге. Таква земљишта имају веома малу водопропустљивост.

Усвојена вредност CN броја односи се на пад терена од 5%, а корекцију је потребно обавити на основу стварног нагиба терена (ST) који има HRU. Вредност стварног нагиба се уноси у процентима и рачуна се коригована вредност параметра S (S_{2s}) и на основу тога CN_{2s}:

$$S_{2s} = S\left(1{,}1 - \frac{ST}{ST + exp(3{,}7 + 0{,}02117\,ST)}\right) \tag{19}$$

$$CN_{2s} = 1000\left(\frac{S_{2s}}{25{,}4} + 10\right)^{-1} \tag{20}$$

Вредност CN броја зависи од влажности земљишта и срачуната вредност CN_{2s} се односи на случај када је земљиште просечне влажности.

На основу ове вредности се рачунају коефицијенти CN_1 и CN_3 који се односе на услове сувог земљишта (CN_1) при минималној влажности WP и услове влажности пољског капацитета FC (CN_3):

$$CN_1 = CN_{2s} - 20\frac{100 - CN_{2s}}{100 - CN_{2s} + exp\left(2{,}533 - 0{,}0636(100 - CN_{2s})\right)} \tag{21}$$

$$CN_3 = CN_{2s}\, exp\left(0{,}00673\,(100 - CN_{2s})\right) \tag{22}$$

Сада се могу одредити максимално и минимално потенцијално упијање на следећи начин:

$$S_{max} = 25{,}4\left(\frac{1000}{CN_1} - 10\right) \tag{23}$$

$$S_{min} = 25{,}4\left(\frac{1000}{CN_3} - 10\right) \tag{24}$$

Максимално потенцијално упијање одговара влажности трајног увенућа (ω_{wp}) а минимално потенцијално упијање одговара влажности пољског капацитета (ω_{fc}). Ови параметри се користе да би се одредила укупна дебљина активног слоја земљишта (D_{sum_SCS}) и процентуално учешће сваког од слојева (p_j).

Укупна дебљина активног слоја земљишта рачуна се као:

$$D_{sum_SCS} = \frac{S_{max}}{p - \omega_{wp}} \tag{25}$$

где је p порозност.

Влажност пољског капацитета се сада може срачунати на следећи начин:

$$\omega_{fc} = \omega_{wp} + \frac{p - \omega_{wp}}{S_{max}}(S_{max} - S_{min}) \tag{26}$$

Стварно потенцијално упијање (mm) налази се у границама између S_{min} и S_{max} и рачуна се на основу стања свих резервоара на почетку рачунског интервала:

$$S = \sum_{j=1}^{n_l+1} p_j\left(STO_j - SW_j(i-1)\right) \tag{27}$$

где је n_l број подповршинских слојева а p_j процентуално учешће слоја.

Иницијална апстракција I_a се уобичајено рачуна као $0{,}2\,S$, али се у методи SCS под иницијалном апстракцијом подразумева и интерцепција која је у приказаном моделу срачуната одвојено. Зато се вредност иницијалне апстракције умањује за срачунату интерцепцију. Према томе, иницијална апстракција се рачуна као:

$$I_a = max\big(0;\ 0{,}2 \cdot\ S - (R' - R)\big) \tag{28}$$

Отицај са HRU-а постоји ако су падавине и/или топљење снега веће од иницијалне апстракције:

$$Q_{surf}{}' = \begin{cases} \dfrac{(R + SNO_{mlt} - I_a)^2}{R + SNO_{mlt} - I_a + S}, & R + SNO_{mlt} \geq I_a \\ 0, & R + SNO_{mlt} < I_a \end{cases} \tag{29}$$

Наредни корак је прорачун стања у резервоару након отицаја:

$$SW' = SW(i-1) + \big(R + SNO_{mlt} - Q_{surf}{}'\big) \tag{30}$$

Након прорачуна отицаја следи прорачун перколације, односно процуривања W_{perc} из површинског слоја у наредни подповршински слој земљишта. У зависности од односа стања резервоара и његовог капацитета, перколација се може поделити на два дела: перколација из засићеног земљишта W_{perc_sat} и перколација из незасићеног земљишта W_{perc_unsat}. Укупна перколација је збир ове две компоненте.

Перколација се рачуна на следећи начин:

$$W_{perc} = \underbrace{K_{sat}\Delta T_{sat}}_{Wperc_zas} + \underbrace{(STO - WP)\left(S_r - \left(S_r{}^{(1-n)} + \frac{K_{sat}}{STO - WP}(n-1)\Delta T_{unsat}\right)^{\frac{1}{1-n}}\right)}_{Wperc'} \tag{31}$$

ΔT_{sat} је време које одговара перколацији из засићеног земљишта и рачуна се као:

$$\Delta T_{sat} = \begin{cases} \min\left(\dfrac{SW' - STO}{K_{sat}}; \Delta t\right), & SW' \geq STO \\ 0, & \mathrm{SW}' < STO \end{cases} \tag{32}$$

где је Δt рачунски корак модела.

ΔT_{unsat} је време које одговара перколацији из незасићеног земљишта и рачуна се као:

$$\Delta T_{unsat} = \Delta t - \Delta T_{sat} \tag{33}$$

Величина S_r представља однос расположиве и максималне количине воде за перколацију из незасићеног земљишта (не може бити већа од 1):

$$S_r = \frac{SW' - WP}{STO - WP} \tag{34}$$

Параметар n је калибрациони параметар и строго је већи од 1 (уобичајене вредности су од 2,5 до 3,5).

Након прорачуна перколације потребно је извршити редукцију стања резервоара:

$$SW'' = SW' - W_{perc} \tag{35}$$

Уколико се добије да је ново стање резервоара SW'' веће од његовог капацитета потребно је повећати површински отицај за вредност $SW'' - STO$ и стање резервоара свести на максималну вредност тј. STO.

$$SW''' = \begin{Bmatrix} SW'', & Q_{surf} = Q_{surf}', & SW'' \leq STO \\ STO, & Q_{surf} = Q_{surf}' + SW'' - STO, & SW'' > STO \end{Bmatrix} \tag{36}$$

Након прорачуна отицаја и перколације, следи прорачун евапорације у површинском резервоару.

Потенцијално испаравање са површинског слоја земљишта зависи од покривености HRU земљиштем cov_{soil}. Овај параметар је претходно срачунат и зависи од параметра LAI и евентуалног присуства снежног покривача.

Потенцијално испаравање са земљишта (E_s) и потенцијална транспирација (E_t) се рачунају на следећи начин:

$$E_s = (E_0' - E_{sub})\, cov_{soil} \tag{37}$$

$$E_t = E_0' - E_{sub} - E_s \tag{38}$$

Стварна евапорација је ограничена количином воде која се налази у земљишту:

$$E_s'' = \begin{Bmatrix} E_s' exp\left(\dfrac{2{,}5(SW''' - FC)}{FC - WP}\right), & SW''' \leq FC \\ E_s', & SW''' > FC \end{Bmatrix} \tag{39}$$

Како би се спречило потпуно „сушење" земљишног резервоара, уводи се и следеће ограничење:

$$E_s''' = min\left(E_s''; 0{,}8(SW''' - WP)\right) \tag{40}$$

Коначно стање резервоара се добија умањењем претходно срачунатог стања за срачунату стварну евапорацију:

$$SW(i) = SW''' - E_s''' \tag{41}$$

Потповршински слојеви

У потповршински слој земљишта (l) стиже вода која је процурила из горњег слоја (l-1):

$$SW_l' = SW_l(i-1) + W_{perc,l-1} \tag{42}$$

Затим се рачуна процуривање из овог слоја као и ново стање резервоара:

$$W_{perc,l} = K_{sat}\Delta T_{sat} + (STO_l - WP_l)\left(S_{r,l} - \left({S_{r,l}}^{(1-n)} + \frac{K_{sat}}{STO_l - WP_l}(n-1)\Delta T_{unsat}\right)^{\frac{1}{1-n}}\right) \quad (43)$$

$$SW_l'' = SW_l' - W_{perc,l} \quad (44)$$

Уколико је ново стање резервоара веће од његовог капацитета, површински отицај треба увећати за вредност $SW_l - STO_l$ и стање резервоара свести на STO_l.

$$SW''' = \begin{cases} SW_l'', & Q_{surf} = Q_{surf}, & SW_l'' \le STO_l \\ STO_l, & Q_{surf} = Q_{surf} + SW_l'' - STO_l, & SW_l'' > STO_l \end{cases} \quad (45)$$

Следећи процес који се симулира у потповршинским слојевима земљишта је транспирација. Потенцијална потрошња воде од стране биљке у једном слоју је сразмерна дебљини тог слоја:

$$W_{up,l} = \frac{E_t}{\sum_i D_{s,i}} D_{s,l} \quad (46)$$

Са друге стране стварна транспирација је ограничена количином воде у земљишту:

$${W_{up,l}}' = \begin{cases} W_{up,l} exp\left[5\left(\frac{SW_l''' - WP_l}{0{,}25(FC_l - WP_l)} - 1\right)\right], & (SW_l''' - WP_l) < 0{,}25(FC_l - WP_l) \\ W_{up,l}\,, & (SW_l''' - WP_l) > 0{,}25(FC_l - WP_l) \end{cases} \quad (47)$$

Стварна транспирација је додатно ограничена капацитетом резервоара:

$${W_{up,l}}'' = min\left({W_{up,l}}'; SW_l''' - WP_l\right) \quad (48)$$

Ново стање резервоара је претходно срачунато, умањено за прорачунату транспирацију:

$$SW_l(i) = SW_l''' - {W_{up,l}}'' \quad (49)$$

2.2.1.2.4 Прорачун трансформације компоненти вертикалног водног биланса

Након што су одређене компоненте вертикалног биланса за HRU (Q_{surf} и W_{perc}), потребно је извршити њихову трансформацију у протицај на одговарајућем хидропрофилу. Ово се постиже применом модела линеарних и нелинеарних резервоара.

Ради једноставности извођења, наредне једначине су написане под следећим претпоставкама:

Сваки HRU се излива у одговарајући низводни профил хидрографске мреже са одговарајућим временом концентрације. Ова времена су различита за површински отицај и за перколацију;

Уз сваки хидропрофил се налази један линеарни резервоар за директни отицај (LR_d) и два резервоара за базни отицај: нелинеарни са преливом (NLR_b) за спори базни и линеарни (LR_b) за брзи подповршински отицај и

Сматра се да су дотоци у резервоаре константни у периоду дискретизације.

Трансформација отицаја кроз линеарни резервоар

Ради једноставности, наредне једначине се односе само на систем резервоара за трансформацију директног отицаја. Исти приступ се може применити и на систем резервоара за брзи базни отицај. Тиме се омогућава да хидропрофили за директан и базни отицај буду различити, односно да подела сливова за директан и базни отицај буде различита.

Претпоставка на којој се темељи примена линеарног резервоара је да постоји линеарна веза између стања резервоара (S) и истицања (Q_d) (Слика 2.5):

$$Q_d = \frac{1}{K} S \tag{50}$$

где је K параметар HRU-а чија је јединица време, а S стање линеарног резервоара (m^3).

У линеарни резервоар дотиче сопствени отицај са припадајућег HRU-а (q_s) као и дотоци са непосредно узводних HRU-ова, уколико постоје, који имају индекс j (q_j). Ови дотоци се третирају као константни.

$$q_s + \sum_j q_j - Q_d(t) = \frac{dS(t)}{dt} \tag{51}$$

$$q_s = \frac{Q_{surf}\,\Delta A}{\Delta t} \tag{52}$$

$$q_j = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} Q_{d_j} dt \tag{53}$$

Решавањем претходне једначине добија се:

$$\frac{S(t)}{K} = \frac{S_0}{K} e^{-t/K} + \left(q_s + \sum_j q_j \right) \left(1 - e^{-t/K}\right) \tag{54}$$

Да би се једначина написала у дискретној форми, потребно је срачунати сумарно истицање из резервоара у периоду Δt:

$$Q_d = \int_0^{\Delta t} \frac{S(t)}{K} dt = \int_0^{\Delta t} \left(\frac{S_0}{K} e^{-t/K} + \left(q_s + \sum_j q_j \right) \left(1 - e^{-t/K}\right) \right) dt \tag{55}$$

Решавањем претходног интеграла и увођењем ознаке за сумарни површински отицај у периоду Δt: $Q_s = q_s \Delta t$, као и ознаке за сумарни доток из узводног (j-тог) HRU-а: $Q_{d_j} = q_j \Delta t$ добија се:

$$Q_d = S_0\left(1 - e^{-\Delta t/K}\right) + \left(1 - \frac{1 - e^{-\Delta t/K}}{\Delta t/K}\right)\sum_j Q_{d_j} + Q_s\left(1 - \frac{1 - e^{-\Delta t/K}}{\Delta t/K}\right) \quad (56)$$

Ако HRU за који је срачунато сумарно истицање означимо са индексом i, добија се следећи систем једначина:

$$Q_{d_i} - \left(1 - \frac{1-e^{-\Delta t/K_i}}{\Delta t/K_i}\right)\sum_j Q_{d_j} = S_{0_i}\left(1 - e^{-\Delta t/K_i}\right) + Q_{s_i}\left(1 - \frac{1-e^{-\Delta t/K_i}}{\Delta t/K_i}\right) \quad (57)$$

Истицање Q_d очигледно зависи од претходног стања линеарних резервоара S_0, отицаја са површине HRU-ова Q_s и карактеристике слива.

Након што су срачуната истицања из линеарних резервоара, потребно је одредити стања резервоара на крају периода:

$$S_{1_i} = S_{0_i} - Q_{d_i} + \sum_j Q_{d_j} + Q_{s_i} \quad (58)$$

У претходним једначинама са K_i је означаван параметар модела линеарног резервоара. Вредност овог параметра одговара времену концентрације разматраног HRU-а до одговарајућег хидропрофила. Време концентрације се може срачунати као збир времена које је потребно да отицај стигне до хидрографске мреже (T_{sl}) и времена које је потребно да хидрографском мрежом стигне до низводног хидропрофила (T_r). Време које је потребно да отицај стигне до хидрографске мреже, рачуна се из Манингове једначине под претпоставком течења у траци ширине 1 метра. Течење дуж хидрографске мреже се рачуна на основу исте једначине, али под претпоставком течења у каналу трапезног попречног пресека са нагибом косина од 2:1 и односом ширине и дубине 10:1.

$$T_{sl} = \frac{{L_{slp}}^{0,6}\, n, sl^{0,6}}{18\, slp, sl^{0,3}} \quad (59)$$

$$T_r = \frac{0{,}62\, L\, n, r^{0,75}}{area^{0,125}\, slp, r^{0,.375}} \quad (60)$$

где је: L - дужина тока [km]; slp – пад (-); n - коефицијент храпавости $[m^{-1/3}/s]$; $area$ – површина HRU-а (km^2).

У описаном моделу, укупни отицај се излива у линеарни резервоар постављен у профилу хидрографске мреже. С обзиром да је за сваки HRU посебно срачунато време концентрације то значи да сваки HRU има свој параметар K. За групу HRU-ова који се изливају у један линеарни резервоар потребно је одредити репрезентативну вредност параметра K_i која ће бити коришћена у прорачуну истицања из резервоара у једначини (57). Овај параметар се рачуна према следећој једначини:

$$K_i = -\frac{\Delta t}{ln(1-b_{sr})} \quad (61)$$

где је b_{sr} параметар срачунат на основу времена концентрације свих HRU-ова припадајуће групе:

$$b_{sr} = \frac{1}{N_{HRUs}} \sum_{j}^{N_{HRUs}} \left(1 - e^{-\Delta t / K_j}\right) \tag{62}$$

Трансформација отицаја дуж хидрографске мреже

При моделирању течења воде између два узастопна хидропрофила полази се од претпоставке да се ради о моделу линеарног резервоара.

$$Q_{nizv} = S_0\left(1 - e^{-\Delta t/K}\right) + Q_{uzv}\left(1 - \frac{1 - e^{-\Delta t/K}}{\Delta t/K}\right) \tag{63}$$

Истицање Q_d очигледно зависи од претходног стања линеарних резервоара S_0 и улаза воде на узводном хидропрофилу Q_{uzv}.

Након што се срачуна истицање из линеарног резервоара, потребно је одредити стања резервоара на крају периода:

$$S_{1_i} = S_{0_i} - Q_{nizv_i} + Q_{uzv_i} \tag{64}$$

Трансформација отицаја кроз нелинеарни резервоар

Као што је већ на почетку речено, трансформација базног отицаја у моделу се врши кроз систем резервоара који се састоји од једног нелинеарног резервоара са преливом (NLR_b) и обичног линеарног резервоара (LR_b) (Слика 2.5). Укупна перколација са свих HRU-ова који се изливају у одговарајући профил хидрографске мреже се излива у нелинеарни резервоар са преливом који симулира спори базни отицај, а у линеарни резервоар се прелива вишак воде из овог резервоара и он након трансформације у њему представља брзи базни отицај. Збир ова два отицаја представља укупан базни отицај. Трансформација кроз обичан линеарни резервоар (LR_b) је иста као у случају трансформације површинског отицаја описаног у претходном делу, па се овде неће понављати.

Истицање без преливања

Једначина нелинеарног резервоара (NLR_b) гласи:

$$q = bS^c \tag{65}$$

где су: q - истицање из резервоара; S - стање резервоара и b и c - параметри резервоара.

Стање резервоара се може изразити на следећи начин:

$$S = \left(\frac{q}{b}\right)^{\frac{1}{c}} \tag{66}$$

Истицање из резервоара се може изразити као промена стања резервоара:

$$\frac{dS}{dt} = -q \tag{67}$$

Даље, ово се може изразити као:

$$\frac{dS}{dq}\frac{dq}{dt} = -q \tag{68}$$

Уколико се члан $\frac{dS}{dq}$ изрази из једначине (66) и уврсти у претходну (68), добија се следећа диференцијална једначина:

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{cb^{\frac{1}{c}}}{q^{\frac{1}{c}-1}} \tag{69}$$

Решавањем претходне једначине по истицању $q(t)$ и њеним интеграљењем у интервалу Δt добија се сумарно истицање из резервоара Q_b у интервалу Δt које представља укупни базни отицај:

$$Q_b = \int_0^{\Delta t} q(t)dt = S_0\left(1 - \left(1 - \frac{(1-c)q_0\Delta t}{S_0}\right)^{\frac{1}{1-c}}\right) \tag{70}$$

где је q_0 истицање на почетку интервала Δt срачунато као:

$$q_0 = B\left(\frac{S_0}{S_{max}}\right)^c \tag{71}$$

Параметар B се рачуна као производ модула отицаја q_d (l/s/km^2) и површине свих припадајућих HRU-ова AHRUs (km^2):

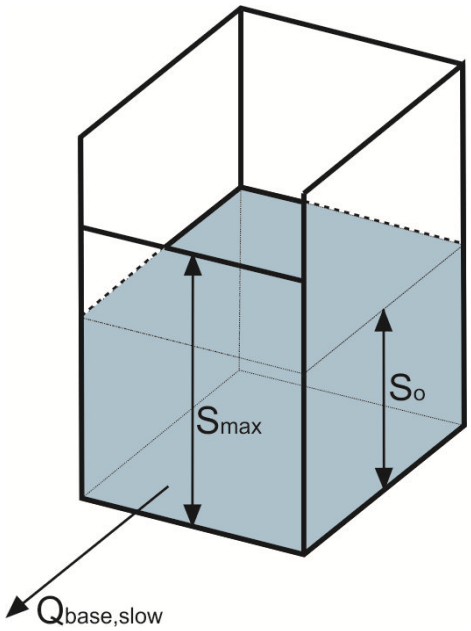
$$B = q_d A_{HRUs} \tag{72}$$

Параметар S_{max} представља стање резервоара при коме почиње преливање и рачуна се као производ специфичне запремине резервоара s_{max} (mm) и површине свих припадајућих HRU-ова A_{HRU}s (km^2) (Слика 2.7):

$$S_{max} = s_{max}A_{HRUs} \tag{73}$$

Параметри q_d, s_{max} и c представљају калибрационе параметре модела.

Уколико је параметар $c = 1$ ради се о обичном линеарном резервоару. Уколико је $c > 1$, $Q_d < S_0$ односно резервоар се никада неће потпуно испразнити и уколико је $c < 1$ потребно је одредити време пражњења резервоара и на основу тога дефинисати рачунски корак Δt, уколико се примењује једначина (70) мада је јасно да је укупно истицање у том случају $Q_d = S_0$.



Слика 2.7 Схематски приказ параметара нелинеарног резервоара

Истицање са преливањем

Уколико је стање S_0 веће од максималне запремине нелинеарног резервоара при којој долази до преливања, потребно је срачунати време преливања на следећи начин:

$$\Delta t_{prel} = \frac{S_0 - S_{max}}{B} \tag{74}$$

А затим и преостало време за пражњење нелинеарног резервоара:

$$\Delta t' = \Delta t - \Delta t_{prel} \tag{75}$$

У том случају запремина која прелије у низводни линеарни резервоар (LR_b) износи:

$$Q_{prel} = S_0 - S_{max} \tag{76}$$

и трансформише се у брзи базни отицај ($Q_b{}^{brzi}$) на исти начин као што је то описано у претходном делу за трансформацију површинског отицаја.

Укупно истицање из нелинеарног резервоара које представља спори базни отицај ($Q_b{}^{spori}$) се у овом случају рачуна на следећи начин:

$$Q_b{}^{spori} = B\Delta t_{prel} + S_{max}\left(1 - \left(1 - \frac{(1-c)q_0\Delta t'}{S_{max}}\right)^{\frac{1}{1-c}}\right) \tag{77}$$

Укупан базни отицај представља збир брзог и спорог базног отицаја:

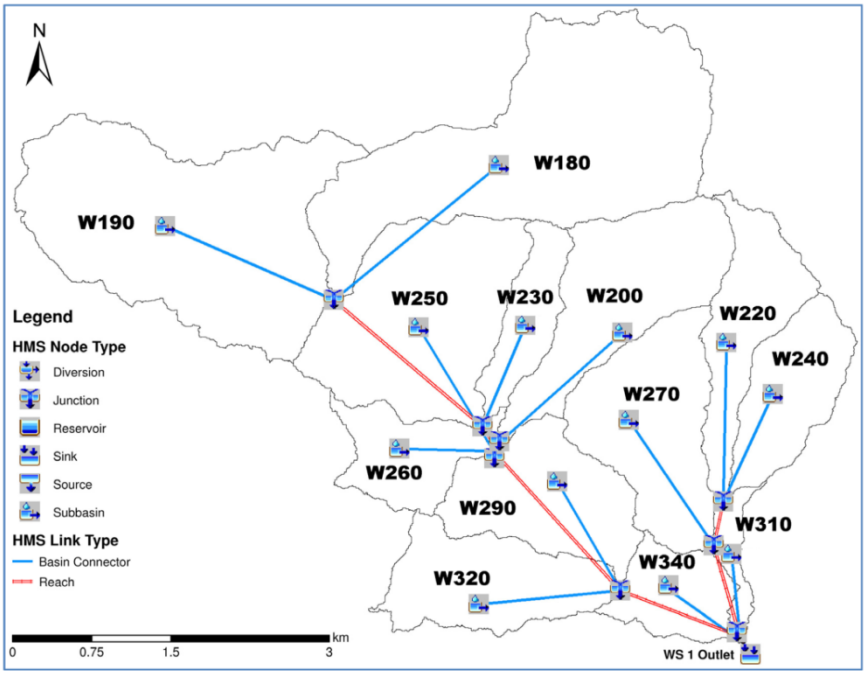
$$Q_b = Q_b{}^{spori} + Q_b{}^{brzi} \tag{78}$$

2.2.2 Теоријске основе хидролошког модела HEC-HMS

2.2.2.1 Основне поставке

За потребе израде хидролошког модела реке Колубаре, биће коришћен програмски пакет HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System). Хидролошки модел реке Колубаре биће модел падавине-отицај (rainfall-runoff), семи-дистрибуираног типа, тј. састојаће се од коначног броја подсливова који се сваки понаособ посматрају као засебне целине, а међусобним везама чине јединствен хидролошки модел целог слива реке Колубаре. Подела на подсливове ће бити извршена како према физичким и хидрографским критеријумима (притоке), тако и према профилима од посебног значаја (хидролошке станице, ретензије). То значи да ће све значајне притоке Колубаре бити моделиране (Обница, Јабланица, Градац, Лепеница, Рибница, Рабас, Топлица, Љиг, Лукавица, Пештан, Враничина, Кладница, Турија, Бељаница, Уб, Тамнава), док ће веће притоке по потреби бити додатно подељене на подсливове (Забава и Буковска у сливу Градца, Манастирица и Паклешница у сливу Рибнице, Драгобиљ и Качер у сливу Љига, итд). Сваки подслив садржаће компоненте модела за ефективне кише (губитака), модела за трансформацију директног отицаја и модела за базни отицај, док се везе између сливова рачунају применом модела пропагације таласа дуж тока. У случају акумулација ретензија (нпр. акумулација Стубо-Ровни на Јабланици и ретензија Паљуви Виш на Кладници), примениће се модели трансформације таласа у ретензији.

HEC-HMS омогућава израду модела епизода и континуалне хидролошке симулације. Модел се састоји из модула за симулацију ефективних падавина, директног и базног отицаја и трансформацију хидрограма у хидрографској мрежи, при чему сваки модул садржи више модела. На пример, у оквиру HEC-HMS-а постоји неколико модела за трансформацију ефективних падавина у дирекнти отицај: четири модела јединичних хидрограма (ј.х.) и модел кинематског таласа, као и могућност да корисник сам дефинише ј.х. Ово својство HEC-HMS-а пружа велику флексибилност и омогућава да се структура модела прилагоди расположивим подацима и потребама студије. Такође, корисник у графичком окружењу сам дефинише „схему" слива, која, поред сливних подручја и деоница речне мреже, може да садржи и ушћа или рачвања тока, као и акумулације и растеретне канале (Feldman, 2000). Пример схеме сливног подручја у HEC-HMS-у дат је наставку (Слика 2.8).



Слика 2.8 Схематски приказ слива у моделу HEC-HMS – пример. (Извор: https://www.mdpi.com/2073-4441/7/7/3832/htm)

Модели хидролошких губитака (симулација запремине директног отицаја, односно ефективних падавина). Ефективне падавине у HEC-HMS-у се одређују тако што се од укупних падавина одузиме количина воде потребна за попуњавање резервоара вегетације, инфилтрацију у земљиште, евапотранспирацију и попуњавање површинских депресија (резервоар површинског ретензирања).

Резервоари интерцепције и површинског ретензирања (Simple Canopy, Simple Surface) се могу искључити из модела или дефинисати као просторно дистрибуирани (Gridded Simple Canopy, Gridded Simple Surface). Обе компоненете циклуса отицаја представљене су резервоарима за које се дефинишу почетна испуњеност и максимални капацитет, који је инваријантан у времену (не постоји сезонска вариајбилност капацитета овог резеровара).

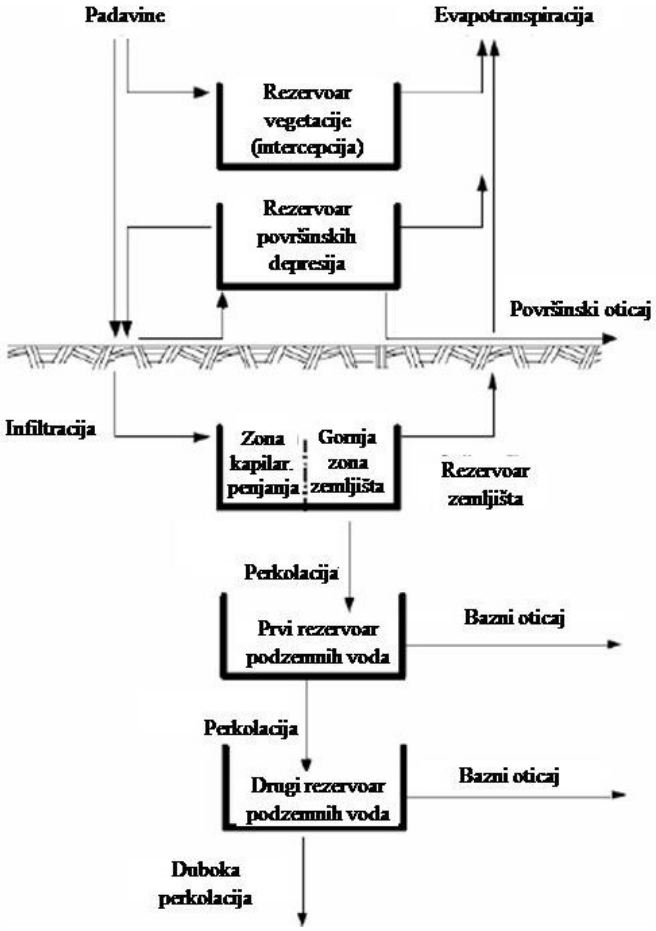
У оквиру HEC-HMS-а постоји неколико модела за одређивање инфилтрације падавина у земљиште, при чему је већина модела намењени симулацији изолованих поплавних таласа. Свега два модела омогућавају континуалне хидролошке симулације. Неки од модела (Deficit and Constant, SCS, Green and Ampt, SMA) могу бити са хомогеним или просторно дистрибуираним параметрима.

Претпоставка у моделу HEC-HMS је да нема инфилтрације падавина са непропусних површина, већ целокупне падавине са ових површина иду директно у водоток (тзв. директно повезане непропусне површине).

У HEC-HMS-у постоје два модела која омогућавају континуално праћење влаге у земљишту, односно континуалне хидролошке симулације: модел дефицита и константних губитака (енгл. deficit and constant loss) и SMA модел (енгл. Soil Moisture Accounting). Структуре ових модела приказане су на Слици 2.11 и Слици 2.12, респективно. Модел SMA је физички заснованији, али садржи далеко већи број параметара. Други резервоар подземних вода у моделу SMA (Слика 2.10) се може опционо искључити, а перколација из овог резервоара представља „губитак" са слива (не појављује се на излазу са слива), што је погодно за моделирање отицаја са сливова на којима постоји карст, а отицај са слива завршава у неком другом сливу.



Слика 2.9. Структура модела дефицита и константних губитака (Todorović & Plavšić, 2014).



Слика 2.10. Структура модела SMA (Soil Moisture Accounting).

Модели директног отицаја. Трансформација ефективних падавина у директни отицај врши се методама јединичног хидрограма (Кларков, модификовани Кларков, Снајдеров и SCS ј.х.) или методом кинематског таласа. У HEC-HMS-у постоји и могућност да корисник сам дефинишејединични хидрограм у виду ордината самог ј.х. или S криве.

Модели базног отицаја. У HEC-HMS-у постоји 5 метода за симулацију базног протока: модел рецесије, модел ограничене рецесије, модел линеарног и нелинеарног (Бусинесковог) резервоара. Опционо, базни отицај се може искључити из модела (ефемерни водотоци). Осим код SMA модела, који се комбинује са моделом линеарног резервоара за базни отицај, биланс није „затворен", односно, вредност базног протока уопште не зависи од количине инфилтрираних падавина и садржаја влаге у земљишту.

Трансформација хидрограма у речној мрежи. HEC-HMS омогућава моделирање пропагације таласа дуж корита водотока применом поједностављених линијских модела течења, при чему хидрографска мрежа може обухватати ушћа и рачвања тока, растеретне канале и акумулације. С обзиром да се ради о поједностављеним моделима, моделирање појаве успора и дифузије поплавних таласа услед изливања у инундације није могуће. У оквиру ових модела може се дефинисати и перколација дуж водотока (loss/gain model), која може бити алтернативног знака (инфлуентни или ефлуентни водотоци). Перколација се дефинише као проценат протока дуж водотока (constant loss/gain model) или као задата вредност (percolation loss/gain).

За симулацију отицаја у HEC-HMS-у потребни су подаци о падавинама, температури и ПЕТ.

1. Падавине. HEC-HMS пружа могућност просторног осредњавања кише методом Тисенових полигона или методом квадрата инверзног растојања, као и унос

висина пале кише у виду растера (радарска осматрања). У моделу постоји опција додатне корекције тежина које се додељују појединачним станицама.

HEC-HMS омогућава симулацију снега методом степен-дан (енгл. *degree-day*). Фактор топљења снега HEC-HMS-у зависи од индекса претходне температуре, док се за фактор топљења снега у кишним условима дефинише као посебан параметар. Сезонска променљивост овог параметра није препозната у HEC-HMS-у. Снег се може симулирати и у дистрибуираним верзијама модела (Gridded Temperature Index), а опциопно се ова компонента може изоставити.

2. Температруре се могу уности као временска серија или у виду растера. Сваком подсливу додељује се само једна температурна станица.
3. Потенцијална евапотранспирација (ПЕТ). HEC-HMS пружа могућност моделирања ПЕТ методом Pristley-Taylor, при чему постоји и могућност да се ПЕТ одређује за сваку ћелију рачунске мреже (Gridded Pristley-Taylor). Алтернативно, у модел се могу унети месечне вредности ПЕТ током неке репрезентативне године (у модел се уноси 12 месечних вредности ПЕТ). ПЕТ се може опционо искључити из модела.

HEC-HMS је јавно доступан модел, чија се структура може прилагодити потребама студије, доступним подацима и карактеристикама разматраног сливног подручја. Овај модел омогућава и континуалне хидролошке симулације, мада је превасходно намењен моделирању таласа од изолованих кишних догађаја.

Са друге стране, постоје и проблеми у примени HEC-HMS-а.

Постоје бројни проблеми у изради континуалних хидролошких симулација са HEC-HMS-ом. У временским интервалима током којих постоје падавине ET се не рачуна, што, уколико се врше симулације са дневним подацима, резултује нереално малим вредностима симулиране стварне ET (Todorović & Plavšić, 2014). Са друге стране, подаци о падавинама финије временске резолуције, који би резултовали реалнијим ведностима симулиране ET, али они нису увек доступни.

Такође, претпоставка о константном капацитету резеровара вегетације у ово моделу није реалана за сливове на којима доминира листопадна вегетација, као што је то слив реке Колубаре.

Код једноставнијег модела (deficit and constant loss) количина инфилтрираних падавина не зависи од стања влаге у земљишту, већ се, уколико дође до засићења земљишта, јавља перколација из резервоара земљишта. Вода се даље може тансформисати у базни отицај моделом линеарног или нелинеарног резервоара, уколико су ти модели изабрани. Сложенији SMA (Soil Moisture Accounting) модел садржи веома велики број параметара, па калибрација овог модела представља веома комплексан задатак.

Ове карактеристике HEC-HMS-а могу представљати проблем у његовој примени за потребе ове студије.

2.2.2.2 Нумеречки алгоритам модела HEC-HMS

Програмски пакет је намењен моделирању процеса трансформације падавина у отицај (US ACE, 2000):

$$i(x,y,t) \rightarrow Q(t) \tag{79}$$

где је и интензитет кише, x и y су координате простора, t време, а Q проток на излазном профилу.

Модели који се базирају на физичким законима најбоље описују процес отицаја јер узимају у обзир физичке карактеристике слива, као и процесне параметре који утичу на кретање и просторну расподелу воде. Како је, међутим, скоро немогуће да се формира јединствен модел за симулирање комплетног хидролошког циклуса, проблем моделирања се решава на тај начин што се циклус отицаја дели на компоненте и сваки се систем анализира и моделира издвојено (Слика 2.10).

У оквиру пакета омогућено је симулирање свих компоненти процеса, па се математички модели могу поделити по групама:

1. модели ефективне кише;
2. модели директног отицаја;
3. модели базног отицаја и
4. модели течења у водотоцима.

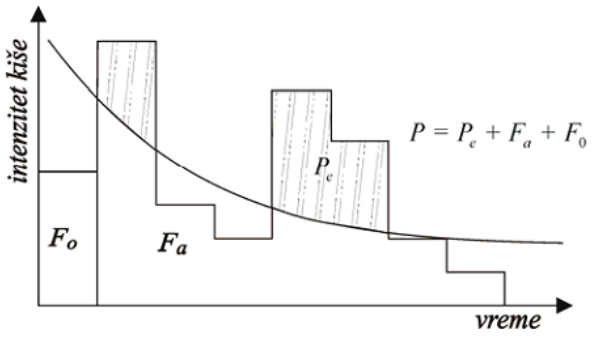
HEC-HMS садржи и моделе за симулацију објеката за регулисање протока као што су обилазни канали или акумулације и ретензије. Поред овога, HEC-HMS садржи и пакет за аутоматску калибрацију параметара модела и почетних услова, на основу осмотрених хидрометеоролошких података.

У наставку ће бити приказане теоријске основе као и модели различитих фаза процеса.

2.2.2.2.1 Модел ефективних киша

Модел ефективних киша (губитака), односно трансформација бруто кише у ефективну кишу, рачуна део падавина који се кроз површинско и брзо подповршинско отицање претвара у директан отицај. При одабиру конкретног модела биће сагледани следећи утицаји: инфилтрација, евапорација, транспирација, задржавање воде у површинским депресијама, намене површина, вегетација, педолошке и геолошке карактеристике, рељеф, висина и интензитет кише, стање претходне влажности на сливу, инфилтрациони капацитет земљишта, нивои подземне воде итд.

Америчка агенција Soil Conservation Service (SCS) развила је метод за прорачун функције губитака. Основна поставка SCS методе за губитке кише је да је висина ефективне кише Pe увек мања или једнака укупној висини кише P, а да је вода упијена у земљиште након почетка отицаја Ia увек мања или једнака максималном капацитету тла S (Слика 2.11).



Слика 2.11 Дијаграм односа укупне и ефективне кише по SCS методи

Количина воде коју земља упије пре него што почне отицај назива се почетним губитком Ia, тако да је максимална "потенцијална" ефективна киша једнака P-Ia. Претпоставка SCS методе је да су односи стварне и потенцијалне ефективне кише с једне стране, и стварних и потенцијалних губитака с друге, једнаки:

$$\frac{P_e}{P - I_a} = \frac{I}{S} \tag{80}$$

при чему важи:

$$P = P_e + I_a + I \tag{81}$$

Из претходна два израза следи:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \tag{82}$$

Проучавањем великог броја експерименталних сливова, у SCS су дошли до везе између почетног губитка и максималног капацитета земљишта:

$$I_a = 0{,}2S \tag{83}$$

Уношењем овог израза у једначину (82), следи:

$$P_e = \frac{(P - 0{,}2S)^2}{(P + 0{,}8S)} \tag{84}$$

Уместо капацитета земљишта S, уводи се тзв. број криве 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:

$$S = 25{,}4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \tag{85}$$

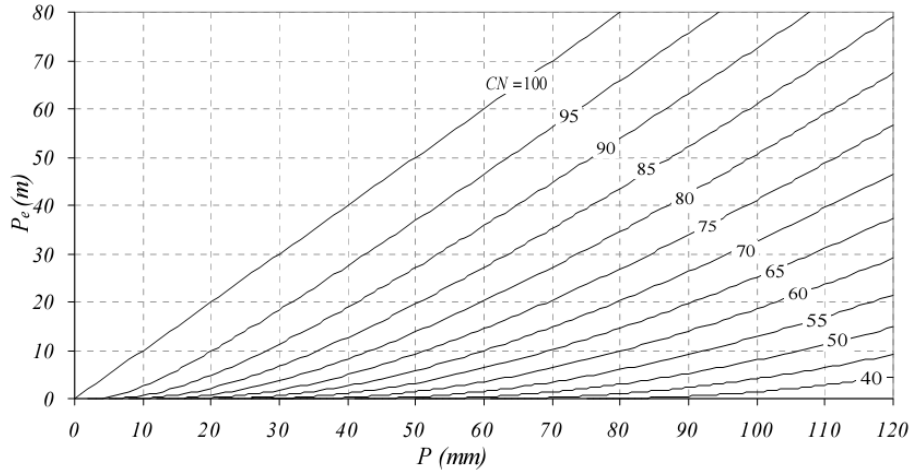
где се S добија у милиметрима. За непропусне и водене површине CN је 100, док је за природне површине CN<100. Веза између P, Pe и CN представља добро познати SCS дијаграм (Слика 2.12). Овај дијаграм важи за нормалне услове претходне влажности.

Бројеви CN се одређују према типу земљишта и намени површина. Према SCS, земљишта су подељена у четири хидролошке класе у зависности од потенцијалних услова отицања. Четири хидролошке класе земљишта су означене као A, B, C и D, где класа A има најмањи потенцијал отицања а класа D највећи. Критеријуми за класификацију земљишта у хидролошке класе укључују минимални износ инфилтрације, дубину до водонепропусног слоја, нивоа подземних вода итд. У пракси се најчешће одређује на основу педолошког састава земљишта. За један слив CN се рачуна као пондерисана вредност у односу на заступљеност различитих врста тла и намена површина.

Одређивање хијетограма ефективне кише овде се обавља посредно, преко сумарне линије кише. За сваки временски интервал, ордината сумарне линије ефективне кише Pe(t) добија се према једначини (84) на основу ординате сумарне линије пале кише P(t) или преко дијаграма за задато CN (Слика 2.12). При томе треба водити рачуна да укупна висина кише мора бити већа од почетних губитака јер се не може изгубити више кише него што је пало. Дакле:

$$P_e = \begin{cases} \dfrac{(P(t)-0{,}2S)^2}{(P(t)+0{,}8S)}, & P > 0{,}2S \\ 0, & P \le 0{,}2S \end{cases} \qquad (86)$$

Са овако одређеном сумарном линијом ефективне кише, може се конструисати и хијетограм ефективне кише.



Слика 2.12 Дијаграм односа укупне и ефективне кише по SCS методи

2.2.2.2.2 Модел директног отицаја

Модел директног отицаја описује процес трансформације ефективних падавина у отицај. Биће коришћен емпиријски модел јединичног хидрограма, заснован на теорији линеарних система у складу са принципом пропорционалности и принципом суперпозиције. У зависности од усвојеног типа јединичног хидрограма, параметри се одређују на основу хидрографских и физичких карактеристика слива (дужине токова, падова токова, падова у сливу, хипсометрије, изохрона итд).

2.2.2.2.3 Кларков јединични хидрограм

Путовање запремине воде од одређене тачке у сливу до излазног профила слива, представља збир течења и задржавања воде по падини, кроз депресије у терену, дуж ригола и канала, и коначно дуж главног водотока. Кларков модел изводи јединични хидрограм експлицитно описујући два основна процеса у трансформацији ефективних падавина у отицај:

- транслацију - путовање запремине ефективне кише до излазног профила
- ублажавање - трансформација транслираног таласа у ублажени на излазном профилу услед задржавања воде на сливу.

Задржавање воде на сливу игра важну улогу у трансформацији ефективних падавина у отицај. Једна од простијих презентација ефеката ове појаве може се добити применом модела линеарног резервоара, кога користи и Кларков модел за идентификацију јединичних хидрограма.

Претпоставка Кларкове методе је да се укупна ретензиона способност слива може симулирати једним линеарним резервоаром који је смештен на излазном профилу слива.

Линеарни временски променљив систем може се описати двема једначинама:

- једначином континуитета:

$$\frac{dV(t)}{dt} = U(t) - I(t) \tag{87}$$

- једначином резервоара:

$$V(t) = RU(t) \tag{88}$$

где су U(t) доток у резервоар у тренутку t, I(t) излаз из резервоара у тренутку t, V(t) запремина у резервоару у тренутку t и R константа линеарног резервоара. Комбиновањем и решавањем једначина за коначни временски интервал dt добија се коначни, ублажени хидрограм:

$$\overline{U} - \overline{I} = R\frac{\Delta I}{\Delta t} \tag{89}$$

где су $\overline{U} = 0{,}5(U(t-\Delta t) - U(t)\,;\quad \overline{I} = 0{,}5(I(t-\Delta t) - I(t)\,;\quad \Delta I = I(t-\Delta t) - I(t)$

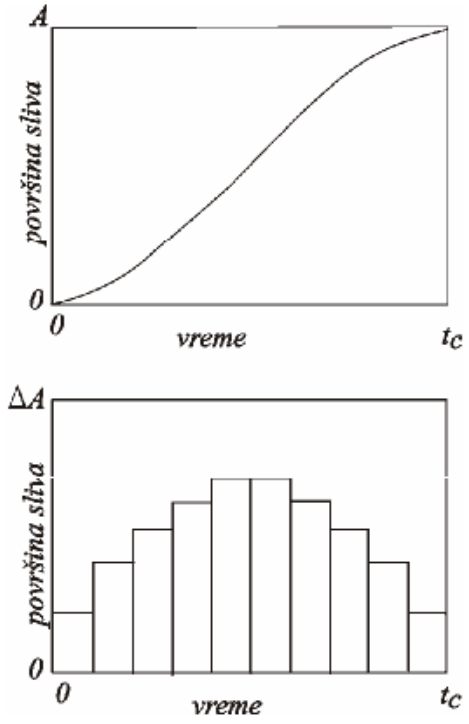
Решавањем једначине (87) по I(t) добија се:

$$I(t) = C\overline{U}(t) + (1-C)I(t-\Delta t) \tag{90}$$

где је:

$$C = \frac{\Delta t}{R + \Delta t/2} \tag{91}$$

Као додатак моделу линеарног резервоара, Кларк за опис транслације воде на сливу користи дијаграм време-површина (Слика 2.13). Овај дијаграм дефинише површину слива која учествује у формирању отицаја у зависности од времена.



Слика 2.13 Дијаграм време-површина

Множењем ордината дијаграма са 1 mm ефективне кише добијају се запремине отекле воде, а дељењем са рачунским кораком Δt добија се хидрограм отекле воде од 1 mm ефективне кише, односно јединични хидрограм

$$\overline{u}'(t) = \frac{\Delta A(t)}{\Delta t} \tag{92}$$

Ако се овако добијен јединични хидрограм искористи као улаз у једначину линеарног резервоара (U=u'), применом једначине (90) као излаз се добијају ординате uj јединичног хидрограма.

2.2.2.2.4 Модел базног отицаја

Модел базног отицаја рачуна удео спорог потповршинског и подземног отицаја у укупном отицају. У зависности од расположивих података, као и од значајности удела базног отицаја у укупном отицају, биће усвојен један од следећих модела: модел константних месечних протицаја, модел експоненцијалне рецесије или модел линеарних резервоара.

2.2.2.2.5 Модел пропагације таласа

Модел пропагације таласа дуж тока користиће једначину кинематског таласа, решаваће се применом Muskingum-Cunge методе, која узима у обзир геометрију тока (дужину и пад тока, облик и димензије попречног профила) као и отпоре у кориту и/или инундацији.

Muskingum-Cunge модел се базира на решавању једначине континуитета

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L \tag{93}$$

и дифузног облика динамичке једначине

$$S_f = S_o - \frac{\partial y}{\partial x} \tag{94}$$

а применом линеарне апроксимације добија се:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c\frac{\partial Q}{\partial x} = \mu\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + cq_L \tag{95}$$

где су: c - брзина простирања таласа, и μ - вискозност. Како се и c и μ мењају кроз време, рачунају се за сваки временски корак и просторну дискретизацију, Δt и Δx.

2.2.2.2.6 Модел трансформације поплавног таласа у ретензији

Модел трансформације поплавног таласа у ретензији узима долазни хидрограм и, узимајући у обзир криву запремине акумулације и хидрауличке карактеристике за један или више евакуационих органа (темељни испуст, прелив, пумпе итд), као и почетне услове, рачуна излазни (трансформисани) хидрограм из акумулације.

Као улаз у хидролошки модел реке Колубаре биће коришћене падавине са временским кораком од 1 час. Подаци о падавинама биће прикупљени са свих расположивих званичних станица РХМЗС: часовне падавине са главних метеоролошких станица и извештајно-аутоматских станица, и дневни подаци са падавинских станица. За сваки моделирани подслив ће бити срачунат јединствен улазни часовни хијетограм на основу расположивих података са свих станица које имају утицаја на датом сливу, применом метода просторне и временске интерполације.

Све физичке карактеристике подсливова биће одређене применом географског информационог система (ГИС) коришћењем дигиталног модела терена добијеним од топографских карата размере 1:25.000. Физичке карактеристике слива укључују: површину и обим слива, укупну дужину токова у сливу, дужину најдужег тока, уравнати и средњи пад тока, средњи пад слива, дужину тока од тежишта слива, средњу надморску висину слива, хипсометријску криву слива, подужни профил најдужег тока итд.

Након прикупљања података о осмотреним историјским протицајима на свим званичним хидролошким станицама РХМЗС у сливу реке Колубаре, као и падавина са главних метеоролошких, извештајно-аутоматских и падавинских станица, биће издвојене све епизоде са комплетним сетом података. Из тако формираног низа историјских епизода, одређен број епизода ће бити коришћен за калибрацију хидролошког модела, док ће остатак бити коришћен за верификацију модела. Однос и број таласа за калибрацију и верификацију биће дефинисан након обраде података. Калибрација и верификација хидролошког модела ће се вршити у свим профилима званичних хидролошких станица РХМЗС за које су доступни подаци (Бело Поље/Обница, Седларе/Јабланица, Ваљево/Колубара, Дегуриц/Градац, Мионица/Рибница, Словац/Колубара, Бели брод/Колубара, Боговађа/Љиг, Зеоке/Пештан, Коцељева/Тамнава, Ћеманов мост/Тамнава, Уб/Уб, Дражевац/Колубара). Квалитет модела у калибрационом и верификационом периоду ће бити приказан са гледишта репродукције свих елемената таласа великих вода (вршних протока, запремина таласа и времена појаве вршног протока), као и других показатеља ефикасности модела који се у пракси користе.

2.2.3 Теоријске основе за одређивање екстремних протока различите вероватноће појаве

Познавање великих вода различитих вероватноћа појаве веома је битно за димензионисање хидротехничких објеката и од пресудне је важности са гледишта економичности изградње, и са становишта сигурности. Димензионисање хидротехничких објеката, извршено на рачунски потцењене велике воде, доводи до повећаног ризика од плављења и рушења објеката са свим другим неповољним последицама. Прецењене велике воде смањују ризике, али имају за последицу предимензионисане објекте, што није у складу са реалним потребама сигурности, већ представљају непотребно расипање инвестиционих средстава.

За димензионисање бројних објеката, односно за дефинисање њихове пропусне моћи, меродаван је врх поплавног таласа (максимални протицај), уједно трајање и запремина воде која у току таласа протече.

При анализи дејства акумулација или речних корита на трансформацију поплавних таласа, осим максималног протицаја, меродавне су запремине поплавних таласа, као и облици хидрограма. Пошто се хидротехнички објекти димензионишу с циљем да обезбеде одређену сигурност низводног подручја, одређивање меродавне вредности велике воде своди се на дефинисање максималног протицаја и хидрограма поплавног таласа (по запремини и облику) који одговара некој вероватноћи појаве, односно повратном периоду.

Методе за прорачун меродавне велике воде се, у зависности од расположивости података осматрања и мерења, могу сврстати у следеће групе:

1. Методе прорачуна велике воде на **хидролошки изученим профилима**;
2. Методе за прорачун велике воде на хидролошки недовољно изученим профилима;
3. Методе за прорачун велике воде на **хидролошки неизученим профилима**.

У тексту који следи, укратко се приказују методе које се у хидролошкој пракси користе за прорачун велике воде на све три категорије профила различите хидролошке изучености. Под појмом хидролошки изучени профил, подразумева се профил реке, где постоје довољно дуге серије осматрања водостаја и мерења протицаја. Обично су то серије дуже од 30 година. Методе за прорачун велике воде, које се користе за краће серије (мање од 15 година), односе се на другу групу (недовољно изучени профили), а профили река без осматрања припадају трећој групи.

2.2.3.1 Одређивање великих вода на хидролошки изученим профилима

2.2.3.1.1 Статистичка анализа репрезентативних серија максималних годишњих протицаја

Под појмом максималан годишњи протицај подразумева се највећа тренутна вредност речног протицаја у одређеном профилу, регистрована у току календарске године. Екстракцијом тих вредности формира се временска серија максималних годишњих протицаја. Тако формирана серија представља основу за све даље анализе максималних протицаја на хидролошки изученим профилима.

Дефинисање максималних протицаја базира се на практичној примени теорије математичке статистике и теорије вероватноће. С тим у вези, неопходно је претходно испитати колико је формирана временска серија регистрованог узорка репрезентативна да представља популацију разматраног процеса у целини. Примена математичке статистике и теорије вероватноће подразумева да су чланови расположиве временске серије максималних годишњих протицаја случајне величине. Због тога је потребно да се пре примене класичне процедуре математичке статистике и теорије вероватноће,

провери да ли су чланови формиране временске серије међусобно зависни или независни (случајни). Такође, неопходно је да се испита да ли су статистички параметри појединих секвенци формиране временске серије стационирани, односно да ли је временска серија хомогена. Осим тога, примена теорије вероватноће захтева да у структури разматране случајне променљиве не долази до наглих (скокова), односно постепених промена статистичких показатеља (трендова), који дефинишу случајну променљиву, као и појаву outleyer (изузетно ретких догађаја).

У слушају да наведени тестови покажу да је серија репрезентативна и хомогена, и да у серији не постоји тренд, за дефинисање меродавних великих вода користе се следеће методе:

1. Метода годишњих екстрема (N > 25) и
2. Метода прагова (пикова).

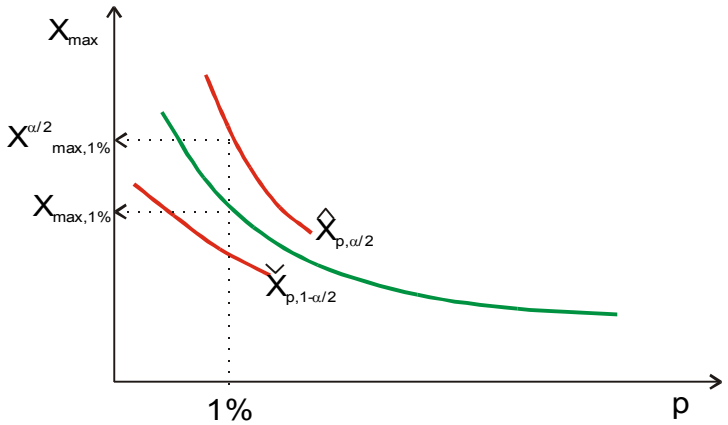
Основни циљ ових метода је добијање теоријских функција расподеле максималних (вршних) протицаја или водостаја, односно вероватноће:

$$P(X_{\max} > x) = 1 - F(x) \tag{96}$$

где су: $P(X_{max}>x)$ – вероватноћа да ће случајно promenljiva X_{max} бити већа од вредности x, X_{max} – вредност разматране случајно променљиве X_{max} (протицај или водостај), x – вредност случајно променљиве X тражене вероватноће појаве, $F(x)$ - теоријска расподела случајно променљиве X.

Код методе годишњих екстрема, ради дефинисања функције расподеле вероватноће максималних случајних величина X_{max}, узорак се формира на тај начин што се из расположивог низа осматрања од N година, узима по један податак из сваке године (највећа осмотрена вредност случајно променљиве X у години – X_{max}). На бази добијеног узорка одређује се емпиријска функција расподеле и израчунавају параметри функције расподеле вероватноће. У пракси се углавном користе следеће теоријске функције расподеле: Log-Pearson III, Pearson III, Troparametarska Gama расподела, Gumbelova расподела, Lognormalna расподела. На основу резултата статистичких тестова сагласности емпиријске и теоријске расподеле (χ^2-тест и тест Kolmogorova), врши се коначан избор меродавне теоријске функције расподеле. Горња и доња граница (Слика 2.14) обухватају интервал у коме ће се наћи вредност максималног протицаја, Xmax,p, са вероватноћом 1-α.

Тврдња да Xmax,p није веће од горње, а такође није мање од доње границе интервала поверења, прихвата се са ризиком α да се Xmax,p може наћи и изван дефинисаних граница (Слика 2.14).



Слика 2.14 Вероватноћа појаве случајно променљиве Xmax са интервалима поверења

Метода прагова (пикова), за разлику од методе годишњих екстрема, користи већи број екстрема регистрованих у току једне календарске године. Обично су то максималне вредности свих поплавних таласа које су веће од неке, унапред задате базне вредности (прага). Овако формиране временске серије називају се ПОТ серијама. Теоријске основе ове методе поставили су Тодоровић и Зеленхасић. Међусобна независност елемената у тако формираној серији, као и код других сличних поступака, неопходан је услов за примену статистичких модела анализе. Овај услов углавном је задовољен, упркос чињеници да одређени догађаји могу показати виши степен зависности него кад се анализа примењује на годишње максимуме.

Основна замерка методи годишњих екстрема је што се приликом формирања временске серије (узорак) користи само један податак годишње, чиме се занемарују остали максимуми, који могу бити знатно већи од максималне вредности у другим годинама. Метода пикова обухвата анализу свих максималних вредности, већих од неке базне вредности. На тај начин користи се више информација него у претходној методи. Међутим, треба напоменути да је практична примена недвосмислено показала да у домену већих повратних периода обе методе дају приближно исте резултате. Предност методе пикова је у томе што се, поред расподеле пикова, добија и расподела броја појављивања.

2.2.3.1.2 Статистичка анализа нерепрезентативних серија

Функције расподеле нерепрезентативних серија

Серија независних чланова сматра се репрезентативном ако омогућује да се са траженом поузданошћу оцене параметри њене функције расподеле. Грешка оцене параметара зависи од обима серија (*n*) и њене варијабилности. Серија се сматра репрезентативном ако релативно средње квадратно одступање оцењених статистичких параметара не превазилази 10% основних вредности. Средња квадратна одступања статистичких параметара рачунају се по формулама:

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \cdot 100\% \tag{97}$$

$$\sigma_{C_v} = \left(\frac{C_v}{\sqrt{2n}} \cdot \sqrt{1 + C_v^2} \right) \cdot 100\% \tag{98}$$

$$\sigma_{C_s} = \left(\sqrt{\frac{6}{n} \cdot \left(1 + 6C_v^2 + 5C_v^4\right)} \right) \cdot 100\% \tag{99}$$

где су $\bar{X}$– средња вредност променљиве X, б– стандардна девијација променјиве X, Cv – коефицијент варијације, C_s – коефицијент асиметрије.

Треба уочити да је средње квадратно одступање свих параметара обрнуто пропорционално квадратном корену дужине низа *n*, што и формално потвђује потребу што дужих серија осматрања.

Прорачун великих вода на бази нерепрезентативне серије, извршен према процедури изложеној у поглављу 1.1 овога рада, може се прихватити као коректан:

У случају ако се поређењем резултата краће серије на реци-аналогу покаже да су параметри посматране серије (односно ординате криве расподеле вероватноће) одређене са довољном тачношћу, или ако су параметри нерепрезентативне серије поуздано кориговани преко параметара за реку-аналог са дужим периодом осматрања.

Функције расподеле нехомогених серија

За дефинисање функције расподеле нехомогене временске серије користи се графоаналитичка метода *Бровковића* и *Великанова* (*Roždestvenskiy* и *Čebotarev*, 1947), према којој њен облик представља пондерисану суму функција расподеле хомогених подсерија, која се рачуна по обрасцу:

$$F_N^*(x) = \frac{n_1 \cdot F_1(x) + n_2 \cdot F_2(x) + \ldots + n_k \cdot F_k(x)}{n_1 + n_2 + \ldots + n_k} \tag{100}$$

где је: $F^*(x)$ – функција расподеле нехомогене временске серије *X;* n_1, n_2, ..., n_2 – број експерименталних података хомогених подсерија X_i od i=1, 2, ..., k; $F_1(x)$, $F_2(x)$, ..., $F_k(x)$ –функција расподеле хомогених подсерија X_i.

Под претпоставком да се нехомогена случајна серија X може разложити на две хомогене подсерије, аналитичка функција расподеле ће имати следећи вид:

$$F^*(x) = \frac{n_1 \cdot F_1(x) + n_2 \cdot F_2(x)}{n_1 + n_2} \tag{101}$$

Функције расподеле временских серија са трендом

Функција расподеле временске серије *Q(t)*, у којој је идентификован статистички значајан тренд *T(t)*, одређује се тако што се претходно из ње одстрани компонента тренда, тј:

$$\xi(t) = Q(t) - T(t) \tag{102}$$

На хомогену случајну серију ξ(t) се затим примени већ описана процедура за дефинисање функције расподеле.

У пракси је уобичајено да се при одстрањивању тренда одмах врши и свођење основне променљиве на последњу годину, с обзиром на то да је у скоро свим хидролошким прорачунима интересантан будући период, који се, у недостатку хидролошких прогноза, може апроксимирати режимом река у недавној прошлости. У вези са овим, уводи се нова променљива μ(t), која, у суштини, представља стохастичку компоненту редуковану за последњу вредност тренда *T(N)*, тј:

$$\mu(t) = Q(t) - T(t) + T(N) \tag{103}$$

Овако дефинисана варијабила представља случајно променљиву из које је елиминисана детерминистичка компонента тренда, те се као таква користи при свим даљим статистичким анализама и прорачунима вероватноће.

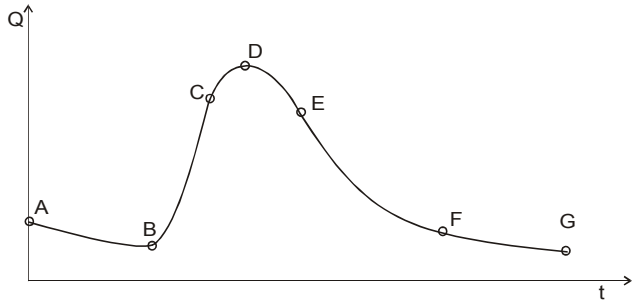
2.2.3.1.3 Хидрограми великих вода

Облик хидрограма великих вода

Хидрограм великих вода представља зависност протицаја воде неке реке у одређеном профилу у функцији времена. Последица је пале кише на сливу јаког интензитета или отапања снежног покривача са или без кише. Облик хидрограма условљавају физичко-географски фактори, као и климатски чиниоци сливног подручја. Ако је хидрограм отицаја последица једне изоловане кише униформног интензитета и

равномерно распоређеног на сливу, тада резултујући хидрограм има облик представљен у наставку (Слика 2.15).

Део хидрограма АВ представља хидрограм отицаја ефлуентног водотока пре кише, односно ретардациони део хидрограма пре кише. Грана пораста, односно интензитета повећања протицаја у времену, тј. део ВС на наредној, назива се кривом концентрације. Сегмент CDE је вршни део хидрограма, када протицај воде достиже максималну вредност. Део хидрограма EFG представља ретардациону криву или криву рецесије. Тачке С и Е су инфлексне тачке обе гране хидрограма.



Слика 2.15 Општи облик хидрограма великих вода

Облик хидрограма првенствено зависи од топографских карактеристика (форме и пада слива), затим од трајања и интензитета расподеле падавина у сливу. На конкавност криве концентрације утиче, осим облика слива, капацитет инфилтрације и површинског задржавања на почетку пљуска. Максимални протицај (тачка D на претходној слици) јавља се у тренутку када читава површина слива почиње да учествује у формирању отицаја. У том тренутку вода са најудаљеније тачке слива долази до излазног профила. Киша одређеног интензитета, чије је трајање веће од времена путовања воде од најудаљеније тачке у сливу, при свим осталим истим условима, произвешће већи максимум него киша краћег трајања, из разлога што површине ближе излазу још увек доприносе формирању отицаја са слива.

Облик ретардационе криве не зависи од интензитета кише и инфилтрације, односно њихових карактеристика, већ у првом реду од физичких карактеристика слива, хидрографске мреже и хидрогеолошких услова. Део ретардационе криве EF је последица оцеђивања воде са слива после престанка ефективне кише. Део хидрограма ФГ представља ретардациону криву подземних вода у сливу и практично је исто што и део АВ.

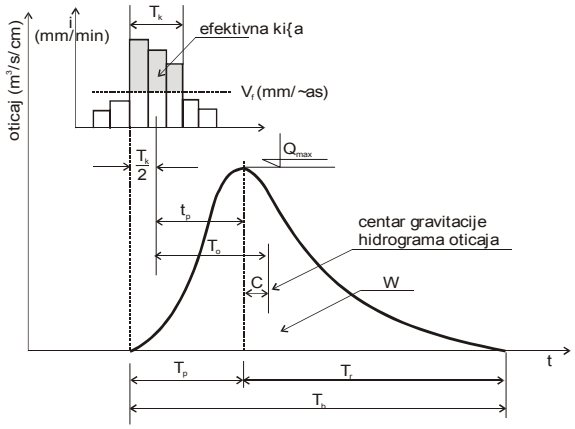
Параметри хидрограма великих вода

У хидролошкој пракси је уобичајено да се параметри хидрограма великих вода дефинишу за хидрограме директног отицаја. У основи, полази се од интензитета бруто кише, преко интензитета нето кише, до хидрограма директног отицаја. Слика *2.16 Параметри хидрограма* директног отицаја) приказује основне параметре који дефинишу хидрограм директног отицаја у односу на падавине које су га изазвале.

Основни параметри хидрограма директног отицаја су:

Q – максимална ордината хидрограма директног отицаја, T_k – трајање ефективне кише, T_p – време подизања хидрограма (од почетка ефективне кише до појаве максималне ординате хидрограма директног отицаја), T_r – време опадања (ретардације) хидрограма (од појаве максималне ординате до краја хидрограма директног отицаја), T_b – укупно време директног отицаја – базе хидрограма, t_p – „време закашњења“ слива – време од центра хидрограма ефективне кише до појавеQ_{max}, T_o – „време закашњења“ слива – време од центра хијетограма ефективне кише до центра хидрограма директног отицаја, W – запремина хидрограма директног отицаја, P – укупне бруто падавине на сливу површине F , P_{ef} – укупне ефективне падавине које су

проузроковале хидрограм директног отицаја, i – интензитет бруто падавина, V_f– интензитет инфилтрације, α – коефицијент директног отицаја, T_c – време концентрације – време које је потребно да кап воде са најудаљеније тачке слива, који отиче површински, дође до излазног профила слива, c– време од појаве максималне ординате хидрограма до центра хидрограма директног отицаја.



Слика 2.16 Параметри хидрограма директног отицаја

Укупно време директног отицаја представља збир времена подизања и времена ретардације хидрограма, тј:

$$T_b = T_p + T_r \tag{104}$$

Укупан ефективни отицај, или слој ефективног отицаја, добија се као:

$$P_{ef} = \int_0^{T_K} \left(i(t) - v_f(t)\right) dt \tag{105}$$

где су: $i(t)$ – интензитет бруто кише, $v_f(t)$– интензитет инфилтрације или:

$$P_{ef} = \frac{W}{F} = \frac{\int_0^{T_K} Q_{(t)} dt}{F} \tag{106}$$

где је: *F* - површина слива. Укупне бруто падавине износе:

$$P = \int_0^{T_{BK}} i(t) dt \tag{107}$$

Коефицијент директног отицаја представља однос укупне ефективне и бруто падавине, тј:

$$\alpha = \frac{P_{ef}}{P} \tag{108}$$

Теоријски хидрограм великих вода

У хидролошкој пракси је, осим вршног протицаја Q_{max}, потребно познавати и облик хидрограма поплавног таласа, односно параметара запремине поплавног таласа *W* и

трајање хидрограма *T*. За одређивање облика хидрограма, или пробабилистичке комбинације различитих констелација наведених параметара хидрограма великих вода, у хидролошкој пракси најчешће се користи процедура типског хидрограма.

Суштине ове процедуре је да се на основу параметара осмотреног сваког хидрограма великих вода одређује коефицијент облика хидрограма:

$$\gamma = \frac{W}{Q^*_{max} \cdot T} \tag{109}$$

и да се конструишу бездимензионални типски хидрограми у релативним координатама од трајања пораста таласа T_p ($xi = \frac{ti}{Tp}$) и максималног протицаја Q^*_{max} ($y_i = \frac{Q_i}{Q^*_{max}}$),

где је:

$$Q^*_{max} = Q_{max} - \overline{Q} \tag{110}$$

Qmax – максимална ордината хидрограма, $\bar{Q}$ - неки реперни протицај – изнад базног протицаја, на пример средњи протицај.

У случају значајних промена коефицијента ϒ, овакви бездимензионални хидрограми се сврставају у неколико група (2–3) по величини ϒ, а затим се за сваку групу одређује (средњи) типски хидрограм са коефицијентом облика γ_k.

Множећи апсцисе x_i рачунског типског хидрограма са рачунским трајањем поплавног таласа T_p и ординате y_i са величином ($Q_{max,p}$ – $\bar{Q}$), добија се теоријски хидрограм поплавног таласа вероватниоће појаве p.

Сагласно усвојеној вредности γ_k (највећа вредност за γ_k узима се приликом димензионисања преливних органа), рачунско трајање поплавног таласа рачуна се по изразу:

$$T_p = \frac{W_p}{\gamma_k \cdot (Q_{max,p} - \overline{Q})} \tag{111}$$

где су: W_p и $Q_{max,p}$– запремина и максимални протицај одређене вероватноће појаве *p*.

Паралелно са овом анализом, врши се анализа зависности максималних протицаја воде и запремине поплавних таласа:

$$Q_{\max,p} = f(W_p) \tag{112}$$

на основу које се, ако је она јасно дефинисана, одређује величина W_p, за одређену вредност $Q_{max,p}$.

2.2.3.2 Одређивање великих вода на хидролошки недовољно изученим водотоцима

Под појмом **недовољно изучени водоток** подразумева се река на којој постоје дисконтинуални подаци осматрања водостаја и мерења протицаја, или недовољно дуге временске серије – мање од 15 година. Поступци за прорачун великих вода у наведеним приликама базирају се на успостављању корелационих веза са реком-

аналогом, а користе, такође, обједињавање серија са више хидролошких станица и њихову хомогенизацију, као и теорију јединичног хидрограма.

2.2.3.2.1 Прорачун максималних протицаја преко регресионих зависности са реком „аналог"

У случају кад постоје истовремена хидролошка осматрања одређене дужине на профилу, од интереса и за аналог, основни статистички параметри великих вода могу се одредити коришћењем теорије линеарне или нелинеарне регресије (ако је зависност статистички значајна).

Тако, на пример, ако се користи само један аналог (при линеарној зависности), продужавање низа врши се преко израза:

$$Q_i = \overline{Q}_n + r \cdot \frac{\sigma_n}{\sigma_{a,n}} \cdot \left(Q_{a,i} - \overline{Q}_{a,n}\right) \tag{113}$$

где је: а – ознака за аналог, N – дужина периода осматрања *N*>>*n*, r – коефицијент корелације за истовремени период осматрања, σ_n – средње квадратно одступање.

Користећи већ успостављену у јед. (113), стандардни статистички параметри $\bar{Q}$, C_v и C_s могу се одредити из серије која следи из релације:

$$Q_{i,N} = \overline{Q}_n + r\frac{\sigma_n}{\sigma_{a,N}} \cdot \left(Q_{a,i} - \overline{Q}_{a,N}\right) \tag{114}$$

Ако се расподела случајних променљивих значајно разликује од нормалног закона расподеле, тада је потребно претходно извршити нормализацију променљивих.

2.2.3.2.2 Прорачун великих вода преко обједињене временске серије са више хидролошких станица – метода „година-станица"

Када се при прорачуну великих вода не може наћи одговарајући аналогни слив, већ у датом региону постоје само хидролошка осматрања са релативно кратким периодом трајања, може се искористити принцип обједињавања више временских серија у хидролошки хомогеном простору, са циљем да се поузданије одреде неопходни параметри великих вода.

Унутар хомогеног физичко-географског региона могу се обједињавати временске серије следећих изведених параметара великих вода:

$$X_i = q_i \cdot (F + b)^n \tag{115}$$

$$X_i = (\alpha \cdot P_{max,dn,p})_i = \frac{q_{max,i}}{16.67 \cdot \overline{\psi}(\tau_i)} \tag{116}$$

$$X_i \equiv K_i = \frac{Q_{max,i}}{\overline{Q}_{max}} \tag{117}$$

$$X_i = \frac{K_i - 1}{C_v} \tag{118}$$

где су: $q_{max,i}$ – максимални модул отицаја, $P_{max,dn,p}$– максимална дневна сума падавина вероватноће појаве p, α – коефицијент отицаја, $\bar{\psi}(\tau i)$– ордината редукционе криве средњег интензитета, т – време дотицаја, C_v– коефицијент варијације серије максималних годишњих протицаја, K_i – модулни коефицијент, *F*– површина слива, $Q_{max,i}$– максимални годишњи протицај у i-тој години, $\bar{Q}_{\max}$– просечна вишегодишња вредност максималних годишњих протицаја, b – параметар, *n* – параметар редукције максималног модула.

Суштина обједињавања временских серија по методи „година-станица" састоји се у обједињавању вредности серија са „L" пунктова осматрања:

$$X_{j1},\ X_{j2},\ X_{j3},\ \ldots\ X_{jN}\ j = 1, 2, \ldots, L$$

у један јединствен просторно временски низ: X_{j1}, X_{j2}, X_{j3}, ... X_{jN}, $N = N_1 + N_2 + \ldots + N_L$, где је: N – укупан број података.

Прорачуном ефективних информација у обједињеном низу, састављеном од „L" корелационо повезаних временских низова, добија се број ефективних независних „година-станица".

$$N_{nz} = N_1 + N_2 \cdot (1 - R_2) + \ldots + N_L \cdot (1 - R_L) \tag{119}$$

при чему су: $N_1 > N_2 > N_3 > \ldots > N_L$ – периоди осматрања у „L" пунктова; R_1 – вишеструки коефицијент корелације између временске серије у j-том месту, и временске серије у 1, 2, ... j-1 месту осматрања, са периодима осматрања: $N_1 > N_2 > N_3 > \ldots > N_L$.

Број чланова серије који припада једној независној „години-станици" износи:

$$\lambda = \frac{N}{N_{nz}} \tag{120}$$

Новоформирани обједињени низ по методи независних „година-станица" сачињавају следећи елементи: X_1, $X_{\lambda+1}$, $X_{2\lambda+1,\ldots}$ док су индекси (λ),(λ+1), (2λ+1) цели бројеви одређени поступком заокруживања.

На основу података обједињеног низа, класичном процедуром прилагођавања теоријских и експерименталних кривих расподеле, рачунају се теоријске вредности случајно променљиве одређене вероватноће појаве X_p.

Затим се врши тестирање хомогености новоуспостављене, обједињене, временске серије. Уколико се покаже да је серија хомогена, она се проглашава „регионалном" и може се користити за било коју тачку на водотоку у разматраном простору. На тај начин добијају се теоријске вредности изведених параметара велике воде X_p. Реалне вредности одговарајућег параметра велике воде добијају се инверзним путем – коришћењем одговарајуће једначине од 20 до 23.

2.2.3.2.3 Метода ПОТ-серија

У случају када временске серије нису довољно дуге за одређивање поузданих статистичких параметара, при дефинисању функције расподеле максималних годишњих вредности користе се подаци већег броја екстрема регистрованих у току једне календарске године. Обично су то максималне вредности оних поплавних таласа који превазилазе неке унапред задате реперне протицаје. Неопходно је да су

вредности тако одабраних протицаја међусобно независне. Овако формиране временске серије познатије су под називом ПОТ-серије.

Процедура прорачуна базира се на претпоставци да на разматраном профилу постоје временске серије за статистичке прорачуне недовољно дуге (од 15 до 20 година), али да је регистрован довољан број независних екстрема. У том случају формира се једна временска серија максималних годишњих протицаја и примењује се класична теорија прилагођавања теоријских функција расподеле основним подацима. Добијене рачунске вредности протицаја одређене вероватноће појаве односе се на услове када је коришћено више екстремних вредности протицаја у току године. Прелаз на вероватноће које одговарају годишњим екстремима, из чега се може одредити повратни период појављивања одређеног протицаја, добија се помоћу ове једначине:

$$P(Q) = 1 - \left(1 - p^*(Q)\right)^N \tag{121}$$

у којој су: $P(Q)$ – вероватноћа појаве, p^*– „условна" вероватноћа појаве добијена применом класичне теорије вероватноће у случају коришћења више екстремних вредности из једне године, N – просечан број коришћених података у току једне године.

2.2.3.2.4 Коришћење теорије јединичног хидрограма

Полази се од претпоставке да је јединични хидрограм (JX), хидрограм површинског отицаја изазван ефективном кишом јединичне висине (1 cm ili 1 mm) равномерно распоређен у сливу, уједначеног интензитета кише чије је трајање T. Када постоје подаци лимниграфских осматрања отицаја воде са посматраног слива и подаци регистровања одговарајуће кише (плувиограф), могу се срачунати емпиријски јединични хидрограми. Јединични хидрограм се може одредити на основу опаженог хидрограма, који је последица изоловане кише, или тзв. комплексне кише. Када се говори о изолованој киши, мисли се на краткотрајне падавине, униформног интензитета нето кише трајања T, што је углавном теоретска категорија на којој почива концепт јединичног хидрограма. Хидрограми великих вода, који се јављају у пракси, најчешће су изазвани комплексном кишом трајања n·T временских јединица. Тада се хијетограм кише мора декомпоновати тако да интензитет ефективне кише буде константан током сваког интервала *T*. Блокови хијетограма нето кише у интервалима времена *T* производе елементарне хидрограме, чијом суперпозицијом се добијају коначни излазни хидрограми.

Илустрације ради, следи скраћена процедура дефинисања T_1-часовног јединичног хидрограма директног отицаја када се располаже са укупним хидрограмом отицаја којег је проузроковала изолована T-часовна нето киша. Поступак се састоји у следећем:

Укупан расположиви хидрограм отицаја *Q* се разлаже на директан отицај Q_d и базни отицај Q_b. Директан отицај представља разлику укупног и базног отицаја у датом тренутку:

$$P(Q) = 1 - \left(1 - p^*(Q)\right)^N \tag{122}$$

Одређује се запремина директног отицаја воде – Wd:

$$W_d = \int_0^{T_d} Q_d(t)dt \tag{123}$$

где је: T_d – база директног отицаја и израчунава се слој отицаја, односно ефективна (нето) киша – P_e:

$$W_d = \int_0^{T_d} Q_d(t)dt \tag{124}$$

где је: F – површина слива.

Ординате Т - часовног јединичног хидрограма добијају се по формули:

$$u(T,t) = \frac{Q_d(t)}{P_e} \tag{125}$$

Рачунају се ординате S-криве по формули:

$$S(T,t) = S(T,t-T) + u(T,t) \tag{126}$$

односно ординате T1≠T часовног јединичног хидрограма:

$$u(T_1,t) = \frac{T}{T_1} \cdot \left[S(T,t) - S(T,t-T_1)\right] \tag{127}$$

Суштина примене методе ЈХ за одређивање меродавних великих вода састоји се у трансформацији хијетограма нето кише у хидрограм директног отицаја преко ЈХ. Приликом прорачуна таласа великих вода потребно је одабрати рачунске нето кише (задатог повратног периода) које ће изазвати највећи вршни протицај. Ово се може постићи прорачунима (1) простог или (2) сложеног хидрограма директног отицаја.

У првом случају (1), са дијаграма вероватноћа - трајање кише - повратни период, узимају се висине различитих трајања кише. Затим се одређују одговарајуће вредности висине нето кише P_{ef} и израчунава се максимална ордината хидрограма, као:

$$Q_{max} = U_{max} \cdot P_{max} \tag{128}$$

где је U_{max} – вршна ордината ЈХ за меродавно трајање $t_k = T$. За меродавно трајање кише усваја се она вредност која даје највећи вршни протицај. Због тога је неопходно да се располаже серијама ЈХ за различита трајања нето кише.

У другом случају (2) када се поплавни талас одређује помоћу комплексне кише, као и у претходном случају, узимају се бруто кише различитог трајања, при чему је трајање рачунске кише знатно веће од базе јединичног хидрограма. После евентуалне редукције рачунске кише (с обзиром на површинску неравномерност падавина у сливу) одређује се сумарна линија бруто кише P, а затим сумарна линија нето кише P_{ef}. Из последње сумарне криве израчунавају се одговарајући протицаји нето кише $\Delta P_{ef,j} \cong X_j$ (j = 1, 2, ... n) у интервалу падања кише $t_{k=}n \cdot T$. Рачунски хидрограм велике воде се затим израчунава комбинацијом нето кише и *T*-часовног хидрограма. При томе се узимају различите комбинације интензитета нето кише у времену трајања $t_{k=}n \cdot T$ да би се добио хидрограм који даје највећи вршни протицај на излазном профилу слива.

2.2.3.3 Одређивање великих вода на хидролошки неизученим сливовима

На сливовима на којима не постоје подаци хидролошких осматрања, прорачун великих вода врши се помоћу различитих модела заснованих на теоријским поставкама о процесу формирања речног отицаја. Како су ти процеси веома сложени и зависе од многобројних фактора, у пракси су развијене различите методе и поступци. У основи, све методе могу се сврстати у следеће групе:

1. Методе које користе принципе хидролошке аналогије
2. Методе засноване на вези „падавине-отицај"
3. Емпиријске формуле
4. Методе прорачуна хидрограма великих вода
5. Симулационе методе „падавине-отицај".

Методе прорачуна углавном зависе од расположивих података, с тим што се води рачуна да параметри који се користе при прорачуну буду просторно хомогени.

2.2.3.3.1 Метода хидролошке аналогије

Прорачун одређених параметара великих вода на хидролошки неизученим сливовима може се, у појединим случајевима, вршити примењујући принцип хидролошке аналогије, односно користећи хидролошка осматрања са суседних, хидролошки изучених сливова.

Аналогни слив, у принципу, треба да задовољи следеће услове:

- Да је географски близак са сливним подручјем које се анализира,
- У оба слива треба да владају слични климатски услови,
- Услови формирања отицаја, тип земљишта, хидрогеолошки услови итд. (степен пошумљености и обрадивости слива) треба да буду слични у оба слива,
- Површина слива не треба да се разликује више од 5–10 пута, а средња надморска висина слива не више од 300 mнм,
- На аналогном сливу треба да постоје хидролошка осматрања, довољне дужине и репрезентативности.

Ако су наведени услови испуњени, прорачун максималног протицаја воде на неизученом водотоку, коритећи податке осматрања на аналогном сливу, може се вршити применом: (1) редукционе формуле и (2) формуле граничног интензитета отицаја.

2.2.3.3.2 Прорачун максималног протицаја воде коришћењем редукционе формуле

Прорачун максималног протицаја вода, користећи податке аналогног слива, врши се преко једног од следећих израза:

$$Q_{max,p} = q_{max,p,a} \cdot \left(\frac{F_a}{F}\right)^n \cdot \frac{\delta_1 \cdot \delta_2}{\delta_{1,a} \cdot \delta_{2,a}} \cdot F \qquad (129)$$

$$Q_{max,p} = q_{max,p,a} \cdot \left(\frac{\Phi_{k,a}}{\Phi_k}\right)^{n_1} \cdot \frac{\delta_1}{\delta_{1,a}} \cdot F \qquad (130)$$

односно

$$Q_{max,p} = q_{max,p,a} \cdot \left[\frac{L_a}{L} \cdot \frac{m}{m_a} \cdot \left(\frac{I}{I_a} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{F}{F_a} \right)^{1/4} \right]^{n_1} \cdot \frac{\delta_1}{\delta_{1,a}} \cdot F \qquad (131)$$

где је: qmax,p,a – максимални модул отицаја вероватноће p на реци аналогу, Фk - морфометријска карактеристика корита

$$\Phi_k = \frac{1000 \cdot L}{m \cdot I^{1/3} \cdot F^{1/4}} \qquad (132)$$

L - дужина водотока (km), I – средње уравнати пад (‰), F – површина слива (km^2), m – параметар који зависи од средње храпавости корита дуж тока, δ_1 и δ_2 – коефицијенти којима се регулише смањење максималног протицаја воде услед утицаја проточних језера и шума, n і n_1 – коефицијенти редукције максималног модула отицаја са увећањем површине слива, односно времена дотицаја, a – ознака за „реку-аналог".

Изрази (129) и (130) су применљиви при испуњењу услова:

$$\frac{L}{F^{0.56}} \le (1.5 - 2.0) \cdot \frac{L_a}{F_a^{0.56}} \qquad (133)$$

$$I \cdot F^{0.50} \le (2 - 3) \cdot I_a \cdot F_a^{0.5} \qquad (134)$$

Коефицијент m, који зависи од храпавости корита, одређује се, у зависности од Манинговог коефицијента n (Табела 2.1).

Табела 2.1 Вредност коефицијента m у формули (131)

Категорија	Средње карактеристике корита и реке дуж целог тока	koeficijent	
		Манингов n	m (m/min)
1	чиста корита равничарских река; периодични водотоци (сува корита) са добрим условима течења	0,038	11
2	Кривудава, делимично обрасла корита, каменита, за време великих вода носе веће количине наноса	0,050	9
3	Корита планинских река са неправилном површином водног огледала; периодични водотоци јако обрасли и кривудави	0,070	7

Параметар δ_1, у коме се узима у обзир умањење максималног отицаја због утицаја проточних језера, може се одредити по формули:

$$\delta_1 = \frac{1}{1 + C \cdot f'_{jez}} \qquad (135)$$

где су: C – емпиријски параметар ($0.2 < C < 0.4$), f^*_{jez}– проценат површине под језером (%), који се одређује по једначини

$$f'_{jez} = \sum_{i=1}^{l} \frac{100 \cdot S_i \cdot f_i}{F^2} \qquad (136)$$

f_i – површина слива i-тог језера (km^2), S_i– површина i-тог језера (km^2), F – површина слива (km^2).

Коефицијент δ_2, који регулише утицај шуме на смањење максималних протицаја, рачуна се помоћу израза:

$$\delta_2 = \frac{\alpha_1}{(f_s + 1)^{\theta_1}} \tag{137}$$

где су: f_s– проценат заступљености површина под шумом у сливу, α_1– емпиријски параметар који зависи од положаја шума у сливу ($0.75 < \alpha_1 < 1.40$), θ_1 – степен редукције максималног протицаја у функцији повећања површине под шумом ($0.10 < \theta_1 < 0.22$).

2.2.3.3.3 Метода граничног интензитета отицаја

Прорачун великих вода на хидролошки неизученим профилима по **методи граничног интензитета** подразумева да се претходно срачуна основни параметар модела $(\varphi H_{max,dn})^{\alpha}$ на сливу-аналогу, тј:

$$\left(\varphi H_{max,dn}\right)^a = \frac{q^a_{max,p}}{16{,}67 \cdot \overline{\psi}(\tau_a) \cdot \delta_1} \tag{138}$$

где су: $H^a_{max,dn,p}$ – меродавна дневна сума падавина на сливу-аналогу за вероватноћу појаве p, φ – збирни коефицијент отицаја на реци-аналогу, $\bar{\psi}(\tau_a)$– ордината редукционе криве средњег интензитета киша за рачунско време дотицаја τ_a (концентрације) на станици аналога.

Максимални протицај на хидролошки неизученом профилу рачуна се по формули:

$$Q_{max,p} = 16{,}67 \cdot \overline{\psi}(\tau)(\varphi H_{max,dn,p})^a \cdot \delta_1 \cdot F \tag{139}$$

где су: $Q_{max,p}$ – максимални проток на хидролошки неизученом профилу вероватноће појаве p, F – површина слива до хидролошки неизученог профила, τ – време концентрације до хидролошки неизученог профила, а – ознака за реку-аналог.

Решење једначине (139), с обзиром на то да је протицај у почетку прорачуна неизвестан, врши се методом постепеног приближавања. Увођењем одређених трансформација овај поступак може се скратити.

2.2.3.4 Метода синтетичког јединичног хидрограма

У појединим случајевима, када на профилу нису вршена никаква хидролошка мерења, максимални протицај великих вода, као и цео хидрограм отицаја, може се одредити на основу синтетичко-јединичног хидрограма - методе SCS (Soil Conservation Service; сада NRCS - National Resources Conservation Service), којом се за прорачун максималног протицаја воде реални (криволинијски) хидрограм апроксимира троуглом (2.17) .

Полазећи од једнакости запремине отекле воде и ефективне кише, синтетички јединични хидрограм у облику троугла дефинисан је следећим параметрима:

1. вршном ординатом, која је функција површине слива F и укупног трајања хидрограма површинског отицаја T_b (базе хидрограма)

$$U_{max} = \frac{0{,}556 \cdot F}{T_b} \tag{140}$$

2. укупно време трајања хидрограма површинског отицаја једнако је:

$$T_b = T_p + K \cdot T_p = T_p \cdot (1 + K) \tag{141}$$

3. где је T_p - време пораста таласа;

$$K = \frac{T_r}{T_p} = f(F) \tag{142}$$

K - - коефицијент односа времена рецесије T_r и времена пораста K_p таласа (K > 1) који се лако може довести у везу са површином слива.

4. време пораста хидрограма површинског отицаја

$$T_p = t_p + \frac{T_k}{2} \tag{143}$$

T_k - трајање кише, t_p - време "закашњења" слива које се може одредити на основу физичко-географских карактеристика слива

Једна од најчешће употребљаваних зависности за време "закашњења" слива износи:

$$t_p = C \cdot \left(\frac{L \cdot L_c}{\sqrt{I_{ur}}} \right)^n \tag{144}$$

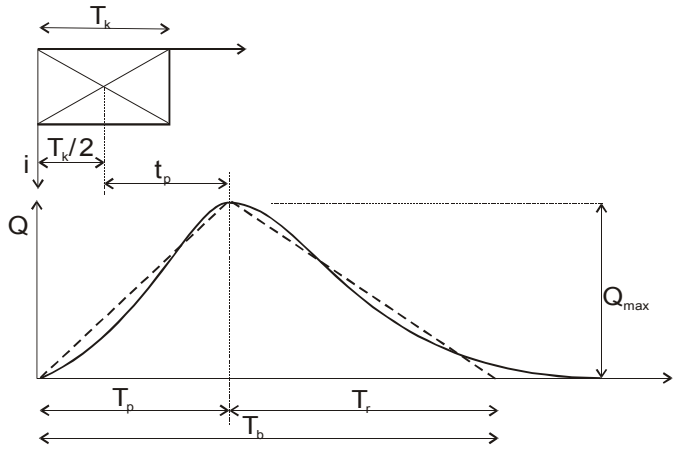
где је: L, L_C ,– дужина главног тока, односно растојање од тежишта слива до профила у km; I_{ur} – уравнати пад главног тока (%);C, n – регионалне константе које зависе од величине и карактеристика слива.

Тако, на пример, према истраживањима у САД, параметар n се креће око $n \approx 0{,}38$, а параметар C између $0{,}30 < C < 0{,}90$.

На крају се може рећи да се и остали поступци, који се користе за одређивање синтетичког јединичног хидрограма, базирају на сличним принципима. Приликом прорачуна великих вода применом синтетичког хидрограма, треба бити веома обазрив. Због релативно мале поузданости процењених великих вода, далеко је боље и целисходније на дотичном водотоку организовати привремена осматрања и мерења да би се добио поузданији јединични хидрограм.

Ефективна киша, или слој отицаја, P_e по методи SCS (*Soil Conservation Servise*) изражена је као функција падавина P, почетних губитака F_o (пре почетка површинског отицаја) и потенцијалног (максималног) дефицита влажности земљишта d_z, односно:

$$P_e = \frac{(P - F_o)^2}{P - F_o + d_z} \tag{145}$$



Слика 2.17 Шематски приказ хидрограма по методи троугла

Почетни губитак F_o обухвата интерцепцију и површинско акумулирање падавина пре почетка отицаја и зависи од тзв. хидролошко-земљишно-биљног комплекса *CN*.

Експерименталним путем тај однос је утврђен као:

$$F_o = 0{,}2 \cdot d_z \tag{146}$$

Вредност d_z потенцијалног дефицита влажности земљишта зависи од типа земљишта и емпиријским путем је доведена у везу са бројем CN. За њено одређивање користи се методологија приказана у делу **Error! Reference source not found.**, при чему редност S дешинише максимални капацитет змењишне влаге док вредност d_z представља вредност недостајуће влаге у земљишту.

2.2.3.5 Емпиријске методе (формуле)

За прорачун параметара хидрограма великих вода на хидролошки неизученим профилима, у хидролошкој пракси разматран је низ емпиријских метода и поступака. Свака од ових метода има своју теоријску поставку, а параметри метода су одређени на основу података осматрања и мерења хидролошких величина на ширем простору (региону). Сви параметри емпиријских метода су углавном доведени у везу са познатим физичким параметрима слива као што су: морфолошке карактеристике слива (површина слива, дужина тока, средње уравнати пад тока, ...), педолошке карактеристике земљишта, геолошка грађа терена, вегетациони покривач и сл. Суштина ових метода је да се на бази података на хидролошки изученим профилима успостави функционална зависност, где је неки параметар хидрограма великих вода зависно променљива, а један или више физичких параметара независно променљива величина. Параметри ових функционалних зависности одређују се за шире просторе (регионе) и уколико се покаже да су они просторно хомогени, такве зависности се практично користе за прорачун одговарајућих параметара хидрограма великих вода за хидролошки неизучене профиле унутар разматраног региона. Основна претпоставка је да су физички параметри на хидролошки неизученом сливу познати, а да се непозната величина (параметар хидрограма великих вода) одређује преко успостављене функционалне зависности.

У хидролошкој пракси постоје за дефинисање емпиријских формула за прорачун параметара хидрограма великих вода на хидролошки неизученим профилима најчешће се користи тзв. регионализација параметара хидрограма великих вода.

2.2.3.5.1 Време време „закашњења" слива од центра хијетограма нето кише до појаве максимлане ординате хидрограма директног отицаја Тр

Једна од најпознатијих формула за одређивање времена t_p, која је добијена на основу регистрованих хидрограма отицаја на 20 сливова у Северној Америци, са површинама сливова од 10 до 1700 km^2, има облик:

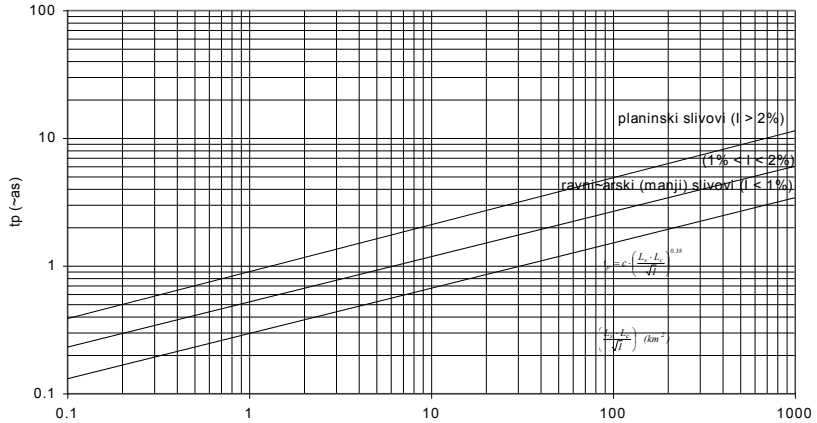
$$t_p = c \cdot \left(\frac{L_s \cdot L_c}{\sqrt{I_{ur}}} \right)^{0,38} \tag{147}$$

где су: t_p– време „закашњења" слива у часовима, с– коефицијент чија вредност зависи од величине и карактеристика слива (планински, равничарски), L_s– дужина слива - растојање од посматраног профила до вододелнице на главном току (km), L_c– растојање мерено дуж главног тока, од посматраног профила до тежишта слива (km), I_{ur}– средњи уравнати пад тока у %. Параметар с дефинише фамилију линија $t_p = f(L_s \cdot L_c / \sqrt{I_{ur}})$.

Ако се ове вредности представе графички у логаритамском виду тада се могу издвојити три линије које одговарају различитим вредностима средње уравнатог пада тока: I > 2% (планински сливови); $1 < I_{ur} < 2\%$ (брдско-планински сливови) и I_{ur} <1% (равничарски сливови).

За слив реке Колубаре изведена је следећа зависност за прорачун времена закашњења слива (*Д. Јанковић*):

$$t_p = 0.75 \cdot \left(\frac{L_s \cdot L_c}{\sqrt{I_{ur}}} \right)^{0,38} \tag{148}$$



Слика 2.18 Зависност времена t_p у функцији морфолошких карактеристика слива

2.2.3.5.2 Време „закашњења" слива од центра хијетограма нето кише до центра хидрограма директног отицаја То

Анализирајући податке о кишама и отицају са 12 сливова у Јужном Онтарију (Канада), код којих је површина највећег слива била 350 km^2, *Kennedy* и *Watt* су дошли до следећих формула за прорачун параметара T_0:

$$T_o = 1{,}864 \cdot F^{0{,}39} \cdot I^{-0{,}31} \tag{149}$$

$$T_o = 230 \cdot \left(\frac{L_s}{I} \right)^{0.66} \tag{150}$$

Ако се укључује тип вегетације, односно начин обраде земљишта, *Bell* је дошао до следеће формуле за прорачун T_o:

$$T_o = 0{,}73 \cdot M \cdot F^{0{,}33} \tag{151}$$

у којој параметар M зависи од врсте биљног покривача у сливу и то: Шума, M= 2,05; Пашњак, M = 1,50; Обрадиво земљиште, M = 1,15; Голо земљиште, M = 0.60. Модел овог типа може се применити само на сливовима са топографским карактеристикама које су сличне онима за које је формула изведена.

2.2.3.5.3 Време концентрације – T_c

По дефиницији, време концентрације је време које је потребно да вода која отиче површински са најудаљеније тачке слива доспе до излазног профила слива. Ово време разни аутори интерпретирају на сасвим различите начине. Разлог овоме је што се ово време не може једноставно одредити непосредно из података осматрања. То се нарочито односи на мање сливове, где се отицај контролише на једном (излазном) хидрометријском профилу. Код већих сливова, где је меродавно време путовања воде по речној мрежи, и где постоји већи број хидролошких станица, време концентрације се може релативно поуздано одредити анализом пропагације поплавних таласа.

Једна од напознатијих формула за одређивање времена концентрације T_c помоћу геометријских карактеристика слива, јесте формула *Ramsera* i *Kirpicha*:

$$T_c = 0{,}00013 \cdot L^{0{,}77} \cdot S^{-0{,}39} \tag{152}$$

где је: L– дужина тока у km, S – пад

Време концентрације T_c може се одредити ако је позната брзина путовања дуж главног водотока по формули:

$$T_c = \frac{L_s}{V_Q} \tag{153}$$

где је: L_s– дужина слива у km, V_Q– брзина путовања по главном току у m/s.

Према совјетском хидрологу *Херхеулидзеу,* брзина путовања воде V_Q је функција средње уравнатог пада I_{ur} и повратног периода τ:

$$V_Q = (1{,}60 + 1{,}10 \cdot log\,\tau) \cdot \sqrt[4]{I_{ur}} \tag{154}$$

Уколико се претпостави да се ради о стогодишњем поплавном таласу, тада је: τ = *100 година*, а $\log \tau = 2$, па једначина (154) постаје:

$$V_Q = 3{,}8 \cdot \sqrt[4]{I_{ur}} \tag{155}$$

За брзину пропагације у (m/s) и дужину L_s у km, да би се T_c добило у часовима, једначина (153) постаје:

$$T_c = \frac{L_s}{3{,}6 \cdot V_Q} \tag{156}$$

Уврштавањем једначине (156) у једначину (156) добија се:

$$T_c = \frac{L_s}{13{,}7 \cdot \sqrt[4]{I_{ur}}} \tag{157}$$

Неки совјетски аутори користе следеће оријентационе вредности за оцену брзине путовања у речном кориту (Табела 2.2)

Табела 2.2 Оријентационе вредности за брзину путовања у речном кориту

Карактер реке и рељеф	брзина путовања V_Q (m/s)	
	мале реке (дубине < 1 m)	остале реке
Токови у мочварама	0.3–0.5	0.4–0.8
Равничарски	0.8–1.2	1.0–1.5
Брдски	1.5–2.5	2.0–2.5
Планински	2.5–3.5	2.0–4.0

2.2.3.5.4 Време подизања хидрограма - T_p

Познати совјетски хидролог *Д. Л. Соколовски* предложио је следећу формулу за прорачун времена подизања хидрограма T_c, ако је познато време концентрације T_c, тј:

$$T_p = k \cdot T_c \tag{158}$$

где је: k – параметар који зависи од интензитета кише. Према *Соколовском*, k = 1 за кратке пљускове и k = 1.3 до 1.6 за дуге кише.

Херхеулидзе предлаже следећи израз:

$$k = 0.70 \cdot \left(T_c + 2.0\right)^{1/8} \tag{159}$$

2.2.3.5.5 Време ретардације хидрограма – T_r

Д. Л. Соколовски је предложио следећу формулу за прорачун времена ретардације хидрограма T_r у функцији времена пораста T_r и времена концентрације T_c

$$T_r = T_p \cdot \left(T_c + 1\right)^{1/6} \tag{160}$$

2.2.3.5.6 Укупна база хидрограма директног отицаја T_b

Полазећи од претпоставке да је укупна база хидрограма отицаја T_b једнака збиру времена пораста хидрограма T_p и времена ретардације хидрограма T_r, следи да је:

$$T_b = T_p \cdot \left[1 + \left(T_c + 1\right)^{1/6}\right] \tag{161}$$

Приказани модели регионализације параметара хидрограма великих вода су погодни за примену јер се углавном базирају на само неколико геометријских карактеристика слива. У том случају довољно је располагати топографском картом слива. Међутим, због уведених симплификација ови модели могу бити веома непоуздани. Да би се то превазишло, неопходно је да карактеристике хидролошки неизучених сливова буду сличне карактеристикама слива за који су наведене зависности изведене. Ако су особине оригиналних сливова непознате, што је веома чест случај, а успостављена зависност се користи некритички, може доћи до тога да се за одређени параметар, по различитим формулама, добију различите вредности. У том случају најгори и недопустив поступак био би да се као меродавна усвоји аритметичка средина вредности добијених по различитим фромулама.

Зато је неопходно да се хидролошки неизучени слив обиђе и изврши његово детаљно реконструисање. Обилазак терена не може да замени ниједну детаљну топографску карту. Са топографском картом у руци треба регистровати све релевантне информације на сливу (хидролошке, хидрогеолошке и др.), утврдити каква је вегетација, земљиште, речни токови. Забележити све појаве у сливу, а пре свега трагове великих вода. Питати мештане, времешне и мудре људе, шта су им преци пренели, а што може бити релевантно за сагледавање режима великих вода.

2.2.3.6 Шематизација хидрограма великих вода

За дефинисање хидрограма великих вода на хидролошки неизученим сливовима могу се применити различити аналитички изрази. Параметри ових израза су функције основних карактеристика хидрограма (максимални протицај, време пораста, запремина таласа и сл.). Тако, на пример, шематизација хидрограма може се вршити применом закона расподеле Gudriča, Pearsona, двеју парабола, шематизација у виду троугла и сличних зависности.

2.2.3.6.1 Шематизација хидрограма великих вода у виду троугла

Најпростији вид геометријске шематизације хидрограма великих вода представља метода по троуглу, коју је предложио совјетски хидролог *Кочерин*. Једначина за шематизацију је следећа:

за фазу пораста:

$$Q_t = Q_{max} \cdot \frac{t}{T_p} \tag{162}$$

за фазу опадања:

$$Q_t = Q_{max} \cdot \frac{T_r - t}{T_r} \tag{163}$$

где је: Q_t– текућа ордината хидрограма, Q_{max}– максимална ордината хидрограма, T_p– време пораста хидрограма, T_r– време ретардације (опадања) хидрограма, τ– текуће време.

Параметри хидрограма Q_{max}, T_p и T_r одређују се по некој од наведених емпиријских формула (поглавље *2.2.3.5*).

2.2.3.6.2 Шематизација хидрограма великих вода по параболичким кривама

Д. Л. Соколовски предложио је шематизацију простих хидрограма површинских вода која користи параболичне криве у виду:

$$Q_t = Q_{max} \cdot \left(\frac{t}{T_p} \right)^m \tag{164}$$

$$Q_t = Q_{max} \cdot \left(\frac{T_r - t}{T_r} \right)^n \tag{165}$$

за фазу пораста и опадања, респективно.

Значење промењљивих остаје исто, као и у претходном случају. Параметри m и n су показатељи којег је степена крива пораста, односно опадања. Препорука аутора је да се за просте (једномоделне) хидрограме, који су проузроковани кишом и отапањем снега, узима вредност m = n = 2. За кишни талас параметри су m = 2 и n = 3.

2.2.3.6.3 Шематизација хидрограма великих вода помоћу Гудричевог закона расподеле

Хидрограм великих вода може се изразити једначином:

$$Q_i = Q_{max,p} \cdot 10^{-a\frac{\left(1-\frac{t_i}{T_p}\right)^2}{\frac{t_i}{T_p}}} \tag{166}$$

где су: Q_{max} – максимални протицај вероватноће p %; T_p - време пораста таласа; Q_i, τ – текуће координате хидрограма, а – параметар, који зависи од коефицијената облика хидрограма λ^*

$$\lambda^* = \frac{Q_{max,p} \cdot T_p}{W_{max,p}} \tag{167}$$

где је: W_{max} – запремина хидрограма.

С друге стране, сваком коефицијенту облика хидрограма λ^* одговара одређена величина коефицијента несиметричности K_s:

$$K_s = \frac{W'}{W_{max,p}} = \frac{h'}{h_{max,p}} = f(\lambda^*) \tag{168}$$

где је: W', h', – запремина, односно слој отицаја за период пораста хидрограма, h_{max} , -укупан слој отицаја.

У прегледној табели 4 даје се неколико вредности параметара а, K_s , и λ^*.

Ако је позната величина K_s , тада се из табеле (Табела 2.3)може одредити λ^*, а затим треба одредити рачунско време пораста таласа као:

$$T_p = \frac{0.278 \cdot \lambda^* \cdot h_{max,p}}{q_{max,p}} \tag{169}$$

где је: q_{max}. – максимални модул отицаја ($m^3/s/km^2$), h_{max} –слој отицаја (mm).

Коефицијент K_s може се одредити на основу података са аналогних река, или ако се користи троугаони облик хидрограма. Тада је:

$$K_s = \frac{1}{1+K} \tag{170}$$

Слој отицаја одређује се по изразу:

$$h_{max,p} = \alpha \cdot P_{max,dn,p} \cdot \psi(\tau) \tag{171}$$

а запремина отицаја:

$$W_{max,p} = 1000 \cdot h_{max,p} \cdot F \tag{172}$$

где су:$\psi(\tau)$ – ордината редукционе криве киша, τ –време концентрације (мин).

Табела 2.3 Вредности параметра $\alpha = f_1(K_s) = f_2(\lambda^*)$

K_c	λ^*	a
0.193	0.3	0.210
0.231	0.4	0.325
0.262	0.5	0.460
0.289	0.6	0.615
0.310	0.7	0.800
0.328	0.8	1.010
0.343	0.9	1.245
0.355	1.0	1.515
0.367	1.1	1.800
0.377	1.2	2.100
0.385	1.3	2.46
0.392	1.4	2.82
0.399	1.5	3.22
0.405	1.6	3.65
0.410	1.7	4.10
0.414	1.8	4.60
0.423	2.0	5.53
0.430	2.2	6.75
0.435	2.4	8.00
0.439	2.6	9.41

Табела 2.4 Бројеви кривих CN за хидролошко-земљишно-биљни комплекс (услов II– просечни услови влажности)

Покривач			Хидролошка група земљишта			
Начин коришћења земљишта	Начин обраде	Хидролошки услови	А	Б	Ц	Д
Угар	Низ падину		77	86	91	94
Окопавине	Низ падину	слаби	72	81	88	91
Окопавине	Низ падину	добри	67	78	85	89
Окопавине	Контурно	слаби	70	79	84	88
Окопавине	Контурно	добри	65	75	82	86
Окопавине	и Терасир	слаби	66	74	80	82
Окопавине	и Терасир	добри	62	71	78	81
Житарице	Низ падину	слаби	65	76	84	88
Житарице	Низ падину	добри	63	75	83	87
Житарице	Контурно	слаби	63	74	82	85
Житарице	Контурно	добри	61	73	81	84
Житарице	и Терасир	слаби	61	72	79	82
Житарице	и Терасир	добри	59	70	78	81
Махунасте у густој средини или ливаде у ротацији	Низ падину и терасир. контурно и терасир.	слаби	66	77	85	89
		добри	58	72	81	85
		слаби	64	75	83	85
		добри	55	69	78	83
		слаби	63	73	80	83
		добри	51	67	76	80
Пашњаци		слаби	68	79	86	89
Пашњаци		средњи	49	69	79	84
Пашњаци		добри	39	61	74	80
Пашњаци	Контурно	слаби	47	67	81	88
Пашњаци	Контурно	средњи	25	59	75	83
Пашњаци	Контурно	добри	6	35	70	79
Ливаде		добри	30	58	71	78
Шуме		слаби	45	66	77	83
Шуме		средњи	36	60	73	79
Шуме		добри	25	55	70	77
Сеоска насеља			72	82	87	89
Путеви земљани			59	74	82	86
Путеви тврди			74	84	90	92

2.2.3.7 Одређивање рачунских хидрограма са укључивањем утицаја коинциденције поплавних таласа

Основни циљ ове ананлизе је дефинисање процедура за сагледавање генезе формирања поплавних таласа на делу речног слива који се састоји од главног тока и притоке. У конкретном случају се разматра део речног слива који се одликује великом просторном хетерогеношћу у формирању поплавних таласа. Наиме, у тим условима поплавни талас на излазном профилу је резултанта различитих комбинација поплавних таласа који се појављују на узводном делу слива, затим на притоци, као и хидрограма "бочног дотицаја" који се формира на делу међуслива, између илазних профила (на главној реци и притоци) и излазног профила. То практично значи, да "резултујући" поплавни талас на излазном профили, који има одређену вероватноћу појаве, односно повратни период, може бити проузрокован различитим комбинација поплавних таласа на улазним профилима главне реке и притоке, односно хидрограма "бочног дотицаја", који сви понаособ могу имати сасвим различите вероватноће појаве. Поента анализе је у пробабилистичком дефинисању вишеструке зависности вероватноће појаве поплавног таласа на излазном профилу разматраног дела слива у функција вероватноћа појаве поплавних таласа на улазним профилима (главној реци и притоци), као и вероватноће појаве "хидрограма бочног дотицаја" са непосредног слива.

Кључна претпоставка је да су теоријски хидрограми великих вода одређених вероватноћа појаве на улазним и излазном профилу речне деонице познати, а да је непознат теоријски "хидрограм бочног дотицаја" за различите вероватноће појаве.

Логична је претпоставка да се истовременим пропагирањем улазних хидрограма и хидрограма "бочног дотока", истих вероватноћа појаве, на излазном профилу речне деонице добија теоријски хидрограм који има знатно мању вероватноћу појаве. Узрок томе је постојећа просторна хетерогеност у формирању речног отицаја, односно слабо изражена коинциденција поплавних таласа на главној реци, притоци и дотока са међуслива. У таквим условима један од основних задатака је дефинисање математичке процедуре за изналажење теоријских хидрограма "бочног дотицаја" за различите вероватноће појаве. У том смислу потребно је разрадити математички модел који се приказује у наставку овога текста. Друга кључна компонента ове анализе је разрада процедуре дефинисања вишеструких зависности вероватноћа појаве поплавних таласа на излазном профилу у функцији вероватноћа појаве поплавних таласа на улазном профилу главне реке, затим вероватноће поплавних таласа на притоци и на непосредном сливу (бочни доток). Генерално, за оцену статистичке значајности поплаве могу се користити неки од параметара хидрограма великих вода. У конкретном случају када се анализира генеза настанка поплавног таласа на делу речног слива најцелисходнији је користи запремине поплавног таласа.

2.2.3.7.1 Теоријска поставке модела за дефинисање теоријских хидрограма бочног дотицаја

Основни концепт модела полази од претпоставке да на делу речног слива, где се анализира генеза формирања поплавног таласа, постоје дефинисани хидрограми на улазним профилима главне реке и притока, као и на излазном профилу главне реке. "Бочни доток" који се формира на делу слива између улазних и излазног профила је непознат и добија се као резултата примене математичког модела. Према томе, база за прорачун "хидролграма бочног дотицаја" су дефинисани хидрограми на свим улазно/излазним профилима – Qd(t), где је d редни бој профила, а t време.

2.2.3.7.2 Процедура дефинисања вишедимензионалне пробабилистичке зависности генезе поплавног таласа на делу речног слива

У конкретном случају за дефинисање генезе формирања поплавног таласа на делу речног слива одабрана је речна деоница која се састоји из главне реке и једне притоке, при чему је међуслив између улазно-излазних значајан у формирању поплавних таласа на излазном профилу значајан. Основа за дефинисање вишедимензионалне пробабилистичке зависности вероватноће појаве поплавног таласа на излазном профилу у функцији вероватноћа појаве поплавног таласа на улазним профилима главне реке и притоке, као и вероватноће појаве хидрограма "бочног дотицаја" са међуслива, су функције расподеле вероватноћа запремина поплавних таласа на свим наведеним профилима, дефинисане у виду:

$$P(W \geq w) = p) \tag{173}$$

где су: $P(W \geq w)$ - вероватноћа превазилажења задате запремине w на свим разматраним улазно/излазним профилима и са међуслива, p - вероватноћа појаве.

Сама процедура формирања зависности састоји се у примени поступка постепеног билансирања "улазних" запремина поплавног таласа које одговарају различитим вероватноћама појаве. Примена простог билансирања не може бити примењена због просторне хетерогености у формирању поплавног таласа.

Сама процедура формирања вишеструких зависности, састоји се у "постепеном" билансирању следеће билансне једначине:

$$W_{iz,p} = \theta = W_{bd}, p = T + W_{ul,q} + W_{pr,z} \tag{174}$$

где су: $W_{iz,p} = \theta$ – запремина поплавног таласа на излазном профилу речне деонице за фиксирану вероватноћу појаве $p = \theta$, $W_{bd}, p = T$ – запремина поплавног таласа "бочног дотицаја" са непосредног слива за одабрани повратни периода T, $W_{ul,q}$ – запремина поплавног таласа на улазном профилу главне реке за произвољну вероватноћу појаве q, $W_{pr,z}$– запремина поплавног таласа на улазном профилу притоке за произвољну вероватноћу појаве z.

За фиксирану вредност вероватноће излазног хидрограма θ и одабрану вредност повратног периода "бочног дотицаја" T, произвољним одабиром једне од вероватноћа q или z, на пример q, преко зависности (x) добијају се одговарајуће теоријске вредности запремина поплавних таласа ($W_{iz,p} = \theta$, $W_{bd}, p = T$ и $W_{ul,q}$). Непозната запремина поплавног таласа на притоци $W_{pr,z}$ добија се преко билансне једначине (173), док се одговарајућа (кореспондентна) вредност вероватноће z добије, такође, помоћу једначине (174). На тај начин дефинисане су све констелације "кореспондентних" вероватноћа: $(W_{iz,p} = \theta)$, $p(W_{bd}, p = T)$, $p(W_{ul,q})$ и $p(W_{pr}, z)$, што омогућује формирање вишедимензионалне зависности вероватноћа појаве поплавних таласа на главној реци, притоци и са непосредног слива ("хидрограма бочног дотока") у виду:

$$p(W_{iz,p} = \theta) = f(\left(p(W_{bd}, p = T), p(W_{ul,q}), p(W_{pr}, z)\right) \quad (175)$$

где су: $p(W_{iz,p} = \theta)$- вероватноћа појаве хидрограма на излазном профилу речне деонице, $p(W_{bd}, p = T)$ – вероватноћа појаве хидрограма "бочног дотицаја" са непосредног слива, $p(W_{ul,q})$ - вероватноћа појаве хидрограма на улазном профилу главног тока, $p(W_{pr}, z)$ - вероватноћа појаве хидрограма на улазном профилу притоке.

Овакве зависности се формирају за произвољан број одабраних фиксираних вероватноћа θ излазног хидрограма на разматраној речној деоници.

2.3 Приказ и анализа расположивих ГИС подлога

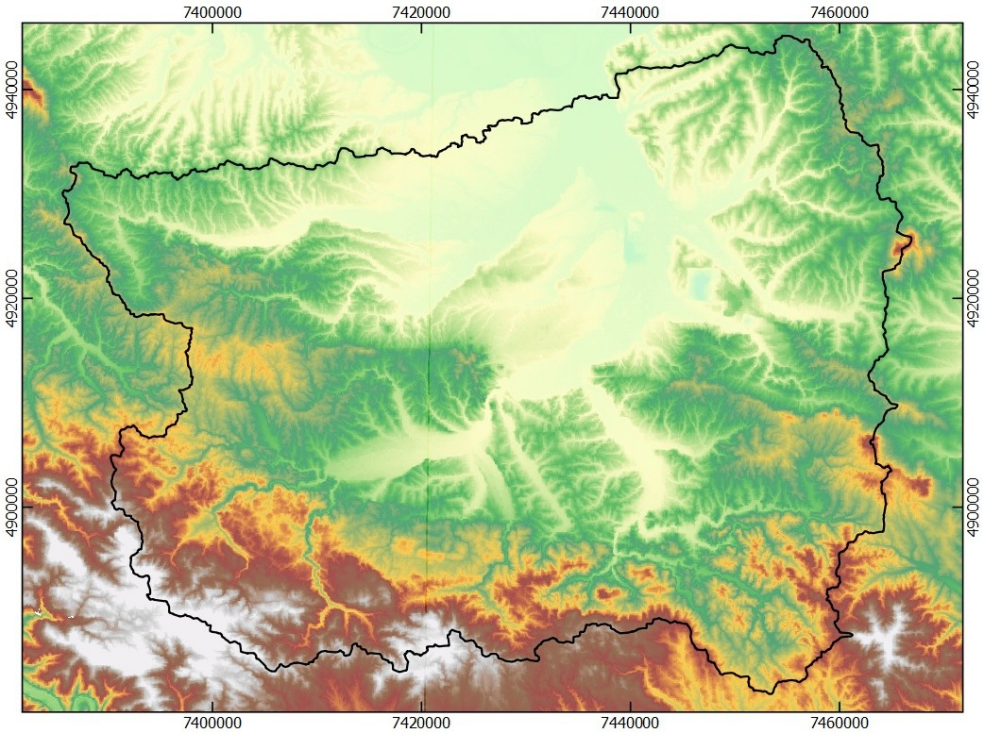
2.3.1 Дигитални модел терена

Дигитални модел терена добијен од инвеститора састоји се из два дела:

- дигитализованих изохипси у растерском облику,
- TIN (Triangular Irregular Network) мрежа троуглова дигиталног модела терена.

Дигитализоване изохипсе представљене у растерском облику резолуције 5 m нису разматране у овој студији, јер би формирање употребљивог дигиталног модела терена од датог растера, интерполовањем вредности надморских висина у свим ћелијама које не леже на изохипсама, предуго трајало. Дати TIN, с друге стране, покрива континуално комплетан простор сливног подручја реке Колубаре. Међутим, при креирању овог дигиталног модела терена од дигитализованих изохипси, није вођено рачуна о положајима структурних линија рељефа (гребени, усеци, долине) као ни о тачкастим подацима (врхови брда и планина), што као резултат даје готово неупотребљив дигитални модел терена са хидролошког и хидрауличког аспекта.

Уместо тога, располаже се јавно доступним глобалним дигиталним моделом терена SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), који је снимљен посебним радарским системом из спејс шатла током НАСА-ине једанаестодневне мисије фебруара 2000. године. Резолуција овог дигиталног модела терена је 3 лучних секунди у географској пројекцији, што након пројектовања у Transverse Mercator пројекцију на територији Србије износи оквирно 90x60 метара по ћелији растера. У наставку је дат приказ SRTM дигиталног модела терена на територији слива реке Колубаре (Слика 2.19).



Слика 2.19 SRTM Дигитални Модел Терена на подручју слива реке Колубаре

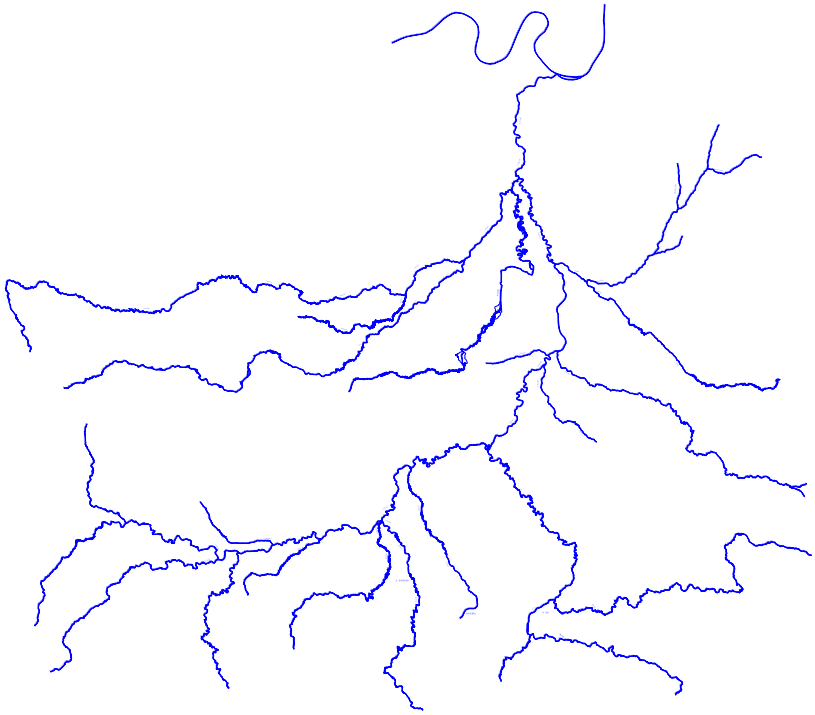
Обзиром да у изворном облику SRTM дигитални модел терена није погодан за хидролошке анализе, неопходно је извршити тзв. предпроцесирање дигиталног модела терена да би се обезбедила хидролошка коректност, тј. да се формирају несметани падови терена на целом сливном подручју помоћу којих ће се одређивати речна мрежа и правци кретања токова. Предпроцесирање се састоји од комбинације попуњавања депресија са једне стране и продубљивања корита са друге.

Може се констатовати да је за потребе хидролошког модела, тачност разматраног ДМТ-а (Слика 2.19), довољна да се, уз примену одговарајућих алгоритама, са довољном тачношћу обави подела слива на подсливове, и одреде геометријске карактеристике подсливова (дужина, нагиб и др.) које ће се користити у калибрацији хидролошког модела.

2.3.2 Хидрографска мрежа

Хидрографска мрежа Колубаре и њених већих притока (Слика 2.20) преузета је од инвеститора, тачније она је део водопривредног информационог система Републике Србије (ВИС). Хидрографска мрежа је ажурирана сходно условима на терену, који су се мењали измештањем токова реке (Колубара, Пештан, Тамнава). Постојање хидрографске мреже је неопходно ради преправке дигиталног модела терена и поделе слива Колубаре на мање подсливове. Као додатак, на преузету хидрографску мрежу, вршено је додатно исцртавање малих притока са топографских карата 1:25000. Оваква хидрографска мрежа слива реке Колубаре ће бити коришћена за додатну обраду SRTM дигиталног модела терена (поглавље 2.3.1) услед недостатка адекватнијег дигиталног модела терена. Како је SRTM дигитални модел терена сниман методама даљинске детекције из земљине орбите у резолуцији од 3 лучне секунде, положај речних токова се често не може прецизно утврдити само на основу дигиталног модела терена, а то се најчешће може видети у широким речним долинама као што је доњи део слива реке Колубаре. У таквим случајевима се користи постојећа речна мрежа у векторском или растерском облику која се "урезује" (ен. burn-in) у постојећи дигитални модел терена, на тај начин што се вредности надморске висине у ћелијама растера које се поклапају са речном мрежом, смање за одређену вредност. Та вредност се усваја на тај начин да не утиче значајно на остале одлике рељефа терена, а да са друге стране буде довољно

велика да се јасно могу одредити положаји хидрографске мреже из дигиталног модела терена.



Слика 2.20 Хидрографска мрежа реке Колубаре са већим притокама (извор: Водопривредни информациони систем (ВИС) Републике Србије)

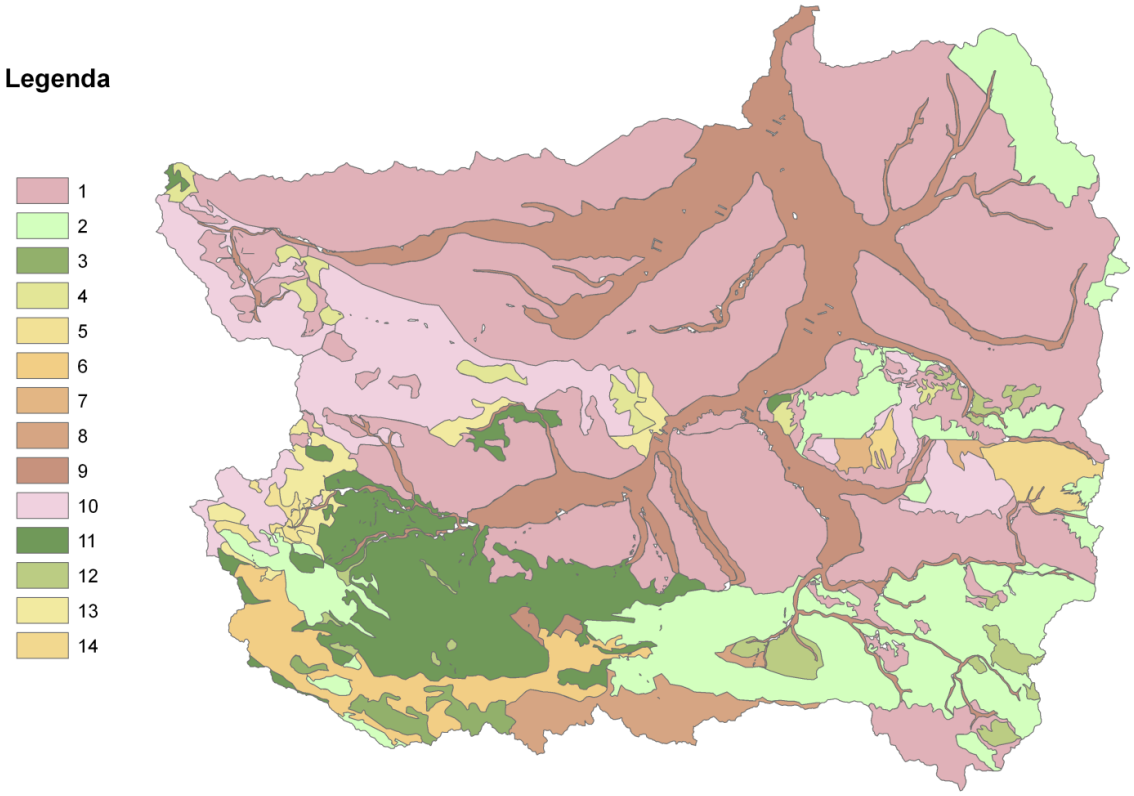
Треба напоменути да хидрографска мрежа, добијена на овај начин, може бити коришћена само за потребе хидролошког модела. За потребе хидрауличког прорачуна и одређивање плавних зона, потребна су знатно детаљнија геодетска снимања.

2.3.3 Геолошка карта

Циљ коришћења геолошких података у хидролошком моделу је да се дефинише опсег и почетне вредности параметара који се калибришу у хидролошком моделу (прецизније одреде опсези параметара који се односе на трансформацију базног отицаја) као и да се идентификују карстна подручја на којима се границе слива за површински и подземни отицај не поклапају, већ се трансформација отицаја обавља кроз привилеговане путеве са којима су спојени подземни резервоари. Ово се постиже коришћењем географских информационих система (ГИС) за дефинисање покривености различитих картираних геолошких структура на различитим подсливовима, односно HRU јединицама.

На располагању је Основна геолошка карта републике Србије размере 1:100 000 (Завод за геолошка и геофизичка истраживања, Београд). Подручје слива реке Колубаре је обухваћено следећим листовима: Београд, Владимирци, Обреновац, Смедерево, Ваљево, Горњи Милановац и Крагујевац. Карте које је обезбедио инвеститор су у формату скенираних папирних карата, пратећих легенди картираних јединица, геолошких стубова и профила. Са аспекта хидролошког моделирања, овакав облик геолошких карата неопходно је обезбедити у дигиталној форми, тј. векторском односно растерском формату. За то је потребно дигитализовати скениране карте, што подразумева векторизовање свих картираних јединица и задавање одговарајућих вредности из легенде у пратећу базу података.

За потребе калибрације хидролошког модела на располагању је геолошка карта која је приказана на наредној слици (Слика 2.21 - геолошка карта размере 1: 100,000).



Слика 2.21 Геолошка класе земљишта у сливу реке Колубаре на основу геолошке карте Републике Србија размере R=1: 100,000

У наставку су приказане геолошке класе земљишта које су заступљене у сливу реке Колубаре (Табела 2.5). Поред тога, укључено је њихово процентуално учешће у разматраном сливу.

Табела 2.5 Процентуално учешће различитих геолошких класа земљишта у сливу реке Колубаре

Класа:	Назив класе:	Учешће (%)
1	Пескови, песковите глине, песковити кречњацим, конгломрати	43.2
2	Лапорци, лапоровити кречњаци, лискуновити пешчари, глиновити пешчари, глинци	13.7
3	Дијабази	0.8
4	Фузулински кречњаци, криноидски и фораминиферски кречњаци, кречњаци и глинени шкриљци	1.0
5	Фузулински кречњаци, глинени шкриљци, конгломерати и пешчари	0.3
6	Дијабаз-рожњачка формација (глинци, пешчари, конгломерати и брече), кречњачки дијабаз	3.2
7	Мусковит-биотитски шкриљци	0.3
8	Харцбургити, лерзолити и серпентинити	1.9
9	Терасни седименти-пескови и шљункови, пролувијум, делувијум и алувијум	14.7
10	Пешчари и глинени шкриљци, кречњаци и ситнозрни гнајсеви	8.7
11	Масивни кречњаци, слојевити кречњаци, доломитични кречњаци, глинци и глинени шкриљци	8.2
12	Кварцлатити са крупним кристалима фелдспата	1.3
13	Кречњаци са глинцима, глинени шкриљци и пешчари	1.5
14	Ситнозрни аплитоидни гранитмонцонити	1.2

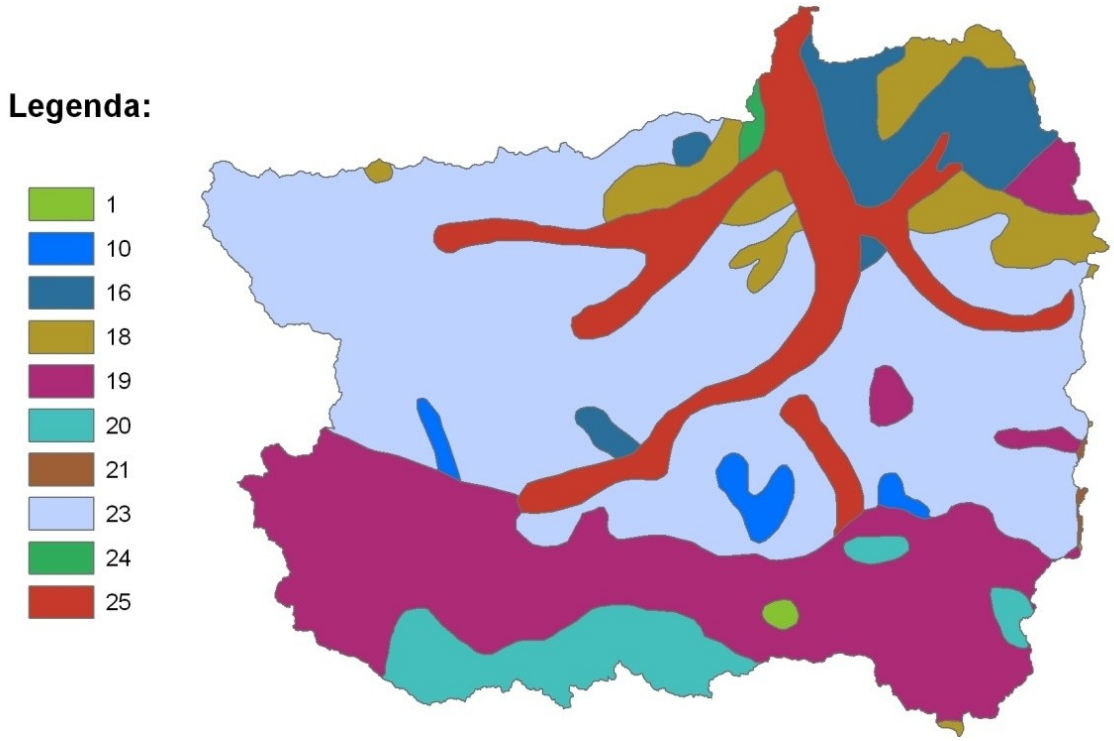
На основу претходних резултата закључује се да највеће учешће међу геоморфолошким класама земљишта имају пескови, песковите глине, песковити кречњацим и конгломрати (43%). Од осталих мање заступљених класа значајно учешће имају терасни седименти-пескови и шљункови, пролувијум, делувијум и алувијум (15%) као и лапорци, лапоровити кречњаци, лискуновити пешчари, глиновити пешчари и глинци (14%).

2.3.4 Педолошка карта

Педолошка карта слива реке Колубаре, треба да послужи за дефинисање опсега за процену параметара хидролошког модела који се односе на коефицијент филтрације и акумулациону способност земљишта.

Приликом анализе педолошке структуре слива реке Колубаре на располагању је основна педолошка карта Републике Србија размере 1: 500 000. Потребно је нагласити да педолошка подлога за разматрано сливно подручје није прибављена од инвеститора, већ се користи карта из архиве института за водопривреду „Јарослав Черни".

У педолошкој структури за слив реке Колубаре разматране су три основне категорије тла на карти размере R= 1:500 000. Основне категорије су следеће: аутоморфна земљишта, хидроморфна земљишта и халоморфна земљишта. Укупан број педолошких класа земљишта на простору Републике Србије, у оквиру наведених основних категорија земљишта, износи 35. Приказ педолошких класа земљишта у сливу реке Колубаре приказан је у наставку (Слика 2.22). Овом приликом, различитим бојама означене су различите педолошке структуре тла.



Слика 2.22 Педолошке класе земљишта у сливу реке Колубаре на основу педолошке карте Републике Србије размере 1: 500 000

На основу педолошке карте слива реке Колубаре одређена су учешћа појединих педолошких класа земљишта. У наредној табели дат је приказ разматраних педолошких класа на сливу реке Колубаре (Табела 2.6).

Табела 2.6 Процентуално учешће различитих педолошких класа земљишта у сливу реке Колубаре

Класа:	Назив класе:	Учешће (%)
1	Камењар-литосол	0.2
10	Смоница, одгајњацена, лесивирана земљишта	1.4
16	Гајњача	5.6
18	Лесивирана гајњача	5.8
19	Дистрични камбисол	24.6
20	Смеђе земљиште на кречњаку	5.6
21	Црвеница	0.1
23	Псеудоглеј	45.2
24	Мочварно глејно земљиште	0.3
25	Алувијално земљиште	11.3

На основу резултата може се закључити да највеће учешће у педолошком слоју на сливу реке Колубаре има псеудоглеј (45%), а значајно мању површину слива покрива дистрични камбисол (25%). Укупна заступљеност наведених класа износи око 70% од површине слива. Остале педолошке класе, као што је алувијално земљиште (11%), лесивирана гајњача (5.8%) и гајњача (5.6%) имају мању заступљеност на разматраном сливу.

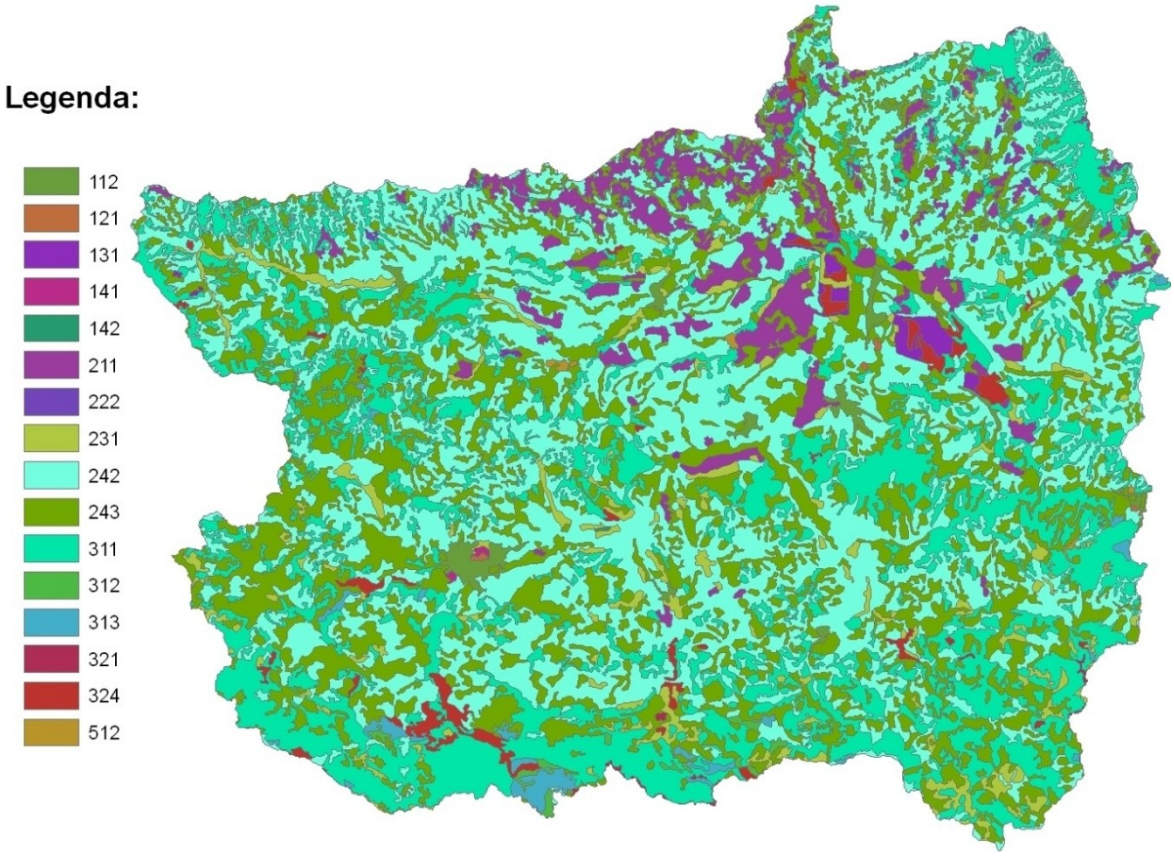
2.3.5 Карта коришћења земљишта

Карта коришћење земљишта у сливу Колубаре, за потребе калибрације хидролошког модела, треба да послужи пре свега за дефинисање опсега за процену параметара модела који се односе на прорачун вертикалног водног биланса и времена концентрације на подсливовима. Као подлога на располагању је Corine Land Cover сет података.

У намери да простор Европског континента буде обухваћен истоветном картом вегетације (или намене површине земљишта), Европска Комисија је имплементирала CORINE Land Cover пројекта1. Овај пројекат подразумева сталну допуну базе података, после извесног броја година, како би се утврдиле промене у намени површина земљишта. У разматраној студији на сливу реке Колубаре може се користити CLC 2006 – валидована базе Land Cover података за 2006. годину. Размера картирања је R= 1:100 000 са тачношћу картирања не мањом од 10m. CORINE Land Cover номенклатура је хијерархијска са 44 класе на трећем, 15 класа на другом и 5 класа на првом нивоу.

Вегетациони прекривач у сливу Колубаре приказан је у наставку (Слика 2.23), при чему свака боја симболизује различиту класу вегетације.

[1] http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover



Слика 2.23 Вегетациони покривач са различитим класама у сливу реке Колубаре из базе Land Cover CLC 2006

На основу претходне слике утврђена је заступљеност класа вегетације у сливу реке Колубаре, заједно са њиховим процентуалним учешћем (Табела 2.7).

Табела 2.7 Процентуално учешће различитих класа вегетације у сливу реке Колубаре

Класа:	Назив класе:	Учешће (%)
112	Нецеловита урбана подручја	1.3
121	Индустријске или комерцијалне јединице	0.1
131	Места експлоатације минералних сировина	0.6
141	Урбане зелене површине	0.0
142	Спортски и рекреативни објекти	0.0
211	Ненаводњавано обрадиво земљиште	5.3
222	Воћњаци и плантаже зрнастог воћа	0.1
231	Пашњаци	3.1
242	Комплекс култивисаних парцела	37.4
243	Претежно пољопривредна земљиште са већим подручјима природне вегетације	25.9
311	Листопадне шуме	23.7
312	Четинарске шуме	0.2
313	Мешовите шуме	0.7
321	Природна трава	0.1
324	Прелазно подручје шуме, жбуње и макија	1.4
512	Водене површине	0.1

На основу резултата из претходне табеле закључује се да је у сливу реке Колубаре заступљено укупно 16 класа. Учешће датих класа је променљиво. Видљиво је да највећи проценат заступљености имају комплекси култивираних парцела (37%), затим претежно обрадива земљишта с већим подручјима природне вегетације (26%) и листопадне шуме (24%). Наведене класе вегетације прекривају укупно 87% површине слива, а заступљеност осталих класа на разматраном подручју је значајно мања. Међу њима, истиче се ненаводњавано обрадиво земљиште (5%) и пашњаци (3%).

2.4 Приказ и анализа расположивих хидрометеоролошких серија

Хидрометеоролошке серије у ширем подручју слива реке Колубаре преузете су од Хидрометеоролошког завода Србије. Један део података, који се односи на временске серије са часовном дискретизацијом, налази се у фази обраде и биће достављен током периода израде студије.

Хидролошки подаци региструју се на укупно 14 активних станица у сливу реке Колубаре, на главном току Колубаре као и на њеним значајним притокама као што су Јасеница, Обница, Градац, Рибница, Љиг, Пештан, Тамнава и Уб (Табела 2.8). Очитавање нивоа воде на разматраним станицама врши се преко летве и лимниграфа, док се на профилима појединих станица врши дигитално очитавање нивоа.

Табела 2.8 Хидролошке станице у сливу реке Колубаре са приказом технике регистровања протицаја

Р.бр.:	Станица:	Река:	Летва:	Лимниграф:	Дигитално:
1	Ваљево	Колубара	1951	1980	-
2	Словац	Колубара	1953	1958	2003
3	Бели Брод	Колубара	1951	1976	2007
4	Дражевац	Колубара	1950	1991	-
5	Обреновац	Колубара	1946	-	-
6	Седлари	Јасеница	1954	1975	-
7	Бело Поље	Обница	1954	1976	-
8	Дегурић	Градац	1954	1980	-
9	Мионица	Рибница	2003	2003	-
10	Боговађа	Љиг	1951	1977	2003
11	Зеоке	Пештан	1955	-	-
12	Коцељева	Тамнава	1955	1978	-
13	Ћеманов Мост	Тамнава	1971	1971	-
14	Уб	Уб	1959	1977	-

Мониторинг метеоролошких параметара у сливу реке Колубаре спроводи се коришћењем станица као што су (1) главне метеоролошке станице, (2) климатолошке станице, и падавинске станице (3). У ширем подручју слива реке Колубаре доступни су подаци са следећих мерних места:

- Главне метеоролошке станице (Београд, Ваљево, Лозница, Сремска Митровица, Смедеревска Паланка, Крагујевац);
- Климатолошке станице (Љубовија, Владимирци, Буковичка Бања, Рудник-планина),
- Падавинске станице (Богатић, Брежђе, Доње Црниљево, Доње Лесковице, Јагодићи, Каона, Коцељева, Коштунићи, Липље, Љиг, Лукавац, Мајиновићи, Мионица, Мратишић, Осеченица, Памбуковица, Парцани, Пођута, РЦ Ваљево, Рогачица, Рудовци, Шарбане, Сибница, Сопот, Штавица, Степојевац, Струганик, Стублине, Уб, Велика Иванча, Ваљевска Каменица).

Приликом анализе доступности података треба имати у виду да часовне вредности падавина нису доступне за зимски период због зимског уклањања плувиографа са мерних места.

Поред наведених података у сливу су у скорије време постављене дигиталне станице са доступним часовним подацима:

- Мајиновци и
- Штавица.

На местима наведених дигиталних станица налазе се кишомери којима је у прошлости регистрована висина воденог талога. Сада ови кишомери служе како би се паралелно пратио режим падавина на овим подручјима.

2.4.1 Приказ расположивих хидролошких серија

На главном току реке Колуубаре и њеним протикома врши се осматрање хидролошког режима од средине 20. века. Мерење нивоа воде на профилима хидролошких станица врши се очитавањем са летве, тако да су током овог периода доступни регистровани средњи дневни протицаји. Континуално праћење хидролошког режима реке Колубаре, помоћу лимниграфа, почиње између 1970. и 1980. године на највећем броју станица у сливу. Почевши од овог периода, у сливу су доступне часовне вредности протицаја. У скорије време на станицама на Колубари, као што су Бели Брод и Словац, и на станици Боговађа на реци Љиг постављени су уређаји за дигитално мерење водостаја са преносом података. На овај начин омогућено је праћење водостаја у реалном времену.

Приказа дневних и часовних хидролошких серија (протицаји и водостаји) на реци Колубари и њеним притокама приказан је у наставку (Табела 2.9, Табела 2.10, Табела 2.11). Потребно је нагласити да су дневни подаци о протицајима преузети од Републичког Хидрометеоролошког завода Србије (РХМЗ) у дигиталном формату и налазе се у бази Института „Јарослав Черни". Часовни подаци о протицајима и водостајима, као и дневни подаци водостаја, обрађују се у РХМЗ-у док је један део података (часовни протицаји од 2003. до 2014. године) смештен у базу података Института „Јарослав Черни".

Табела 2.9 Преглед дневних серија протицаја и водостаја на хидролошким станицама у сливу реке Колубаре

| Река: | Станица: | 1951 | 1952 | 1953 | 1954 | 1955 | 1956 | 1957 | 1958 | 1959 | 1960 | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 | 1965 | 1966 | 1967 | 1968 | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---|---|---

Табела 2.10 Преглед часовних серија протицаја на станицама у сливу реке Колубаре

Датуми појаве великих вода		Бело Поље	Седларе	Ваљево	Дегурић	Мионица	Словац	Боговађа	Бели Брод	Зеоке	Коцељева	Тамнава Мост	Уб	Дражевац
1999	17.04 - 28.08.													
2000	17.12.1999 -													
	25.01 - 12.05.													
2001	13.04 - 03.05.													
	11.06 - 20.07.													
	17.09 - 07.10.													
2002	20.09 - 27.11.													
2003	16.10 - 07.12.	+	+		+		+	+	+	+				
2004	22.04 - 16.05.				+		+	+		+			+	
2005	01.07 - 13.08.	+	+				+			+	+		+	
2006	15.04 - 02.07.			+	+		+	+					+	
	20.08 - 15.09.						+	+					+	+
2007	14.03 - 02.05.	+	+		+		+	+	+				+	
2008	28.02 - 17.04.	+	+		+		+	+	+		+			+
2009	22.02 - 15.05.	+	+		+		+	+	+		+		+	+
2010	18.06 - 27.07.		+		+		+	+	+		+		+	+
2011	08.05 - 29.06.		+	+	+		+	+	+				+	+
2012	07.05 - 11.06.			+			+	+	+		+			+
2013	22.02 -02. 04.		+	+	+		+	+	+		+	+		+
2014	01.04 - 31.05.			+	+		+	+	+		+	+	+	+

Подаци су недоступни

Подаци су доступни, потребно је спровођење дигитализације и нису преузети од РХМЗа

Подаци су доступни у дигиталном облику и нису преузети од РХМЗа

\+ Подаци су преузети од РХМЗа

Табела 2.11 Преглед часовних серија водостаја на станицама у сливу реке Колубаре

Датуми појаве великих вода		Бело Поље				Мионица			Бели Брод			Тамнава Мост		
1999	17.04 - 28.08.													
2000	17.12.1999 -													
	25.01 - 12.05.													
2001	13.04 - 03.05.													
	11.06 - 20.07.													
	17.09 - 07.10.													
2002	20.09 - 27.11.													
2003	16.10 - 07.12.													
2004	22.04 - 16.05.													
2005	01.07 - 13.08.													
2006	15.04 - 02.07.													
	20.08 - 15.09.													
2007	14.03 - 02.05.													
2008	28.02 - 17.04.													
2009	22.02 - 15.05.													
2010	18.06 - 27.07.													
2011	08.05 - 29.06.													
2012	07.05 - 11.06.													
2013	22.02 -02. 04.													
2014	01.04 - 31.05.													

Подаци су недоступни

Подаци су доступни, потребно је спровођење дигитализације и нису преузети од РХМЗа

Подаци су доступни у дигиталном облику и нису преузети од РХМЗа

2.4.2 Приказ расположивих метеоролошких серија

Метеоролошке серије у сливу реке Колубаре региструју се на (1) главним метеоролошким, (2) климатским и (3) падавинским станицама. Од главних метеоролошких станица у сливу реке Колубаре се налази само станица Ваљево. На овој станици се метеоролошки режим континуално прати. За разлику од главних станица, климатске и падавинске станице се користе за праћење дневних стања временских серија, а њихов број у сливу реке Колубаре је значајан и равномерно покривају разматрани слив. Поред наведених станица, у скорије време су у сливу постављене аутоматске станице (Мајиновци и Штавица) на местима истоимених падавинских станица. На овим станицама се падавине и температуре региструју са часовном дискретизацијом. Потребно је нагласити да је обиласком терена утврђено да се на аутоматским станицама Мајиновци и Штавица бележе часовни подаци, међутим обрађивачу студије ти подаци (као ни период у коме се они бележе) још нису достављени од стране Републичког Хидрометеоролошког завода Србије.

Приказ дневних метеоролошких серија у сливу реке Колубаре дат је наставку (Табела 2.12, Табела 2.13 и Табела 2.14). Ови подаци су преузети од Републичког Хидрометеоролошког завода Србије (РХМЗ) и налазе се у бази Института „Јарослав Черни". За разлику од ових података, дневни подаци са падавинских станица (Табела 2.15) се налазе у дигиталном формату али нису преузети од РХМЗ-а. Исто тако, часовни подаци са главних метеоролошких станица (Табела 2.16) нису преузети од РХМЗ-а али је за њих потребно спровести поступак дигитализације већег обима података.

Табела 2.12 Преглед дневних серија падавина на главним метеоролошким станицама

Станица:	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Loznica				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Sremska Mitrovica		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Valjevo		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Beograd		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Табела 2.13 Преглед дневних серија температура (максималних, минималних и средњих) на главним метеоролошким станицама

Станица:	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Loznica				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ljubovija																	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Vladimirci																	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Valjevo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Табела 2.15 Преглед дневних серија падавина на падавинским станицама у сливу реке Колубаре

	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Богатић																																																											
Брежђе	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Доње Црниљево	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Доње Лесковице	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Јагодићи	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Каона	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Коцељева	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Коштунићи	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Липље																																																										X
Љиг	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Лукавац	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Мајиновићи	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Мионица	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Мратишић	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Осеченица																																							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Памбуковица	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Парцани																																							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Пођуга	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																									X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
РЦ Ваљево															X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Рогачица	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Рудовци	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Шарбане	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Сибница	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Сопот	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Штавица	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Степојевац	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Струганик																																										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Стублине	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Уб	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Велика Иванча	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ваљевска Каменица	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Нема података

X Подаци су доступни и нису преузети од РХМЗ-а

*Табела 2.16 Преглед часовних серија падавина и температура на главним метеоролошким станицама и аутоматским станицама**

Датуми појаве великих вода		Београд	Ваљево	Лозница	Сремска Митровица	Смедеревска Паланка	Крагујевац	Мајиновићи*	Штавица*
1999	17.04 - 28.08.	+	+	+	+	+	+	?	?
2000	17.12.1999 -7.01.2000.	+	+	+	+	+	+	?	?
	25.01 - 12.05.	+	+	+	+	+	+	?	?
2001	13.04 - 03.05.	+	+	+	+	+	+	?	?
	11.06 - 20.07.	+	+	+	+	+	+	?	?
	17.09 - 07.10.	+	+	+	+	+	+	?	?
2002	20.09 - 27.11.	+	+	+	+	+	+	?	?
2003	16.10 - 07.12.	+	+	+	+	+	+	?	?
2004	22.04 - 16.05.	+	+	+	+	+	+	?	?
2005	01.07 - 13.08.	+	+	+	+	+	+	?	?
2006	15.04 - 02.07.	+	+	+	+	+	+	?	?
	20.08 - 15.09.	+	+	+	+	+	+	?	?
2007	14.03 - 02.05.	+	+	+	+	+	+	?	?
2008	28.02 - 17.04.	+	+	+	+	+	+	?	?
2009	22.02 - 15.05.	+	+	+	+	+	+	?	?
2010	18.06 - 27.07.	+	+	+	+	+	+	?	?
2011	08.05 - 29.06.	+	+	+	+	+	+	?	?
2012	07.05 - 11.06.	+	+	+	+	+	+	?	?
2013	22.02 -02. 04.	+	+	+	+	+	+	?	?
2014	01.04 - 31.05.	+	+	+	+	+	+	?	?

Подаци су недоступни

Подаци су доступни, потребно је спровођење дигитализације и нису преузети од РХМЗа

Подаци су доступни у дигиталном облику и нису преузети од РХМЗа

? Непознат расположив период података

2.4.3 Анализа обима и квалитета података

Током израде предметне студије прикупљени су подаци о дневним протицајима и дневним вредностима водостаја на 14 мерних станица (13 активних станица). Часовни подаци о протицајима преузети су током периода 2003-2014. год., док се очекује пристизање података за период 1999-2002. год. За разлику од протицаја, часовни подаци о водостајима нису још преузети. Поред тога, прикупљене су дневне серије падавина са доступних главних метеоролошких станица (4 станице). Подаци о дневним температурама и релативне дневне влажности ваздуха прикупљени су са укупно седам станица. Часовни подаци о падавинама и температурама са главних метеоролошких станица и нових аутоматских станица (Мајиновци и Штавица) нису преузети у тренутку писања овог извештаја. Поред тога, потребно је напоменути да је непознат обим часовних података са нових аутоматских станица.

Прикупљене дневне серије протицаја са укупно 13 активних станица (без станице Обреновац која је под успором) указују на добру попуњеност. Тако се располаже се дневним временским серијама на највећем броју станица од средине 20. века, све до 2014. године. Насупрот дневним серијама, часовне хидролошке серије у сливу се региструју за већину станица у периоду око 1970-1980. године. Значајан број ових података је потребно дигитализовати што захтева доста времена. У складу са тим, велики обим часовних хидролошких података захтева ограничавање анализе временских серија само на периоде великих вода у сливу. После 2000. године на сливу је уведено дигитално регистровање протицаја на три мерна профила (Словац, Бели Брод, Боговађа) док се на већини станица регистровање протицаја врши помоћу лимниграфа. Потребно је напоменути да се на реци Пештан осматрање нивоа воде врши помоћу водомерне летве, па тако часовне вредности протицаја на овом делу слива Колубаре нису познате.

Квалитет прикупњених хидролошких података у многоме је нарушен током поплава 2014. године. Велики број станица у сливу је био плављен и оштећен (нпр. станица

Бело Поље, река Обница). На основу регистрованог нивоа воде на профилима станица, који је превазишао икада забележене нивое, није било могуће регистровати максималне протицаје. Поред тога, на појединим хидролошким станицама због узводног изливања регистровани протицаји не осликавају „природни" режим поплава у 2014. години, већ су серије у великој мери „регулисане" из разлога што је део хидрограма великих вода ретензирао кроз пробоје одбрамбрених насипа и плављењем површинских копова. Може се закључити да хидролошки режим током поплава 2014. године захтева хидролошку реконструкцију којом би се одредили „природни" хидрограми при чему би се дефинисале екстремне вредности протицаја на разматраним станицама.

Метеоролошке серије у сливу Колубаре имају задовољавајућу попуњеност на дневном нивоу. У сливу постоји једна главна метеоролошка станица, две нове дигиталне станице и 31 падавинска станица. Поред ових станица, постоје неколико главних метеоролошке станице ван слива Колубаре које могу служити приликом анализе климатског режима (Београд, Лозница, Сремска Митровица, Смедеревска Паланка, Крагујевац). Часовне падавине и температуре у сливу се региструју на јужним деловима слива на станицама Ваљево, Мајиновци и Штавица. Ово упућује на то да централни и северни делови слива нису покривени станицама на којима се региструју часовне серије. Из тог разлога неопходно је при анализи укључити додатне (главне метеоролошке) станице које се налазе у близини слива реке Колубаре. Као и у случају хидролошких часовних серија, прикупљање часовних серија је неопходно ограничити само на епизоде појаве великих вода током године.

2.5 Структура хидролошког модела слива Колубаре

2.5.1 Приказ релевантних профила у сливу Колубаре

За потребе развоја хидролошког модела слива реке Колубаре цео слив ће бити издељен на подсливове коришћењем дигиталног модела терена, водећи рачуна о просторној конфигурацији и хидрографији слива, затим о положајима постојећих хидролошких станица и локацијама објеката који могу имати утицаја на режим великих вода, профили у којима су мостови и на крају о карактеристичним профилима водотокова релевантним са аспекта заштите од поплава. На тај начин цео концепт декомпозиције слива састоји се у дефинисању кључних профила у сливу и то: улазних, контролних и излазног профила.

На сливу реке Колубаре хидролошки режим се региструје на укупно 14 хидролошких станица (Слика 2.24). Станице спрам чијих осматрања би требало калибрисати хидролошке моделе морају да задовоље неколико критеријума:

Поуздана осматрања: Важно имати у виду поузданост кривих протока, што се посебно односи на низводне хидролошке станице (нпр. Обреновац, Дражевац). Ове станице могу бити под успором реке Саве током периода великих вода, што доводи у питање поузданост осмотрених протока у том периоду и њихову сврсисходност за калибрацију хидролошких модела.

Расположивост података: хидролошке моделе би требало калибрисати користећи осматрања са више хидролошких станица, па је битно да постоје осматрања на свим разматраним станицама током калибрационог периода. Стога ће одабир станица за калибрацију хидролошких модела бити могућ тек након анализе доступних осматрања.

Довољно дугачко време концентрације подслива узводно од хидролошке станице које би омогућила калибрацију хидролошких модела са подацима дате временске резолуције. Према подацима дате временске резулуције могу се калибрисати само подсливови чије је време концентрације веће или једнако временској дискретизацији

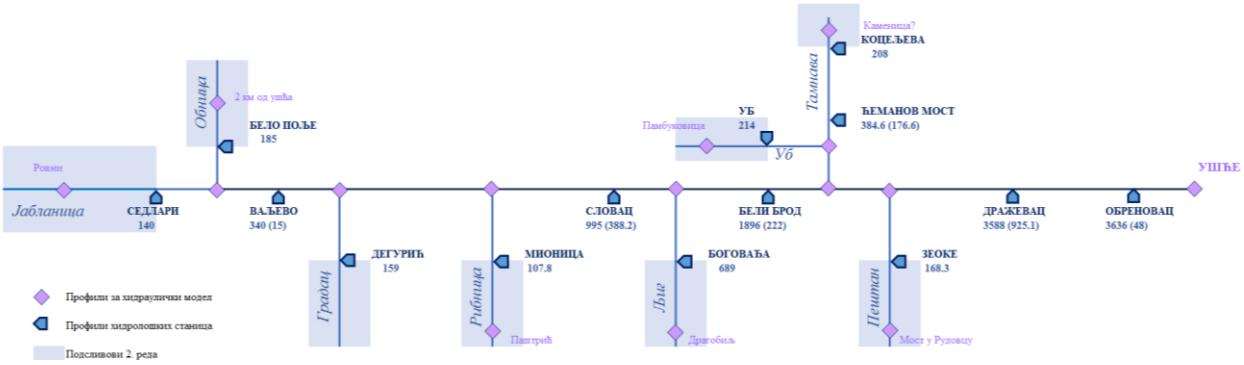
улазних података. За оцену времена концентрације потребно је користити емпиријске формуле за природне сливове (нпр. формула Kirpich-а или SCS метода кашњења).



	СТАНИЦЕ:
1.	ВАЉЕВО
2.	СЛОВАЦ
3.	БЕЛИ БРОД
4.	ДРАЖЕВАЦ
5.	ОБРЕНОВАЦ
6.	СЕДЛАРИ
7.	БЕЛО ПОЉЕ
8.	ДЕГУРИЋ
9.	МИОНИЦА
10.	БОГОВАЂА
11.	ЗЕОКЕ
12.	КОЦЕЉЕВА
13.	ЋЕМАНОВ МОСТ
14.	УБ

Слика 2.24 Хидролошке станице на сливу реке Колубаре (извор: http://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/povrsinske/sliv_kolubara.php).

Профили који су значајни за хидрауличке симулације најчешће не фигуришу у калибрацији хидролошких модела, међутим хидролошки модел би требало да резултује хидрограмима и на тим профилима. То су пре свега најузводнији профили, оног дела хидрографске мреже која ће бити обухваћена хидрауличким моделом, као и профили ушћа значајнијих водотока у којима ће се хидрограми поплавних таласа са међуслива уводити у прорачун. Неки од релевантних профила на сливу реке Колубара приказани су на схеми речне мреже (Слика 2.25).



Слика 2.25 Схема речне мреже реке Колубаре (напомена: ова скица не обухвата све профиле који се разматрају за хидраулички прорачун)

Хидролошки модел реке Колубаре састојаће се од коначног броја подсливова, а који међусобним везама чине јединствен хидролошки модел целог слива реке Колубаре. Подела на подсливове ће бити извршена како према физичким и хидрографским критеријумима (притоке), тако и према профилима од посебног значаја (хидролошке станице, ретензије). То значи да ће све значајне притоке Колубаре бити моделиране (Обница, Јабланица, Градац, Лепеница, Рибница, Рабас, Топлица, Љиг, Лукавица, Пештан, Враничина, Кладница, Турија, Бељаница, Уб, Тамнава), док ће веће притоке по потреби бити додатно подељене на подсливове (Забава и Буковска у сливу Градца, Манастирица и Паклешница у сливу Рибнице, Драгобиљ и Качер у сливу Љига, итд).

Декомпозиција хидролошких модела вршиће се на местим улазних профила, контролних профила и излазног профила. Улазне профиле хидролошког модела чине: Акумулација "Стубо-Ровни" на реци Јабланици, хидролошка станица "Бело Поље" на реци Обници, хидролошка станица "Дегурић" на реци Градац, хидролошка станица "Мионица" на реци Рибници, хидролошка станица "Боговађа" на реци Љиг, хидролошка станица "Зеоке" на реци Пештан, хидролошка станица "Коцељева" на реци Тамнави и хидролошка станица "Уб" на реци Уб. Контролни профили хидролошког модела су: хидролошка станица "Седларе" на реци Јабланици, хидролошка станица "Ваљево" на реци Колубари, хидролошка станица "Бели Брод" на реци Колубари, хидролошка станица "Ћеманов мост" на реци Тамнави, ушће река Лепенице, Топлице, Враничине, Лукавице, Турије и Бељанице у Колубару. Излазни профил хидролошког модела је хидролошка станица "Дражевац".

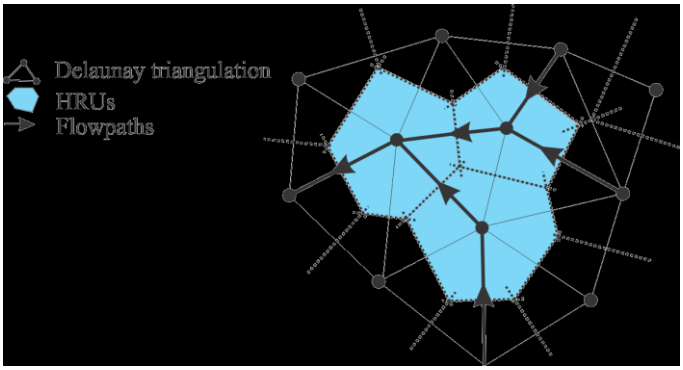
Слив реке Колубаре декомпонује се на местима постојећих акумулација ретензија (нпр. акумулација Стубо-Ровни на Јабланици и ретензија Паљуви Виш на Кладници). Осмим постојећих профила, декомпозиција слива реке Колубаре обухватиће и профиле ретензионих брана у „брдском" делу слива и у равничарском делу слива где би се формирале касете за смањење штетног дејства вода током појаве поплава. Приказ наведених профила дат је у поглављу студије 9.2.1 приказана потпуна анализа потенцијалних профила за ублажавање поплавног таласа на реци Колубари, при чему су разматрани детаљно описани у деловима од 9.2.1.1 до 9.2.1.30.

2.5.2 Приказ декомпозиције слива и мреже HRU у моделу ИЈЧ-ГФ

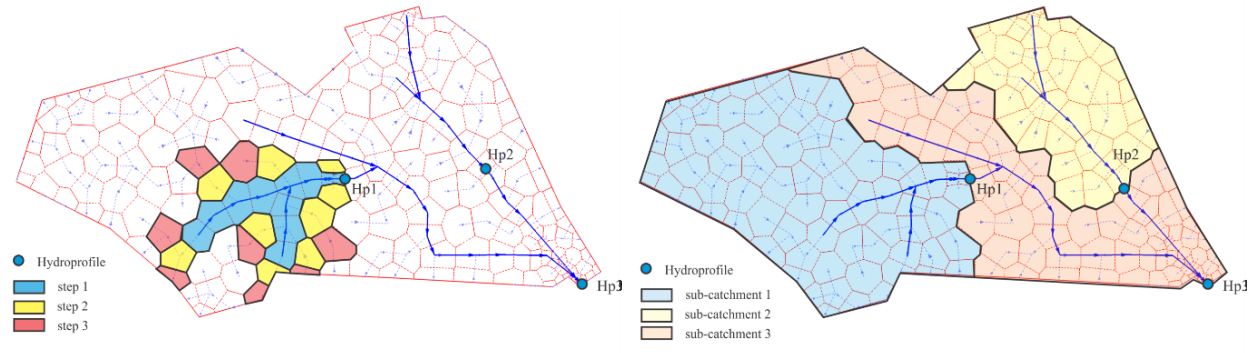
Циљ хидролошких симулација су хидрограми отицаја на великом броју хидропрофила – HP од интереса на сливу. Стога је неопходно да се изврши делинеација слива на подсливове и на међусливове према хидропрофилима који су значајни и за хидролошке и за хидрауличке симулације.

У моделу ИЈЧ-ГФ хидролошке јединице (HRU) се одређују из дигитлног модела терена (ДМТ) сливног подручја, који је приказан у виду неправилних троуглова (енгл. TIN – Triangulated Irregular Network). HRU се добијају формирањем Тисенових полигона из темена троуглова ДМТ (Слика 2.26).

У оквиру ИЈЧ-ГФ-а могу се одредити сливна продручја применом PFS алгоритма (PFS – Priority First Search), који се пропагира од тачака хидрографске мреже у правцу најстрмијег нагиба. Применом овог алгоритма могу се одредити сливна подручја за сваки хидролошки профил (Слика 2.27), што је предуслов за симулацију отицаја на датом хидроприлу.



Слика 2.26 Формирање хидролошких јединица (HRU) из тачака дигиталног модела терена.



Слика 2.27 Одређивање сливних подручја за хидролошке профиле

У моделу ИЈЧ-ГФ хидролошке јединице потребно је сливно подручје реке Колубаре поделити на мрежу елемената у којима ће се рачунати само вертикални водни биланс у земљишту. Неопходни улазни подаци за тај прорачун су следећи:

5. Метеоролошке величине – падавине, температура и др.
6. Карактеристике земљишта – водопроводљивост, порозност и др.
7. Тип вегетације – шуме, ливаде, урбано подручје.

Метеоролошки подаци се у програму уносе у форми тачака које представљају метео станице у којима се мере метеоролошке величине (падавине, температура и др.). На основу података о положају метеоролошких станица у којој се мери нека метеоролошка величина (нпр. Падавине) формирају се Tiessenovi полигони (Воронијеви дијаграми) и на тај начин се са нивоа тачкастих информација прелази на информацију о подручју (објекат типа Area) које представља зону утицаја једне метеоролошке станице.

У програму постоји могућност коришћења алгоритма који формира Tiessenove полигоне: сваки пиксел добија ID исти као ID њему најближе метереолошке станице. Поступак се спроводи у растерском облику са величином грида истим као код DEM-а, и то за сваку од три величине (падавине, температуру и влажност ваздуха).

Поред коришћене методе интерполације, пробане су и неке друге методе аутоматске интерполације, које би укључиле у разматрање и податке о терену. Тако на пример, тестирана је идеја да се користи генерисање Thiessen-ових полигона, али да се приликом одређивања удаљења од метереолошких станица, рачунају различити тежински коефицијенти за пикселе који се налазе на прегибима терена. Такође, испробана је и метода интерполације која користи већ постојеће границе подсливова као границе утициаја на метео податке. Мада би такве методе требало да дају боље резултате од Tiessenove интерполације, показало се да је изразито осетљива на лоше податке о дигиталном моделу терена.

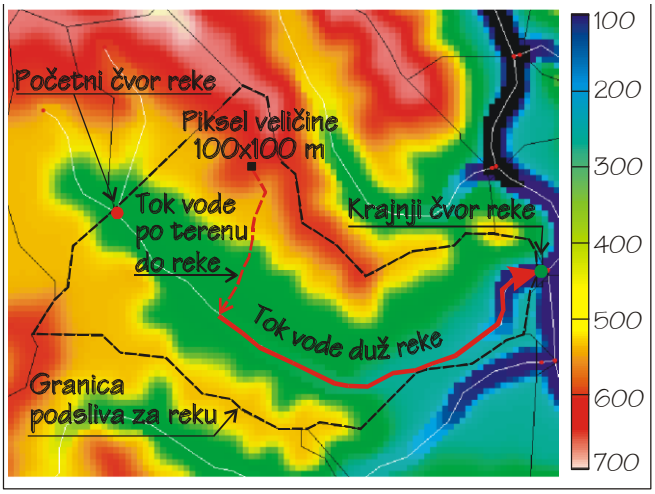
Карактеристике земљишта се уносе у форми затворених полилинија (подручја) које покрива претходно дефинисани тип земљишта. Подаци о типовима земљишта који су заступљени на сливном подручју добијају се из педолошких карата. На исти начин се уносе и подручја са претходно дефинисаним типовима вегетације.

Слој педолошких података као и података о вегетацији се добија растеризацијом импортованих полигона. Рутина за растеризацију дозвољава и преклапање полигона, уз задавање «висине» сваког од полигона, као и дефинисање «позадинског» полигона, који спречава постојање «рупа» у растерској слици. Користи се иста просторна дискретизација као и код DEM-а.

Како сва ова подручја која су везана за различите типове података (земљиште, вегетација, метео подаци, ...) потенцијално деле један HRU, у оквиру алгоритма

HRUGEN се прорачунава процентуално учешће (тежински фактори) везано за одређени тип података.

Резултат вертикалног водног биланса су следећи подаци који се добијају у форми временских серија: стање земљишне влаге, део падавина који чини директан отицај са слива, испаравање и процуривање у дубље слојеве (Слика 2.28).

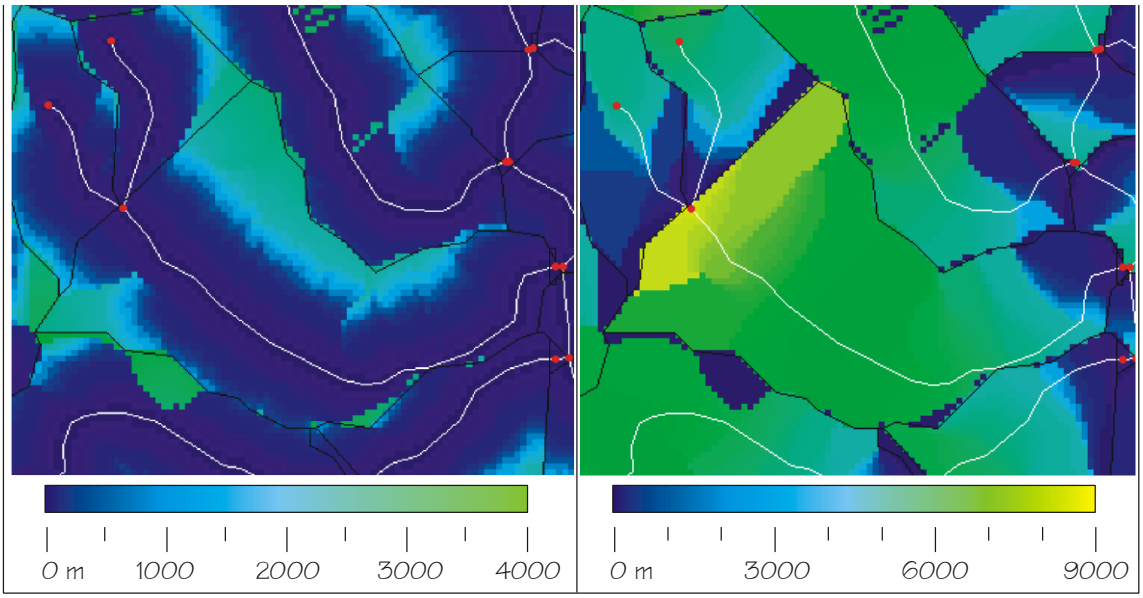


Слика 2.28 Детаљ DEM-а са објашњењем прорачуна површинског тока до реке и тока воде дуж реке

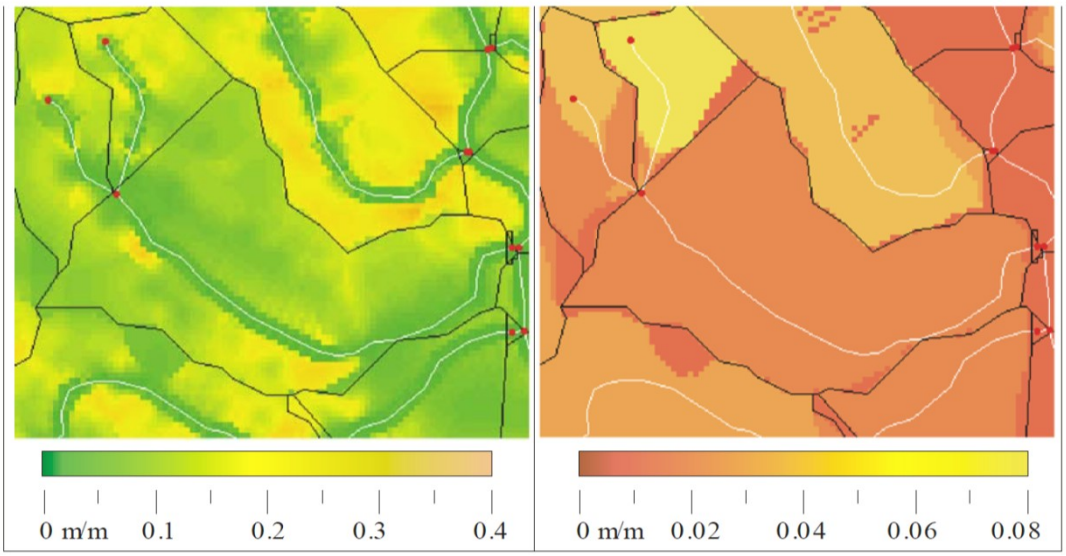
За трансформацију отекле воде са сваког елемента (HRU-а), потребно је имати и податке о просечном паду дуж терена до водотока и дуж водотока до низводног хидропрофила, као и одговарајућим дужинама.

Подела на хидропрофиле је у основи интеграција података са нивоа ситнијег грида на којем је примењен алгоритам DELINEA, на ниво крупнијег грида. Осим поделе сливног подручја на подсливове у растерској и векторској форми, резултат алгоритма DELINEA су и подаци у растерској форми о дужинама и падовима.

Параметри које треба одредити из DEM-а су дужина тока воде по терену, од сваког пиксела до прве низводне реке, ток воде од тачке улива у реку до низводног краја реке, као и просечне нагибе тока по терену и по реци (укупно 4 *layer* -а).



Слика 2.29 Приказ прорачуна дужина путовања воде, слика лево: удаљење сваког пиксела од припадајуће реке; слика десно: дужина тока дуж реке за сваки пиксел



Слика 2.30 Приказ прорачуна средњег нагиба, слика лево: по терену до припадајуће реке, слика десно: дуж реке

На претходним илустрацијама дати су резултати рачуна за један пиксел (Слика 2.29, Слика 2.30). Исти такав прорачун се спроводи за све пикселе на сливу, при чему се води рачуна о припадности пиксела одређеној реци/подсливу: ако вода „покуша" да изађе из граница подслива, она се „спроводи" до најближе тачке на припадајућој реци. На приказане четири слике су дати резултати анализе течења воде по терену, од сваког пиксела до низводне реке и течења воде дуж реке, за један подслив.

За прорачун просечних вредности падова и дужина на нивоу HRU-а користе се и резултати алгоритма AGREGA, са којима су за сваки чвор хидрографске мреже претходно срачунати дужина (*Lenght2HydroID*) и просечан пад (*Slope2HydroID*) дуж хидрографске мреже до низводног хидропрофила.

2.5.3 Интеракција са хидрауличким моделом

Хидролошки модел ИЈЧ-ГФ омогућава симулацију пропагације таласа дуж хидрографске мреже методом линеарних резервоара. Резултат хидролошке симулације су хидрограми у одабараним чворовима хидрографске мреже (хидропрофилима – HP), али нису и не могу бити нивои воде у водотоцима. Моделирање пропагације хидрограма кроз хидрографску мрежу, које ће за резултат имати нивое воде у водотоцима као и дефинисање плавних зона, мора бити резултат примене модела из домена речне хидраулике. У овом случају ће бити примењен модел HEC-RAS.

Интеракцију између хидролошких и хидрауличког модела прате бројни проблеми:

- профили који су од интереса за хидрауличке симулације углавном не коинцидирају са профилима хидролошких станица према којима се калибришу хидролошки модели,
- временска резолуција симулираних хидрограма у хидролошком моделу одговара резолуцији улазних података о падавинама, док је резолуција потребна за хидрауличке симулације знатно финија.

Веза између хидролошког и хидрауличког модела биће остварена пре свега тако што ће се сви релевантни чворови хидрографске мреже бити уведени као рачунски профили у хидролошки модел (HP). То ће омогућити да се хидрограми добијени из хидролошких модела користе као улаз у модел HEC-RAS за потребе хидрауличких симулација. Ово практично значи да сви најузводнији профили, који ће бити коришћени у моделу HEC-

RAS, морају истовремено бити и хидропрофили хидролошког модела у којима ће се рачунати улазни хидрограми. Осим тога и одабрани профили ушћа значајнијих водотока ће морати да буду укључени у хидролошки модел као рачунски чворови (HP).

Обзиром да ће калибрација хидрауличког модела бити „везана" за резултате хидролошког модела, потребно је да се дефинишу исти периоди калибрације и верификације (осмотрени поплавни таласи) и за хидраулички и за хидролошке моделе (ови периоди ће бити дефинисани након прикупљања и анализе свих улазних података).

Калибрација хидролошког модела једним делом ће се одвијати независно од калибрације хидрауличког модела. Критеријуми који ће се користити и са којима ће бити вреднована калибрација хидролошког модела, се односе на слагање осмотрених и мерених хидрограма, у смислу запремине отекле воде (минимизација грешке биланса, поглавље 2.6.3) и динамике отицања.

Ваљаност калибрације хидрауличког модела се процењује на основу осмотрених нивоа и плавних зона. Обзиром да резултати хидрауличке симулације зависе од тачности улазних хидрограма, јасно је да су хидролошки и хидраулички модели суштински повезани, али се у калибрацији могу функционално раздвојити, у смислу да калибрација буде итеративна: прво се калибрише хидролошки модел и када су резултати у смислу претходна два критеријума задовољавајући, прелази се на калибрацију хидрауличког модела. Уколико се у калибрацији хидрауличког модела не може доћи до задовољавајућег слагања осмотрених и симулираних нивоа, потребно је направити анализу могућег извора грешке. Извор грешке може бити недовољна тачност геометрије корита и коефицијената у самом хидрауличком моделу или је грешке резултат недовољно тачних улазних хидрограма, што подразумева наредну итерацију у калибрацији хидролошког модела.

Да би хидролошки модел на читавом сливу имао задовољавајућу тачност у погледу критеријума динамике отицања, модул за пропагацију поплавних таласа кроз хидрографску мрежу, мора бити на адекватан начин моделиран, како би се приказало изливање воде у инундације или ретензионе просторе.

Овај приступ подразумева следеће:

- Замену линеарних резервоара које представљају речне деонице на којима је дошло до изливања воде из минор корита линерним резервоарима са преливом (слично резервоару за симулирање базног отицаја), и
- Увођење линеарних или нелинеарних резервоара којима би се симулирало задржавање воде у инундацијама или ретензијама и поновно, закаснело, истицање воде назад у хидрографску мрежу.
- Додатно усложњавање модела ИЈЧ-ГФ подразумева и нове слободне параметре модела које је потребно оценити. Подаци за калибрацију хидрауличког модела могу се посредно користити за оцену додатних параметара хидролошког модела ИЈЧ-ГФ.

2.6 Методологија калибрације и верификације хидролошких модела

2.6.1 Приказ теоријских поставки и алгоритма калибрације

Разматрани хидролошки модел падавине-отицај представља параметарски модел. Вредност сваког од параметара мора бити тачно одређена пре употребе модела. Тако се може приметити да има параметара који се могу одредити на основу података о типу вегетације или на основу употребе земљишта у сливу и сл. Поред тога, модел садржи параметре који се не могу одредити посматрањем или мерењем карактеристика тока

или слива. Калибрација хидролошког модела заснива се на проналажењу оптималних вредности параметара модела падавине-отица.

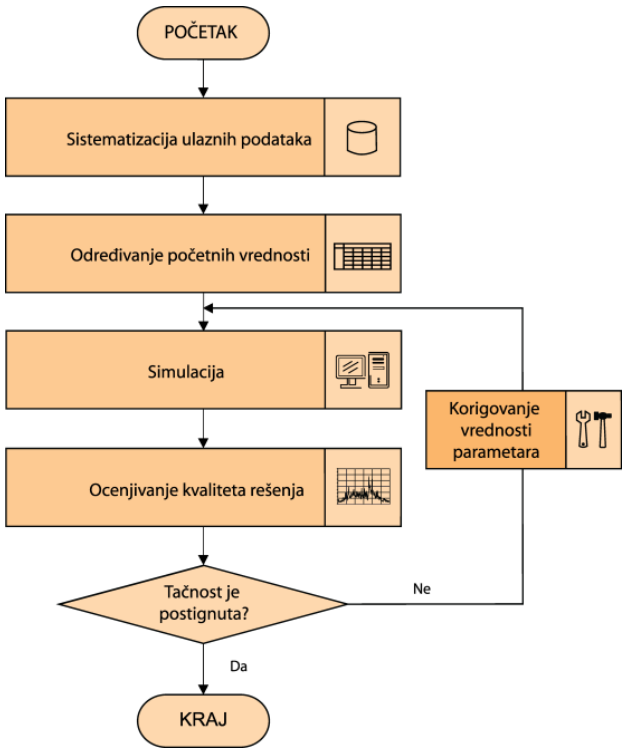
Систематско тражење оптималне вредности параметра се извршава према следећој процедури (Слика 2.31). Калибрација параметара модела се врши у више корака, а то су:

1. Систематизација потребних података,
2. Избор параметара за калибрацију, опсега вредности и почетних вредности,
3. Вршење симулације,
4. Оцена и поређење решења и
5. Корекција параметара и евентуално поновно вршење симулације.

Први корак процедуре је систематизација расположивих података и анализа према захтевима који су већ наведени у вези са избором периода калибрације и валидације.

Наредни корак је одређивање параметара који се процењују, области прихватљивих вредности параметара и њихових иницијалних вредности. Као и код сваке претраге важи да ће, што су боље процењене ове иницијалне вредности, брже бити нађено тражено решење. Неке од почетних вредности параметара и опсега њихових вредности могу бити и ван очекиваних граница, да би се надокнадили недостаци полазних података.

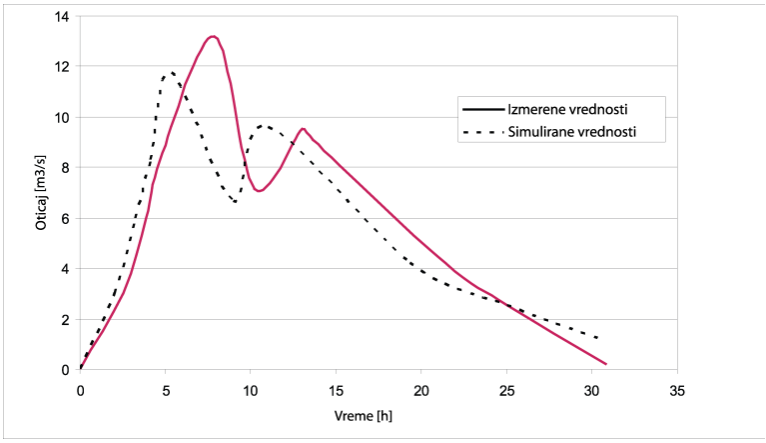
Следећа три корака се итеративно понављају до постизања задовољавајућег решења. Симулација се сваки пут врши са новим сетом параметара. Резултат симулације је хидрограм на одређеном хидропрофилу, где постоји репрезентативна хидролошка станица са поузданим мерењима протицаја.



Слика 2.31 Алгоритам за калибрацију хидролошког модела

Затим се упоређују прорачунски и осмотрени хидрограми. На пример, упоређује се хидрограм добијен прорачуном са реалним хидрограмом (Слика 2.32). Циљ овог упоређивања је да се одреди колико се добро модел „поклопио" са реалним хидролошким системом. Само упоређивање представља евалуацију квалитета

калибрације модела, у оквиру чега је могуће применити већи број метода, од којих ће неке бити објашњене у наставку.



Слика 2.32 Упоредни прикази мерених и симулираних вредности протицаја

Квалитет хидролошких модела зависи од калибрационе стратегије која се примењује, а у оквиру које је потребно дефинисати:

Приступ калибрацији: мануелна или аутоматска калибрација. Уколико се модел калибрише аутоматски, потребно је дефинисати и оптимизациони алгоритам.

Критеријуми оптимизације: да ли се параметри оптимизују према једном или више критеријумских функција. Мануелна калибрација се сматра вишекритеријумском (Gupta, Sorooshian, & Yapo, 1998). У овом сегменту дефинисања калибрационе стратегије потребно је одабрати критеријумске функције према којима би се калибрисао модел. Такође је потребно дефинисати и да ли би резултат калибрације требао да буде један или неколико оптималних скупова параметара, који би резултовали интервалним оценама протока.

Просторна расподељеност метеоролошких величина и параметара модела. С обзиром да је потребно симулирати отицај на више хидролошких профила, улазни подаци (падавине, температура) би требало да буду просторно расподељени. Претходна истраживања (нпр. Ajami et al., 2004) показују да просторна расподељеност улазних података даје боља слагања симулираних хидрограма са осмотреним. У оквиру овог корака, потребно је дефинисати и методологију за просторну интерполацију падавина и температура. Просторна расподељеност параметара би требало да прати структуру модела, односно, сваки подлив и међуслив би требало да имају своје скупове параметара.

Калибрација оваквог семи-дистрибуираног модела захтева поступну калибрацију параметара најпре за најузводније сливове, а затим параметара за низводне међусливове и коефицијената резервоара за речне деонице до низводних хидропрофила. Редослед калибрације пратио би пропагацију поплавних таласа низ хидрографску мрежу, с тим да би се параметри датог подлива калибрисали спрам осматрања на низводној хидролошкој станици.

Периоди калибрације и верификације. Избор периода калибрације зависи од расположивих података. Пре свега би требало дефинисати да ли се хидролошки модели калибришу само према епизодама или током неког периода који укључује и периоде између епозида (модел за континуалне хидролошке симулације). Требало би да садржи што више поплавних таласа, затим осматрања са што више метеоролошких и хидролошких станица и да буде што ближи 2014 години, која је посебно важна у изради ове студије (Luo et al., 2012). Такође, период калибрације хидролошких модела би требало да се поклапа са периодом калибрације хидрауличког модела. Калибрисане

моделе би требало тестирати на независном периоду. Евалуација модела током периода који је потпуно другачији од калибрационог по климатским карактеристикама даје најбољи увид у квалитет модела (Klemeš, 1986), али, имајући у виду циљеве ове студије, модел би свакако требало тестирати на кишном периоду или само током осмотрених поплавних таласа. Одабир верификационих периода је такође условљен расположивим подацима.

Станице: осматрања на хидролошким станицама ће, поред избора периода калибрације модела, одредити и његову просторну дистрибуираност. Посебна ограничења у избору калибрационих и верификационих периода намећу и осматрања падавина и температура. Модели се могу тестирати према осматрањима са хидролошких станица које нису биле укључене у калибрацију модела. Примена осматрања са метеоролошких станица које нису биле укључене у калибрацију хидролошких модела за симулације протока захтева додатна истраживања и тестирање модела.

Избор калибрационе стратегије је првенствено условљен раположивим подацима, али и расположивим рачунарским временом. Након прикупљања, обраде и анализе свих података могу се прецизно дефинисати сви елементи стратегије и приступити самој калибрацији модела.

Биће учињен покушај аутоматске калибрације параметара хидролошког модела ИЈЧ-ГФ. При томе, избор алгоритма калибрације условљен је доступним софтверима намењеним оптимизацији, као и расположивим временом и рачунарским ресурсима за калибрацију модела и искуством учесника на пројекту. С обзиром да се кôд модела ИЈЧ-ГФ позива из MATLAB скрипта, омогућено је његово повезивање са оптимизационим алгоритмима који су написани у овом програмском језику и који су јавно доступни.

Један од алгоритама који се може користити за калибрацију модела ИЈЧ-ГФ је AMALGAM (Vrugt & Robinson, 2007; Vrugt et al., 2009). Овај алгоритма омогућава симултану вишекритеријумску калибрацију према неколико усвојених критеријумских функција и комбиновањем неколико глобалних оптимизационих алгоритама. Постојећа верзија AMALGAM-а садржи четири оптимизациона алгоритма: Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II), Differential Evolution (DE), Particle Swarm Optimisation (PSO) и Adaptive Metropolis Search (AMS). Оптимизација параметара се може вршити само са једним или са било којом комбинацијом наведених глобалних оптимизационих алгоритама.

Оптимизација параметара почиње узорковањем почетних вредности параметара из предефинисаних униформних расподела (опсега) применом Latin Hypercube методе (LHS). На основу узоркованих параметара формирају се скупови параметара, који се оптимизују према унапред дефинисаним критеријумским функцијама. Критеријум конвергенције је предефинисани број итерација оптимизационог алгоритма. Карактеристика AMALGAM-а је да динамички у току оптимизације алоцира различити број скупова параметара оптимизационим алгоритмима према њиховом успеху у претходним итерацијама. Захваљујући овом својству, AMALGAM је веома ефикасан у проналажењу глобалих оптималних региона у вишедимензионалном простору параметара, што га чини најсавременијим оптимизационим алгоритмом за симултану вишекритеријумску оптимизацију. Опционо, AMALGAM-ом се може вршити и једнокритеријумска калибрација.

LHS метода се може искористити за примену GLUE методе (Beven & Binly, 1992), с тим да је ова неформална Бајесијанска метода превасходно намењена оцени неодређености у оценама параметара.

2.6.2 Приказ и коментар параметара који се калибришу са проценом опсега вредности

Одређивање параметара који се калибришу, као и њихових почетних вредности, условљено је структуром хидролошког модела, пре свега у смислу делинеације на подсливове. Вредности параметара за које се у прелиминарним анализама осетљивости покаже да нису осетљиви, могу се фиксирати. На овај начин смањиће се „димензионалност" оптимизационог проблема и рачунарско време потребно за калибрацију модела.

У Табелама (Табела 2.17, Табела 2.18, Табела 2.19, Табела 2.20 и Табела 2.21) дати су опсези (униформне функције расподеле) свих параметара модела ИЈЧ-ГФ, с тим да је усвојено да су неки параметри земљишта исти за површински и за потповршински слој. Усвојен је само један потповршински слој земљишта, и само један линеарни резервоар за трансформацију површинског отицаја. Табела 2.23 приказује параметре који се калибришу HEC-HMS моделом, заједно са њиховим могућих опсезима. Да би се одржале неке релације између параметара (нпр. ефективна порозност земљишта је већа од влажности пољског капацитета, и сл), неки параметри се калибришу релативно. Вредности које су дате су оквирне, и по потреби се могу кориговати за различите подливове или хидролошке јединице.

Табела 2.17 Модел ИЈЧ-ГФ – параметри за корекцију метеоролошких величина са надморском висином.

ПАРАМЕТАР	РАСПОН	КОМЕНТАР
Градијент висине падавина са надморком висином α [% / 100 m]	0-20	За одређивање висине падавина на HRU у односу на референтну надморску висину на коју се односи осмотрена висина падавина.
Температурни градијент са надморком висином T_{LAPSE} [°C / 100 m]	0.45-0.75	За одређивање температуре у HRU у односу на референтну надморску висину на коју се односи осмотрена висина падавина.

Табела 2.18 Модел ИЈЧ-ГФ – параметри модула за вегетацију.

ПАРАМЕТАР	РАСПОН	КОМЕНТАР
Максимални капацитет резервара вегетације CAN_{max} [mm]	1-8	Зависи од доминантног типа вегетације у разматраној области.
Максимална вредност *LAI* индекса LAI_{max} [m^2m^{-2}]	1-12	Зависи од доминантног типа вегетације у разматраној области.
LAI функција	-	Синусиоуда током вегетационог периода (1.4. до 1.11.), има вредност 0 ван вегетационог периода

Табела 2.19 Модел ИЈЧ-ГФ – параметри модула за снег.

ПАРАМЕТАР	РАСПОН	КОМЕНТАР
Гранична температура $T_{S\text{-}R}$ [°C]	(-2.5) – +2.5	При температурама испод $T_{S\text{-}R}$ нема кише снег
Температура топљења снега T_{melt} [°C]	(-3) - 1	Овај параметар би требало да буде око 0°C, с тим да се обично усвајају мање вредности да би се обухватио утицај других фактроа на топљење снега. У неким верзијама модела ова температура је једнака $T_{S\text{-}R}$, мада генерално важи да је $T_{melt} < T_{S\text{-}R}$
Дебљина снежног покривача при коме је цела порвшина HRU-а покривена снегом $S_{snow,100}$ [mm]	50-150	Вредност параметра предтавља дубину воденог талога
Фактор пондерације за одређивање температуре снежног покривача λ [-]	0-1	Мање вредности овог параметра одговарају већој дебљини снежног покривача, и обратно.
Вредност фактора топљења снега 21.6. $b_{melt,6}$ [$mm°C^{-1}day^{-1}$]	1.4 - 8	Има веће вредности на већим надморским висинама и у урбанизованим областима.
Вредност фактора топљења снега 21.12. $b_{melt,12}$	0.1 – 0.95	Калибрише се релативно, у односу на $b_{melt,6}$

Табела 2.20 Модел ИЈЧ-ГФ – параметри модула за земљиште.

ПАРАМЕТАР	РАСПОН	КОМЕНТАР
Хидролошки број *CN* [-]	55-85	Вредност зависи од намене земљишта.
Иницијална апстракција I_{a_rel} [-]	0.1-0.35	Овај губитак не укључује интерцепцију.
Дебљина површинског слоја земљишта D_{surf} [mm]	20-110	
Ефективна порозност *p* [-]	0.1 – 0.6	Иста вредност за поврпински и потповршински слој земљишта
Коефицијент филтрације за површински слој земљишта K_{surf} [m / s]	(-5.5) – (-4)	Калибрише се декадни логаритам коефицијента филтрације у вертикалном правцу, при засићењу земљишта
Влажност трајног увенућа w_{wp} [-]	0.01-0.3	Калибрише се релативно у односу на вредност ефективне порозности
Влажност пољског капацитета w_{fc} [-]	0-0.45	Калибрише се релативно, у односу на ефективну порозност и влажност трајног увенућа. Влежност пољског капацитета је: $w_{fc} = w_{wp} + \theta\,(p - w_{wp})$
Индекс расподеле пора *n* [-]	1.5 – 5.5	
Дебљина потповршинског слоја земљишта $D_{sub-surf}$ [mm]	100-1500	
$K_{sub-surf}$ [-]	(-3) – 0	Калибрише се релативно, у односу на K_{surf}: $K_{sub-surf} = 10^{\theta} \cdot K_{surf}$

Табела 2.21 Модел ИЈЧ-ГФ – параметри модула за трансформацију отицаја.

ПАРАМЕТАР	РАСПОН	КОМЕНТАР
Коефицијент линеарног резервоара за трансформацију површинског отицаја K_d [дани]	1-5	Вредност треба да буде једнака времену концентрације.
Коефицијент резервоара за брзи потповршински отицај $K_{gw-fast}$ [-]	1.1 – 30	Калибрише се релативно у односу на K_d
Максимални базни отицај по јединици површине q_d [L / s / km^2]	0.01 – 0.45	
Коефицијент нелинеарности за резервоар подземних вода c [-]	1.1. – 60	
Праг нелинеарног резервоара по јединици површине s_{max} [mm]	5 – 500	

Табела 2.22 Модел HEC-HMS - параметри модела.

МОДУЛ	ПАРАМЕТАР	РАСПОН
SCS метода ефективних падавина	почетни губитак Ia	0 - 500 mm
	број криве CN	0 - 99
Кларков јединични хидрограм	време концентрације Tc	0.1 - 500 h
	константа линеарног резервоара R	0 - 150 h
Muskingum-Cunge	Манингов коефицијент n	0 - 1

2.6.3 Критеријуми калибрације

Избор периода и профила за калибрацију хидролошких модела условљен је расположивим подацима. Моделе би требало калибрисати током кишнијих периода, што би омогућило бољу идентификацију параметара. Према неким истраживањима (нпр. Juston et al., 2009), периоди са више поплавних таласа и са великим вредностима пикова садрже више информација и омогућавају бољу идентификацију параметара, односно бољу калибрацију модела. Такође, потребно је да постоје осматрања на што више хидролошких станица у том периоду, као и да у том периоду постоје подаци за калибрацију хидрауличког модела.

Верификација модела такође је условљена расположивим подацима. Модели се могу верификовати током независних валидационих периода и / или на профилима који нису били укључени у калибрацију модела. Имајући у виду циљеве ове студије, верификациони периоди би такође требало да буду кишни.

За поређење рачунског и осмотреног хидрограма, програмским пакетом HEC-HMS се рачуна тзв. индекс слагања (goodness-of-fit index). У зависности од потреба анализе, понуђена су четири алгоритма за успостављање оптималних вредности индекса,

односно критеријумске функције. Циљ тих калибрационих шема је да се успоставе разумни параметри на основу којих се добија минимална вредност критеријумске функције. Расположиве критеријумске функције су: сума апсолутних грешака, сума квадрата резидуала, проценат грешке врха хидрограма и комбинације корена квадрата средњих грешака и процента грешке врха хидрограма.

Квалитет модела у калибрационом и верификационом периоду би требало квантификовати пре свега према способности модела да репродукује динамику генерисања отицаја, која се огледа пре свега у слагању пикова хидрограма, и према запремини поплавних таласа. Стога би требало користити критеријумске функције које су осетњиве на велике воде и одражавају динамику хидрограма (нпр. Неш-Сатклифов коефицијент, Клинг-Гупта коефицијент, Линдстромов коефицијент, тежински осредњен корен средње квадратне грешке (Fenicia, Solomatine, Savenije, & Matgen, 2007), коефицијент детерминације). Требало би користити и функције које квантификују прецизност у симулацији количине отицаја (нпр. волуметријска грешка, *VE* (Criss & Winston, 2008) или релативна пристрасност). Наведене критеријумске функције дате су у наставку (Табела 2.23). Циљне вредности (Табела 2.23) означавају идеално слагање симулираних и осмотрених хидрограма.

Функције које се не користе за калибрацију модела могу бити коришћене за евалуацију модела, која би свакако требало да буде допуњена визуелном инспекцијом симулираних хидрограма.

Табела 2.23 Критеријумске функције за калибрацију модела(Qobs – осмотрени протоци, Qsim – симулирани протоци, n – дужина осмотреног, односно симулираног низа протока).

Критеријумска функција	Формула	Циљна вредност
Неш-Сатклиф коефицијент [/]	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{\text{obs},i} - Q_{\text{sim},i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{\text{obs},i} - \bar{Q}_{\text{obs}}\right)}$	1
Клинг-Гупта коефицијент [/] r – коефицијент корелације α – однос оцењених стандардних девијација, β – однос средњих вредности	$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + (\alpha-1)^2 + (\beta-1)^2}$ $r = \frac{\sum\left(Q_{\text{obs},i} - \bar{Q}_{\text{obs}}\right)\left(Q_{\text{sim},i} - \bar{Q}_{\text{sim}}\right)}{\sqrt{\sum\left(Q_{\text{obs},i} - \bar{Q}_{\text{obs}}\right)^2 \sum\left(Q_{\text{sim},i} - \bar{Q}_{\text{sim}}\right)^2}}$ $\alpha = \frac{\hat{S}_{Q_{\text{sim}}}}{\hat{S}_{Q_{\text{obs}}}}\ ;\ \beta = \frac{\bar{Q}_{\text{sim}}}{\bar{Q}_{\text{obs}}}$	1
Линдстромов коефицијент [/] (рачуна се на основу Неш-Сатклифовог коефицијента)	$LM = NSE - 0.1\frac{\left\lvert\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{\text{obs},i} - Q_{\text{sim},i}\right)\right\rvert}{\sum_{i=1}^{n} Q_{\text{obs},i}}$	1
Корен средње квадратне грешке за велике воде [m^3 /s]	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{\text{obs},i} - Q_{\text{sim},i}\right)^2}$	0
Тежински осредњен корен средње квадратне грешке за велике воде [m^3 /s]	$RMSE_{\text{HF}} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{\text{obs},i} - Q_{\text{sim},i}\right)^2 \cdot w_{\text{HF},i}}$ $w_{\text{HF},i} = \left(\frac{Q_{\text{obs},i}}{Q_{\text{obs,max}}}\right)^2$	0
Коефицијент детерминације [/]	$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{\text{obs},i} - \bar{Q}_{\text{obs}}\right)\left(Q_{\text{sim},i} - \bar{Q}_{\text{sim},i}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{\text{obs},i} - \bar{Q}_{\text{obs}}\right)^2}\ \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{\text{sim},i} - \bar{Q}_{\text{sim},i}\right)^2}}\right)^2$	1
Волуметријска грешка [/]	$VE = 1 - \frac{\left\lvert\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{\text{obs},i} - Q_{\text{sim},i}\right)\right\rvert}{\sum_{i=1}^{n} Q_{\text{obs},i}}$	1
Релативна пристрасност [%]	$bias_{\text{rel}} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{\text{obs},i} - Q_{\text{sim},i}\right)}{\sum_{i=1}^{n} Q_{\text{obs},i}} \cdot 100$	0

2.7 Опис софтверске платформе

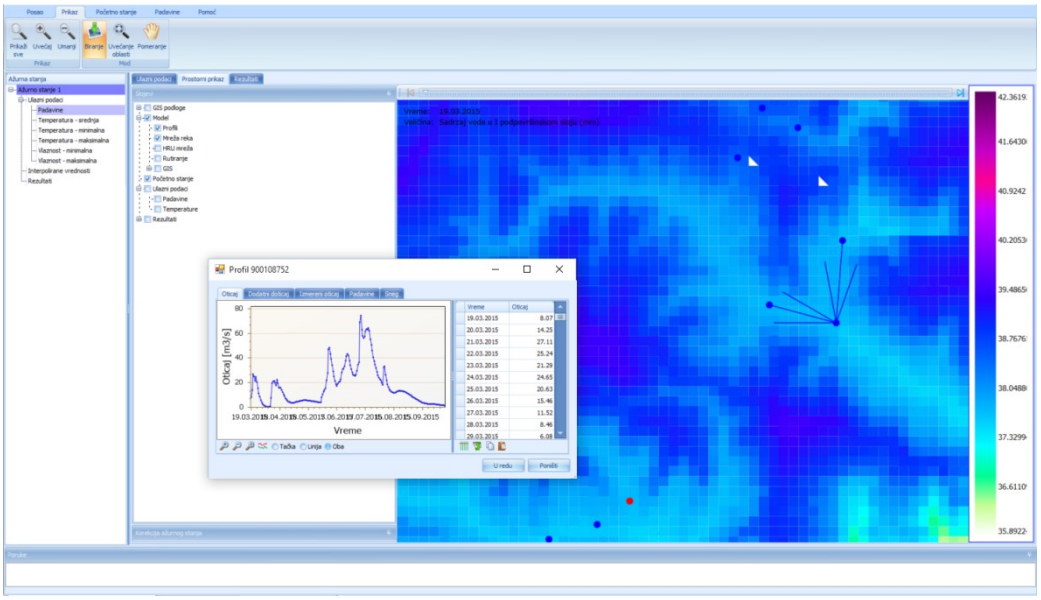
2.7.1 Имплементација хидролошког модела ИЈЧ-ГФ

Хидролошки модел израђен у Институту „Јарослав Черни" је имплементиран у виду нумеричког модула за прорачун отицаја са слива. Он представља софтверску имплементацију дистрибуираног хидролошког модела и има за циљ прорачун вертикалног и хоризонталног водног биланса при задатим хидро-метеоролошким условима. Извршава се у оквиру окружења графички-оријентисане корисничке апликације за нумеричке прорачуне.

Нумерички модул омогућава прорачун вертикалног водног биланса на моделу који је подељен на велики број хидролошких јединица (HRU - hydrological response unit), при чему оне могу бити произвољног облика и димензија. Даљи трансфер резултата вертикалног биланса у хоризонталним равнима се израчунава коришћењем елемената хоризонталног биланса као што су отворени токови, ушћа и акумулације.

Нумерички модул је развијен у виду програмске библиотеке како би се омогућило његово коришћење у различитим алатима који захтевају прорачун отицаја. Поред тога, саставни део решења је и конзолна апликација која коришћењем функционалности развијене библиотеке омогућава и потпуно независно коришћење нумеричког модула.

За потребе припреме улазних података за нумерички модул, као и за преглед излазних података и управљање параметрима прорачуна, користи се графички-оријентисана корисничка апликација. Ова апликација омогућава табеларне и дијаграмске приказе улазних и излазних величина, просторне приказе величина хидролошког модела, као и улазних података и резултујућих стања. Посебно је важна функционалност обраде резултата и формирања протицаја на профилима од интереса. Пример изгледа корисничке апликације дат је на наредној слици.



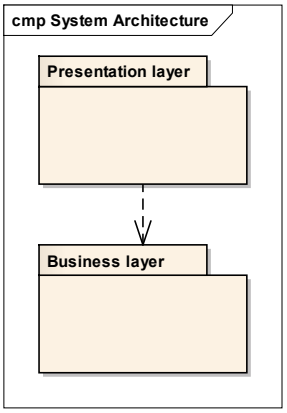
Слика 2.33 Пример изгледа графички-оријентисане корисничке апликације за нумеричке прорачуне

Ова апликација омогућава проверу разних сценарија, а употребом података из ВИС базе омогућила би се и веза ка другим резултатима овог пројекта. Ова веза би била обезбеђена преко интерфејса према ВИС систему, кога треба израдити.

Комплетно решење може радити само на Windows платформи, док нумерички модул у самосталној извршној датотеци постоји и за Linux оперативни систем. Подразумева се да је верзија Windows XP или новија.

- Хардвер
- Најмање 2 GB RAM. Ова граница је довољна за краће прорачуне, али може бити виша или нижа у зависности од величине модела.
- Најмање 5 GB слободног простора на хард диску. Ова граница је довољна у највећем броју случајева, али може бити виша или нижа у зависности од величине модела и захтева за памћењем резултата прорачуна.

Нумерички модул је развијен у Native C++ језику и извршава се директно на оперативном систему без потребе за виртуалним машинама. Улазно-излазни подаци се смештају у стандардне датотеке које припрема графички-оријентисана апликација, па је тако решење флексибилно по питању коришћења серија из базе података, јер се на апликацији могу имплементирати потребни интерфејси.



Слика 2.34 Архитектура нумеричког модела

Нумерички модул је развијен као двослојна апликација која се састоји од презентационог и пословног слоја. Пословни слој је представљен програмском библиотеком која имплементира све функционалности неопходне за учитавање и чување података о хидролошком моделу, прорачун и извоз резултата у излазне фајлове. Презентациони слој је развијен у виду конзолне апликације кроз коју је могуће задати називе улазних и излазних датотека и покренути прорачун.

Презентациони слој је развијен у виду конзолне апликације RunoffCoreApp, док је пословни слој имплементиран као библиотека RunoffCore.lib како би се њене функционалности могле користити и у другим апликацијама. Обе компоненте су развијене у Native C++ језику што обезбеђује портабилност и на друге софтверске платформе.

Уколико се нумерички модул користи као самостална апликација, конзолна апликација RunoffCoreApp статички линкује библиотеку RunoffCore.lib и као таква се може независно инсталирати на било ком PC рачунару.

Дефиниција хидолошког модела, са свим везама, чворовима, HRU-овима, параметрима и серијама дата је у облику улазних ASCII фајлова. На овај начин, постигнуто је да је модел у потпуности транспарентан и проширив, односно променљив.

Након сваког прорачуна добија се прецизно дефинисан скуп структуираних ASCII фајлова који представљају резултате прорачуна. У овом поглављу се даје детаљан опис излазних ASCII фајлова, па је теоретски могуће резултате модела користити и ван програмског окружења модела, дакле и кроз друге апликације, а не само кроз графички-оријентисану апликацију за нумеричке прорачуне. У наставку је табела која

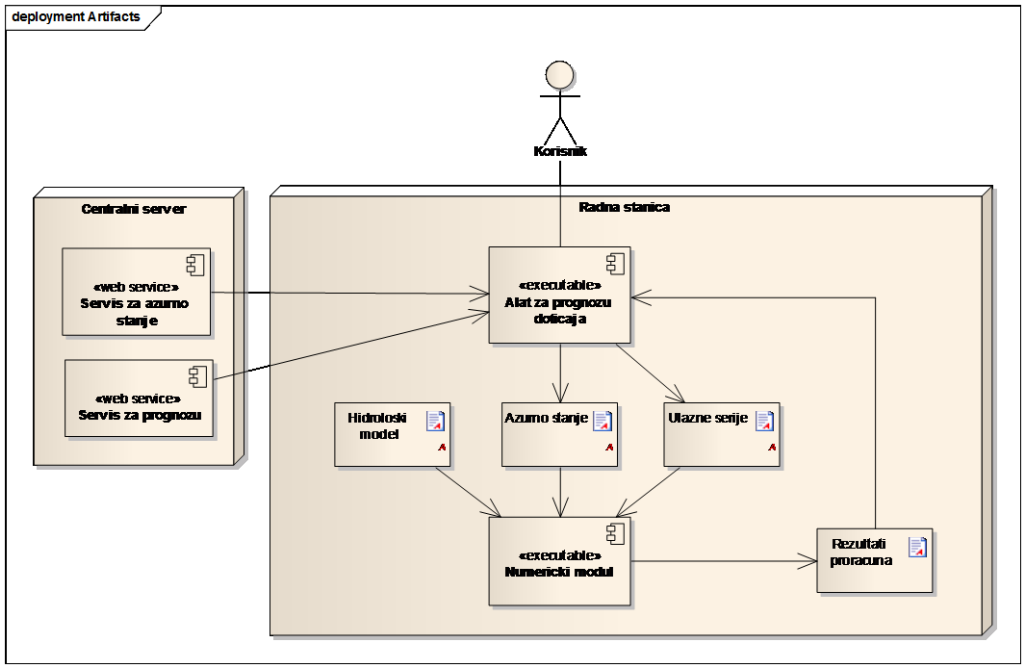
даје пример прорачуна над моделом под називом Model, са одговарајућим скупом улазних и излазних фајлова и резултујућим отицајем на профилу са ознаком 900036068.

Табела 2.24 Пример улазних и излазних фајлова за нумерички модул

Назив фајла	Опис
Model.dat	Улазна датотека која садржи опис модела за симулацију организована је кроз блокове података. Блокови података морају бити задати у тачно одређеном редоследу. Крај једног блока означава почетак наредног. Блокови су: подаци симулације, подаци о серијама, подаци о објектима симулације, групе објеката, подаци о јединицама вертикалног биланса, подаци о профилима, подаци о резервоарима, подаци о почетним стањима објеката симулације, подаци о рутерима, спецификација излаза
Series.dat	Серије се задају кроз блокове. Сваки блок серија почиње навођењем броја серија које се задају паралелно у датом блоку и бројем вредности које садржи свака од тих серија (серије које се задају паралено морају имати исти број вредности).
InititalStates.dat	Подаци о почетним стањима објеката симулације који се примењују уместо оних који су наведени у Model.dat
Simulation.dat	Опис прорачуна: период, временски корак, списак улазних фајлова, списак излазних фајлова
Simulation.out	Потпуни излаз из прорачуна. Садржи стања на свим елементима модела у сваком тренутку прорачуна. Може бити записан и у бинарном формату за велике моделе и дуге периоде прорачуна.
Simulation.lst	Детаљни листинг прорачуна који укључује и унутрашње вредности прорачуна: билансне провере, грешке на елементима... Опционо се укључује, јер за велике моделе и дуге прорачуне може да буде знатно велики фајл.
900036068.out	Резултујући отицај на профилу 900036068 у сваком кораку прорачуна. Може бити произвољан број оваквих фајлова, а њихов списак се дефинише у Simulation.dat. Поред отицаја, у оваквим фајловима могу бити задати и други резултати прорачуна (на пр., количина воде у површинском слоју за одређени HRU).

Основа за развој оперативне прогнозе дотока на основу метеоролошке прогнозе је примена ширег информационог система који обезбеђује потребне податке и интерфејсе за управљање подацима и резултатима прорачуна. Над приказаним нумеричким модулом могуће је имплементирати посебне механизме израде ажурног стања модела и прогнозе дотока, што је успешно реализовано на више сливова у региону (слив Дрине, Власинског језера, Требишњице, Врбаса) у виду хидро-информационог система.

На следећој слици је приказана улога нумеричког модула у оквиру хидро-информационог система, као и ток података између појединих компоненти система.



Слика 2.35 Нумерички модул у оквиру хидро-информационог система, као и ток података између појединих компоненти система

У пуној имплементацији информационог система и хидролошког модела, предвиђено је да се израда оперативне прогнозе дотока формира на основу метеоролошких прогноза и ажурног стања система. Резултати прогнозе дотока се могу аутоматски објављивати на порталу за подршку одлучивању, који је такође део хидро-информационог система.

Осим оперативне прогнозе, хидро-информациони систем нуди могућности вршења дугорочних анализа на предметном сливу, на пример: за анализе отицаја у условима климатских промена, у условима планиране изграђености објеката за заштиту од поплава и сл.

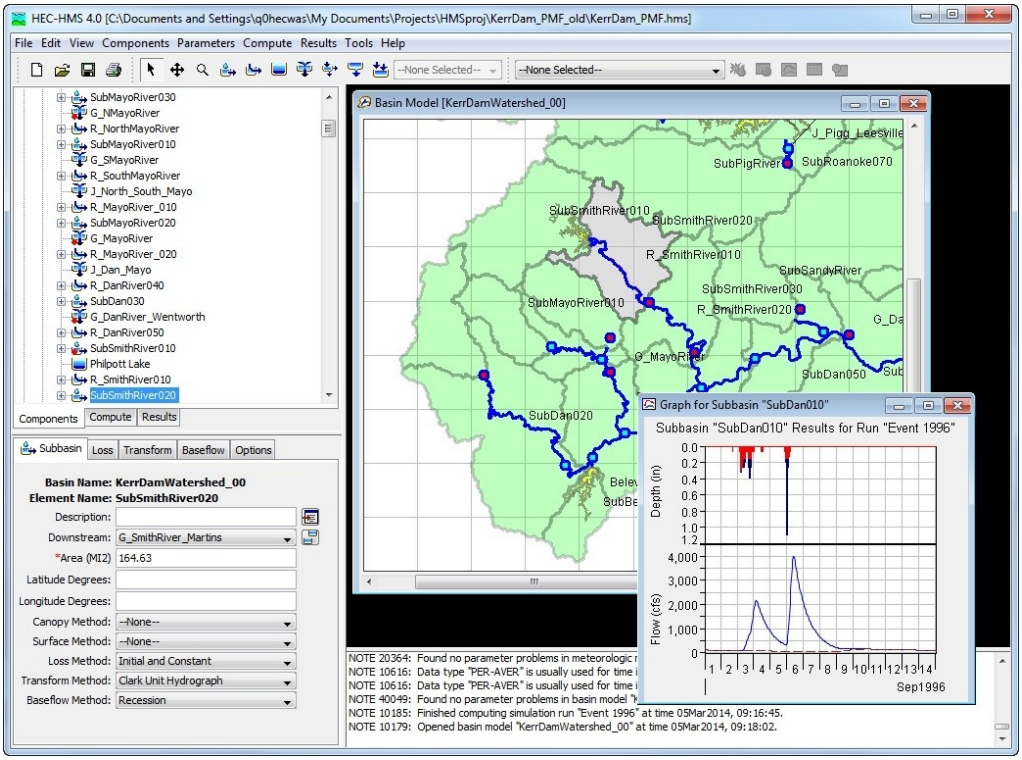
2.7.2 Имплементација хидролошког модела HEC-HMS

Систем за хидролошко моделирање HEC-HMS је програмско решење пројектовано за симулирање процеса падавине/отицај у разгранатим системима сливова. Систем за моделирање је реализован као генерички систем који може да представи разнородне сливове. Модел слива садржи раздвојене управљиве елементе хидролошког циклуса и формира се у складу са границама разматраног слива. Подржани су различити математички модели поменутих процеса, зависно од доступности података о сливу и намени анализа.

Програмско решење садржи интегрално радно окружење са сопственом базом података, алатима за унос података, прорачунског модула и алатима за израду извештаја. Графички-оријентисани кориснички интерфејс повезује наведене компоненте и чини коришћење целог решења једноставним, при чему су изглед и функционалност апликације исти на различитим платформама. Ово је постигнуто израдом корисничког интерфејса на Java платформи. Међутим, прорачунске библиотеке су израђене у FORTRAN језику и имплементиране само на следећим оперативним системима:

- Microsoft Windows (од верзије XP па навише, у 32-bit и 64-bit верзијама),
- Solaris 64-bit SPARC и
- Linux x86 дистрибуцијама.

Верзија за Windows оперативни систем подразумева да се једна инсталација HEC-HMS прави за све кориснике, при чему сви деле исте алате и базу података. Уобичајен начин коришћења подразумева покретање GUI апликације и рад преко миша и тастатуре у систему менија и дијалога. Пример изгледа ове апликације дат је на наредној слици.



Слика 2.36 Изглед радног окружења HEC-HMS

Програм такође подржава и покретање прорачуна путем скрипта, при чему се кориснички интерфејс не појављује. Све поруке које се генеришу у току прорачуна се бележе у лог фајлу, а резултати се похрањују у фајл за складиштење података (Data Storage System - DSS).

Подржана су основна три типа података у програму:

- временске серије (Time-Series Data)
- упарене податке (Paired Data)
- матрице (Grid Data).

У наредној табели дат је преглед разних података који могу бити складиштени.

Табела 2.25 Врсте улазних и излазних података

Временске серије	Упарени подаци	Матрице
Падавине	Стање резервоара-отицај	Падавине
Отицај	Кота-стање резервоара	Температуре
Водостај	Кота-површина	Сунчево зрачење
Температура	Кота-отицај	Коефицијент усева
Сунчево зрачење	Доток-захватање	Капацитет резервоара
Брзина ветра	Пречник-проценат	Брзина перколације
Ваздушни притисак	Попречи пресеци	Коефицијент резервоара
Влажност ваздуха	Јединични хидрограми	Дефицит влажности
Висина	Процентуалне криве	Непропусне површине
Коефицијент усева	ATI-функције топљења	SCS CN вредности
Водени еквивалент снега	ATI-функције хлађења	Кота
Нанос	Функције топљења	Хладни садржај
Концентрација	Функције брзине топљења	Хладни садржај ATI
Проценат		Брзина топљења ATI
		Садржај течне воде
		Водени еквивалент снега
		Садржај воде
		Водени потенцијал

За сваки тип је доступан алат (Data Manager) којим је омогућено управљање подацима у улазним и излазним фајловима. Иако су улазни и излазни фајлови махом у ASCII формату, не препоручује се ручно задавање ових фајлова, јер постоје међузависности о којима алати за управљање подацима воде рачуна.

Улазни и излазни фајлови се по правилу чувају у засебном директоријуму једног пројекта. У наредној табели је дат пример назива и садржаја улазних и излазних фајлова пројекта под називом Kolubara, са моделом слива под називом Kacer, са метеоролошким моделом под називом Istorijska kalibracija и контролним скупом под називом Majske poplave 2014. Такође, у примеру се користи оптимизација под називом Maksimalni dotok, и постоји снимљено стање модела под називом Pre poplava.

Назив фајла	Опис
Kolubara.access	Контролни фајл, који ограничава коришћење на само једног корисника у датом тренутку
Kolubara.dsc	Каталог DSS фајлова за бржу претрагу
Kolubara.dss	DSS фајл пројекта у коме се налазе ручни уноси временских серија и упарених података, као и резултати прорачуна, оптимизација и анализа
Kolubara.gage	Дефиниције свих временских серија
Kolubara.grid	Дефиниције матричних података
Kolubara.hms	Дефиниција пројекта која обухвата све моделе сливова, метеоролошке моделе и контролне скупове
Kolubara.log	Све поруке се бележе у лог фајл, осим порука из прорачуна, које се бележе у засебне фајлове
Kolubara.nals	Дефиниције свих анализа
Kolubara.out	Листа свих података прочитаних или уписаних из DSS фајлова
Kolubara.pdata	Дефиниције упарених података
Kolubara.run	Дефиниције извршавања прорачуна и времена последњег извршавања
Kacer.basin	Модел слива са особинама, конфигурацијом мреже и другим подешавањима. За сваки слив се прави посебан фајл
Istorijska_kalibracija.met	Конфигурација метеоролошког модела за падавине, испаравање и топљење снега. Прави се посебан фајл за сваки модел
Majske_poplave_2014.control	Контролни скуп података. За сваки скуп се прави посебан фајл
Kolubara.trial	Дефиниција свих оптимизација
Maksimalni_dotok.optim	Особине оптимизација, укључујући и методе претраге, циљну функцију и естимиране параметре. За сваку оптимизацију се прави посебан фајл
Kolubara.stateIndex	Дефиниција свих снимљених стања
Pre_poplava.state	Снимљена стања свих хидролошких елемената слива из једног прорачуна. За свако снимљено стање се формира по један фајл

Подржани су и кориснички фајлови који могу садржати мапе и сложеније матричне податке.

За исправно извршавање програма потребно је да корисник има права писања и читања у директоријуму пројекта. Уколико то није случај, потребно је да се обрати администратору који ће обезбедити одговарајућа права приступа. Иако више корисника може да дели исти пројекат, у једном покретању само један корисник може радити на пројекту. Програм сам води рачуна о томе да два или више корисника не раде на једном пројекту истовремено.

3 ИЗРАДА И КАЛИБРАЦИЈА ХИДРАУЛИЧКИХ МОДЕЛА

3.1 Структура хидрауличког модела

Према Пројектном задатку, хидрауличким прорачунима треба обухватити цео систем-мрежу водотокова у сливу Колубаре, а чине је:

1. Колубара, од ушћа до састава Јабланице и Обнице (96,5 km),
2. Тамнава, од ушћа до Каменице (54,2 km),
3. Уб, од ушћа до Памбуковице (30,1 km),
4. Грачица, од ушћа до Трлића (17,2 km),
5. Турија, од ушћа до Венчана (26,8 km),
6. Бељаница, од ушћа до Бељине (11,5 km),
7. Барајевска река, од ушћа до ушћа Дубоког потока (9,9 km),
8. Баћевачка река, од ушћа до Гунцата (4,2 km),
9. Враничина, од ушћа до Јабучја (7,4 km),
10. Лукавица, од ушћа до и кроз Лазаревац (9,0 km),
11. Љиг, од ушћа до ушћа Драгобиља (34,8 km),
12. Топлица, од ушћа до насеља Врујци (21,4 km),
13. Рибница, од ушћа до Паштрића (10,0 km),
14. Љубостиња, од ушћа до Рађевог села (9,0 km),
15. Кладница, од ушћа до копа (23,0 km),
16. Пештан, од ушћа до моста у Рудовцу (18,2 km),
17. Лепеница, од ушћа (12,0 km),
18. Јабланица, од састава са Обницом до бране Ровни (13,5 km) и
19. Обница, од ушћа (2,0 km).

Додатним анализама током зираде Студије, дефинисаће се прецизније потези на којима је потребно урадити хидрауличке прорачуне нивоа воде.

Према Прелиминарној процени ризика од поплава из 2012. године, речне деонице под тачкама од 1 до 14 су идентификоване као значајна поплавна подручја, а под тачкама 15-19 нису.

3.2 Основне поставке хидрауличког модела

Пројектним задатком је дефинисано да се хидраулички 1D модели реке Колубаре и притока формирају применом HEC-RAS софтверског пакета („HEC-RAS" - River Analysis System, US Army Corps of Engineers). Програм је развијен за формирање линијских нумеричких модела и прорачун устаљеног, неустаљеног и квази-стационарног течења у мрежи отворених речних токова неправилне геометрије, са великим бројем различитих спољашњих и унутрашњих граничних услова.

Рачунска процедура је заснована на решавању линијске енергетске једначине. Губици енергије се обухватају кроз губитке на трење (преко Манинговог коефицијента) и локалне губитке због ширења/сужавања тока (преко коефицијента којим се множи брзинска висина). Динамичка једначина се користи у ситуацијама са прелазним режимом течења, на којима се јавља хидраулички скок, као и при прорачуну течења у зони мостова и ушћа. Могуће је моделирање различитих врста хидротехничких објеката

у кориту реке. Модел хидрауличког прорачуна рачуна енергетске губитке на мостовима, пропустима и другим објектима, и то на три дела: на потезу тока непосредно низводно, у зони самог објекта (применом више метода) и непосредно узводно од објекта.

Основни потребни подаци за хидрауличке прорачуне су:

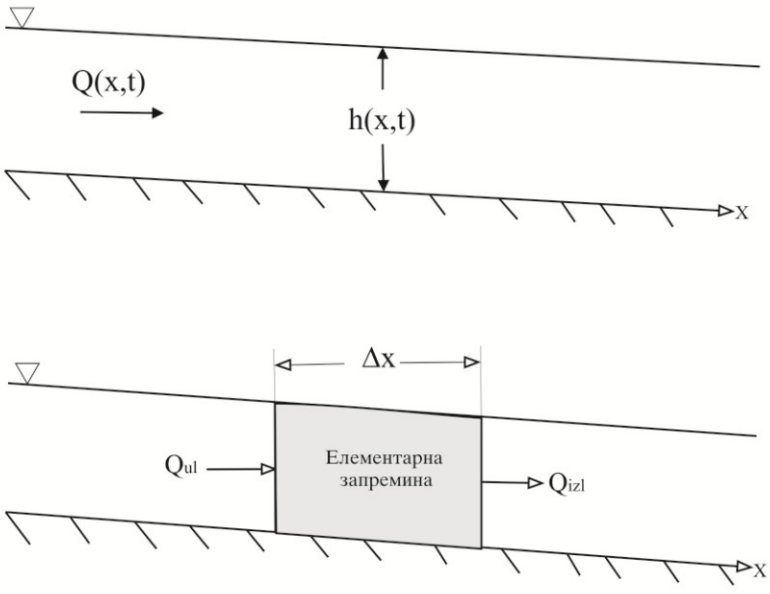
- геометрија речног корита и инундација,
- геометрија и хидрауличке карактеристике објеката у кориту и ван њега (мостова, пропуста, преграда, бочних прелива),
- отпори течењу у речном току и инундацијама (првенствено изражени преко Манинговог коефицијента отпора) и локални губици услед непризматичности речног тока,
- гранични услови у виду хидрограма и нивограма,
- протоци.

3.2.1 Основне једначине

Неустаљено линијско течење у отвореним токовима описују једначине Saint-Venant-а:

- једначина континуитета (закон о одржању масе),
- динамичка једначина (закон о одржању количине кретања).

Ови закони су математички изражени у форми парцијалних диференцијалних једначина, при чему се посматра елементарна запремина воде која је дата на Слици 3.1.



Слика 3.1 Шематски приказ тока

где је:

Q (x,t)	– проток воде
Q_{ul}	– улазни проток у елементарну запремину
Q_{izl}	– излазни проток из елементарне запремине
x	– подужна координата
t	– временски тренутак
h (x,t)	– дубина воде

Коначан облик једначине континуитета у диференцијалном облику је:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B\frac{\partial Z}{\partial t} + q = 0$$

где је:

Q	– проток воде
Z	– кота нивоа воде
B	– ширина воденог огледала
q	– бочни доток у елементарну запремину по јединици дужине

Динамичка једначина базирана је на другом Newton-овом закону који се односи на елементарну запремину. Коначан облик динамичке једначине у диференцијалном облику гласи:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right) + g \cdot A \cdot \frac{\partial Z}{\partial x} + g \cdot A \cdot I_e = 0$$

где је:

Q	– проток воде
Z	– кота нивоа воде
A	– површина протицајног профила
I_e	– нагиб линије енергије
g	– гравитационо убрзање

Нагиб линије енергије дефинисан је Манинговом формулом:

$$I_e = \frac{n^2 \cdot Q \cdot |Q|}{A^2 \cdot R^{4/3}}$$

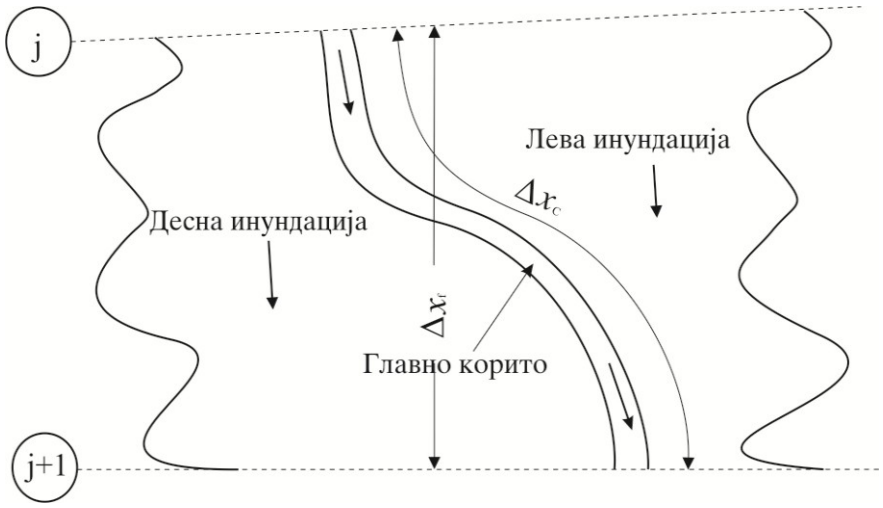
n	– Манингов коефицијент трења
R	– хидраулички радијус

Рачунска процедура решавања парцијалних диференцијалних једначина је заснована на одређивању зависно променљиве Z и Q у унапред дефинисаним тачкама простора x и времена t. На основу вредности ових променљивих рачунају се вредности осталих хидрауличких величина. За решавање ових једначина неопходно је задати почетне и граничне услове. Нумерички модел програма HEC-RAS је заснован на методи коначних разлика. Овом методом се врши апроксимација Saint-Venant-ових једначина у простору и у времену.

3.2.2 Течење по сложеном речном току

Река Колубара и њене притоке имају карактеристике бујичних водотокова у горњем делу слива и равничарских река у нижем делу. При појави великих вода долази до изливања воде из основног корита и плављења инундационог простора. Овај сложен природни процес је потребно поједноставити због природе линијског хидрауличког модела. На Слици 3.2 дата је шема деонице сложеног корита између два профила, где су приказане дводимензионалне карактеристике течења кроз основно корито и течења великих вода преко инундационог простора. Уочавају се доминантни правци кретање масе воде:

- течења само у главном кориту,
- течења ван главног корита по инундацијама.



Слика 3.2 Шематски приказ деонице сложеног корита

где је:

ΔX_c – растојање између профила по току

ΔX_f – праволинијско растојање између профила

При великим водама долази до интензивног течења из главног корита у инундације и обрнуто. Како је ово веома сложен проблем, он се при употреби линијског једнодимензионалног модела поједностављује коришћењем следеће једначине:

$$Q_c = \phi Q$$

$$\phi = \frac{K_c}{K_c + K_i}$$

где је:

Q_c – проток воде главног корита

Q – укупни проток воде

K_c – модул протока главног корита

K_i – модул протока инундација

3.2.3 Моделирање хидротехничких објеката

Уз помоћ програма HEC-RAS, као што је већ речено, могућа су моделирања различитих врста хидротехничких објеката у кориту и изван корита реке. Модел хидрауличког прорачуна рачуна енергетске губитке на објектима, и то: на потезу тока непосредно низводно, у зони самог објекта (применом више метода) и непосредно узводно од објекта. У оквиру програма подржани су случајеви течења са слободном површином, течења делимично под притиском, течења под притиском, као и случај преливања преко објекта. Такође, у оквиру модела је дозвољено поставити више објеката у истом попречном профилу (мост и више пропуста у насипу пута). Могуће је и моделирање бочних прелива. У хидрауличком смислу, прорачуни су исти као за класичне преливе у речном кориту, уз различито дефинисање горње воде и параметара прелива.

3.2.4 Дефинисање граничних услова хидрауличког модела

Могуће су две врсте граничних услова и то:

- спољашњи гранични услов,
- унутрашњи гранични услов.

Спољашњи гранични услови се дефинишу на профилима на узводном и низводном крају рачунске деонице. На узводном крају се као гранични услов може задати хидрограм или нивограм, а на низводном крају хидрограм, нивограм или крива протока као и нормална дубина добијена из Chezy-Manning-ове једначине.

Унутрашњи гранични услови се задају на профилима где постоји промена у течењу (ушће, брана, бочни прелив итд). Дефинишу се помоћу једначине одржања масе и једначине одржања енергије устаљеног течења (Bernoulli-јева једначина).

3.3 Приказ и анализа расположивих подлога

3.3.1 Дигитални модел терена

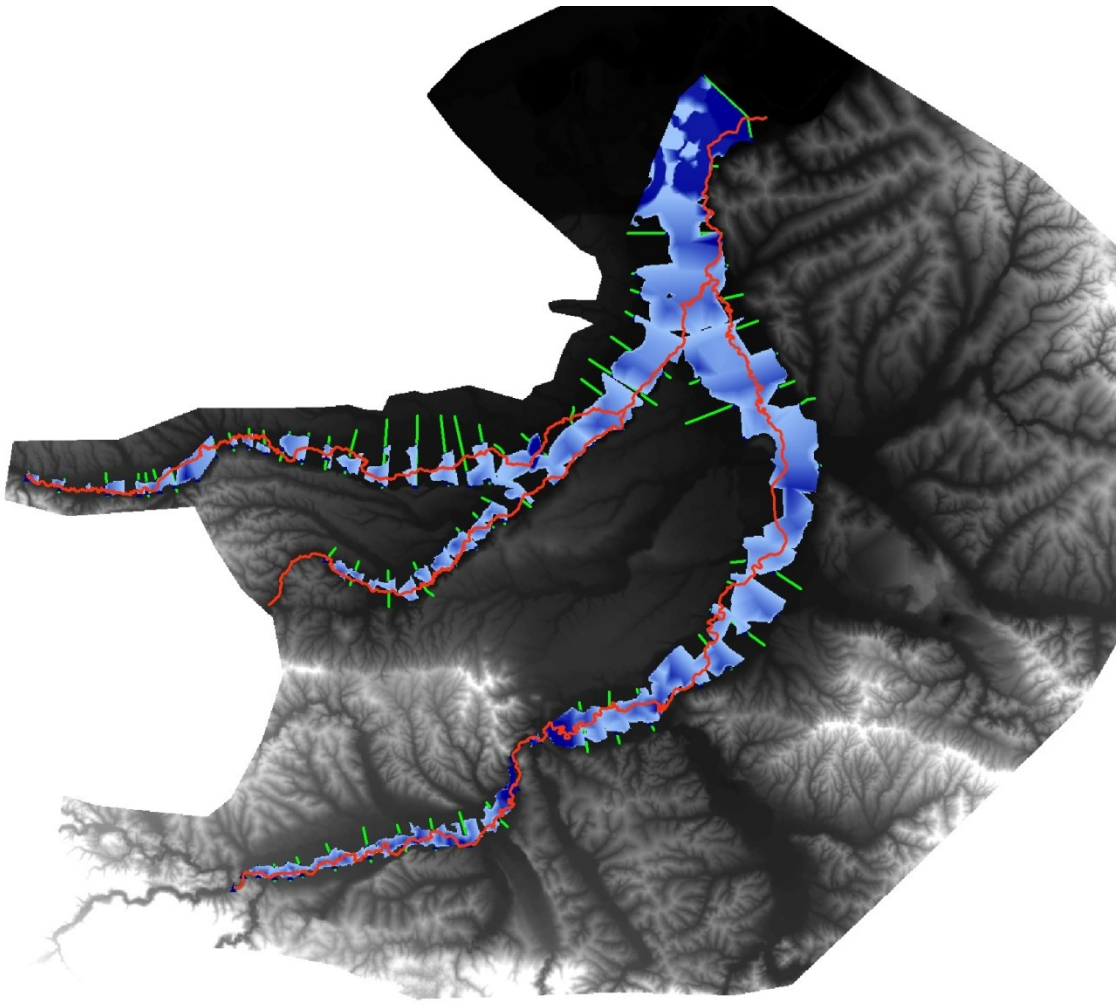
Основни дигитални модел терена (ДМТ) добијен је од ЈВП "Србијаводе" у TIN (triangulated irregular network) и растерском облику. Основна подлога за креирање модела су дигитализоване изохипсе са топографских карата размере 1:25000. Сам модел је настао само „простим" процесирањем линија изохипси и везивањем у један модел. Због мале густине података (број и распоред линија изохипси) добијен је модел који не презентира добро зоне између линија изохипси. Очигледно, није извршена ни једна контрола и корекција „грубог" модела.

Услед начина и извора настанка, у моделу не постоје корита река, канали, депресије... Не постоје ни линијски објекти инфраструктуре (путеви, пруге…).

Констатује се да је модел терена у TIN облику неодговарајуће тачности, док је модел у растерском облику потпуно неупотребљив. У даљем тексту дат је коментар модела у TIN облику.

Примена добијених модела за формирање хидруличких модела и приказ резултата није могућа без корекције из следећих разлога:

1. Недовољна висинска тачност. Добијени ДМТ нема довољну тачност у „равничарским" зонама односно долинама река. Наиме, најмања еквидистанца код поменутих карата је 2,5 m и то само на појединим местима, па све промене терена мање од 2,5 m (чак и 5 m) не постоје у моделу;
2. Нетачан приказ речне долине. Како у долинама река постоји информација само о изохипсама, генерисањем ДМТ-а су спојене изохипсе са различитих страна долине и тиме добијене „равне плоче", што није реално. Због тога, често је прелаз са једног нивоа на други (изохипсе различитих висина, разлике 5-10 m) каскадног облика. Дешава се да се, у смеру течења ка низводном нижем делу, грешком појави виша низводна изохипса у односу на узводну нижу па је долина у контра паду;
3. Нетачан приказ положаја речног корита. Не постоје висински подаци о положају корита река. Логично би корита река требало да буду у приближно најнижој зони долине. У садашњем ДМТ-а речна корита се често налазе на вишим зонама, чак и на косинама речне долине, кад се корито реке налази непосредно уз високи терен (пример је дат на Слици 3.3).



Слика 3.3 ДМТ долина Колубаре, Тамнаве и Уба са плавним зонама

Да би се модел користио за формирање хидрауличких модела и приказ резултата потребно је да се изврши корекција у зонама где ће се вршити хидраулички прорачун.

Битно је да се на самом почетку утврди у ком координатном систему и којом пројекцијом ће се радити – локалном или светском. С обзиром на то да су наше топографске карте урађене у Гаус-Кригеровој (Transverse Mercator) пројекцији (у Hermannskogel датуму који користи елипсоид Bessel 1841), сви доступни подаци од дигиталном моделу терена биће конвертовани у овај координатни систем.

Током израде студије добијаће се подаци са различитим пројекцијама. Зато је неопходно утврдити параметре трансформације на државни координатни систем. На више места постоје различити „глобални" параметри трансформације за наше подручје – потребно је утврдити који су најпрецизнији. Овај део је посебно битан када се буду користили алтернативни модели терена који су у WGS84 пројекцији.

За потребе израде хидрауличких модела у зонама речних долина потребно је извршити корекцију ДМТ-а која подразумева дефинисање:

- тачног положаја речних корита (јасно дефинисана хидрографска мрежа),
- што тачније висинске представе речних долина и корита, посебно обала дуж тока.

На тај начин, на основу положаја и карактеристичних висинских координата дуж тока, могу се формирати „3Д" структурне линије реке (обала). Таквим линијама врши корекција долина из основног модела тако што се крајње изохипсе долине спајају са

структурном линијом тока, па се може добити долина у облику левка са коритом реке у нижој зони. Овај ниво корекције не даје у потпуности верну слику о речној долини, али може бити оперативан за потребе израде хидрауличких модела и приказ резултата. Евентуална даља корекција је итеративног карактера и ради се на локалном нивоу, од места до места где модел терена нема задовољавајућу тачност.

Речна корита могу бити је интегрисати у ДМТ али није неопходно са аспекта формирања хидрауличких модела.

Додатна корекција модела на поменутом подручју могућа је ако се поседују структурне линије постојеће инфраструктуре – путеви и пруге, као и информације о другим објектима, посебно објектима из система за заштиту од поплава. Интеграцијом ових објеката у ДМТ би се добила још боља подлога.

Одређен ниво корекције је могућ подацима којима располаже Институт, а то су:

- дефинисана хидрографска мрежа;
- снимљени попречни профили водотокова у сливу Колубаре – профили основног корита и долински профили из расположиве постојеће документације;
- снимљени попречни профили за потребу израде Студије - у току је или су већ извршена нова снимања корита на местима где недостају подаци или је потребна контрола. Циљ је да се водотокови у зонама где ће се формирати хидраулички модели покрију попречним профилима на просечном растојању око 500 m;
- терен дуж трасе аутопута на коридору 11;
- снимљена мрежа путева у зонама неких снимања;
- дигитални модел терена долине Тамнаве и Уба преузет из друге документација (модел није добре тачности, али постоје зоне које су настале дигитализацијом расположивих карата размере 1:5000),
- постојећи насипи на Колубари и притокама - у току су снимања тела насипа и ти подаци ће бити доступни.

3.3.2 Морфолошке подлоге

За развој хидрауличких модела су неопходне топографске карте и попречни профили корита.

Основне топографске карте су размере 1:25.000 за цео слив Колубаре. Ове карте су израђене у периоду 1976-1992. године и нису у потпуности ажурне, посебно у погледу положаја речног корита и инфраструктуре, нарочито у близини колубарских рудника угља. Због сложености динамичке промене корита (просецање нових канала, наизменични спрудови, ерозија обала, итд.), разлика између ситуације приказане на карти и тренутно стање може бити велика, посебно на доњем току Колубаре.

Стање речних корита се ажурира на основу новијих геодетских снимања корита, као и расположивих дигиталних ортофото снимака.

Хидрауличко моделирање ће бити изведено на студијском нивоу, што значи да ће се модели река заснивати на профилима на просечном растојању од 500 m. Укупна дужина водотока које треба моделирати је 410,7 km.

Према извору података, попречни профили корита река се могу поделити на три категорије:

- попречни профили из расположиве техничке документације за потребе уређења Колубаре и притока, као и друге расположиве документације (пројекти аутопута на коридору 11…)

- попречни профили из документације настале након поплаве у мају 2014. године;
- нови попречни профили који се снимају за потребе израде ове Студије.

Без обзира у ком периоду да је снимање рађено, попречни профили основног корита снимљени су приближно управно на ток реке, до горње ивице обала.

За развој хидрауличких модела неопходни су и топографски подаци за подручје речне долине, између основног корита и насипа/високог терена, на левој и десној обали. Ново геодетско снимање ових површина није предвиђено у оквиру ове Студије. За потребе ове Студије, подаци о речним долинама ће бити дефинисани на основу расположивог дигиталног модела терена 1:25.000.

3.3.2.1 Подаци из постојеће техничке документације

Извршиоцу је омогућно да користити све расположиве податке из пројеката који су израђени за ЈВП "Србијаводе", ЈВП "Београдводе", за потребе уређења Колубаре и притока, као и податке из пројеката који су израђени за подручје колубарског рударског басена угља. Према Пројектном задатку, сви подаци из расположиве документације су уступљени Институту, укључујући и попречне профиле речних корита:

- Осматрања, мерења и анализе утицаја успора Дунава на приобаље изазваних експлоатацијом ХЕПС "Ђердап 1" и "Ђердап 2", Програм IIIа, "Ђердап 1": Морфолошке промене корита у акумулацији у периоду 1976-2014. година, "Ђердап 2": Морфолошке промене корита у акумулацији у периоду 1985-2014. Година, Институт за водопривреду "Јарослав Черни", 2015;
- Идејни главни пројекат уређења Колубаре на сектору од ушћа Марице (km 12+000) до ушћа Турије (km 27+500), Институт за водопривреду "Јарослав Черни", 2010-2013;
- Израда првог нацрта Плана управљања ризиком од поплава у сливу реке Тамнаве у Србији, Институт за водопривреду "Јарослав Черни", 2010-2013;
- Истраживање и анализе за развој и унапређење заштите насеља Уб од великих вода река Уб и Грачице (систем Уб-Грачица-Тамнава);
- Идејни пројекат регулације реке Тамнаве од km 13+700 до km 19+364; Тесеко, 2007;
- Главни пројекат регулације реке Тамнаве од km 13+700 до km 19+364, Тесеко, 2008;
- Генерални пројекат уређења речног корита реке Колубаре од Словца до Ваљева, Ехтинг, 2007;
- Генерални пројекат уређења речног корита реке Колубаре од моста на путу за Пепељевац до Словца, Институт за водопривреду "Јарослав Черни", 2004;
- Више пројеката уређења Колубаре и притока у зони копова Копови;
- Мониторинг морфолошких промена у кориту реке Колубаре током испумпавања воде из површинског копа "Тамнава-Западно поље";
- Главни пројекат аутопута Е – 763, Београд – Јужни Јадран.

3.3.2.2 Подаци из документације након поплаве у мају 2014. године

Такође, Институт је у име ЈВП "Србијаводе" после поплаве у мају 2014. извршио низ теренских геодетских радова у сливу Колубаре, који су приказани у оквиру елабората "Хитни теренски геодетски радови у сливу Колубаре". Снимљени су трагови поплаве дуж река и долински профили. Од јуна до септембра 2014. извршена су геодетска снимања на Колубари, Тамнави, Убу, Грачици, Обници и Враничини, а крајем 2014. и почетком 2015. на десним притокама: Бањевачкој реци, Барајевској реци, Бељаници, Турији, Лукавици, Љигу, Топлици, Рибници и Лепеници. Снимљено је укупно 144

попречних профила. У даљем тексту је дат кратак извод радова, према поменутој документацији (стационаже су преузете из документације).

Река Колубара:

- од ушћа у Саву (km 0+000) до ушћа Враничине (km 38+300) - снимљено 12 долинских попречних профила, дужине 4,0-5,0 km, на међусобном растојању око 2,0 km. У време снимања долинских профила, геодетски су дефинисани положај и кота свих видљивих трагова велике воде у време поплаве на анализираном простору. На посматраном потезу Колубаре од ушћа до Скобаља дужине око 38 km снимљено су и 3 моста;
- од ушћа Враничине (km 38+300) до ушћа Топлице (km 67+530) - снимљени трагови великих вода, 10 долинских профила на међусобном растојању око 2,0-3,0 km и 6 мостова;
- од ушћа Топлице (km 67+530) до састава Обнице и Јабланице у Ваљеву (km 96+835) - снимљени трагови великих вода, 9 долинских профила (дужина профила 1-2 km), на међусобном растојању око 2,0 km, и 23 моста.

Леве притоке Колубаре:

- Тамнава: на регулисаном делу од ушћа у Колубару (km 0+000) до моста за Таково (km 20+860) - снимљени трагови великих вода, 8 долинских профила, дужине око 3,0 km, на међусобном растојању око 2 km и 5 мостова;
- Тамнава: од моста за Таково (km 20+860) до Каменице (km 61+930) - снимљени трагови великих вода, 23 долинска профила на међусобном растојању око 1-2 km и 13 мостова;
- Уб, десна притока Тамнаве: од ушћа до новог моста у насељу Уб (km 9+445) и узводно до моста преко реке Уб на путу за Памбуковицу (km 12+400) снимљени су трагови великих вода дуж долине реке Уб, 5 долинских профила и 6 мостова. Од моста на путу за Памбуковицу (km 12+400) до Памбуковице (km 27+915) снимљени су трагови великих вода дуж тока реке Уб, 7 долинских профила и 7 мостова;
- Грачица, десна притока Тамнаве: низводно од km 6+900 долински профили су снимани у склопу геодетских радова на Тамнави и Убу (снимљено је 3 профила), а од km 7+120 до моста у Трлићу (km 17+565) снимљено је још 5 долинских профила и 3 моста;
- Враничина: дуж тока снимљена 3 долинска профила дужине 500-1000 m, на међусобном растојању око 2000 m и 4 моста.
- Обница: од састава са Јабланицом (km 0+000) до km 1+975 снимљени трагови великих вода, 4 долинска профила, дужине 200-300 m, на међусобном растојању око 500 m и 3 моста.

Десне притоке Колубаре:

- Турија: од ушћа до Венчана снимљено 10 долинских профила дужине 600-1500 m, на међусобном растојању око 1500-2000 m и 12 мостова.
- Бељаница, десна притока Турије: од ушћа до Бељине снимљено 5 долинских профила дужине 500-1000 m, на међусобном растојању око 2000 m и 5 мостова.
- Барајевска река, десна притка Бељанице: од ушћа у Бељаницу до ушћа Дубоког потока снимљено 6 долинских профила дужине око 500 m, на међусобном растојању око 1500-2000 m и 7 мостова.
- Бањевачка река, десна притока Барајевске реке: од ушћа до Гунцата снимљена 4 долинска профила дужине 300-400 m, на међусобном растојању око 1000-1500 m и 6 мостова.
- Лукавица: од ушћа до Лазаревца снимљена су 4 долинска профила дужине око 500 m, на међусобном растојању 1000-1500 m и 16 мостова.

- Љиг: од ушћа до Љига снимљено је 12 долинских профила дужине 300-2000 m, на међусобном растојању око 2000 m и 3 моста.
- Топлица: од ушћа до насеља Врујци снимљено 9 долинских профила дужине око 500 m, на међусобном растојању око 1500-2500 m и 22 моста.
- Рибница: узводно од ушћа снимљено је 5 долинских профила дужине око 800 m, на међусобном растојању 1000-1500 m и 3 моста.
- Лепеница: узводно од ушћа снимљена су 2 долинска профила дужине 500 m и 4 моста.

Поред геодетских снимања попречних профила корита водотокова и трагова велике воде из маја 2014. године, преузети су и подаци из елабората изведених објеката након санационих радова на регулисаним деоницама водотокова, и то:

- река Колубара, град Ваљево: регулисано корито код сточне пијаце;
- река Колубара, град Ваљево: регулисано корито од моста код парка „Јадар" до краја регулисане деонице;
- река Тамнава, град Уб: регулисано корито од ушћа Уба до Ћемановог моста;
- река Уб, град Уб: регулисано корито од ушћа до Шарбана;
- река Уб, град Уб: регулисано корито узводно од Шарбана;
- река Уб, град Уб: регулисано корито кроз насеље Уб;
- река Љиг, град Љиг: регулисано корито кроз Љиг;
- река Топлица, насеље Врујци: регулисано корито кроз Врујце;
- река Рибница, насеље Мионица: регулисано корито кроз Мионицу.

Током израде елабората "Експертиза поплавног догађаја из 2014. године са концепцијом техничког решења хитних радова на заштити Ваљева од великих вода Колубаре" (Институ за водопривреду "Јарослав Черни", 2015.) извршена су геодетска снимања корита и пробаља Колубаре, Овнице и Јабланице за потребе реконструкције поплавног догађаја и потребе санација на регулисаним деоницама у Ваљеву. На Колубари је снимљено корито од сточне пијаце на низводном крају до споја Јабланице и Обнице на узводном крају. Корито Обнице је снимљено од ушћа до око km 2 тока. На Јабланици је снимљено корито од ушћа, кроз насеље Седларе, на дужини око 1,3 m. И ови подаци су доступни Извршиоцу.

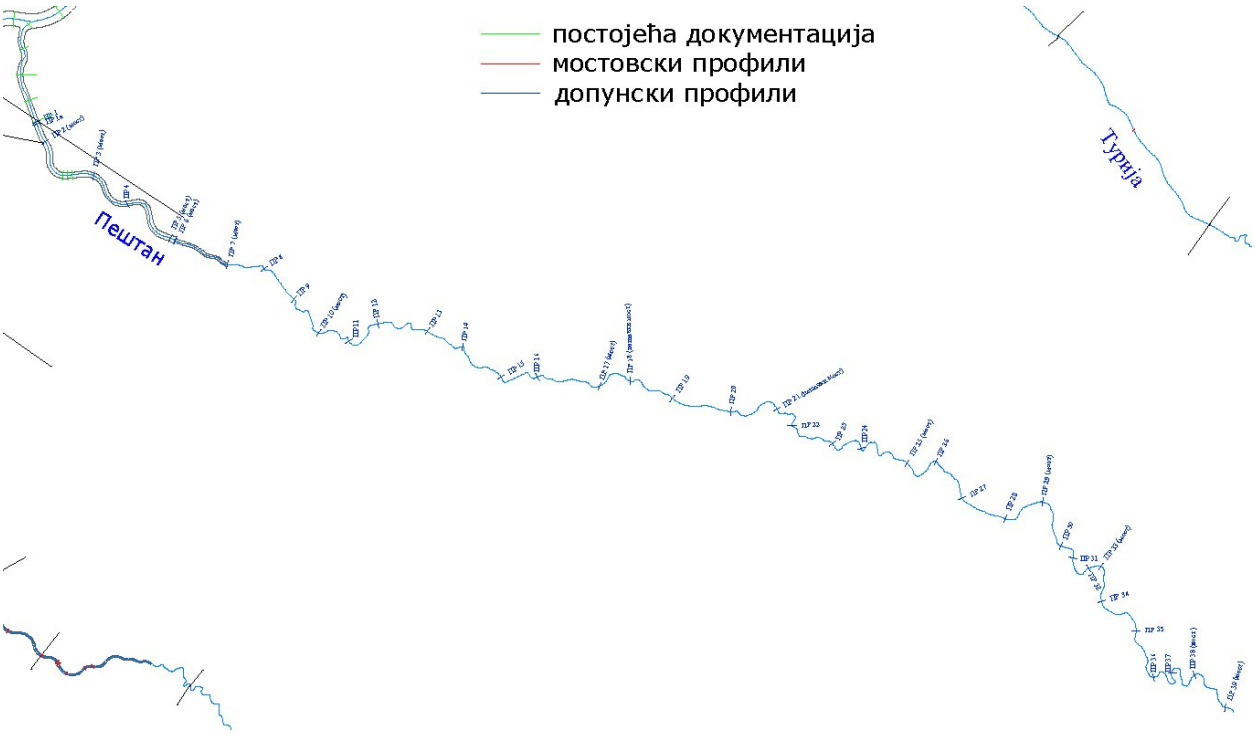
Неки подаци о извршеном снимању након санационих радова нису георефернцирани па су потребна додатна контролна снимања корита, посебно на реци Уб, Топлици и Рибници.

3.3.2.3 Допунска геодетска снимања за потребе Студије

Како неки потези водотокова у сливу Колубаре нису били покривени довољним бројем попречних профила за формирање квалитетног хидрауличког модела, а на неким деоницама је била потребна контрола претходно извршених снимања, у оквиру израде ове Студије урађена су допунска геодетска снимања Колубаре и притока, са циљем да се обезбеде попречни профили на међусобном растојању око 500 m.

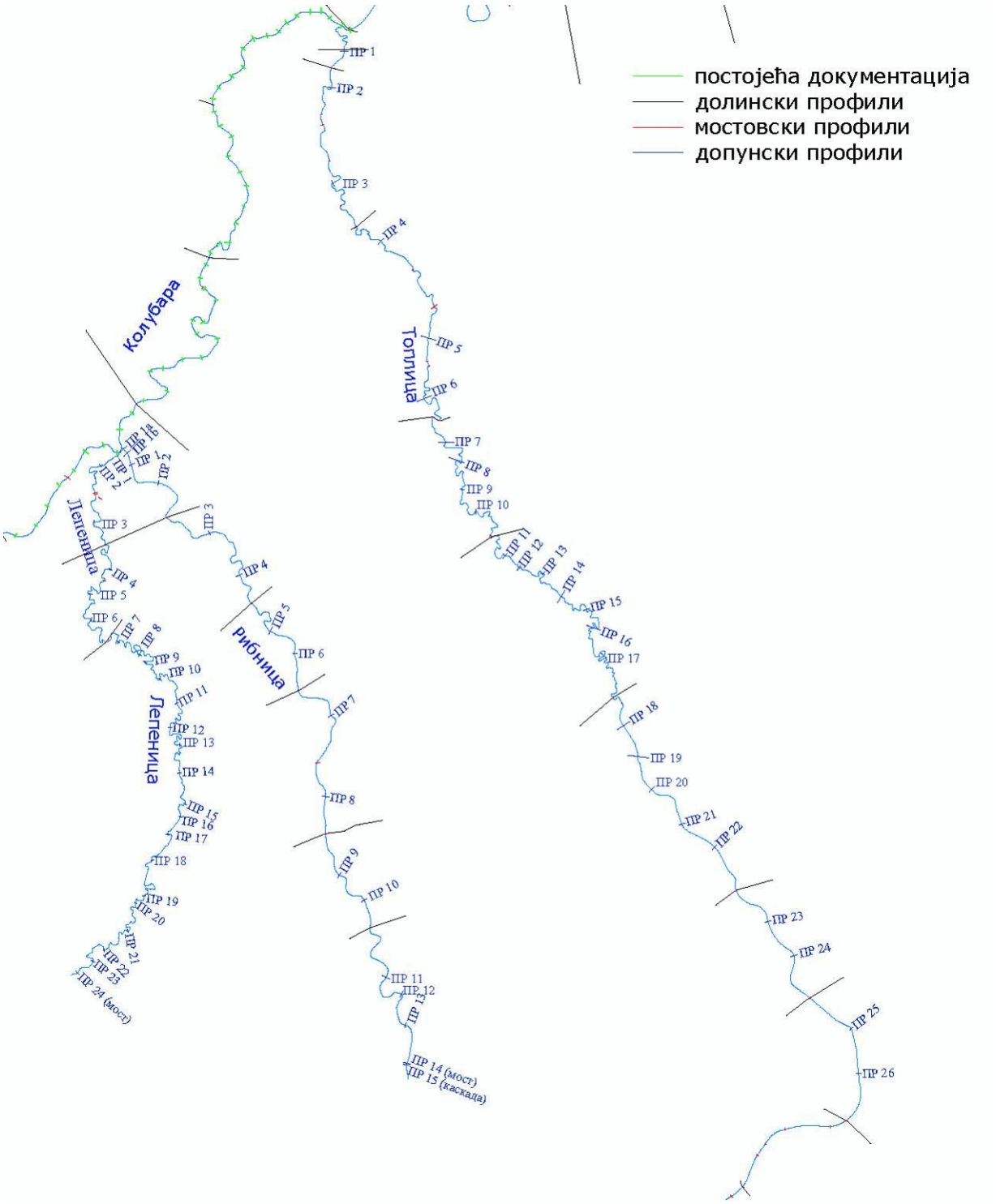
До тренутка писања овог Извештаја завршена су допунска геодетска снимања на рекама Пештан, Топлици, Рибници, Лепеници, Колубари, Тамнави и Убу. У току су допунска снимања попречних профила на Љигу, а после чега ће се обавити и допунска снимања на Баћевачкој реци, Барајевској реци, Бељаници, Турији и Лукавици.

Крајем јула и почетком августа снимљено је 40 попречних профила реке **Пештан**, на међусобном растојању око 500 m, на деоници од ушћа у Колубару до друмског моста у Рудовцу, дужине око 18,5 km. При томе је снимљено 13 мостова преко основног корита Пештана.



Слика 3.4 Пештан - попречни профили

Током септембра снимљени су допунски попречни профили **Топлице, Рибнице и Лепенице**, тако да су са постојећим профилима (из постојеће документације) на просечном растојању од 500 m. На Топлици, од ушћа до места Врујци (деоница дужине око 20 km) снимљено је 26 допунских профила основног корита. На Рибници, од ушћа до Мионице и узводно (деоница дужине око 10,5 km) снимљено је 17 допунских профила основног корита, при томе један мостовски. На Лепеници, на деоници од ушћа до km 12,2 снимљено је 24 допунских профила основног корита, при томе два мостовска.



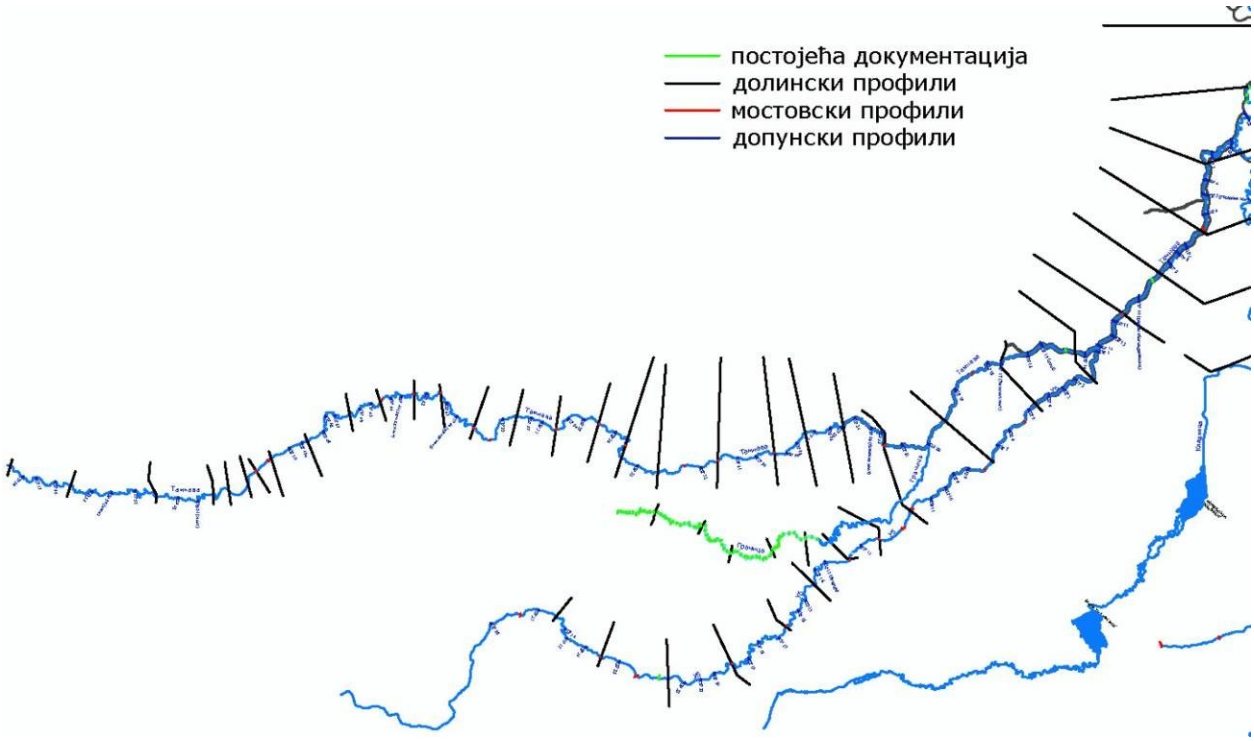
Слика 3.5 Топлица, Рибница и Лепеница - попречни профили

Крајем септембра месеца снимљено је 38 допунских профила на **Колубари**, и то на следећим деоницама:

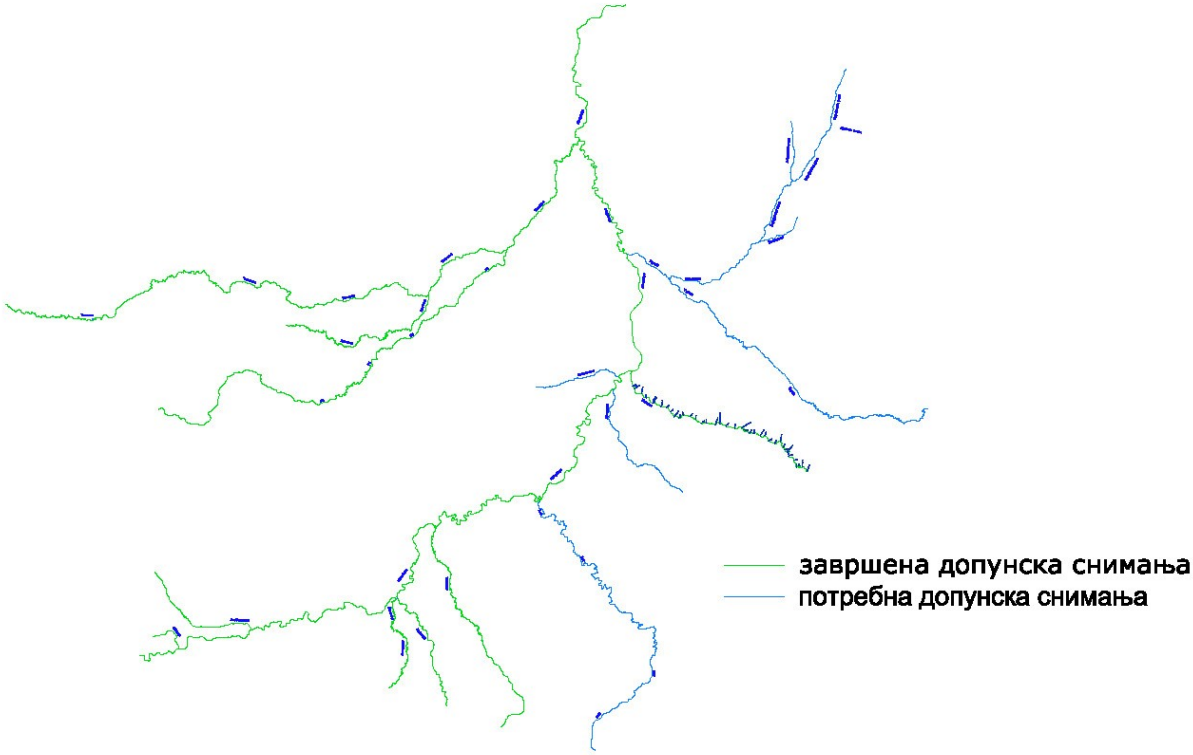
- од ушћа у Саву до ушћа Тамнаве - 14 профила,
- од ушћа Туриje до копова РБ Колубара - 4 профила,
- од ушћа Враничине до Словца - 20 профила.

Крајем септембра и почетком октобра снимљено је 59 допунских профила на **Тамнави**, од ушћа у Колубару до Каменице. Снимање профила је извршено на деоницама на којим недостају попречни профили, као и ради контроле неких профила.

У истом периоду снимљено је 28 допунских профила **Уба** од ушћа у Тамнаву до Памбуковице.



Слика 3.6 Тамнава и Уб - попречни профили



Слика 3.7 Приказ извршених допунских снимања попречних профила

3.3.3 Подаци о објектима из система за заштиту од поплава и другим објектима дуж водотокова

Сви релевантни објекти који се налазе на посматраном подручју биће интегрисани у хидраулички модел.

Карактеристике објеката за одбрану од поплава, на основу расположиве техничке документације, дате су у поглављу 4. Ради контроле се врши снимање нивелета круна насипа, које је и завршено на Колубари низводно од копова РБ Колубара и делимично Тамнави. На мањим водотоцима су насипи непосредно уз корито, тако да се снимају заједно са попречним профилом основног корита.

Снимљени су сви мостови на Колубари и притокама, без обзира на величину, укључујући положај и стање конструкције, карактеристике конструкције као доњу ивицу конструкције, горњу ивицу конструкције, ширину мостовских отвора, положај опораца на обалама, као и положај и димензије мостовских стубова у кориту.

3.4 Карактеристике модела и интеракција са хидролошким моделом

3.4.1 Декомпозиција модела по водотоковима

У моделу се формирају карактеристичне деонице водотокова, у зависности од више фактора који утичу на функционисање модела и тачност прорачуна, првенствено промене течења у квантитативном и квалитативном смислу.

Границе деоница су дефинисане на више нивоа, и то:

- ниво 1 - на ушћима притока;
- ниво 2 - на званичним хидролошким станицама;
- ниво 3 - на границама између неуређених и регулисаних деоница;
- ниво 4 - на местима на којима је дошло до пробоја/преливања насипа;
- ниво 5 - на осталим местима која су битна за тачност прорачуна.

Хидраулички модел има дефинисане чворове на местима ушћа значајних притока:

- на Колубари су то ушћа: Тамнаве, Турије, Пештана, Враничине, Лукавице, Љига, Топлице, Рибнице, Лепенице, Љубостиње, Јабланице и Обнице;
- на Тамнави: Уба и Грачице;
- на Турији: Бељанице;
- на Бељаници: Барајевске реке;
- на Барајевској реци: Бањевачке реке.

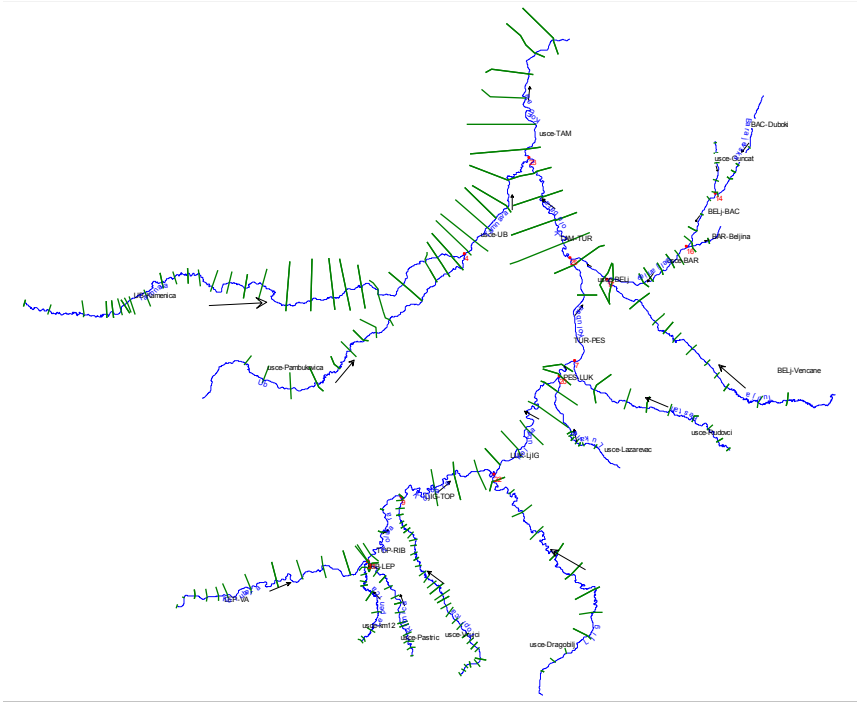
Основне деонице (ниво 1) имају називе типа од-до, према именима притока или карактеристичном месту, на пример:

- Колубара: usce-TAM, TAM-TUR, TUR-PES, PES-VRA, VRA-LUK, LUK-LjIG, LjIG-TOP, TOP-RIB, RIB-LEP, LEP-LjUB, LjUB-VA;
- Тамнава: usce-UB, UB-Kamenica;
- Уб: usce-Pambukovica;
- Турија: usce-BELj, BELj-Vencane;
- Бељаница: usce-BAR, BAR-Beljina;
- Барајевска река: usce-BAC, BAC-Duboki;
- Бањевачка река: usce-Guncat;

- Пештан: usce-Rudovci;
- Враничина: usce-Jabucje;
- Лукавица: usce-Lazarevac;
- Љиг: usce-Dragobilj;
- Топлица: usce-Vrujci;
- Рибница: usce-Pastric;
- Лепеница: usce-km12;
- Љубостиња: usce-Radjevo;
- Јабланица: usce-Sedlare;
- Обница: usce-km2.

Пример хидрографске мреже у програму HEC-RAS дат је на слици 3.8.

Хидролошке станице (ниво 2) дефинишу се на попречним профилима на местима или непосредно уз станице. Такође, и остали објекти (нивои 3 и више) дефинишу се преко геометријских параметара у оквиру основних деоница.



Слика 3.8 Хидрографска мрежа водотокова, геометријски део програма HEC-RAS

Према својим морфолошким и хидролошким особинама, хидраулички модел(и) постојећег стања и модели будућег стања (са предложеним решењима уређења) се разликују и биће суштински независни модели.

3.4.1.1 Постојеће стање водотокова и реконструкција таласа из маја 2014. године

Постојеће стање водотокова, посебно за случај појаве таласа великих вода на Колубари и притокама у мају 2014. године, описује се јединственим моделом мреже водотокова. Циљ је да се на што вернији начин прикаже процес појаве и проласка таласа кроз дефинисано подручје интегралним моделом који у себи садржи потребне елементе:

- реку Колубару од ушћа у Саву до Ваљева,
- важне притоке Колубаре,

- објекте за одбрану од полава дуж водотокова који су били или нису били у функцији током поплава,
- инфраструктурне објекте који су утицали на течење великих вода долинама река,
- остале објекте од важности.

Мрежа водотокова садржи реке које се спајају у чворовима ушћа притока у реципијент. На так начин се утицај реципијента на притоку и обрнуто може аутоматски дефинисати. Хидраулички прорачуни се обављају јединствено, а симулира се цео догађај на посматраном подручју.

Уколико, због комплексности проблема, није могуће формирати јединствени хидраулички модел Колубаре са притокама, формираће се један модел реке Колубаре од ушћа до Ваљева и посебни модели за сваку притоку од споја са реципијентом до узводне границе. Утицаји и гранични услови се у том случају дефинишу ручно на позицијама чворова-ушћа.

3.4.1.2 Стање водотока са предложеним решењима уређења

Хидраулички модели за предложена решења уређења водотока биће формирани на основу свих промена која се предвиђају и обухватиће:

- промене на узводном делу слива (изградња ретензија и/или акумулација) којима се редукује пик таласа великих вода,
- промене на посматраном делу (регулација корита, бочне ретензије, изградња насипа и формирање затворене касете...) које утичу на режим течења,
- промене низводно које могу утицати на посматрану деоницу.

3.4.2 Интеракција са хидролошким моделом и гранични услови

Хидрауличким моделима обухваћене су зоне водотокова у нижим деловима сливова, односно у долинама река у којима може доћи до значајнијег изливања великих вода.

Основни подаци за прорачуне неустаљеног течења у оквиру хидрауличких модела се могу поделити на две групе:

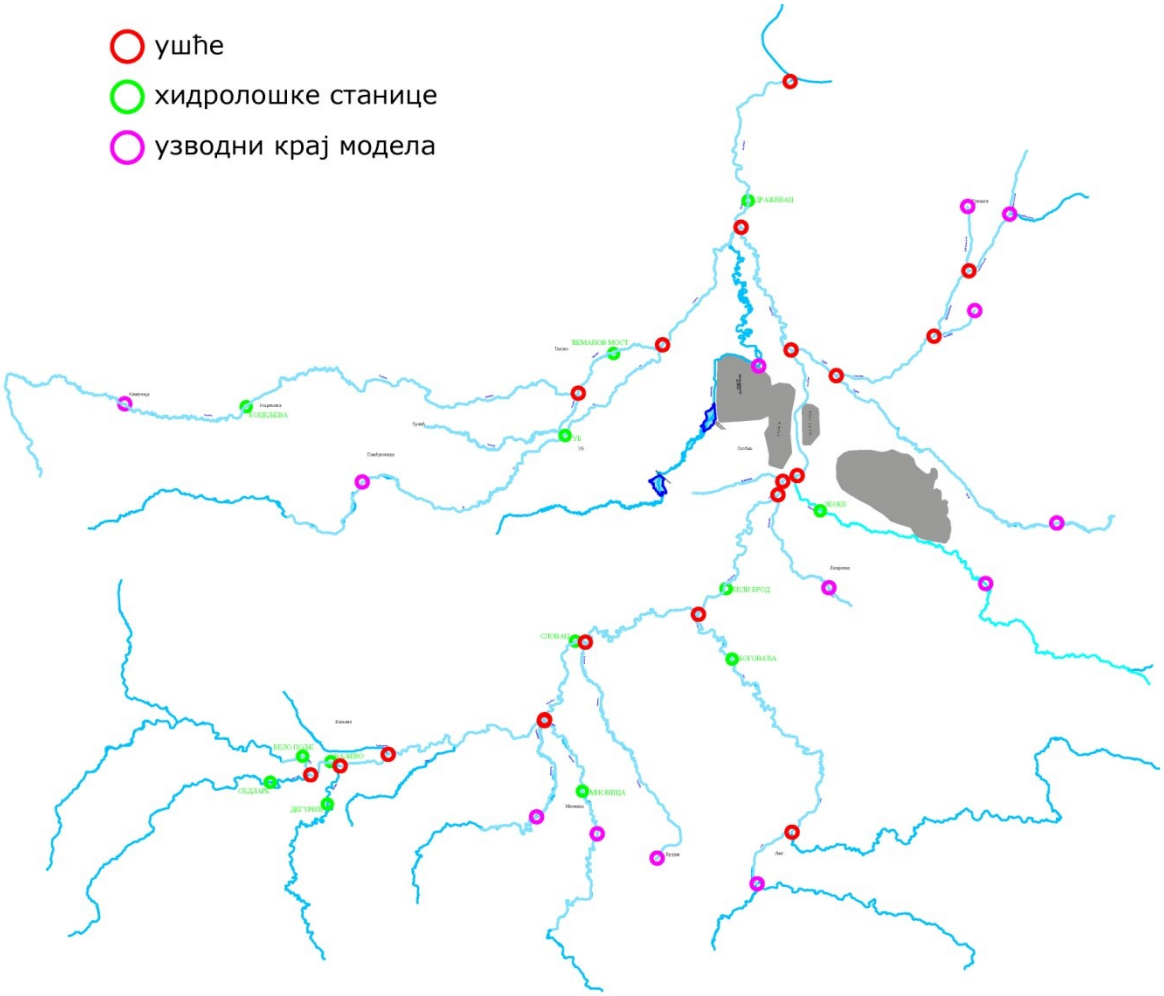
- улазни подаци који се добијају хидролошких моделирањем;
- контролни подаци настали снимањем на карактеристичним местима (хидролошке станице РХМЗ, трагови великих вода).

Гранични и унутрашњи услови дефинишу се рачунским и/или осмотреним хидрограмима и нивограмима на битним локацијама - границама рачунских деоница, првенствено ушћима и другим местима где долази до промене течења. У наредној табели дат је списак карактеристичних локација на којима се излазни подаци хидролошких модела користе као улазни услови у хидрауличким моделима, првенствено за реконструкцију поплавног таласа из маја 2014. године. Посебно су дефинисани низводни крајеви деоница модела (ушћа), хидролошке станице као контролна места и узводни крајеви модела (табела 3.1 и слика 3.9). Стационаже профила су дефинисане на основу хидрографске мреже водотокова.

У зависности од типа хидрауличког модела дефинисаће се места чворова граничних услова.

- јединствени модел Колубаре са притокама: узводни гранични услови се уносе на узводним крајевима рачунских деоница притока, а низводни гранични услов на ушћу Колубаре у Саву. Препорука је да се као узводни гранични услови користе хидрограми, а као низводни нивограм на ушћу Саве;
- посебни модели Колубаре и притока:

- река Колубара се моделира као једна деоница од ушћа у Саву до Ваљева са:
- узводним граничним условом у виду хидрограма, на споју Јабланице и Обнице,
- низводним граничним условом у виду хидрограма или нивограма, на ушћу у Саву
- унутрашњим условима на местима ушћа притока у виду хидрограма који симулирају улаз притоке у реципијент.
- притоке се моделирају као једна деоница од ушћа до узводног краја са:
- узводним граничним условом у виду хидрограма,
- низводним граничним условом у виду рачунског хидрограма из хидролошког модела или у виду рачунског нивограма из хидрауличког модела реципијента,
- унутрашњим условима на местима ушћа притока у виду хидрограма који симулирају улаз притоке у реципијент.



Слика 3.9 Локације чворова хидрауличког модела на којима се дефинишу услови прорачуна

Табела 3.1 Локације чворова хидрауличког модела на којима се дефинишу услови прорачуна

Река	Стационажа	Ушће - низводни гранични и унутрашњи чвор	Х. Станица - контролни чвор	Узводни крај модела - узводни гранични чвор
Колубара	0+000	у Саву		
	11+675		Дражевац	
	14+089	Тамнаве		
	27+872	Турије		
	37+278	Пештана		
	38+323	Враничине		
	39+914	Лукавице		
	50+500		Бели Брод	
	53+152	Љига		
	67+743	Топлице		
	68+490		Словац	
	76+296	Рибнице		
	76+358	Лепенице		
	90+801	Љубостиње		
	94+407	Градца		
	95+075		Ваљево	
	97+052			спој Обнице и Јабланице
Тамнава	0+000	у Колубару		
	11+781	Уба		
	15+522		Ћеманов мост	
	19+650	Грачице		
	50+774		Коцељева	
	62+620			Каменица
Уб	0+000	у Тамнаву		
	10+287		Уб	
	30+630			Памбуковица
Грачица	0+000	у Тамнаву		
Турија	0+000	у Колубару		
	3+668	Бељанице		
	26+900			Венчане
Бељаница	0+000	у Турију		
	7+993	Барајевске реке		
	11+440			Бељина
Барајевска	0+000	у Бељаницу		
	5+184	Баћевачке реке		
	9+940			низводно од ушћа Дубоког потока
Баћевачка	0+000	у Барајевску реку		
	4+090			Гунцат
Кладница				улаз у долину Колубаре код копова
Пештан	0+000	у Колубару		
	3+240		Зеоке	
	18+480			Рудовац
Враничина	0+000	у Колубару		
Лукавица	0+000	у Колубару		
	9+050			узводно од Лазаревца
Љиг	0+000	у Колубару		
	7+040		Боговађа	
	29+710	Качера		
	34+660			низводно од ушћа Драгобиља
Топлица	0+000	у Колубару		
	22+390			Врујци
Рибница	0+000	у Колубару		
	6+875		Мионица	
	10+500			Паштрић
Лепеница	0+000	у Колубару		
	12+170			узводни крај
Љубостиња	0+000	у Колубару		
Градац	0+000	у Колубару		
Обница	0+000	у Колубару		
	1+480		Бело Поље	
Јабланица	0+000	у Колубару		

Река	Стационажа	Ушће - низводни гранични и унутрашњи чвор	Х. Станица - контролни чвор	Узводни крај модела - узводни гранични чвор
	3+850		Седларе	
				насеље Седларе

Као што је већ речено, у хидрауличком моделу се могу поставити две врсте граничних услова и то:

- спољашњи гранични услов,
- унутрашњи гранични услов.

Спољашњи гранични услови у хидрауличком моделу неустаљеног течења задају се на најузводнијем и најнизводнијем профилу модела. На узводном крају се као гранични услов може задати хидрограм или нивограм, а на низводном крају хидрограм, нивограм или крива протока као и нормална дубина добијена.

Унутрашњи гранични услови се задају на профилима где постоји промена у течењу (ушће, брана, бочни прелив итд).

Рачунски временски корак у прорачуну неустаљеног течења првенствено зависи од улазних података, али се може дефинисат по потреби. Такође, временски корак приказа резултата се дефинише посебно.

3.5 Калибрација и верификација хидрауличких модела

Тачност резултата хидрауличког моделирања битно зависи од тога да ли је изабрани модел одговарајући за ситуацију која је предмет анализе, као и од података који се користе за припрему модела речне деонице.

Како би се неизвесности свеле на минимум, неопходна је калибрација модела односно процес којим се доказује да излазни резулатати модела одговарају осмотреним подацима.

Процес калибрације се врши тако што се мењају један или више параметара модела (најчешће Манингов коефицијент рапавости) док се не постигне задовољавајуће слагање са мереним подацима. Најчешће се упоређују рачунски са осмотреним нивоима воде.

Верификација модела је пожељан корак, који се заснива на посебном сету података. Хидраулички модел (са параметрима утврђеним у процесу калибрације) се користи за прорачун у новим условима. Уколико се потврди добро слагање резултата прорачуна и мерења у природи, сматра се да је модел спреман за коришћење.

Тек када се за више познатих услова постигне добро слагање модела и природе, хидраулички модел може да се примени на непознате услове са поверењем да ће излаз из модела добро репрезентовати физичке процесе у тим условима.

Обавезни кораци у припреми хидрауличког модела су следећи:

- припрема хидрауличког модела анализиране речне деонице;
- почетна симулација у којој се уочавају и исправљају грубе грешке у улазним подацима;
- дефинисање граничних услова;
- калибрација параметара модела за различите осмотрене историјске услове;
- верификација параметара модела или анализа осетљивости модела.

3.5.1 Калибрација модела

Уобичајено је да се отпори течењу у речном току одређују применом поступка тарирања или калибрације Манинговог коефицијента рапавости, на основу упоређења резултата прорачуна и снимљених нивоа воде на потезу прорачуна или на водомерним станицама дуж тока.

Најзначајнија хидрауличка подлога је податак о линијском отпору, који се изражава помоћу коефицијента рапавости (важи за профил) или коефицијента отпора речне деонице (важи за дужи потез водотока). Иако се појам отпора у принципу односи на услове једноликог течења, они се користе и у прорачунима устаљеног неједноликог и неустаљеног течења.

У речној хидротехници се за оцену отпора најчешће користи Манингов коефицијент рапавости (n), који је је променљива карактеристика јер зависи од протока (што је већи проток односно дубина воде, мањи је утицај рапавости оквашене контуре на ток воде, односно вредност коефицијента рапавости опада). Отпори течењу у речном току и на инундацијама, који су неопходан елеменат за прорачун енергетских губитака између рачунских профила, усвајају се на основу познатих опсега вредности отпора за различите типове и карактеристике тла, за услове природног или регулисаног корита.

Отпор речног корита зависи од више фактора:

- површинска рапавост зависи од облика и димензија честица речног наноса од кога је формирана оквашена контура. Ситнији нанос условљава мање отпоре и обратно;
- вегетација – виша и гушћа вегетација условљава пораст отпора;
- непризматичност речног корита;
- меандрирање трасе корита;
- деформација речног корита – исталожавањем наноса ублажавају се неравномерне геометријске форме и опада отпор;
- објекти у кориту (регулационе грађевине) повећавају отпор.

Рапавост речног корита и инундација ће бити описана Маниновим коефицијентом рапавости (n), оцењеним током обиласка терена и на основу ортофото и других карата. Почетне вредности ће бити прилагођене током процеса калибрације. У даљем тексту су дате препоручене вредности Манинговог коефицијента за природно стање корита.

Табела 3.2 Карактеристичне вредности Манинговог коефицијента за природне токове

	Тип корита и опис	вредност Манинговог коефицијента		
		минимум	нормално	максимум
1.	Основно корито			
а.	чисто, равно, без рупа или дубоких базена	0.025	0.030	0.033
б.	као под (а), са више камења и растиња	0.030	0.035	0.040
в.	чисто, вијугаво, мали базени и спрудови	0.033	0.040	0.045
г.	као под (в), са више камења и растиња	0.035	0.045	0.050
д.	као под (в), са нижим платоима	0.040	0.048	0.055
ђ.	као под (г), са више камења	0.045	0.050	0.060
е.	спор ток, зарастао, дубоке рупе	0.050	0.070	0.080
ж.	веома зарасло, дубоке рупе или корито са густим стаблима и жбуњем	0.070	0.100	0.150
2.	Инундације			
а.	Пашњак, без жбуња			
1.	ниска трава	0.025	0.030	0.035
2.	висока трава	0.030	0.035	0.050
б.	Култивисане, засејане површине			
1.	без усева	0.020	0.030	0.040
2.	низ зрелог усева	0.025	0.035	0.045
3.	поље зрелог усева	0.030	0.040	0.050
в.	Жбуње			
1.	разбацано жбуње, густа коров	0.035	0.050	0.070
2.	огољено жбуње и дрвеће, у зиму	0.035	0.050	0.060
3.	огољено жбуње и дрвеће, у лето	0.040	0.060	0.080
4.	средње обрасло до обрасло жбуње, у зиму	0.045	0.070	0.110
5.	средње обрасло до обрасло жбуње, у лето	0.070	0.100	0.160
г.	Дрвеће			
1.	прокрчена површина са пањевима, без младица	0.030	0.040	0.050
2.	као под (1), са густим младицама	0.050	0.060	0.080
3.	густ распоред дрвећа, неколико оборених стабала, течење испод грања	0.080	0.100	0.120
4.	као под (3), са течењем кроз грање	0.100	0.120	0.160
5.	обрасле врбе, лето, равно	0.110	0.150	0.200
3.	Планински токови, без вегетације у кориту, обале обично стрме, са дрвећем и жбуњем на обалама			
а.	дно: шљунак, облутци и неколико комада стена	0.030	0.040	0.050
б.	дно: облутци са већим стенама	0.040	0.050	0.070

Према Пројектном задатку, калибрацију хидрауличких модела треба извршити на основу историјских података. На Колубари постоје осмотрени нивои на званичним мерним хидролошким станицама који могу бити коришћени. На притокама постоје само једна (само на Тамнави постоје две хидролошке станице) или ни једна мерна станица па је калибрација отежана или немогућа.

Тарирање модела на основу историјских података биће обављено на рачунским деоницама на којима је то могуће. За усвојене карактеристичне временске периоде и осмотрене податке, извршиће се хидраулички прорачуни у којима ће се мењати вредности Манинговог коефицијента рапавости док се не постигне задовољавајућа тачност у односу рачунских и осмотрених вредности.

За водотокове и њихове делове који нису довољно добро покривени историјским подацима, као што је већ речено, није могућ класичан процес калибрације модела. Да би се постигла минимална оперативност модела предлог је да се на таквим деоницама изврши "квази тарирање" на основу:

- података који се добију прорачунима тарирања на деоницама на којима је то могуће - рачунски нивои у реципијенту на местима ушћа притока,
- резултата хидролошких модела, за усвојене временске периоде тарирања, који су у довољно тачној вези са параметрима течења на тарираним деоницама.

Комбинацијом рачунских серија нивоа на ушћима, као низводни гранични услов, и протока на узводном крају рачунске деонице, могуће је извршити тарирање

коефицијената отпора и калибрацију делова модела река које немају потребне историјске податке.

Временске серије осмотрених података биће одабране након анализе расположивих хидролошких података. За усвојене серије историјских података ће се извршити калибрација хидрауличких модела.

3.5.2 Верификација модела

За усвојене параметре модела након калибрације, модели ће бити верификовани на основу информација прикупљених током таласа великих вода у априлу и мају 2014. године. Оне укључују:

- снимљене трагове досезања воде током поплаве у мају 2014. године и
- податке о поплављеним површинама и превлаженом земљишту осмотреним 19. и 21. маја 2014. године, које је обезбедио Републички геодетски завод (на основу сателитских снимака СПОТ6).

У оквиру елабората "Хитни теренски геодетски радови у сливу Колубаре" дат је приказ извршених теренских радова на геодетском снимању трагова великих вода Колубаре и притока из маја 2014. године.

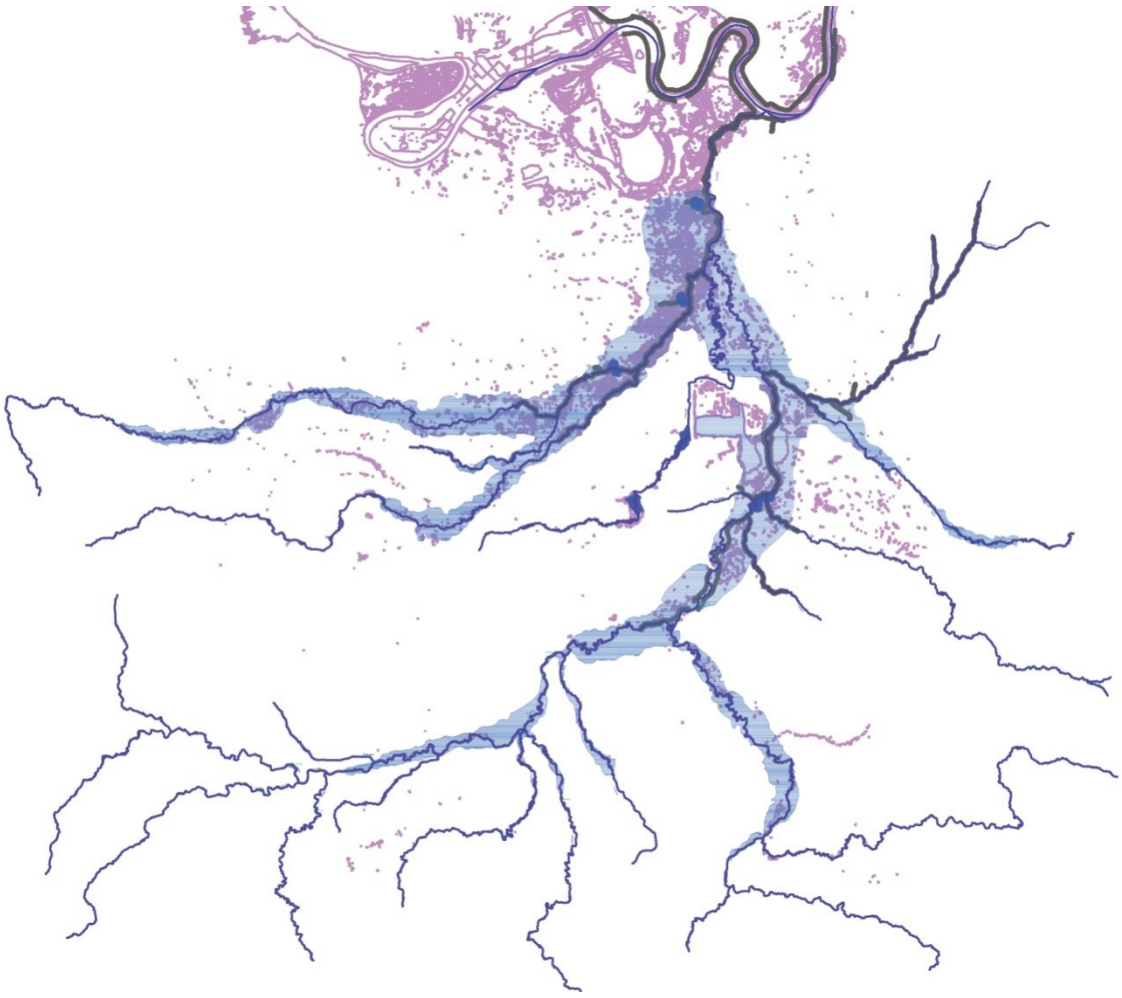
Дуж целог тока Колубаре, од ушћа у Саву (km 0+000) до састава Обнице и Јабланице (km 96+835), током августа/септембра 2014. године извршена су снимања уочених трагова велике воде Колубаре из маја 2014. године.

На Тамнави, Убу и Грачици, на деоницама који су обухваћене геодетским снимањем долинских профила на овим водотоковима, током септембра/октобра 2014. године извршена су снимања уочених трагова велике воде из маја 2014. године.

Током фебруара/марта 2015. године извршена су снимања уочених трагова велике воде на десним притокама Колубаре и Враничини из маја 2014. године, на деоницама који су обухваћене геодетским снимањем долинских профила на овим водотоковима. Обиласком терена је установљено да је до изливања дошло на Турији, Љигу, Топлици, Рибници, Лепеници и Обници, док на осталим рекама није дошло до плављења (Бељаница, Барајевска река, Бањевачка река, Враничина и Лукавица). Река Пештан није обухваћена геодетским истражним радовима.

На основу расположивих података дефинисани су подужни профили трагова велике воде на реци Колубари и поменутим притокама (Тамнави, Убу, Грачици, Турији, Љигу, Толици, Рибници, Лепеници и Обници), чиме су дефинисане линије нивоа за услове при проласку врха таласа.

Такође, формирана је плавна зона Колубаре и притока на разматраном подручју на основу дигиталног модела терена који је настао дигитализацијом карата у размери 1:25000. Извршено је пресецање површине терена и површине воденог огледала и на тај начин добијена зона поплављеног подручја током маја 2014. године. За прецизније одређивање граница плавне зоне коришћени су и сателитски снимци подручја који се налазе на интернет порталу ГеоСрбија - http://www.geosrbija.rs.



Слика 3.10 Рачунска плавна зона (плаво) и сателитски снимак SPOT6 од 19.05.2014. (љубичасто) на Колубари и притокама

3.6 Опис софтверске платформе HEC-RAS - HEC-GeoRAS

3.6.1 HEC-RAS

У оквиру HEC-RAS софтверског пакета креирају се пројекти. HEC-RAS пројекат је колекција датотека који се користе за формирање хидрауличких модела.

При дефинисању новог пројекта, уносе се наслов и име датотеке пројекта. Сви остали подаци се аутоматски чувају користећи исто име датотеке као име пројекта. Пројекат се може састојати од:

- једна датотека пројекта (Project) (*.PRJ)
- једна датотека за сваки план (Plan) (.P01-.P99)
- једна извршна (Run) датотека за сваки план устаљеног течења (.R01-.R99)
- једна извршна (Run) датотека за сваки план неустаљеног течења (.X01-.X99)
- једна излазна (Output) датотека за сваки план (.O01-.O99)
- једна улазна датотека геометрије (Geometry) за сваки сет података (.G01-.G99)
- једна датотека услова устаљеног течења (Steady Flow) за сваки сет података (.F01-.F99)
- једна датотека услова неустаљеног течења (Unsteady Flow) за сваки сет података (.U01-.U99)

- једна датотека услова квази-неустаљеног течења (Quasi-Unsteady Flow) за сваки сет података (.U01-.U99)

У зависности од улазних података и потреба модела, могуће је формирање и других улазних датотека (Sediment - .S**, Hydraulic Design - .H**, Sediment Transport Capacity - .SedCap**, Sediment Impact Analysis Methods (SIAM) - H**.SimaInput H**SiamOutput, Water Quality - .W**), који нису предмет Студије.

Пројекат (Project) датотека садржи: назив пројекта; списак свих датотека који су повезани са пројектом; списак стандардних вредности које се задају у оквиру програма. Сваки пројекат прати сопствена Log датотека.

У даљем тексту је дат кратак опис типова датотека које могу бити садржане у пројекту при формирању хидаруличких модела за потребе Студије.

План (Plan) датотеке имају екстензију .P01-.P99, при чему слово P указује на План, док број представља број плана редом како се стварају од 01 до 99. План датотека садржи: опис и кратак идентификатор (ID) за план; листu датотека које су повезане са планом (на пример, датотека о геометрији модела и датотека о условима течења, устаљени или неустаљени); опис свих опција симулације који су постављени у датом плану.

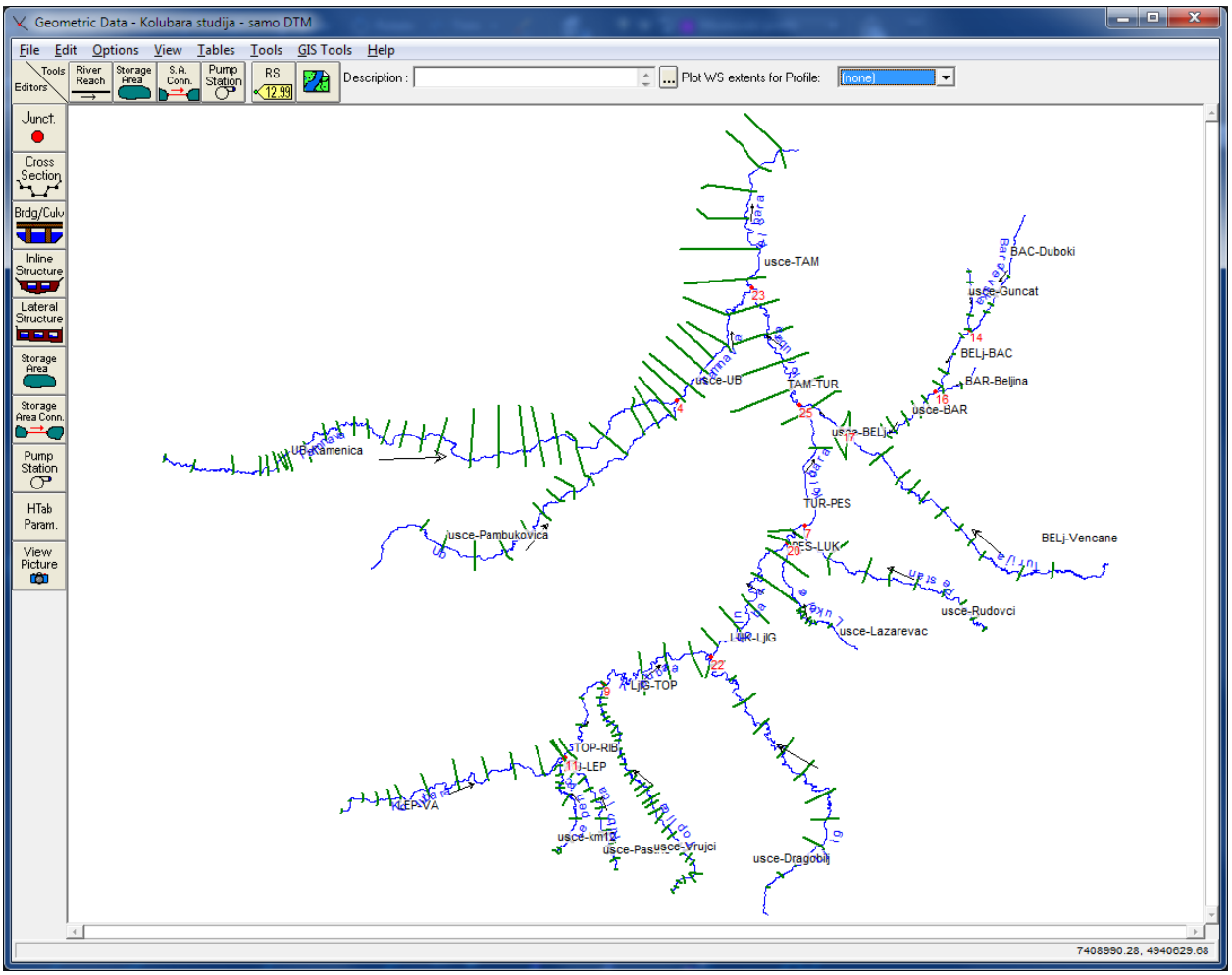
Извршне (Run) датотеке имају екстензију .R01-.R99. Датотека са екстензијом R01 је извршна која одговара плану са екстензијом P01. Извршна датотека садржи све потребне податке за прорачуне који се траже од стране повезаног плана. На пример, ако се тражи анализа устаљеног течења, датотека ће садржавати податке геометрије модела, податке услова устаљеног течења и све неопходне рачунарске опције које су повезане са датим планом. Извршна датотека се аутоматски генерише при покретању симулације.

Излазне (Output) датотеке имају екстензију .O01-.O99 до. Датотека са екстензијом O01 је извршна која одговара плану са екстензијом P01. Излазни фајл садржи све рачунске вредности резултата, у зависности од захтева из плана.

Геометрија (Geometry) датотеке имају екстензију .G01-.G99. Ове датотеке садрже све геометријске податке речног система који се анализира. Геометријски подаци садрже податке о: попречним профилима водотока, хидротехничким објектима (мостови, пропусти), коефицијентима и типу прорачуна.

Основни елементи и параметри геометријског дела модела су:

- карактеристичне рачунске деонице,
- попречни профили водотокова,
- објекти дуж и у кориту водотокова,
- отпори течењу у основном кориту и инундацијама.



Слика 3.11 Део HEC-RAS програма за дефинисање геометријских карактеристика модела

Устаљено течење (Steady Flow) датотеке услова имају екстензију .F01-.F99. Ове датотеке садрже: број симулација за прорачун; податке о протоку; граничне услове за сваку рачунску деоницу.

Неустаљено течење (Unsteady Flow) датотеке услова имају екстензију .U01-.U99. Ова датотека садржи: почетне услове течења, узводне и низводне граничне услове.

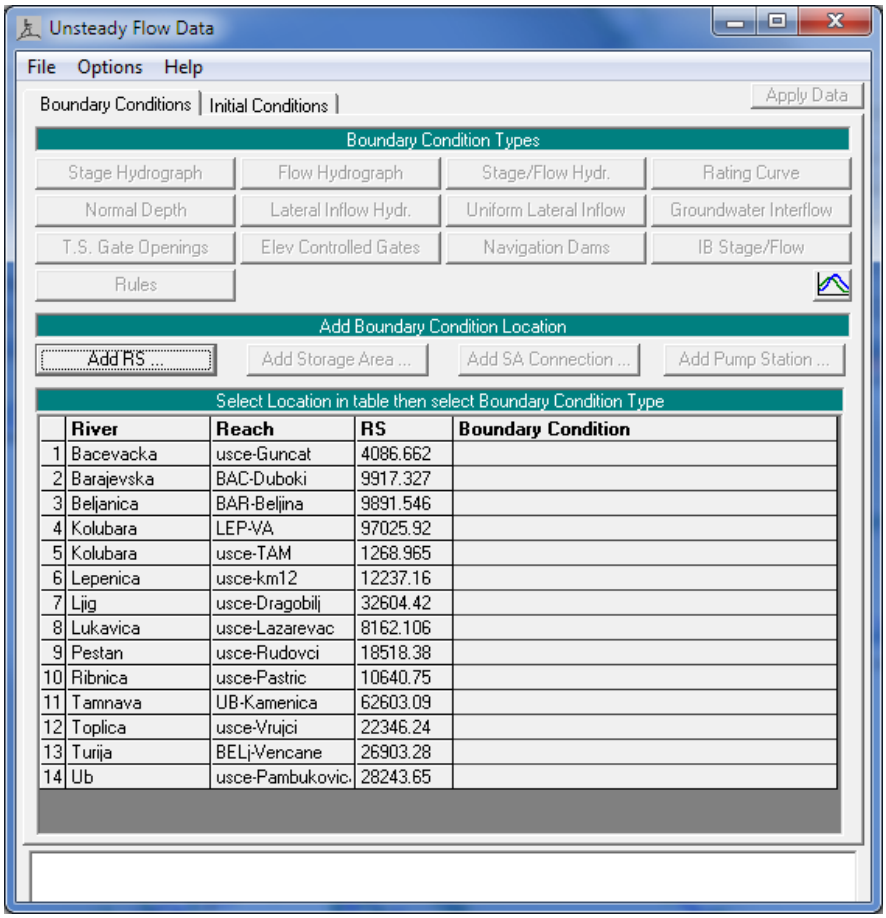
Хидраулички модел(и) Колубаре и притока ће бити приказани у облику:

- један пројекат, под именом "СтудијаКолубара";
- геометријске карактеристике модела:
- у случају јединственог модела постојећег стања, формираће се једна датотека са геометријским карактеристикама модела (G01),
- у случају посебних модела за сваку реку, формираће се датотека са геометријским карактеристикама модела сваке реке (G01-G19);
- услови течења:
- у случају јединственог модела постојећег стања, формираће се потребан број датотека са условима неустаљеног (U**) и/или устаљеног течења (F**) за цео модел,
- у случају посебних модела за сваку реку, формираће се потребан број датотека са условима неустаљеног (U**) и/или устаљеног течења (F**) за сваку реку;
- планови - свака комбинација геометријских карактеристика модела и услова течења биће приказана посебним планом. Укупан броја датотека плана зависи од броја симулација. Сваки план ће имати своју извршну датотеку;

- излазне датотеке - сваки усвојени план имаће своју излазну датотеку са резултатима прорачуна.

У програму HEC-RAS услови неустаљеног течења се уносе у део програма "Unsteady Flow Data". Основни параметри су:

- гранични услови модела - серије података за које је дефинисан временски период и рачунски корак,
- почетни услови - иницијалне вредности протока на карактеристичним местима модела (и почетне вредности кота у условима постојања ретензионих делова модела).



Слика 3.12 Део HEC-RAS програма за дефинисање граничних услова неустаљеног течења

Хидраулички модели ће бити на располагању, са свим пратећим улазним и излазним датотекама.

3.6.2 HEC-GeoRAS

Комплетна припрема геометријских карактеристика модела врши се уз помоћ HEC-GeoRAS модула у оквиру ArcGIS софтверског пакета. На тај начин се дефинишу геометрија тока - хидрографска мрежа и попречни профили корита река; објекти у и изван корита река (мостови, преливи, насипи); Манингови коефицијенти отпора; неактивне зоне течења у деловима долина; објекти који блокирају течење, и друго.

HEC-GeoRAS је скуп алата који ради у ArcGIS окружењу, за обраду георефернцираних података, а за потребе анализа у оквиру HEC-RAS програма. Алатке омогућавају креирање података са геометријским карактеристикама хидрауличког модела који се имплементирају у HEC-RAS модел. Основни геометријски подаци настају из дигиталног модела терена (ДМТ). Такође, уз помоћ HEC-GeoRAS модула, резултати хидрауличких

прорачуна могу се из HEC-RAS модела пребацити у ГИС окружење за лакши приказ у графичком облику.

Модул HEC-GeoRAS има своје улазне и излазне елементе, компоненте које се дефинишу у ГИС окружењу, на основу расположивих података из ГИС базе и других података.

Основне улазне подлоге из ГИС базе су:

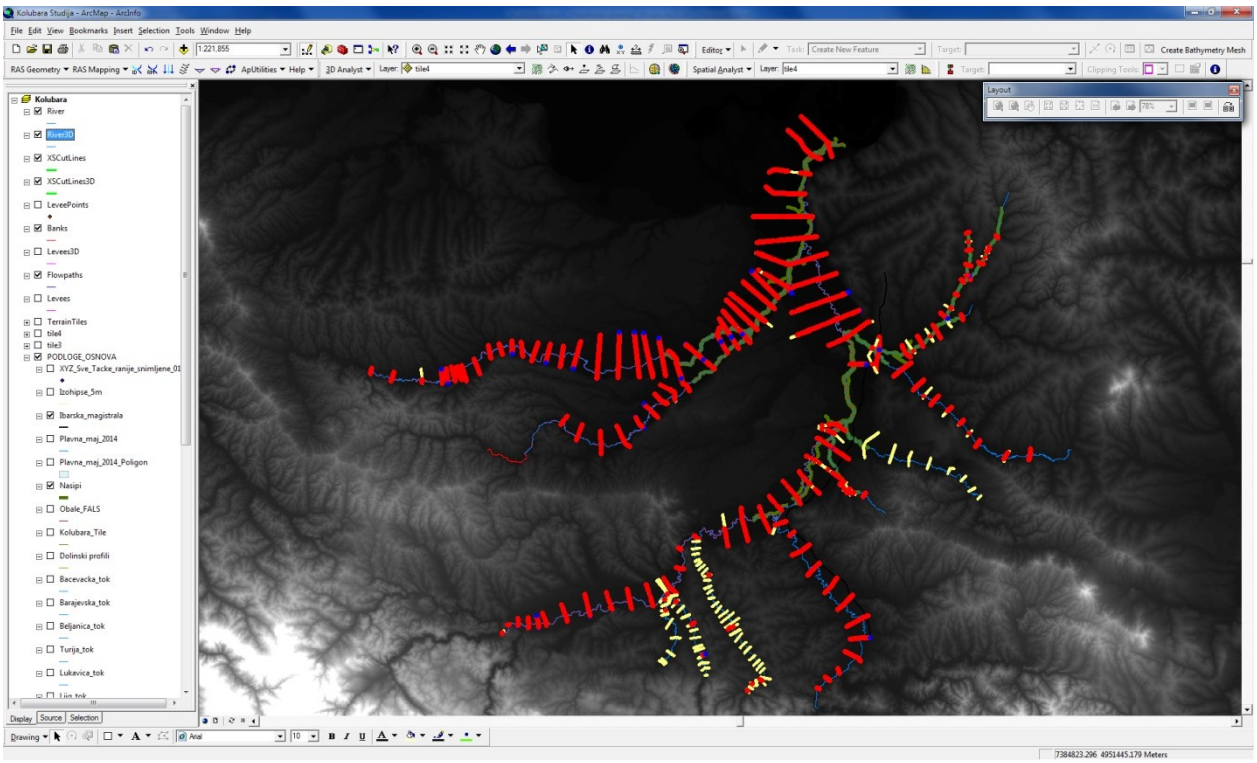
- дигитални модел терена подручја,
- хидрографска мрежа водотокова,
- подаци о постојећим објектима за заштиту од поплава (положај насипа дуж тока).

Остали подаци који се користе као подлоге су:

- снимљене тачке основног корита и приобаља водотокова,
- снимљене тачке насипа и осталих објеката уз корито водотокова,
- карактеристике мостова и осталих објеката у кориту река,
- друго.

Уз помоћ HEC-GeoRAS алата ствара се улазна датотека (RAS GIS Import File), која у основи садржи: линију тока-основног корита реке, са карактеристикама деоница; линије попречних профила; попречне профиле на местима пресека линија профила са ДМТ и положајем обала; растојања између профила по траси основног корита и по левој и десној инундацији; коефицијенте отпора за зоне речних долина и рапавости по попречним профилима. Додатни геометријски подаци су: трасе насипа, зоне неактивног течења, објекти који блокирају течење и ретензиони простори. Такође, могуће је и дефинисање конструкција мостова, објеката у кориту (преливи, пропусти) и бочних конструкција (бочни преливи). Када расположиви ДМТ нема податке о речном кориту, могућа је допуна попречних профила висинским подацима из других извора, на пример на основу снимљених тачака основног корита и приобаља.

Резултати прорачуна из HEC-RAS-а се преносе у ГИС окружење, првенствено висински подаци о воденом огледалу дуж тока (могуће је и пренос података о брзинама, вучним силама, леду...). Пресеком равни воденог огледала са дигиталним моделом терена добијају се просторни подаци за приказ поплављених подручја, у облику полигона, и приказ дубина, у растерском облику.



Слика 3.13 Пример модула HEC-GeoRAS у програму ArcGIS

4 СТАЊЕ И ФУНКЦИЈЕ ПОСТОЈЕЋИХ ОБЈЕКАТА И СИСТЕМА ЗА ЗАШТИТУ ОД ПОПЛАВА

4.1 Приказ постојећих објеката за заштиту од вода

4.1.1 Објекти за заштиту од поплава спољним водама

Слив Колубаре карактерише густа насељеност и интензиван привредни развој, што захтева одговарајућу сигурност у погледу заштите од поплава и одговарајући обим хидротехничких захтева. Како је често изливање вода из речних корита било увек праћено значајним штетама, у протеклим деценијама су предузете бројне мере на регулацији корита водотока и изградњи одбрамбених насипа дуж Колубаре и њених бројних притока у циљу заштите насељених места, индустријских постројења и пољопривредног земљишта.

Зависно од садржаја брањеног подручја, у сливу Колубаре извођени су различити типови одбрамбених објеката:

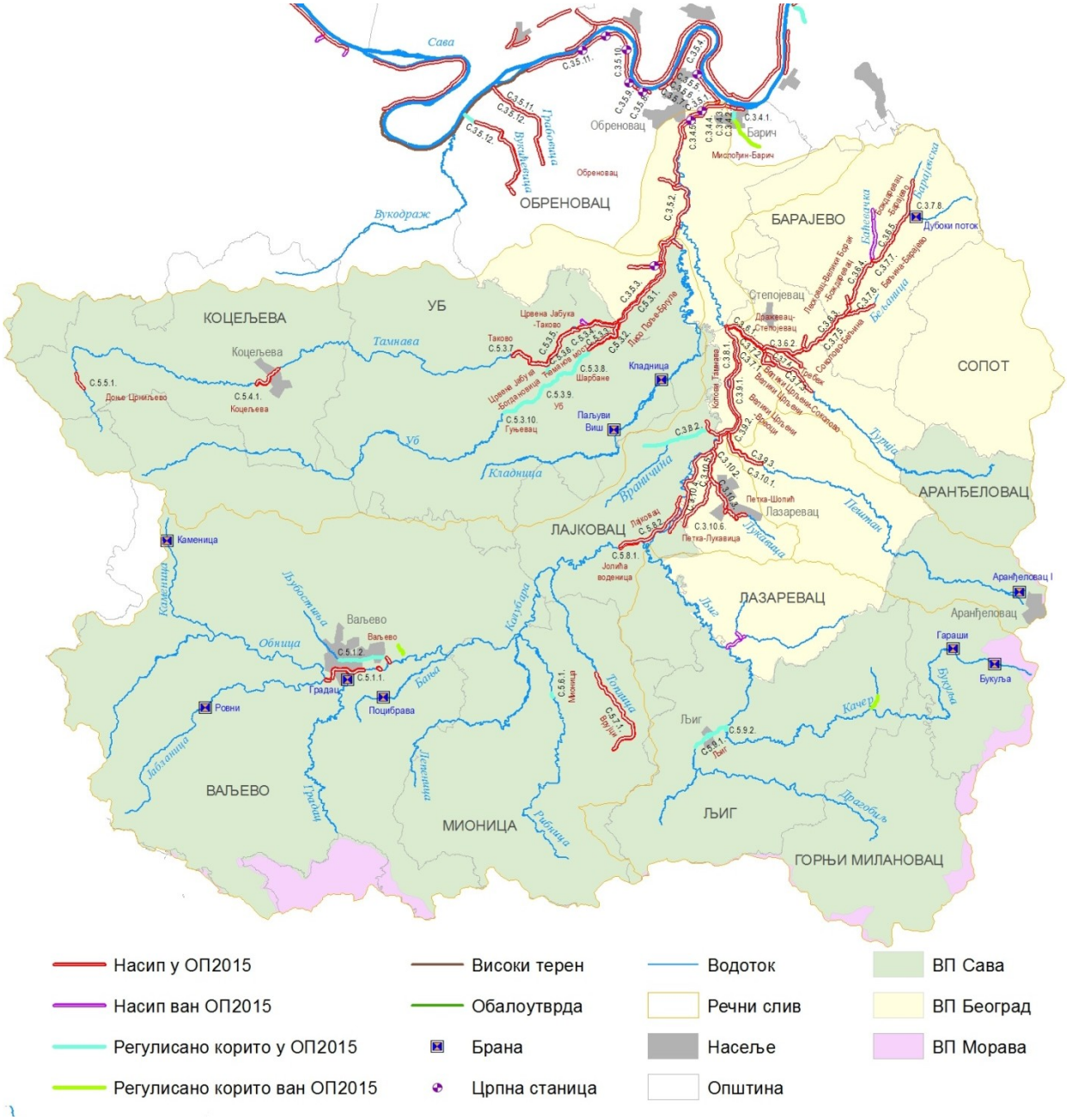
4. Класични одбрамбени објекти - насипи су изграђени само дуж доњег тока Колубаре (низводно од ушћа Тамнаве, код Лајковца и у зони отворених копова РБ Колубара), као и дуж Тамнаве (низводно од Ћемановог моста). Упоредо са извођењем ових објеката вршена је и делимична регулација корита водотока ископом, у мери потребној за извођење насипа.
5. Кроз већа места у горњем току Колубаре и дуж притока (Ваљево, Мионица, Љиг, Уб, Коцељева и Бања Врујци) изведена је регулација "градског" типа, која подразумева уређење корита водотока за пријем великих вода и обезбеђење његове стабилности извођењем облоге.
6. На потезима ван насељених места су пољопривредне површине штићене регулацијом "пољског" типа, код које се такође корито водотока уређује за пријем великих вода (са или без насипа), али и дозвољава одређена деформација основног корита (на пример, река Уб низводно од Уба, Тамнава у Црниљеву, поток Крља).

Профил водотока, често са обостраним одбрамбеним насипима, тако је димензионисан да без изливања може да пропусти меродавну - најчешће стогодишњу велику воду. Само су на неким водотоцима, у чијем приобаљу се налази пољопривредно земљиште, речна корита са обостраним насипима димензионисана за прихват велике воде мањег повратног периода.

Према Оперативном плану за одбрану од поплава за 2015. годину, заштита од поплава на сливу Колубаре је организована у два сектора одбране:

- С.3. Београд-Обреновац-Лазаревац (у надлежности ЈВП "Београдводе"), укључујући седам деоница за заштиту од поплава (С.3.4. до С.10.) на подручју Града Београда, конкретно: десна обала Саве у зони Обреновца и приобаље Колубаре, Тамнаве, Турије, Бељанице, Барајева, Пештана и Лукавице. Укупна дужина насипа, укључујући и савске насипе у зони утицаја Колубаре је 227 km.
- С.5. Ваљево (у надлежности ЈВП "Србијаводе"), који обухвата седам заштитних деоница, укључујући Колубару узводно од Лајковца и следеће притоке: Тамнава са Убом, Љиг, Топлица, Љубостиња и Рибница. Укупна дужина насипа на овом одбрамбеном сектору износи 87 km.

Објекти за заштиту од поплава у сливу Колубаре су приказани на слици 4.1. Они објекти који се налазе у републичком Оперативном плану за одбрану од поплава за 2015. годину су обележени шифрама. Такође су дати називи штићених подручја.


Сава
Обреновац
ОБРЕНОВАЦ
Барич
Мислођин-Барич
Вукодраж
БАРАЈЕВО
Дубоки поток
Степојевац
СОПОТ
КОЦЕЉЕВА
УБ
Коцељева
Тамнава
Таково
Кладница
Паљуви
Виш
Гуњевац
Шарбане
Црвена Јабука
Доња Црнућево
Уб
Кладница
Врапчина
Пепељуша
АРАНЂЕЛОВАЦ
ЛАЈКОВАЦ
Каменица
Петка-Шолић
Лазаревац
Петка-Лукавица
Лукавица
Пештан
Јолића воденица
Аранђеловац I
ЛАЗАРЕВАЦ
Аранђеловац
Гараши
Букуља
Ваљево
Обница
Ваљево
Градац
Поцибрава
Ровни
Колубара
Ваљевска
Ваљевска Колубара
Ваљевска Моравица
Ваљевска Рибница
Ваљевска Грабовица
Ваљевска Пецката
Ваљевска Јабланица
Ваљевска Трбосиљ
Ваљевска Бања
Ваљевска Пецката
Ваљевска Рибница
Ваљевска Грабовица

Положај објеката ће бити ажуриран по завршетку геодетских снимања која се изводе у оквиру ове Студије. Такође, у овом оквиру снимиће се нивелета круне објеката.

Потреба за надвишењем објеката система заштите (Табела 4.2) ће бити утврђена по завршетку теренских радова и хидрауличких прорачуна за меродавне протоке.

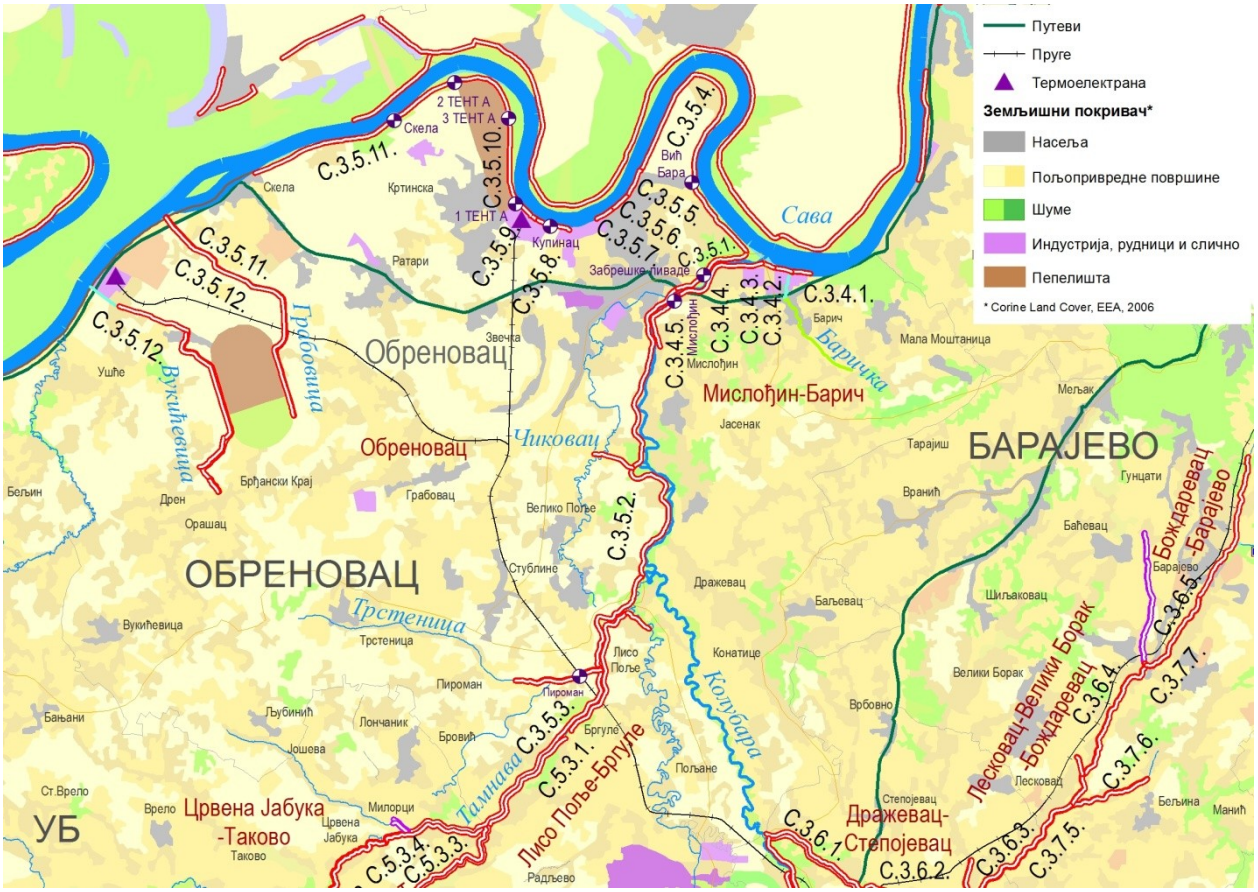
У Прелиминарном извештају ће за сваки објекат дати положај (на подлози размере 1:25000), подужни профил и типски попречни профил.

4.1.1.1 Колубара од ушћа у Саву до ушћа Тамнаве

Са северне стране, границу подручја разматраног у овој студији представља река Сава. Објекти за заштиту од поплава дуж Саве и објекти на најнизводнијој деоници Колубаре затварају две касете штите подручје од ушћа Баричке реке до ушћа Колубаре на (деоница С.3.4.) и од ушћа Колубаре до ушћа Вукићевице (деоница С.3.5).

После катастрофалне поплаве 1981. године вршена је реконструкција објеката за заштиту од поплава уз Саву и Колубару, уз поштовање критеријума за димензионисање насипа у зони успора ХЕ "Ђердап 1". Реконструкција је углавном завршена, осим на неким, крађим потезима. Реконструисани насипи дуж Саве и притока у зони успора претежно имају тзв. "савски профил насипа" (са ширином круне 6 m, нагибима косина 1:3, надвишењем круне најмање 1,2 m у односу на меродавни ниво велике воде и баластом на брањеној страни).

На најнизводнијој деоници Колубаре налазе касете "Мислођин-Барич" и "Обреновац" (Слика 4.2), које морају бити заштићене од великих вода Саве, Колубаре, и њихових притока.



Слика 4.2 Штићено подручје дуж Колубаре од ушћа у Саву до ушћа Тамнаве

На десној обали Колубаре формирана је затворена **касета "Мислођин-Барич"** површине око 490 ha. У њој се налазе насеља Барич и Мислођин, хемијска индустрија у Баричу, као и мелиорациони систем површине 460 ha (са каналском мрежом дужине 6.230 m и ц.с. "Мислођин").

Касету "Барич-Мислођин" затвара више одбрамбених објеката дуж Саве, Баричке реке и Колубаре. У наставку су набројани сви објекти, док су њихове основне карактеристике дате у Табели 4.1:

- Десни насип уз **Саву** од високог терена у Баричу до ушћа Баричке реке (С.3.4.1.) има дужину 750 m. Није реконструисан, па нема довољну висину ни габарите попречног профила.
- Регулисано корито **Баричке реке** од ушћа до моста на путу Београд-Обреновац (С.3.4.1.), дужине 989 m. У зони под утицајем успора Саве насипи нису адекватних димензија, тако да их треба реконструисати. Како Баричка река припада водама 2. реда, узводна деоница регулисаног корита од km 0+989 до km 3+228 је у надлежности Града Београда и у Оперативном плану одбране од поплава за 2015. годину на територији Града Београда (ОП15БГ) има ознаку С.3.4.6. Радови на регулацији корита на овој деоници су делимично изведени, осим у зони мостова, услед чега је на овим местима дошло до оштећења током поплаве у мају 2014. Решење заштите слива Баричке реке од поплава подразумева и изградњу бране на горњем делу слива. У Баричу је регулисано и ушће потока Колонија на дужини од 390 m (С.3.4.7. у ОП15БГ).
- Десни насипи уз **Саву** од ушћа Баричке реке до фабрике "Прва искра" у Баричу (С.3.4.2.), дужине 438 m, није реконструисан. Насип има исте карактеристике као насип низводно од ушћа Баричке реке.
- Десни насипи уз **Саву** од фабрике "Прва искра" до ушћа Колубаре (С.3.4.3.), дужине 562 m, реконструисан је уз поштовање критеријума за димензионисање насипа у зони успора ХЕ "Ђердап 1".
- Десни насип уз **Колубару** од ушћа у Саву до моста на путу Београд - Обреновац (С.3.4.4.). Насип дужине око 2,9 km има исти типски профил као савски насип, а реконструисан је ради обезбеђења заштите од Q1% Саве.
- Десни насип уз **Колубару** од моста на путу Београд - Обреновац до високог терена код Мислођина (С.3.4.5.), дужине 1,99 km је реконструисан да би обезбедио заштиту од стогодишње велике воде Колубаре. На њему се налази ц.с. "Мислођин".

На левој обали Колубаре формирана је отворена **касета "Обреновац"**, коју чини пространо подручје између Саве, Колубаре, Тамнаве и Вукићевице. У њој се налази град Обреновац и више насеља (Забрежје, Рвати, Звечка, Бело Поље, Велико Поље, Уровци, Кртинска, Бргулице, Ратари, Скела, Ушће), бројни индустријски објекти, објекти ТЕ "Никола Тесла" (ТЕНТ А, ТЕНТ Б), водоводна постојења, више десетина километара савремених путева и пруга којима се ТЕ снабдевају угљем, други инфраструктурни објекти, као и велике површине пољопривредног земљишта са изграђеним системима за одводњавање и то три са црпним станицама ("Вић Бара", "Забрешке ливаде" и "Велика Бара - Купинац") и пет гравитационих ("Вукићевица", "Бело Поље", "Велико Поље", "Пироман Бровић" и "Дубраве").

Касету "Обреновац" формирају насипи дуж Колубаре, Чиковца, Тамнаве и Трстенице, насипи на десној обали Саве од ушћа Колубаре до Скеле, висок терен уз Саву код ТЕНТ-а и насипи дуж ободно-гравитационог канала у Грабовцу (Грабовица) и Вукићевице. У наставку су набројани сви објекти, док су њихове основне карактеристике дате у Табели 4.1:

- Леви насип уз **Колубару** од ушћа у Саву до моста на путу Београд-Обреновац (С.3.5.1.). Насип дужине 2,48 km је "савског" типа, са хоризонталном круном, која је одређена тако да у условима коинциденције стогодишњих таласа великих вода на Сави и Колубари обезбеди подручје од плављења (уз заштитну висину

од 1 m). Локално је регистровано одношење обале и приближавање реке насипу. На овом насипу се налази ц.с. "Забрешке ливаде".

- Леви насип уз **Колубару** од моста на путу Београд-Обреновац до ушћа Тамнаве (С.3.5.2.) се на дужини од 10,22 km пружа на растојању 40-70 m од корита реке. На низводној деоници, дужине 2,5 km, насип има "савски" тип попречног профила (ширина круне од 6,0 m), док је нивелета круне одређена за услове коинциденције стогодишњих таласа на Сави и Колубари, уз надвишење од 1 m. На узводној деоници, која се протеже ван зоне утицаја успора од великих вода Саве, примењен је "колубарски" тип профила (ширина круне 4 m, нагиби обе косине 1:3). На овом потезу Стара Тамнава се улива у Колубару преко табласте уставе.
- Леви насип уз регулисано корито потока **Чиковац** (С.3.5.2.), дужине 1,29 km се везује на леви насип Колубаре. На њему се налази истоимена устава. Поток Чиковац је водоток 2. реда.
- Леви насип уз **Тамнаву** од ушћа у Колубару до Ћемановог моста (С.3.5.3.) је реконструисан (надвишен и проширен) на целој дужини од 13,85 km, тако да штити подручје од Q1% Тамнаве.
- Обострани насипи и регулисано корито **Трстенице** (С.3.5.3.). Река 2. реда, Трстеница, лева притока Тамнаве, регулисана је на дужини од 2,65 km, са пропратним насипима изграђеним ради заштите од стогодишње велике воде.
- Десни насип уз **Саву** од ушћа Колубаре (Вић Бара) до Забрешке Ливаде (С.3.5.4.). Насип дужине 10 km је реконструисан на "савски тип", у функционалном је стању и задовољава потребе одбране од поплава, иако се током великих вода појављују провирне и процедне воде у залеђу насипа који је фундиран на песковима. Уз насип се пружа латерални канал. Црпна станица "Вић Бара" налази се на km 3+450 насипа.
- Обрамбени зид и обалоутврда уз **Саву** - "Забрежје" (С.3.5.5.), 820 m.
- Обрамбени зид и обалоутврда уз **Саву** - "Бора Марковић" (С.3.5.6.), 670 m.
- Насип и обалоутврда уз **Саву** кроз круг војске (С.3.5.7.), 470 m.
- Одбрамбени зид и обалоутврда уз **Саву** у селу Бреска (С.3.5.8.), 950 m. На овом потезу се налази ц.с. "Купинац".
- Одбрамбени зид и обалоутврда уз **Саву** код ТЕ "Н. Тесла" (С.3.5.9.), 670 m.
- Десни насип уз Саву поред пепелишта ТЕНТ-а (С.3.5.10.) се на дужини од 4,79 km наслања на пепелиште ТЕ. На овој деоници се налазе ц.с. "ТЕНТ", које служе за одводњавање депоније пепела ТЕ и припадајућег дела подручја.
- Десни насип уз **Саву** од пепелишта ТЕНТ-а до високог терена у селу Скела (С.3.5.11.), дужине 6,8 km, је реконструисан на "савски" тип, са латералним каналом. На насипу се налази ц.с. "Скела".
- Десни насип уз регулисано корито ободно-гравитационог канала у Грабовцу - **Грабовица** (С.3.5.11.), дужине 7,5 km, је у лошем стању и не обезбеђује заштиту подручја, тако да га треба реконструисати. Грабовица је водоток 2. реда.
- Леви насип уз регулисано корито ободно-гравитационог канала у Грабовцу - **Грабовица** (С.3.5.12.), дужине 7,5 km, је у лошем стању и не обезбеђује заштиту подручја, тако да га треба реконструисати.
- Регулисано корито и обострани насипи **Вукићевице** (С.3.5.12.), реке 2. реда задовољавају потребе одбране од поплава. Потребно је продужити регулацију узводно, како би се зауставило изливање великих вода иза изграђених насипа. До сада су изведени:
    - регулисано корито од ушћа, дужине 9,125 km,
    - десни насип од km 1+000 до km 9+120,
    - леви насип од моста на km 3+205 до km 9+120.

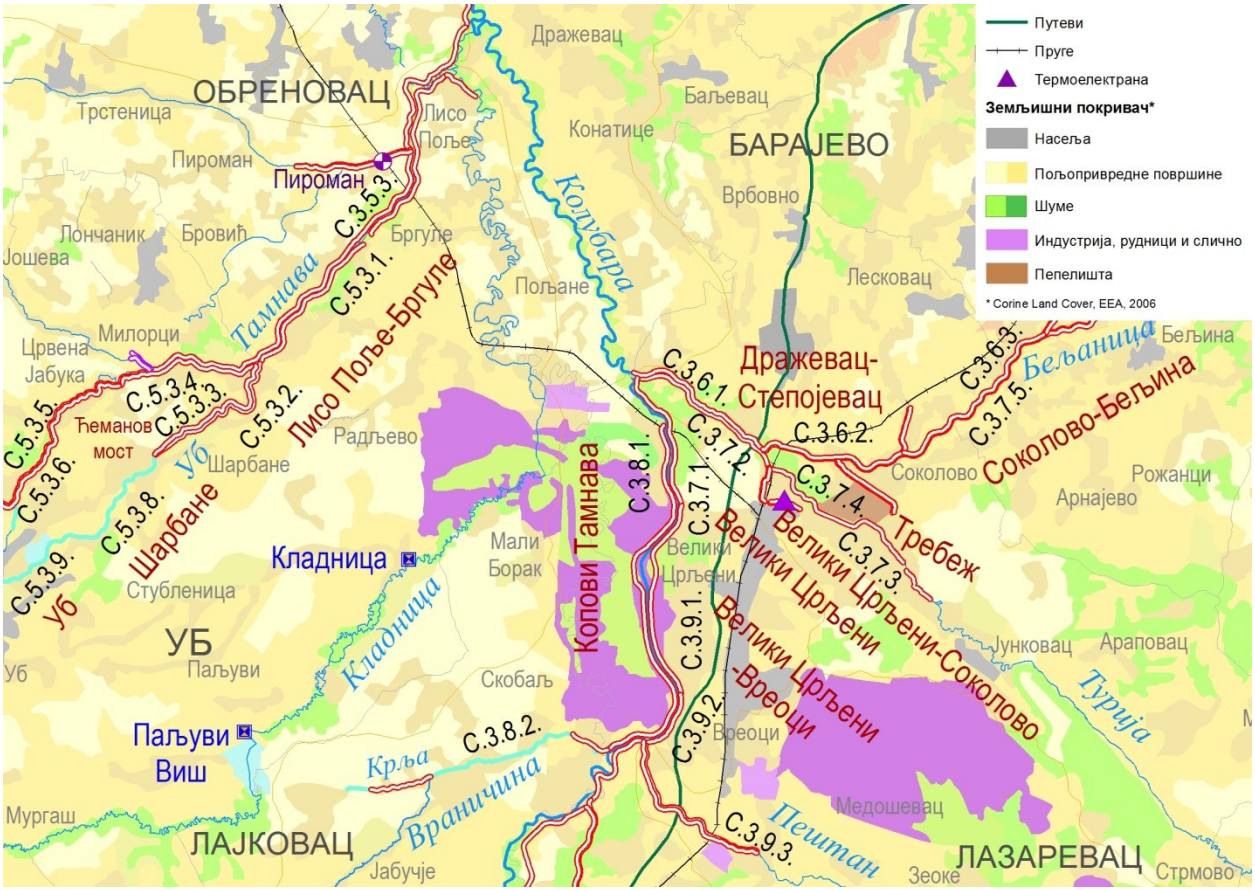
4.1.1.2 Колубара од ушћа Тамнаве до ушћа Турије

Пространа долина Колубаре, на сектору између ушћа Тамнаве и ушћа Турије, није заштићена од поплава, тако да просечно сваке друге године велике воде плаве приближно 2.400 ha пољопривредног земљишта и угрожавају насеље Пољане и делове села Дражевац и Конатице (Слика 4.3).

4.1.1.3 Колубара од ушћа Турије до ушћа Пештана

На деоници од ушћа Турије до ушћа Пештана вршени су регулациони радови на измештању корита Колубаре и изградњи обостраних насипа у три наврата - у периоду 1958-1970, 1975-1977. и 2005-2007. Насипи обезбеђују врло висок степен заштите приобаља, јер су им коте предимензионисане у односу на нивое меродавних великих вода.

На десној обали Колубаре формиране су две касете - "Велики Црљени" и "Велики Црљени - Вреоци", а на левој касета "Копови Тамнава" (Слика 4.3). Карактеристике објеката су наведене у Табели 4.1.



Слика 4.3 Штићено подручје дуж Колубаре од ушћа Турије до ушћа Пештана

Затворену **касету "Велики Црљени"** чине насипи уз Колубару, Туриј у и поток Баре, који штите пољопривредне површине, делове насеља Велики Црљени, пругу Београд-Бар и Ибарску магистралу:

- Десни насип уз **Колубару** од ушћа Турије до пута Велики Црљени - Каленић (С.3.7.1.), дужине 3,20 km. Насип је изведен у склопу измештања корита Колубаре на потезу од моста на прузи Вреоци-Обреновац (km 28+880) до ушћа Враничине, у периоду 1975-1977.
- Леви насип уз **Турију** од ушћа у Колубару до ушћа потока Баре (С.3.7.2.), дужине 3,78 km,

- Леви насип уз регулисано корито потока **Баре** од ушћа (С.3.7.2.), дужине 1,30 km. Поток Баре је је водоток 2. реда.

Отворену **касету "Велики Црљени - Вреоци"** чине насипи уз Колубару и Пештан:

- Десни насип уз **Колубару** од пута Каленић - Велики Црљени до пута Мали Борак - Вреоци (С.3.9.1.), дужине 4,55 km, изграђен је у периоду 2005-2007. у оквиру I фазе измештања корита Колубаре у зони постојећег површинског копа угља "Тамнава - Источно поље", од водозахвата за ТЕ "Колубара А" до челичног моста. На овом истом потезу, корито Колубаре је измештено и у периоду 1975-1977. На дужини од 4.600 m разликују се четири типа регулисаног корита:
    - Од почетка регулације на дужини од 800 m (km 30+670 - 31+470), корито је трапезног попречног пресека са ширином минор корита у дну од 16 m, нагибима косина 1:2, ширином круне насипа 4 m, нагибима косина насипа 1:2 и осовинским растојањем насипа 160 m.
    - На деоници преко одлагалишта (km 31+470 - 34+ 650), корито је трапезног типа, ширина минор корита у дну је 20 m, нагиби косина 1:4, ширина круне насипа 8 m, нагиби косина насипа 1:3 и осовинско растојање насипа 165 m. На овом потезу у корито је уклопљена неискоришћена касета за пепео ТЕ "Колубара Б" у изградњи, која је постала проточно језеро пошто се запуњавање касете није исплатиоло. Овде је растојање осовина насипа и до 500 m.
    - На деоници од силаска са одлагалишта до низводног краја каскаде (km 34+650 - 34+926), минор корито је ширине у дну 16 m са нагибима косина 1:3. Ширина круне насипа је 4 m, нагиби косина су 1:2 и осовинско растојање насипа 170 m.
    - На најузводнијој деоници овог дела регулисаног корита од каскаде (km 34+926) до стационаже km 34+960, минор корито је ширине у дну 16 m са нагибима косина 1:2, ширина круне насипа је 4 m, нагиби косина насипа 1:2 и осовинско растојање насипа 155 m.
- Десни насип уз **Колубару** од пута Мали Борак - Вреоци до ушћа Пештана (С.3.9.2.), дужине 1,80 km. И овај насип је изведен у склопу измештања корита Колубаре у периоду 1975-1977.
- Десни насип и регулисано корито **Пештана** од ушћа у Колубару (С.3.9.3.), дужине 4,25 km. Регулисано корито је трапезног попречног профила са ширином у дну 5 m и нагибима косина 1:2. На потезу између ушћа у Колубару и Ибарске магистрале, на km 1+065 изграђена је каскада којом се контролише нивелета дна и комплетног регулисаног корита у узводном смеру. Обострани насипи су димензионисани да обезбеђују заштиту од великих вода стогодишњег повратног периода. Међутим, исталожавањем наноса дуж тока формирани су спрудови који смањују пропусну моћ корита за велике воде па се из тог разлога повремено мора вршити багеровање наноса из спрудова. Ове појаве у доњем току Пештана су вероватно последица превелике висине изграђене каскаде односно смањеног подужног пада дна узводно од каскаде, што изазива таложење наноса и постепено издизање дна корита.

Одбрамбена линија на овом потезу има изузетан значај, јер од плављења штити насеља Вреоци и Велики Црљени, индустријске и енергетске објекте (ТЕ "Колубара А"), површински коп "Велики Црљени", значајне саобраћајнице (пруга Београд-Бар, индустријска пруга Вреоци-Обреновац, Ибарска магистрала), као и пољопривредно земљиште.

Затворену **касету "Копови Тамнава"** чине насипи уз Колубару, Враничину и поток Крља чија је основна функција заштита површинских копова "Тамнава - источно поље" и "Тамнава - западно поље" на левој обали Колубаре:

- Леви насип уз **Колубару** од ушћа Враничине низводно (С.3.8.1.), дужине око 9,3 km, почиње од моста на прузи Вреоци-Обреновац, а на узводном крају се продужава као левообални насип Враничине. У циљу допунске заштите копа, уз брањену косину насипа је формирана депонија јаловине. Низводна деоница насипа је изграђена у периоду 1975-1977, а узводно од пута Каленић - Велики Црљени у периоду 2005-2007. Карактеристике насипа су исте као код десних насипа на овом потезу (С.3.7.1. и С.3.9.1.).
- Леви насип уз **Враничину** од ушћа у Колубару (С.3.8.2.), дужине 1,0 km. Траса овог насипа се пружа дуж јужне границе Тамнавских копова правцем исток-запад и спојен је са левим насипом Колубаре и насипом на путу Лајковац-Обреновац у насељу Скобаљ. Природно корито Враничине, реке 2. реда, пролази кроз Јабучје. Корито Враничине је регулисано у склопу регулације и измештања Колубаре и притока на делу експлоатационог подручја проширеног копа "Тамнава - Источно поље" и узводно. Траса регулисаног корита се пружа од моста на путу Лајковац-Обреновац (km 1+530) приближно до km 4 где корито скреће ка Јабучју, а затим у правцу излаза из хидротехничког тунела акумулације "Паљуви Виш" (km 6+414). Регулисано корито прима воду из тунела ове акумулације и са сопственог слива. Током поплаве у мају 2014.године, део корита Враничине од ушћа у Колубару до моста на бившој прузи (а сада локалном путу) Обреновац-Лајковац је потпуно уништен. 2015. године су изведени радови на формирању новог корита Враничине дужине 2.025 m, трапезног попречног пресека, ширине дна 6,0 m, нагиба косина 1:2 и дубине 2,5 m. Предвиђен је левообални насип дужине 2.700 m, ширине круне 3,0 m и нагиба косина 1:2. Нерешен је проблем изливања Враничине на потезу кроз село Јабучје.
- Леви насип уз поток **Крља/Скобаљ** од ушћа (С.3.8.2.), дужине 500 m, заједно са левим насипима Колубаре и Враничине формира одбрамбену линију око површинског копа. Поток Крља је водоток 2. реда.

4.1.1.4 Колубара од ушћа Пештана до Лајковца

На потезу Колубаре од ушћа Пештана до Лајковца на десној обали су формирана два штићена поплавна подручја за заштиту околине Лазаревца - "Петка-Шопић" и "Петка-Лукавица", као и "Јолића воденица" на узводном крају, а на левој обали је једно штићено подручје - "Лајковац".



Слика 4.4 Штићено подручје дуж Колубаре од ушћа Пештана до Лајковца

На десној обали Колубаре узводно од ушћа Пештана, затворену **касету "Петка-Шопић"** формирају насипи дуж Колубаре, Пештана, и Лукавице:

- Леви насип уз регулисано корито **Пештана** од ушћа у Колубару (С.3.10.1.), дужине 4,25 km. Обезбеђује заштиту од великих вода стогодишњег повратног периода.
- Десни насип уз **Колубару** од ушћа Пештана до ушћа Лукавице (С.3.10.2.), дужине 1,90 km, има "колубарски" тип профила.
- Десни насип уз регулисано корито **Лукавице** од ушћа у Колубару до Лазаревца (С.3.10.3.), дужине 7,42 km, наставља се на узводни крај десног насипа Колубаре на km 39+000 Колубаре. Примењена су два типа регулације:
    - "Пољска" регулација од ушћа до моста на прузи Београд-Бар (km 4+650) је изведена 1978. године у виду земљаног двогубог корита са обостраним насипима. На овом потезу, корито са насипима нема довољну пропусну моћ за стогодишњу велику воду. За регулацију ове деонице урађен је главни пројекат.
    - "Градска" регулација кроз Лазаревац, од моста на прузи Београд-Бар до km 7+419 је изведена 1976. године. Регулисано корито је двогубо, димензионисано да пропусти стогодишњу велику воду уз надвишење од 0,5 m. На деоници дужине 2.300 m извршено је облагање каменом кинете за малу воду и косина у форланду.

Ови насипи штите Лазаревац и Шопић, пољопривредне површине, Ибарску магистралу, пругу Београд-Бар и бивши стакленик на левој обали Пештана (узводни крај насипа), где, према проценама, постоје знатне количине лигнита (данас у власништву РБ "Колубара").

Отворену **касету "Петка-Лукавица"** штите насипи уз Колубару, Лукавицу и Очагу:

- Десни насип уз **Колубару** од ушћа Лукавице до пута Београд-Краљево (С.3.10.4.), дужине 10,14 km, има "колубарски" тип профила.
- Леви насипи уз регулисано корито **Лукавице**:
  - од ушћа у Колубару до ушћа Очаге (С.3.10.5.), дужине 2,50 km,
  - од ушћа Очаге до Лазаревца (С.3.10.6.), дужине 4,92 km.
- Насипи уз **Очагу**, реку 2. реда:
  - десни насип од ушћа у Лукавицу (С.3.10.6.), дужине 0,55 km,
  - леви насип од ушћа у Лукавицу (С.3.10.6.), дужине 4,67 km.

Притоке Лукавице (такође реке 2. реда) су регулисане на самим ушћима, и то:
- регулисано корито потока **Шушњарица** (С.3.10.6.), дужине 0,287 km,
- регулисано корито **Стубичког потока** (С.3.10.6.), дужине 0,182 km.

Дуж ових потеза су изграђени и обострани насипи чије су карактеристике наведене у табели 4.1.

У касети "Петка-Лукавица" смештен је део Лазаревца, Петка, пољопривредне површине, Ибарска магистрала, пруга Београд-Бар.

На левој обали Колубаре, ради заштите отворене **касете "Лајковац"** у којој је смештено истоимено насеље, пољопривредне површине, Ибарска магистрала и пруга Београд-Бар, изграђен је насип уз **Колубару** од Јабучја до моста на путу Пепељевац-Лајковац (С.5.8.2.), дужине 6,82 km. Низводни део овог насипа (од Јабучја до пруге Лајковац-Љиг) има ширину круне 3 m, а нагиби обе косине 1:2. Нивелета круне насипа је иста као код насипа од ушћа Пештана до пута Београд-Краљево на десној обали, а обезбеђује заштиту од $Q_{1\%}$ Колубаре, уз заштитну висину од 0,8 m. Узводно од пруге Лајковац-Љиг па до моста на путу Пепељевац-Лајковац насип је ширине 4 m у круни, са нагибом небрањене косине 1:2 и брањене 1:2,5. Планирано је да насип обезбеђује заштиту од педестогодишње велике воде Колубаре ($Q_{2\%}$), уз заштитну висину од 0,6 m. Међутим, насипи нису завршени, тако да их велике воде заобилазе и плаве брањено подручје.

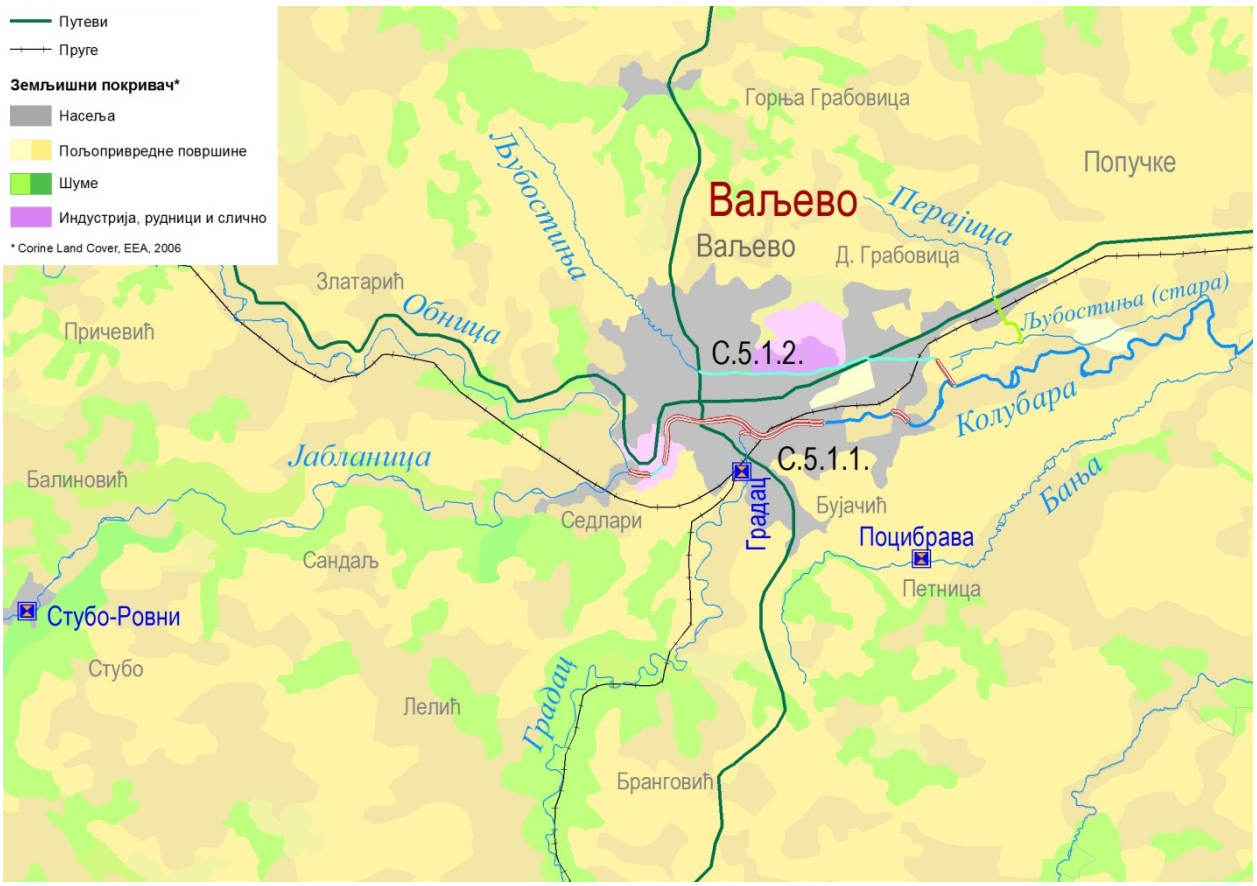
Узводни потез левог насипа је изграђен на основу плана из осамдесетих година 20. века када је било планирано да се изведу обострани насипи Колубаре од ушћа Љига до села Словац (односно моста на путу за село Раковац), укупне дужине око 12,5 km. Истовремено је и на десној обали изграђена само најнизводнија деоница насипа, у зони Јолића воденице, који на регулисаном подручју "Јолића воденица" штити само пољопривредне површине. Десни насип уз регулисано корито **Колубаре** код Јолића воденице (С.5.8.1.), дужине је 2,18 km. Овај насип има исте карактеристике као и леви насип на истом потезу и такође га заобилазе велике воде које доспевају са узводног незаштићеног подручја.

4.1.1.5 Колубара од ушћа Љига до Ваљева

Од ушћа Љига до села Словац долина Колубаре је широка око 2 km и оивичена пругом Београд-Бар и путем Ћелије-Ваљево са севера, а са југа високим тереном. У плавној зони површине 1.960 ha налази се веома плодно пољопривредно земљиште. Део овог подручја од моста на путу Пепељевац-Лајковац до Ваљева се не штити од великих вода Колубаре.

4.1.1.6 Колубара кроз Ваљево

Следећи и најузводнији потез Колубаре са изведеном регулацијом корита и заштитним објектима протеже се кроз град Ваљево. Укупна дужина речног тока на потезу кроз Ваљево (од сточне пијаце до састава Обнице и Јабланице) је око 5 km.



Слика 4.5 Штићено подручје дуж Колубаре и притока у Ваљеву

Регулисано корито **Колубаре кроз Ваљево**, од сточне пијаце до пиваре (C.5.1.1.), дужине 4,0 km, димензионисано је на 100-годишњу велику воду. Постоји више карактеристичних деоница, са различитим типовима и димензијама попречних профила минор и мајор корита, и то:

- Деоница код сточне пијаце и моста на обилазном путу, на којој је изведена регулација речног корита са обостраним насипима на дужини од 270 m. Регулисано корито је двогубог облика, са форландима обложеним бетонским плочама, а косинама минор и мајор корита обложеним каменом у цементном малтеру. Облога косине насипа је изведена до нивоа меродавне велике воде $Q_{1\%}$, док је круна насипа око 0,5 m виша од меродавног нивоа. Ширина минор корита је 15 m, дубина 0,9 m, а нагиб косина 1:1. Мајор корито је ширине око 60 m, са форландима ширине по 20 m и нагибом косина 1:1. Карактеристике насипа су дате у табели 4.1.
- Деоница од сточне пијаце до железничке станице није регулисана до данас иако је за овај потез урађено више пројеката.
- Деоница од железничке станице до пешачког моста код Дома културе, дужине 1,62 km, почиње изливном грађевином и завршава око 600 m узводно од ушћа Градца у Колубару. Регулациони радови су извршени 1972. Разликују се две деонице - низводна и узводна у односу на ушће Градца. Регулисано корито има двогуби облик, са затрављеним форландом и косинама минор и мајор корита (насипа) обложеним каменом. Ширина минор корита у дну је 15 m, дубина 0,9-1,1 m и нагиб косина 1:1. Мајор корито је промењљиве ширине - низводно од ушћа Градца је 60 m са форландима ширине 20 m, а узводно око 50 m, са форландима од 14 m, док је нагиб косина 1:1 на целом потезу. На овој деоници је пројектовано седам каскада висине 0,4 m, на међусобном растојању од 200 m, између којих су по два прага од камена у цементном малтеру (на растојању 60-65 m) и осигурања од камена. Међутим, изведене су само три каскаде на

најнизводнијем делу деонице. Уз корито су обострани насипи, обложени до нивоа меродавне стогодишње велике воде, док је круна насипа за 0,8 m виша.

- Деоница код старе пијаце, дужине 180 m, има исте карактеристике регулисаног корита као низводна и узводна деоница водотока.
- Деоница кроз "Тешњар", дужине 517 m, је специфична јер се протеже кроз ужи центар града (од моста у Улици Вука Караџића до моста у Душановој улици односно моста код парка "Јадар"). Пројектовано је двогубо асиметрично трапезно корито са минор коритом ширине у дну 12 m, дубине до 1,5 m и нагибом косина 1:1. Профил мајор корита је променљив и асиметричан, јер је морао да се прилагођава положају зграда изграђених на обалама реке, тако да је ширине 25-45 m, са форландима ширине 5-10 m и нагибима косина 1:1. Заштита од ерозије постигнута је облогом комплетног минор корита каменом у цементном малтеру, фиксационим праговима (на просечном растојању од 57 m) и габионима у форландима. Косине мајор корита су обложене каменом облогом, а на неким потезима се заштита од плављења остварује каменим зидовима који су изведени до нивоа стогодишње велике воде.
- Деоница од моста код парка "Јадар" до тениских терена код хотела "Платан", пројектована је са укупном дужином од 1.161 m. Разликују се две деонице, у зони кривине код парка "Јадар" дужине 197 m и узводно. Пројектовано је двогубо трапезно корито. Мајор корито је димензионисано на стогодишњу велику воду, док минор корито омогућава протицај средње велике воде без изливања. На низводној деоници минор корито је ширине у дну 12 m, дубине до 1,5 m и нагибом косина 1:1. Мајор корито је променљиве ширине, од 40 до 30 m, са форландима просечне ширине 11 m. На узводној деоници минор корито је ширине у дну 8 m, дубине до 1,5 m и нагибом косина 1:1. Мајор корито је ширине 30 m, са форландима ширине 6,2 m. Обале мајор корита су у нагибу 1:1. Због бурног течења, кинета је у дну обложена бетоном, а косине каменом облогом. Форланди су обложени габионима, а обала мајор корита каменом облогом. Стабилизациони појасеви су на међусобном растојању од 30-60 m.
- Деоница од тениских терена код хотела "Платан" до бетонског прага бране "чешаљ" (код "Ваљевске пиваре") није регулисна иако постоји израђена пројектна документација.
- Деоница од бетонског прага бране "чешаљ" до састава Обнице и Јабланице, дужине 257 m, уређена је у склопу уређења рекреационог простора са ширином тока од 40 m. Минор корито није уређено, већ су само обложене косине мајор корита каменом у цементном малтеру. Брана је изграђена са задатком да прими поплавни талас, а у летњем периоду да омогући коришћење Колубаре у рекреативне сврхе. Обзиром да су Обница и Јабланица бујичне реке, акумулација је готово у потпуности засута бујучним наносом.

Дуж свих ових деоница су изграђени обострани насипи, а њихове карактеристике су дате у табели 4.1.

У Ваљеву су уређена и корита притока Колубаре - Градца, Љубостиње и потока Перајица.

4.1.1.7 Десне притоке Колубаре

Марица

Марица је најнизводнија десна притока Колубаре. Од km 2+385 до km 7+539 је изведена регулација у циљу заштите пољопривредног земљишта. Регулисано корито је једногубо са обостраним насипима, димензионисано на 2% велику воду, уз надвишење насипа од 1,0 m. Потребно је наставити радове на низводној деоници (од ушћа до km 2+385), као и на узводно. У ОП15БГ је деоница ове реке од km 2+385 до km 5+066 (С.3.5.13.).

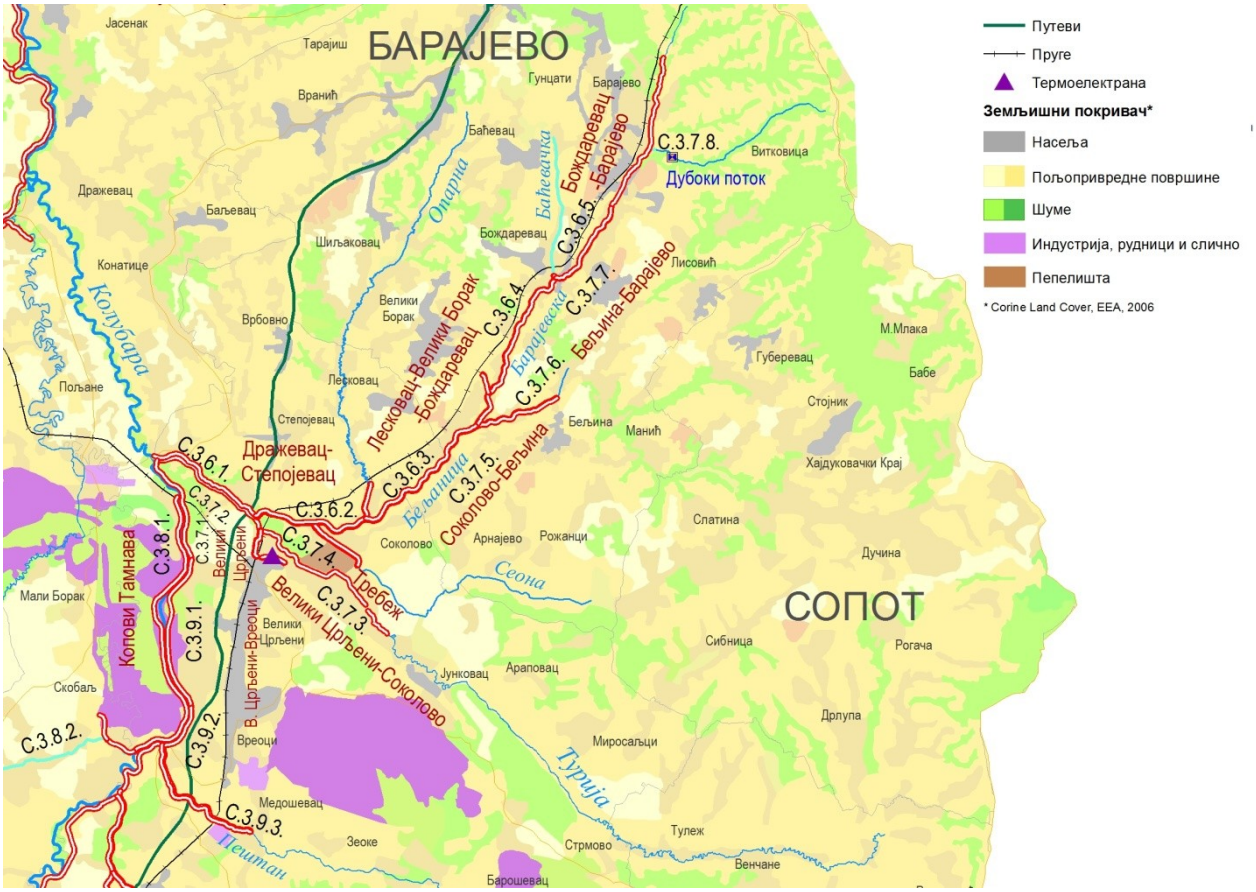
Турија са притокама

Турија је десна притока Колубаре, у коју се улива код km 27. Дуж тока Турије су, у више наврата и на бази различитих критеријума, вршени радови на заштити насеља Степојевац и Велики Црљени, термоелектране "Колубара А", саобраћајница и пољопривредног земљишта од плављења.

Од ушћа Турије у Колубару до моста на путу Степојевац-Лазаревац (km 4+155) изведени су обострани насипи (С.3.6.1. и С.3.7.2.) који се протежу паралелно са трасом регулисаног тока. Насипи су извођени депоновањем материјала из ископа корита уз трасу реке. Код ушћа се левообални насип Турије (С.3.7.2.) везује за деснообални насип Колубаре (С.3.7.1.).

Од моста на путу Лазаревац-Степојевац (km 4+155) до km 7+320 изграђен је 1988. само левообални одбрамбени насип (С.3.7.3.), иако је пројектном документацијом предвиђена изградња обостраних насипа. Насип штити мелиорационо подручје између река Турије и Пештан. На овом потезу није решен проблем одвођења унутрашњих вода.

Дуж леве обале потока **Баре**, леве притоке Турије, изграђен је насип на ушћу (С.3.7.2.), у циљу заштите ТЕ "Колубара А" у Великим Црљенима од успорних вода Турије.



Слика 4.6 Штићено подручје дуж Турије и притока

Бељаница је раније текла паралелно са Турijом и уливала се у Колубару. Њен ток је промењен 1980., тако да се она сада као десна притока улива у Турију.

Радови на регулацији Бељанице (насипи на десној обали - С.3.6.2. од ушћа у Турију до ушћа Опарне, С.3.6.3. од ушћа Опарне до ушћа Барајевске реке и С.3.7.6. узводно од ушћа Барајевске реке и насипи на десној обали - С.3.7.4. од ушћа у Турију до ушћа Сеоне и С.3.7.5. узводно од ушћа Сеоне) изведени су до km 9,8, иако су пројектовани

до km 11,8. Регулисано корито има ширину у дну 7-5 m и нагибе косина 1:2, а уз корито су изведени обострани насипи чија је нивелета круне 1,0 m виша од нивоа 1% велике воде. Насипи штите пољопривредно земљиште.

Сеона је лева притока Бељанице, у коју се улива на km 1+750. Регулација Сеоне (С.3.7.4. и С.3.7.5.) изведена је од ушћа у Бељаницу до моста на путу Соколово - Велики Црљени (km 1,9). Дно регулисаног корита је ширине у дну 3 m, а нагиби косина су 1:2. Уз само корито су обострани насипи, чија је кота 0,45 m виша од нивоа меродавне 2% велике воде.

Опарна, десна притока Бељанице, регулисана је 1986. године од ушћа у Бељаницу до железничког моста на прузи Београд-Бар (km 1,1), у циљу заштите пољопривредног земљишта (С.3.6.2. и С.3.6.3.). Проблем на овом потезу је притока - Лесковачки поток, кога би требало регулисати до пропуста на железничкој прузи Београд-Бар.

Барајевска река је десна притока Бељанице. На овом водотоку постоје три деонице: "пољска" регулација са обостраним насипима од ушћа у реку Бељаницу до Барајева, "градска" регулација кроз Барајево (у дужини од 1 km) и недовршена "пољска" регулација узводно од насеља. Кроз Барајево је изведено двогубо обложено корито, димензионисано за пријем 2% велике воде, а надвишење од 1,0 m омогућава прихват $Q_{1\%}$. На деоници узводно од Барајева урађено је чишћење корита и извођење насипа - депонија од материјала из ископа. Међутим, корито нема довољну пропусну моћ, а насипи су недовољних димензија. Потребно је завршити регулацију Барајевске реке до km 12,9.

Кашин поток је десна притока Барајевске реке, која је регулисана од ушћа до пропуста на прузи Београд-Бар (на дужини од 618 m). Регулисано корито (С.3.6.4.) димензионисано је на $Q_{2\%}$, без насипа. Неопходно је наставити радове на регулацији узводне деонице.

Баћевачка (или Бачка) река је десна притока Барајевске реке, а протиче између места Бождаревац и Гунцати. У циљу заштите пољопривредног земљишта, извршена је регулација водотока до km 4,3 од ушћа (С.3.6.4.), иако је пројектована до km 6+800. Регулисано корито је димензионисано на $Q_{2\%}$, уз надвишење од 1 m.

Дубоки поток је лева притока Барајевске реке. Регулисан је на ушћу у Барајевску реку (С.3.7.8.), а основна функција му је одвођење сувишних вода из акумулације "Дубоки поток".

Пештан

Пештан је десна притока Колубаре, у коју се улива код km 36+300. Потез Пештана од ушћа у Колубару до km 4+255 (С.3.9.3. и С.3.10.1.) је регулисан 1981. године, у циљу заштите пољопривредних површина у левом и десном приобаљу (Слике 4.3 и 4.4). Регулисано корито има облик трапеза (ширине 5 m у дну, нагиба косина 1:2), а уз њега су изведени обострани "насипи" мале висине (са котом која је око 0,8 m виша од нивоа меродавне стогодишње велике воде). У регулисаном кориту Пештана, на потезу између ушћа у Колубару и ибарске магистрале, на km 1+065 изграђена је каскада којом се контролише нивелета дна и комплетног регулисаног корита у узводном смеру.

Исталожавањем наноса дуж тока формирани су спрудови који смањују пропусну моћ корита за велике воде па се из тог разлога повремено мора вршити багеровање наноса из спрудова. Ове појаве у доњем току Пештана су вероватно последица превелике висине изграђене каскаде односно превише смањеног подужног пада дна узводно од каскаде, што изазива таложење наноса и постепено издизање дна корита.

Лукавица са притокама

Лукавица је десна притока Колубаре, у коју се улива на km 39+000. Регулација десне притоке Колубаре, Лукавице (С.3.10.3, С.3.10.5. и С.3.10.6.), извршена је од ушћа у Колубару до km 7+419, у циљу заштите пољопривредних површина у низводном току и града Лазаревца (слика 4.4). Примењена су два типа регулације:

- "Пољска" регулација (земљано двогубо корито са обостраним насипима) на деоници од ушћа у Колубару до моста на прузи Београд-Бар (дужина 4,65 km) изведена је 1978. године. Међутим, поплава у јуну 1996. године је показала да на низводној деоници корито нема довољну пропусну моћ, па је 1998. године урађен пројекат и започети радови на уређењу овог потеза водотока.
- "Градска" регулација на деоници кроз град Лазаревац, између моста на прузи Београд-Бар и km 7+419. На овој деоници регулисано корито је двогубо, димензионисано тако да може да пропусти стогодишњу велику воду уз надвишење од 0,5 m. На деоници дужине 2,3 km извршено је облагање каменом кинете за малу воду и косина у форланду. Изведена је 1976. године.

Од km 0+000 до km 4+650 корито са насипима нема довољну пропусну моћ за стогодишњу велику воду. За раегулацију ове деонице Лукавице урађен је главни пројекат.

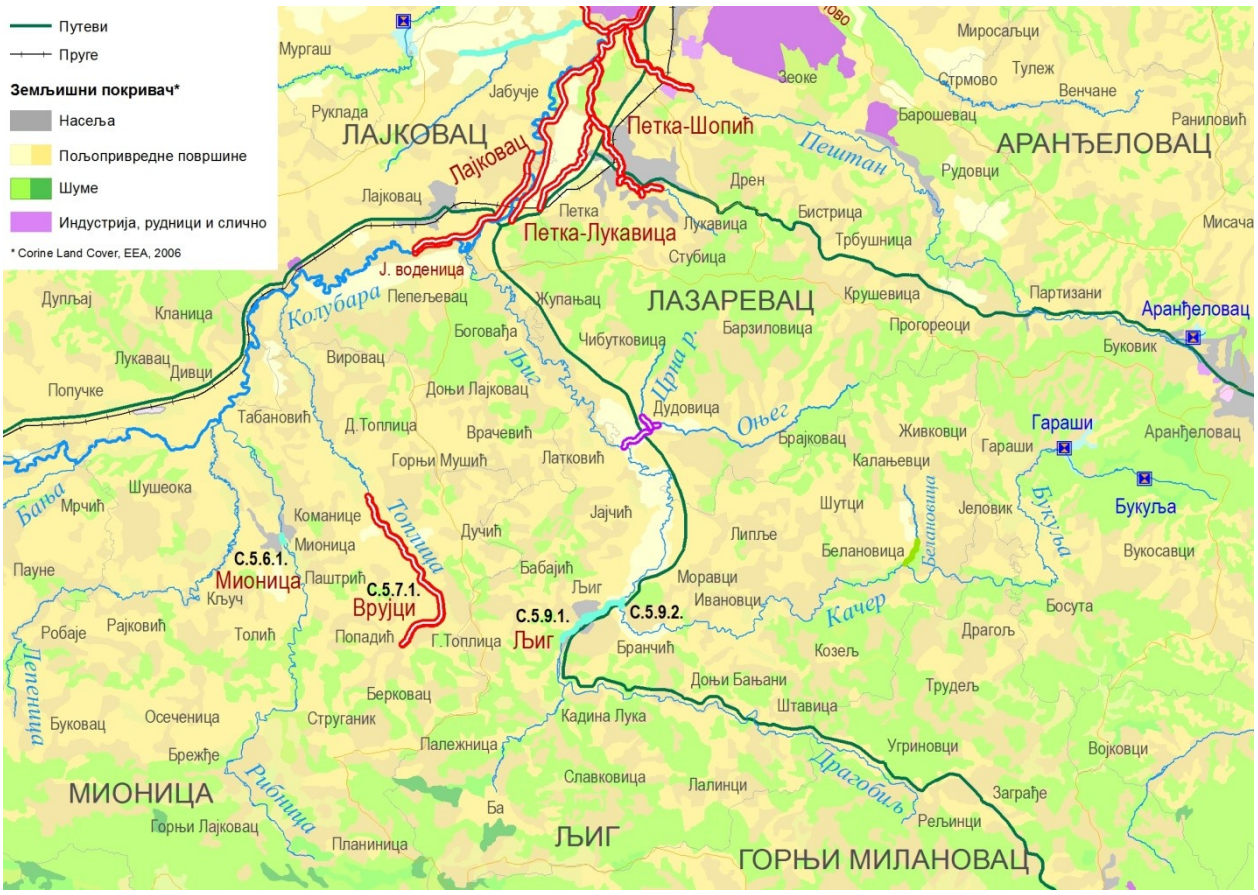
Дуж потока **Очага**, леве притоке Лукавице, у циљу заштите пољопривредних површина изведен је леви насип дужине 4,67 km и десни насип дужине 550 m (С.3.10.6.).

Потоци **Шушњарица** и **Стубички** су леве притоке Лукавице у Лазаревцу. Регулација ових потока (С.3.10.6.) је извршена само у зонама ушћа, али је треба наставити узводно.

Љиг са притокама

Љиг је највећа десна притока Колубаре, у коју се улива код Лајковца (слика 4.7). Регулација Љига је изведена на укупној дужини од око 3,6 km, кроз град Љиг и низводно до ушћа Качера (С.5.9.1.). Радови су вршени етапно, почевши од најузводнијег потеза. Најпре је, у периоду 1972-1977. година, изведена регулација кроз град Љиг (дужине 2,4 km). Профил регулисаног корита има трапезни облик, ширине 20 m у дну и нагиба косина 1:1,5. Дно корита није обложено, али су на размаку од 150 m изведени стабилизациони прагови са низводним габионским тепихом дужине 6 m. Уз корито су изграђени обостани насипи, димензионисани да прихвате стогодишњу велику, уз надвишење од 1,0 m.

Регулација низводне деонице, од града Љига до ушћа Качера (дужине око 1,2 km) изведена је касније, у циљу обезбеђења пропусне моћи корита као на узводној деоници. Регулисано корито има облик једногубог трапеза, са обостраним насипима чија је круна око 1,2 km виша од нивоа меродавне стогодишње велике воде.



Слика 4.7 Штићено подручје дуж Љига, Топлице и Рибнице

Качер је десна притока Љига, која је регулисана на дужини од 200 m, од ушћа у до моста на Ибарској магистрали (С.5.9.2.). Корито је димензионисано да прихвати Q2%, док је контролна вода $Q_{1\%}$. Изведен је трапезни профил ширине 6 m у дну и нагиба косина 1:2.

У сливу Љига регулисане су и реке Белановица, Оњег и Црна река али ови објекти нису у републичком ОП15.

Белановица је бујична десна притока Качера, у коју се улива код места Белановице. Пре извођења регулационих радова, долазило је сваке године до изливања из плитког речног корита у самом насељу Белановица, праћеног штетама на стамбеним, привредним и комуналним објектима у приобаљу. Регулација Белановице кроз Белановицу извршена је на дужини од 1,13 km, а димензионисана на Q1% овог водотока. Профил је једногуби трапез, обложен каменом у цементном малтеру. На потезу кроз насеље изведено је и више објеката (уливни и изливни објекат, 7 каскада и 3 пропуста).

Оњег је десна притока Љига. Урађена је делимична регулација корита, са десним насипом у виду депоније, на потезу узводно од ушћа у Љиг (дужине 1,8 km). Насип није одговарајућих димензија, па је потребно извршити регулацију са обостраним насипима и продужити је још око 3 km.

Црна река је притока Оњега. Изведена је регулација са обостраним насипима на дужини 600 m. Овим је заштићено насеље Дудовица и део Чибутковице од редовног плављења.

Топлица

Топлица је десна притока Колубаре, чије природно корито карактерише изражена вијугавост, са великим бројем кривина и меандара. Корито је малих димензија, ширине 4-20 m и дубине 1-4 m. Основни водопривредни проблем на сливном подручју овог водотока су честе поплаве. Бујични поплавни таласи знатно надмашују пропусну моћ природног корита, па долази до изливања и плављења речна долине, са великим штетама на пољопривредном земљишту.

Историјат решавања водопривредних проблема у сливу Топлице започиње 1959. године, израдом првог пројекта регулације, који није реализован. Након израде Идејног решења уређења тока реке Топлице 1971. године, урађен је Главни пројекат регулације Топлице кроз бању Врујци. Радови по овом пројекту изведени су 1973. године, јер је заштита бање имала приоритет над другим радовима на Топлици.

На деоници Топлице кроз бању Врујци (дужине 2,3 km) изведена је "градска" регулација односно корито двогубог трапезног облика, које обезбеђује заштиту од педесетогодишње велике воде, уз сигурносно надвишење од 0,4 m (односно од стогодишње велике воде уз надвишење око 0,2 m). Минор корито је обложено каменом у цементном малтеру, док су форланди и насипи затрављени. Због великог подужног пада и брзина воде, изведено је 13 каскада, са слапиштима комплетно обложеним каменом и додатним осигурањем на форландима од габиона, као и 13 консолидационих прагова од камена.

Регулацијом Топлице кроз бању Врујци решен је проблем заштите овог насеља од поплава, али је погоршано стање на низводном сектору, где су поплаве постале учесталије и изразитије. Стога је 1982. године настављена регулација водотока низводно, на дужини од око 3 km. На овој деоници, од Команичког моста до Бање, изведена је "пољска" регулација. Постојеће речно корито је очишћено и проширено (до приближно параболичне форме), а уз њега су изведени обострани "насипи" од материјала из ископа. Насипи имају благ нагиб брањене косине (1:10) и просечне су висине око 1 m. Регулисано корито је димензионисано тако да приближно до нивоа терена прихвати меродавну двадесетогодишњу велику воду. Међутим, насипи су око 0,5 m виши од нивоа стогодишње велике воде, тако да је на овом потезу обезбеђен висок степен заштите.

Последња фаза уређења Топлице започиње 1982. године, израдом Главног пројекта регулације Топлице од km 0+000 до km 12+485. Радови по овом пројекту су изведени само на кратком потезу између моста код Горњег Мушића и моста у Команицама (дужине око 2,3 km). Овде је примењен "пољски" тип регулације за меродавну двадесетогодишњу велику воду, док је стогодишња била контролна. Типски попречни профил има параболичну форму и променљив је дуж тока, јер је на деоницама где се подударају траса регулације и природног корита предвиђено проширење профила и формирање насипа према типском профилу, али без потпуне геометријске сличности профила. Уз корито су обострани насипи ширине 2 m у круни, са нагибом косина 1:2. На сектору од ушћа до km 9,6 корито је и даље природно, са свим проблемима који из тога проистичу.

У ОП15 се наводе само обострани насипи, сваки дужине 4,10 km, уз регулисано корито Топлице кроз насеље Врујци (С.5.7.1.). На слици 4.7 су приказани насипи и на низводном потезу, укупне дужине око 8 km, сваки.

Рибница

Рибница је десна притока Колубаре, изразито бујичног карактера, која протиче кроз Мионицу. Готово сваке године долази до изливања великих вода из неуређеног речног корита, које нема довољну пропусну моћ. Иако је регулација Рибнице пројектована на

дужини од 10 km (од састава Паљешнице и Крчмарске реке тј. од пројектоване бране у Паштићу до ушћа у Колубару), изведена је само градска регулација кроз Миоиницу (С.5.6.1.), на дужини од 161 m. Меродавна велика вода за димензионисање регулисаног корита је $Q_{1\%}$. Профил регулисаног корита је двогуби, са обостраним насипима ширине 2 m у круни. Минор корито и косине мајор корита су обложени каменом у цементном малтеру, док су форланди и насипи затрављени.

Градац је десна притока Колубаре, у коју се улива у самом Ваљеву. Регулација корита Градца (С.5.1.1.) извршена је 1972. године, на деоници од ушћа у Колубару до пешачког моста, дугој 240 m. Регулација је изведена за стогодишњу велику воду. Профил регулисаног корита је двогуби, са косинама обложеним каменом у цементном малтеру и затрављеним форландима. Планирано је уређење овог водотока и на узводној деоници, дужине 635 m.

4.1.1.8 Леве притоке Колубаре

Тамнава

Тамнава је најзначајнија лева притока Колубаре у коју се улива на km 14+100. Честим изливањем у доњем току наносила је велике штете приобалном, равничарском подручју.



Слика 4.8 Штићено подручје дуж Тамнаве и притока

Историјат изградње система за одбрану од поплава у доњем току Тамнаве започиње 1956. године, када је урађен Главни пројекат регулације реке Тамнаве од ушћа до Ћемановог моста (моста на путу Београд-Уб). Пројектом је била превиђена заштита око 2.350 ha плодног земљишта и насеља Бровић, Лончаник, Пироман, Велико Поље и Бргуле. Радови су извођени у периоду 1957-1959. Радови нису изведени у пројектом предвиђеном обиму, јер је ископ речног корита вршен само у количинама потребним за изградњу насипа, па нису изведени сви проseци и ископи у минор кориту. Квалитет насипа није био задовољавајући, јер су се јављала преливања, подвирне воде и извори у ножици. Проблеми су се посебно манифестовали током одбране од поплава 1981. године.

После поплаве 1981. године, у периоду 1982-1984. извршена је реконструкција левообалног насипа на деоници дужине 13,85 km од ушћа у Колубару до Ћемановог моста (С.3.5.3.), тако да штити подручје у касети Обреновац од $Q_{1\%}$ Тамнаве.

Насипска линија на десној обали Тамнаве, реконструисана је или грађена у више фаза. Насип од ушћа Кладнице (Старе Колубаре) до високог терена код села Бргуле, од km 0+000 до km 4+554, реконструисан је у периоду 1987-1990. У истом периоду, у циљу затварања одбрамбене касете Лисо Поље - Бргуле, изведен је и насип на левој обали Кладнице (Старе Колубаре), дужине 770 m (С.5.3.1.). Насипи обезбеђују заштиту од стогодишње велике воде, уз надвишење од 1,0 m. Димензије реконструисаног насипа су: ширина у круни 3 m и нагиби косина 1:2,5. Исте димензије има и насип дуж Кладнице (Старе Колубаре).

На деоници од села Бргуле до ушћа Уба 1990. године су започети радови на извођењу новог десног насипа, дужине 3.748 m (km 4+833 - km 8+581). Насип је био пројектован да обезбеди заштиту од меродавне 25-годишње велике воде Тамнаве. У току извођења радова констатовано је да би овај насип, уколико се уради по елементима из пројектне документације, био око 1,0 m нижи од насипа на левој обали реке, реконструисаних на $Q_{1\%.}$ Стога је комисијски усвојено да се десни насип ради са нивелетом круне која одговара насипима на левој обали водотока, па данас овај насип обезбеђује заштиту од $Q_{1\%}$ уз надвишење 1,0 m. Заједно са насипом на низводној деоници чини десни насип уз Тамнаву од ушћа Кладнице (Старе Колубаре) до ушћа Уба, који у ОП15 има шифру С.5.3.1. и штити насеља и пољопривредне површине у касети Лисо Поље - Бргуле.

Десни насип Тамнаве (С.5.3.4.) од ушћа Уба до Ћемановог моста (km 8+581 - km 12+083), дужине 3,5 km је пројектован да обезбеди заштиту од стогодишње велике воде, са заштитним надвишењем од 1,0 m. У периоду 1990-1994. година урађено је око 2,8 km насипа. Међутим, због проблема са изграђеним објектима на траси насипа на око 1,1 km низводно од Ћемановог моста, урађена је измена пројекта, у којој је предвиђен ископ трапезног корита (ширине 12 m у дну и нагиби косина 1:2,5) са обостраним насипима уз само корито. Насипи су ширине 4 m у круни, нагибима небрањене косине 1:2,5 и брањене косине 1:2 и круном која је 1,0 m виша од нивоа $Q_{1\%}$. Заједно са левим насипом уз Уб штити пољопривредне површине у затвореној касети "Ћеманов мост".

Леви (С.5.3.5.) и десни (С.5.3.6.) насип уз регулисано корито Тамнаве од Ћемановог моста до моста за Таково, дужине 5,66 km су изведени према пројектној документацији из 2008. године. Карактеристике попречних прифила су усвојене тако да се траса објеката уклопи у границе регулационог плана и избегне рушење моста у Црвеној Јабуци, чиме је одступљено од препоручених димензија објеката дефинисаних у идејном пројекту. Усвојен је јединствени попречни профил на целој деоници, димензија минор корита -ширина дна 7 m, дубина 1,5 m и нагиб косина 1:3; ширина берми 5 m са нагибима према минор кориту 2%, нагибима косина корита за велику воду 1:2, висине 2,8 m, тако да је укупна висина профила 4,3 m, и крунама насипа ширине 3 m за сигурно кретање механизације за одржавање. Корито се облаже травом осим речног дна које је од природног материјала. У појасу мостова врши се облагање каменом у цементном малтеру, а такође се облажу и косине минор корита каменом у цементном малтеру на конкавним кривинама где постоји ризик одношења ножице минор корита. Крајеви облагања корита и преломи нивелете утврђују се стабилизационим праговима. Облагање је обострано само у појасу низводног просека где се налазе стамбени објекти. Хидраулички прорачуни су показали да мост у Црвеној Јабуци, због узаног отвора моста од просечно 11 m и висине 4,4 m, ствара успор при великим водама.

Узводно од моста за Таково извршено је чишћење корита Тамнаве уз обострано надвишење обала (С.5.3.7.) на дужини од 2,6 km.

На Тамнави су извршене и парцијалне регулације у Коцељеви и селу Доње Црниљево. Преостали део тока Тамнаве је у природном стању, тако да долази до изливања из корита и плављења пољопривредног земљишта.

Коцељева је смештена у широкој долини Тамнаве. Честе поплаве иницирале су регулацију корита у циљу заштите Коцељеве и околног пољопривредног земљишта, која је на дужини од око 3 km изведена 1978. године. На деоници која почиње 300 m низводно од моста на путу Ваљево-Шабац до воденице, изведено је трапезно корито ширине 8 m у дну, нагибима косина 1:2, димензионисано да прихвати меродавну велику воду $Q_{2\%}$. Косине корита су местимично обложене каменом облогом. Такође су пројектовани и обострани насипи уз регулисано корито (С.5.4.1.). На ушћу Раснице (која је раније регулисана) изведена је каскада висине 1,8 m.

Регулација кроз село Доње Црниљево (С.5.5.1.), које се налази у горњем току Тамнаве, изведена је 1987. године, на дужини од 1 km. Изведено је просецање кривина (којим је дужина тока скраћена са 1.825 на 1.000 m) и ископ новог корита ширине 2 m у дну и нагиба косина 1:1,5. На левој обали изведен је насип, са ширином у круни 3 m и нагибима косина 1:1,5. Меродавна велика вода за димензионисање насипа била је $Q_{2\%}$.

Уб

Уб је десна притока Тамнаве. Регулисан је од ушћа у Тамнаву до града Уба, на дужини од 12,5 km, док је узводно од града (мост у Гуњевцу) извршено чишћење корита. Могу се издвојити четири потеза:

- Од ушћа у Тамнаву до Шарбана, на деоници која је под утицајем успора великих вода Тамнаве (km 0+000 - km 3+830) изграђени су обострани насипи (С.5.3.2. и С.5.3.3.). Повезивањем насипа Уба са деснообалним насипима Тамнаве узводно и низводно од ушћа Уба, обезбеђена је заштита од поплава око 2.000 ha плодног пољопривредног земљишта, као и више локалних саобраћајница. Регулисано корито Уба на овој деоници има облик двогубог трапеза (минор корито ширине у дну 9 m, просечне дубине 3 m, нагиба косина 1:2) и без изливања пропушта $Q_{2,5\%}$. Са обе стране минор корита су форланди ширине 20 m и насипи. Меродавна велика вода за димензионисање насипа је $Q_{4\%}$, а контролна $Q_{2\%}$. Надвишење круне насипа изнад нивоа меродавне велике воде је 0,6 m, а изнад контролне 0,4 m. У зони ушћа у Тамнаву надвишење насипа је 0,8 m изнад меродавне велике воде.
- Регулисано корито Уба (С.5.3.8.) од Шарбана до "циглане" (km 3+830-8+300). На овој деоници регулациони радови су извршени у циљу заштите од поплава око 500 ha пољопривредног земљишта. Изведено је једногубо трапезно корито са обостраним насипима, ширином корита у дну 8 m и нагибима косина 1:2. Обострани насипи су димензионисани на $Q_{4\%}$, са надвишењем од 0,2 m.
- Регулисано корито Уба кроз насеље Уб (С.5.3.9.), од "циглане" до моста у Гуњевцу (km 8+300-12+533). Радови на регулацији су почели 1976. године када је изведена регулација градског типа, са једногубим трапезним коритом, ширине у дну 8 m, нагиба косина 1:2, са обостраним насипима ширине у круни 3 m. Мајор корито је било димензионисано на $Q_{4\%}$, уз надвишење 0,2-0,3 m, тако да је без изливања примало $Q_{2\%}$. Облога косина регулисаног корита је изведена само у зонама мостова.

  Током наиласка више таласа великих вода Уба 2009. и 2010. године, поплављено је више делова града Уба и других насеља у приобаљу реке, те је одлучено да се подигне ниво заштите. У периоду 2011-2013. изведени су радови на реконструкцији регулисаног корита Уба, тако да обезбеђује заштиту од $Q_{1\%}$. Изведено је двогубо корито са АБ кинетом у дну, ширине у дну 8 m, нагиба косина 1:2 и висине 2 m. Заштита дна новоформираног трапезоидног минор корита је обезбеђена АБ кинетом, а заштита косина минор корита применом анкерисаног ћелијског перфорираног PEHD система. У дну косине је урађена ножица од ломљеног камена преко које је изведена упорна АБ греда. Мајор корито је такође трапезоидног облика са доњом АБ сервисном стазом ширине 2,5 m, просечним нагибом косина 1:1,5, минималном висином 3 m и ширином горње заштитне стазе 2,50 m. Заштита новоформираног мајор корита је

обезбеђена израдом доње АБ сервисне стазе на форланду, обострано ширине 2,5 m, дебљине 12 cm. Заштита косина мајор корита је урађена у зони 4 постојећа моста каменом облогом.

Протицајни профили у зони четири постојећа моста нису били довољни да пропусте стогодишњу велику воду, па је урађена реконструкција и осигурање речног корита у зони мостова.

У циљу обезбеђења оптималних ефеката регулационих радова изведени су и радови на обезбеђењу пропусне моћи низводне деонице Уба (km 6+570 - 9+600), као и узводне деонице (km 11+300 - 12+510).

На овим деоницама је урађено чишћење корита (уклањање наслага наноса, шибља и стабала) и хидрауличко обликовање косина. Изведено је трапезоидно корито ширине у дну 8 m, нагиба косина 1:1,5 - 1:2. Квалитетнији земљани материјал из ископа се користио за надвишење обала. Урађена је и камена заштита на критичним локацијама. На низводној деоници изведено је 7, а на узводној 3 стабилизациона прага од камена слаганог у габионске кошеве у циљу осигурања дна регулисаног корита. Ширина круне заштитног насипа дуж леве и десне обале је 3 m и уједно се користи као сервисна стаза.

- И на деоници узводно од града (С.5.3.10., km 12+533 - 13+450,) изведено је чишћење и машински ископ корита, са једногубим трапезним коритом, ширине у дну 8 m, нагиба косина 1:2, са обостраним насипима ширине у круни 3 m. Такође је, непосредно узводно од моста на путу Уб-Коцељева (km 12+540) изведен на десној обали попречни насип, дужине 200 m. На тај начин је десни насип на регулисаној деоници повезан са високим тереном и заокружена одбрана самог града од поплавних вода које се могу излити на узводној деоници.

Враничина

Враничина или Крља је лева притока р. Колубаре, чија је површина слива 23,85 km^2.

Регулација Крље и Враничине изведена је у склопу регулације и измештања Колубаре и притока на делу експлоатационог подручја проширеног копа „Тамнава". Изведена је од моста на путу Лајковац - Обреновац (km 1+530) до излаза из хидротехничког тунела акумулације Паљуви - Виш (km 6+414). Регулисано корито прима воду из тунела ове акумулације. Корито са обостраним насипима мале висине штити пољопривредно земљиште у приобаљу.

Дуж регулисаног корита (ширине 3 m у дну) изведени су обострани насипи, ширине 3 m у круни и нагиба косина 1:2. Насипи су од материјала из ископа. Надвишења насипа изнад нивоа педестогодишње велике воде је 0,5 m, тако да регулисано корито може да прихвати и $Q_{1\%}$.

Током мајских поплава из 2014.године, поплавне воде реке Колубаре су однеле део трасе водотока реке Враничине од ушћа у Колубару до моста на путу Лајковац – Обреновац.

По проласку мајских поплава, урађен је главни пројекат интервентних радова на санацији корита реке Враничине. Предвиђено је ново корито реке Враничине од улива у Колубару до моста на путу Обреновац Лајковац. Овај део трасе је дужине око 1,9 km. Корито је трапезног попречног пресека, ширине дна 6,0 m и нагиба косина 1:2. Корито је димензионисано да прихвати двадесетогодишњу велику воду $Q_{5\%}$. На левој обали корита реке Враничине превиђен је насип на јужној граници Тамнавских копова. Овај насип је димензионисан да прихвати $Q_{0,1\%}$ реке Колубаре.

Радови на изградњи овог дела корита реке Враничине изведени су током лета и јесени 2015.године.

Љубостиња

Љубостиња је лева притока Колубаре, која протиче кроз стамбену и индустријску зону Ваљева и у реципијент се улива нешто низводно до града. Регулација Љубостиње (С.5.1.2.) је изведена од ушћа у Колубару до моста на путу за Шабац, на дужини од 4,86 km. Због великих штета које би изливање овог водотока изазвало у приобаљу, за овај водоток је усвојен висок степен заштите. По карактеристикама речног корита разликују следеће деонице:

- Деоница код ушћа у Колубару (дуга 436 m) са каменом обложеним минор коритом и обостраним насипима. На овој деоници је меродавна за димензионисање регулисаног корита била хиљадугодишња велика вода.
- Деоница кроз Ново насеље и код фабрике "Србијанка", дуга 1,44 km, има једногубо трапезно корито, димензионисано на Q1% односно Q0,1% (500 m код фабрике).
- Деоница код фабрике "Крушик" (763 m) са двогубим коритом, обложеним каменом, које је димензионисано на Q0,1%.
- Деоница поред болнице (964 m), која се протеже од моста код западне капије "Крушика", поред болничког круга до моста за насеље Пети пук. Регулисано корито има двогуби облик. Комплетно мајор корито је укопано, нема насипа. Минор корито је урађено у комбинацији бетона у дну и зидова од камена у цементном малтеру на косинама. Меродавна за димензионисање регулисаног корита била је Q0,1%, а контролна вода Q0,01%.
- Деоница код Дувана (479 m), од моста за насеље "Пети пук" до моста на путу за Шабац има регулисано корито са сложеном, асиметричном формом. На рубу левог форланда је потпорни зид. Тип облоге минор корита и степен заштите је исти као на низводној деоници.
- Деоница узводно од моста на путу за Шабац до уливне грађевине (779 m). Изведено је једногубо корито обложено каменом у цементном малтеру.

Перајица

Поток **Перајица** је лева притока Колубаре, која протиче кроз индустријску зону Ваљева. Регулација потока Перајица изведена је на дужини од 1,34 km. Обзиром на значај заштите објеката, посебно фабрика, у приобаљу од поплава, као меродавна за димензионисање регулисаног корита усвојена је стогодишња велика вода. Регулисано корито је једногубо, са нагибом косина 1:1,5. Овај објекат није у ОП15.

Табела 4.1 Основне карактеристике објеката у систему за заштиту од поплава

ТЕХНИЧКА ДЕОНИЦА	ВОДОТОК	ОБАЛА	ТИП ОБЈЕКТА	НАЗИВ ОБЈЕКТА	ОЗНАКА ОБЈЕКТА (ОП15)	СТАЦ. ОБЈЕКТА		СТАЦ. ВОДОТОКА		ДУЖИНА ОБЈЕКТА			ШИРИНА КРУНЕ/ БАНКИНЕ	НАГИБ КОСИНЕ		КОТА КРУНЕ	ПРОСЕЧНА ВИСИНА
						почет на	крајња	почет на	крајња	ТЕХ. ДОК.	ОП	ГИС		речна страна	брањена страна		
						km	km	km	km	km	km	km				поч. / кр. (m н.в.)	(m)
КОЛУБАРА - НЕПОСРЕДНИ СЛИВ																	
С.3.4.	САВА	десна	Н	*висок терен у Баричу - ушће Баричке реке*	С.3.4.1.	0+000	0+750	25+400	26+200	0.750	0.750	0.549	2.0	1:1,5	1:1,5	77.5	
	БАРИЧКА РЕКА	обострани	Н+РК	*ушће - мост на путу Београд-Обреновац*	С.3.4.1.	0+000	0+989	0+000	0+989	2*0.900	0.990	0.907	3.0	1:2		77.5	
		-	*РК*	*у Баричу*	*С.3.4.6.*	*0+989*	*4+279*			*3.290*	*2.238*	*3.329*					
	ПОТОК КОЛОНИЈА	-	*РК*	*у Баричу*	*С.3.4.7.*	*0+000*	*0+390*				*0.390*						
	САВА	десна	Н	*ушће Баричке реке - "Прва искра"*	С.3.4.2.	0+000	0+438	26+200	27+100	0.438	0.450	0.535	2.0	1:1,5	1:1,5	77.5	
			Н	*"Прва искра" - ушће Колубаре*	С.3.4.3.	0+438	1+000			0.562	0.550	0.379	6.0	1:4 / 1:3	1:5 / 1:7	78.3	
	КОЛУБАРА	десна	Н	*ушће - мост на путу Београд-Обреновац*	С.3.4.4.	0+000	2+900	0+000	3+000	2.900	2.900	2.900	6.0	1:3	1:5 / 1:7	78.11 / 78.05	3-5
			Н	*мост на путу Београд-Обреновац - Мислођин*	С.3.4.5.	2+900	4+887	3+000	5+050	1.987	1.990	1.993	6.0	1:2,5 / 1:2	1:3 / 1:5	78.05 / 79.25	3-5
С.3.5.	КОЛУБАРА	лева	Н	*ушће - мост на путу Београд-Обреновац*	С.3.5.1.	0+000	2+480	0+000	3+950	2.480	2.480	2.464	4.0+6.0	1:2	1:3 / 1:5	78.2	3-5
			Н	*мост на путу Београд-Обреновац - ушће Тамнаве*	С.3.5.2.	0+000	2+495			2.495	10.230	10.785	6.0	1:3	1:5	78.20 / 79.50	4.5
					С.3.5.2.	2+495	10+223			7.728			4.0	1:3	1:3	79.50 / 81.57	3.5-4.5
	ПОТОК ЧИКОВАЦ	лева	Н+РК	*од ушћа*	С.3.5.2.	0+000	1+290	0+000	1+290	1.290	1.290	1.246	4.0	1:2	1:2	80.7	3-3.5
	ТАМНАВА	лева	Н	*ушће - Ћеманов мост*	С.3.5.3.	0+000	13+850			13.850	13.850	13.370	4.0	1:2,5	1:3	81.80 / 89.85	3
	ТРСТЕНИЦА	обострани	Н+РК	*од ушћа*	С.3.5.3.	0+000	2+650			2*2.650	2*2.650	2*2.650	3.0	1:2,5	1:2	83.71 / 84.26	2
	САВА	десна	Н	*Забрешке ливаде - Вић Бара*	С.3.5.4.	0+000	10+035	27+300	38+080	10.035	10.040	10.003	6.0	1:3	1:3 / 1:5	78.20 / 78.70	5
			ОЗ+ОУ	*Забрежје*	С.3.5.5.	0+000	0+820	38+080	38+921	0.820	0.820	0.858	0.7	верт.	5:1	78.2	
			ОЗ+ОУ	*"Бора Марковић"*	С.3.5.6.	0+000	0+670	38+921	39+595	0.670	0.670	0.609	0.4	верт.	верт.	78.2	
			Н+ОУ	*кроз круг војске*	С.3.5.7.	0+000	0+470	39+595	40+065	0.470	0.470	0.506	6.0	1:1,5	1:2	78.65	
			ОЗ+ОУ	*код Бреске*	С.3.5.8.	0+000	0+950	41+105	41+900	0.950	0.950	0.996	0.5	верт.	верт.	78.2	
			ОЗ+ОУ	*код ТЕ "Н. Тесла"*	С.3.5.9.	0+000	0+670	41+900	42+545	0.670	0.670	0.779	0.5	верт.	верт.	78.2	
			Н	*поред пепелишта ТЕНТ-а (висок терен)*	С.3.5.10.	0+000	4+790	42+545	47+900	4.790	4.900	4.908	4.0+6.0	1:2 / 1:2,33		83	9
			Н	*пепелиште ТЕНТ-а - виск терен у Скели*	С.3.5.11.	4+790	11+595	47+900	55+100	6.805	6.700	6.625	6.0	1:3	1:3 / 1:5	79.40 / 79.75	4
	ГРАБОВИЦА	десна	Н+РК	*од ушћа*	С.3.5.11.	0+000	7+500			7.500	7.500	8.062	РК	1:2	1:2	79.02 / 79.22	1-3
		лева	Н+РК	*од ушћа*	С.3.5.12.	0+000	7+500			7.500	7.500	8.035	РК	1:2	1:2	79.02 / 79.22	1-3
	ВУКИЋЕВИЦА	десна	Н+РК	*km 1+000 - km 9+120*	С.3.5.12.	0+000	8+120	1+000	9+120		8.120	8.104	РК	1:1,5	1:1,5	79.00 / 81.80	1-2.5
		лева	Н+РК	*мост на km 3+205 - km 9+120*	С.3.5.12.	0+000	5+915	3+205	9+120		5.915	5.432	РК	1:1,5	1:1,5	79.00 / 81.80	1-2.5
С.3.7.	КОЛУБАРА	десна	Н	*ушће Туриje - пут В. Црљени - Каленић*	С.3.7.1.	0+000	3+200	27+300	30+670		3.200	3.161	4.0	1:2	1:2	89.10 / 93.40	
	ТУРИЈА	лева	Н	*ушће - ушће потока Баре*	С.3.7.2.	0+000	3+780				3.780	3.819	10.0-15.0	1:2	1:2	89.20 /	
	ПОТОК БАРЕ	лева	Н+РК	*од ушћа*	С.3.7.2.	0+000	1+300			1.300	0.900	1.537	2.0	1:1.5	1:1.5	95.50 / 98.10	
С.3.9.	КОЛУБАРА	десна	Н	*пут В. Црљени - Каленић - пут М. Борак - Вреоци*	С.3.9.1.	3+200	7+750	30+670	34+960	4.600	4.550	4.571	4.0 / 8.0	1:2 / 1:3	1:2 / 1:3	93.40 / 95.82	
			Н	*пут М. Борак - Вреоци - ушће Пештана*	С.3.9.2.	7+750	9+550				1.800	1.374	4.0	1:2	1:2	95.82 / 97.47	
	ПЕШТАН	десна	Н+РК	*од ушћа*	С.3.9.3.	0+000	4+255			4.255	4.630	4.112	2.0-10.0	1:2	1:2	97.54 / 104.11	
С.3.8.	КОЛУБАРА	лева	Н	*мост на прузи Вреоци - Обреновац - ушће Враничине*	С.3.8.1.	0+000	9+300			9.300	4.550	8.805	8.0	1:3	1:3	87.20 / 99.45	
	ВРАНИЧИНА	лева	Н	*од ушћа*	С.3.8.2.	0+000	1+000			2.700	1.000	0.915	3.0	1:2	1:2		
		-	РК	*од ушћа*	С.3.8.2.	0+000	6+414			6.414	3.880	6.075					
	КРЉА	лева	Н	*од ушћа*	С.3.8.2.	0+000	1+000			0.500	1.000	0.972	3.0	1.2	1.2	98.65 / 108.72	

ТЕХНИЧКА ДЕОНИЦА	ВОДОТОК	ОБАЛА	ТИП ОБЈЕКТА	НАЗИВ ОБЈЕКТА	ОЗНАКА ОБЈЕКТА (ОП15)	СТАЦ. ОБЈЕКТА		СТАЦ. ВОДОТОКА		ДУЖИНА ОБЈЕКТА			ШИРИНА КРУНЕ/ БАНКИНЕ	НАГИБ КОСИНЕ		КОТА КРУНЕ	ПРОСЕЧНА ВИСИНА
						почетна	крајња	почетна	крајња	ТЕХ. ДОК.	ОП	ГИС		речна страна	брањена страна		
						km	km	km	km	km	km	km				поч. / кр. (m н.в.)	(m)
С.3.10.	ПЕШТАН	лева	Н+РК	од ушћа	С.3.10.1.	0+000	4+255			4.255	4.630	4.176	2.0-10.0	1:2	1:2	97.54 / 104.11	
	КОЛУБАРА	десна	Н	ушће Пештана - ушће Лукавице	С.3.10.2.	0+000	1+900	36+300	39+000		1.900	2.216	4.0	1:2	1:2	98.70 /	
	ЛУКАВИЦА	десна	Н+РК	ушће - Лазаревац	С.3.10.3.	0+000	7+419			7.419	7.420	7.240	3.0	1:2	1:2	99.70 / 128.48	
	КОЛУБАРА	десна	Н	ушће Лукавице - пут Београд-Краљево	С.3.10.4.	0+000	10+140	39+000	50+000		10.140	8.055	4.0	1:2	1:2	/ 109.60	
	ЛУКАВИЦА	лева	Н+РК	ушће - ушће Очаге	С.3.10.5.	0+000	2+500			7.419	2.500	2.284	3.0	1:2	1:2	99.70 /	
			Н+РК	ушће Очаге - Лазаревац	С.3.10.6.	0+000	4+920				4.920	4.774	3.0	1:2	1:2	/ 128.48	
	ОЧАГА	десна	Н	од ушћа	С.3.10.6.	0+000	0+550				0.550	0.485					
	ОЧАГА	лева	Н	од ушћа	С.3.10.6.	0+000	4+670			4.670	4.500	4.743					
	ШУШЊАРИЦА	обострани	Н+РК	од ушћа	С.3.10.6.	0+000	0+287			0.287	0.270	0.267	1.5	1:1.5	1:1.5	108.55 / 113.45	
	СТУБИЧКИ ПОТОК	обострани	Н+РК	од ушћа	С.3.10.6.	0+000	0+182			0.182	0.190	0.181	1.5	1:1.5	1:1.5	115.3 / 119.37	
С.5.8.	КОЛУБАРА	лева	Н	Јабучје - мост на путу Пепељевац-Лајковац	С.5.8.2.	0+000	5+390			5.390	6.840	6.301	3.0	1:2	1:2	104.79 / 111.02	
		лева	Н+РК			5+390	6+815			1.425			4.0	1:2	1:2.5	111.60 / 114.90	
		десна	Н+РК	код Јолића воденице	С.5.8.1.	0+000	2+185			2.185	2.910	1.466	4.0	1:2	1:2.5	110.55 / 114.90	
С.5.1.	КОЛУБАРА	обострани	Н+РК	код сточне пијаце и моста на обилазном путу	С.5.1.1.	0+000	0+270			0.270	5.130	4.006	2.0	1:1	1:1	170.00 / 170.78	
		обострани	Н+РК	железничка станица - пешачки мост код Дома културе		1+380	2+980			1.620			2.0	1:1	1:1.5	176.90 / 183.13	2
		обострани	Н+РК	код старе пијаце		2+980	3+130			0.180			2.0	1:1	1:1.5	183.13 / 184.05	2
		обострани	Н+РК	кроз Тешњар		3+130	3+656			0.517						184.39 / 186.04	1
		обострани	Н+РК	мост код парка "Јадар" - тениски терени код "Платана"		3+656	4+822			1.161				1:1		186.04 /	
		обострани	Н+РК	бетонски "чешаљ" - састав Обнице и Јабланице		4+822	5+127			0.257							
	ГРАДАЦ	обострани	Н+РК	од ушћа		0+000	0+240			0.240	0.240	0.200	2.0	1:1	1:1.5	180.84 / 182.1	2
	ЉУБОСТИЊА	обострани	Н+РК	km 0+110 - 0+546	С.5.1.2.	0+110	0+546	0+110	4+975	0.436	0.840	0.420	2.0	1:2	1:2	168.05 / 169.00	
		-	РК	km 0+546 - 1+990		0+546	1+990			1.444	3.300	3.756					
		-	РК	km 1+990 - 2+753		1+990	2+753			0.763							
		-	РК	km 2+753- 3+717		2+753	3+717			0.964							
		-	РК	km 3+717 - 4+196		3+717	4+196			0.479							
		-	РК	km 4+196 - 4+975		4+196	4+975			0.779							
-	*ПЕРАЈИЦА*	-	*РК*		-	*0+000*	*1+342*			*1.342*							
ПРИТОКЕ																	
-	*МАРИЦА*	*обострани*	*РОБ*	*km 2+400 - 7+539*	-	*2+400*	*7+539*			*4.139*							
С.3.6.	ТУРИЈА	десна	Н+РК	ушће - ушће Бељанице	С.3.6.1.	0+000	4+155			4.155	3.420	3.629	10.0-15.0	1:2	1:2	89.20 / 92.9	
	БЕЉАНИЦА	десна	Н+РК	ушће - ушће Опарне	С.3.6.2.	0+000	3+350				3.350	3.414	3.0	1:2	1:10	91.25 /	
	ОПАРНА	десна	Н+РК	од ушћа	С.3.6.2.	0+000	1+088			1.088	1.050	1.025	3.0	1:2	1:10	96.5 / 98.12	
		лева	Н+РК	од ушћа	С.3.6.3.	0+000	1+088			1.088	1.050	1.034	3.0	1:2	1:10	96.5 / 98.12	
	БЕЉАНИЦА	десна	Н+РК	ушће Опарне - ушће Барајевске реке	С.3.6.3.	0+000	4+650				4.650	4.510	3.0	1:2	1:10		
	БАРАЈЕВСКА РЕКА	десна	Н+РК	ушће - ушће Баћевачке реке	С.3.6.4.	0+000	5+200				5.200	5.184	3.0	1:2	1:2	103.71 /	
	КАШИН ПОТОК	обострани	Н+РК	од ушћа	С.3.6.4.	0+000	0+618			0.618	2*0.620	2*0.550	РК	1:1-1:1.5	1:1-1:1.5		
	БАЋЕВАЧКА РЕКА	десна	Н+РК	од ушћа	С.3.6.4.	0+000	4+300			4.300	0.100	0.079	3.0	1:2	1:2	114.05 / 133.82	
		лева	Н+РК	од ушћа	С.3.6.5.	0+000	4+300			4.300	0.100	0.079	3.0	1:2	1:2	114.05 / 133.82	
	БАРАЈЕВСКА РЕКА	десна	Н+РК	узводно од ушћа Баћевачке реке	С.3.6.5.	0+000	2+790				2.790	2.722	3.0	1:2	1:2	/ 150.77	

ТЕХНИЧКА ДЕОНИЦА	ВОДОТОК	ОБАЛА	ТИП ОБЈЕКТА	НАЗИВ ОБЈЕКТА	ОЗНАКА ОБЈЕКТА (ОП15)	СТАЦ. ОБЈЕКТА		СТАЦ. ВОДОТОКА		ДУЖИНА ОБЈЕКТА			ШИРИНА КРУНЕ/ БАНКИНЕ	НАГИБ КОСИНЕ		КОТА КРУНЕ	ПРОСЕЧНА ВИСИНА
						почет на	крајња	почет на	крајња	ТЕХ. ДОК.	ОП	ГИС		речна страна	брањена страна		
						km	km	km	km	km	km	km				поч. / кр. (m н.в.)	(m)
С.3.7.	ПОТОК БАРЕ	десна	Н+РК	од ушћа	С.3.7.3.	0+000	1+300			1.300	0.900	1.490					
	ТУРИЈА	лева	Н	узводно од ушћа потока Баре	С.3.7.3.	0+000	6+320				6.320	4.888	10.0-15.0	1:2	1:2	/ 98.7	
	БЕЉАНИЦА	лева	Н+РК	ушће - ушће Сеоне	С.3.7.4.	0+000	1+075				1.075	1.682	3.0	1:2	1:10	91.25 /	
	СЕОНА	лева	Н+РК	од ушћа	С.3.7.4.	0+000	1+942			1.942	1.940	1.833	3.0	1:2	1:2	93.89 / 96.14	
		десна	Н+РК	од ушћа	С.3.7.5.	0+000	1+942			1.942	1.940	1.811	3.0	1:2	1:2	93.89 / 96.14	
	БЕЉАНИЦА	лева	Н+РК	узводно од ушћа Сеоне	С.3.7.5.	0+000	9+120				9.120	8.704	3.0	1:2	1:10	/ 112.2	
		десна	Н+РК	узводно од ушћа Барајевске реке	С.3.7.6.	0+000	2+870				2.870	2.523	3.0	1:2	1:10	/ 112.2	
	БАРАЈЕВСКА РЕКА	лева	Н+РК	од ушћа	С.3.7.7.	0+000	12+880				8.000	12.628	3.0	1:2	1:2	/ 150.77	
	ДУБОКИ ПОТОК	-	РК	од ушћа	С.3.7.8.	0+000	0+160			0.160	0.160	0.167	РК				
С.5.9.	ЉИГ	обострани	РОБ	низводно од ушћа Качера	С.5.9.1.	0+000	0+150	21+800	21+950	0.150	3.630	3.090	3.0	1:2	1:2	140.70 / 141.05	
				ушће Качера - Љиг		0+150	1+184	21+950	22+984	1.034			3.0	1:2	1:2	141.05 / 144.05	
				кроз Љиг		1+184	3+625	22+984	25+425	2.441			3.0	1:1.5	1:2	144.05 / 154.85	1-1.5
	ГОДЕВАЦ	-	РК	од ушћа	С.5.9.1.	0+000	0+400				0.400	0.491					
	КАЧЕР	обострани	РОБ	од ушћа	С.5.9.2.	0+000	0+200			0.200	0.200	0.209					
-	*ОЊЕГ*	*десна*			-	*0+000*	*1+800*			*1.800*		*1.741*	*2.0*	*1:1.5*	*1:1.5*	*129.3 / 134.22*	
-	*ЦРНА РЕКА*	*обострани*			-	*0+000*	*0+600*			*2*0.600*		*2*0.560*	*РК*	*1:2*	*1:2*	*127.91 / 130.70*	
-	*БЕЛАНОВИЦА*	-	*РК*		-	*0+000*	*1+126*			*1.126*		*1.114*					
С.5.7.	ТОПЛИЦА	обострани	РОБ	мост у Горњем Мушићу - Команички мост	-	0+000	2+865	9+620	12+485	2*2.865		2*8.000	2.0	1:2	1:2	159.05 / 165.85	1
		обострани		Команички мост - Вруџи	-	2+865	5+910	12+485	15+530	2*3.045			0	1:10	1:2	165.85 / 171.4	
		обострани		кроз насеље Вруџи	С.5.7.1.	5+910	8+196	15+530	17+816	2*4.572	2*4.100		2.0	1:1.5	1:2	171.20 / 186.81	
С.5.6.	РИБНИЦА	обострани	РОБ	кроз Миоиницу	С.5.6.1.	0+666	0+827			2*0.161	0.320	0.308	3.0	1:1	1:1.5	169.40 / 170.40	1
С.5.3.	СТАРА КОЛУБАРА	лева	Н	од ушћа	С.5.3.1.	0+000	0+770			0.770	0.770	0.823	3.0	1:2.5	1:2.5	82.47 / 82.35	
	ТАМНАВА	десна	Н	ушће Кладнице (Старе Колубаре) - Бргуле	С.5.3.1.	0+000	4+554			4.554	8.580	8.255	3.0	1:2.5	1:2.5	82.50 / 84.80	2.5
	ТАМНАВА	десна	Н	Бргуле - ушће Уба		4+833	8+581			3.748			3.0	1:2	1:2	85.40 / 87.00	3.5
	УБ	десна	Н	ушће - Шарбане	С.5.3.2.	0+000	3+830			3.830	3.830	3.795	2.5	1:2	1:2	85.98 / 88.27	2
	УБ	лева	Н	ушће - Шарбане	С.5.3.3.	0+000	3+830			3.830	3.830	3.677	2.5	1:2	1:2	85.98 / 88.27	2
	ТАМНАВА	десна	Н	ушће Уба - Ћеманов мост	С.5.3.4.	8+581	12+083			3.502	3.500	3.389	3.0 - 4.0	1:2 / 1:2.5	1:2	87.00 / 89.20	2.5-3
	ТАМНАВА	лева	Н+РК	Ћеманов мост - мост за Таково	С.5.3.5.	12+083	17+743			5.660	5.660	5.619	3.0	1:2	1:2	89.15 / 93.60	2.8
	ТАМНАВА	десна	Н+РК	Ћеманов мост - мост за Таково	С.5.3.6.	12+083	17+743			5.660	5.660	5.621	3.0	1:2	1:2	89.39 / 93.60	2.8
	ГРАЧИЦА	-	УК	од ушћа	С.5.3.6.	0+000	0+600				0.600	0.597					
	ТАМНАВА	обострани	НО	узводно од моста за Таково	С.5.3.7.						2*2.600	2*2.100					
	УБ	обострани	Н+РК	Шарбане - циглана	С.5.3.8.	3+924	8+300			4.376	4.470	4.420	3.0	1:2	1:2	87.82 / 92.54	1-2
	УБ	обострани	Н+РК	кроз Уб	С.5.3.9.	8+300	12+533			4.233	4.230	4.065	3.0	1:2	1:2	92.54 / 96.86	1
	УБ	обострани	РК	узводно од моста у Гуњевцу	С.5.3.10.	12+533	13+450				0.920	1.035					
С.5.4.	ТАМНАВА	обострани	Н+РК	кроз Коцељеву	С.5.4.1.	0+000	2+400	31+755	34+722	2*2.967	2*2.400	2*2.535	4.0	1:2	1:2	121.50 / 127.80	
С.5.5.	ТАМНАВА	лева	Н	у Доњем Црнљеву	С.5.5.1.	0+000	1+000	66+000	67+000	1.000	1.280	1.387	3.0	1:1.5	1:1.5	171.96 / 177.92	1

Н - насип, РК - регулисано корито, ОЗ - одбрамбени зид, ОУ – обалоутврда

Црвеном бојом обележене су дужине објеката наведене у ОП15, које би требало проверити снимањем

Табела 4.2 Карактеристике система за заштиту од поплава

ТЕХНИЧКА ДЕОНИЦА	ВОДОТОК	ОБАЛА	НАЗИВ ОБЈЕКТА	ОЗНАКА ОБЈЕКТА	ТИП ОДБРАМБЕНЕ ЛИНИЈЕ	КАРАКТЕР. СИСТЕМА	ШТИЋЕНО ПОПЛАВНО ПОДРУЧЈЕ	САДРЖАЈ ШТИЋЕНОГ ПОПЛАВНОГ ПОДРУЧЈА	КАРАКТЕР ВОДОТОКА	МЕРОДАВ. ВЕЛИКА ВОДА	МЕРОДАВНИ ВОДОМЕР И ВОДОСТАЈИ	СТАЊЕ СИСТЕМА ЗАШТИТЕ
КОЛУБАРА - НЕПОСРЕДНИ СЛИВ												
С.3.4.	САВА	десна	висок терен у Баричу - ушће Баричке реке	С.3.4.1.	ГДН	ЗК	Мислођин - Барич	Барич, Мислођин, индустрија, путеви, пољопривредне површине	РАВ	<100	Сава: ц.с. Виђ Бара "0"=71,00 РО=250 ВО=350	
	БАРИЧКА РЕКА	обострани	ушће - мост на путу Београд-Обреновац	С.3.4.1.	РОБ				ИЗР БУЈ			
	САВА	десна	ушће Баричке реке - "Прва искра"	С.3.4.2.	ГДН				РАВ	<100		
			"Прва искра" - ушће Колубаре	С.3.4.3.	ГДН					100		
	КОЛУБАРА	десна	ушће - мост на путу Београд-Обреновац	С.3.4.4.	ГДН				БУЈ	100		
			мост на путу Београд-Обреновац - Мислођин	С.3.4.5.	ГДН					100		
С.3.5.	КОЛУБАРА	лева	ушће - мост на путу Београд-Обреновац	С.3.5.1.	ГЛН	ОК	Обреновац	Обреновац, бројна села (Забрежје, Рвати, Звечка, Бело Поље, Велико Поље, Уровци, Кртинска, Бргулице, Ратари, Скела, Ушће), индустрија, термоелектране, пепелишта, путеви, пруге, пољопривредне површине	БУЈ	100	Колубара: Дражевац "0"=71,24 РО=640	
			мост на путу Београд-Обреновац - ушће Тамнаве	С.3.5.2.	ГЛН					100		
	ЧИКОВАЦ	лева	од ушћа	С.3.5.2.	ГЛН				ИЗР БУЈ		ВО=800	
	ТАМНАВА	лева	ушће - Ћеманов мост	С.3.5.3.	ГЛН				БУЈ	100	Тамнава: Лисо поље "0"=80,00 РО=150; ВО=270	
	ТРСТЕНИЦА	обострани	од ушћа	С.3.5.3.	РОБ					100	Тамнава: Ћеманов мост "0"=84,03 РО=300; ВО=400	
	САВА	десна	Забрешке ливаде - Виђ Бара	С.3.5.4.	ГДН				РАВ	100	Сава: ц.с. Виђ Бара "0"=71,00 РО=250 ВО=350	
			Забрежје	С.3.5.5.	ГДН					100		
			"Бора Марковић"	С.3.5.6.	ГДН					100		
			кроз круг војске	С.3.5.7.	ГДН					100		
			код Бреске	С.3.5.8.	ГДН					100		
			код ТЕ "Н. Тесла"	С.3.5.9.	ГДН					100		
			поред пепелишта ТЕНТ-а (висок терен)	С.3.5.10.	ГДН					100		
			пепелиште ТЕНТ-а - виск терен у Скели	С.3.5.11.	ГДН					100		
	ГРАБОВИЦА	десна	од ушћа	С.3.5.11.	РОБ				КАН	<100		
		лева	од ушћа	С.3.5.12.						<100		
	ВУКИЋЕВИЦА	десна	km 1+000 - km 9+120	С.3.5.12.	РОБ				ИЗР БУЈ	100		
		лева	мост на km 3+205 - km 9+120	С.3.5.12.						100		
С.3.7.	КОЛУБАРА	десна	ушће Турије - пут В. Црљени - Каленић	С.3.7.1.	ГДН	ЗК	Велики Црљени	Део насеља Велики Црљени, путеви, пруга, пољопривредне површине	БУЈ	100/1000	Колубара: Бели Брод "0"= 99,32 РО= 430, *ниво у ножици насипа ВО= ниво 1 m испод ДИК моста	
	ТУРИЈА*	лева	ушће - ушће потока Баре	С.3.7.2.	ГЛН				ИЗР БУЈ	100		
	ПОТОК БАРЕ*	лева	од ушћа	С.3.7.2.	РОБ-ЛН					100		
С.3.9.	КОЛУБАРА	десна	пут В. Црљени - Каленић - пут М. Борак - Вреоци	С.3.9.1.	ГДН	ОК	Велики Црљени - Вреоци	Насеља Вреоци и Велики Црљени, индустрија, термоелектрана, површински коп, путеви, пруге, пољопривредно земљиште	БУЈ	100/1000	Колубара: Бели Брод "0"= 99,32 РО= 430, *ниво у ножици насипа ВО= ниво 1 m испод ДИК моста	
			пут М. Борак - Вреоци - ушће Пештана	С.3.9.2.	ГДН				БУЈ	100/1000		
	ПЕШТАН*	десна	од ушћа	С.3.9.3.	РОБ-ДН				ИЗР БУЈ	100		
С.3.8.	КОЛУБАРА	лева	мост на прузи Вреоци - Обреновац - ушће Враничине	С.3.8.1.	ГЛН	ЗК	Копови Тамнава	Површински копови	БУЈ	100/1000	Колубара: Бели Брод "0"= 99,32 РО= 430 ВО= ниво 1 m испод ДИК моста	
	ВРАНИЧИНА	лева	од ушћа	С.3.8.2.	РЛН				ИЗР БУЈ	50		
		-	од ушћа	С.3.8.2.	РК				ИЗР БУЈ			
	КРЉА	лева	од ушћа	С.3.8.2.	ГЛН				ИЗР БУЈ	100		

ТЕХНИЧКА ДЕОНИЦА	ВОДОТОК	ОБАЛА	НАЗИВ ОБЈЕКТА	ОЗНАКА ОБЈЕКТА	ТИП ОДБРАМБЕНЕ ЛИНИЈЕ	КАРАКТЕР. СИСТЕМА	ШТИЋЕНО ПОПЛАВНО ПОДРУЧЈЕ	САДРЖАЈ ШТИЋЕНОГ ПОПЛАВНОГ ПОДРУЧЈА	КАРАКТЕР ВОДОТОКА	МЕРОДАВ. ВЕЛИКА ВОДА	МЕРОДАВНИ ВОДОМЕР И ВОДОСТАЈИ	СТАЊЕ СИСТЕМА ЗАШТИТЕ
С.3.10.	ПЕШТАН*	лева	од ушћа	С.3.10.1.	РОБ-ЛН	ЗК	Петка - Шопић	Лазаревац, Шопић, пољопривредне површине, путеви, пруга, бивши стакленик (налазиште лигнита)	ИЗР БУЈ	100	Колубара: Бели Брод "0"= 99,32 РО= 430, *ниво у ножици насипа ВО= ниво 1 m испод ДИК моста	
	КОЛУБАРА	десна	ушће Пештана - ушће Лукавице	С.3.10.2.	ГДН				БУЈ	100		
	ЛУКАВИЦА*	десна	ушће - Лазаревац	С.3.10.3.	РОБ-ДН				ИЗР БУЈ	100		
	КОЛУБАРА	десна	ушће Лукавице - пут Београд-Краљево	С.3.10.4.	ГДН	ОК	Петка - Лукавица	Лазаревац, Петка, пољопривредне површине, путеви, пруга	БУЈ	100	Колубара: Бели Брод "0"= 99,32 РО= 430, *ниво у ножици насипа ВО= ниво 1 m испод ДИК моста	
	ЛУКАВИЦА*	лева	ушће - ушће Очаге	С.3.10.5.	РОБ-ЛН				ИЗР БУЈ	100		
			ушће Очаге - Лазаревац	С.3.10.6.	РОБ-ЛН				ИЗР БУЈ	100		
	ОЧАГА	десна	од ушћа	С.3.10.6.	РОБ				ИЗР БУЈ			
		лева	од ушћа	С.3.10.6.					ИЗР БУЈ			
	ШУШЊАРИЦА	обострани	од ушћа	С.3.10.6.	РОБ					100		
	СТУБИЧКИ ПОТОК	обострани	од ушћа	С.3.10.6.	РОБ					100		
С.5.8.	КОЛУБАРА	лева	Јабучје - мост на путу Пепељевац-Лајковац	С.5.8.2.	ГЛН	ОК	Лајковац	Лајковац, пољопривредне површине, путеви, пруга	ИЗР БУЈ	100	Колубара: Словац "0"= 121,59 РО= 350; ВО= 450	
		лева			ГЛН					100		
		десна	код Јолића воденице	С.5.8.1.	ГДН	РП	Јолића воденица	Пољопривредне површине		100		
С.5.1.	КОЛУБАРА	обострани	кроз Ваљево	С.5.1.1.	РОБ	ЧВОР	Ваљево	Ваљево, индустрија	ИЗР БУЈ	100	Колубара: Ваљево "0"= 179,65 РО= 150; ВО= 200	
	ГРАДАЦ	обострани	од ушћа	С.5.1.1.	РОБ				ИЗР БУЈ	100		
	ЉУБОСТИЊА	обострани	од ушћа	С.5.1.1.	РОБ / РК				ИЗР БУЈ	100-1000		
ПРИТОКЕ												
С.3.6.	ТУРИЈА	десна	ушће - ушће Бељанице	С.3.6.1.	РОБ-ДН	ОК	Дражевац - Степојевац	Степојевац, пољопривредне површине, путеви, пруга	ИЗР БУЈ	100	Најнизводнији мостови на Турији и Бељаници РО= ниво у ножици насипа ВО= ниво 1 m испод круне насипа	
	БЕЉАНИЦА	десна	ушће - ушће Опарне	С.3.6.2.	РОБ-ДН				ИЗР БУЈ	100		
	ОПАРНА	десна	од ушћа	С.3.6.2.	РОБ				ИЗР БУЈ			
		лева	од ушћа	С.3.6.3.		ЗК	Лесковац - Велики Борак - Бождаревац	Бождаревац, пољопривредне површине, пруга	ИЗР БУЈ			
	БЕЉАНИЦА	десна	ушће Опарне - ушће Барајевске реке	С.3.6.3.	РОБ-ДН				ИЗР БУЈ	100		
	БАРАЈЕВСКА РЕКА	десна	ушће - ушће Баћевачке реке	С.3.6.4.	РОБ-ДН				ИЗР БУЈ	100		
	КАШИН ПОТОК	обострани	од ушћа	С.3.6.4.	РОБ					50		
	БАЋЕВАЧКА РЕКА	десна	од ушћа	С.3.6.4.	РДН				ИЗР БУЈ	50		
		лева	од ушћа	С.3.6.5.		ЗК	Бождаревац - Барајево	Бождаревац, Барајево, пољопривредне површине, пруга	ИЗР БУЈ	50		
	БАРАЈЕВСКА РЕКА	десна	узводно од ушћа Баћевачке реке	С.3.6.5.	РОБ-ДН				ИЗР БУЈ	100		
С.3.7.	ПОТОК БАРЕ*	десна	од ушћа	С.3.7.3.	РОБ-ДН	ЗК	Велики Црљени - Соколово	Пољопривредне површине, термоелектрана		100	Колубара: Бели Брод "0"= 99,32 РО= 430, *ниво у ножици насипа ВО= ниво 1 m испод ДИК моста	
	ТУРИЈА	лева	узводно од ушћа потока Баре	С.3.7.3.	ГЛН				ИЗР БУЈ	100		
	БЕЉАНИЦА	лева	ушће - ушће Сеоне	С.3.7.4.	РОБ-ЛН	ОК	Требеж	Пољопривредне површине, пепелиште	ИЗР БУЈ	100		
	СЕОНА*	лева	од ушћа	С.3.7.4.	РОБ				ИЗР БУЈ	50		
		десна	од ушћа	С.3.7.5.		ОК	Соколово - Бељина	Пољопривредне површине	ИЗР БУЈ	50		
	БЕЉАНИЦА*	лева	узводно од ушћа Сеоне	С.3.7.5.	РОБ-ЛН				ИЗР БУЈ	100		
		десна	узводно од ушћа Барајевске реке	С.3.7.6.	РОБ-ДН	ОК	Бељина - Барајево	Барајево, пољопривредне површине	ИЗР БУЈ	100		
	БАРАЈЕВСКА РЕКА*	лева	од ушћа	С.3.7.7.	РОБ-ЛН				ИЗР БУЈ	100		
	ДУБОКИ ПОТОК	-	од ушћа	С.3.7.8.	РК							
С.5.9.	ЉИГ	обострани	низводно од ушћа Качера	С.5.9.1.	РОБ	ЧВОР	Љиг	Пољопривредне површине, путеви	ИЗР БУЈ		Профил корита водотока на 100 m узводно од моста у центру Љига РО: ниво на половини косине корита ВО: ниво 1 m испод околног терена	
			ушће Качера - Љиг							100		
			кроз Љиг					Љиг		100/1000		
	ГОДЕВАЦ	-	од ушћа	С.5.9.1.	РК							
	КАЧЕР	обострани	од ушћа	С.5.9.2.	РОБ				ИЗР БУЈ	50/100		
-	БЕЛАНОВИЦА	-	кроз Белановицу	-	РК			Белановица		100		

ТЕХНИЧКА ДЕОНИЦА	ВОДОТОК	ОБАЛА	НАЗИВ ОБЈЕКТА	ОЗНАКА ОБЈЕКТА	ТИП ОДБРАМБЕНЕ ЛИНИЈЕ	КАРАКТЕР. СИСТЕМА	ШТИЋЕНО ПОПЛАВНО ПОДРУЧЈЕ	САДРЖАЈ ШТИЋЕНОГ ПОПЛАВНОГ ПОДРУЧЈА	КАРАКТЕР ВОДОТОКА	МЕРОДАВ. ВЕЛИКА ВОДА	МЕРОДАВНИ ВОДОМЕР И ВОДОСТАЈИ	СТАЊЕ СИСТЕМА ЗАШТИТЕ
-	ТОПЛИЦА	обострани	мост у Горњем Мушићу - Команички мост	-	РОБ				ИЗР БУЈ	20		
			Команички мост - Врујци	-	РОБ				ИЗР БУЈ	20		
С.5.7.	ТОПЛИЦА	обострани	кроз насеље Врујци	С.5.7.1.	РОБ	РП	Врујци	Врујци	ИЗР БУЈ	50	РО: ниво у ножици насипа ВО: ниво 1 m испод круне насипа	
С.5.6.	РИБНИЦА	обострани	кроз Мионицу	С.5.6.1.	РОБ	РП	Мионица	Мионица	ИЗР БУЈ	100	РО: ниво у ножици насипа ВО: ниво 1 m испод круне насипа	
С.5.3.	СТАРА КОЛУБАРА	лева	од ушћа	С.5.3.1.	ГЛН	ЗК	Лисо поље - Бргуле	Лисо поље, Бргуле. пољопривредне површине		100	Тамнава: Лисо Поље "0"= 80,00 РО= 150 ВО= 270	
	ТАМНАВА	десна	ушће Кладнице (Старе Колубаре) - Бргуле	С.5.3.1.	ГДН				БУЈ	100		
		десна	Бргуле - ушће Уба		ГДН				БУЈ	100		
	УБ	десна	ушће - Шарбане	С.5.3.2.	ГДН							
		лева	ушће - Шарбане	С.5.3.3.	ГЛН	ЗК	Ћеманов мост	Пољопривредне површине			Тамнава: Ћеманов мост "0"= 84,03 РО= 300 ВО= 400	
	ТАМНАВА	десна	ушће Уба - Ћеманов мост	С.5.3.4.	ГДН				БУЈ	100		
		лева	Ћеманов мост - мост за Таково	С.5.3.5.	РОБ-ЛН	ЗК	Црвена Јабука - Таково	Црвена Јабука, Таково, пољопривредне површине	БУЈ	50		
		десна	Ћеманов мост - мост за Таково	С.5.3.6.	РОБ-ДН	ЗК	Црвена Јабука - Богдановица	Црвена Јабука, Богдановица, пољопривредне површине	БУЈ	50		
	ГРАЧИЦА	-	од ушћа	С.5.3.6.	УК							
	ТАМНАВА	обострани	узводно од моста за Таково	С.5.3.7.	НО	РП	Таково	Таково, пољопривредне површине	БУЈ		Тамнава: Мост за Таково РО= 1 m испод коте обале минор корита ВО= 0,5 m испод коте обале минор корита	
	УБ	обострани	Шарбане - циглана	С.5.3.8.	РОБ	РП	Шарбане	Шарбане, пољопривредне површине			Тамнава: Мост у Шарбанима РО= 1 m испод коте обале минор корита; ВО= 0,5 m испод коте обале минор корита	
		обострани	кроз Уб	С.5.3.9.	РОБ	РП	Уб	Уб	ИЗР БУЈ	50-100	Уб: Уб "0"= 90,01 РО= 300; ВО= 350	
		обострани	узводно од моста у Гуњевцу	С.5.3.10.	РК	РП	Гуњевац	Пољопривредне површине	ИЗР БУЈ		Тамнава: Мост у Гуњевцу РО= 1 m испод коте обале минор корита; ВО= 0,5 m испод коте обале минор корита	
С.5.4.	ТАМНАВА	обострани	кроз Коцељеву	С.5.4.1.	РОБ	РП	Коцељева	Коцељева	ИЗР БУЈ	50	Тамнава: Коцељева "0"= 120.31 РО= 210; ВО= 390	
С.5.5.	ТАМНАВА	лева	у Доњем Црниљеву	С.5.5.1.	ГЛН	РП	Доње Црниљево	Доње Црниљево	ИЗР БУЈ	50	РО= ниво у ножици насипа ВО= ниво 1 m испод круне насипа	

ГДН - главни десни насип, ГЛН - главни леви насип, РОБ - регулисано корито са обостраним насипима, ДН - десни насип, ЛН - леви насип, УК - уређено корито, НО - надвишена обала

4.1.2 Противерозиони радови и контрола бујица

Према Водопривредној основи из 1977, геолошки састав на знатном делу слива Колубаре погодује стварању ерозионих процеса, тако да на 4,9% слива реке Колубаре постоје процеси изразито јаке ерозије I категорије, на 11,5% сливног подручија влада јака ерозија II категорије, осредња и слаба ерозија III и IV категорије је заступљена на 63,5% слива, док се 21,1% површине налази под утицајем незнатне ерозије. Потом су за неке делове подручја рађене накнадне студије стања ерозије и бујичности токова.

На подручју Колубаре су током протеклих деценија изведени бројни радови на уређењу бујичних токова и заштити од ерозије.

Катастри бујичних токова за ово подручје се не воде већ тридесет година, па нема прецизних и систематизованих података о овим радовима. Наиме, деценијама су радови извођени парцијално и многи објекти су одавно ван функције, тако да немају више никакав утицај на промену стања бујичности.

За биолошке и биотехничке радове треба рећи да су они у прошлости били веома заступљени на овом подручју, а да сада корисници тих површина и не знају који су све радови урађени.

Средином прошлог века, шездесетих и седамдесетих година, на овом подручју су спроведене и друге антиерозионе мере које су дале изванредне резултате и потпуно промениле стање ерозије и бујичности токова. Ради се о мери преорјентације деградираних њива на стрмим теренима у воћњаке и малињаке за интензиван узгој ових кутура. Та мера је донела, осим ефикасне антиерозионе заштите и велики економски просперитет раније сиромашних подручја.

По питању уређења бујица и заштита од ерозије у урбаним срединама није ништа значајно урађено у сливу реке Колубаре.

4.1.3 Акумулације

На сливу реке Колубаре, тренутно постоји само 10 мањих акумулација, док је акумулација Стубо – Ровни у завршној фази изградње. У табели у наставку наведене су акумулације и дати основни подаци о овим објектима.

Табела 4.3 Списак акумулација са основним подацима о објектима

Акумулација	Година завршетка изградње	Водоток	Тип бране	Висина бране (m)	Запремина акумулације (m^3)	Намена	Укључена у систем заштите од поплава
Аранђеловац 1	1952	Дубоки поток	земљана брана	24,0	425.000	водоснабдевање	не
Букуља	1964	Велика Букуља	земљана брана	33,0	1.370.000	водоснабдевање	не
Гараши	1976	Букуља	земљана брана	34,0	6.270.000	водоснабдевање	не
Паљуви Виш	1983	Кладница	земљана брана	15,5	8.800.000	заштита од поплава	не
Кладница	2005	Кладница	земљана брана	9,0	5.150.000	заштита од поплава	не
Дубоки поток	1992	Дубоки поток	земљана брана	15,0	350.000	заштита од поплава	да
Каменица	1983	Каменица	земљана брана	12,0	270.000	наводњавање	да
Поцибрава	1989	Поцибрава	камена брана	12,0	84.000	туризам и рекреација	да
Градац	1975	Градац	бетонска брана	4,0	10.000	туризам и рекреација	да
Систем ретензија на Дубоком Потоку	2006; 2014	Дубоки Поток у Малом Борку	земљане брана	8-10	470.000	заптита од поплава	не
Стубо - Ровни	у изградњи	Јабланица	земљана брана	75,0	50.000.000	водоснабдевање	не

Генерално гледано постојеће акумулације, осим акумулација Паљуви – Виш, Кладнице и Стубо - Ровни имају скроман ретензиони капацитет за пријем поплавног таласа тако да је њихова улога у пријему поплавних таласа је скромна.

У наставку се даје опис акумулација Паљуви - Виш, ретензије Кладница акумулације Дубоки Поток код Барајева, систему ретензија на Дубоком потоку у насељу Мали Борак на територији општине Лајковац као и и акумулације Стубо – Ровни.

Акумулација Паљуви-Виш

Брана и акумулација Паљуви-Виш и систем Кладница чине главне објекте за заштиту површинског копа „Тамнава западно поље" од спољних вода са западне стране, тачније из слива Кладнице. Узводна степеница је брана и акумулација Паљуви –Виш, а низводна степеница је ретензија Кладница.

Брана и акумулација Паљуви-Виш су изграђени 1986. године.

Брана Паљуви–Виш је насута брана дужине у круни 760 m и максималне висине 15,75 m.

Брана и акумулација су саграђене да обезбеде допунске количине воде у реци Колубари за потребе рударског комбината, прецизније рада два агрегата ТЕ Колубара Б. Друга функција ове акумулације је заштита од великих вода Тамнава Западно Поље.



Слика 4.9 Поглед на круну бране и акумулације „Паљуви-Виш" и водозахватну кулу



Слика 4.10 Прелив на брани „Паљуви-Виш"

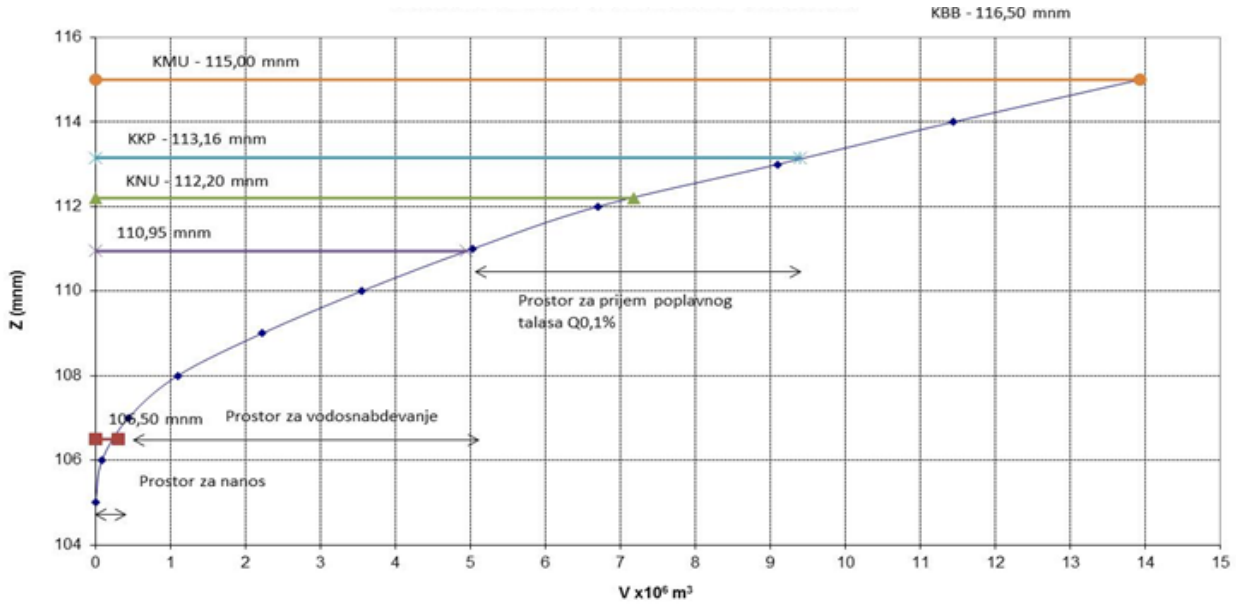
Из акумулације постоји одводни тунел који повезује акумулацију Паљуви-Виш и корито реке Крље, које се улива у реку Враничину, а ова река у реку Колубару. Кроз овај тунел би се обезбеђивале допунске количине воде у водотоку реке Колубаре у периодима маловођа, за потребе рада ТЕ Колубара Б. Максимална пропусна моћ одводног тунела износи 7,70 m^3/s.

Напомињемо да је примарна акумулација за обезбеђење допунских количина воде у водотоку реке Колубаре у периодима маловођа, за потребе рада ТЕ Колубара Б, акумулација Стубо-Ровни (чија је изградња при крају), а да је акумулација Паљуви-Виш секундарна.

У акумулацији постоји темељни испуст. Максимални капацитет темељног испуста износи 3,25 m^3/s.

На брани постоји слободан прелив типа чун. Максимални капацитет прелива 118,50 m^3/s. Круна прелива се налази на коти 113,16 mнм.

Круна бране је на коти 116,50 mнм. Кота максималног успора је на 115,00 mнм, а кота нормалног успора на 112,00 mнм. Запремина акумулације до коте максималног успора износи $14,0x10^6$ m^3.



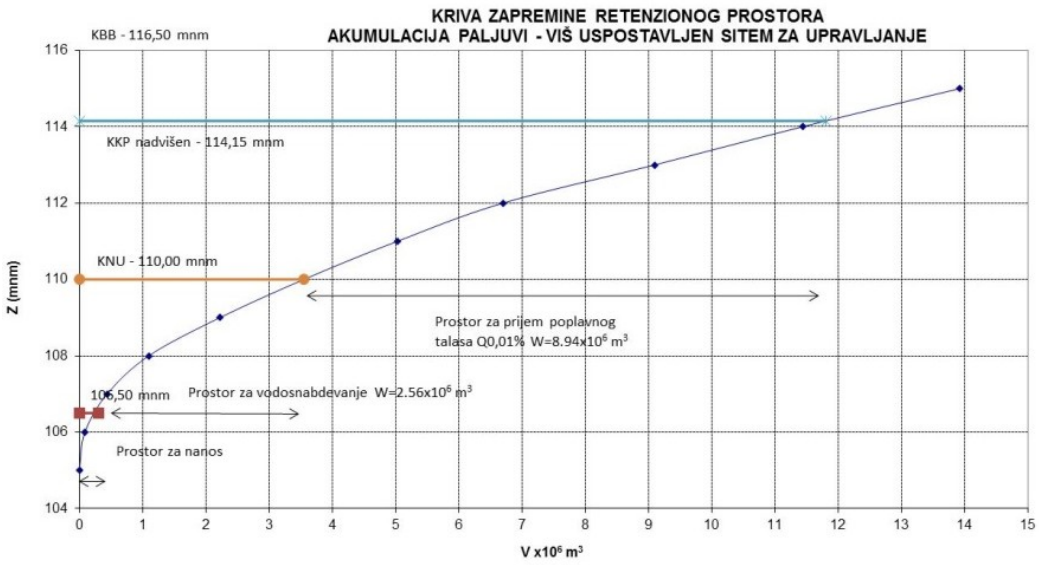
Слика 4.11 Крива запремине акумулације Паљуви-Виш

До коте круне прелива запремина ретензионог простора износи ~9,0x10^6 m^3. Овом запремином обезбеђује се:

- простор за таложење наноса од 0,3x10^6 m^3.
- простор за обезбеђење воде за снабдевање рударског комбината (у маловодном периоду у кориту реке Колубаре обезбеђивао би воде за хлађење термоелектране Колубаре Б) од 4,74x10^6 m^3.
- простор за прихватање поплавног талас вероватноће појаве 0,1% од 4,2x10^6 m^3.

С`обзиром да је прошло скоро 30 године експлоатације, да је изграђена акумулација Стубо - Ровни као примарна за водоснабдевање објеката у рударском басену Колубара, да се наставак изградње ТЕ Колубара Б није у плановима, примарна функција овог објекта треба да постане заштита од поплава. С`тим у вези је у оквиру главног пројекта интеветне реконструкције бране Кладница, дефинисано Упутство за управљање ретензијом Кладница и акумулацијом Паљуви - Виш. У оквиру овог упутства дефинисано је се обезбеди следеће:

- простор за таложење наноса од 0,3x10^6 m^3 - до коте 106,50 mнм.
- простор за обезбеђење воде за снабдевање рударског комбината (у маловодном периоду у кориту реке Колубаре) од 2,56x10^6 m^3 - до коте 110,00 mнм.
- простор за прихватање поплавног талас вероватноће појаве 0,01% од 9,84x10^6 m^3 до коте 114,15 mнм.



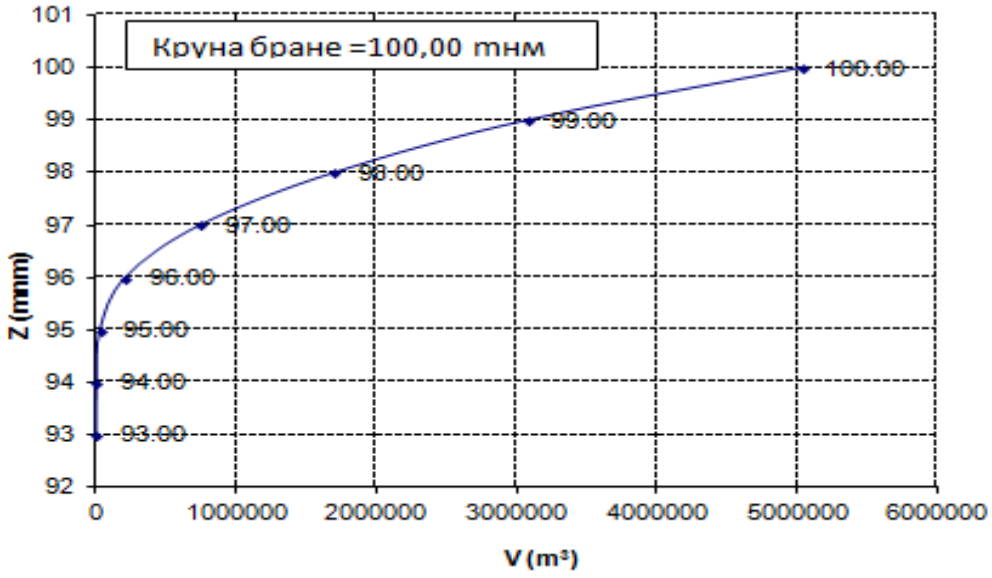
Слика 4.12 Крива запремине акумулације Паљуви Виш - приказ карактеристичних кота

Ретензија Кладница

Ретензија и брана Кладница је низводна степеница на реци Кладници. Основна улога овог објекта је заштита површинског копа "Тамнава Западно поље" од великих вода са западне стране копа (активна заштита, ретензијом максималне запремине $5,15x10^6$ m^3).

У ретензиони простор може да се смести комплетан поплавни талас вероватноће појаве 0,01%, са слива који контролише овај објекат - међуслива брана Паљуви -Виш - брана Кладница.

Овај систем осим бране и ретензије Кладница чине и црпна станица, потисни цевовод и канал.



Слика 4.13 Крива запремине ретензије Кладница

Брана "Кладница" је насута глиновита брана. Изградњом бране преграђује се долина Кладнице. Брана је лоцирана на око 300 m узводно од уласка Кладнице у зону експлоатационог поља. Брана је трапезног попречног пресека ширине круне 4,0 m и нагиба косина – узводне 1:1,9 и низводне 1:1,7. Брана је дужине 1100 m. Средња висина бране је 5,0 m.

Током мајских поплава из 2014. године, брана Кладница је доживела велика оштећења. По проласку поплава, урађена је документација за реконструкцију бране. Током 2015. године, по тој документацији извршена је реконструкција бране, која је између осталог обухватила изградњу прелива и надвишење круне бране за 0,30 m - тако да је кота круне бране 100,30 mнм.




Слика 4.14 Брана Кладница по извршеној реконструкцији

<u>Акумулација Дубоки поток</u>

Акумулација „Дубоки поток", изграђена је на истоименом потоку који је лева притока Барајевске реке на 2 km од центра Барајева. Изградњом зељане бране, висине 15 m и дужине 145 m, створена је акумулација површине 7,2 ha, корисне запремине 170.000 m^3. Акумулација је изграђена у оквиру Водопривредне основе општине Барајево.

Намена акумулације је задржавање поплавног таласа и одбрана од полава насеља, саобраћаја (пут, железница и пољопривредних површина у сливу).



Слика 4.15 Поглед на брану и акумулацију Дубоки Поток у општини Барајево

<u>Систем ретензија на Дубоком потоку на насељу Мали Борак</u>

У насељу Мали Борак на водотоку Дубоки поток током 2006.те и 2014.те године реализован је систем ретензија и ретензионих брана чија је основана намена заштита јужне границе ПК Тамнава западно поље од површинских поплавних вода Дубоког потока. Овај систем је димензионисан да прихвати поплавни талас стогодишњих велликих вода водотока Дубоки поток. Уз ретензионе бране систем чине црпне станице и потисни цевоводи којим се вода потискује из ретензија по проласку поплава у слив потока Скобаљ, односно у Колубару.

С`обзиром да ретензионе бране леже у оквиру граница ПК Тамнава западно поље, део ретензија и ретензионих брана и пратећих објеката уништен је рударским активностима.

Тренутно су у функцији четири ретензије укупне корисне запремине од ~470000 m^3. Ретензионе бране су насуте од глиновитог земљаног материјала и висине од 8 – 10 m. Бране су дужине у круни 200 - 270 m.

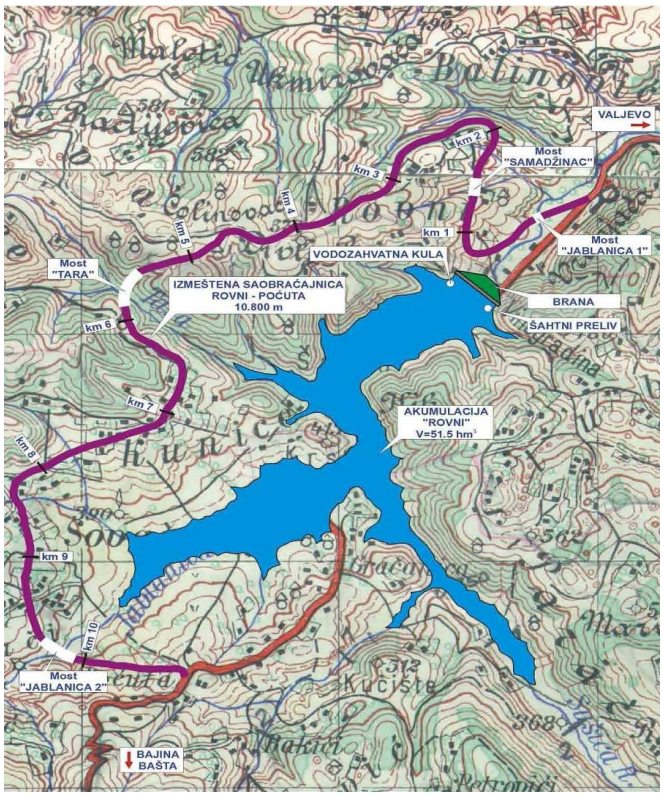


Слика 4.16 Поглед на ретензиону брану и ретензиони простор – ретензија IV а

Акумулација Ровни

Регионални водопривредни систем Ровни представља један од најважнијих водопривредних система у западној Србији.

Најзначајнији објекат водопривредног система „Ровни" је свакако истоимена брана и акумулација која ће бити формирана њеном изградњом.



Слика 4.17 Приказ бране и акумулације „Ровни"

Брана „Ровни" се налази на реци Јабланици 15 km узводно од Ваљева између села Стубо на десној и села Ровни на левој обали, по којима је брана и добила име. Изградњом бране висине 74,5 метара биће формирана акумулација запремине $49{,}5 \times 10^6$ m^3 до нивоа коте нормалног успора 360 mнм. Брана је насута, са вертикалним глињеним језгром. Тренутно (јесен 2015. године) се врше припреме за почетак пробног пуњења акумулације.

Намена акумулације је у следеће сврхе:

- обезбеђење потребног протока на захвату на реци Колубари за потребе будуће термоелектране Колубара Б у склопу РЕИК „Колубара“,
- водоснабдевање града: Ваљева, општина Мионица, Уб и Лајковац и градске општине Лазаревац,
- обезбеђење биолошког минимума у реци Јабланици низводно од бране „Стубо-Ровни“,
- ублажавање поплавног таласа и задржавање наноса.
- производња електричне енергије.

У наставку се дају карактеристични подаци за брану и акумулацију:

- кота мин. радног нивоа 310,00 мнм
- кота нормалног успора (КНУ) 360,00 мнм
- кота максималног успора за $Q_{0,01\%}$ 361,85 мнм
- кота круне бране 363,50 мнм
- корисна запремина акумулације 49,5x$10^6$$m^3$
- највећа дубина акумулације 67 m
- површина слива 104 km^2
- велика вода вероватноће 0,01% 665 m^3/s
- површина акумулације на коти 360 мнм 2,3 km^2



Слика 4.18 Поглед на брану Ровни са низводне стране

Остале акумулације



Слика 4.19 Брана и акумулације Градац



Слика 4.20 Брана и акумулација Пођибрава и акумулација Каменица



Слика 4.21 Брана и акумулација Букуља и акумулација Гараши



Слика 4.22 Акумулација Аранђеловац 1

4.2 Санације објеката за заштиту од поплава после поплаве 2014. године

На деоницама са заштитним објектима (углавном кроз насеља и на доњим деловима тока), током таласа великих вода у мају 2014. дошло је до преливања и пробоја насипа на више места.



Слика 4.23 Локације пробоја насипа

Након поплаве у мају 2014. године, надлежна водопривредна предузећа су идентификовала локације и степен оштећења и припремила програм хитних радова на санацији заштитних објеката. На основу овог програма, Влада Републике Србије је усвојила Уредбу о Утврђивању државног програма обнове оштећених водних објеката за уређење водотока, водних објеката за заштиту од поплава, ерозије и бујица и водних објеката за одводњавање (Службени гласник РС, 86/2014) и накнадну измену (Службени гласник РС, 103/2014), на основу којих је обезбеђено финансирање радова. Списак оштећених објеката је дат у Табели 4.4.

Надлежна водопривредна предузећа су током лета 2014. извршила теренска геодетска снимања и сачинила Елаборате за хитне санационе радове. Извођачи радова су изабрани у поступку јавних набавки хитних радова на санацији, а радови су започети средином октобра 2014. по утврђеним приоритетима.

Табела 4.4 Објекти за заштиту од поплава оштећени током мајског таласа великих вода

Општина	Водоток	Шифра објекта у ОП15	Објекат	Санација
Обреновац	Сава	С.3.5.4.	Десни насип уз Саву од ушћа Колубаре (Вић Бара) до Забрешке ливаде	Пробој насипа и оштећење (km 2+100 - 2+500)
		С.3.5.5.	Одбрамбени зид и обалоутврда уз Саву - „Забрежје”	Пролом АБ зида (km 0+400 - 0+460)
	Тамнава	С.3.5.3.	Леви насип уз Тамнаву од ушћа у Колубару до Ћемановог моста	Пролом насипа (20 m) са оштећењем испуста
	Трстеница	С.3.5.3.	Десни насип Трстенице	Пробој насипа (15 m) уз пропуст (km 0+100)
			Десни насип Трстенице	Пробој насипа (km 0+600 - 0+616)
			Леви насип Трстенице	Пробој насипа (km 0+600 - 0+622)
	Чиковац	С.3.5.2.	Леви насип уз поток Чиковац	Пробој насипа (km 0+847 - 0+900)
			Леви насип уз поток Чиковац	Пробој насипа (km 1+217,5 - 1+290)
Лазаревац	Турија	С.3.6.1.	Десни насип Турије од ушћа у Колубару до ушћа Бељанице	Пробој насипа (km 0+870 - 0+900)
	Колубара	С.3.7.1.	Десни насип уз Колубару од ушћа Турије до пута Велики Црљени-Каленић	Пробој насипа (km 2+900 - 2+920)
	Пештан	С.3.9.3.	Десни насип Пештана од ушћа у Колубару	Пробој насипа (km 0+100 - 0+120)
			Регулисано корито Пештана од ушћа у Колубару	Оштећење косине корита (km 0+580 - 0+800)
	Пештан	С.3.10.1.	Леви насип Пештана од ушћа у Колубару	Пробој насипа на 4 места, укупне дужине 100 m (km 0+250 - 0+410)
	Колубара	С.3.10.2.	Десни насип уз Колубару од ушћа Пештана до ушћа Лукавице	Пробој насипа на 3 места, укупне дужине 500 m
	Лукавица	С.3.10.3.	Десни насип Лукавице од ушћа у Колубару до Лазаревца	Пробој насипа на 3 места, укупне дужине 130 m
	Колубара	С.3.10.4.	Десни насип уз Колубару од ушћа Лукавице до пута Београд-Краљево	Пробој насипа на 5 места, укупне дужине 570 m
	Лукавица	С.3.10.5.	Леви насип Лукавице од ушћа у Колубару до ушћа Очаге	Пробој насипа на 2 места, укупне дужине 120 m
Уб	Тамнава	С.5.3.1.	Десни насип уз Тамнаву од ушћа у Колубару до ушћа Уба	Пробоји насипа, смањена пропусна моћ корита (нанос, вегетација)
		С.5.3.4.	Десни насип уз Тамнаву од ушћа Уба узводно до Ћемановог моста	
		С.5.3.5.	Леви насип уз регулисано корито Тамнаве од Ћемановог моста до моста за Таково	
	Уб	С.5.3.2.	Десни насип уз Уб од ушћа у Тамнаву до Шарбана	Пробој насипа, смањена пропусна моћ корита (нанос, вегетација), оштећење пропуста
		С.5.3.8.	Регулисано корито Уба од Шарбана узводно од „циглане“	Смањена пропусна моћ корита (нанос, вегетација), оштећење пропуста
		С.5.3.9.	Регулисано корито Уба кроз насеље Уб	Пробој левог насипа (km 7+573), оштећење облоге корита, сервисних рампи низводно од моста, изливне и уливне грађевине, локална оштећења косина регулисаног корита
Лајковац	Колубара	С.5.8.2.	Леви насип уз Колубару од Јабучја до моста на путу Пепељевац-Лајковац	Пробој насипа
Љиг	Љиг	С.5.9.1.	Регулисано корито Љига кроз Љиг	Оштећење облоге корита и обала, разрушени консолидациони прагови
Мионица	Топлица	С.5.7.1.	Регулисано корито Топлице кроз насеље Врујци	Засута депонијска преграда, смањена пропусна моћ корита
	Рибница	С.5.6.1.	Регулисано корито Рибнице кроз Мионицу	Оштећење консолидационог прага на изливној грађевини регулисаног корита, смањена пропусна моћ корита (нанос, вегетација)
Ваљево	Колубара	С.5.1.1.	Регулисано корито Колубару кроз Ваљево, од сточне пијаце до пиваре	Оштећење облоге регулисаног корита
	Поцибрава	С.5.2.2.	Брана са акумулацијом „Поцибрава“	Оштећење брзотока, пропуста и пута низводно од бране

4.3 Смернице за процену садашњег степена заштите по деоницама

Као што се види из описа постојећих објеката за заштиту од поплава на Колубари и притокама, они су димензионисани тако да обезбеде сигурност брањеном подручју у случају појаве великих вода повратних периода 50, 100 и чак 1000 година у неким случајевима.

Међутим, није познато којом методом прорачуна великих вода су дефинисани меродавни протоци, ни како су одређиване нивелете круне ових објеката. Стога се не може са сигурношћу прихватити формулација да неки објекат „обезбеђује заштиту од... велике воде", која се често налази у извештајима надлежних водопривредних организација. Једини начин је да се понове хидролошки и хидраулички прорачуни, што је и предмет ове студије.

Степен заштите од поплава који изграђени насипи дуж Колубаре и притока обезбеђују приобаљу може се сагледати упоређењем нивелете круне насипа и нивоа великих вода на подужном профилу водотока, као и на основу подужних профила насипа на којима су уцртане линије нивоа воде за карактеристичне велике воде (вероватноће појаве 1, 2 и 5%). На основу упоређења констатоваће се да ли, с обзиром на садржај брањеног подручја, треба повисити степен заштите односно извршити надвишење круне објеката.

На картама одговарајуће размере биће обележени потези насипа који немају довољну висину у односу на ниво стогодишње велике воде, како би учесници у одбрани од поплава имали увид у стање система. Међутим, то не значи да би све насипе са нижом круном требало реконструисати јер је за заштиту пољопривредног земљишта и сеоских насеља довољно да се обезбеди нижи степен заштите.

5 ХИДРОЛОШКО-ХИДРАУЛИЧКА РЕКОНСТРУКЦИЈА ПОПЛАВЕ ИЗ МАЈА 2014. ГОДИНЕ И АНАЛИЗА ФУНКЦИОНИСАЊА ОДБРАМБЕНОГ СИСТЕМА ТОКОМ ТОГ ДОГАЂАЈА

5.1 Предмет и циљеви реконструкције поплаве из маја 2014.

Поуздано детерминисање великих вода речних токова има непроцењив значај за хидротехнику и водопривреду. Последице прецењених великих вода су предимензионисани објекти на водотоцима, али је још опасније потцењивање великих вода, јер то може довести до рушења водопривредних објекта и катастрофалних штета. Отуда је неопходно да се хидролошко-хидрауличким подлогама за пројектовање грађевина на рекама посвети посебна пажња. То је нарочито важно код мањих водотока на подручју Србије, јер су базе података о великим водама врло скромне, са недовољно репрезентативним подацима.

Генеза великих вода у речним сливовима и пропагација поплавних таласа дуж водотока представљају изванредно сложене природне процесе, на које утичу бројни природни и антропогени фактори. Детаљна и релативно егзактна хидролошко - хидрауличка реконструкција поплавних таласа захтева познавање великог броја параметара.

У време појаве поплавних таласа у сливу Колубаре у мају 2014. године, вршена су стандардна осматрања метеоролошких и хидролошких параметара на осматрачким пунктовима. Подаци ових осматрања морају представљати основу за хидролошко - хидрауличке анализе у овој студији. Нажалост, ови подаци нису довољни за егзактније детерминисање поплавних таласа, имајући у виду велики просторни опсег поплава и релативно мали број осматрачких пунктова.

Основни задатак овог дела студије је што је могуће реалнија реконструкција поплавних таласа у сливу Колубаре, у мају 2014. године, на основу поузданих хидролошких, хидрауличких и морфолошких подлога. Решавање овог врло сложеног и деликатног задатка обухватиће следеће фазе:

- Систематизација и критичка анализа свих расположивих метеоролошких и хидролошких података, који се односе на поплавне таласе у мају 2014. године, у контексту свих до сада извршених истаживања и анализа у сливу Колубаре;
- Систематизација и анализа свих расположивих хидрауличких и морфолошких подлога. У том оквиру, користиће се снимљени профили мајор корита водотока са урезима воде, нови подаци геодетских снимања на појединим деоницама, као и снимљени попречни профили мостова преко водотока;
- Систематизација и анализа свих извештаја и информација о одбрани од поплава у мају 2014. године, које су припремиле надлежне водопривредне организације. Ове информације су од великог значаја за реалнију интерпретацију резултата хидролошких и хидрауличких анализа и прорачуна;
- Синтеза резултата хидролошких и хидрауличких анализа и прорачуна и свих релевантних информација о одбрани од поплава, продорима и преливима насипа, плавним зонама и др. Ова синтеза ће резултирати реалном хидролошко - хидрауличком интерпретацијом узрока и последица поплава на сливу Колубаре.

5.1.1 Опште напомене о поплави из маја 2014. године

Током екстремне метеоролошке ситуације средином маја 2014. године, цео подслив Колубаре је био захваћен обилним падавинама. Велики отицај са падина је условио

појаву таласа великих вода у коритима и левих и десних притока, које су се, практично, истовремено слиле у Колубару. На деоницама где постоје изграђени системи заштите, кроз насеља и дуж доњих делова тока, вода је преливала и рушила насипе, и практично за 1-2 дана у сливу Колубаре није било насипа који није пробијен или бар оштећен.

Ваљево је претрпело штете у априлском и мајском таласу великих вода, али су оне биле мање у поређењу са штетама у доњем делу слива јер је брана Стубо-Ровни на Јабланици, иако није завршена и није се њом могло адекватно управљати, успела да ублажи налет таласа великих вода у овај град.

Ситуација дуж Колубаре се прогресивно погоршавала низводно, како је река примала воду од притока.

Прва лева притока која се излила је Рабас. Десне притоке на потезу низводно од Ваљева до Лајковца (Лепеница, Рибница и Топлица) су поплавиле нешто ужа подручја, а Колубара се излила из свог природног корита од Диваца до Словца, плавећи претежно леву обалу, а затим до ушћа Љига нешто више десну обалу.

Љиг се излио на целој дужини низводно од Љига и поплавио највеће површине од свих десних притока. Након што се ова вода слила у Колубару у Лајковцу, пробијен је левообални насип и поплављено насеље и низводно подручје. Даље, на левој обали до ушћа Враничине нису изграђени насипи, већ је Колубара поплавила уску долину до пута Ваљево-Београд. На овом потезу реке, Колубара је пробила деснообалне насипе на више места. Десна притока, Лукавица је пробила леви и десни насип, а плављењу подручја око Лазаревца је допринео и Пештан након пробоја левог насипа.

Пештан се претходно излио знатно узводније, на нерегулисаном потезу и то претежно на десну обалу, одакле се вода, заобилазећи деснообални насип (који је такође пробијен), слила дуж пута Лазаревац - Велики Црљени и из правца Вреоца поплавила површински коп „Велики Црљени" са 25 милиона кубних метара воде (овоме је допринело и преливање десног насипа Колубаре непосредно низводно од ушћа Пештана).

На левој обали Колубара је потекла уз корито Враничине и, рушећи насипе на ушћу ове реке, пробила ново корито у правцу површинског копа „Тамнава - Западно поље" које је заједно са водом Кладнице (притоке Тамнаве која је прелила брану „Паљуви Виш" и разрушила брану „Кладница") испунила са 190 милиона кубних метара воде.

Рушилачко дејство воде ни низводно није смањено те је дошло до пробоја десног насипа Колубаре узводно од ушћа Турије, као и десног насипа Турије. На низводном потезу, где нису изграђени насипи, Колубара се излила на десну обалу, као и на леву обалу где су се спојиле плавне зоне Колубаре и Тамнаве.

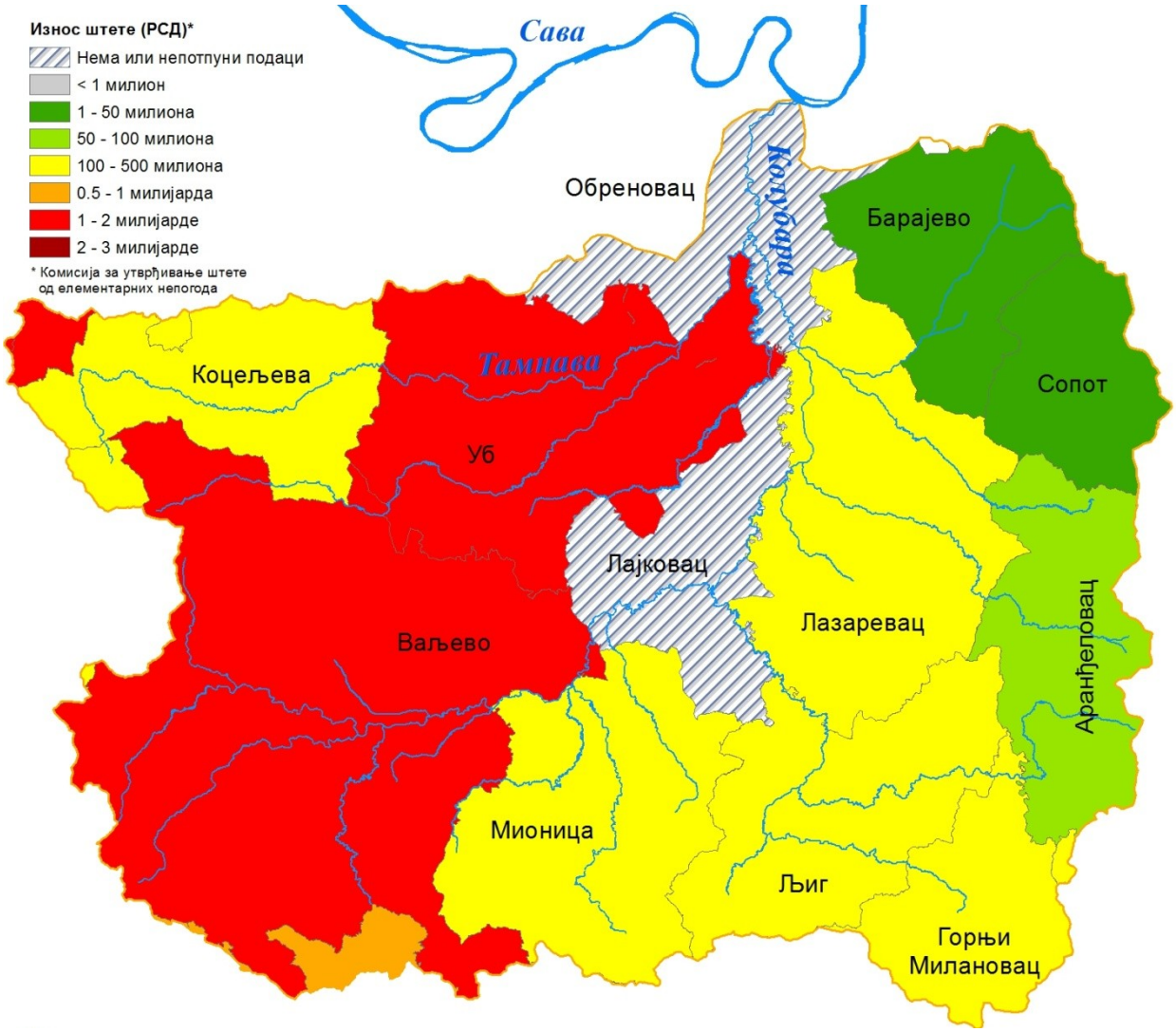
Истовремено, највећа притока Колубаре - Тамнава, је направила проблеме на узводној деоници, где је поплавила Коцељеву. Да би се вода евакуисала из насеља просечен је деснообални насип, а касније и магистрални пут и вода је пуштена на пољопривредне површине на десној обали Тамнаве. Ова мера је имала само локални карактер и спречила је већи пораст нивоа воде у Коцељеви.

На потезу Тамнаве од Коцељеве до моста за Таково није изграђен систем заштите већ је дозвољено плављење околног подручја. Вода која се излила на овом подручју је, пратећи локалне депресије једним делом прешла у корито Кленовице, а другим делом дошла у залеђе леве надвишене обале регулисане деонице, при чему је дошло до плављења дела насеља Таково. Низводно од Ћемановог моста пробијени су леви и десни насип Тамнаве те је дошло до плављења обе обале.

Лева притока Тамнаве, Трстеница, је, такође, пробила своје насипе, плавећи мању површину на десној обали, док је на левој обали вода оштетила и насип железничке пруге Обреновац - Велики Црљени на дужини од око 100 m и отекла ка нижим деловима слива Тамнаве.

Десна притока Тамнаве, река Уб, се и поред пуштања воде у ретензије Докмир и Богдановица излила из регулисаног корита и прелила насип код Шарбана, правећи велику штету у насељима и на пољопривредним површинама.

Низводно од ушћа Тамнаве, Колубара је прелила левообални насип. Здружене воде Тамнаве, Трстенице и Колубаре су поплавиле читаву касету „Обреновац". Вода је прво испунила подручје катастарске општине Велико Поље, а затим се, пробивши левообални насип потока Чиковац (који се сматра другом линијом одбране Обреновца), слила у овај град. Вода је имала енергије да пробије савски насип на два локалитета, и захваљујући нижем нивоу Саве у том тренутку, бар делимично отекне из поплављеног подручја. Током поплаве, велики број људи је био принуђен да напусти своје домове (само из Обреновца је евакуисано 25.000 становника), а више људи је страдало. Штета од поплаве се не може прецизно исказати јер општина Обреновац, која је највише оштећена, никада није утврдила износ штете.



Слика 5.1 Штета од поплава у априлу и мају на сливу Колубаре

5.1.2 Улога хидролошко хидрауличке реконструкције поплаве из маја 2014. год. у развоју хидролошких и хидрауличких модела

Након успешне хидролошко-хидрауличке реконструкције поплаве из маја 2014. године, као резултат добиће се хидролошко-хидраулички модел са усвојеним оптимизованим калибрационим параметрима за ту епизоду. Како су владали специфични услови за време појаве поплаве из маја 2014. године, а нарочито:

- пробоји насипа и изливања Колубаре у отворене рудне копове "Тамнава - Источно поље" и „Велики Црљени“,
- рушење ретензионе бране „Кладница“ и изливање реке Кладница у отворени рудни коп „Тамнава - Западно поље“,
- пробоји насипа и формирање паралелних токова дуж Колубаре,
- значајна поплављена инундациона подручја у долинама Колубаре и Тамнаве,
- хитне интервенције и пробијање тамнавских насипа код Коцељева ради хитног снижавања нивоа воде у насељу,
- пробоји тамнавских и колубарских насипа који су довели до плављења Обреновца,
- рушење обалоутврда на Колубари у ужем градском језгру Ваљева,
- остала рушења објеката за одбрану од поплава (насипа, обалоутврда, ретензија итд),

биће неопходно сагледати хидролошке утицаје свега наведеног.

Са гледишта развоја "општег" хидролошко-хидрауличког модела који ће бити калибрисан на историјске епизоде падавина и отицаја, биће коришћени само они подаци из реконструкције поплавног таласа маја 2014. године који нису били под утицајем "ванредних" услова који су владали искључиво током те епизоде (овде се мисли на продоре и пробоје насипа, рушење брана итд). Такви подаци (резултујући хидрограми реконструкције поплаве на одговарајућим профилима), ући ће у фонд таласа за калибрацију, односно верификацију хидролошко-хидрауличког модела.

5.1.3 Улога анализе функционисања одбрамбеног система током поплаве из маја 2014. год. у изради предметне студије

За симулацију поплава битни су преливања и продори одбрамбених насипа који су довели до потапања површинских копова "Тамнава-Западно поље" и "Велики Црљени", и плављење насеља, а пре свега територије Обреновца.

Прикупиће се подаци са акумулација "Стубо-Ровни" и "Паљуви Виш", а користиће се и расположиви подаци о динамици пуњења површинских копова РБ "Колубара".

Такође, на основу расположивих података надлежних водопривредних предузећа дефинише се време настанка продора на одбрамбеним линијама и динамика изливања воде у брањена подручја.

Излазни резултати прорачуна из хидролошког модела су рачунски хидрограми у профилима свих активних (делимично порушених или преливених) званичних лимниграфских станица РХМЗ Србије, затим улазни хидрограми поплавног таласа на постојећим водопривредним објектима у сливу (акумулације "Стубо-Ровни" и "Паљуви Виш"), хидрограми на кључним профилима система за одбрану од поплава, на ушћима свих притока у зони интензивних плављења, као и дотока са неконтролисаних међусливова дуж тока реке Клубаре и њених главнх притока. Сви ови хидрограми су основа за тарирање хидрауличког модела који треба да дефинише плавне зоне у током поплаве из маја 2014. године. У зависности од типа хидрауличког модела (стационарни

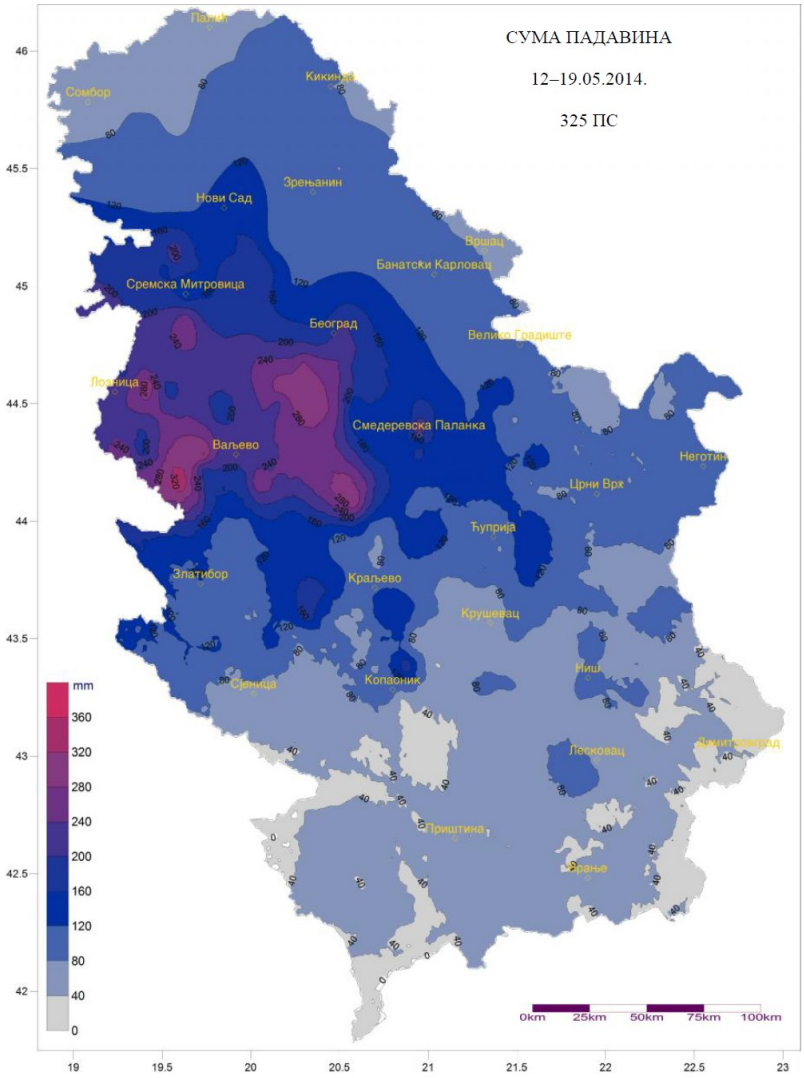
или нестационарни) добијени рачунски хидрограми по хидролошком моделу слива реке Колубаре биће подложни евентуалним корекцијама и усаглашавањима.

5.2 Приказ метеоролошких услова пре и за време трајања поплаве

У првом тромесечју 2014. године над територијом Србије владало је релативно стабилно време без значајнијих падавина. Средином априла дошло је до продора хладног ваздуха који је проузроковао појаву веома дуготрајне кише умереног интензитета све по почетка маја. После периода од 9. до 12. априла са циклонском циркулацијом, 14. априла изнад Србије и Балкана дошло је до краткотрајног пораста геопотенцијала и пораста температуре, али је преко Скандинавије и средње Европе поново почео продор хладног ваздуха у склопу дубоке долине. У приземљу је забележен пад притиска а увече и ноћу пролазак израженог хладног фронта. Од 15. априла Балкан је био под утицајем дубоке долине и хладног ваздуха, изнад Србије је доминирало јужно, а преко западних делова Балкана северно струјање. Већ сутрадан, 16. априла, дошло је одсецања циклона (стварање затворене циклонске циркулације) у склопу простране долине и изнад Србије и Балкана успоставила се циклонска циркулација чији се центар на већим висинама премештао од Јадрана преко југа ка истоку Балкана уз постепено попуњавање уз задржавање хладног ваздуха и постепено скретање јужног на источно и североисточно струјање. Већ 18. априла поново преко Скандинавије, средње и делом западне Европе долази до продора хладног ваздуха и јачање долине и стварања затворене циклонске циркулације изнад области Алпа. До 21. априла изнад Балкана се задржава циклонска циркулација са центрима у области Алпа и истока Балкана уз постепено слабљење (пораст геопотенцијала) и трансформацију хладног ваздуха. У периоду од 21. до 22. априла следи пораст геопотенцијала и температуре и краткотрајно успостављање гребена са осом преко Балкана, Егеја и источног Средоземља. Увече 23. априла јача утицај циклона из централног Средоземља, а затим се до 30. априла изнад Србије и Балкана задржава циклонска циркулација у склопу пространог циклона са центром изнад севера Скандинавије. У анализираном периоду у Србији је било кише, пљускова и грмљавине, локално са великом количином падавина, нарочито у периоду од 16. до 20. априла. Карактеристично је да је ова кишна епизода трајала скоро непрекидно 21 дан, што је регистровано на ГМС Куршумлија, Лесковац и Пожега, односно само по један дан без кише забележен је на ГМС Димитровград, Крушевац, Ниш, Сјеница, Врање и Златибор. У просеку, на свим разматраним ГМС (28) број бескишних дана у овој кишној епизоди био је мањи од 4 дана.

Катастрофална поплава у мају 2014. године појавила се као последица продора хладног ваздуха преко Алпа у област Средоземља, када је дошло до формирања просторног циклона, развијеног по свим висинама, који се преко Јадрана премештао на Балкан. Циклон се 13. маја премештао из области Јадрана ка западним и централним деловима Балкана, а од 14. до 16. маја појачао (продубио) се по свим висинама, а уједно и стационирао (био је слабо покретан). Центар циклона у приземљу кретао се од Ђеновског залива преко Апенина, јужног Јадрана, југа Републике Србије, Бугарске и Румуније, а затим је правио путању у облику елипсасте „петље" изнад југоисточних делова Панонске низије (подручје северне Србије, источне и југоисточне Мађарске и северозападне Румуније). Том приликом циклон је одступио од најчешће путање коју имају ђеновски циклони, то је правац Црног мора, где се коначно гаси. Главна облачна и кишна зона била је изнад већег дела Србије, пре свега западне Србије, Републике Српске и Славоније, била је слабо покретна, као и сам циклон, и на истом подручју је у периоду од 14. до 18. маја 2014. године условила, према подацима РХМЗ Србије, екстремну количину падавина, у већини места преко 200 л/м2, локално и преко 300 л/м2. Као што је већ речено, овом догађају претходиле су обилне падавине у периоду од 14. априла до 5. маја, када је у већем делу Републике Србије пало између 120 л/м2 и 170 л/м2, а у југозападним деловима земље и преко 250 л/м2. Све то узроковало је катастрофалне поплаве, појаву бујица, ерозије и активирање клизишта, прво на малим

водотоцима (потоци и речице), а затим на средњим (Колубара), што је на крају условило пораст водостаја на већим рекама, а највише на Сави.



Слика 5.2 Сума падавина 325 ПС, 12–19.05.2014.

5.3 Приказ хидролошких услова пре и за време и након трајања поплаве

У другој половини априла и почетком маја 2014. године, обилне падавине узроковале су три поплавна таласа, који су регистровани на свим станицама у сливу реке Колубаре. Ова три поплавна таласа су били сличних карактеристика (дужина трајања, вршни протицаји, време подизања итд). Након прва три поплавна таласа, у ноћи између 14. и 15. маја 2014. године уследио је четврти поплавни талас, са катастрофалним последицама. У наставку се даје опис хидролошких појава на различитим локацијама у сливу.

Неки приобални делови Ваљева поплављени су већ 14. маја услед изливања воде из регулисаног корита Колубаре када је превазиђен пројектовани степен заштите. У вечерњим часовима 14.05. Колубара се излила у насеље на левој обали код железничке станице, а у јутарњим часовима 15.05. и на десној обали у део насеља у близини фабрике вијука „Градац". Низводно од железничке станице Колубара није регулисана па је дошло до изливања из природног корита. 16.05. водостај Колубаре у Ваљеву почео је да опада, а вода је почела да се повлачи из поплављеног подручја.

Од притока на подручју града Ваљева средином маја највеће проблеме направила је река Обница, на којој не постоје изграђени системи заштите. Обница се излила у ноћи 14–15. маја и поплавила насеље уз пут за Лозницу и објекат Казнено-поправног завода за малолетнике, оштетила магистрални пут М4 Ваљево-Лозница код КПЗ, срушила три моста и нанела огромне количине наноса.

На реци Градац је током априлског таласа велике воде срушена преграда узводно од Новаковића воденице, а мост преко Градца је оштећен. Висок водостај забележен је и средином маја. На појединим деловима тока ове реке водостај је премашио висину мостова. Висок водостај је узроковао оштећења мостова узводно од бетонске бране, као и изливање реке код ФК „Крушик". Поплаве и одрони довели су до оштећења пруге Београд-Бар на неколико деоница на левој обали Градца, као и између Лазаревца и Лајковца.

Колубара се излила и на нерегулисаном делу тока између Ваљева и Лајковца, а на току кроз Лајковац је пробила левообални насип. 17. маја је покушано испумпавање воде из поплављеног подручја у Лајковцу, али због високих нивоа корито Колубаре није могло да прими ту воду. Највише је била угрожена варош Лајковац, односно насеља испод пруге ка Колубари и део од надвожњака ка Ћелијама. У поплави су две особе изгубиле живот, а евакуисано је око 500 грађана.

На регулисаном делу реке Рибнице, кроз град Мионица, није дошло до изливања, док је изливање наступило на низводној – небрањеној деоници, као и на узводној деоници од регулисаног дела корита. Одбрана од попава на реци Топлици проглашена је 14. маја када је оштећено регулисано корито и вода се излила код Бање Врујци и на низводном нерегулисаном потезу.

14. маја проглашена је ванредна одбрана на реци Љиг и притокама Годевац и Качер. Током проласка поплавног таласа дошло је до оштећења регулисаног корита. Акумулација „Гараши" на реци Букуљи – притоци Качера, није укључена у систем заштите од поплава, а током мајске кишне епизоде била је пуна и преливала преко бране. Поплављене су велике површине на читавој територији општина посебно дуж нерегулисаног потеза.

Током таласа великих вода који се јавио средином маја река Колубара је пробила своје деснообалне насипе на деоницама од ушћа Љига до ушћа Пештана. На деоници од пута Велики Црљени-Каленић до ушћа Турије на десној обали Колубара је пробила насип и делом допринела плављењу површинског копа „Велики Црљени".

Пештан се излио на узводном нерегулисаном потезу. Доминантан ток је био кроз десну инундацију где је вода поплавила неколико села и слила се дуж пута Лазаревац-Велики Црљени и из правца Вреоци поплавила површински коп „Велики Црљени" са око 25 милиона кубних метара воде. На том подручју поплава је однела два људска живота.

У зони ушћа реке Враничине на левој обали реке Колубаре дошло је до преливања одбрамбеног насипа. Река Колубара је променила свој ток тако што је просекла ново, поплавно корито кроз постојеће корито реке Враничине и тим правцем, кроз затворени коп „Тамнава-Источно поље", улила се у активни површински коп „Тамнава-Западно поље". Процењено је да је у површински коп „Тамнава-Западно поље" ушло преко 185 милиона кубика воде. У кориту реке Колубаре, на потезу од бившег ушћа Враничине до зоне ушћа Лукавице у Колубару, дошло је до велике ерозије и оштећења одбрамбеног насипа.

Поплавни талас на реци Тамнави код Коцељева појавио се 14. маја, када је на седници општинског штаба за ванредне ситуације одлучено да се низводно од моста на магистралном путу изврши пресецање деснообалног насипа да би се вода пустила на пољопривредне површине. 15. маја око 3 часа штаб за ванредне ситуације издао је

нову наредбу за пресецање магистралног пута који је тада Тамнава прелила и након тога ниво воде почео је да опада. Средином маја у општини Коцељева је поплављено и у већој или мањој мери оштећено 176 кућа, срушен мост на магистралном путу Ваљево-Шабац, 15 мањих мостова итд.

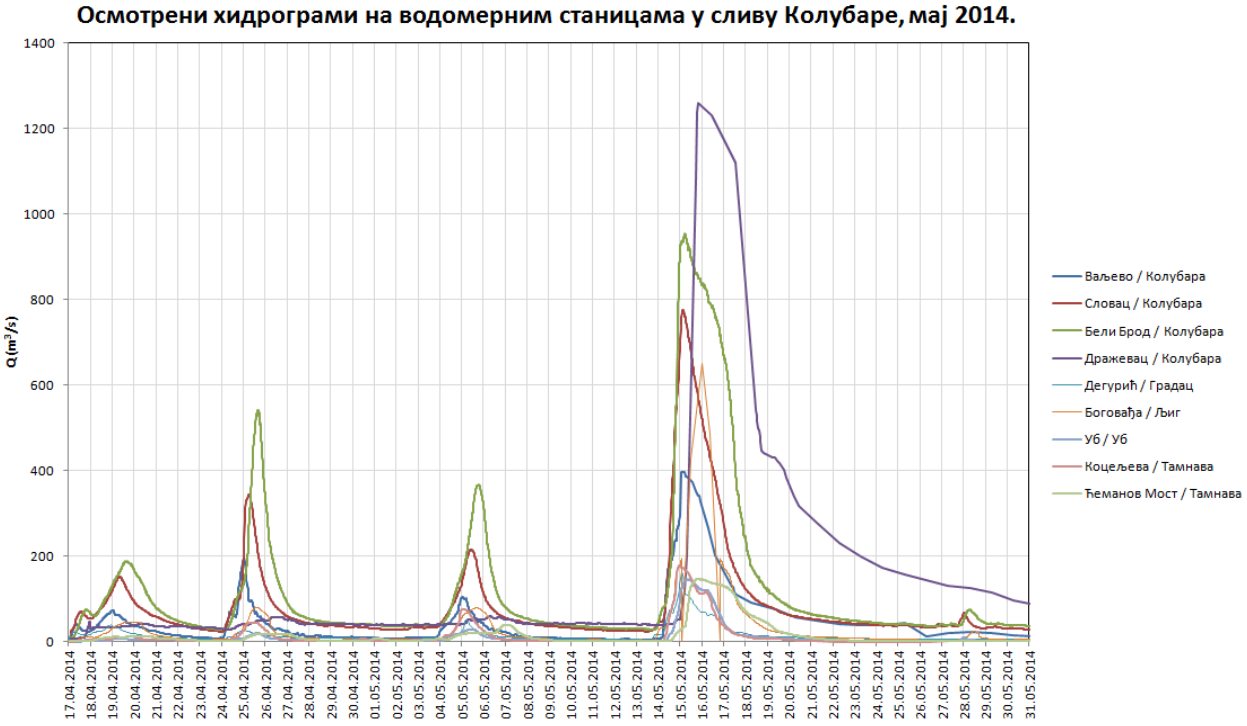
На потезу Уба 14. маја проглашене су ванредне мере одбране од поплава. С превентивним мерама отпочело се још дан раније када је штаб за ванредне ситуације општине Уб издао наредбу о пресецању левог, а затим и десног насипа на реци Уб. У 18 часова активирана је и ретензија у Богдановици где је према процени прихваћено око 500.000 m^3 воде. Такође је услед наиласка таласа Уба извршено и делимично отварање клапни на ретензији Докмир чиме је прихваћено око 1.600.000 m^3 воде. Такође, извршено је пресецање путног правца Каленић-Лајковац на захтев ПД Колубара, РЈ „Тамнава-Западно поље", да би се заштитила трафо-станица од површинских вода.

На левој обали Тамнаве од Ћемановог моста до ушћа у Колубару, као и на реци Трстеници, насипи су били пробијени на више места. Био је оштећен и насип железничке пруге Обреновац-Велики Црљени на левој обали Трстене. Вода је затим потекла инундацијом ка нижим деловима слива, где се придружила води која је прелила левообални насип Колубаре.

На реци Кладници изграђене су брана и акумулација „Паљуви Виш" (1985), ретензија „Кладница" (2004) и систем за превођење вода из ретензије „Кладница" (црпна станица, цевовод, везни и ободни канал) у корито реке Кладница северно од границе површинског копа „Тамнава-Западно поље". За време мајске поплаве вода је прелила преко прелива бране Паљуви Виш у висини преливног млаза у максимуму око 1.0 m. Услед великог дотицаја са међуслива и прилива из бране „Паљуви Виш" брана „Кладница" је у мају 2014. године била разрушена на северном делу, а вода Кладнице отекла је у површински коп „Тамнава-Западно поље".

Пошто јој се придружила и највећа притока – Тамнава, Колубара је прелила левообални насип код Великог Поља. Преливању овог подручја допринеле су и воде које су дотекле инундацијом са узводног дела слива, након пробоја насипа Трстене. Вода се на овом подручју задржала и сакупљала док није достигла притисак да пробије левообални насип потока Чиковац, који се сматра другом одбрамбеном линијом града Обреновца, на два места. Изливена вода на левој обали Колубаре практично је текла кроз долину „Старе" Тамнаве која је некада текла кроз Обреновац и уливала се у реку Саву. Вода која се са брањеног подручја слила са слива реке Колубаре пробила је деснообални насип Саве код Забрежја на два места 17. маја око 2:30. Пошто је у том тренутку водостај Саве био нижи, вода је тада истицала из обреновачке долине. На основу дубине воде и захваћене површине, грубо је процењено да је Обреновац поплављен са 10–20 милиона кубних метара воде.

На свим хидролошким станицама Републичког Хидрометеоролошког Завода Србије (РХМЗС) су забележени ови поплавни таласи. На сливу реке Колубаре постоји укупно 14 хидролошких станица: Бело Поље (Обница), Седларе (Јабланица), Ваљево (Колубара), Дегурић (Градац), Мионица (Рибница), Словац (Колубара), Боговођа (Љиг), Бели Брод (Колубара), Зеоке (Пештан), Коцељева (Тамнава), Ћеманов мост (Тамнава), Уб (Уб), Дражевац (Колубара) и Обреновац (Колубара). Дати су осмотрени хидрограми на хидролошким станицама РХМЗ за период април-мај 2014. године.



Слика 5.3 Осмотрени хидрограми на водомерним станицама РХМЗ у сливу реке Колубаре, мај 2014.

Важно је напоменути да су лимниграфи на хидролошким станицама мерили само ниво воде на локацији станице. Тај податак је битан, јер је на многим местима дошло до продора и пробоја насипа, значајних плављења инундационих подручја, па чак и до формирања одвојених токова који су текли паралелно са главним током реке Колубаре. С тим у вези, хидрограми осмотрених протицаја се морају узети са резервом јер на неким станицама не представљају укупан протицај који је дотекао са узводне површине слива, већ само протицај који је прошао кроз профил хидролошке станице. Тек након хидролошке реконструкције поплавног таласа и комплетног сагледавања хидролошке ситуације, биће дефинисани меродавни укупни хидрограми поплавног таласа за различите профиле.

5.4 Приказ поплављених подручја, са описом узрока и обима плављења

Поплављена подручја, узроци и последице поплаве у мају 2014. године на сливу Колубаре су анализирани у оквиру "Експертизе поплавног догађаја на подручју Србије у 2014. години" коју је израдио Институт. У наставку се даје сажетак, а литература из које су прикупљене информације се наводи у поменутом документу.

5.4.1 Колубара кроз Ваљево

Неки приобални делови Ваљева су поплављени 14. маја услед изливања воде из регулисаног корита Колубаре када је превазиђен пројектовани степен заштите. Како „мост на Јадру" нема довољну висину, дошло је до појаве успора и око 20 часова до преливања воде у парк и оштећења камене облоге левообалног насипа. Постављени су џакови са песком и формиран земљани насип на левој обали реке за заштиту насеља Илица. Водостај је и даље био у благом порасту и у 1 час после поноћи велики таласи које је стварала бујица и нанос у минор кориту, почели су да преливају преко постављених насипа код моста и парка на Јадру и поплављени су делови насеља. Изливање воде на овом делу се наставило до јутра. У вечерњим часовима 14.05. Колубара се излила и у насељу Колубара 1 на левој обали код железничке станице, а у

јутарњим часовима 15.05. и на десној обали у део насеља у близини фабрике вијака "Градац". Велике воде су током целе ноћи вршиле притисак на конструкције свих мостова, јутарњим часовима 15.05.2014. дошло је до оштећења обалоутврде мајор корита између пешачког моста код хотела "Гранд" и моста код Дома културе.



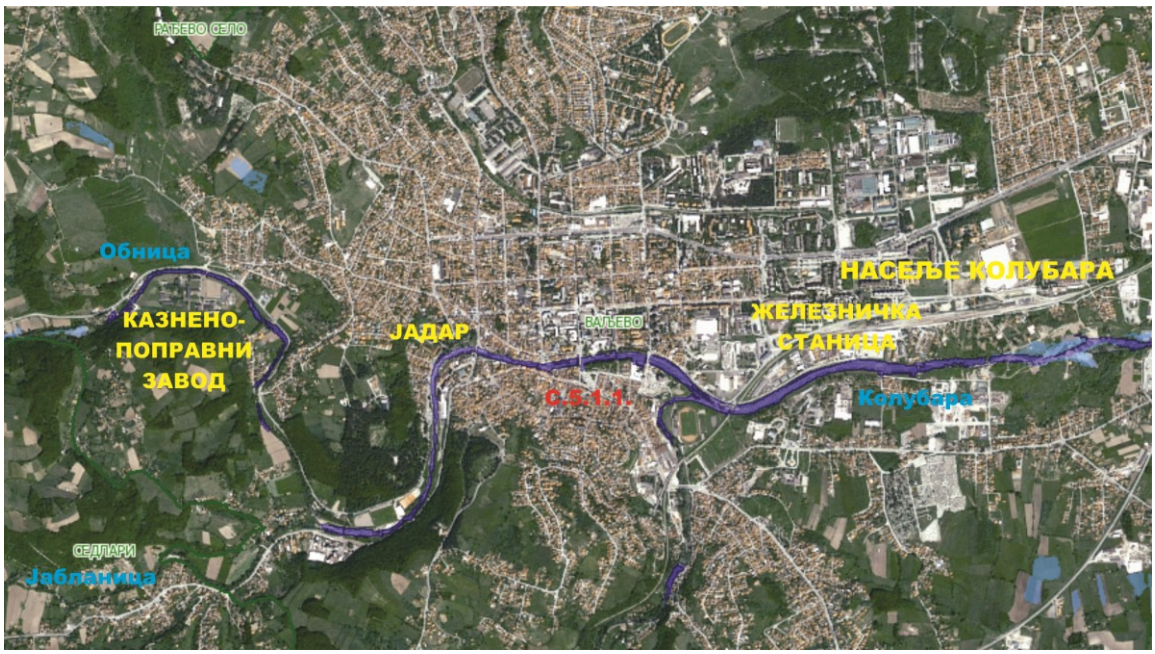
Слика 5.4 Мост у центру Ваљева 15.05.2014. у 10 h (извор: Panoramio/ Аврамс NO Views)

До плављења Карађорђеве улице на левој обали је дошло услед недостатка жабљих поклопаца на испустима, те је вода покуљала кроз шахтне отворе. Низводно од железничке станице Колубара није регулисана те је дошло до изливања из природног корита.

14. маја око 16 часова је дошло до мањег изливања воде код аутобуске станице, а уз ангажовање Војске Србије и надлежног водопривредног предузећа подигнут је зечији насип, чиме је спречено даље изливање реке на овој локацији.

Падавине су угрозиле и делове насеља Горић, Попучке и Ново насеље. Услед појаве великих вода поплављен је и магистрални пут М4, што је довело до прекида саобраћаја према Београду и Убу, као и пут М21 према Коцељеви. Град Ваљево једину везу са Ибаском магистралом имао је преко Рајковића, Богдановића брда и Љига.

На доњој слици је приказан положај делова града који су били погођени поплавом.



Слика 5.5 Ваљево, локације поплављених делова града (извор: РГЗ - ГеоСРБИЈА, на основу SPOT6 од 19.05.2014.)

16.05. водостај Колубаре у Ваљеву је почео да опада, а вода је почела да се повлачи из поплављеног подручја.

После проласка таласа великих вода Колубаре кроз Ваљево регистрована су многа оштећења регулисаног корита и приобаља, мањег или већег обима, што је умањило заштитну функцију регулисаног корита. У току радова у регулисаном кориту Колубаре при постављању магистралног цевовода "Ровни", оштећени су и уништени главни стабилизациони објекти на левој обали дуж тока, што је проузроковало веома велика оштећења регулисаног корита Колубаре кроз Ваљево приликом наиласка таласа у мају 2014. године. У прилог томе говори и стање десног форланда који је, углавном, остао неоштећен, осим низводно од пешачког "Белог" моста. Срушене камене и бетонске облоге су правиле препреку течењу на местима рушења или низводно на местима заустављања. Код "моста на Јадару" то је проузроковало успор узводно. Код силоса и низводно од пешачког моста утицали су на течење и струјну слику и преусмеравање тока на супротну страну, што је довело до рушења обала на супротним странама корита.

Већи обим плављења Ваљева је избегнут јер је брана са акумулацијом "Стубо-Ровни" у изградњи прихватила део поплавног таласа (према процени - око 2,5 милиона кубних метара воде). 15.05. око 15 часова вода у акумулацији је била око коте 312,0 m н. в. што је то је вероватно блиско максималној достигнутој коти у акумулацији. Задржавање већих количина воде није било могуће јер је радио опточни тунел.

Након што је на реци **Градац** током априлског таласа велике воде срушена преграда узводно од Новаковића воденице и оштећен мост, средином маја на појединим деловима тока водостај је премашио висину мостова. Висок водостај је узроковао оштећења мостова узводно од бетонске бране, као и изливање реке код ФК "Крушик".

На **Љубостињи** су већи проблеми забележени током априлског таласа велике воде, након чијег проласка је извршено уклањање нанетог материјала. Током мајског таласа на делу регулисаног тока Љубостиње постављени су џакови са песком на критичним местима тако да није дошло до изливања воде на регулисаној деоници, али у горњем, нерегулисаном делу, река се излила у улици Димитрија Туцовића.

Десна притока Колубаре, река **Бања** (водоток другог реда), се услед успора изазваног високим нивоима Колубаре 24.04. око 23:00 излила у селима Мрчић, Белошевац и Шушеока, при чему је поплављено више стамбених и пословних објеката као и пољопривредно земљиште. Оштећена су оба прелаза са пропустима низводно од бране Поцибрава. Током мајског таласа велике воде, оштећен је брзоток и објекти низводно од бране Поцибрава.

Од притока на подручју града Ваљева средином маја највеће проблеме је направила **Обница**, на којој не постоји изграђен систем заштите. Обница се излила у ноћи 14-15. маја и поплавила насеља уз пут за Лозницу и објекат Казнено поправног завода за малолетнике (одакле је евакуисано 24 лица), оштетила магистрални пут М4 Ваљево-Лозница код КПЗ, срушила 3 моста и нанела огромне количине наноса. Једно лице је страдало у водама Обнице.

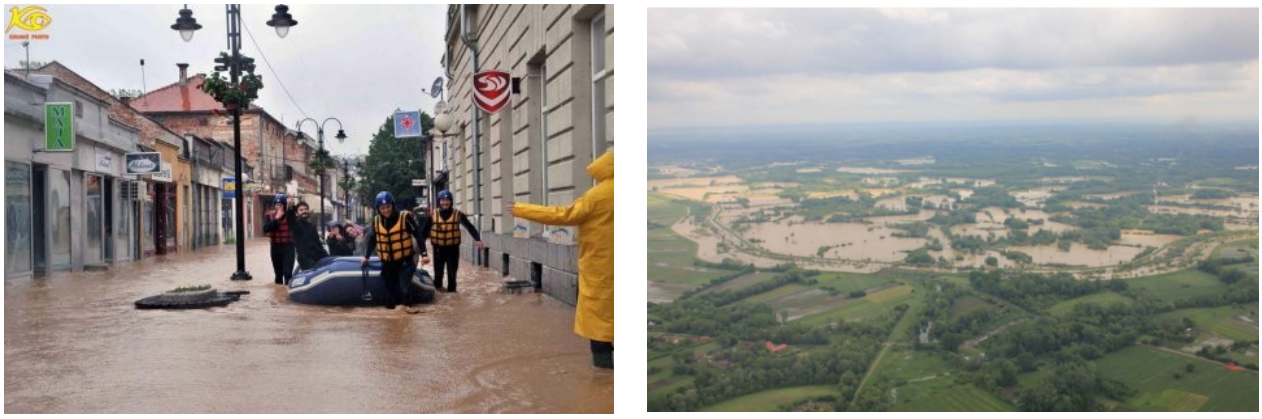


Слика 5.6 Обница је поплавила Казнено-поправни завод у Ваљеву (извор: kolubarske.rs/ Ђ. Ђоковић)

Штета од априлских поплава у Ваљеву процењена је на готово 80 милиона динара. Штета причињена инфраструктурним објектима износи 75,2 милиона динара, а штета на домаћинствима око 2,4 милиона динара. Износ је заснован на пријавама 57 грађана, и није коначан.

Ваљево је претрпело штете и у мајском таласу великих вода. Поплављено је 299 кућа и 8 зграда, а из својих домаћинстава је евакуисано око 100 становника. Народни музеј града Ваљева је оштећен услед прокишњавања, а Завод за заштиту споменика културе Ваљево услед прокишњавања и затрпавања наносом из потока.

Поплаве и одрони су довели до оштећења пруге Београд-Бар на неколико деоница - на левој обали Градца, на 81. километру у Градцу и 88. километру у Ластри.



Слика 5.7 Поплава у Ваљеву (извор: Д. Перић, непознат)

У доњој табели се наводе износи штете у Граду Ваљеву, према процени Комисије за утврђивање штете од елементарних непогода. Такође је дат број корисника и износ исплаћене државне помоћи до 23. јануара 2015. године, према подацима Канцеларије за помоћ и обнову поплављених подручја.

Табела 5.1 Штета од поплава и клизишта у Граду Ваљеву

Штета	Количина	Износ (РСД)
Индивидуални стамбени објекти	299	225.012.228
Објекти колективног становања	8	1.512.696
Јавни објекти		114.958.285
Клизишта	101	110.257.963
Локални путеви		234.415.000
Мостови / пропусти		66.300.000
Привредни објекти и опрема		235.666.336
Пољопривредно земљиште и производња	970 ha	69.172.797
Сточарство		3.024.000
Остало		21.320.827
УКУПНА ШТЕТА		1.081.640.133
ИСПЛАЋЕНА ДРЖАВНА ПОМОЋ	233	63.160.000

5.4.2 Колубара од ушћа Пештана до Лајковца

Колубара се излила на нерегулисаном делу тока између Ваљева и Лајковца, а на току кроз Лајковац је пробила левообални насип С.5.8.2.



Слика 5.8 Санација левообалног насипа Колубаре (С.5.8.2.) у Лајковцу (извор: ЈВП "Србијаводе")

Низводно од Лајковца, на левој обали Колубаре до ушћа Враничине, нису изграђени насипи, а долином се пружа пруга Београд-Бар која је ограничила досезање поплаве на левој обали.

Највише је била угрожена варош Лајковац, односно насеља испод пруге ка Колубари и део од надвожњака ка Ћелијама. У поплави су две особе изгубиле живот, жена из Лајковца и мушкарац из Јабучја. Евакуисано је око 500 грађана.

Према прелиминарној процени, штета од поплаве на територији општине Лајковац износи 91 милион динара. Штете од поплава пријавило је 343 власника оштећених објеката а највише проблема имали су власници приватних предузећа у индустријској зони, којима су оштећене зграде и машине, уништен репроматеријал, нисконапонске трафо-станице биле су под водом. Бујице су оштетиле преко 25 km улица и путева, мостове у Словцу и Пепељевцу, као и од Словца према Ратковцу, подвожњаке, бројне насипе и пропусте. Пруга Београд-Бар је претрпела велика оштећења између Лазаревца и Лајковца. У општини Лајковац је регистровано 22 клизишта, највећа у Ћелијама, Врачевићу и Степању. Због клизишта је оштећено 2,7 km путева, две куће и два помоћна објекта, а угрожено је шест кућа и парохијски дом у Степању. Поплава је угрозила 3.220 ha пољопривредних површина.

Према подацима Канцеларије за помоћ и обнову поплављених подручја, у општини Лајковац је до 23. јануара 2015. исплаћена државна помоћ у укупном износу од 28.250.000 динара, за 200 корисника.



Слика 5.9 Поплава у општини Лајковац (извор: Општина Лајковац, kolubarske.rs/А.Ранковић)

5.4.3 Колубара од ушћа Турије до ушћа Пештана

Током таласа великих вода који се јавио средином маја, Колубара је пробила своје десноообалне насипе на деоници С.3.10. од ушћа Љига до ушћа Пештана, и то:

- С.3.10.4. на 5 места на укупној дужини од 570 m,
- С.3.10.2. на три места на укупној дужини од 560 m.

На деоници С.3.7. на десној обали, Колубара је пробила насип од пута Велики Црљени - Каленић до ушћа Турије (С.3.7.1.) на дужини од 20 m (km 2+920 - 2+900) и делом допринела плављењу површинског копа "Велики Црљени".

Општина Лазаревац захвата подручје претежно на десној обали Колубаре, од ушћа Љига до низводно од ушћа Турије, тако да је претрпела штете од изливања Колубаре и њених већих притока. Најтеже су погођена села Барошевац и Медошевац на десној обали Пештана, Вреоци и Велики Црљени на десној обали Колубаре низводно од ушћа Пештана. Поплава је однела два људска живота, жену из Великих Црљена и мушкарца из Трбушнице. Поплављена је површина од 362 ha, 1.203 домаћинство, а 5 стамбених објеката више није за становање. Током поплаве из својих домова је евакуисано 3.112 грађана. Након повлачења воде са поплављених подручја уклоњено је 30 тона угинулих животиња. Евидентирано је 146 клизишта.

Површински копови и ПД РБ "Колубара" су претрпели велику штету током мајске поплаве. Прве процене директних штета указују на износ од 124 милиона евра штете на опреми на површинским коповима "Тамнава - Западно поље" и "Велики Црљени".



Слика 5.10 Поплава у општини Лазаревац (извор: Л. Милић, ГЕМТВ, РБК)

У доњој табели се наводе износи штете у општини Лазаревац. Такође је дат број корисника и износ исплаћене државне помоћи до 23. јануара 2015. године, према подацима Канцеларије за помоћ и обнову поплављених подручја.

Табела 5.2 Штета од поплава и клизишта у општини Лазаревац

Штета	Количина	Износ (РСД)
Грађевински објекти	1208 записника	165.900.000
Клизишта	146	Нема податка
Локална инфраструктура		Нема податка
Привредни објекти и опрема		89.622.000
Пољопривредне површине и производња	900 ha	52.450.000
Сточарство	2.902 комада	5.469.000
УКУПНА ШТЕТА		> 313.441.000
ИСПЛАЋЕНА ДРЖАВНА ПОМОЋ	826	190.070.000

Општина Аранђеловац захвата горње делове тока Качера са Букуљом и Великом Букуљом, и горње делове Пештана и Туриje у сливу Колубаре, као и горњи део слива Кубршнице (у сливу Велике Мораве), а претрпела је штете од поплава и од клизишта. Најкритичније је било у селу Даросава, кроз коју протиче Даросавица, десна притока Пештана, а поплављени су и делови села Буковик, узводно на Пештану.



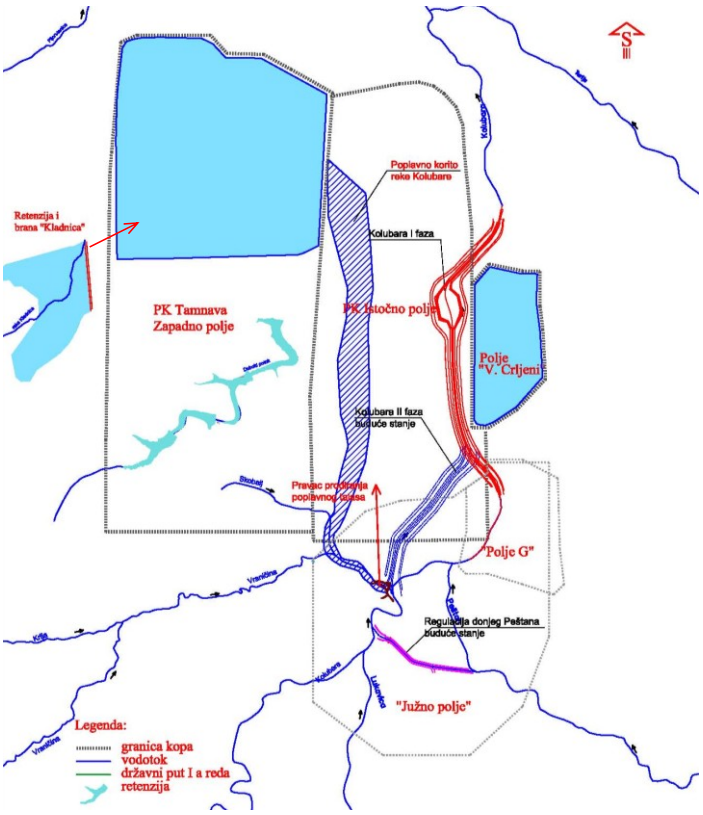
Слика 5.11 Поплава у Буковику, на Пештану (извор: Youtube / Б. Никитовић)

У доњој табели се наводе износи штете у општини Аранђеловац, према процени Комисије за утврђивање штете од елементарних непогода. Такође је дат број корисника и износ исплаћене државне помоћи до 23. јануара 2015. године, према подацима Канцеларије за помоћ и обнову поплављених подручја.

Табела 5.3 Штета од поплава и клизишта у општини Аранђеловац

Штета	Количина	Износ (РСД)
Индивидуални стамбени објекти		11.939.000
Локални путеви, мостови и пропусти		15.670.000
Пољопривреда		53.540.321
УКУПНА ШТЕТА		81.149.321
ИСПЛАЋЕНА ДРЖАВНА ПОМОЋ	4	740.000

На деоници С.3.8. на левој обали Колубаре дошло је до пробоја одбрамбеног насипа С.3.8.1. на ушћу Враничине у Колубару. Колубара је променила свој ток тако што је просекла ново, поплавно корито кроз постојеће корито Враничине (С.3.8.2.), и тим правцем, кроз затворени коп "Тамнава - Источно поље", улила се у активни површински коп "Тамнава - Западно Поље".



Слика 5.12 Правци плављења површинског копа "Тамнава - Западно поље"

Два дана су трајали радови на изградњи привременог чепа од земље и камена крупне гранулације на ушћу Враничине, да би се спречило дотицање воде у површински коп "Тамнава - Западно поље" и река вратила у своје корито. За то време, површински коп "Тамнава - Западно поље" је потопило 187,3 милиона кубних метара воде (површина водног огледала 7,44 km^2, највећа дубина 66,4 m).

Колубара је прелила десни насип С.3.9.2. и заједно са водом Пештана поплавила површински коп "Велики Црљени" са 27,5 милиона кубних метара воде (површина водног огледала 2,27 km^2, највећа дубина 28,9 m).

5.4.4 Колубара од ушћа Тамнаве до ушћа Турије

Подручје дуж Колубаре од ушћа Турије до ушћа Тамнаве се не штити од поплава, тј. не постоје изграђени заштитни објекти. На десној обали је поплављена површина приближно до пута Степојевац-Дражевац, а на левој обали су се саставиле плавне зоне Колубаре и Тамнаве.

5.4.5 Колубара од ушћа у Саву до ушћа Тамнаве

На деоници С.3.5, пошто јој се придружила и највећа притока, Тамнава, Колубара је прелила леви насип (С.3.5.2.) код Великог Поља. Плављењу овог подручја допринеле су и воде које су дотекле инундацијом са узводног дела слива, након пробоја насипа Трстенице.

Вода се на овом подручју задржала и скупљала док није достигла притисак да пробије леви насип потока Чиковац С.3.5.2., који се сматра другом одбрамбеном линијом Обреновца, на два места:

- на дужини од 72 m (km 1+217,5 до km 1+290), уз рушење армирано-бетонског заштитног зида по круни насипа,

- на дужини од 53 m (km 0+847 до km 0+900), уз преливање локалног пута узводно од пробоја. Висина преливног млаза преко локалног пута достизала је 1,5 m.

Након пробоја насипа Чиковца, вода више није имала препрека на путу ка Обреновцу, који је поплављен у раним јутарњим сатима 16.05. Изливена вода на левој обали Колубаре је практично текла кроз долину "старе" Тамнаве, која је некада текла кроз Обреновац и уливала се у Саву.

Вода која се брањеним подручјем слила са слива Колубаре је 17. маја око 2:30 h пробила десни насип Саве код Забрежја на два места. Како је у том тренутку ниво Саве био нижи, вода је истицала из обреновачке долине.



Слика 5.13 Локација оштећења одбрамбене линије код Забрежја (извор: UNITAR)

Рад црпних станица на подручју општине Обреновац је био онемогућен услед прекида у снабдевању електричном енергијом. На ц.с. "Забрешке ливаде" због квара на далеководу, струје није било од 14. до 15. маја у 14 h. 16. маја око 6 часова је поново дошло до прекида рада услед нестанка струје.

На ц.с. "Мислођин" 15.05. је дошло до пуцања потисног цевовода на дужини од 5 m. Црпна станица је услед нестанка струје била ван функције од 16. маја око 6 часова до 26. маја када су монтиране пумпе пуштене у рад ради пребацивања воде из ретензије преко деснообалног насипа Колубаре.

На подручју општине Обреновац поплављено је око 2.300 km^2, евакуисано је око 25.000 становника, а велики број људи је страдао током поплаве и то је 32 умрло природном смрћу, 15 се утопило, а двоје се воде као нестали.

Северно од пута Београд-Шабац дубине воде су биле 1-2 m, док су у јужном делу дубине биле веће (и до 4 m) и вода се дуже задржала. Објекти су оштећени услед дугог задржавања воде, а кровови на многим кућама су оштећени приликом спашавања људи кроз таване. На основу дубине воде и захваћене површине, грубо је процењено да је Обреновац поплављен са 10-20 милиона кубних метара воде.

На подручју Обреновца штету од изливања Колубаре је претрпела и термоелектрана Никола Тесла (ТЕНТ А) када су поплављене подрумске просторије те је из безбедносних разлога одлучено да се генератори ставе ван погона. Према првим проценама, штета на ТЕНТ А, ТЕНТ Б и железничкој прузи за транспорт угља од површинских копова Рударског басена Колубара, износи 2,8 милиона евра.



Слика 5.14 Поплава у Обреновцу (извор: РГЗ, Хеливидео, ЕУ/УН, МУП РС)

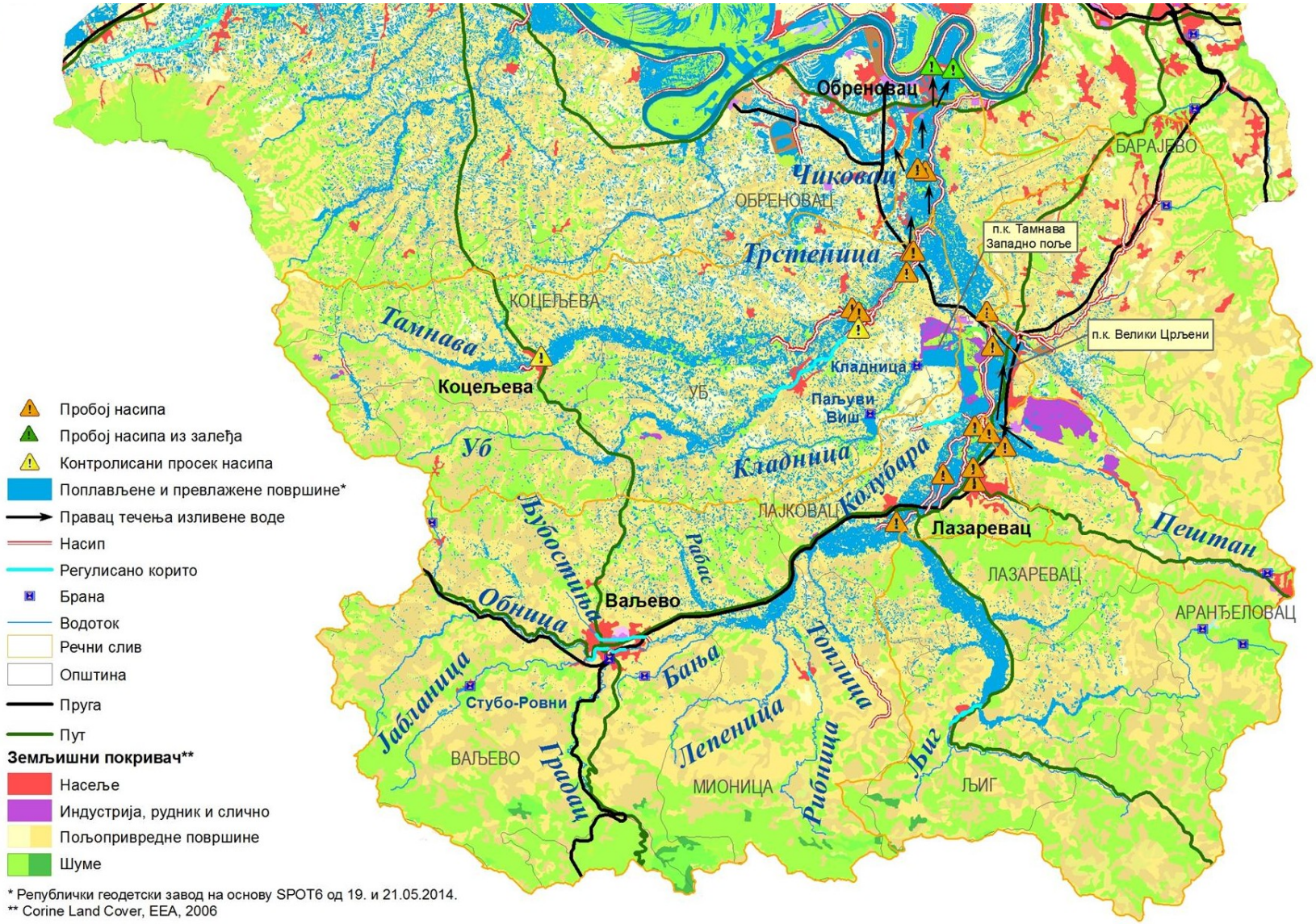
Штета од поплаве у општини Обреновац није утврђена. Извештај о процени штете од поплава у 126 локалних самоуправа садржи само износ штете на 30-35% локалних путева. На располагању су различити подаци, из различитих извора. Тако је за потребе донаторске конференције[2] путем екстраполације на основу 70% прикупљених података процењено да је штету претрпело 5.292 стамбених објеката. Такође је утврђено да је поплавом у општини Обреновац било погођено 13 образовних установа (5 предшколских установа, 5 основних и 3 средње школе), 6 културних и 1 природно добро, 4 установа културе и дом здравља. Према овом документу општина Обреновац је претрпела 22% штете у индустрији у односу на укупну штету у поплављеном подручју у Србији, 36% штете на јавним установама и 64% од укупне штете у трговини.

Према информацијама из Општине, поплављено је 7.000 кућа, од којих је 200 потпуно срушено, затим, станови, пословни простори, 3.500 аутомобила као и 1.000 ha пољопривредних површина. Незванично се процењује да је штета у Обреновцу око 200 милиона евра.

Према подацима Канцеларије за помоћ и обнову поплављених подручја, у општини Обреновац је до 23. јануара 2015. исплаћена државна помоћ у укупном износу од 1.850.475.518 динара, за 6.424 корисника.

На Слици 5.15 су приказана сва поплављена подручја у сливу Колубаре, са приказом доминантног правца течења на карактеристичним локацијама. На слици се види и допринос Тамнаве и њених притока, које се разматрају у наставку.

[2] Regional Conference for Floods Prevention and Management in Western Balkans, 24 November 2014, Brussels



Слика 5.15 Поплављено подручје у сливу Колубаре

5.4.6 Десне притоке Колубаре

Рибница, која се у Колубару улива на нерегулисаном потезу низводно од Ваљева, излила се узводно од регулисаног дела корита у Мионици, па је поплављен простор испод стадиона фудбалског клуба. Осим неколико случајева уливања воде у подрумске просторије, кишна канализација је успела да прими највећи део воде. Нешто тежа ситуација је била у селима где су саобраћајнице биле у прекиду, било је проблема у напајању електричном енергијом и водом. Евакуисано је 18 лица.

Топлица је оштетила регулисано корито (С.5.7.1.) и излила се у Бањи Врујци, као и на низводном нерегулисаном потезу.





Слика 5.16 Поплава у општини Мионица (извор: Општина Мионица)

У доњој табели се наводе износи штете у општини Мионица, према процени Комисије за утврђивање штете од елементарних непогода. Такође је дат број корисника и износ исплаћене државне помоћи до 23. јануара 2015. године, према подацима Канцеларије за помоћ и обнову поплављених подручја.

Табела 5.4 Штета од поплава и клизишта у општини Мионица

Штета	Количина	Износ (РСД)
Стамбени објекти		56.464.553
Локални путеви		84.871.412
Привредни објекти и опрема		48.530.397
Пољоприведа		30.582.552
УКУПНА ШТЕТА		220.448.914
ИСПЛАЋЕНА ДРЖАВНА ПОМОЋ	7	970.000

Љиг је са притокама поплавио велике површине на читавој територији општине посебно дуж нерегулисаног потеза (села Бранчић, Ивановци, Моравци, Латковић, Липље, Кадина Лука и Славковица). Током проласка таласа дошло је до оштећења регулисаног корита (С.5.9.1.). Због поплаве главне електро-дистрибуције и оштећења водоводне мреже, цела општина је била без електричне енергије и воде више дана. Такође није било сигнала фиксне и мобилне телефоније. Дом здравља је био у потпуности под водом. Више од 40 особа из села Ба, Кадина Лука, Лалинци, Козеља и вароши Љиг је евакуисано.



Слика 5.17 Поплава у општини Љиг (извор: Општина Љиг)

У доњој табели се наводе износи штете у општини Љиг, према процени Комисије за утврђивање штете од елементарних непогода. Такође је дат број корисника и износ исплаћене државне помоћи до 23. јануара 2015. године, према подацима Канцеларије за помоћ и обнову поплављених подручја.

Табела 5.5 Штета од поплава и клизишта у општини Љиг

Штета	Количина	Износ (РСД)
Стамбени објекти		83.000.000
Водовод		50.000.000
Клизишта		15.000.000
Локални путеви		56.002.180
Мостови / пропусти	19	27.871.400
Привредни објекти и опрема		5.425.244
Пољопривреда		61.273.495
УКУПНА ШТЕТА		298.572.319
ИСПЛАЋЕНА ДРЖАВНА ПОМОЋ	10	13.620.000

Лукавица је поплавила пољопривредне површине низводно од Лазаревца, након пробоја:

- левог насипа С.3.10.5. на 2 места на укупној дужини од 120 m,
- десног насипа С.3.10.3. на 3 места на укупној дужини од 130 m.

Пештан се излио на узводном, нерегулисаном, потезу. Доминантни ток је био кроз десну инундацију где су поплављена села Медошевац и Барошевац. Вода се затим слила дуж пута Лазаревац - Велики Црљени и из правца Вреоца поплавила површински коп "Велики Црљени". Вода је делом отекла до ушћа Турије, местимично преливајући Ибарску магистралу.

На низводној деоници, Пештан је пробио леви насип (С.3.10.1.) на 4 места на укупној дужини од 100 m (km 0+410 - 0+250). Такође је пробијен и његов десни насип (С.3.9.3.) на дужини од 20 m (km 0+120 - 0+100).

И **Турија**, најнизводнија десна притока Колубаре на подручју општине Лазаревац, пробила је свој десни насип (С.3.6.1.) на дужини од 30 m (km 0+870 - 0+900).

У сливу Турије, **Бељаница** и друге мање реке и бујични токови су поплавиле око 250 ha пољопривредних површина. Услед проблема са кишном канализацијом поплављени су и делови насеља. Клизишта су пријављена на 50 локација. Оштећени су регионални и локални путеви, на општинским и некатегорисаним путевима срушено је или

оштећено 4 моста, а поплављен је Римски мост у Бељини. Пполављен је бар 21 објекат (од чега је 13 стамбених). Евакуисано је око 10 породица.

Акумулација Дубоки поток је прихватила знатну количину воде и спречила изливање Барајевске реке.





Слика 5.18 Поплава у општини Барајево (извор: Општина Барајево)

У доњој табели се наводе износи штете у општини Барајево. Такође је дат број корисника и износ исплаћене државне помоћи до 23. јануара 2015. године, према подацима Канцеларије за помоћ и обнову поплављених подручја.

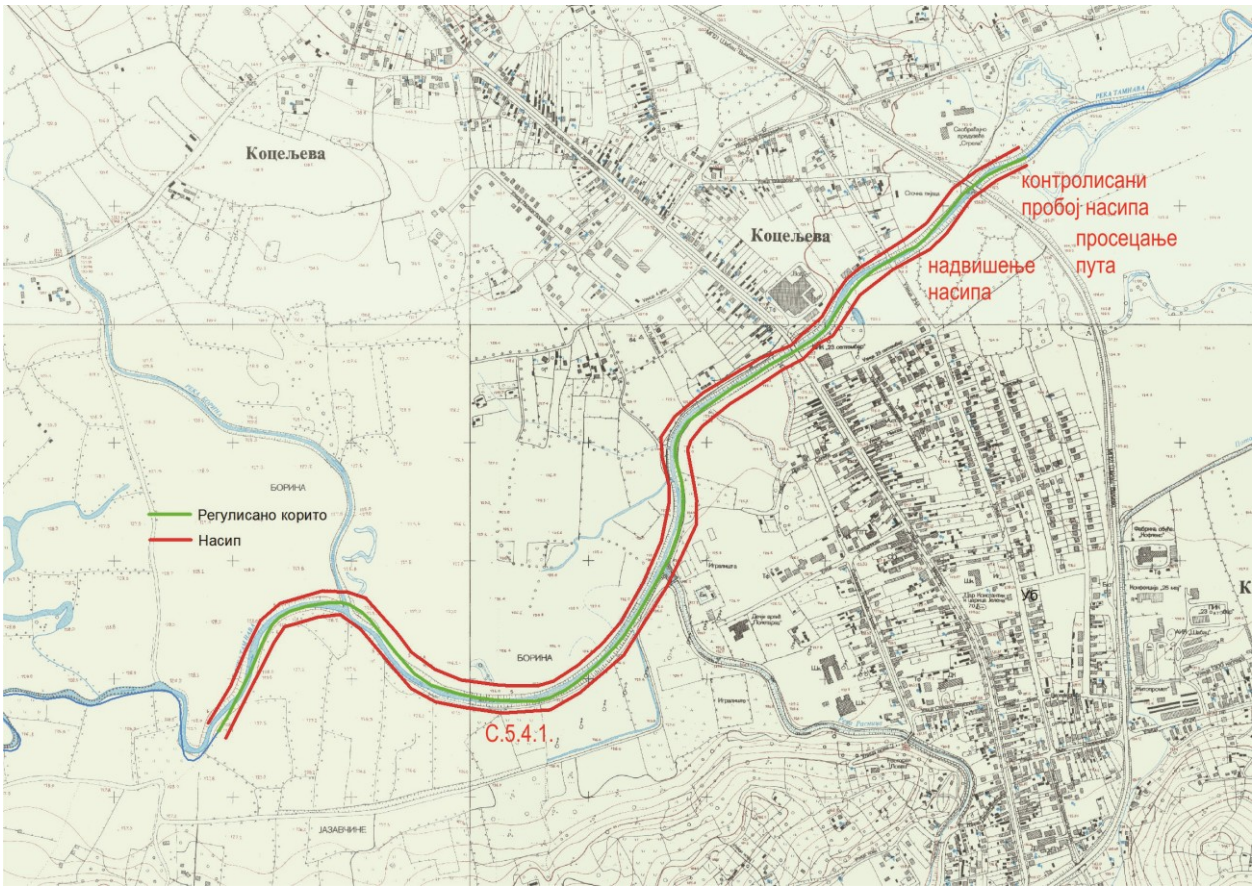
Табела 5.6 Штета од поплава и клизишта у општини Барајево

Штета	Количина	Износ (РСД)
Стамбени објекти		4.000.000
Локални путеви		26.650.000
Мостови / пропусти		1.620.000
Пољоприведа		8.000.000
УКУПНА ШТЕТА		40.270.000
ИСПЛАЋЕНА ДРЖАВНА ПОМОЋ	10	1.130.000

5.4.7 Леве притоке Колубаре

Тамнава је 14. маја у вечерњим часовима поплавила Коцељеву. Раније тог дана је извршено просецање десног насипа на стационажи реке km 32+361, како би се вода пустила на пољопривредне површине. Ова мера није спречила пораст воде у Коцељеви јер је магистрални пут Ваљево-Шабац задржавао воду. Око 22 h вода је почела да прелива магистрални пут, а до поноћи је срушен и мост на истом путу. 15. маја око 3 h, издата је наредбу да се магистрални пут просече на десној обали Тамнаве. Након просецања вода је пуштена на пољопривредне површине и ниво воде у граду је почео да стагнира. У 6:30 је просек проширен, те је ниво воде у граду почео да опада.

Средином маја у општини Коцељева је поплављено и у мањој или већој мери оштећено 176 кућа, срушен је, горе поменути, мост на магистралном путу Ваљево-Шабац (Слика 5.20, доле лево), 15 мањих мостова (Слика 5.20, доле десно), оштећено је више од 230 km локалних путева, бунари и објекти водоснабдевања, поплављено је преко 1.700 ha обрадивог земљишта, преко 100 ha је трајно уништено наносима блата, камена, шљунка и услед одношења површинског слоја земљишта, а покренуто је 84 клизишта. Поред саме Коцељеве, најугроженија су била села Доње Црниљево, Каменица и Баталаге. 15.05. евакуисано је више од 50 породица.



Слика 5.19 Локација извршених радова у Коцељеви



Слика 5.20 Поплава и штета у општини Коцељева (извор: Општина Коцељева)

У доњој табели се наводе износи штете у општини Коцељева, према процени Комисије за утврђивање штете од елементарних непогода. Такође је дат број корисника и износ

исплаћене државне помоћи до 23. јануара 2015. године, према подацима Канцеларије за помоћ и обнову поплављених подручја.

Табела 5.7 Штета од поплава у општини Коцељева

Штета	Количина	Износ (РСД)
Индивидуални стамбени објекти		73.500.000
Локална инфраструктура		7.100.000
Локални путеви		58.800.000
Мостови / пропусти		114.300.000
Привредни објекти и опрема		8.000.000
Пољоприведа		53.000.000
УКУПНА ШТЕТА		314.700.000
ИСПЛАЋЕНА ДРЖАВНА ПОМОЋ	120	28.940.000

На низводној деоници Тамнаве, у општини Уб, у току ноћи 14-15.05. услед интензивних киша и недовољне пропусне моћи природног корита узводно од регулисане деонице, дошло је до изливања воде која је, пратећи локалне депресије једним делом прешла у корито Кленовице, а другим делом дошла у залеђе леве надвишене обале регулисане деонице, при чему је поплављен део насеља Таково.

15. маја око 12:30 h је дошло до преливања насипа (С.5.3.4.) на десној обали Тамнаве низводно од Ћемановог моста, код Милораца. Као последица преливања, насип је пробијен на дужини од 20 m на km 12+104 од ушћа у Колубару.

16. маја и даље није било могуће прићи заштитним објектима на Тамнави јер је околно подручје, укључујући обрадиве површине и стамбене објекте у селима дуж Тамнаве, било под водом. Тамнава је 17. маја и даље имала висок водостај (пуно корито низводно од Ћемановог моста), а 18. маја је имала тенденцију мањег опадања при чему је водостај био изнад границе редовне одбране од поплава. 19. маја водостаји на Тамнави су били у већем опадању. Пошто је на десном насипу (С.5.3.1.) констатовано веће оштећење на дужини од 30 m (у селу Бргуле код високог терена "Ђилдап", на km 4+100), на том месту је извршена интервенција багером да би се омогућило несметано враћање воде из поплављеног подручја у реципијент. 20. маја вода се и даље споро повлачила из поплављеног подручја дуж Тамнаве, нарочито на подручју Такова, као и Лисог Поља, Бргула и Милораца.

На низводној деоници Тамнава је пробила леви насип (С.3.5.3.) на дужини од 20 m, са оштећењем испуста, 1.100 m низводно од Ћемановог моста (km 12+200).

Трстеница је пробила десни насип на дужини од 16 m (km 0+600 до km 0+616), непосредно низводно од железничког моста на прузи Обреновац - Велики Црљени и на дужини од 15 m код пропуста на km 0+100. Леви насип Трстенице је пробијен на дужини од 22 m (km 0+600 до km 0+622). Оштећен је и насип железничке пруге Обреновац - Велики Црљени на левој обали Трстенице на дужини од око 100 m. Вода је затим потекла инундацијом ка нижим деловима слива у правцу Великог Поља, где се придружила води која је прелила левообални насип Колубаре.

Рад црпне станице "Пироман" на десној обали Трстенице је прекинут 16. маја око 6 h услед нестанка електричне енергије.



Слика 5.21 Пробој левог насипа Тамнаве и насипа Трстенице (извор: ЈВП "Београдводе")

На **Убу** се са превентивним радовима почело још 13.05.2014. године, након добијених информација из горњих делова слива Тамнаве. Штаб за ванредне ситуације општине Уб је издао наредбу о просецању левог, а затим и десног насипа на реци Уб. У 18 часова је активирана и ретензија у Богдановици где је према процени прихваћено око 500.000 m^3 воде. Такође, услед наиласка таласа Уба, извршено је и делимично отварање клапни на ретензији Докмир, где је прихваћено око 1.600.000 m^3 воде. У циљу ублажавања таласа великих вода, извршено је делимично просецање десног насипа у селу Шарбане (задатак није изведен до краја јер је дошло до преливања насипа). Такође извршено је просецање путног правца Каленић-Лајковац на захтев ПД Колубара, РЈ „Тамнава - Западно поље", да би се заштитила трафо станица од површинских вода и омогућио несметан рад копа.

Одбрамбени насип на Убу (између мостова у улици Краља Петра и Дринске дивизије) је надвишен на дужини од 730 m и то на обе речне обале.

У току ноћи 14-15.05. услед непрекидних киша и недовољне пропусне моћи корита дошло је до изливања воде из природног корита Уба узводно од моста у Гуњевцу (km 12+533) и продора у залеђе одбрамбених насипа регулисане деонице кроз насеље (km 9+600 до km 12+533). У исто време је дошло и до изливања воде из природног корита Грачице, вода се слила у залеђе леве високе обале дуж Уба, а затим се улила у регулисано корито Уба, при чему је дошло до плављења свих делова насеља Уб између реке Уб и Грачице. Услед додатног дотицаја Убом, дошло је и до изливања из регулисаног корита Уба на неколико места и плављења нижих делова насеља у приобаљу (делови насеља Совљак, Школарац, Талови, Сандића имање).

Водостај на реци Уб у 1 час, 15.05.2014. године је достигао 400 cm, што је било близу границе историјског максимума забележеног 2010. године. У врло кратком периоду (сат времена) водостај је порастао за још 70 cm (активирана је сирена) и већ у 02:10 часова водостај реке Уб у улици Дринске дивизије је порастао до висине моста, што је изазвало загушење и изливање воде из реке Уб на силазним рампама (4 места). Након тога је издато наређење о евакуацији становништва. Водостај на реци Уб у 6 часова износио је 560 cm и једини проходан правац био је Уб-Ваљево преко Карауле.

15. маја је издат налог за санацију локалног оштећења попречног насипа на десној обали узводно од моста у Гуњевцу, ангажовањем механизације и људства под надзором овлашћеног лица ЈВП „Србијаводе", како би се спречило даље продирање воде која након изливања из корита реке Уб узводно од моста у Гуњевцу, овим путем дође у залеђе одбрамбених насипа на десној обали регулисане деонице и поплави део насеља.

16.05. вода која се излила узводно од моста у Гуњевцу почела је да се повлачи у корито Уба. Поплављено подручје између Грачице и Уба је и даље било под водом. 17. маја је извршено шлицовање надвишења обале у селу Стубленица у зони гвозденог

моста, ради враћања воде у корито Уба. 18. маја вода је почела да се враћа у корито и ситуација се полако нормализовала.

Брана „Паљуви Виш" на реци **Кладници** је преливена на бочном преливу, а у време пика таласа максимална висина преливног млаза на бочном преливу износила је око 1,0 m. Око 5,5 km низводно од бране „Паљуви Виш" налази се брана „Кладница". Услед великог дотицаја са међуслива и преливања на брани „Паљуви Виш" брана „Кладница" је у мају 2014. била разрушена на свом северном делу, а вода Кладнице је отекла у површински коп Тамнава - Западно поље, који се налази око 200 m низводно од преграде.

Тамнава, Уб, Грачица и друге мање притоке су у општини Уб средином маја поплавиле 13.053 ha пољопривредних површина, 1.123 стамбених објеката, евакуисано је 7.000 становника, односно 2.300 домаћинстава, док је угрожено било 19.000 људи, а један становник општине је страдао током поплаве.



Слика 5.22 Поплава у Убу (извор: kolubarske.rs, С. Теодосић)

У доњој табели се наводе износи штете у општини Уб, према процени Комисије за утврђивање штете од елементарних непогода. Такође је дат број корисника и износ исплаћене државне помоћи до 23. јануара 2015. године, према подацима Канцеларије за помоћ и обнову поплављених подручја.

Табела 5.8 Штета од поплава и клизишта у општини Уб

Штета	Количина	Износ (РСД)
Стамбени објекти		Нема податка
Водовод		13.000.000
Канализација		1.000.000
Клизишта		10.000.000
Локални путеви		69.000.000
Мостови / пропусти		1.000.000
Привредни објекти	25	7.543.552
Опрема у привреди		8.770.345
Пољопривредна механизација		19.205.264
Пољопривредно земљиште и производња		622.429.046
Сточарство		15.915.888
Остало		20.000.000
УКУПНА ШТЕТА		1.462.248.895
ИСПЛАЋЕНА ДРЖАВНА ПОМОЋ	919	236.184.000

6 ХИДРОЛОШКИ ПАРАМЕТРИ И КРИТЕРИЈУМИ ЗА ПРОЦЕНУ УГРОЖЕНОСТИ ОД ПЛАВЉЕЊА И ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ОБЈЕКАТА ЗА ЗАШТИТУ ОД ПОПЛАВА

Економски оправдана заштита од штетног дејства вода представља обавезу Републике Србије и локалне самоуправе, јер се њоме штите људи, природна и друга материјална добра и ресурси и обезбеђују услови за бољи друштвени и привредни развој.

Искуство катастрофалне поплаве 2014. године указује на потребу да се, након неопходних поправки на систему заштите, у што краћем року дефинише за сваки слив адекватан комплекс превентивних мера који треба реализовати у планском периоду.

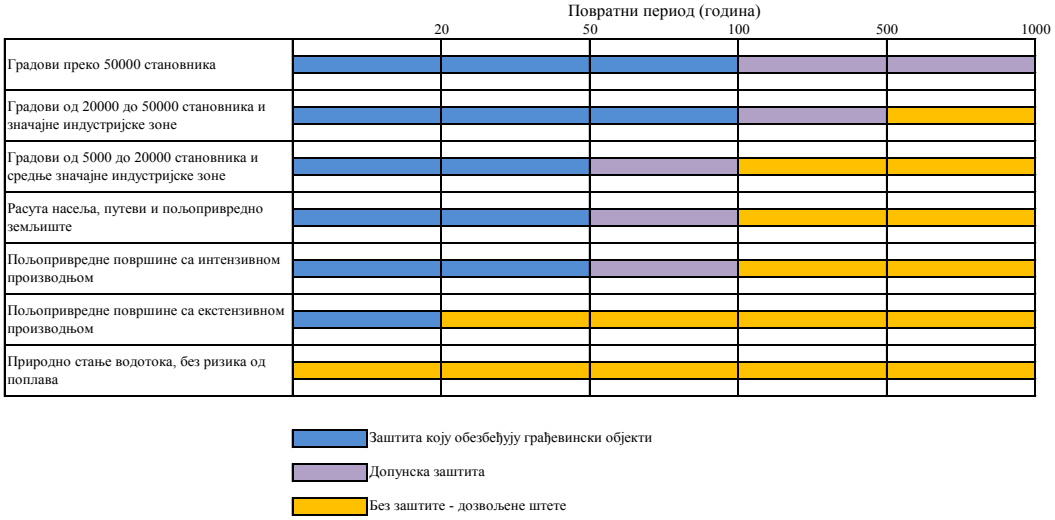
Сектор вода је надлежан за планирање и реализацију превентивних мера, које укључују уређење водотока, изградњу система за заштиту од спољних и унутрашњих вода, као и уређење ерозионих подручја и бујица.

6.1 Опште напомене о хидролошким параметрима и критеријумима и приказ параметара и критеријума из законске регулативе и стратешких опредељења

Степен заштите од поплава спољним водама зависи од техничко-економских, еколошких, социјалних и других критеријума, услова и ограничења. Дефинише се за сваки систем или касету (брањени простор), на основу броја становника и висине потенцијалних штета од поплава.

Степен заштите који обезбеђују грађевински објекти једнак је повратном периоду велике воде, која је меродавна за димензионисање објекта. Међутим, у условима климатских промена и антропогених утицаја мењају се и услови настанка и карактеристике великих вода, па меродавни протицај више није непроменљива категорија. Стога су за обезбеђење одговарајућег степена заштите потребне и допунске мере и радови (мобилни системи у градовима, реконструкција објеката).

У Стратегији управљања водама на територији Републике Србије (2015) дате су препоруке за степен заштите од поплава који треба да обезбеде нови системи, као и постојећи системи који се дограђују или реконструишу (Слика 6.1).



Слика 6.1 Препоручени степен заштите од поплава

Препоручује се да се градови преко 20000 становника и значајне индустријске зоне штите сталним објектима до нивоа 100-годишње велике воде, али да се допунском заштитом обезбеде и од 500-годишње или 1000-годишње воде (за велике градове). Мања насеља и квалитетне пољопривредне површине треба обезбедити од 100-годишње велике воде. Пољопривредне површине са екстензивном производњом се могу обезбедити само од мањих поплавних таласа, а што веће просторе треба оставити у природном стању да би могли да прихвате део великих вода.

6.2 Улога хидролошких и хидрауличких модела у дефинисању хидролошких параметара и критеријума

Да би се дефинисали хидролошки параметри и критеријуми за процену угрожености приобаља и димензионисање објеката од поплава потребно је извршити опсежне хидролошке и хидрауличке анализе. Наиме, потребно је дефинисати хидрограме на свим кључним профилима у сливу (хидролошке станице, ушћа притока, профили ретензија), а затим радити хидрауличке прорачуне нивоа воде дуж речних деоница, како би се утврдило која би подручја при великим водама била поплављена и какве би биле дубине воде у условима изливања велике воде. Разграничиће се реално плавна подручја односно незаштићена подручја од потенцијално плавних подручја, која би била поплављена само у случају рушења постојећих објеката за заштиту од поплава.

На основу прикупљених историјских података осматрања на профилима хидролошких станица у сливу Колубаре, а водећи рачуна о подацима добијеним хидролошко-хидрауличком реконструкцијом поплаве из 2014. године, одредиће се низ екстремних годишњих протока, а затим и применом статистичких метода и максимални годишњи протоци одређених вероватноћа појаве. Посебан значај имају протоци повратних периода 10, 100 и 1000 година, за које се касније раде хидраулички прорачуни и мапирају угрожена подручја. Поред максималне ординате, која се одређује стандардним поступком који подразумева да ће максимална ордината хидрограма одговарати теоријским вредностима максималног годишњег протока, одредиће се време подизања и опадања хидрограма, запремина поплавног таласа, облик хидрограма, време концентрације.

На хидролошки неизученим профилима, као што су профили потенцијалних ретензија и ушћа притока, биће дефинисани одговарајући хидрограми великих вода за различите повратне периоде коришћењем развијених хидролошких модела. Контрола ће бити извршена на профилима хидролошких станица.

За делове слива на којима се утврди да се екстремни протоци из 2014. године могу сматрати меродавним за димензионисање објеката и анализу ефеката примене мера одбране од поплава, као улазни подаци у хидролошки модел, користиће се метеоролошки подаци који су довели до овог екстремног догађаја.

6.3 Методологија за израду карата угрожености од поплава

Званична методологија за израду карата угрожености и карата ризика за значајна плавна подручја на територији Републике Србије до данас није објављена. За потребе ове Студије користиће се методологија за израду карата угрожености, која је већ коришћена у два међународна пројекта (Floodrisk и Sofpas).

Карте угрожености од поплава које ће се урадити у оквиру ове Студије садржаће податке о:

- границама поплавног подручја за поплаве различитог повратног периода и
- податке о дубини воде за исте сценарије.

Карте угрожености од поплава израдиће се за следеће сценарије:

- поплаве мале вероватноће појаве (вероватноћа догађаја 0,1% односно повратни период 1000 година)
- поплаве средње вероватноће појаве (вероватноћа догађаја 1%, односно повратни период 100 година)
- поплаве велике вероватноће појаве (вероватноћа догађаја 10%), само за речне деонице где су поплаве учестале, а не постоје објекти за заштиту од поплава.

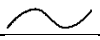
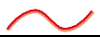
За сваки сценарио израдиће се посебна карта угрожености од поплава, са следећим садржајем:

- граница поплавног подручја,
- дубине воде, у 4 класе (дубине <0,5 m; 0,5-1,5 m; 1,5-4 m; >4 m),
- обале главног корита,
- постојећи објекти за заштиту од поплава и
- растерски или векторски приказ значајног поплавног подручја.

Границе поплавног подручја и дубине воде одредиће се хидрауличким прорачунима за утврђене сценарије, уз коришћење расположивих хидролошких, топографских и других подлога.

У случају да на подручју постоје објекти за заштиту од спољних вода, одредиће се и границе потенцијално поплавног подручја. Границе потенцијално поплавног подручја се дефинишу тако што се ниво воде у водотоку за одређени сценарио пројектује на терен до пресека са високим тереном.

Ознаке на карти угрожености су следеће:

		Начин приказа	Симбол	r	g	b	C	M	Y	K
Дубина воде	>4m	растер		99	140	255	61	45	0	0
	1,5 m-4m			41	186	255	84	27	0	0
	0,5m-1,5 m			115	222	255	55	13	0	0
	< 0,5 m			190	230	255	25	9	0	0
Обала главног корита		линија								
Постојећи насип		линија		217	0	11	15	100	96	0

7 ПОТЕНЦИЈАЛНЕ ШТЕТЕ ОД ПОПЛАВА

7.1 Приказ и анализа расположивих подлога

За Претходни извештај коришћене су следеће подлоге:

1. CORINE Land Cover 2012 - Подаци у векторском облику о коришћењу земљишта према CORINE методологији за 2012. годину (http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/view).
2. Land Copernicus - Подаци у растерском облику о водонепропусности тла изазваног антропогеним утицајем (Imperviousness) исказана преко степена непропусности тла (Soil sealing degree, http://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/imperviousness-2012/view).

У припреми Претходног извештаја коришћени су подаци и графички прикази важећих регионалних просторних планова и просторних планова подручја посебне намене, као и објављени подаци о становништву из Пописа 2011. године.

За Прелиминарни извештај биће коришћени подаци и графички прикази важећих просторних планова јединица локалне самоуправе и урбанистичких планова за урбана насеља. Користиће се и подаци и и графички прикази измена и допуна просторног плана подручја посебне намене за Колубарски лигнитски басен, чија је израда у току. Биће коришћени објављени подаци Пописа 2011. године, а по потреби прибавити и користити и други расположиви статистички подаци и показатељи.

У току израде Прелиминарног извештаја користиће се дигитални орто-фото снимци из 2010. године, који су добијени за скоро цео слив Колубаре (изузев за обухваћене делове подручја општина Сопот и Горњи Милановац). Као допунски извор информација за плавне зоне се могу користити картографски и катастарски подаци са webportal-а ГЕО Србија (www.geosrbija.rs).

За потребе израде Прелиминарног извештаја је неопходно прибавити: 1) податке од општинских/градских управа јавних прихода за 2014. годину за индустријске и стамбене објекте; и 2) податке о процењеним штетама од поплаве из 2014. године за различите категорије рецептора ризика од општинских управа и јавних предузећа, односно од Комисије за утврђивање штете од елементарних непогода при Влади Републике Србије.

7.2 Анализа коришћења земљишта у садашњем стању и будућности

7.2.1 Територијални обухват

У обухвату слива налазе се следеће јединице локалне самоуправе (ЈЛС): Аранђеловац, Бајина Башта, Барајево, Вождовац, Лазаревац, Младеновац, Обреновац, Сопот, Чукарица, Ваљево, Владимирци, Горњи Милановац, Косјерић, Коцељева, Крупањ, Лајковац, Лозница, Љиг, Мионица, Осечина, Пожега, Топола, Уб и Шабац (укупно 9769,4 km^2, 1.147.171 становника 2011. године).

Подручје поплаве 2014. године, укупне површине 294 km^2, обухватало је следеће ЈЛС, КО и насеља:

1. Општина Аранђеловац са две КО: Венчане (укупно 27,2 km^2, поплављен део 0,3 km^2, односно око 1%) и Тулеж (укупно 13,6 km^2, поплављен део 2,5 km^2, односно око 18,1 %).
2. Општина Лазаревац (Град Београд) са осамнаест КО: Араповац (укупно 11,7 km^2, поплављен део 0,6 km^2, односно око 4,7%), Бурово (укупно 3,4 km^2, поплављен део 0,5 km^2, односно око 16%), Велики Црљени (укупно 17,4 km^2, поплављен део 11,1 km^2, односно 63,8%), Вреоци (укупно 17,1 km^2, поплављен део 11,3 km^2, односно око 66,2%), Дудовица (укупно 9,5 km^2, поплављен део 2,4 km^2, односно око 25,7%), Жупањац (укупно 8,2 km^2, поплављен део 1,6 km^2, односно око 19,4%), Зеоке (укупно 10,2 km^2, поплављен део 1,2 km^2, односно око 11,5%), Јунковац (укупно 13,5 km^2, поплављен део 2,9 km^2, односно око 21,3%), Лазаревац (укупно 4,5 km^2, поплављен део 0,1 km^2, односно око 3,2%), Медошевац (укупно 10,3 km^2, поплављен део 2,7 km^2, односно око 25,8%), Миросаљци (укупно 15,1 km^2, поплављен део 1,1 km^2, односно око 7,3%), Петка (укупно 8,8 km^2, поплављен део 3,3 km^2, односно око 37,5%), Соколово (укупно 6,3 km^2, поплављен део 2,0 km^2, односно око 31,9%), Степојевац (укупно 20,8 km^2, поплављен део 6,9 km^2, односно око 33,2%), Стрмово (укупно 3,0 km^2, поплављен део 0,5 km^2, односно око 17,0%), Цветовац (укупно 9,4 km^2, поплављен део 6,8 km^2, односно око 71,8%), Чибутковица (укупно 19,8 km^2, поплављен део 4,1 km^2, односно око 20,8%) и Шопић (укупно 17,0 km^2, поплављен део 11,4 km^2, односно око 67,0%).
3. Општина Обреновац (Град Београд) са једанаест КО: Барич (укупно 14,7 km^2, поплављен део 0 km^2, односно око 0,3%), Бело Поље (укупно 6,2 km^2, поплављен део 1,8 km^2, односно око 29,2%), Бровић (укупно 7,8 km^2, поплављен део 4,8 km^2, односно око 61,1%), Велико Поље (укупно 23,4 km^2, поплављен део 14,8 km^2, односно око 63,3%), Дражевац (укупно 20,5 km^2, поплављен део 5,1 km^2, односно око 24,8%), Конатице (укупно 14,8 km^2, поплављен део 9,0 km^2, односно око 60,9%), Мислођин (укупно 13,8 km^2, поплављен део 0,9 km^2, односно око 6,5%), Обреновац (укупно 6,5 km^2, поплављен део 0,8 km^2, односно око 12,5%), Пироман (укупно 11,8 km^2, поплављен део 9,7 km^2, односно око 82,3%), Пољане (укупно 11,2 km^2, поплављен део 11,1 km^2, односно око 99,3%) и Стублине (укупно 19,7 km^2, поплављен део 0,3 km^2, односно око 1,8%).
4. Град Ваљево са девет КО: Белошевац (укупно 5,5 km^2, поплављен део 1,2 km^2, односно око 22,4%), Ваљево (укупно 28,6 km^2, поплављен део 2,1 km^2, односно око 7,3%), Веселиновац (укупно 2,7 km^2, поплављен део 0,9 km^2, односно око 33,4%), Дивци (укупно 6,6 km^2, поплављен део 2,6 km^2, односно око 39,2%), Кланица (укупно 13,7 km^2, поплављен део 1,3 km^2, односно око 9,6%), Лозница (укупно 15,9 km^2, поплављен део 2,0 km^2, односно око 12,5%), Лукавац (укупно 10,9 km^2, поплављен део 0,3 km^2, односно око 3,2%), Попучке (укупно 14,7 km^2, поплављен део 1,4 km^2, односно око 9,6%) и Мрчић (укупно 4,8 km^2, поплављен део 0,8 km^2, односно око 17,5%).
5. Општина Коцељева са осам КО: Каменица (укупно 17,6 km^2, поплављен део 1,0 km^2, односно око 5,5%), Коцељева (укупно 20,0 km^2, поплављен део 3,0 km^2, односно око 14,9%), Коцељева Варошица (укупно 5,7 km^2, поплављен део 1,3 km^2, односно око 22,4%), Љутице (укупно 14,6 km^2, поплављен део 1,5 km^2, односно око 10,0%), Свилуева (укупно 42,4 km^2, поплављен део 1,1 km^2, односно око 2,7%), Суботица (укупно 9,4 km^2, поплављен део 2,5 km^2, односно око 26,4%), Баталаге (укупно 10,9 km^2, поплављен део 0,4 km^2, односно око 3,7%) и Зукве (укупно 6,8 km^2, поплављен део 1,2 km^2, односно око 16,8%).
6. Општина Љиг са девет КО: Бранчић (укупно 8,2 km^2, поплављен део мање од 0,1 km^2, односно око 0,6%), Гукош (укупно 8,3 km^2, поплављен део 0,1 km^2, односно око 1,2%), Липље (укупно 9,1 km^2, поплављен део 0,1 km^2, односно око 0,9%), Љиг (укупно 0,2 km^2, поплављен део 0,014 km^2, односно око 7,0%), Моравци (укупно 8,7 km^2, поплављен део 2,4 km^2, односно око 27,8%), Бабајић (укупно 10,3 km^2, поплављен део 0,6 km^2, односно око 5,8%), Јајчић (укупно 7,5 km^2, поплављен део 3,2 km^2, односно око 42,1%), Латковић (укупно 6,7 km^2,

поплављен део 1,6 km^2, односно око 24,2%) и Цветановац (укупно 10,4 km^2, поплављен део 1,7 km^2, односно око 16,8%).

7. Општина Лајковац са петнаест КО: Словац (укупно 4,7 km^2, поплављен део 0,8 km^2, односно око 17,2%), Ћелије (укупно 7,2 km^2, поплављен део 1,3 km^2, односно око 18,4%), Доњи Лајковац (укупно 7,6 km^2, поплављен део 1,7 km^2, односно око 21,7%), Маркова Црква (укупно 3,0 km^2, поплављен део 0,4 km^2, односно око 14,2%), Пепељевац (укупно 11,6 km^2, поплављен део 4,2 km^2, односно око 36,3%), Придворица (укупно 4,6 km^2, поплављен део 1,8 km^2, односно око 38,4%), Прњавор (укупно 8,7 km^2, поплављен део 1,4 km^2, односно око 16,1%), Ратковац (укупно 5,2 km^2, поплављен део 2,3 km^2, односно око 44,6%), Стрмово (укупно 5,3 km^2, поплављен део 2,5 km^2, односно око 47,1%), Јабучје (укупно 45,1 km^2, поплављен део 9,1 km^2, односно око 20,3%), Лајковац (укупно 11,3 km^2, поплављен део 3,4 km^2, односно око 29,8%), Мали Борак (укупно 10,5 km^2, поплављен део 4,5 km^2, односно око 42,7%), Непричава (укупно 13,0 km^2, поплављен део 1,4 km^2, односно око 10,8%), Рубрибреза (укупно 5,9 km^2, поплављен део 1,0 km^2, односно око 17,8%) и Скобаљ (укупно 5,6 km^2, поплављен део 1,6 km^2, односно око 28,5%).

8. Општина Мионица са шеснаест КО: Вировац (укупно 7,8 km^2, поплављен део 1,0 km^2, односно око 12,5%), Вртиглав (укупно 8,0 km^2, поплављен део 1,3 km^2, односно око 15,7%), Горњи Мушић (укупно 12,3 km^2, поплављен део 0,5 km^2, односно око 4,3%), Доњи Мушић (укупно 4,7 km^2, поплављен део 0,1 km^2, односно око 2,3%), Дучић (укупно 9,5 km^2, поплављен део 0,0 km^2, односно око 0,2%), Клашнић (укупно 2,8 km^2, поплављен део 0,6 km^2, односно око 20,9%), Команице (укупно 6,4 km^2, поплављен део 0,0 km^2, односно око 0,4%), Маљевић (укупно 4,4 km^2, поплављен део 0,3 km^2, односно око 7,2%), Варош Мионица (укупно 1,4 km^2, поплављен део 0,1 km^2, односно око 5,4%), Село Мионица (укупно 8,3 km^2, поплављен део 0,8 km^2, односно око 9,5%), Паштрић (укупно 9,6 km^2, поплављен део 0,0 km^2, односно око 0,0%), Попадић (укупно 10,6 km^2, поплављен део 0,0 km^2, односно око 0,5%), Радобић (укупно 5,4 km^2, поплављен део 1,0 km^2, односно око 18,0%), Ракари (укупно 6,7 km^2, поплављен део 0,1 km^2, односно око 0,9%), Табановић (укупно 4,6 km^2, поплављен део 1,0 km^2, односно око 21,5%) и Шушеока (укупно 4,9 km^2, поплављен део 1,8 km^2, односно око 35,8%).

9. Општина Уб са двадесет четири КО: Лончаник (укупно 8,0 km^2, поплављен део 2,8 km^2, односно око 34,9%), Милорци (укупно 4,4 km^2, поплављен део 2,8 km^2, односно око 64,6%), Бргуле (укупно 15,4 km^2, поплављен део 5,8 km^2, односно око 37,9%), Брезовица (укупно 12,2 km^2, поплављен део 7,9 km^2, односно око 64,3%), Врело (укупно 24,4 km^2, поплављен део 4,3 km^2, односно око 17,7%), Гуњевац (укупно 5,2 km^2, поплављен део 1,6 km^2, односно око 29,7%), Докмир (укупно 16,4 km^2, поплављен део 1,6 km^2, односно око 9,7%), Звиздар (укупно 10,3 km^2, поплављен део 2,1 km^2, односно око 20,3%), Каленић (укупно 13,7 km^2, поплављен део 1,3 km^2, односно око 9,4%), Калиновац (укупно 8,4 km^2, поплављен део 0,5 km^2, односно око 5,4%), Лисо Поље (укупно 4,4 km^2, поплављен део 4,4 km^2, односно око 100%), Новаци (укупно 17,8 km^2, поплављен део 6,5 km^2, односно око 36,3%), Памбуковица (укупно 27,7 km^2, поплављен део 0,9 km^2, односно око 3,1%), Радљево (укупно 11,8 km^2, поплављен део 0,1 km^2, односно око 0,9%), Совљак (укупно 17,7 km^2, поплављен део 10,6 km^2, односно око 60,3%), Стубленица (укупно 19,7 km^2, поплављен део 0,8 km^2, односно око 3,8%), Таково (укупно 15,3 km^2, поплављен део 4,9 km^2, односно око 31,8%), Тврдојевац (укупно 8,6 km^2, поплављен део 3,4 km^2, односно око 40,0%), Трлић (укупно 18,4 km^2, поплављен део 2,4 km^2, односно око 12,8%), Трњаци (укупно 3,5 km^2, поплављен део 1,1 km^2, односно око 32,1%), Уб (укупно 7,7 km^2, поплављен део 5,3 km^2, односно око 69,3%), Црвена Јабука (укупно 6,4 km^2, поплављен део 4,1 km^2, односно око 63,3%), Чучуге (укупно 11,4 km^2, поплављен део 3,0 km^2, односно око 26,4%) и Шарбане (укупно 11,9 km^2, поплављен део 4,1 km^2, односно око 34,0%).

7.2.2 Анализа стања на подручу слива и у зони поплаве из 2014. године

7.2.2.1 Анализа стања коришћења земљишта

*Табела 7.1 Постојеће коришћење земљишта на подручју слива Колубаре и у зони поплаве из 2014. године**

Класа коришћења земљишта	Слив Колубаре		Зона поплаве 2014.	
	km²	%	km²	%
Антропогено измењен простор (CLC 1)	118,6	3,3	14,5	4,9
Насеља (CLC 11)	75,2	2,1	6,7	2,3
Остало (површине саобраћајне инфраструктуре, индустрије, експлоатације минералних сировина и др. CLC 12-14)	43,4	1,2	7,8	2,7
Пољопривредно (CLC 2)	2560,1	70,6	252,3	85,8
обрадиве површине (CLC 21)	381,1	10,5	106,4	36,2
вишегодишњи засади (CLC 22)	4,7	0,1		-
пашњаци и ливаде (CLC 23-24)	2174,3	60	0,0	49,6
Шумско (CLC 3)	942,3	26	25,3	8,6
Водно (CLC 4) и (CLC 5)	3,5	0,1	1,9	0,7
Укупно	3624,4	100	294,0	100

*Табела 7.2 Интензитет изграђености на подручју делова локалних самоуправа захваћених поплавама из 2014. године**

Интензитет коришћења	Површина (km²)	%
< 20%	2,1	29,8
20-40%	2,0	28,6
40-60%	1,4	19,8
60-80%	1,0	14,1
80-100%	0,5	7,7
Укупно	7,1	100,0

* На основу Soil Sealing Degree растерског слоја из 2012. године

*Табела 7.3 Коришћење земљишта на подручју делова локалних самоуправа у сливу Колубаре**

Обухват	Јединица локалне самоуправе	Укупна површина	Површина у сливу (km2)	Антропогено измењен простор (CLC1)		Пољопривредно (CLC 2)		Шумско (CLC 3)		Водно (CLC 4 и CLC 5)	
				km²	%	km²	%	km²	%	km²	%
Захваћене поплавама	Лазаревац	383,5	70,6	6,4	9,0	54,5	77,3	9,7	13,7	-	-
	Коцељева	257,3	11,9	0,2	1,3	11,7	98,6	0	0,1	-	-
	Ваљево	905,4	12,7	1	7,7	11,7	92,3	0,0	0,0	-	-
	Мионица	329,3	8,5	0,2	2,5	8,2	96,1	0,1	1,3	-	-
	Љиг	278,7	9,8	0,4	3,8	9,4	96,1	0,0	0,1	-	-
	Аранђеловац	375,7	2,7	-	-	2,7	100	0,0	0	-	-
	Обреновац	410,1	58,0	0,8	1,4	50,8	87,5	6,5	11,2	-	-
Захваћене поплавама	Уб	456,9	82,4	2,3	2,8	72,2	87,7	5,9	7,2	1,9	2,3
	Лајковац	185,8	37,4	3,4	9,0	31,0	82,7	3,1	8,3		
Остале у сливу	Бајина Башта	673,3	0,5	-	-	0,3	64,0	0,2	36,0	-	-
	Барајево	213,1	208,6	15,3	7,3	149,0	71,4	44,3	21,2	-	-
	Чукарица	157,0	1,9	0,1	4,7	1,5	77,3	0,3	18,0	-	-
	Младеновац	338,6	0,1	0,0	0,0	0,1	57,5	0,1	42,5	-	-
	Сопот	270,6	139,6	1,2	0,9	105,0	75,2	33,4	23,9	-	-
	Вождовац	148,5	0,0	0,0	14,5	0,0	80,2	0,0	5,3		
	Горњи Милановац	836,4	162,2	0,0	0,0	94,3	58,2	67,8	41,8	-	-
	Косјерић	358,5	34,0	-	-	5,7	16,7	28,3	83,3	-	-
	Крупањ	342,3	0,0	-	-	-	-	-	100	-	-
	Лозница	612,2	0,8	-	-	0,6	82,4	0,1	17,6	-	-
	Осечина	318,8	19,4	-	-	12,2	63,0	7,2	37,0	-	-
	Пожега	426,3	0,0	-	-	-	100	-	-	-	-
	Шабац	796,8	22,0	-	-	15,4	70,2	6,6	29,8	-	-
	Топола	356,5	4,3	-	-	1,0	23,1	3,3	76,9	-	-
	Владимирци	337,9	5,9	-	-	3,4	58,0	2,5	42,0	-	-

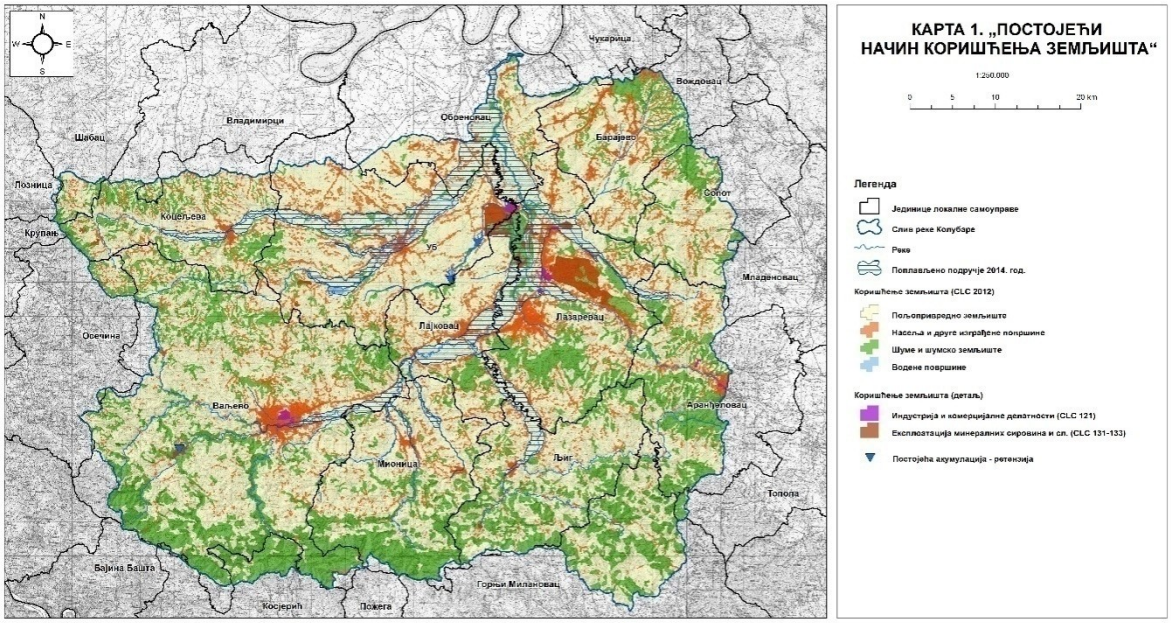
* На основу Corine Land Cover (CLC) из 2012. године

*Табела 7.4 Интензитет изграђености по деловима локалних самоуправа захваћених поплавама из 2014. године**

Јединица локалне самоуправе захваћене поплавама	Површина (km^2)	< 20%		21-40%		41-60%		61-80%		81-100%	
		1		2		3		4		5	
		km^2	%	km^2	%	km^2	%	km^2	%	km^2	%
Лазаревац	2,1	0,6	30,4	0,5	25,8	0,3	15,0	0,3	14,7	0,3	14,1
Коцељева	0,1	0,0	47,7	0,0	29,9	0,0	2,2	-	-		-
Ваљево	0,5	0,1	21,4	0,2	30,2	0,1	23,4	0,1	12,9	0,1	12,0
Мионица	0,1	0,1	50,8	0,0	29,6	0,0	13,4	-	-	0,0	6,2
Љиг	0,2	0,0	16,0	0,0	18,8	0,1	29,7	0,0	22,7	0,0	12,7
Аранђеловац	0,0	0,0	76,9	0,0	23,1	-	-	-	-		-
Обреновац	0,8	0,4	47,9	0,2	32,9	0,1	14,1	0,0	3,0	0,0	2,3
Уб	2,5	0,6	25,2	0,8	29,7	0,6	22,8	0,4	17,3	0,1	4,9
Лајковац	0,7	0,2	27,8	0,2	30,2	0,2	24,8	0,1	15,9	0,0	1,3

* На основу Soil Sealing Degree растерског слоја из 2012. године

Карта 1 „Постојећи начин коришћења земљишта" припремљена је на основу Corine Land Cover (CLC) из 2012. године и Soil Sealing растерског слоја.



Слика 7.1 Карта 1 „Постојећи начин коришћења земљишта"

7.2.2.2 Постојећа инфраструктура

На подручју слива развијена је мрежа државних путева I и II реда. Окосницу саобраћајне мреже чине четири државна пута Iб реда, тринаест државних путева IIа реда и двадесет три државна пута IIб реда.

Поплавом су били угрожени сегменти на деоницама следећих државних путева:

- Iб-бр. 21: Нови Сад-Ириг-Рума-Шабац-Коцељева-Ваљево-Косјерић-Пожега-Ариље-Ивањица-Сјеница; бр. 22: Београд-Љиг-Горњи Милановац; бр. 26: Београд-Обреновац-Шабац-Лозница; бр. 27: Лозница-Осечина-Ваљево-Лајковац-Ћелије-Лазаревац-Аранђеловац-Крчева-Топола-Рача-Свилајнац;
- IIа-бр.141: Дебрц-Бањани-Уб-Новаци-Коцељева-Шабачка-Каменица-Доње Црниљево-Осечина-Гуњаци-Пецка-Љубовија; бр. 142: Драгиње-Шабачка Каменица-Ваљевска Каменица; бр. 144: Обреновац-Стублине-Уб-Словац; бр. 145: Стублине-Бргуле-Лајковац; бр. 146: Уб-Бргуле; бр. 148: Барич-Мислођин-Степојевац-Велики Црљени-Јунковац-Сибница-Дучина; бр. 150: Ђуринци-Сопот-Аранђеловац-Белановица-Љиг-Мионица-Дивци; бр. 170: Ваљево-Пођута-Дебело Брдо-Рогачица-Бајина Башта-Калуђерске Баре-Кремна; бр 175: Жупањац-Боговађа-Мионица-Брежђе-Дивчибаре-Каона;

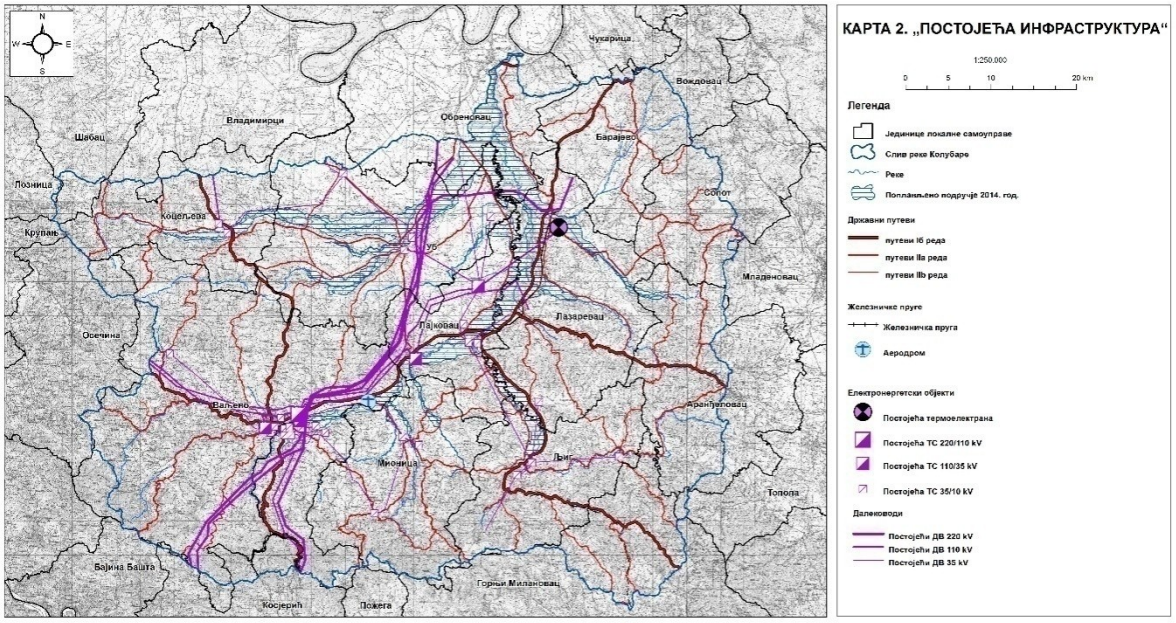
- IIб-бр. 340: Велико Поље-Грабовац, Новаци-Памбуковица-Слатина; бр. 341: Уб-Памбуковица; бр. 342: Уб-Попучке-Иверак; бр. 361: Лајковац-Боговађа, Љиг, Горњи Милановац; бр. 362: Маљевић-Латковић-Дудовица-Лазревац; бр. 363: Велики Црљени-Вреоци-Крушевица; бр. 365: Сибница-Венчане-Партизани-Белановица.

Инфраструктуру железничког саобраћаја на подручју слива чини пет железничких пруга од којих је поплавом угрожено четири.

Најзначајнији електроенергетски објекат на подручју слива представља термоелектрана „Колубара А" у Великим Црљенима која је посебно угрожена поплавама.

У систему преносне и дистрибутивне електроенергетске мреже је у евидентирано је тридесет три трафостанице снаге: 220/110 kV (један објекат), 110/35 kV (пет објеката), 35/10 kV (двадесет седам објеката). Поплавом су угрожене две трафостанице напона 35/10 kV и једна 110/35 kV. Мрежу далековода чини: четрдесет три објеката снаге 35 kV (двадесет три угрожено поплавом); дванаест објеката снаге 110 kV (шест угрожено) и пет објеката снаге 220 kV (четири угрожено).

Карта 2 „Постојећа инфраструктура" припремљена је на основу важећих регионалних просторних планова за Колубарски и Мачвански управни округ и за административно подручје града Београда



Слика 7.2 Карта 2 „Постојећа инфраструктура"

7.2.3 Коришћење земљишта до 2035. године

7.2.3.1 Планирано коришћење земљишта

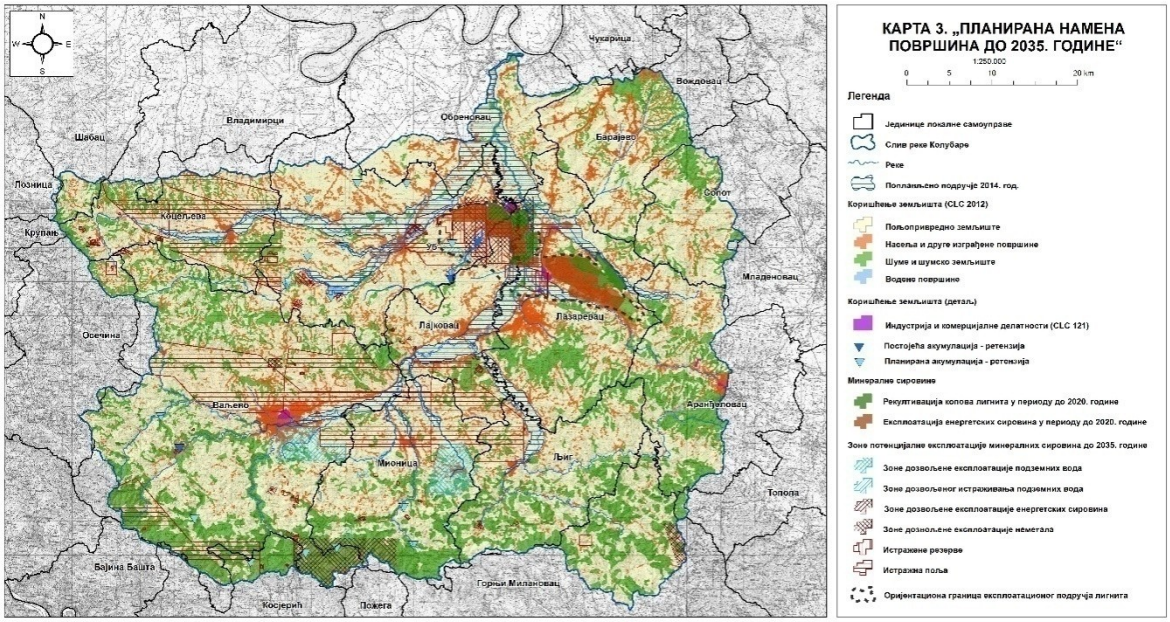
Увидом у важеће регионалне просторне планове за Колубарско и Мачвански и за Златиборски и Моравички управни округ, као и за административно подручје града Београда, констатовано је да нису предвиђене промене у начину коришћења земљишта (пољопривредног, шумског и изграђеног земљишта насеља).

Планиране су промене у намени простора за водно земљиште (акумулације и ретензије) и за експлоатацију угља и минералних сировина.

У погледу коришћења земљишта и експлоатације минералних сировина предвиђене су појачане активности у истраживању подземних вода и експлоатацији енергетских и

неметаличних минералних сировина. До 2020. године просторним планом подручја посебне намене планирано је проширење копова и подручја рекултивације на подручју Колубарског лигнитског басена. Зоне потенцијалне експлоатације минералних сировина засноване су на дозволама издатим од стране надлежног министарства пре 2014. године, те су подложне допунама.

Карта 3 „Планирана намена површина до 2035. године" припремљена је на основу Карте 1 и података из следећих важећих просторних планова: Просторног плана подручја експлоатације за Колубарски лигнитски басен, регионалних просторних планова за Колубарски и Мачвански и за Златиборски и Моравички управни округ, као и за административно подручје града Београда.



Слика 7.3 Карта 3 „Планирана намена површина до 2035. године"

7.2.3.2 Планирана инфраструктура

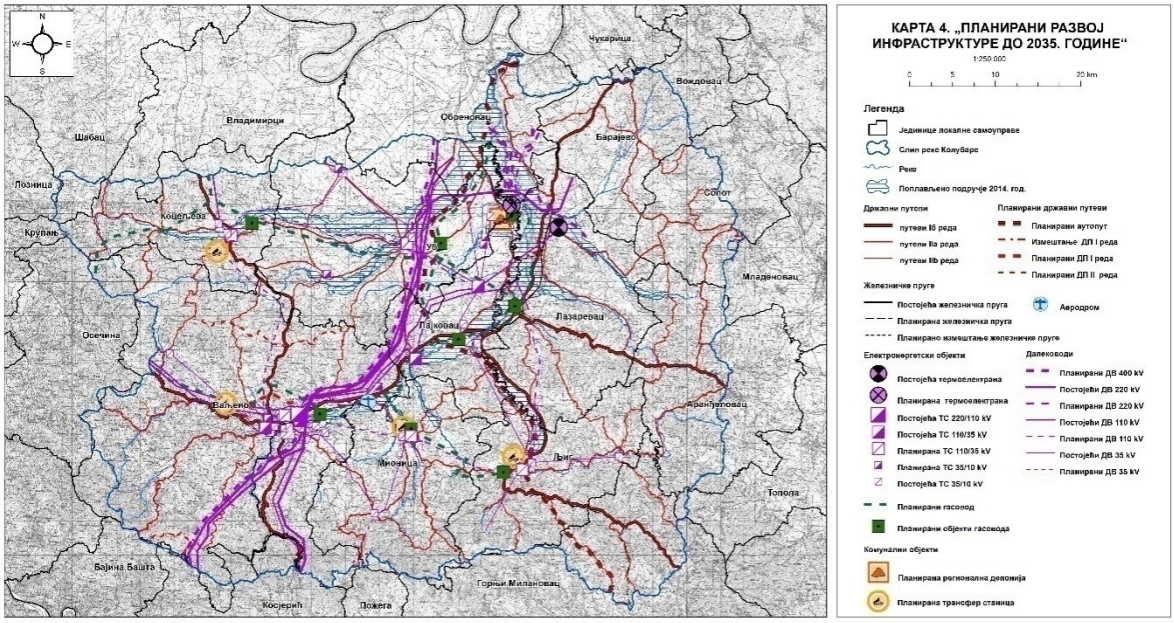
У наредном периоду на подручју слива планирана је реализација коридора аутопута Е-763 Београд - Јужни Јадран деоница Београд – Пожега. Такође планирано је измештање саобраћајница на деоницама државних путевима Iб реда бр. 22 и бр. 27, као и изградња саобраћајница државних путева II реда.

Развој железничког саобраћаја на подручју слива планиран је кроз завршетак изградње железничке пруге Ваљево-Лозница и измештање дела железничке пруге Београд-Бар.

Проширење електроенергетске мреже планирано је кроз изградњу пет трафостаница снаге 110/35 kV и шест трафостаница 35/10 kV. За развој читавог подручја биће значајна изградња термоелектране „Никола Тесла Б" у Обреновцу. До 2035. године планирана је изградња петнаест далековода снаге 35, 110, 220 и 400 kV. На подручју слива планирана је изградња гасоводне мреже и пратећих гасоводних објеката.

За одлагање комуналног отпада планирана је изградња регионалне санитарне депоније на територији општина Уб и Лајковац, као и четири трансфер станице у општинама Љиг, Мионица, Ваљево и Коцељева.

Карта 4. „Планирани развој инфраструктуре до 2035. године" припремљена је на основу Карте 2. и важећих регионалних просторних планова за Колубарски и Мачвански и за Златиборски и Моравички управни округ, као и за административно подручје града Београда.



Слика 7.4 Карта 4 „Планирани развој инфраструктуре до 2035. године"

7.3 Методологија процене броја становника угрожених поплавама, у садашњем стању и будућности

Број становника територије утврђује се пописом становништва, домаћинства и станова који се, по правилу, врши једном у десет година. Консензусом је утврђено да је овакав метод констатовања броја становника, домаћинства и станова најприближнији фактичком стању на терену. Попис се обавља по пописним круговима, а прикупљени подаци се потом агрегирају по вишим статистичко територијалним јединицама (СТЈ). За слив Колубаре су релевантни следећи нивои територијалних јединица: статистички круг, статистичко насеље и јединица локалне самоуправе.

Територијалне јединице у оквиру којих се врши попис у ретким случајевима обухватају простор који има само функцију становања (у већим градовима). Најчешће се у оквиру ових територија налазе и простори других функција, у којима становништво само повремено или ретко борави. Услед тога је тешко утврдити (може се једино проценити!) број становника на одређеном простору уколико се он не поклапа са статистичким територијама. Ово је управо случај код утврђивања броја становника угрожених поплавама, јер слив или зона потенцијалног плављења обухватају само делове насеља, односно делове простора у функцији становања.

Када је потребно проценити број становника угрожених поплавама користи се метода процене броја становника, односно процене густина насељености која је позната као дасиметрија (од енг. „мерење густине" – „density measure").

Овом методом, која је у суштини картографска, врши се расподела броја становника статистичке територије према начину коришћења земљишта, односно становништво се распоређује само на просторе које су у функцији становања, док се остали простори сматрају ненасељеним. Тиме се добијају значајно реалније (више вредности) густине насељености које унапређују резултате процене ризика од поплава. Аналитички поступак заснива се на следећим корацима:

1. Утврђивање (што је могуће прецизније) простора на којем се врши процена броја становника - слив или поплављено / потенцијално плавно подручје.
2. Идентификација СТЈ које се налазе у целости или делом у обухвату простора који је предмет анализе. Неопходно је да СТЈ буду на нивоу статистичког насеља, а уколико је могуће и детаљније (ниво статистичког, односно пописног

круга). За сваку СТЈ мора бити познат број становника из пописа, односно званична процена или аналитичка пројекција броја становника за дату годину.

3. У оквиру СТЈ се утврђује простор за који се сматра да представља зону становања (или више њих). У зависности од обима анализе и детаљности података могу се утврдити зоне које се међусобно разликују према врсти објеката, односно урбанистичких параметара изградње објеката (породично или вишепородично становање и сл.). У овом случају свакој овако издвојеној зони дају се одговарајући тежишни коефицијенти који кореспондирају са разликама у густини насељености између зона, а који могу бити утврђени експертски или емпиријски.
4. На основу познатог броја становника СТЈ и познате површине која је у функцији становања у оквиру СТЈ, утврђују се густине насељености, познате и као „специфичне густине". Потом се на основу вредности густине израчунава (даје процена) броја становника у било којој јединици простора која је у функцији становања.

У зависности од детаљности доступних података, прилагођава се и ниво детаљности анализе (Табела 7.5). За процену је првенствено важно знати тачност модела који предвиђа дубину воде потенцијалне поплаве. Даље, број становника (односно процена или пројекција) се најчешће добија из публикација Републичког завода за статистику (РЗС). За национални и регионални ниво анализе одговарајући су подаци из CORINE базе података, као и регионалних просторних планова, односно просторних планова јединица локалне самоуправе. За анализе на нивоу урбаног насеља потребни су подаци из урбанистичких планова, катастра, ортофото снимци. теренски подаци и сл.

Табела 7.5 Међузависност обима анализе и детаљности доступних података

Детаљност анализе / референтна размера	Тачност модела угрожености од поплаве	СТЈ	Коришћење земљишта
Национални и регионални (већа сливна подручја) / > 1:25000	> 1m	Јединица локалне самоуправе, Статистичко насеље	CORINE и сл., сателитски снимци, просторни планови региона и јединица локалне самоуправе
Локални ниво (мањи сливови и зоне угрожености од поплава) < 1:25000	0,1-1m	Статистичко насеље, Статистички / Пописни круг	Урбанистички планови, катастар

Процена будућег броја становника коришћењем дасиметријске методе подразумева пројекцију или процену броја становника на крају временског хоризонта, као и сценарије просторног развоја насеља, односно функције становања. Извор података у овом случају су просторни и урбанистички планови, уколико покривају предвиђени временски хоризонт. Потом се понављају претходно приказани кораци.

7.4 Методологија процене потенцијалних штета за дефинисане рецепторе ризика, у садашњим условима и на крају планског периода

Европском Директивом о управљању ризиком од поплава (DIRECTIVE 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks, 2007) и Законом о водама („Службени гласник РС" 30/2010) утврђене су мере и обавезе картирања плавних зона и ризика од поплава.

У зависности од величине слива и карактеристика поплавних таласа анализе потенцијалних штета могу се одвијати на међународном, регионалном и локалном

нивоу (Јовановић и ос.)[3]. На основу регионалног обухвата слива (сврстава се у већи слив који обухвата део административног подручја града Београда, цео Колубарски и мање делове још два управна округа), величине поплављеног подручја 2014. године и из претходно догођених поплава, методологија процене потенцијалних штета би требало да се прилагоди регионалном нивоу анализе.

У Србији још увек нису успостављени технички стандарди у овој области. Искуства развијених европских земаља и примери из Србије[4] у процени штета и картирању ризика од поплава могу да се користе као оквирно полазиште за утврђивање методологије процене потенцијалних штета која се мора прилагодити расположивим изворима података и показатеља који могу просторно да се идентификују (статистички, планском документацијом, катастром непокретности и др.), као и просторном обухвату слива Колубаре.

За процену потенцијалних штета користиће се одговарајућа методологија квантификације директне материјалне штете у зависности од вероватноће плавних догађаја и изложености дефинисаних рецептора ризика поплавама, полазећи од процене и карата угрожености од плављења (део 6., 9. и 10. Студије). Методолошки поступак обухвата следеће кораке:

За процену потенцијалних штета користиће се одговарајућа методологија квантификације директне материјалне штете у зависности од вероватноће плавних догађаја и изложености дефинисаних рецептора ризика поплавама, полазећи од процене и карата угрожености од плављења (део 6., 9. и 10. Студије). Методолошки поступак обухвата следеће кораке:

1. Дефинисање различитих класа за следеће категорије рецептора ризика:

   1.1. Насеља - зоне становања са различитим густинама насељености и типу изграђености диференцирано за урбана и рурална насеља, полазећи од анализа урађених за процену броја становника угрожених поплавама (део 7.3. Студије).

   1.2. Индустрија - индустријске и привредне зоне и комплекси површине веће од 2 хектара који су идентификовани[5] просторним планом јединице локалне самоуправе и урбанистичким планом урбаног насеља (генерални план или план генералне регулације).

   1.3. Рударство - Површински копови угља који су идентификовани просторним планом подручја посебне намене за Колубарски лигнитски басен.

   1.4. Пољопривреда - пољопривредно земљиште класификовано на: обрадиво земљиште и пашњаке.

   1.5. Инфраструктура (надземни објекти)

   1.5.1. Путеви - државни путеви I и II реда који су идентификовани регионалним просторним планом и просторним планом подручја посебне намене, општински јавни путеви који су идентификовани просторним планом јединице локалне самоуправе.

---

[3] Јовановић, М., Тодоровић, А., Родић, М., Картирање ризика од поплава, Грађевински факултет, Београд, http://www.grf.bg.ac.rs/~mjovanovic/papers-sr/KartiranjeRizika-MJ-Vodoprivreda.pdf, приступљено 15.08.2015.

[4] Студија радова и мера за смањење поплава у сливу Мораве, 1979, Републичка водопривредна самоуправна интересна заједницаа Србије, Београд; Study of Flood Prone Areas in Serbia - Phase 1, 2012, Methodology foor flood hazard and risk mapping, EPTISA (EuropeAid/128095/C/SER/RS, project No 07SERO1/33/11); Јовановић, М, Продановић, Д., Плавшић, Ј., Росић, Н., Срна, П., Радовановић, М., 2014, Један пример картирања ризика од поплава у Србији, Вода и санитарна техника, 5-6, стр. 63-70.

[5] Термин „идентификовани" односи се на постојеће и планиране намене и објекте обрађене и просторно дефинисане у графичким приказима просторног плана, односно урбанистичког плана за урбано насеље.

1.5.2. Железничке пруге - јавне и индустријске пруге које су идентификоване регионалним просторним планом и просторним планом подручја посебне намене.

1.5.3. Енергетски објекти - термоелектране, трафостанице и далеководи, мерно-регулационе станице који су идентификоване регионалним просторним планом, просторним планом подручја посебне намене и просторним планом јединице локалне самоуправе.

1.5.4. Водопривредни објекти - постројења за припрему воде за пиће и за пречишћавање отпадних вода, бране на акумулационим језерима које су идентификоване регионалним просторним планом, просторним планом подручја посебне намене и просторним планом јединице локалне самоуправе; уређена корита река и линијски системи за заштиту од вода који су идентификовани у делу 4.1. и предложени у делу 9.3. ове Студије, и идентификовани просторним планом подручја посебне намене за Колубарски лигнитски басен.

2. Идентификација, процена и картирање броја угрожених објеката у свакој категорији рецептора ризика на основу карте поплављеног подручја 2014. године и карата постојеће намене простора (део 7.2. Студије), и на основу карата угрожености од плављења 2035. године (део 6., 9. и 10. Студије) и планиране намене простора (део 7.2. Студије)

2.1. Процена броја и површине стамбених јединица у различитим плавним зонама по зонама становања са различитим густинама насељености и типу изграђености диференцирано за урбана и рурална насеља, на основу процењеног броја становника, просечне величине домаћинства, урбанистичких параметара и просечне површине стамбене јединице (према подацима Пописа 2011).

2.2. Идентификација броја и површине постојећих и процена просечне површине планираних индустријских објеката у индустријским и привредним зонама и комплексима по плавним зонама. За процену површине планираних индустријских објеката користиће се урбанистички параметри.

2.3. Идентификација броја и површине постојећих и површине планираних површинских копова угља по плавним зонама.

2.4. Површина пољопривредног земљишта класификованог на обрадиво земљиште и пашњаке по плавним зонама.

2.5. Инфраструктура (надземни објекти)

2.5.1. Дужина државних путева I и II реда и општинских јавних путева по плавним зонама.

2.5.2. Дужина јавних и индустријских пруга по плавним зонама.

2.5.3. Број термоелектрана, трафостаница и мерно-регулационих станица и дужина далековода по плавним зонама.

2.5.4. Број постројења за припрему воде за пиће и за пречишћавање отпадних вода, број брана на акумулационим језерима, дужина и врста линијских система за заштиту од вода по плавним зонама.

3. Утврђивање просечне вредности за сваку категорију рецептора ризика

3.1. За стамбене јединице обрачунава се просечна вредност m^2 према подацима општинских управа за јавне приходе. У односу на просечну вредност стамбених објеката, вредност опреме се обрачунава према коефицијенту процењеном на основу података о штети из 2014. године.

3.2. За индустријске објекте обрачунава се просечна вредност m^2 према подацима општинских управа за јавне приходе. У односу на просечну вредност индустријских објеката, вредност опреме се обрачунава према коефицијенту процењеном на основу података о штети из 2014. године.

3.3. За површинске копове угља обрачунавају се просечни трошкови санације копа по хектару и рударске опреме према подацима ПД РБ "Колубара".

3.4. За хектар пољопривредног земљишта обрачунава се вредност просечног годишњег приноса преовлађујуће културе на територији општине према подацима Управе за пољопривредно земљиште и општинских управа.

3.5. Инфраструктура (надземни објекти)

3.5.1. За државне путеве I и II реда и општинске јавне путеве обрачунава се просечна вредност обнове (реконструкције) по дужном километру, на основу процене и података ЈП "Путеви Србије".

3.5.2. За јавне и индустријске пруге обрачунава се просечна вредност обнове (реконструкције) по дужном километру, на основу процене и података "Железнице Србије" а.д.

3.5.3. За термоелектрану обрачунавају се трошкови санације објекта и опреме, а за трафостанице просечна вредност санације објекта и опреме према подацима ЈП "Електропривреда Србије". За далеководе обрачунава се просечна вредност обнове (реконструкције) по дужном километру, на основу процене и података ЈП "Електромрежа Србије". За мерно- регулационе станице обрачунава се просечна вредност санације објекта и опреме према подацима ЈП "Србијагас".

3.5.4. За постројења за припрему воде за пиће и за пречишћавање отпадних вода и бране на акумулационим језерима обрачунава се просечна вредност санације објекта и опреме по објекту, а за линијске системе за заштиту од вода просечна вредност обнове (реконструкције) по дужном километру на основу података и процена Републичке дирекције за воде и ЈВП "Србијаводе".

4. Процена потенцијалне директне материјалне штете:

4.1. Поплављено подручје 2014. године - процена потенцијалне директне материјалне штете утврђује се за сваку категорију рецептора као појединачна и укупна штета. Појединачна штета се утврђује на основу просечне вредности рецептора и коефицијента осетљивости рецептора на поплаву у зависности од дубине плављења (и дужине задржавања воде). За процену осетљивости рецептора користиће се и проверити параметри коришћени у различитим егзактним примерима. Укупна штета за сваку категорију рецептора ризика се утврђује на основу појединачне штете и површине, дужине или броја рецептора. Укупна потенцијална директна материјална штета обрачунава се као збир укупних штета за све рецепторе ризика.

4.2. Потенцијално плавно подручје за варијантна решења система заштите од поплава и сценарија вероватноће поплавних догађаја за 2035. годину - процена потенцијалне директне материјалне штете по плавним зонама утврђује се за сваку категорију рецептора као појединачна и укупна штета по истом поступку као и за 2014. годину. Укупна потенцијална директна штета обрачунава се као збир укупних штета за све рецепторе ризика за различите сценарије вероватноће поплавних догађаја и за свако варијантно решење система заштите од поплава.

Потенцијалне индиректне материјалне штете би могле да се процене за следеће рецепторе ризика: 1) рударство и енергетску инфраструктуру - губици у производњи електричне енергије у Колубарском лигнитском басену на основу података о штети из 2014. године и процене ЈП "Електропривреда Србије"; и 2) железничка инфраструктура - губици у железничком саобраћају на основу података о штети из 2014. године и процене "Железнице Србије" а.д. За остале рецепторе ризика би могле да се установе у односу на процењену потенцијалну директну материјалну штету, применом коефицијената заснованих на подацима о индиректној штети из 2014. године (губици у индустријској производњи) и коефицијената из иностране референтне литературе и примера њихове примене у пракси (за насеља и осталу инфраструктуру).

8 ЗАПОЧЕТИ И ПЛАНИРАНИ ОБЈЕКТИ И РАДОВИ ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ ЗАШТИТЕ ОД ПОПЛАВА

8.1 Преглед постојеће планске документације релевантне за изградњу и реконструкцију објеката за одбрану од поплава у сливу Колубаре

Постојећа планска документација од значаја за изградњу и реконструкцију заштитних објеката у сливу Колубаре обухвата не само већ започете пројекте и радове у сектору вода, транспорта, рударства, итд. него и планиране пројекте и радове.

Са аспекта утицаја на режим великих вода Колубаре и притока, најважније су планиране измене тока Колубаре кроз рударски басен и регулација водотока у оквиру изградње аутопута Београд - Јужни Јадран (Е 763), чијих неколико деоница пролази кроз слив Колубаре.

У Табели 8.1 дат је преглед важеће планске документације која је анализирана у Претходном извештају (део 8.3.) или би је требало анализирати за потребе израде Прелиминарног извештаја. Назначени су основни подаци о планским документима (врста, назив, објављивање, наручилац, плански хоризонт) и његовој расположивости (и доступном формату за коришћење) у току припреме Претходног извештаја.

Табела 8.1. Преглед постојеће планске документације релевантне за изградњу и реконструкцију објеката за одбрану од поплава у сливу Колубаре

Обухват слива	Врста и назив планске документације	Наручилац	Плански хоризонт	Обрађивач Расположив формат (W-word, dwg, pdf) Т(текста), К(карата)
Просторни планови				
Просторни план Републике Србије				
Цео слив	Просторни план Републике Србије од 2010. до 2020. године („Службени гласник РС”, број 88/2010)	МГСИ	2020.	РАПП, Т+, К+ (W, dwg)
Регионални просторни планови				
Део слива	Измене и допуне Регионалног просторног плана административног подручја града Београда („Службени лист града Београда”, број 38/11)	ГБ	2020.	УРБ Бг, Т+, К+ (W, dwg)
Део слива	Регионални просторни план Колубарског и Мачванског управног округа („Службени гласник РС”, број 11/2015)	МГСИ	2025.	ИАУС, Т+, К+ (W, dwg)
Део слива	Регионални просторни план Златиборског и Моравичког управног округа („Службени гласник РС”, број 1/2013)	МГСИ	2025.	ИАУС, Т+, К+ (W, dwg)
Део слива	Регионални просторни план подручја Шумадијског, Поморавског, Рашког и Расинског управног округа („Службени гласник РС”, број 39/2014)	МГСИ	2020.	Дирекција Крагујевац Т+, К+(W, dwg)
Просторни планови подручја посебне намене				
Део слива	Просторни план подручја експлоатације Колубарског лигнитског басена („Службени гласник РС ”, број 122/2008)	МГСИ, ЕПС	2020.	ИАУС, Т+, К+ (W, dwg)
Део слива	Измене и допуне Просторног плана подручја експлоатације Колубарског лигнитског басена (у току)	ЕПС	2020.	ИАУС, Т+, К+ (W, dwg)
	Разрада Просторног плана подручја експлоатације Колубарског лигнитског басена (у току)			
	Зона ретензија у средњем току реке Пештан обухвата пет просторних целина: „Бистрица“; „Трбушница“; „Даросавица“; „Рудовци“; и „Крушевица“ – са каменоломом "Крушевица";	ЕПС		ИАУС, Т+, К+ (W, dwg)
	Уређење водотока и заштита копова у склопу отклањања последица великих поплава из маја 2014. године	ЕПС		ИАУС, Т+, К+ (W, dwg)
	Етапно измештање дела државног пута ДП IIБ-363 (раније Р-201) Вреоци–Крушевица)	ЕПС		ИАУС, Т+, К+ (W, dwg)
Део слива	Просторни план подручја посебне намене инфраструктурног коридора Београд – Јужни Јадран, деоница Београд – Пожега („Службени гласник РС ”, бр. 37/06 и 31/10)	МГСИ, ЈП ПС	2025.	ЦИП, Т+, К+ (W, dwg)
Део слива	Просторни план подручја посебне намене слива водоакумулације „Стуборовни” („Службени гласник РС ”, број 20/09)	МГСИ	2020.	ИАУС, Т+, К+ (W, dwg)
Део слива	Просторни план подручја посебне намене инфраструктурног коридора железничке пруге Ваљево – Лозница („Службени гласник РС ”, број 1/2013)	МГСИ, ЈП ПС	2020.	ЦИП, Т+, К+ (W, dwg)
Просторни планови општина/градова				
Део слива	Просторни план Града Ваљево („Службени гласник града Вљева”, број 3/2013)	ЈЛС	2022.	ИАУС (W, dwg)
Део слива	Просторни план општине Љиг	ЈЛС	није достављен	?
Део слива	Просторни план општине Уб	ЈЛС	2020	Арх. фак. БГ, Т+, К— (pdf)
Део слива	Просторни план општине Мионица	ЈЛС	није достављен	?
Део слива	Просторни план општине Коцељева	ЈЛС	2020.	ЈП Шабац, Т+, К— (pdf)
Део слива	Просторни план општине Владимирци	ЈЛС	2020.	ЈП Шабац, Т+ (pdf), К – (део у dwf)
Део слива	Просторни план општине Лајковац	ЈЛС	2025.	ИНФОПЛАН, Т+ (pdf), К+ (dwg)
Део слива	Просторни план општине Аранђеловац („Службени гласник општине Аранђеловац”, број 32/2011)	ЈЛС	2022.	ИАУС (W, dwg)
Део слива	Просторни план општине Г. Милановац	ЈЛС	2025.	ЈП Крагујевац, Т+ (doc), К+ (dwg)

Обухват слива	Врста и назив планске документације	Наручилац	Плански хоризонт	Обрађивач Расположив формат (W-word, dwg, pdf) Т(текста), К(карата)
Део слива	Просторни план општине Косјерић	ЈЛС	2025.	Арх. фак. БГ, Т+ (doc), К+ (dwg)
Део слива	Просторни план општине Осечина	ЈЛС	2025.	ЈП Шабац, Т+, К— (pdf)
Део слива	Просторни план града Шабац	ЈЛС	2020.	ЈП Шабац, Т+, К+ (pdf)
Део слива	Просторни план општине Барајево(„Службени лист града Београда“, број 53/2012)	ЈЛС	2021.	УРБ Бг, Т+, К+ (pdf)
Део слива	Просторни план општине Сопот („Службени лист града Београда“, број 54/2012)	ЈЛС	2021.	УРБ Бг, Т+, К+ (pdf)
Део слива	Просторни план општине Обреновац („Службени лист града Београда“, број 30/2013)	ЈЛС	2021.	УРБ Бг, Т+, К+ (pdf)
Део слива	Просторни план општине Лазаревац („Службени лист града Београда“, број 10/2012)	ЈЛС	2020.	УРБ Бг, Т+, К+ (pdf)
	Урбанистички планови			
Део слива	План генералне регулације за насеље Вреоци („Службени лист града Београда“, број 54/08)	ЈЛС		ИАУС Т+, К+ (W, dwg)
Део слива	План генералне регулације за подручје насеља Барошевац, Зеоке, Медошевац и Бурово („Службени лист града Београда“, број 58/08)	ЈЛС		ИАУС, Т+, К+ (W, dwg)
Део слива	План генералне регулације за зону утицаја површинског копа Радљево („Службени гласник општине Уб”, број 6/12)	ЈЛС		ИАУС, Т+, К+ (W, dwg)
Део слива	План детаљне регулације за отварање и експлоатацију површинског копа "Велики Црљани" („Службени лист града Београда“, број 16/06)	ЈЛС		ИАУС, Т+, К+ (W, dwg)
Део слива	План генералне регулације подручја ТЕ "Колубара Б" - прва фаза („Службени лист града Београда“, број 29/06)	ЈЛС (Београд, Уб, Лајковац)		ИАУС, Т+, К+ (W, dwg)
Део слива	Генерални план Ваљева	ЈЛС		Дирекција Ваљево
Део слива	Генерални план/ПГР Лазаревца	ЈЛС		?
Део слива	Генерални план/ПГР Лајковца	ЈЛС		ЈУГИНУС
Део слива	Генерални план/ПГР Уба	ЈЛС		?
Део слива	Генерални план/ПГР Мионице	ЈЛС		?
Део слива	Генерални план/ПГР Коцељева	ЈЛС		?
Део слива	Генерални план/ПГР Љига	ЈЛС		?
	Друга релевантна планска документација			
Део слива	Регионални план управљања отпадом за 11 општина Колубарског региона (2011)			ИАУС, Т+, К+ (W, dwg)

* Скраћенице: ПГР – план генералне регулације; МГСИ – Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре; ЕПС – ЈП „Електропривреда Србије”; ЈП СС – ЈП Путеви Србије ДВ - МПЗЖС – Дирекција за воде, Министарство пољопривреде и заштите животне средине; ЈЛС – јединица локалне самоуправе; ГБ – Град Београд; РАПП – Републичка агенција за просторно планирање; ИАУС – Институт за архитектутур и урбанизам Србије; ЦИП – Саобраћајни институт ЦИП; УРБ Бг – Урбанистички завод Града Београда; Дирекција Крагујевац - ; ЈП Шабац – Јавно предузеће ПЛАН Шабац;Дирекција ВАљево - Јавно предузеће за планирање и изградњу општине Ваљево, Арх. фак.БГ – Архитектонски факултет Универзитета у Београду; ИНФОПЛАН – Инфоплан, д.о.о. Аранђеловац, ЈП Крагујевац – Јавно предузеће Дирекција за урбанизам Крагујевац

8.2 Приказ започетих објеката и радова на изградњи и реконструкцији објеката за одбрану од поплава у сливу Колубаре

8.2.1 Приказ започетих радова на изградњи и реконструкцији објеката за одбрану од поплава, чији су инвеститори ЈВП „Србијаводе“ и ЈВП „Београдводе“ или локалне самоуправе

Надлежна јавна водопривредна предузећа „Србијаводе“ и „Београдводе“ су у протеклом периоду урадиле студије и техничку документацију за објекте и радове који би могли допринети унапређењу заштите од поплава у сливу Колубаре. У наставку је дат кратак извод из најзначајнијих пројеката.

8.2.1.1 Река Колубара

Река Колубара и притоке у Ваљеву

За заштиту Ваљева од великих вода Колубаре, Обнице, Јабланице и Љубостиње предвиђена су решења чији опис је изложен у наставку.

У зависности од стања корита Колубаре и потребних радова на уређењу, извршена је подела на деонице полазећи од сточне пијаце:

- регулисана деоница код сточне пијаце km 0+000 - km 0+270,
- нерегулисана деоница од сточне пијаце до Аустротерма, km 0+270 - km 1+360,
- регулисана деоница од Аустротерма до парка "Платан", km 1+360 - km 4+517,
- нерегулисана деоница узводно од парка "Платан" до преграде "Чешаљ", km 4+517 - km 4+832,
- регулисана деоница код пиваре до споја Обнице и Јабланице, km 4+832 - km 5+083,

За **деоницу од сточне пијаце до Аустротерма** урађена је техничка документација ("Главни пројекат регулације реке Колубаре у Ваљеву", ЕХТИНГ, Београд, 2007). Током времена дошло је до промена урбанистичких услова, посебно на левој обали, и изградње магистралног цевовода на десној обали. Услед тога, дефинисано је модификовано решење регулације на посматраном потезу. Предложено је двогубо трапезно корито, са смањењем ширине форланда на 17,5 m и повећањем висине насипа на 2,5 m. Пад дна корита је око 3,36 промила. Регулисано корито се уклапа са низводним и узводним регулисаним деоницама. Пројектовано корито може да прихвати велику воду $Q_{1\%}$=531 m^3/s, са заштитном висином већом од 0,3 m.

За деоницу **од парка "Платан" до преграде "Чешаљ"** урађена је техничка документација ("Главни пројекат регулације Колубаре у Ваљеву од km 4+260 до km 4+806", Хидропројект Зрењанин, 2013). Додатном анализом после поплаве у мају 2014. године показано је да је могуће извршити регулацију Колубаре на овој деоници по решењу из документације. Међутим у пројекту је предложено уклањање преграде „Чешаљ" (km 4+832) или њеног дела. Њена основна улога је заустављање наноса који уносе Обница и Јабланица. Када би се преграда уклонила сав нанос би био транспортован низводно у Ваљево, што би угрозило објекте одбране од поплава у граду. Због тога је предложено да се преграда не уклања. Регулисано корито може да пропусти нову предложену вредност меродавног протока Колубаре $Q_{1\%}$=373 m^3/s.

Уз радове у склопу уређења Колубаре у Ваљеву, предвиђени су и радови на уређењу **Обнице и Јабланице**:

- на Обници од km 0+000 до km 1+250,
- на Јабланици од km 0+000 до km 1+200.

На Обници, од km 0+000 до km 1+250, корито је неуређено или делом уређено. Насеље низводно од затвора на десној обали није заштићено, што је показао догађај из маја 2014. године када је дошло до плављења кућа. Предвиђа се чишћење корита Обнице од споја са Јабланицом (km 0+000) до око km 1+250, са изградњом заштитног објекта на десној обали, зида или насипа, до потребне висине круне (ниво воде+заштитна висина 0,3 m).

Поред тога, у току је израда техничке документације за уређење Обнице у зони затвора (km 1+250 до km 2+290) чиме би се спречило изливање Обнице у затворски комплекс.

На Јабланици, од km 0+000 до km 1+200, предвиђа се само чишћење основног корита и заштита конкавних кривина кроз насеље Седларе.

Река Љубостиња

Корито Љубостиње регулисано је на дужини од преко 4 km кроз град Ваљево, док узводно није регулисана. Заштита од поплава Љубостиње подразумева проширење корита на два локалитета укупне дужине 950 m, дуж нерегулисаног потеза водотока узводно од моста на путу Ваљево-Шабац. Због недовољног пропусног капацитета на регулисаној деоници, низводно од моста на путу Ваљево-Шабац, мора се уклонити и поново изградити 9 мостова. Такође, потребно је изградити надвишење на обалама на 3 локалитета укупне дужине 400 m. Предвиђено је и извођење противерозионих радова у сливу.

Колубара од Ваљева до Словца

За ову деоницу урађен је „Генерални пројекат уређења речног корита реке Колубаре од Словца до Ваљева" (Ехтинг, 2007). У пројекту није предвиђена изградња насипа, него само стабилизација рушевних обала.

Колубара од Словца до ушћа реке Љиг

За ову деоницу урађен је „Генерални пројекат уређења речног корита Колубаре од моста на путу за Пепељевац до Словца" (Институт за водопривреду Јарослав Черни, 2004). У пројекту није предвиђена изградња насипа, него само стабилизација рушевних обала.

Колубара од ушћа Марице до ушћа Турије

Планирано је уређење дела тока Колубаре од ушћа реке Марице (~ km 12 речне стационаже) до ушћа реке Турије (~ km 28 речне стационаже). Разматрани сектор водотока дужине око 16 km се налази између два сектора на којима су већ изведени радови на заштити од поплава и уређењу корита. Уређењем ове деонице Колубаре би се успоставио континуитет одбрамбене линије и обезбедила заштита од поплава око 2400 ha пољопривредног земљишта, око 500 ha шуме, 1250 стамбених и других објеката, 2 моста и 29 km локалних путева. Такође, решили би се проблеми нестабилности речне трасе и флувијалне ерозије на дужини око 10 km рушевних обала, услед којих се сваке године односи плодно пољопривредно земљиште.

У ''Идејном пројекту уређења Колубаре на сектору од ушћа Марице до ушћа Турије'', који је израђен у Институту за водопривреду ''Јарослав Черни'' (2012. године) је осим предлога уређења основног корита, дат и предлог решења заштите од поплава простране речне долине (пољопривредног земљишта и делова насеља Пољане, Међулужје и Конатице). У Идејном пројекту извршене су хидролошке анализе, хидраулички прорачуни и потребне економско-техничке анализе, дефинисана концепција и дати елементе техничког решења уређења Колубаре у функцији природних карактеристика и услова на посматраном простору и дефинисане карактеристике насипа за одбрану од великих вода. Такође, дат је предлог фазне реализације радова, где се приоритет даје изради пет просека и заштити угрожених обала.

У наредној фази урађена је Студија оправданости и Главни пројекти 5 просека у кориту Колубаре.

8.2.1.2 Река Тамнава и притоке

Река Тамнава

За регулацију Тамнаве урађени су у новијем периоду следећи пројекти, који су расположиви у ЈВП „Србијаводе":

Редни број	Назив техничке документације	Година израде
1.	Главни пројекат реке Тамнаве и притока у зони насеља Каменица	2002
2.	Генерални пројекат уређења слива реке Тамнаве узводно од Коцељеве	2003
3.	План детаљне регулације реке Тамнаве	2006

Решења дата у пројектима ће се испитати у оквиру ове Студије.

Уређење реке Грачице у Убу

У оквиру документације „Истраживања и анализе за потребе развоја и унапређења заштите угроженог подручја Уба (систем Грачица – Уб – Тамнава)" (Институт Јарослав Черни, 2011-2012), разматане су варијанте уређења корита реке Грачице, притоке Тамнаве која тече кроз насеље Уб (водоток 2. реда). Овај водоток површине слива ~ 35 km^2, има корито малих димензија, обрасло вегетацијом и затрпано разноврсним отпадом, тако да свака јача киша изазива плављење пољопривредних површина узводно од Уба (узводно од km 9,5), као и самог насеља и индустријске зоне Уба. Има ранг значајног плавног подручја.

На нивоу генералног пројекта је размотрено више варијанти заштите од великих вода: (1) регулација корита Грачице по постојећој траси, (2) ретензија у горњем делу слива Грачице, (3) растеретни канал Грачица – Уб, (4) ретензије на Грачици и Лелића потоку и (5) комбинована варијанта (растеретни канал Грачица-Уб и ретензија у горњем делу слива). По налогу општине Уб урађено је Идејно решење растеретног канала по варијанти 5 (2015).

8.2.1.3 Десне притоке Колубаре

За регулацију десних притока урађени су у новијем периоду бројни пројекти, који су расположиви у ЈВП „Србијаводе":

Редни број	Назив водотока	Назив техничке документације	Година израде
1.	Турија	Идејно решење хидротехничког уређења слива реке Турије	1980
2.	Турија	Главни пројекат регулације реке Турије од km 0+000 – km 13+300	1987-1988
3.	Турија	Студија о могућностима формирања ретензија и малих акумулација на притокама у сливу реке Саве (слив реке Турије узводно од Сибничке реке)	1995
4.	Пештан	Студија о могућности формирања малих акумулација у сливовима река Пештана и Лукавице	2002
5.	Пештан	Идејни пројекат регулације реке Пештан у Аранђеловцу	2009
6.	Пештан	Главни пројекат регулације реке Пештан у Аранђеловцу	2009
7.	Лукавица	Главни пројекат за изградњу попречних објеката у сливу реке Лукавице	1991
8.	Лукавица	Главни пројекат уређења и регулације корита реке Лукавице од km 7+419,92 до km 8+875	1994
9.	Лукавица	Идејни пројекат за изградњу бране и акумулације Лукавица на потоку Средојевац km 0+750	1997
10.	Лукавица	Идејни пројекат регулације реке Лукавице од км 7+412.00 до km 8+920.56	2006
11.	Лукавица	Главни пројекат регулације реке Лукавице од км 7+412.00 до km 8+920.56	2008
12.	Лукавица	Идејни пројекат регулације Стубичког потока у Лазаревцу од km 0+000 до km 2+207	2010
13.	Лукавица	Идејни пројекат регулације реке Шушњарице у Лазаревцу, од km 0+253 до km 2+025	2010
14.	Љиг	Главни пројекат регулације Љига од ушћа у Колубару (km 0+000) до у ушћа Качера (km 22+100)	1984
15.	Драгобиљ	Идејно решење уређења реке Драгобиљ од km 0+000 до km 12+900	1991
16.	Драгобиљ	Идејни пројекат регулације реке Драгобиљ од km 0+000 до km 13+244	1994
17.	Топлица	Уређење слива реке Топлице	1971
18.	Топлица	Главни пројекат регулације Топлице од km 0+000 до km 12+485	1982
19.	Рибница	Главни пројекат регулације Рибнице кроз Мионицу	1979
20.	Рибница	Измене и допуне главног пројекта регулације реке Рибнице у зони спортско рекреационог центра "Мионица" у Мионици на сектору (6+094 - 6+574)	1999
21.	Градац	Идејни пројекат антиерозионе заштите и уређења бујице Градац (Ваљево)	2005

Решења дата у пројектима ће се испитати у оквиру ове Студије.

8.2.2 Приказ започетих радова на изградњи и реконструкцији објеката за одбрану од поплава чији је инвеститор ЈП „Електропривреда Србије"

У колубарском лигнитском басену започети су радови на објектима интервентне заштите тамнавских површинских копова од поплава у случају изливања Колубаре, Пештана, Враничине и преко бране "Кладница" и радови у централном делу колубарског лигнитског басена на измештању корита Колубаре - II фаза измештања, са притоком Пештаном, у циљу отварања површинског копа "Поље Г".

Објекти интервентне заштите

У оквиру објеката интервентне заштите, током 2015. године су започети и изведени трајни чеп, измештање и регулација корита реке Враничине, реконструкција бране Кладница.

У доста великој мери су урађени радови на изградњи одбрамбеног насипа на јужној граници тамнавских копова и измештеног корита потока Скобаљ са ушћем у Враничину. Завршетак радова на поменутим објектима се очекује до краја 2015. године.

Трајни чеп

На месту продора реке Колубаре током поплаве из маја 2014. године урађен је привремени чеп којим је заустављен даљи продор реке Колубаре. Почетком 2015. године на истој локацији почела је изградања трајног чепа, која је завршена до почетка лета 2015. године.

Трајни чеп је урађен од глиновитог материјала из локалних позајмишта. Материјал је уграђен у слојевима од по 30 cm. Кота круне чепа је на 96 mнм. На узводном крају изграђена је потпорна ножица од шљунка природне гранулације.

Изградњом трајног чепа поплавно корито је запуњено до нивоа околног терена и на тај начин је формиран леви форланд и подлога за изградњу одбрамбеног насипа на јужној граници тамнавских копова.

Измештање и регулација корита реке Враничине

Током мајских поплава 2014. године корито реке Враничине је значајно оштећено, док је ушће у Колубару потпуно уништено. До краја 2014. урађена је и ревидована техничка документација, а почетком 2015. су отпочели радови на измештању и регулацији корита реке Враничине. Радови су завршени током јесени исте године.

Извршено је измештање и регулација корита у дужини од 1,9 km. Корито је димензионисано да прихвати двадесетогодишње велике воде са сопсвеног слива.

На пројектованој траси изведена су два типа корита:

- тип 1: Изведен је у зони где дубина корита у односу на линију терена износи преко 2,5 m. Ширина дна корита у том делу износи 6 m, нагиб косина 1:2. На 2,5 m од дна корита израђена је обострана берма ширине 3,0 m. Нагиб косина од берми до терена је 1:2.
- тип 2: Изведен је у зони где дубина корита у односу на линију терена износи мање 2,5 m. Ширина дна корита у том делу износи 6 m, нагиб косина 1:2. На десној обали изведена је насута берма (насип) на 2,5 m од дна корита, у продужетку косине обале. Берма је ширине 3,0 m. Нагиб косина од берми до терена је 1:2.

У кривинама измештене трасе корита, као и на узводном и на низводном крају регулације извршено је осигурање обала и дна корита од ерозије. Осигурање је извршено обалоутврдама од гранулисаног ломљеног камена сложених у суво или заливених цементним малтером.

На делу где траса корита пролази кроз песковите средине, на сваких 25 m, изграђени су стабилизациони попречни прагови нулте висине.

Реконструкција бране Кладница

Техничка документација интервентне реконструкције бране Кладница је урађена и ревидована у другој половини 2014. године. Почетком 2015. године отпочели су радови на реконструкцији бране. Радови су приведени крају средином лета исте године.

Радови на реконструкцији бране су обухватили: санацију локације места пробоја бране, санацију низводне косине бране и надвишење круне до коте 100,3 mнм, изградњу евакуатора и санацију зида водозахвата.

На месту пробоја бране извршено је насипање глиновитог материјала и формирање платоа на којем се изградио срушени део бране у пуном профилу. Кота платоа је 95 mнм, ширине 45 m и нагиба косина 1:2.

Санацијом низводне косине бране на местима оштећења обухваћени су радови на расчишћавању косине, докопавању и засецању косине у етажама (да би се добио контакт насутог материјала са постојећим) и насипању и уграђивању глиновитог материјала у тело бране. Уградњом материјала задржани су нагиби косина који су били пре поплава.

Надвишењем круне на 100,30 mнм добијена је нова ширина круне бране. Ширина круне надвишене бране је смањена са ранијих 4,0 m на 3,0 m.

На брани Кладница, пре наиласка поплава, није постојао евакуатор великих вода. Предвиђеном санацијом бране изграђен је пројектовани евакуатор (прелив). Евакуатор је АБ Кригеров прелив ширине 40 m са круном на коти 99,6 mнм. Низводна,узводна косина и слапиште прелива су обложени облогом од гранулисаног ломљеног камена заливеног цементним малтером.

На локацији водозахвата за црпну станицу изграђен је нови зид водозахвата у свему према мерама и габаритима као првобитни зид водозахвата.

Одбрамбени насип на јужној граници тамнавских копова

У оквиру овог Главног пројекта интервентних радова предвиђена је изградња одбрамбеног насипа на јужној граници Тамнавских копова. Овај објекат има улогу да у будућности (до измештања корита реке Колубаре у III фази измештања) спречи продор великих вода са јужне границе тамнавских копова у П.К. Тамнава Западно Поље.

Почетком 2015. године отпочели су радови на изградњи насипа и у доста великој мери су завршени. Очекује се завршетак радова до краја 2015. године.

Укупна дужина трасе одбрамбеног насипа износи 2694 m. Круна насипа је одређена према нивоима меродавних вода и пројектована је на коти 99,9 mнм.

Висина насипа је условљена пројектованом нивелетом његове круне као и конфигурацијом и висинским положајем терена дуж трасе насипа. Висина се, на појединим локацијама, креће и до 6 m.

У погледу геометријских елемената попречног профила (трупа) одбрамбеног насипа, као што су ширина у круни и нагиби косина, изводи се насип са ширином у круни 3 m и нагибима спољне и унутрашње косине 1:2.

Овај тип насипа се гради од глиновитог материјала из позајмишта и делом из ископа минор корита пројектованог измештања реке Враничине. Тело насипа се гради у слојевима од 30 cm. Косине и круна насипа се хумусирају слојем хумуса дебљине 25 cm, који је претходно скинут испод трупа насипа у дебљини од 30 cm, и привремено депонован на градилишту до поновне уградње по спољним површинама насипа.

Измештање и регулација потока Скобаљ

Измештање и регулација корита Враничине условила је и измештање и регулацију трасе потока Скобаљ и његовог ушћа у Враничину. Део корита Скобаљ је уништен наиласком поплава.

Крајем лета 2015. године започети су радови на измештању и регулацији потока Скобаљ. Укупна дужина измештања износи око 750 m.

Пројектован је следећи тип корита: ширина у дну је 2,5 m, нагиби косина обала 1:2, ширина круне деснообалног насипа 3,0 m, нагиби косина насипа 1:2. Пошто траса измештеног корита прати трасу одбрамбеног насипа на јужној граници тамнавских

копова, одбрамбени насип преузима функцију левообалног насипа измештеног корита потока Скобаљ.

У кривинама измештене трасе корита, као и на узводном и на низводном крају регулације извршено је осигурање обала и дна корита од ерозије. Осигурање је извршено обалоутврдама од гранулисаног ломљеног камена сложених у суво или заливених цементним малтером.

Од објеката на измештеном кориту предвиђена је израда брзотока за савлађивање денивелације дна корита.

Измештање корита реке Колубаре - II фаза измештања са притоком Пештаном

У оквиру радова на измештању корита Колубаре – II фаза измештања, са притоком Пештаном до сада су урађени припремни радови. Припремни радови су обухватили израду планума коридора за измештање реке Колубаре на делу где пројектована траса пролази преко одлагалишта Тамнава Источно поље. Израда планума је обухватила масовне земљане радове који су извршени рударском механизацијом, при чему је формиран планум ширине 500 m.

Измештено корито реке Колубаре

Укупна дужина трасе измештеног корита реке Колубаре у II фази измештања износи око 2600 m. Већи део трасе, око 1900 m, прелази преко одлагалишта П.К. Тамнава Источно поље.

До сада су урађени припремни радови који су обухватили израду планума коридора за измештање реке Колубаре на делу где пројектована траса пролази преко одлагалишта Тамнава Источно поље. Израда планума је обухватила масовне земљане радове који су извршени рударском механизацијом, при чему је формиран планум ширине 500 m.

Такође ископане су и пробне деонице корита да би се провериле стабилности косина ископа и присуство лоших материјала.



Слика 8.1 Ископ пробне деонице корита

У наредном периоду очекује се почетак радова на формирању пројектованих протицајних профила. Радови ће обухватити ископ минор корита, израду насипа и пратећих објеката (мост, брзоток, обалоутврде).

На пројектованој траси предвиђена су три типа корита:

- тип 1: са ширином дна корита од 29 m до 55 m, нагиби обала 1:4, ширина круне насипа 8 m и нагибима косине насипа 1:3
- тип 2: са ширином дна корита од 24 m, нагиби обала 1:4, ширина круне насипа 8 m и нагибима косине насипа 1:3
- тип 3: са ширином дна корита од 20 m, нагиби обала 1:3, ширина круне насипа 4 m и нагибима косине насипа 1:2

Одбрамбени насипи генерално прате основно корито формирајући потребан протицајни профил за велике воде – мајор корито.

Обзиром да траса корита већим делом прелази преко вештачки створеног терена (насути планум) и да је граница будућег копа поље Г на минимум 230 m од трасе измештеног корита, предвиђено је водозаптивно облагање корита EPDM геомембраном дебљине 1,5 mm. Преко геомембране поставља се геотекстил и слој баласта.

На деловима корита са повећаним брзинама течења предвиђено је осигурање обала и дна корита од ерозије и претераних деформација. Осигурање се изводи израдом обалоутврда од гранулисаног ломљеног камена сложених у суво или заливених цементним малтером.

Од објеката на измештеном кориту предвиђена је израда моста и брзотока за савлађивање денивелације дна корита.

Измештено корито реке Пештан

Укупна дужина трасе измештеног корита реке Пештан износи 1814 m. Око 400 m трасе пролази кроз шумско земљиште.

До сада су урађени припремни радови, тј. извршена је сеча шуме по пројектованој траси и израђене су сервисне саобраћајнице.

У наредном периоду очекује се почетак радова на формирању пројектованих протицајних профила. Радови ће обухватити ископ минор корита, израду насипа и пратећих објеката (мост, брзоток, обалоутврде).

Корито реке Пештан је пројектовано да прихвати меродавни протицај стогодишњих великих вода и контролни протицај хиљадугодишње велике воде. Разликујемо два типа корита:

- тип 1: са ширином дна корита од 8 m, нагиби обала 1:3, ширина круне насипа 4 m и нагибима косине насипа 1:2
- тип 2: са ширином дна корита од 8 m, нагиби обала 1:2, ширина круне насипа 4 m и нагибима косине насипа 1:2

Одбрамбени насипи генерално прате основно корито формирајући потребан протицајни профил за велике воде – мајор корито. Одбрамбени насипи се на низводном крају уклапају у деснообални насип реке Колубаре.

На деловима корита са повећаним брзинама течења предвиђено је осигурање обала и дна корита од ерозије и претераних деформација. Осигурање се изводи израдом обалоутврда од гранулисаног ломљеног камена сложених у суво или заливених цементним малтером.

Од објеката на измештеном кориту предвиђена је израда моста и брзотока за савлађивање денивелације дна корита.

На измештеном кориту реке Пештан нису предвиђени радови на водозаптивном облагању корита.

8.2.3 Приказ започетих радова на изградњи и реконструкцији објеката за одбрану од поплава чији су инвеститори из сектора путне привреде

Значајни објекти путне инфраструктуре (постојећи и објекти у изградњи) у сливу реке Колубаре су:

- пруга Београд – Бар (деоница Ресник-Ваљево)
- аутопут Београд - Јужни Јадран (деонице Обреновац - Уб, Уб - Лајковац и Лајковац -Љиг)
- пруга Ваљево - Лозница

Пруга Београд - Бар

Од постојећих објеката путне инфраструктуре у сливу реке Колубаре један од најзначајних објеката је пруга Београд – Бар.

Услед поплава из маја 2014. Године дошло је до оштећења стуба железничког моста преко реке Колубаре (низводно од Белог Брода) на km 46+633 пруге Ресник-Ваљево и до оштећења насипа пруге на потезу од km 59+730 до km 61+750.

Регулација реке Колубаре подразумева локалну регулацију у зони објеката пруге, са циљем да се осигурају и заштите објекти пруге од дејства тока реке.

У оквиру регулације корита Колубаре у зони железничког моста предвиђено је осигурање леве обале речног корита.

На потезу од km 59+730 до km 61+750 уочено је да на појединим деоницама постоји проблем са ниском нивелетом па је потребно предвидети комплетно облагање косине ка Колубари до ивице планума.

Такође на појединим деоницама је потребно заштити пружни насип. Начин заштите пружног насипа на овом потезу је облагање косине ка реци габионским тепихом положеним на геотекстил са хумузирањем и затрављивањем целе косине.

Пруга Ваљево – Лозница

Новопројектована пруга Ваљево-Лозница укршта се или иде паралелно са великим бројем водотока. Водотоци припадају сливу реке Обнице, односно Колубаре и сливу реке Јадар.

На местима где се траса нове железничке пруге укршта под неповољним углом или иде по траси водотока, углавном су предвиђене регулације речних токова и канала. На појединим местима није било потребе за регулационим радовима, већ је задржано природно корито.

Основни принципи техничких решења регулација били су да се железничка пруга заштити од негативног дејства великих вода водотока и да се одржи постојећи режим отицаја. Како се ради од објекту од највећег значаја, железничка пруга ће се заштитити од великих вода повратног периода сто година. Све регулације се на узводном и низводном крају уклапају у постојеће, природно стање.

Од већих водотока са којима се укршта трасе пруге истичу се реке Обница и Каменица.

На местима укрштања предвиђено је облагање корита облогом од камена у цементном малтеру. На почетку и крају регулисане деонице поставља се стабилизациони праг од камена у цементном малтеру.

На местима где водоток тече паралелно са пројектованом трасом пруге предвиђени су потпорни зидови који не ремети режим течења.

На појединим деоницама врши се и заштита насипа железничке пруге од еродивног дејства великих вода. Заштита ће се урадити облагањем насипа пруге изнад кота великих вода стогодишњег повратног периода.

Аутопут Београд - Јужни Јадран

На пројектованој траси аутопута Београд – Јужни Јадран, у сливу реке Колубаре, разликујемо деонице Обреновац – Уб, Уб – Лајковац и Лајковац – Љиг. На све три наведене деонице су започети радови на изградњи трасе аутопута.

Како се траса аутопута укршта са већим бројем река истовремено се врше и радови на регулацијама река. Регулације обухватају локалне регулације у зони објеката на траси аутопута (мостови, пропусти...) и делимична измештања и регулације ван зоне трасе аутопута.

Потребно је напоменути да су у току извођења радова на изградњи мостова могућа привремена преграђивања и скретања река, изградња загата, постављање пропуста у току реке. Такође су могућа и засецања, па чак и пробијања постојећих насипа. Од изузетне важности је да се након завршених радова на изградњи објеката, стање постојећих корита и насипа ван регулационих радова врати у провбитно стање.

У наставку је дат кратак приказ регулација по деоницама аутопута.

Деоница Обреновац – Уб и деоница Уб - Лајковац

Траса аутопута на деоници Обрановац – Уб укршта се водотоцима река Колубара, Стара Тамнава, Тамнава, Трстеница и са већим бројем потока.

На деоници Уб - Лајковац укршта се водотоцима река Кладница, Стубленица, Рукладска река и са већим бројем потока.

На местима укрштања изводе се мостови, пропусти и регулација корита поменутих река. Регулација корита подразумева локалну регулацију у зони објеката пута, са циљем да се осигурају и заштите објекти од дејства тока реке. Нису предвиђена значајна измештања и промене трасе водотока.

На местима укрштања формира се корито правилног облика и врши се облагање корита облогом од камена у суво у цементном малтеру. На почетку и крају регулисане деонице поставља се стабилизациони праг од камена у цементном малтеру.

Деоница Лајковац - Љиг

Дуж трасе аутопута, предвиђени су регулациони радови на реци Колубари и реци Љиг и притокама. Углавном се ради о измештању речног корита на местима где пројектована траса магистрале иде по траси природног тока реке Колубаре и реке Љиг.

Унутар овог сектора, постоје укрштања на 8 места са аутопутем и 1 са петљом, а регулациони радови су предвиђени на 16 локација дуж трасе аутопута. У наставку је дат опис регулација у зонама где траса аутопута иде по траси речног корита и где се изводе радови на измештању трасе водотокова ван зоне аутопута.

Регулација реке Колубаре на разматраној деоници аутопута

Што се тиче реке Колубаре на једној деоници се врши измештање, односно регулација реке у дужини од око 1800 m.

Траса регулисаног корита укршта се са трасом аутопута под правим углом (што представља најповољнију варијанту). На месту низводног меандра, предвиђен је просек.

На основу хидрауличког прорачуна усвојено је регулисано двогубо речно корито трапезног попречног пресека, ширине у дну 22,0 m и нагибом косина 1:3. Инундације су ширине 10,0 m, насипи висине 1,0 m и нагиба косина 1:2.

На узводном, односно низводном крају регулације, предвиђа се уливна, односно изливна грађевина-праг. Праг се изводи од камена у цементном малтеру. Узводно, односно низводно од стабилизационог прага, дно речног корита облаже се каменим набачајем у дужини од 5,0 m ради заштите прага од ерозионог дејства воде. Регулисано корито уклапа се и на узводном и на низводном крају у постојеће, природно корито.

У профилу моста, предвиђена је облога дна и косина минор корита. Заштита конкавних обала извешће се каменом на тампон слоју песковито-шљунковитог материјала. На крајевима облагања, поставља се стабилизациони праг који има улогу и заштите облоге и функцију стабилизације речног корита.

Регулација реке Љиг на разматраној деоници аутопута

На разматраној деоници аутопута на реци Љиг је предвиђено да се изведе 8 регулација корита реке.

На местима где траса аутопута иде трасом нерегулисаног тока реке Љиг извршена је регулација реке Љиг, односно измештање трасе речног корита.

Најдужа предвиђена регулација износи 2,8 km.

Димензије измештеног и регулисаног корита реке су усвојене на основу хидрауличког прорачуна. Усвојено је регулисано земљано речно корито трапезног попречног пресека, ширине у дну 14,0 m и нагибом косина 1:2. Дубина минор корита износи 4,0 m.

На узводном, односно низводном крају регулација, предвиђа се уливна, односно изливна грађевина-праг. Праг се изводи од камена у цементном малтеру. Узводно, односно низводно од стабилизационог прага, дно речног корита облаже се каменим набачајем у дужини од 5,0 m ради заштите прага од ерозионог дејства воде. Регулисано корито уклапа се и на узводном и на низводном крају у постојеће, природно корито.

У профилу мостова, предвиђена је облога дна и косина минор корита. Заштита конкавних обала извешће се каменом на тампон слоју песковито-шљунковитог материјала. На крајевима облагања, поставља се стабилизациони праг који има улогу и заштите облоге и функцију стабилизације речног корита.

8.3 Приказ планираних објеката и радова и за изградњу и реконструкцију објеката за одбрану од поплава у сливу Колубаре

У анализираним просторним плановима заштита од поплава је обрађена претежно на нивоу опште концепције и смерница. Планирани објекти и радови за одбрану од поплава нису просторно прецизно дефинисани, нити картирани. Изузетак су планирани објекти и радови за заштиту копова од поплава у Колубарском у лигнитском басену. У анализираним просторним плановима планирани објекти и радови за одбрану од поплава нису доведени у директну везу са објектима инфраструктурних система, већ ће имати индиректне ефекте које за потребе ове анализе не могу да се доведу у везу ни са једним инфраструктурним објектом. У два просторна плана подручја посебне намене за аутопут Београд-Јужни Јадран и за железничку пругу Ваљево-Лозница нису поменути планирани објекти и радови за заштиту од поплава, јер се подразумева да су техничком документацијом опредељене нивелете у односу на ниво великих вода и предвиђена потребна заштита од поплава.

Табела 8.2 Приказ планираних радова на изградњи и реконструкцији објеката за одбрану од поплава, ерозије и бујица у урбаним срединама

Врста и назив планског документа	Акумулације	Насипи	Регулације водотока	Канали	Антиерозиони радови
Просторни планови					
Просторни план Републике Србије					
Просторни план Републике Србије	Завршетак – пуњење акумулације Стуборовни	Ојачање насипа на Колубари низводно од Ваљева и најнизводнији део	Измештање и регулација Колубаре, Кладнице, Тамнаве и Пештана	—	—
Регионални просторни планови (РПП)					
РПП Колубарског и Мачванског управног округа	Завршетак – пуњење акумулације Стуборовни	—	—	—	—
Измене и допуне РПП административног подручја града Београда	—	—	Завршетак регулације реке Лукавице у Лазаревцу (6,7 km) - није картирано	—	—
РПП Златиборског и Моравичког управног округа	—	—	—	—	—
РПП Шумадијског, Поморавског, Рашког и Расинског управног округа	—	—	—	—	—
Просторни планови подручја посебне намене (ППППН)					
ППППН инфраструктурног коридора Београд-Јужни Јадран, деоница Београд-Пожега	—	—	—	—	—
ППППН инфраструктурног коридора железничке пруге Ваљево-Лозница	—	—	—	—	—
ППППН Колубарског лигнитског басена	—	—	—	—	—
Измене и допуне ППППН Колубарског лигнитског басена (у току)	—	—	—	—	—
ППППН слива водоакумулације Стуборовни	Брана и акумулација Стуборовни – за $Q_{мпф}$ = 1143 м^3/с ретензира 470 м^3/с, $Q_{0,01\%}$ = 665 м^3/с смањује на 372 м^3/с, безбедна за $Q_{0,2\%}$ и $Q_{0,5\%}$	—	—	—	—
Просторни планови општина/градова (ППО / ППГ)					
ППО Барајево	—	—	Регулација Барајевске реке и притока - није картирано	—	—
ППО Сопот	Урбано подручје је ван граница слива реке Колубаре				
ППО Аранђеловац	Урбано подручје је ван граница слива реке Колубаре				
ППО Лазаревац	—	—	—	—	—
ППО Обреновац	—	Реконструкција: левообалног насипа Колубаре од ушћа до моста пута Београд-	—	—	—

Врста и назив планског документа	Акумулације	Насипи	Регулације водотока	Канали	Антиерозиони радови
		Обреновац - није картирано			
ППО Лајковац	Постојећа акумулација Стуборовни, Изградња акумулације Струганик на Рибници	—	Линијски одбрамбени системи – регулације река и насипи и површинска реконструкција и ревитализација	Планирани канал за одбрану Лајковца од поплава Колубаре у дужини од 38km. Претварање реке у пловни пут IV категорије	—
ППО Уб	Регулација река У Убу за $Q_{0,1\%}$	—	—	—	—
ППО Коцељева	—	—	—	—	—
ППГ Ваљево	Акумулација Стуборовни	Изградња обалоутврда на око 2,17 kmм у склопу регулација Колубаре низводно од Ваљева	Наставак регулације река у урбаном центру Регулација Колубаре низводно од Ваљева на око 10,5 km	—	—
ППО Мионица	није достављен				
ППО Љиг	није достављен				
ППГ Шабац (КО Букор)	Урбано подручје је ван граница слива реке Колубаре				
ППО Владимирци	Урбано подручје је ван граница слива реке Колубаре				
ППО Осечина	Урбано подручје је ван граница слива реке Колубаре				
ППО Горњи Милановац	Урбано подручје је ван граница слива реке Колубаре				

У току израде Прелиминарног извештаја у обзир ће бити узети и урбанистички планови за урбане центре Обреновца, Ваљева, Лазаревца, Лајковца, Уба, Мионице, Коцељеве и Љига, који нису достављени Обрађивачу до припреме Претходног извештаја.

Табела 8.3 Приказ планираних радова на изградњи и реконструкцији објеката за одбрану од поплава, ерозије и бујица у зони рударског басена Колубара

Врста и назив планског документа	Акумулације /ретензије	Насипи	Регулације водотока	Канали	Антиерозиони радови
Просторни планови					
Просторни планови подручја посебне намене (ПППРН)					
ППРН Колубарског лигнитског басена	—	—	Измештање и регулација реке Колубаре (трећа фаза коначно измештање)	—	—
Измене и допуне ППРН Колубарског лигнитског басена (у току)	—	—	—	—	Антиерозиона заштита слива Колубаре и сливова мањих водотока регулација бујичних водотока у средњем сливу Пештана
Зона ретензија у средњем току реке Пештан обухвата пет просторних целина: „Бистрица“; „Трбушница“; „Даросавица“; „Рудовци“; и „Крушевица“ директна примена	Формирање проточних језера и изградња насутих брана од каменог набачаја са глиненим језгром на Бистрици, Трбушници Даросавици и Пештану и гравитационе бетонске бране "Рудовци" на Пештану; преливни објекти дименз. на трансф. поплавни талас Q 0,01%) темељни испуста за постепено пражњење ретензија при наиласку стогодишњих поплавних вода.	—	—	—	—
Уређење водотока и заштита копова у склопу отклањања последица великих поплава из маја 2014. године директна примена	—	Игрaдња 2700 m одбрамбеног (заштитног) насипа са сервисном саобраћ. на јужној граници тамнавских копова за заштиту копова са надвишењем (око 1 m) изнад контролног нивоа десетохиљадугод. велике воде, односно на 1,10 m изнад забележеног нивоа. Санација постојећег деснообалног насипа реке Колубаре.	Изградња грађ. и других водних објеката за уређење водотока (обалоутврде до нивоа двадесетогод. великих вода), Измештено корито реке Враничине (изградња вештачког речног корита за меродавни протицај $Q_{5\%}$ увећан за резервно надвишење). Регулација Скобаљског потока за	—	—

Врста и назив планског документа	Акумулације /ретензије	Насипи	Регулације водотока	Канали	Антиерозиони радови
			увођење у измештено корито р. Враничине. Изградња трајних земљаних чепова на поплавним коритима.		
Урбанистички планови за копове и измештање инфраструктуре					
ПГР за насеље Вреоци	—	—	Измештање и регулација реке Пештан (прва и друга фаза измештања) и реке Колубаре (прва, друга фаза и припрема дела треће фазе)	—	—
ПГР за насеља Барошевац, Медошевац, Зеоке и Бурово	—	—	Измештање и регулација реке Пештан (Сегмент 1 у насељу Јелав и јужни ободни канал)	—	—
ПГР за зону утицаја ПК Радљево (прва фаза)	Део ретензионог језера на Дубоком потоку у КО Радљево; дренажни бунари, ретензије, канали и цевоводи у склопу одводњавања ПК „Радљево“ у различитим фазама развоја				
Друга релевантна планска документација					
Регионални план управљања отпадом за 11 општина Колубарског региона	—	—	—	—	—

Табела 8.4 Приказ планираних радова на изградњи и реконструкцији објеката за одбрану од поплава, ерозије и бујица инфраструктурних коридора

Врста и назив планског документа	Акумулације	Насипи	Регулације водотока	Канали	Антиерозиони радови
Просторни планови					
Просторни план Републике Србије					
Просторни план Републике Србије	Завршетак – пуњење акумулације Стуборовни	Ојачање насипа на Колубари низводно од Ваљева и најнизводнији део	—	—	—
Регионални просторни планови (РПП)					
РПП Колубарског и Мачванског управног округа	Завршетак – пуњење акумулације Стуборовни	—	—	—	—
Измене и допуне РПП административног подручја града Београда	—	—	—	—	—
РПП Златиборског и Моравичког управног округа	—	—	—	—	—
Просторни планови подручја посебне намене (ПППН)					
ПППН инфраструктурног коридора Београд-Јужни	—	—	—	—	—

Врста и назив планског документа	Акумулације	Насипи	Регулације водотока	Канали	Антиерозиони радови
Јадран, деоница Београд-Пожега					
ПППН инфраструктурног коридора железничке пруге Ваљево-Лозница	—	—	—	—	—
ПППН Колубарског лигнитског басена	—	—	—	—	—
Измене и допуне ПППН Колубарског лигнитског басена (у току)	—	—	—	—	—
Разрада ПППН					
Етапно измештање дела државног пута ДП IIБ-363 (раније Р-201) Вреоци–Крушевица)			Израда у току		
Просторни планови општина/градова (ППО / ППГ)					
ППО Барајево	—	—	—	—	—
ППО Сопот	—	—	—	—	—
ППО Аранђеловац	—	—	—	—	—
ППО Лазаревац	—	—	—	—	—
ППО Обреновац	—	—	—	—	—
ППО Лајковац	—	—	—	—	—
ППО Уб	—	—	—	—	—
ППО Коцељева	—	—	—	—	—
ППГ Ваљево	—	—	—	—	—
ППО Мионица			није достављен		
ППО Љиг			није достављен		
ППГ Шабац (КО Букор)	—	—	—	—	—
ППО Владимирци	—	-	—	—	—
ППО Осечина	—	—	—	—	—
ППО Горњи Милановац	—	—	—	—	—
Друга релевантна планска документација					
Регионални план управљања отпадом за 11 општина Колубарског региона	—	—	—	—	—

У обзир ће бити узети и урбанистички планови за урбане центре Обреновца, Ваљева, Лазаревца, Лајковца, Уба, Мионице, Коцељеве и Љига, као и Планови детаљне регулације за инфраструктуре објекте, који нису достављени до припреме Претходног извештаја.

Табела 8.5 Приказ планираних радова на изградњи и реконструкцији објеката за одбрану од поплава, ерозије и бујица пољопривредног земљишта

Врста и назив планског документа	Акумулације	Насипи	Регулације водотока	Канали	Антиерозиони радови
Просторни планови					
Просторни план Републике Србије					
Просторни план Републике Србије	—	—	—	—	—
Регионални просторни планови (РПП)					
РПП Колубарског и Мачванског управног округа	Планиране акумулације које имају и функцију заштите од поплава: Памбуковица, Радуша, Јошевица, Поток, Липовица, Трлић, Калиновац, Буковица, Стубленица, Хајдучка коса, Забава, Самара, Равна Гора, Златарић, Сушица, Палежница, Завојшница, Манастирица, Паклешница, Крчмарска, Каменица I	—	Реке Тамнаве узводно од насеља Црвена Јабука Реке Уб од Уба до насеља Рупљане Реке Љиг од Љига до ушћа у Колубару Реке Топлице целом дужином тока кроз општину Мионица Реке Колубаре низводно од Ваљева (након пуњења акумулације Стуборовни) - није картирано	Обнова: канала Средњемачванскоги, Доње-мачванског дренажног системаканача и Церског ободног канала Наставак изградње канала за одвођење воде на подручју града Шапца - није картирано	—
Измене и допуне РПП административног подручја града Београда	Планирано 8 малих акумулација на Тамнави за заштиту од поплава ван територије града	—	—	—	—
РПП Златиборског и Моравичког управног округа	—	—	—	—	—
Просторни планови подручја посебне намене (ППППН)					
ППППН инфраструктурног коридора Београд-Јужни Јадран, деоница Београд-Пожега	—	—	—	—	—
ППППН инфраструктурног коридора железничке пруге Ваљево-Лозница	—	—	—	—	—
ППППН Колубарског лигнитског басена	—	—	—	—	—
Измене и допуне ППППН Колубарског лигнитског басена (у току)	—	—	—	—	—
Разрада ППППН					
Зона ретензија у средњем току реке Пештан обухвата пет просторних целина: „Бистрица“; „Трбушница“; „Даросавица“; „Рудовци“; и „Крушевица“ – са	—	—	—	—	—

Врста и назив планског документа	Акумулације	Насипи	Регулације водотока	Канали	Антиерозиони радови
каменоломом "Крушевица";					
Уређење водотока и заштита копова у склопу отклањања последица великих поплава из маја 2014. године	—	—	—	—	—
ПППН слива водоакумулације Стуборовни	Брана и акумулација Стуборовни – за $Q_{мпф}$ = 1143 м^3/с ретензира 470 м^3/с, $Q_{0,01\%}$ = 665 м^3/с смањује на 372 м^3/с, безбедна за $Q_{0,2\%}$ и $Q_{0,5\%}$	У сливу акумулације Стуборовни нема опасности од поплава, осим малих бујица.			1371 ха у сливу (КО Брезовица, Вујиновача, Д.Лесковице, Кунице, Ребељ,Совач, Стубо, Ситарице)
Просторни планови општина/градова (ППО / ППГ)					
ППО Барајево	Акумулације Крчевци, Барајевица и Раковица на истоименим потоцима - није картирано	—	Регулација Барајевске реке и притока - није картирано	—	5146 ha
ППО Сопот	Планираних 8 акумулација и ретензија	—	Регулације реке Турије од Јарановича ћуприје до границе општине Аранђеловац. Регулација бујичне Сибничке реке - није картирано	—	—
ППО Аранђеловац	Део акумулација Крушевица на реци Пештан (КНУ 174 мнв, КМУ 176 мнв) и Рудовача на реци Даросавици (КНУ 175 мнв, КМУ 177 мнв)	—	—	—	—
ППО Лазаревац	—	—	Измештање и регулација река Колубаре, Пештан, Очаге и притока из зоне копова у РЕИС Колубара	—	—
ППО Обреновац	На територији општине нема могућности ретензирања Тамнаве	Реконструкција: левообалног насипа Колубаре од ушћа до моста пута Београд-Обреновац - није картирано	—	4 нова система за одводњавање: Мислођин (520 ha), Велико поље (3100 ha) - није картирано Реконструкција и чишћење постојећих канала - није картирано	9275 ha
ППО Лајковац	Акумулација Паљуви Виш (113, 65 ha)	Левообални насип реке Колубаре Јабучје-Пепељевац (дужине 5.390 m) и деснообални и	—	—	—

Врста и назив планског документа	Акумулације	Насипи	Регулације водотока	Канали	Антиерозиони радови
		левообални насипи реке Колубаре код Јолића воденице (дужине 12.500 m). Реконструкција и ревитализација постојећих линијских одбрамбених система (242,6 km насипа)			
ППО Уб	Акумулације у сливу Тамнаве: Памбуковица на Убу, Липовица на Реци, Поток на Великом Бунару, Јошевица на Јошевици, Калиновац, Буковица и Трлић на Грачници	—	—	Системи за одводњавање: Брезовица и Црвена Јабука - Таково	—
ППГ Шабац (КО Букор)	—	—	—	—	—
ППО Коцељева	—	—	—	—	—
ППО Владимирци	—	—	—	—	—
ППО Осечина (КО Г.Цмиљен)	—	—	—	—	—
ППГ Ваљево	Акумулација Стоборовни	—	—	Натурална регулација река Градац, Обница (од ушћа у Јабланицу до ловачког дома), Буковице и др. река у зонама очуваних екосистема	1371 ha
ППО Мионица			није достављен		
ППО Љиг			није достављен		
ППО Горњи Милановац	—	—	—	—	—
Друга релевантна планска документација					
Регионални план управљања отпадом за 11 општина Колубарског региона	—	—	—	—	—

9 ПРЕДЛОГ СИСТЕМА ОБЈЕКАТА И МЕРА ЗА ПОСТИЗАЊЕ ПРОЈЕКТОВАНОГ СТЕПЕНА ЗАШТИТЕ ОД ПОПЛАВА У СЛИВУ КОЛУБАРЕ

9.1 Осврт на узроке погоршања режима великих вода у сливу Колубаре

Слив Колубаре има природно неповољан режим великих вода, јер коинциденцијом великих вода бројних бујичних притока настају екстремно велики таласи великих вода на главном току.

Природно неповољне карактеристике великих вода у сливу Колубаре су погоршане антропогеним деловањем. Наиме, отицање воде са слива интензивирано је услед крчења шума и уништавања друге природне вегетације, као и услед повећања урбанизованих површина са повећаним коефицијентима отицаја и повећаним брзинама отицања вода у односу на природно стање. Раније плављене површине су искључене изградњом одбрамбених насипа уз основно корито водотока. Такође, на водотоцима су изграђени бројни мостови, који проузрокују допунско повишење нивоа великих вода. Учестала изливања великих вода су последица, поред осталог, и неодговарајућег стања речних корита, која су затрпана наносом, а често и отпадним материјалима.

На већини водотока у сливу Колубаре је појединачно или збирно дејство неповољних природних и антропогених фактора довело до изразитог погоршања режима великих вода, који се огледа првенствено у повећању екстремних протицаја, повишењу нивоа вода, скраћењу трајања и повежању запремине таласа великих вода. У условима глобалних климатских промена, које се за сада не могу квантификовати на нивоу слива Колубаре, може се очекивати даље погоршање режима великих вода.

9.2 Смернице за унапређење заштите од поплава у сливу Колубаре

Ризик од поплава на сливу Колубаре не може се у потпуности елиминисати, већ се само може смањити на друштвено и економски прихватљиву меру, полазећи од принципа управљања ризиком од поплава који се примењују широм света.

Управљање ризиком од поплава је перманентан процес доношења одлука о томе да ли и како плавна подручја треба користити, уз одређени, дозвољени ниво ризика. На сваком посматраном потенцијално или реално плавном подручју постоји мноштво различитих услова који се морају размотрити како би се донела одлука о комбинацији стратегија и пратећих мера за смањење увек присутног ризика од поплава.

Адекватан избор омогућује само разматрање већег броја различитих комбинација мера, чији се ефекти оцењују на неки од познатих начина (као што је на пр. вишекритеријумска анализа). При том се активности на плавном подручју морају сагледати у контексту утицаја на речни слив у целини, јер сваки део слива зависи од другог, тако да одлука о начину уређења једног дела може имати непожељне утицаје на други (на пример урбанизација у горњим деловима слива убрзава отицај и ствара бујичне поплаве, док изградња насипа на делу речног слива може погоршати услове на водотоку). Такође, разматрано плавно подручје се мора посматрати као део одређене територијалне (град, село) и административно-управљачке целине (општина, округ итд.). Могуће управљачке стратегије и мере се разматрају не само за до сада незаштићене плавне зоне, већ и за већ касете са већ изграђеним заштитним објектима.

Полазна тачка свих разматрања је став да ниједна стратегија или мера не може имати а приори предност, уколико се то не докаже.

У сливу Колубаре се мора тежити успостављању интегралног приступа управљању ризиком од поплава. Ово подразумева дефинисање стратегије на нивоу целог речног слива, са адекватном комбинацијом **инвестиционих** (грађевинских или структурних) и **неинвестиционих** радова и мера, која се заснива на процени трошкова, оцени техничке изводљивости, утицаја на животну средину и друштвене прихватљивости ових мера и радова.



Планирање и реализација мера заштите од поплава у сливу Колубаре захтева активно и координирано садејство сектора вода и других релевантних актера:

- **Инвестициони радови** у циљу превенције поплава од спољних вода су превасходни задатак сектора вода (на водама 1. реда) и локалних самоуправа (на водама 2. реда)
- **Неинвестиционе мере** поред сектора вода морају спроводити и друге институције (службе за заштиту и спасавање, хидрометеоролошка служба, здравствене службе, просторни планери, заштита природе, јединице локалне самоуправе), корисници акумулација, као и грађани, невладине организације, привредна друштава и предузетници на потенцијално угроженим подручјима.

Потребна је интердисциплинарна сарадња, на државном и локалном нивоу власти, у секторима вода, заштите животне средине и просторног планирања да би се обезбедио потребан степен усклађености у планирању мера заштите од вода и коришћења простора (коришћење земљишта, развој саобраћаја и урбаних центара).

Наиме, само адекватним просторним и урбанистичким планирањем може бити успостављена равнотежа између растућих захтева за даљом урбанизацијом и економским коришћењем приобаља река и потребе да се одређени простори резервишу ради регулисања отицаја и задржавања воде у сливу, што је значајна мера за унапређење превентивне заштите и смањење ризика.

9.3 Предлог комплекса радова и мера за унапређење заштите од поплава у сливу Колубаре

9.3.1 Инвестициони радови и мере

Зависно од хидролошко-хидрауличких, псамолошких и морфолошких карактеристика, као и начина коришћења водотока, у заштити од поплава на сливу Колубаре примењују се или се могу применити различити објекти, радови и мере, како би се обезбедила заштита подручја од усвојеног меродавног протицаја.

9.3.1.1 Насипи и регулације речних корита

Заштита од поплава на Колубари до сада је најчешће обезбеђивана изградњом насипа или других линијских објеката, односно ограничавањем корита за велику воду до планиране ширине. Овом мером спречава изливање великих вода из водотока и онемогућава њихов продор у приобална подручја.

На неким подручјима у сливу Колубаре су изведене регулације корита за велику воду у циљу заштите од поплава. Регулације постоје у већим насељеним местима (Ваљево, Уб, Лазаревац).

У Студији ће се пажљиво размотрити потреба за изградњом нових насипа у сливу Колубаре, на неким потезима Колубаре и притока, који су већ дефинисани у расположивој техничкој документацији. Генерални став је да насипима треба допунски заштитити само високо вредна подручја, уколико се таква идентификују у оквиру ове Студије, јер се овом мером погоршава режим великих вода и низводно и узводно.

У Студији ће се, на основу детаљне хидролошке и хидрауличке анализе, дефинисати насипи и регулације речних корита које треба реконструисати, у циљу повећања степена заштите.

9.3.1.2 Акумулације

Веома ефикасну меру за смањење ризика од представља задржавање дела запремине поплавног таласа акумулацијама које имају предвиђену запремину за прихват великих вода.

У Студији ће се испитати могућности за прихват поплавних таласа у постојећим акумулацијама у сливу Колубаре (Стуборовни, Паљуви Виш и Кладница) и истражити потенцијали за изградњу нових акумулационих простора.

Треба истаћи да се, према Стратегији управљања водама на територији Републике Србије, не предвиђа се изградња нових великих вишенаменских акумулација (запремина већа од 10 милиона m^3) у сливу Колубаре. Међутим, постоји могућност да се мање акумулације, са вишеструком наменом, изграде на притокама Колубаре.

9.3.1.3 Ретензије

Поплава 2014. године је указала да би у наредном периоду првенствено требало радити на стварању ретензионих капацитета у сливу Колубаре.

У овој Студији ће се размотрити могућности изградње ретензија на различитим водотоцима у брдским пределима слива Колубаре (са уским долинама), ради регулисања режима великих вода водотока односно смањења максималног протока у водотоку на низводном сектору.

Чеоне ретензије се формирају изградњом малих или евентуално високих брана. Трансформација поплавних таласа у ретензијама се врши или слободним

истицањем/преливањем великих вода или контролисано (уколико су на евакуаторима уграђени затварачи).

Бочне (низијске) ретензије се могу формирати на равничарским деловима тока, изградњом обухватних насипа, са или без упусних и испусних органа.

Размотриће се потребе за одржањем и, ако је то могуће и економски оправдано, обновом или проширењем природних ретензионих простора (мочваре и поплавне површине).

9.3.1.4 Противерозиони радови, контрола бујица и друге мере за побољшање ретензионог капацитета слива

Полазећи од каталога мера за природно ретензирање вода (www.nwrm.eu), у Студији ће се размотрити и друге могуће мере (у пољопривреди, шумарству, противерозионом уређењу сливова и контроли бујица, уређењу водотока и урбаном планирању) за побољшање ретензионог капацитета слива односно смањење отицаја у сливу Колубаре.

Посебан значај ће се дати мерама противерозионог уређења сливова и контроле бујица. Размотриће се технички радови у горњем делу слива реке Колубаре и на њеним притокама би обухватили изградњу бујичних преграда и прагова, биотехнички радови (плетери и илофилтери као објекти непосредне заштите од засипања ретензионих простора) и биолошки радови (пошумљавање, затрављивање у циљу смањења ерозије у сливу и смањења отицаја у сливу).

9.3.2 Неинвестициони радови и мере

Као допуна грађевинским радовима, у примени су све више неинвестиционе мере заштите од поплава. Ове мере немају непосредан утицај на протицај великих вода, али одражавају настојање да се смање штете које поплаве могу проузроковати, применом стратегије управљања, а не изградње.

Неинвестиционе мере чини скуп административних, регулативних и институционалних мера за превентивно смањење директних, индиректних и потенцијалних штета од поплава. У ову групу мера спадају:

- Превентивне и оперативне мере,
- Регулативне и институционалне мере,
- Мере солидарности за ублажавање последица поплава и
- Информисање јавности.

Превентивне и оперативне мере подразумевају целокупну делатност усмерену на сузбијање опасности од поплава и смањење штетних последица у свим фазама одбране од поплава. Њихова битна одлика мора бити организованост.

Превентивне мере. Најзначајнију превентивну меру представља доношење и спровођење планова и планова за одбрану од поплава, у којима се дефинишу обавезе и права свих учесника у одбрани од поплава. Планови се раде на републичком нивоу (за воде 1. реда) и локалном нивоу (воде 2. реда).

Општине су дужне, по Закону о водама, да израде План за одређивање ерозионих подручја за своју територију. У оквиру овог плана, ради се карта ерозије и дефинишу ерозиона подручја. У оквиру ерозионих подручја предлажу се административне мере и радови у циљу спречавања развоја ерозионих процеса на тим подручјима.

Локална самоуправа је дужна да изради Оперативни план за воде 2. реда на свом подручју. У тим плановима, поред индентификације свих бујичних токова на подручју

једне општине, идентификују се угрожене тачке и деонице на бујичним токовима. Такође, потребно је да постоји карта ризика од поплава, плавне зоне и зоне ризика од поплава за одређене критеријуме и сценарије.

У групу превентивних мера спада и превентивно обезбеђење поплавом угрожених објеката (изградња локалне заштите око објеката, спречавање продора воде у објекте, дислокација предмета у објектима и сл.).

Оперативне мере заштите од поплава обухватају прогнозу наиласка поплавног таласа, пренос информација на терен, обавештавање и узбуњивање надлежних органа и становништва, у складу са унапред припремљеним планом. Овај план мора предвидети и евентуалну дислокацију становништва и добара, за случај наиласка екстремних великих вода. Код речних токова на којима се у заштити од поплава користе и акумулације раде се посебна оперативна упутства за управљање, што је нарочито важно код вишенаменских акумулација.

За разлику од осталих природних ризика као што су земљотрес, олуја и град, могуће је у одређеном року проценити могућност настајања великих вода. Начин прогнозирања великих вода зависи од карактеристика сливног подручја.

Регулативне и институционалне мере чини скуп мера дефинисаних законима, прописима, уредбама или на други начин, којима се остварује одређена политика у погледу коришћења поплавом угроженог подручја. У овај скуп мера се убраја и формирање структуре управљања подручјима угроженим поплавом, административне надлежности, организовање стручних служби, функција надзора и предузимања мера ради поштовања законске и друге регулативе. Ове мере имају највећи ефекат у планирању развоја на поплавом угроженим просторима, али могу да утичу и на активности корисника који су већ лоцирани на тим просторима.

Зонирање терена према степену угрожености од поплава је основна мера, на коју се ослањају све остале мере за регулисање употребе терена. Суштина зонирања се састоји у утврђивању степена и граница различитих степена угрожености на терену, при чему је од кључног значаја подела инундације на проточну и ретензиону. Степен угрожености се уобичајено изражава преко вероватноће појаве протицаја или водостаја који плави терен.

Прописи о намени поплавом угрожених терена одређују начин коришћења терена, као и врсту градње која је на њима допустива. Њима се могу прецизирати и најниже допуштене коте објеката.

Грађевински прописи регулишу врсту конструкција, начин градње и грађевинске материјале који се могу примењивати у зависности од степена угрожености од поплава. У циљу адекватног спровођења регулативно-институционалних мера, потребно је обезбедити ефикасност водопривредне инспекцијске службе и других надлежних органа.

Мере солидарности за ублажавање последица поплава имају за циљ смањење штета које настају у току и након поплава, због поремећаја друштвеног и економског живота. У ове мере делимично улази и противпоплавно осигурање, као мера смишљене расподеле ризика од поплава по времену и простору.

Информисање и едукација кадрова и становништва је неопходан предуслов за ефикасно спровођење одбране од поплава.

Информисање и едукација јавности представља значајну и перманентну активност којом се стиче и одржава свест о поплавама и ризику који поплаве стварају. Основ за релевантне информације о ризику од поплава су карте угрожености, које садрже и податке о границама плављења при великим водама различитог повратног периода,

укључујући и најгори могући сценарио, и карте ризика од поплава. У случају спољних вода, зонирају се реално плавне зоне (површине које би увек плавиле велике воде, што је присутно углавном у долинама мањих водотока, без изграђених заштитних система) и потенцијално плавне зоне (површине заштићене од поплава пасивним или активним мерама заштите, које би биле плављене само у случају отказа система).

9.4 Концепцијска решења радова на унапређењу заштите од поплава у сливу Колубаре

У наставку је дата концепција потенцијалних ретензија, односно простора који прихватају таласе великих вода са дела слива кога контролишу, и тиме регулишу доток на део слива који се налази низводно од ових објеката. Разматране су чеоне ретензије на притокама Колубаре и бочне ретензије у долини река Колубаре и притока.

У овој фази израде Студије идентификовано је:

- 28 простора за изградњу чеоних ретензија на притокама реке Колубаре и
- 3 ретензиона простора (бочне ретензије) у долинама река Колубаре и реке Љиг.

9.4.1 Ретензиони простори на сливу Колубаре

Профили 28 потенцијалних чеоних ретензија приказани су на карти Р 1:100.000 која се налази у прилогу овог извештаја. У следећој табели су набројани водотокови и профили приказани у наставку.

Табела 9.1 Приказ водотокова и анализираних ретензионих профила

Бр	Водоток	Притока	Име профила
1	Тамнава	Колубаре	Каменица
2	Борина	Тамнаве	Мали Бошњак
3	Уб	Тамнаве	Памбуковица
4	Рабас	Колубаре	Бабина Лука
5	Обница	Колубаре	Причевић
6	Буковица	Обница	Златарић
7	Забава	Градца	Гајевићи
8	Буковска река	Градца	Ластра
9	Лепеница	Рибнице	Кључ
10	Липница	Лепенице	Ђурђевац
11	Рибница	Колубаре	Струганик
12	Топлица	Колубаре	Словац
13	Љиг	Колубаре	Кадина Лука
14	Драгобиљ	Љига	Угриновци
15	Качер	Љиг	Ивановци
16	Качер	Љиг	Пољанице
17	Козељица	Качера	Козељ
18	Оњег	Љиг	Брајковац
19	Пештан	Колубаре	Рудовци
20	Пештан	Колубаре	Крушевица
21	Бистрица	Пештана	Бистрица
22	Трбушница	Бистрица	Трбушница
23	Даросавица	Пештана	Даросавица
24	Турија	Колубаре	Венчане
25	Сибничка река	Турије	Миросаљци
26	Сеона	Бељанице	Рожанци
27	Губеревачка река	Стојничке реке	Бељина
28	Бељаница	Барајевске реке	Бељаница
29	Грачица	Тамнаве	Грачица

9.4.1.1 Профил Каменица

Зона профила Каменица се налази у горњем делу слива реке Тамнаве, на око 62,5 km узводно од ушћа Тамнаве у Колубару, односно око 8,5 km узводно од насеља Коцељева

и 0,5 km узводно од насеља Каменица. Разматрани профил се налази на територији општине Коцељева. Просторним планом општине није обухваћена изградња ретензије у склопу заштите од поплавних вода Тамнаве.



Слика 9.1 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Каменица

Део слива који би се контролисао профилом Каменица је углавном брдски, са речном долином широком око 300 m.

Ретензиони простор који би се формирао изградњом бране Каменица заузимао би око 95% пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..), а врло мали проценат простор под шумама.

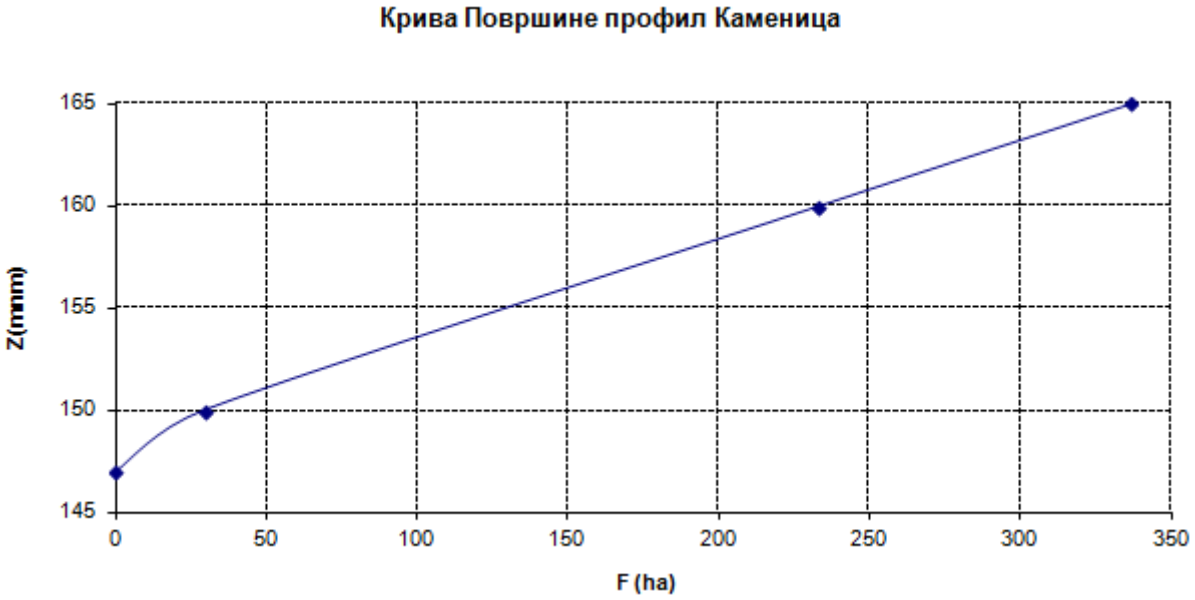
У ретензионом простору постоји мали број домаћинстава који се углавном налазе уз саобраћајницу која се протеже комплетном дужином потенцијалног ретензионог простора.

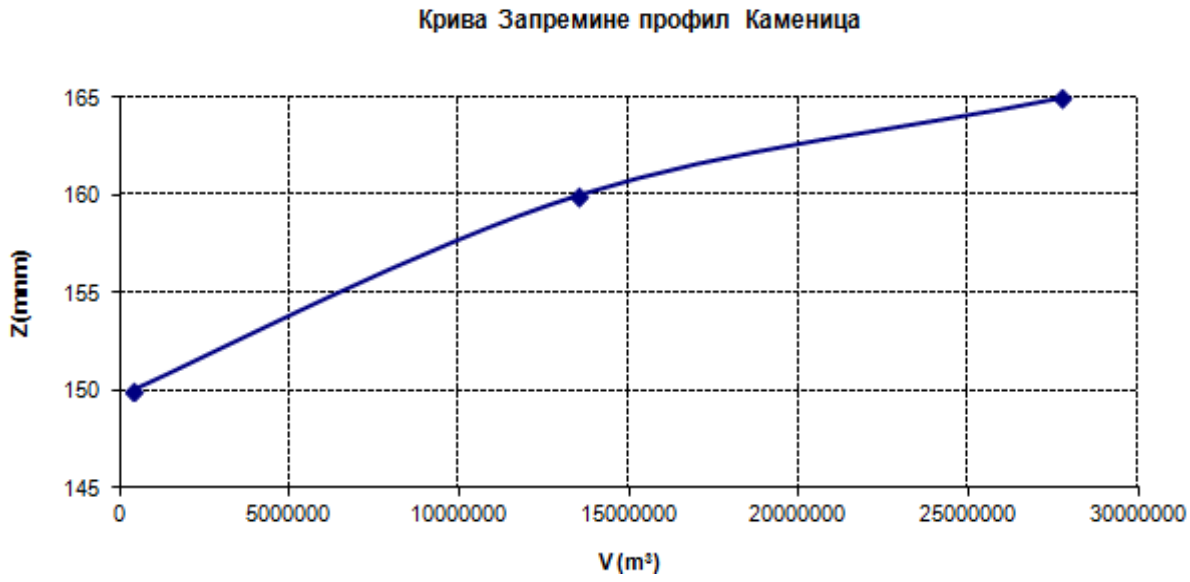
У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору тренутно постоји државни пут IIA реда. Планском документацијом нису предвиђени велики инфраструктурни објекти, који би представљали могуће ограничење.

Ретензиони потенцијал профила Каменица је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.2 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Каменица

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
147		0,00				0,00
150	292476	29,25	146238	438714	438714	0,44
160	2329203	232,92	1310840	13108398	13547113	13,55
165	3363339	336,33	2846271	14231356	27778468	27,78

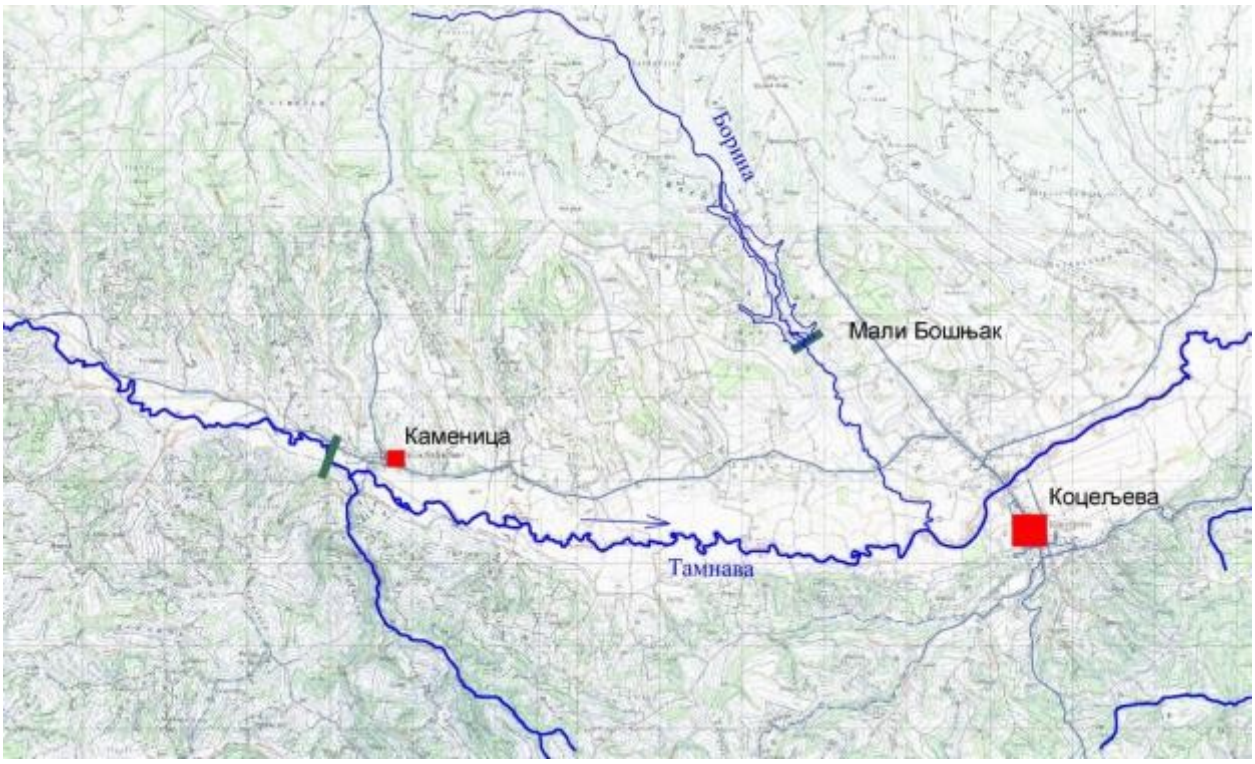




9.4.1.2 Профил Мали Бошњак

Зона профила Мали Бошњак се налази на реци Борини, левој притоци реке Тамнаве, на око 3,5 km узводно од ушћа у Тамнаву.

Разматрани профил се налази на територији општине Коцељева, на око 3 km од насеља Коцељева. Просторним планом општине није обухваћена изградња ретензије у склопу заштите од поплавних вода са слива Тамнаве.



Слика 9.2 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Мали Бошњак

Ретензиони простор разматраног профила карактерише углавном брдски предео, са ширином речне долине око 100 m. Ретензијом би се већински заузело пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..), око 95%.

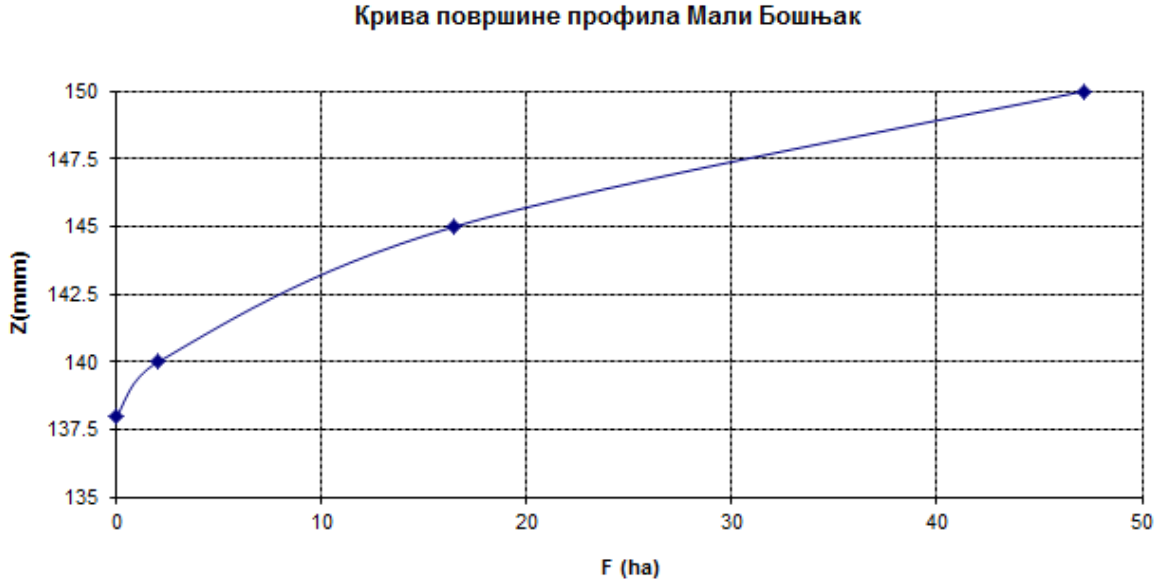
Што се тиче насељености, у ретензионом простору постоји мали број домаћинстава који се углавном налазе уз локалне сеоске саобраћајнице.

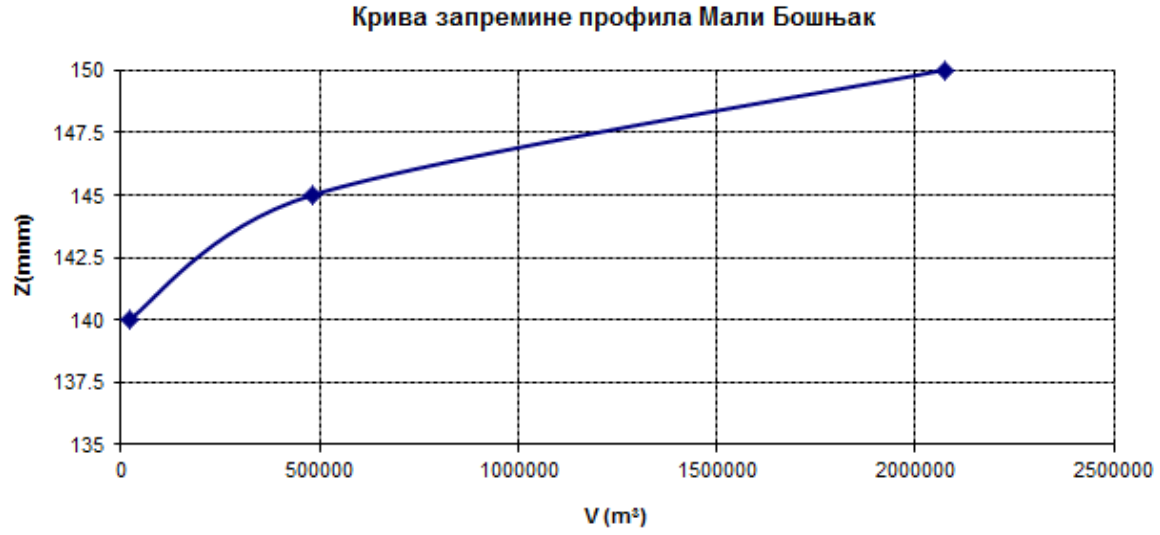
У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору тренутно не постоје нити су планском документацијом предвиђени значајни инфраструктурни објекти, који би представљали могуће ограничење.

Ретензиони потенцијал профила Мали Бошњак је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

*Табела 9**Error! Reference source not found.**.3 Табеларни приказ криве површине и запремине рофила Мали Бошњак*

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
138		0,00				0,00
140	20003	2,00	10002	20003	20003	0,02
145	164770	16,48	92387	461934	481937	0,48
150	471840	47,18	318305	1591525	2073462	2,07

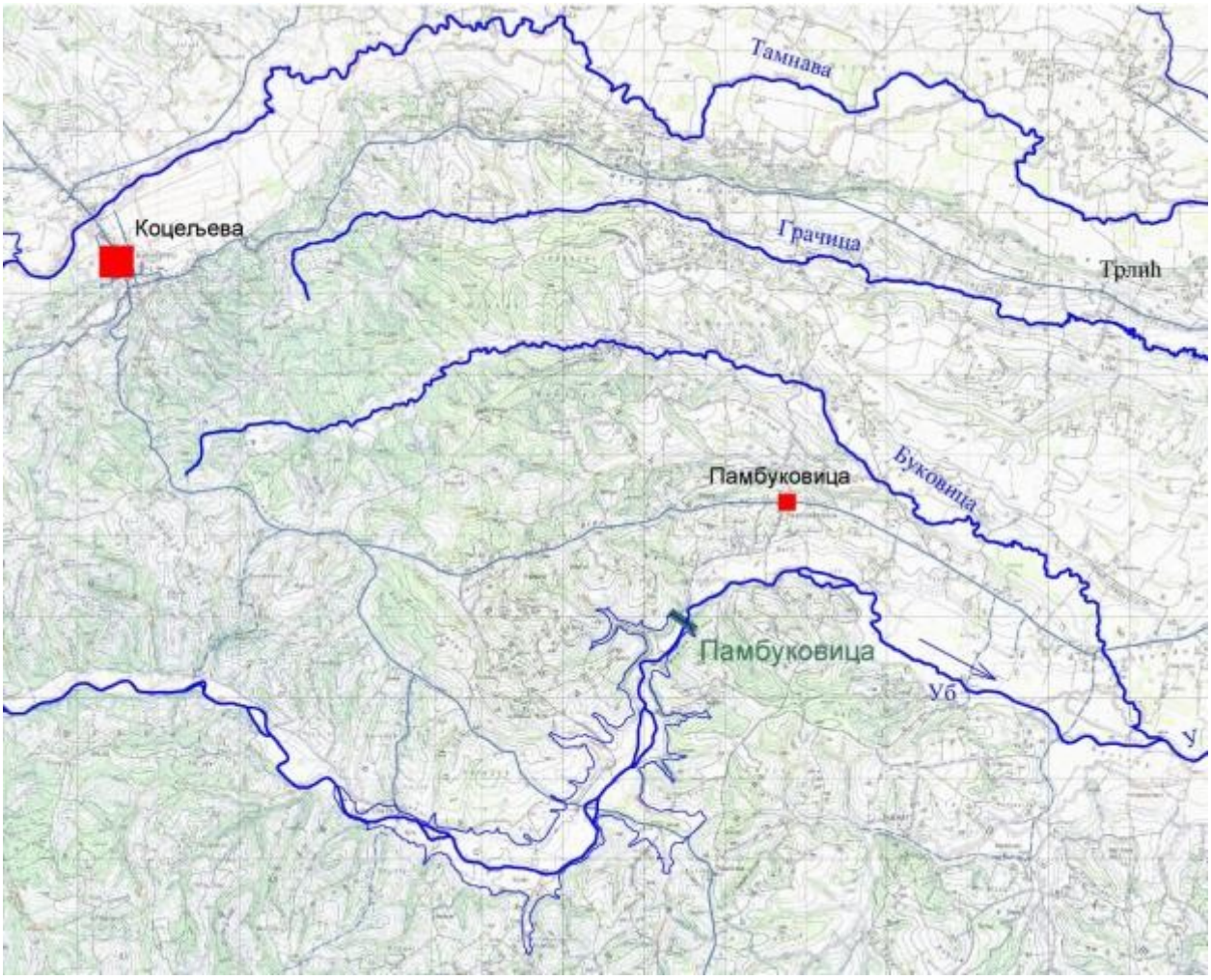




9.4.1.3 Профил Памбуковица

Зона профила Памбуковица се налази у централном делу слива реке Уб, на око 30,5 km узводно од ушћа у Тамнаву. У непосредној близини профила налази се насеље Памбуковица.

Разматрани профил се налази на територији општине Уб. Просторним планом општине предвиђена је изградња вишенаменске акумулације Памбуковица.



*Слика 9**Error! Reference source not found.**.3 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог ростора Памбуковица*

Ретензиони простор разматраног профила карактерише углавном брдски предео. Ширина речне долине је доста променљива, од 100 m до преко 600 m. На локацији преградног профила ширина речне долине је око 150 m.

Ретензијом би се већински заузело пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..), око 90%. Мали проценат потенцијалног заузетог земљишта је под шумама, око 5%.

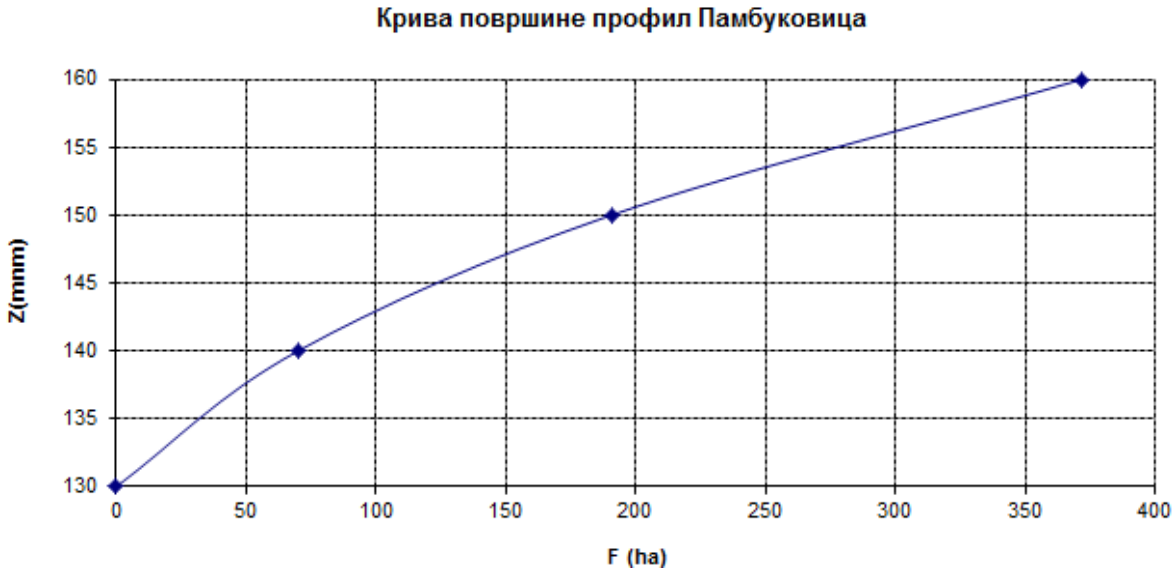
Што се тиче насељености, у ретензионом простору постоји мали број домаћинстава који се углавном налазе уз локалне сеоске саобраћајнице.

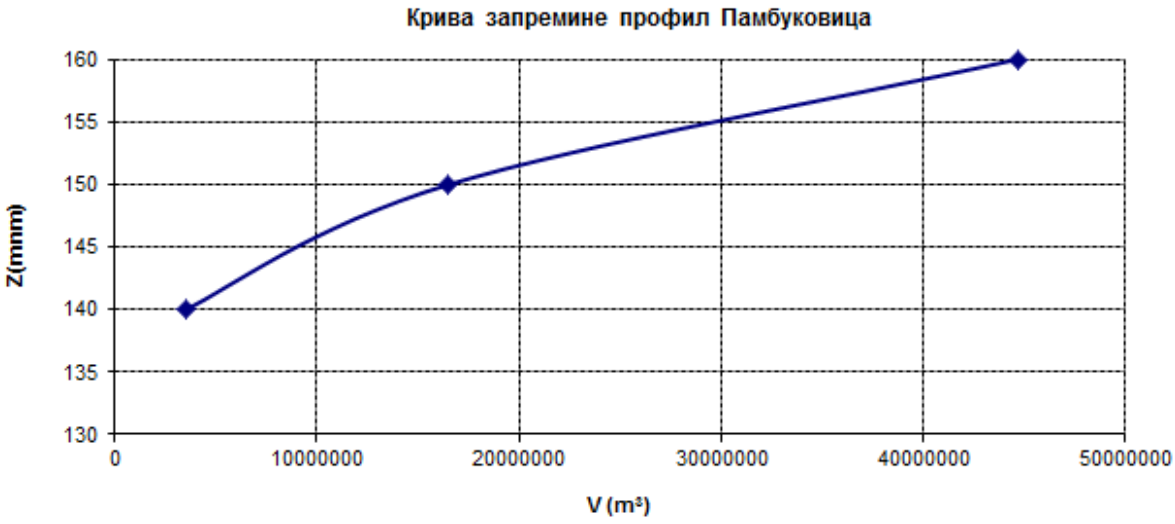
У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору једним делом трасе пролази и државни пут IБ реда, који би могао да представља ограничење. Планском документацијом нису предвиђени велики инфраструктурни објекти, који би представљали могуће ограничење.

Ретензиони потенцијал профила Памбуковица је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

*Табела 9**Error! Reference source not found.**.4 Табеларни приказ криве површине и запремине рофила Памбуковица*

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
130		0,00				0,00
140	699874	69,99	349937	3499372	3499372	3,50
150	1906831	190,68	1303353	13033529	16532901	16,53
160	3721176	372,12	2814004	28140036	44672937	44,67





9.4.1.4 Профил Бабина Лука

Зона профила Бабина Лука се налази на реци Рабас, левој притоци реке Колубаре, на око 12,9 km узводно од ушћа у Колубару.

Разматрани профил се налази на територији општине Ваљево, у атару села Бабина Лука, на око 15 km од града Ваљева.



Слика 9.4 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Бабина Лука

Ретензиони простор разматраног профила карактерише углавном брдски предео. Ширина речне долине се креће, од 100 m до преко 300 m. На локацији преградног профила ширина речне долине је око 150 m.

Ретензијом би се већински заузело пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..), око 70%. Проценат потенцијалног заузетог земљишта под шумама је око 20%.

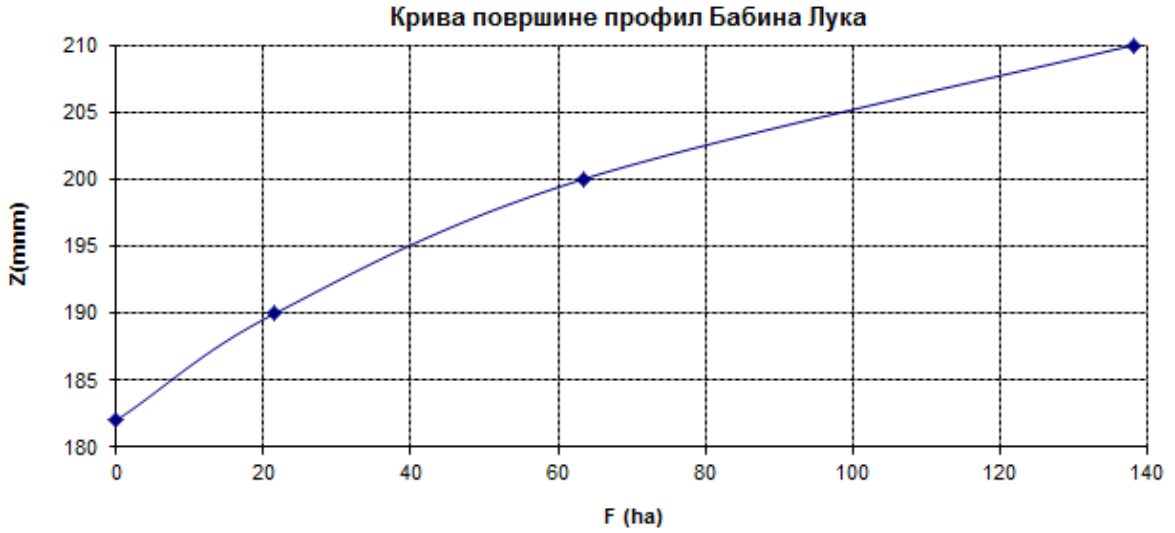
Што се тиче насељености, у ретензионом простору постоји мали број домаћинстава који се углавном налазе уз локалне сеоске саобраћајнице.

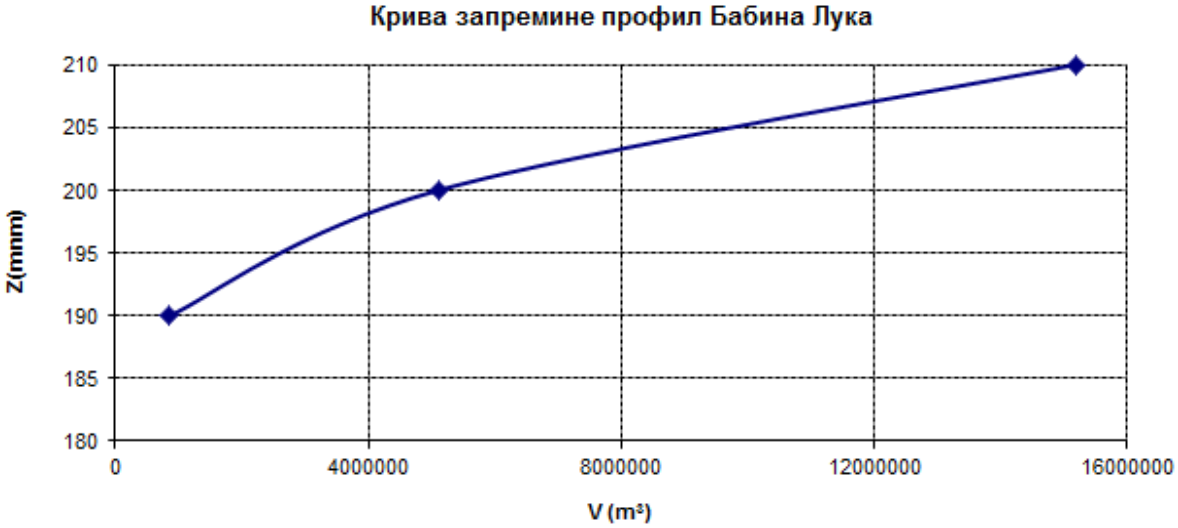
У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору тренутно не постоје нити су планском документацијом предвиђени значајни инфраструктурни објекти, који би представљали могуће ограничење.

Ретензиони потенцијал профила Бабина Лука је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.5 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Бабина Лука

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
182		0,00				0,00
190	215899	21,59	107949	863595	863595	0,86
200	633959	63,40	424929	4249286	5112881	5,11
210	1382053	138,21	1008006	10080056	15192937	15,19





9.4.1.5 Профил Причевић

Профил Причевић се налази на реци Обници, која се спаја са реком Јабланицом и настаје река Колубара. Профил се налази на око 15,8 km узводно од ушћа са Јабланицом, односно на 2,5 km од ушћа Каменице у Обницу .

Разматрани профил се налази на територији општине Ваљево, у зони насеља Причевић, на око 17 km од града Ваљева.



Слика 9.5 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Причевић

Ретензиони простор разматраног профила карактерише углавном брдски предео, са речном долином ширине око 350 m

Ретензијом би се већински заузело пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..), око 90%. Мали проценат потенцијалног заузетог земљишта је под шумама, око 5%.

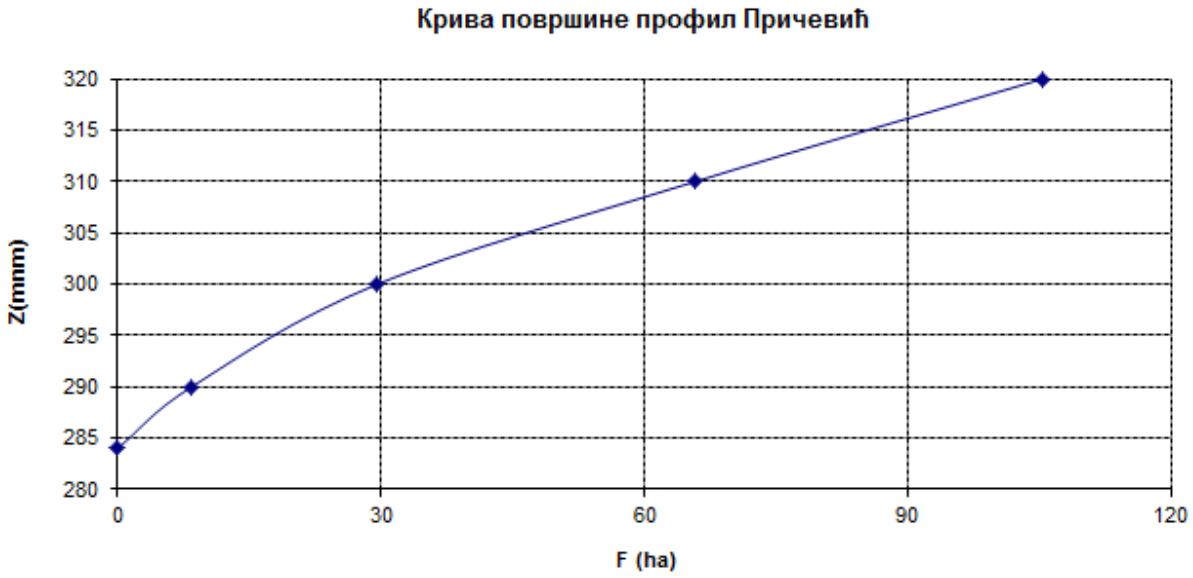
Што се тиче насељености, у ретензионом простору постоје домаћинстава која се налазе уз државни пут и уз локалне сеоске саобраћајнице.

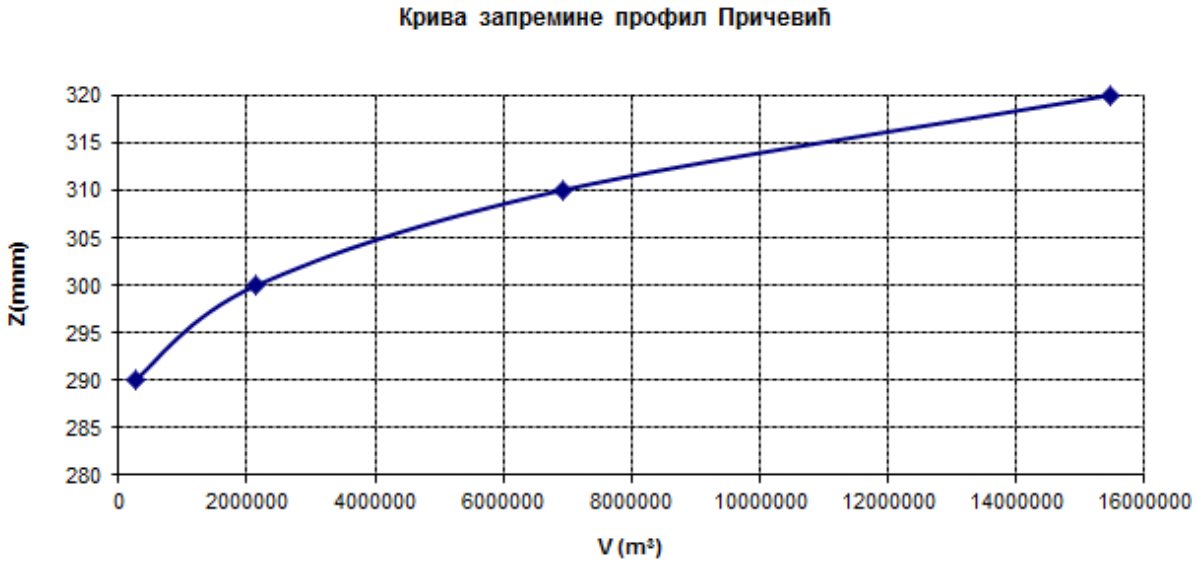
У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору пролази део трасе државног пута IIA реда. Планском документацијом нису предвиђени велики инфраструктурни објекти, који би представљали могуће ограничење.

Ретензиони потенцијал профила Причевић је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.6 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Причевић

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
284		0,00				0,00
290	84262	8,43	42131	252785	252785	0,25
300	295884	29,59	190073	1900726	2153511	2,15
310	658215	65,82	477049	4770491	6924003	6,92
320	1053943	105,39	856079	8560790	15484792	15,48





9.4.1.6 Профил Златарић

Профил Златарић се налази у сливу реке Обнице, на реци Буковици, левој притоци реке Обнице, на око 0,9 km узводно од ушћа у Обницу.

Разматрани профил се налази на територији општине Ваљево, у зони насеља Златарић, на око 8 km од града Ваљева.



Слика 9.6 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Златарић

Ретензиони простор разматраног профила карактерише углавном брдски предео, са речном долином ширине око 400 m. У зони преградног профила речна долина се сужава до ширине око 80 m.

Ретензијом би се већински заузело пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..), око 90%. Мали проценат потенцијалног заузетог земљишта је под шумама, око 5%.

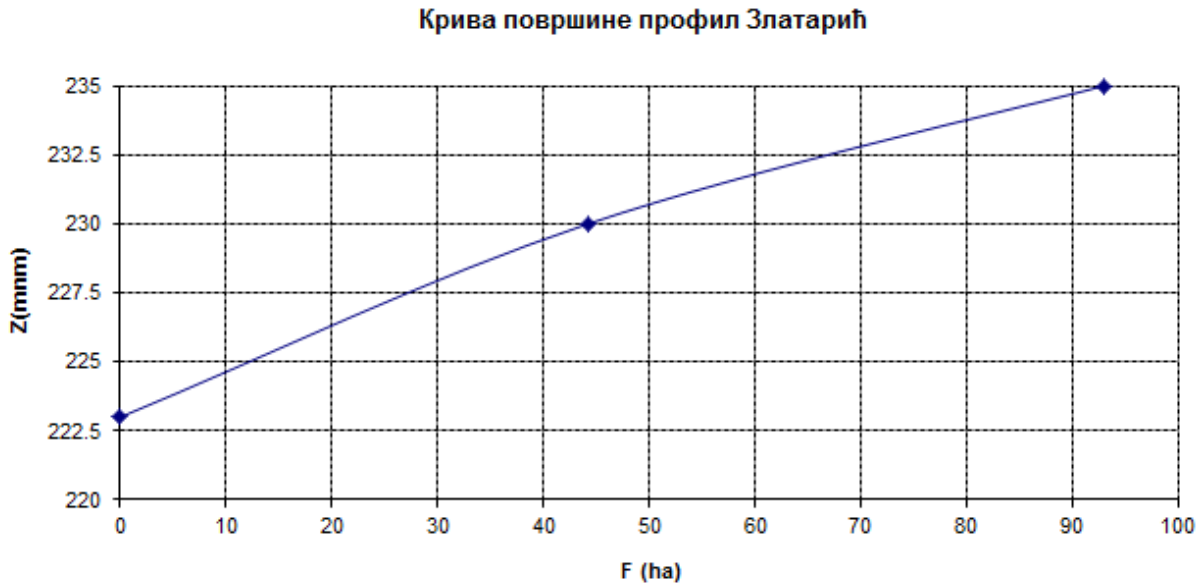
Што се тиче насељености, у ретензионом простору постоји врло мали број домаћинстава која се налазе уз локални некатегорисани пут.

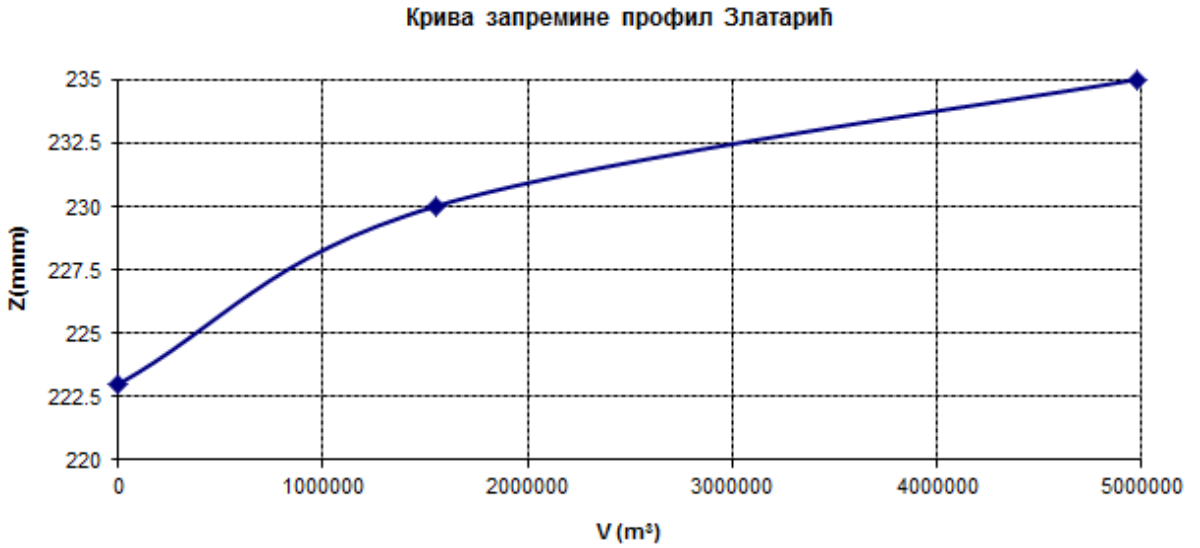
У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору тренутно не постоје нити су планском документацијом предвиђени значајни инфраструктурни објекти, који би представљали могуће ограничење. На узводном крају ретензионог простора постоји мањи индустријски објекат који би могао да представља потенцијално ограничење.

Ретензиони потенцијал профила Златарић је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.7 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Златарић

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
223		0,00				0,00
230	442240	44,22	221120	1547841	1547841	1,55
235	930032	93,00	686136	3430680	4978521	4,98





9.4.1.7 Профил Гајевићи

Профил Гајевићи се налази у горњем делу слива реке Градац, на реци Забави, која се спаја са Буковском реком и настаје река Градац. Профил се налази на око 1 km узводно од ушћа са Буковском реком.

Разматрани профил се налази на територији општине Ваљево, у атару села Гајевићи, на око 18 km од града Ваљева.



Слика 9.7 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Гајевићи

Како је кањон реке Градац предео изузетних одлика, једина могућност планирања ретензионих простора је у горњем делу слива.

Ретензиони простор разматраног профила карактерише углавном брдско-кањонски предео, са релативно уском речном долином ширине око 80 m

Ретензијом би се већински заузело шумско земљиште, око 80% док би се пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..) заузело око 10%.

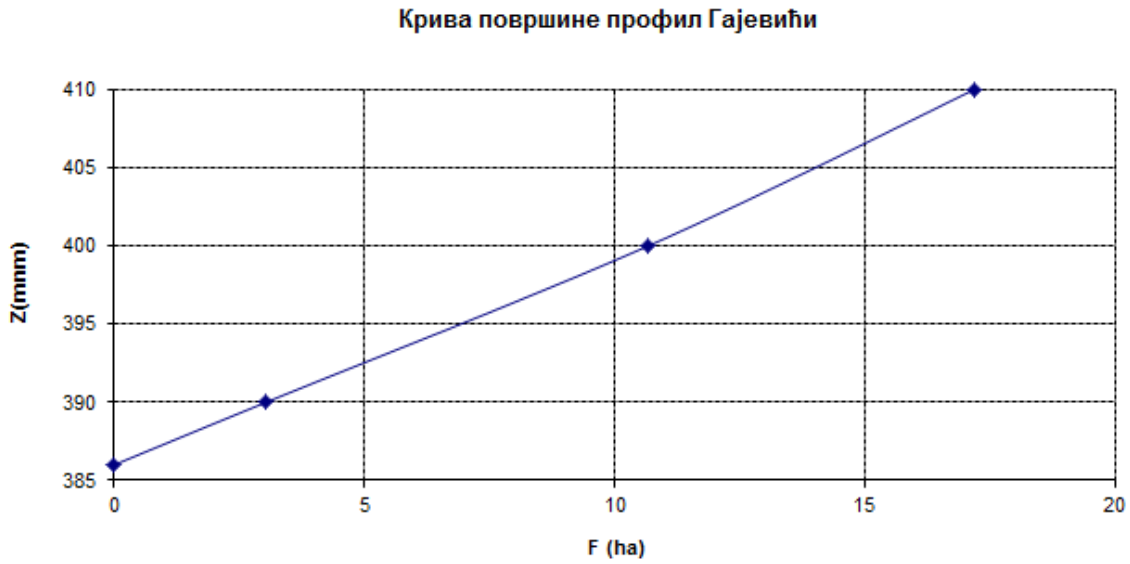
Што се тиче насељености, у ретензионом простору постоје сеоска домаћинстава која се налазе на падинама и близу реке.

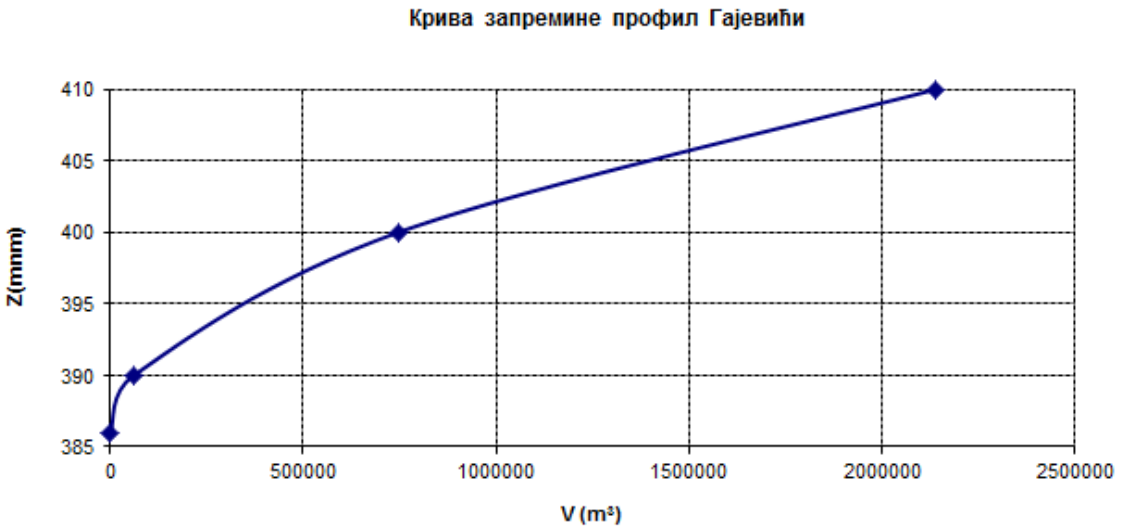
У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору тренутно не постоје нити су планском документацијом предвиђени значајни инфраструктурни објекти, који би представљали могуће ограничење. На десној обали ретензионог простора постоји пруга која је висински изнад ретензионог простора и не би требала да представља ограничење.

Ретензиони потенцијал профила Гајевићи је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.8 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Гајевићи

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
386		0,00				0,00
390	30321	3,03	15160	60641	60641	0,06
400	106777	10,68	68549	685488	746129	0,75
410	172021	17,20	139399	1393989	2140118	2,14





9.4.1.8 Профил Ластра

Профил Ластра се налази у горњем делу слива реке Градац, на Буковској реци, која се спаја са реком Забавом и настаје река Градац. Профил се налази на око 3,2 km узводно од ушћа са реком Забавом.

Разматрани профил се налази на територији општине Ваљево, код села Букови, на око 21 km од града Ваљева.



Слика 9.8 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Ластра

Ретензиони простор разматраног профила карактерише углавном брдско-кањонски предео, са речном долином ширине око 150 m

Ретензијом би се већински заузело шумско земљиште, око 60% док би се пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..) заузело око 30%.

Што се тиче насељености, у ретензионом простору постоји велики број домаћинстава.

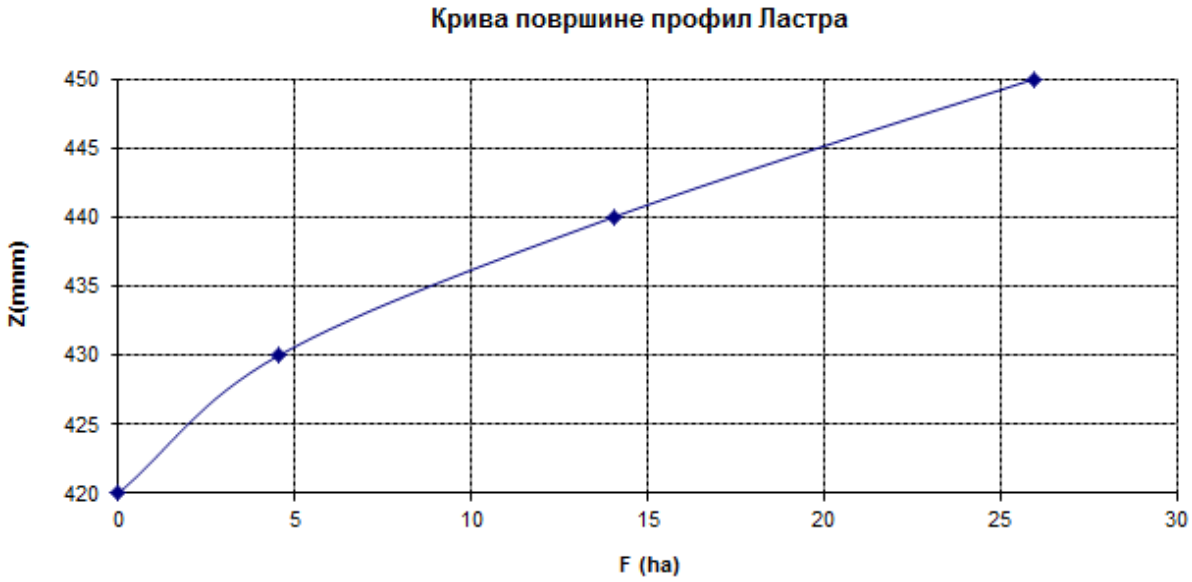
У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору пролази део трасе државног пута IБ реда, који може да представља ограничење. Планском документацијом нису предвиђени велики инфраструктурни објекти, који би представљали могуће ограничење.

На десној обали ретензионог простора постоји каменолом који представља могуће ограничење избора величине ретензионог простора.

Ретензиони потенцијал профила Ластра је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.9 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Ластра

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(mнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
420		0,00				0,00
430	45503	4,55	22752	227517	227517	0,23
440	140248	14,02	92875	928754	1156271	1,16
450	259603	25,96	199925	1999252	3155523	3,16

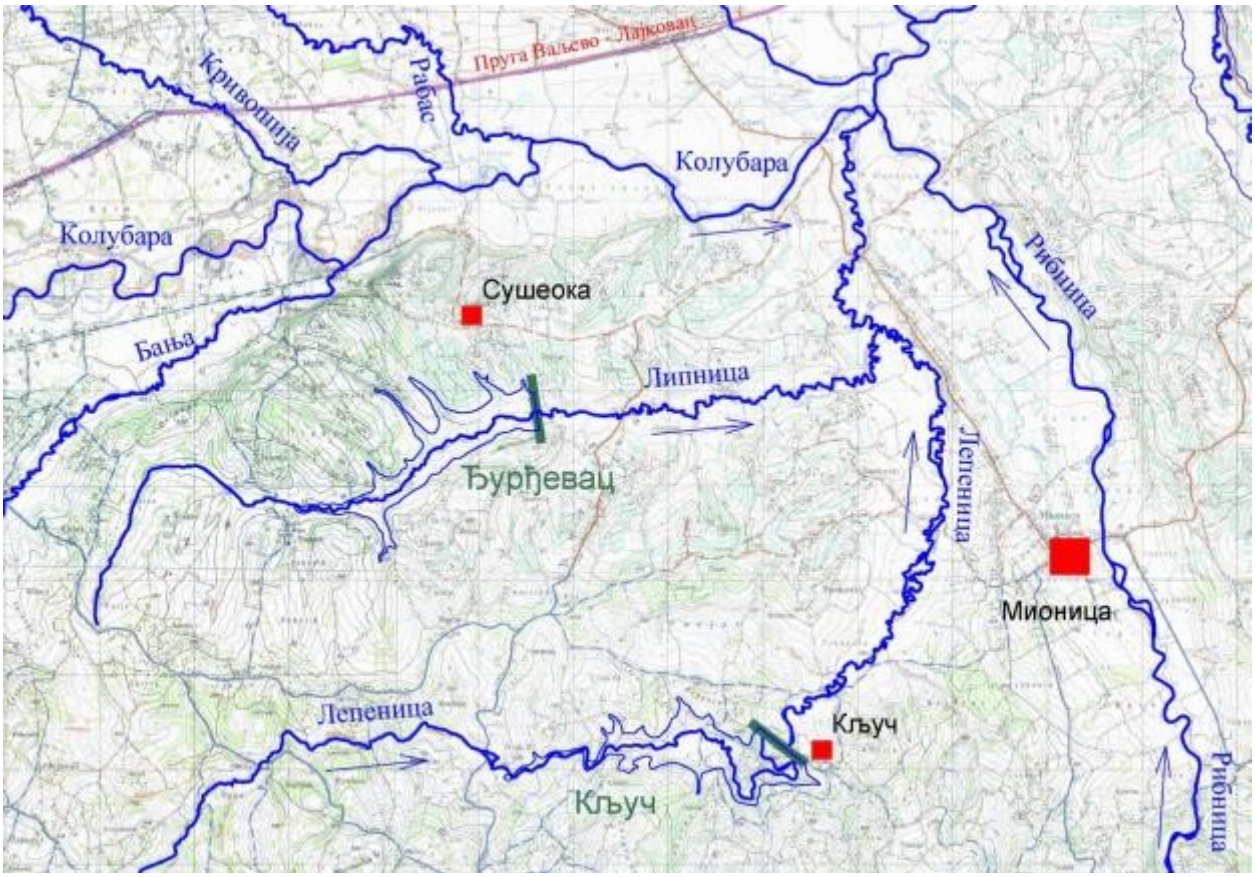




9.4.1.9 Профил Кључ

Зона профила Кључ се налази у доњем делу слива реке Лепенице, на око 13,3 km узводно од ушћа Лепенице у Колубару.

Разматрани профил се налази на територији општине Мионица, код насеља Кључ, на око 5 km од града Мионице.



Слика 9.9 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Кључ

Део слива који би се контролисао профилом Кључ је углавном брдски, са речном долином широком од око 80 m до преко 300 m. На локацији преградног профила речна долина се сужава до испод 80 m.

Ретензијом би се већински заузело шумско земљиште, око 80% док би се пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..) заузело око 20%.

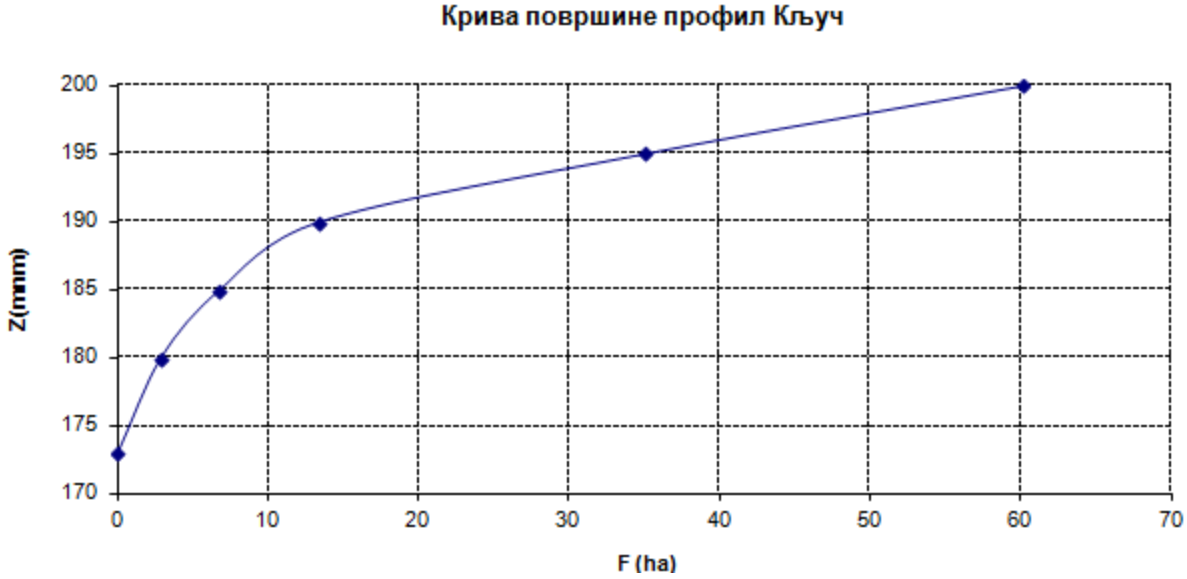
У ретензионом простору постоји врло мали број домаћинстава. Домаћинства се углавном налазе на врховима брда и изнад планираног ретензионог простора. Међусобно су повезана локалним некатегорисаним путевима, који једним делом пролазе кроз ретензиони простор.

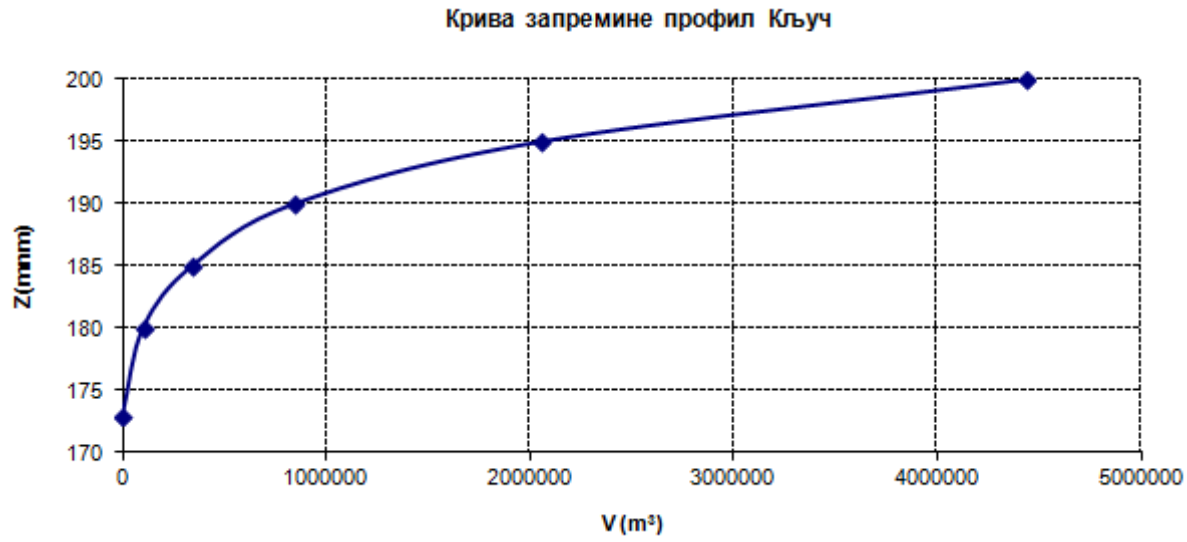
У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору тренутно не постоје нити су планском документацијом предвиђени значајни инфраструктурни објекти, који би представљали могуће ограничење.

Ретензиони потенцијал профила Кључ је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.10 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Кључ

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
173		0.00				0.00
180	28735.27	2.87	14367.64	100573.45	100573.45	0.10
185	67710.46	6.77	48222.87	241114.33	341687.77	0.34
190	134082.53	13.41	100896.50	504482.48	846170.25	0.85
195	349937.12	34.99	242009.83	1210049.14	2056219.38	2.06
200	600730.00	60.07	475333.56	2376667.81	4432887.19	4.43

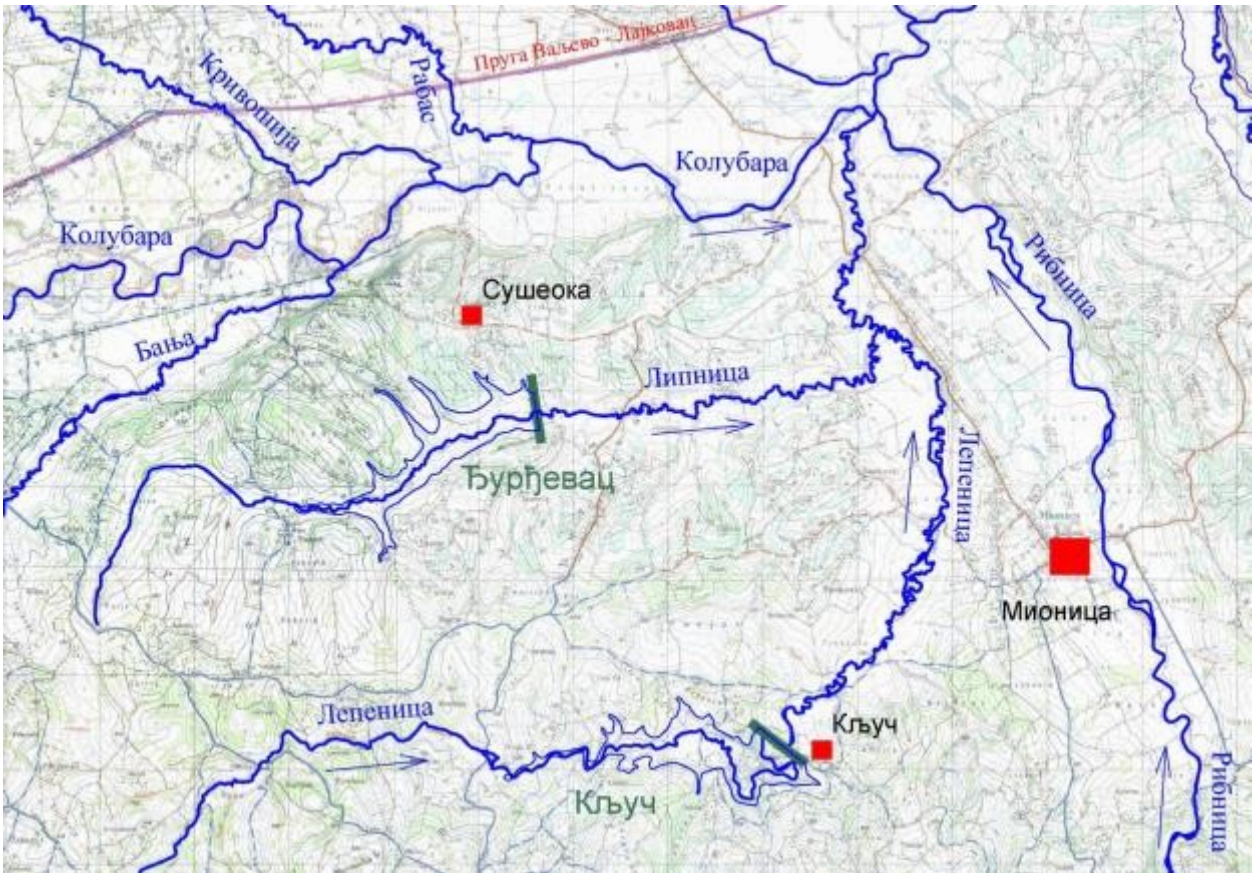




9.4.1.10 Профил Ђурђевац

Зона профила Ђурђевац се налази на реци Липници, левој притоци реке Лепенице, на око 6,3 km узводно од ушћа у Лепеницу.

Разматрани профил се налази на територији општине Мионица, код насеља Сушеока, на око 9 km од града Мионице.



Слика 9.10 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Ђурђевац

Део слива у којем је разматран профил Ђурђевац је брдско-долински. Преградни профил је лоциран на прелазу речне долине у брдски предео. Ширина речне долине се креће између 200 m и 500 m. На локацији преградног профила речна долина је широка око 450 m.

Ретензиони простор који би се формирао изградњом бране Ђурђевац заузимао би око 90% пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..), а врло мали проценат простор под шумама.

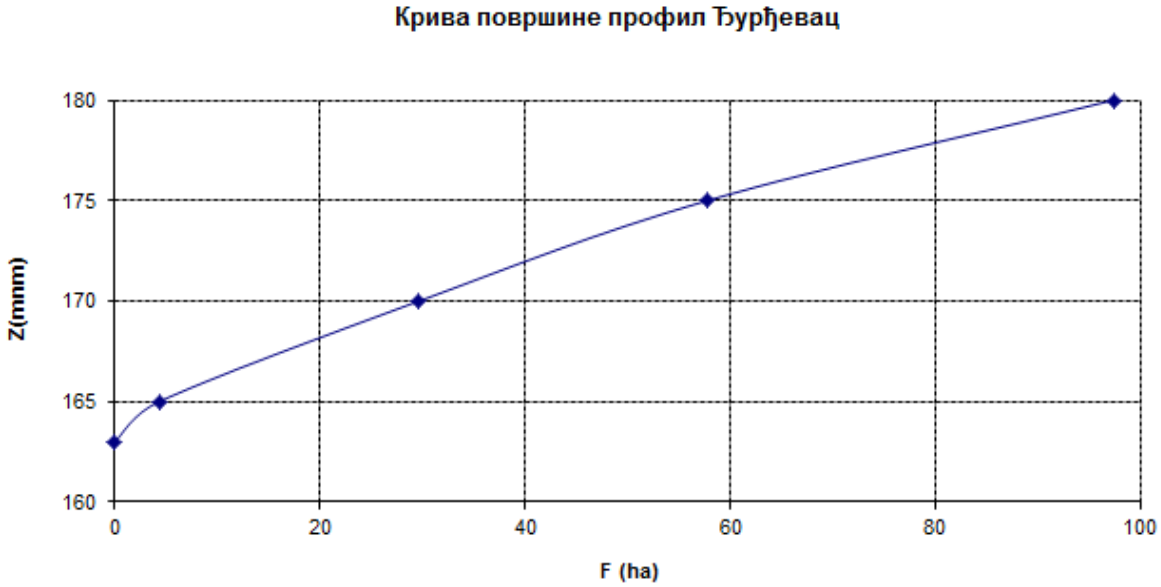
У ретензионом простору постоји врло мали број домаћинстава. Домаћинства се углавном налазе на врховима брда и изнад планираног ретензионог простора. Међусобно су повезана локалним некатегорисаним путевима, који једним делом пролазе кроз ретензиони простор.

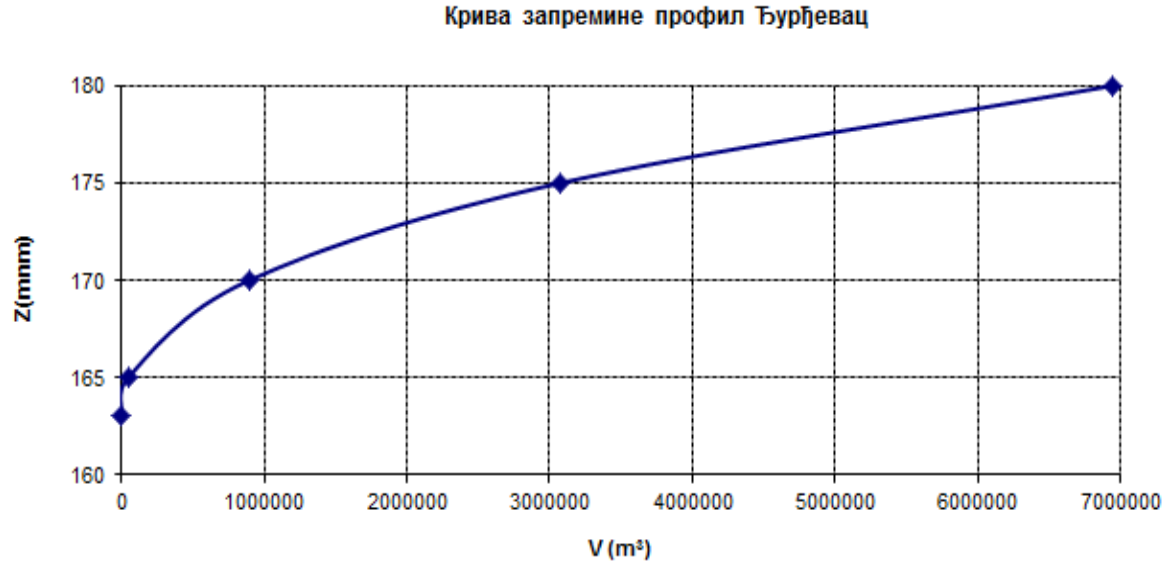
У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору тренутно не постоје нити су планском документацијом предвиђени значајни инфраструктурни објекти, који би представљали могуће ограничење.

Ретензиони потенцијал профила Ђурђевац је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.11 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Ђурђевац

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
163		0,00				0,00
165	43215	4,32	21608	43215	43215	0,04
170	296416	29,64	169816	849078	892293	0,89
175	577267	57,73	436842	2184209	3076502	3,08
180	973302	97,33	775284	3876422	6952925	6,95

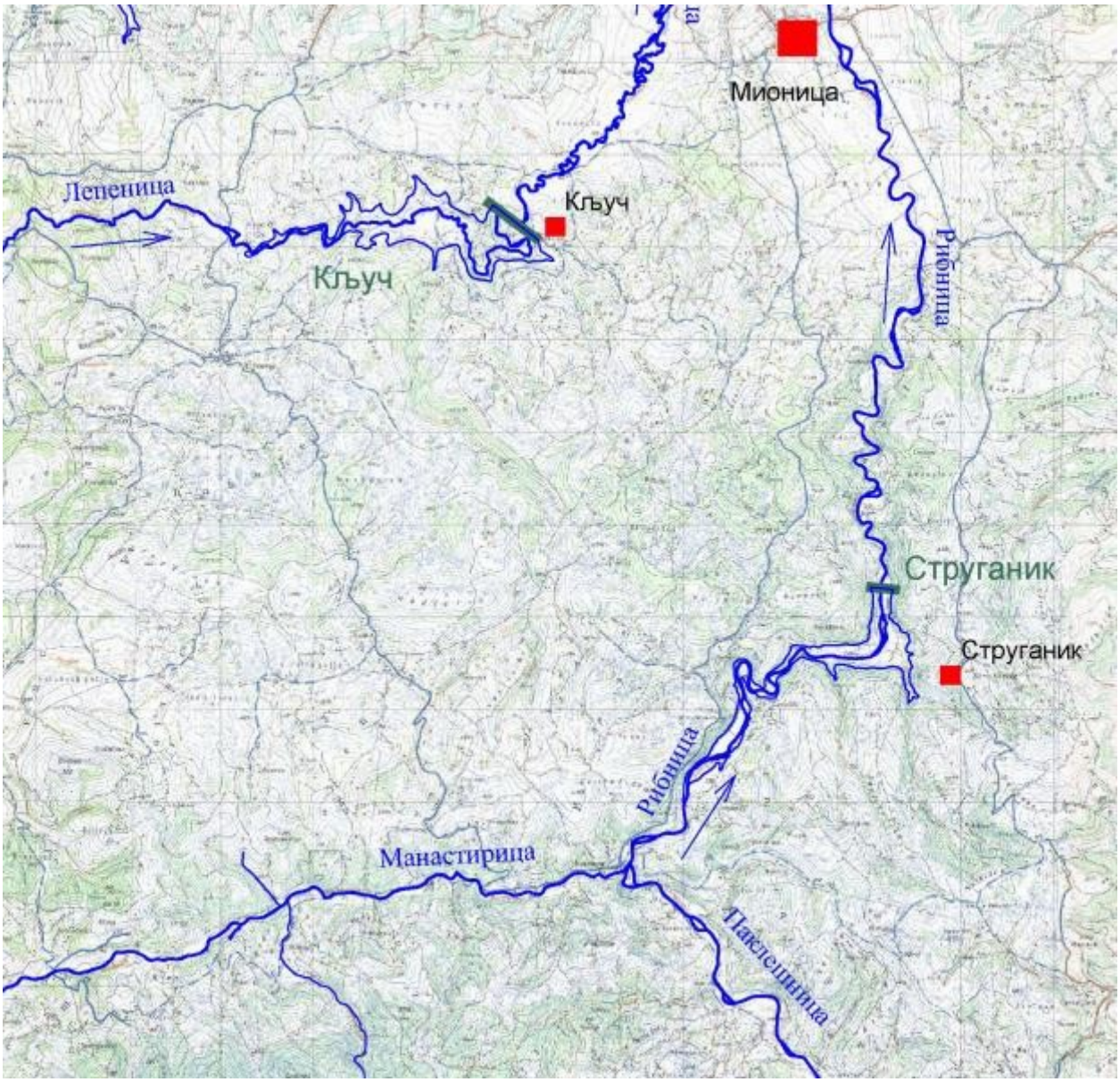




9.4.1.11 Профил Струганик

Зона профила Струганик се налази у централном делу слива реке Рибнице, на око 15,5 km узводно од ушћа у Колубару. Профилом Струганик би се контролисао целокупан узводни део слива реке.

Разматрани профил се налази на територији општине Мионица, код села Струганик, на око 7 km од града Мионице.



*Слика 9**Error! Reference source not found.**..11 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог ростора Струганик*

Део слива који би се контролисао профилом Струганик је углавном брдско-кањонског типа, са речном долином широком до 250 m. На локацији преградног профила речна долина се сужава до 150 m.

Ретензијом би се већински заузело пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..), око 70%. Проценат потенцијалног заузетог земљишта под шумама је око 20%.

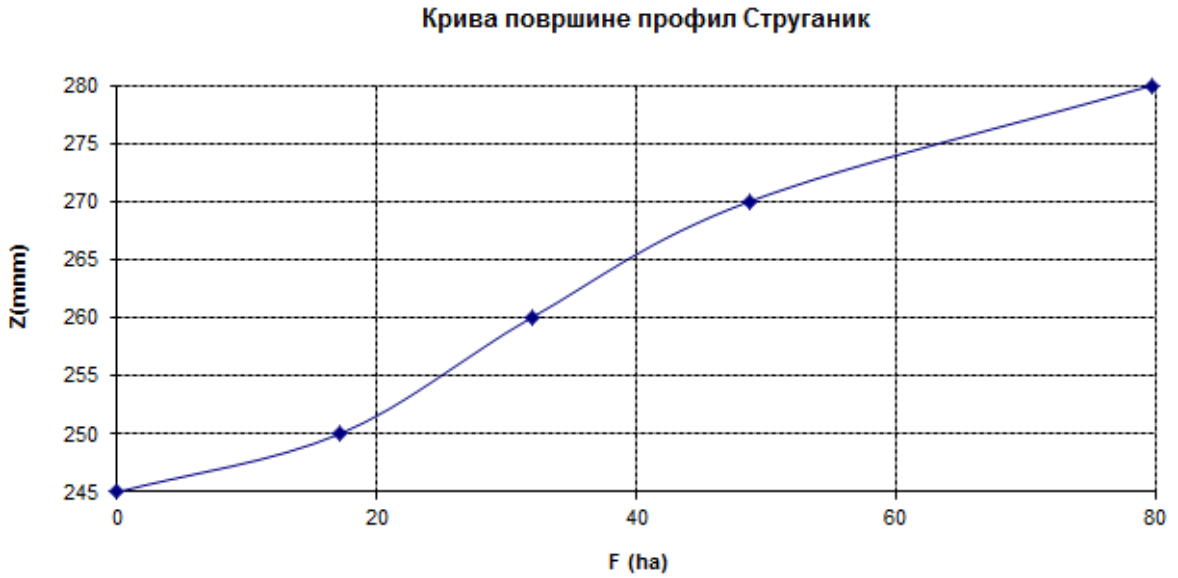
Што се тиче насељености, у ретензионом простору постоје домаћинства која су међусобно повезана локалним некатегорисаним путевима.

У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору тренутно не постоје нити су планском документацијом предвиђени значајни инфраструктурни објекти, који би представљали могуће ограничење. На узводном крају ретензионог простора постоји археолошко налазиште које би могло да представља потенцијално ограничење.

Ретензиони потенцијал профила Струганик је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.12 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Струганик

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
245		0,00				0,00
250	171325	17,13	85663	428314	428314	0,43
260	319048	31,90	245187	2451867	2880181	2,88
270	487030	48,70	403039	4030390	6910571	6,91
280	797619	79,76	642324	6423243	13333815	13,33

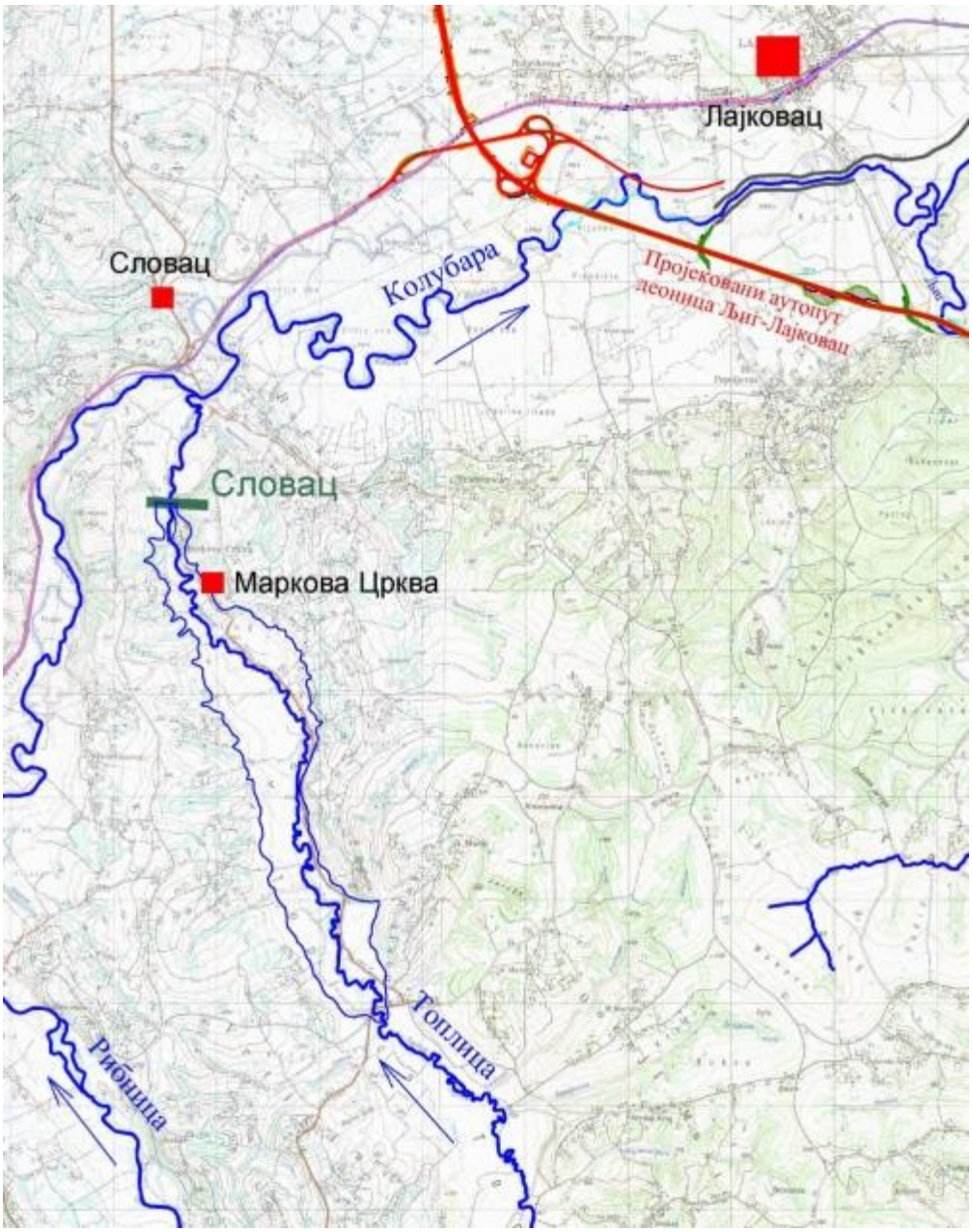




9.4.1.12 Профил Словац

Зона профила Словац се налази у доњем делу слива реке Топлице, на око 1,5 km узводно од ушћа у Колубару.

Разматрани профил се налази на територији општине Лајковац, код насеља Маркова Црква, на око 9 km од града Лајковац.



Слика 9.12 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Словац

Цео слив реке је брдског типа да доста широком речном долином која је насељена. Једини могући преградни профил који би контролисао цео слив је на његовом низводном крају. На локацији преградног профила речна долина се сужава до око 150 m.

Ретензијом би се заузела у великој мери речна долина где је већински пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..), око 95%.

Што се тиче насељености, ретензони простор је доста насељен, постоји насеље Маркова Црква и велики број домаћинстава.

Кроз ретензиони простор се пружа саобраћајница Словац-Миоица и локални некатегорисани путеви.

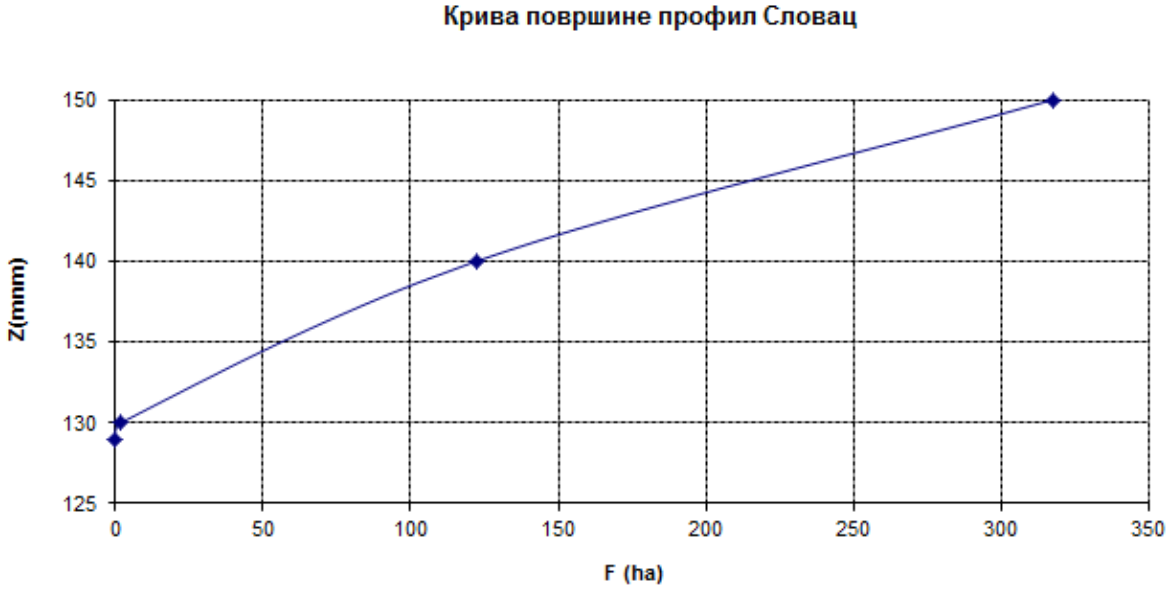
У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору тренутно не постоје нити су планском документацијом предвиђени значајни инфраструктурни објекти, који

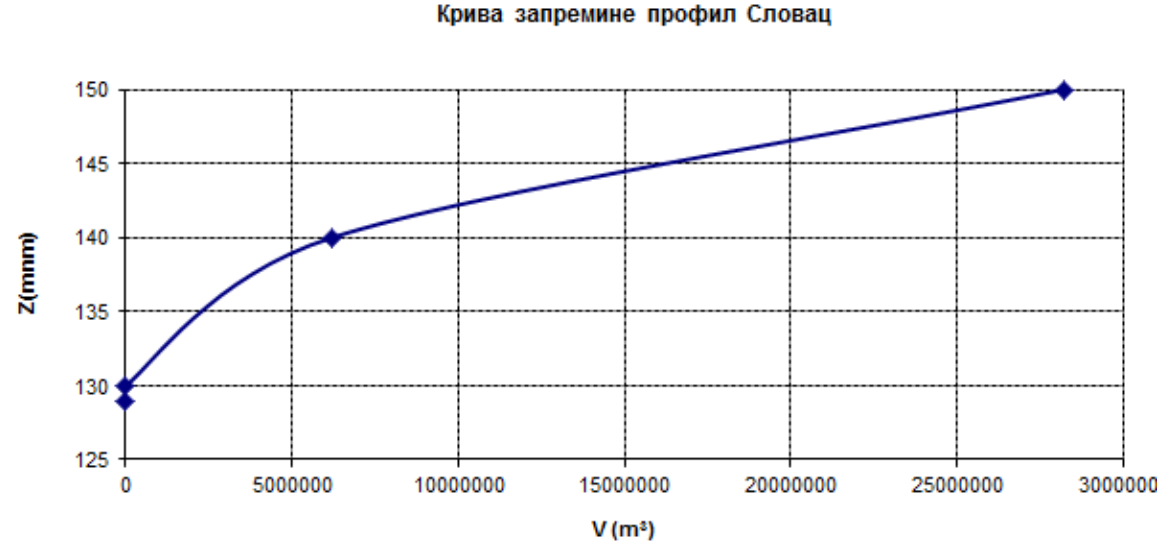
би представљали могуће ограничење. Озбиљно ограничење представља чињеница да би се изградњом ретензије потопио већи део насеља Маркова Црква.

Ретензиони потенцијал профила Словац је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.13 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Словац

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
129		0,00				0,00
130	16343	1,63	8171	8171	8171	0,01
140	1221304	122,13	618823	6188234	6196405	6,20
150	3176999	317,70	2199151	21991515	28187920	28,19

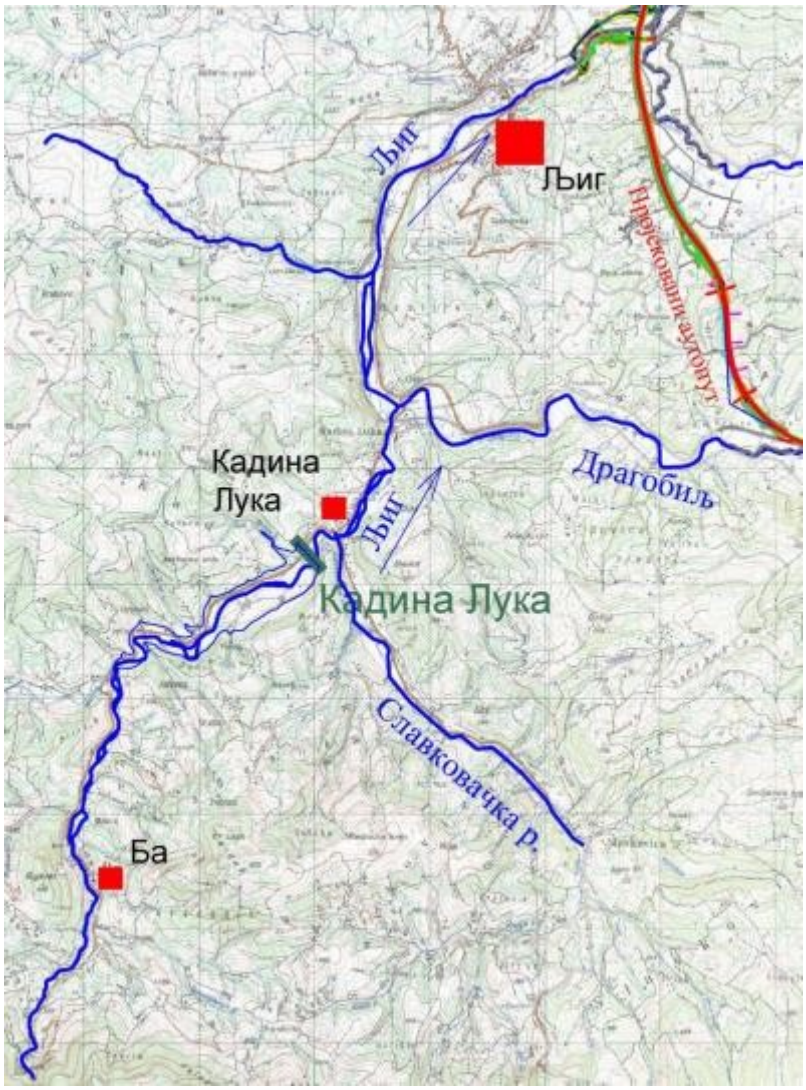




9.4.1.13 Профил Кадина Лука

Зона профила Кадина Лука се налази у горњем делу слива реке Љиг, на око 36,6 km узводно од ушћа у Колубару.

Разматрани профил се налази на територији општине Љиг, код села Кадина Лука, на око 5 km од града Љиг.



Слика 9.13 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Кадина Лука

Део слива који би се контролисао профилом Кадина Лука је углавном брдско-кањонског типа, са речном долином широком до 250 m. На локацији преградног профила речна долина се сужава до 150 m.

Ретензијом би се већински заузело пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..), око 70%. Проценат потенцијалног заузетог земљишта под шумама је око 20%.

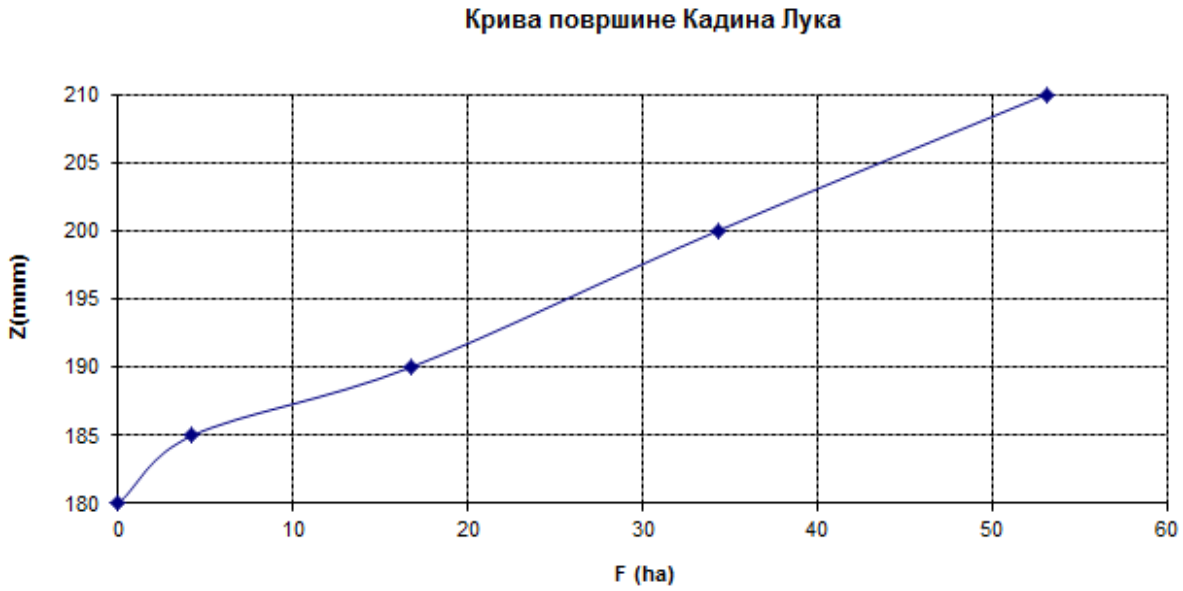
Што се тиче насељености, у ретензионом простору постоје домаћинства која су међусобно повезана локалним некатегорисаним путевима.

У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору пролази део трасе државног пута IIБ реда. Планском документацијом нису предвиђени велики инфраструктурни објекти, који би представљали могуће ограничење.

Ретензиони потенцијал профила Кадина Лука је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.14 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Кадина Лука

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
180		0,00				0,00
185	42479	4,25	21239	106197	106197	0,11
190	167296	16,73	104887	524436	630633	0,63
200	342915	34,29	255106	2551055	3181688	3,18
210	530841	53,08	436878	4368780	7550469	7,55

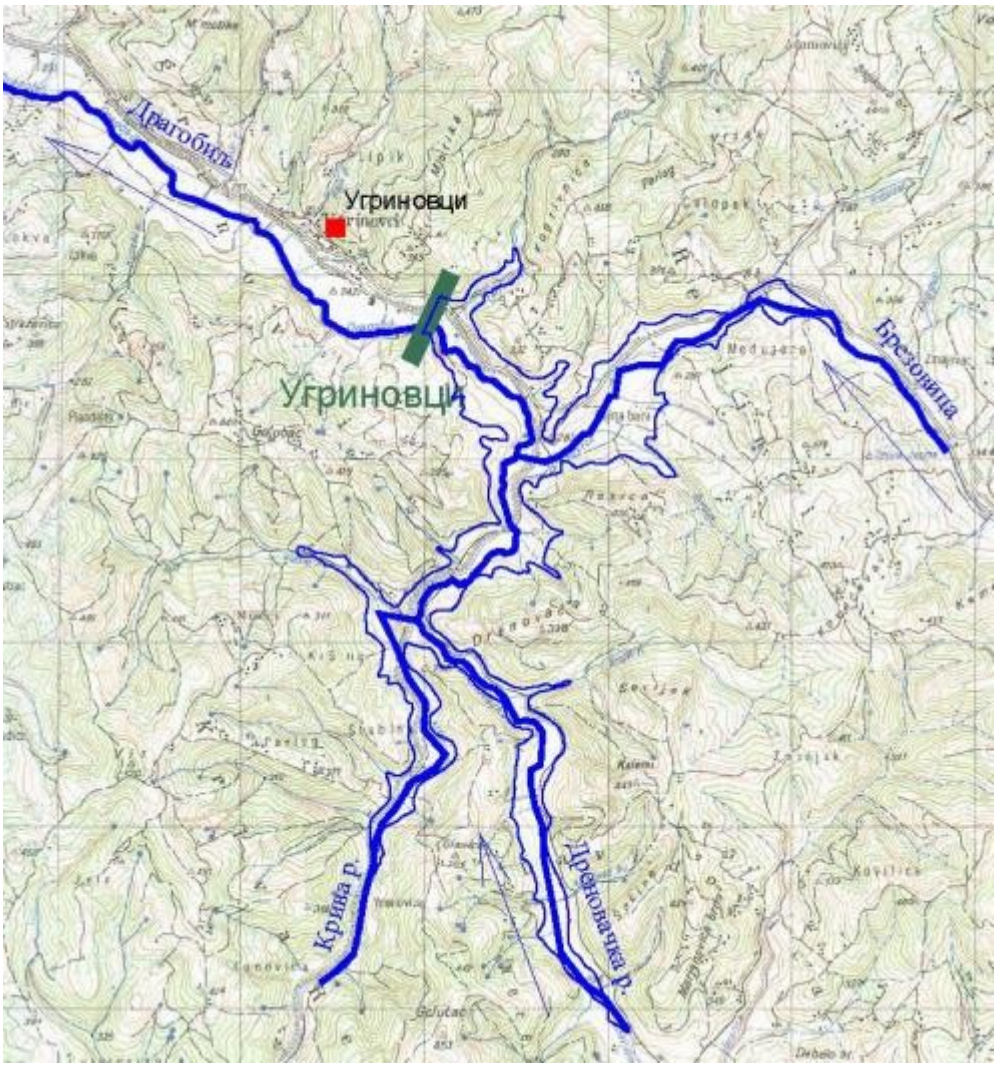




9.4.1.14 Профил Угриновци

Зона профила Угриновци се налази на реци Драгобиљ, десној притоци реке Лепенице, на око 18,4 km узводно од ушћа у Љиг.

Разматрани профил се налази на територији општине Горњи Милановац, код насеља Угриновци, на око 19 km од града Љиг.



Слика 9.14 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Угриновци

Део слива у којем је разматран профил Угриновци је брдско-долински. Ширина речне долине се креће између 150 m и 300 m. На локацији преградног профила речна долина је широка око 180 m.

Ретензијом би се већински заузело пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..), око 60%. Проценат потенцијалног заузетог земљишта под шумама је око 30%.

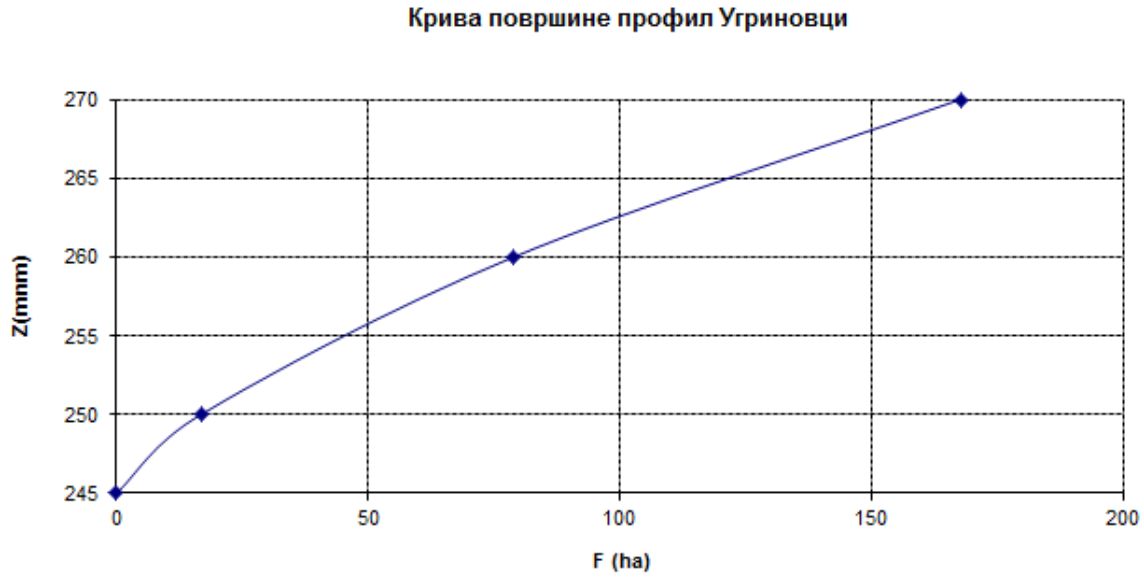
У ретензионом простору постоји врло мали број домаћинстава. Домаћинства се углавном налазе на врховима брда и изнад планираног ретензионог простора. Међусобно су повезана локалним некатегорисаним путевима, који једним делом пролазе кроз ретензиони простор.

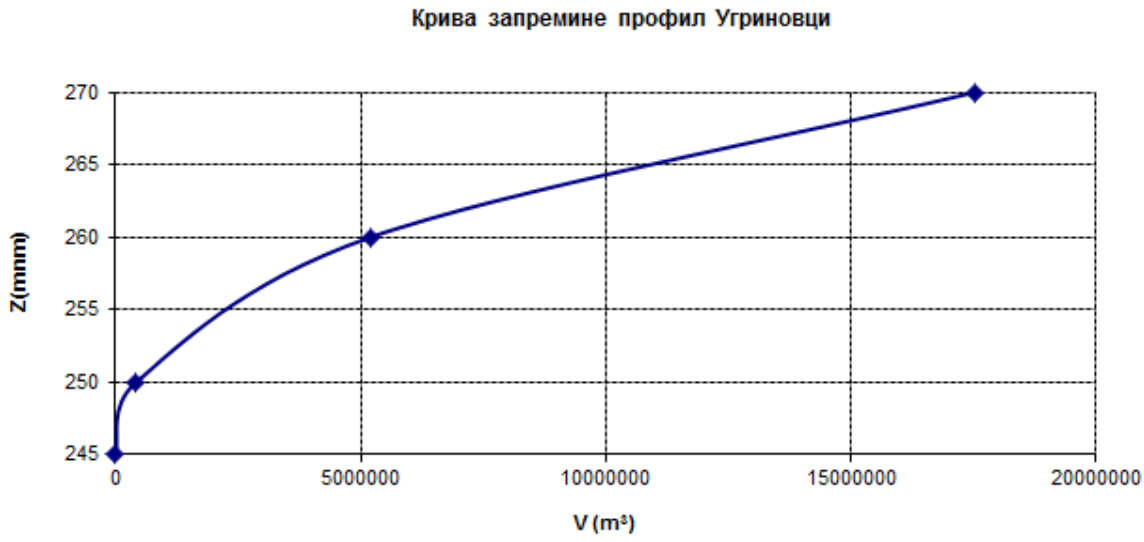
У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору пролази део трасе државног пута IБ реда (Ибарска магистрала), који може да представља ограничење. Планском документацијом нису предвиђени велики инфраструктурни објекти, који би представљали могуће ограничење.

Ретензиони потенцијал профила Угриновци је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.15 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Угриновци

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
245		0,00				0,00
250	167696	16,77	83848	419240	419240	0,42
260	788769	78,88	478232	4782324	5201564	5,20
270	1676079	167,61	1232424	12324240	17525804	17,53





9.4.1.15 Профил Ивановци

Зона профила Ивановци се налази на реци Качер, десној притоци реке Љиг, на око 5,6 km узводно од ушћа ове реке у реку Љиг.

Разматрани профил се налази на територији општине Љиг, код насеља Ивановци, на око 7 km од града Љиг.

На предвиђеном профилу Ивановци, површина слива реке Качер износи 214 km^2.



Слика 9.15 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Ивановци

На локацији преградног профила, речна долина је ширине до 120 m.

Ретензиони простор који би се формирао изградњом ретензионе бране би обухватио долину реке Качер и део долине реке Козељице (леве притоке Качера) и део долине реке Тисавице (леве притоке Козељице).

Ширина речне долине се креће између 150 m и 300 m.

Ретензијом би се већински заузело пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..), око 70%. Проценат потенцијалног заузетог земљишта под шумама је око 20%.

У ретензионом простору постоје велики број домаћинстава. Изградњом ретенензионе бране би врло вероватно морао да се измести центар села Ивановци и евентуално Пољанице.

У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору пролазе два пута – пут који повезује Ибарску магистралу - државни пут ІБ реда (Ибарска магистрала) са насељем Белановица, и пут ка насељу Козељ.

Врло је вероватно да је делове траса овог пута неопходно измеситити из ретензионог простора.

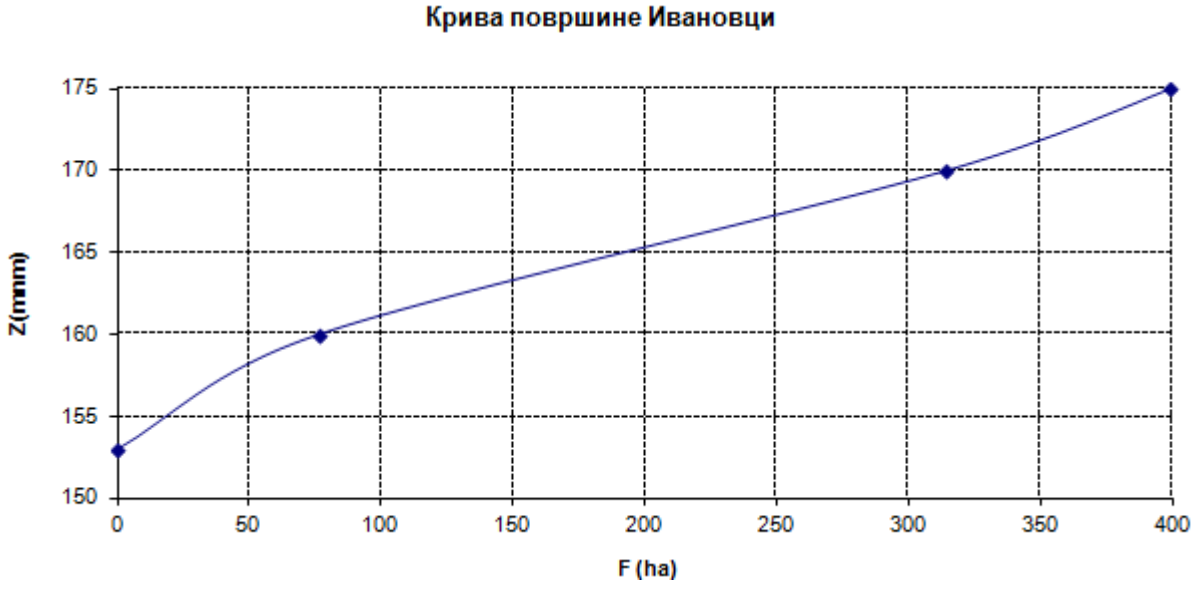
Измештање делова насеља Ивановци и Пољанице, као и измештање делова траса локалних путева, и потапање обрадивог земљишта представљају ограничења у даљем разматрању овог ретензионог простора.

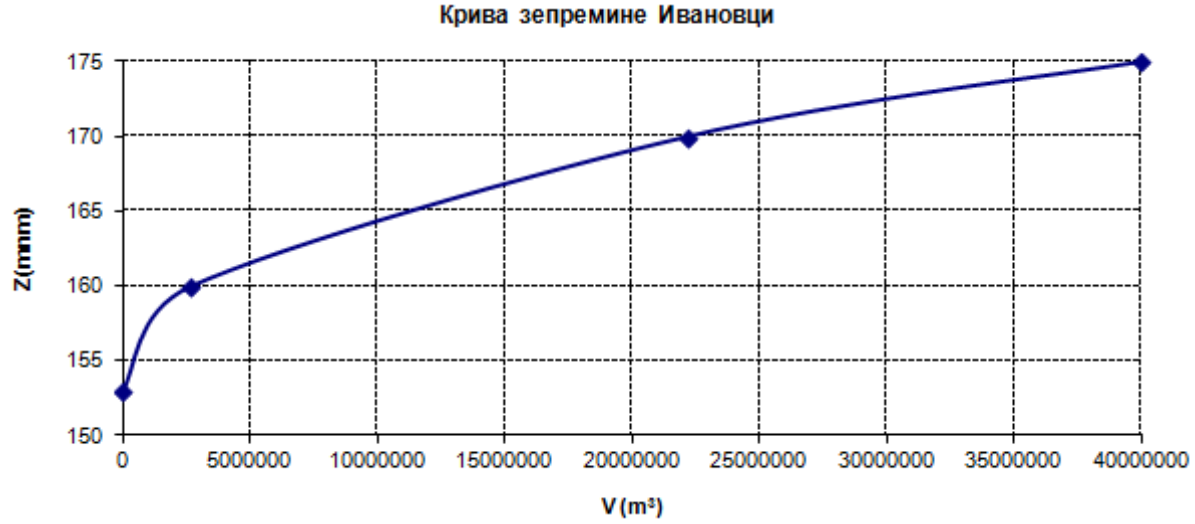
Позитивна страна овог преградног профила је што контролише већи део слива реке Качер и да би се изградњом ове ретензије значајно редуковао поплавни талас реке Качер, а тиме и поплавни талас реке Љиг и Колубаре.

Ретензиони потенцијал профила Ивановци је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.16 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Ивановци

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
153		0,00				0,00
160	760150	76,02	380075	2660526	2660526	2,66
170	3136778	313,68	1948464	19484640	22145166	22,15
175	3989491	398,95	3563134	17815672	39960838	39,96





9.4.1.16 Профил Пољанице

Као могућа антернативна решења за ретензионе просторе на сливу реке Качер у односу на ретензију која би се формирана изградњом бране на профилу Ивановци (ова варијанта би захтевала измештање делове трасе локалних путева, делове насеља и потапање пољопривредног земљишта) могу се разматрати и профили Пољанице на реци Качер и Козељ на реци Козељици – лева притока реке Качер. Оба профила се налазе узводно од профила Ивановци. У наставку је дат опис ова два профила.

Разматрани профил Пољанице се налази на територији општине Љиг, узводно од насеља Пољанице, на око 12,8 km узводно од ушћа реке Качер у реку Љиг, односно на око 14,2 km од града Љиг.



Слика 9.16 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Пољанице

На локацији преградног профила, речна долина је ширине до 250 m.

Ретензиони простор који би се формирао изградњом ретензионе бране би обухватио долину реке Качер до насеља Белановица.

Ширина речне долине се креће између 250 m и 400 m.

Ретензијом би се већински заузело пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..).

У ретензионом простору постоји мали број домаћинстава.

У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору пролази пут који повезује Ибарску магистралу са насељем Белановица.

Врло је вероватно да је делове трасе овог пута неопходно измеситити из ретензионог простора.

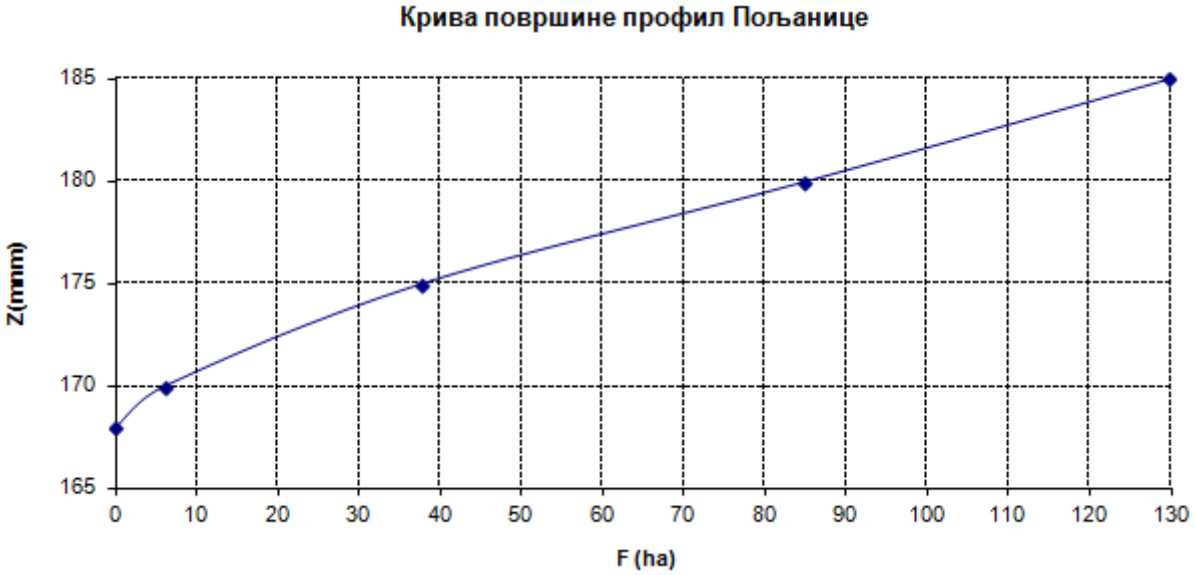
Измештање делова делова трасе локалног пута, и потапање обрадивог земљишта представљају ограничења у даљем разматрању овог ретензионог простора.

Позитивна страна овог преградног профила је што контролише део слива реке Качер и да би се изградњом ове ретензије редуковао поплавни талас реке Качер, а тиме и поплавни талас реке Љиг и Колубаре.

Ретензиони потенцијал профила Пољанице је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.17 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Пољанице

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
168		0,00				0,00
170	59741	5,97	29870	59741	59741	0,06
175	375476	37,55	217608	1088042	1147782	1,15
180	848161	84,82	611819	3059094	4206876	4,21
185	1295160	129,52	1071661	5358303	9565179	9,57





9.4.1.17 Профил Козељ

Разматрани профил Козељ се налази на територији општине Љиг, узводно од насеља Козељ, на око 5,8 km узводно од ушћа реке Козељице у реку Качер, узводно од насеља Козељ и на око 18,0 km од Љига.

На предвиђеном профилу Козељ, површина слива реке Качер износи 31 km^2.



Слика 9.17 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Козељ

На локацији прегрaдног профила, речна долина је ширине до 120 m.

Ретензиони простор који би се формирао изградњом ретензионе бране би обухватио долину реке Козељице узводно од профила и обухватио долине Трудељске реке и Дубоког потока – водотокови коју чине Козељицу.

Ширина речне долине се креће између 120 m и 250 m.

Ретензијом би се већински заузело пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..).

У ретензионом простору постоје мали број домаћинстава.

У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору постоји приступни пут њивама и домаћинствима која би се нашла у будућој ретензији.

Врло је вероватно да је делове трасе овог пута неопходно потребно измеситити из ретензионог простора.

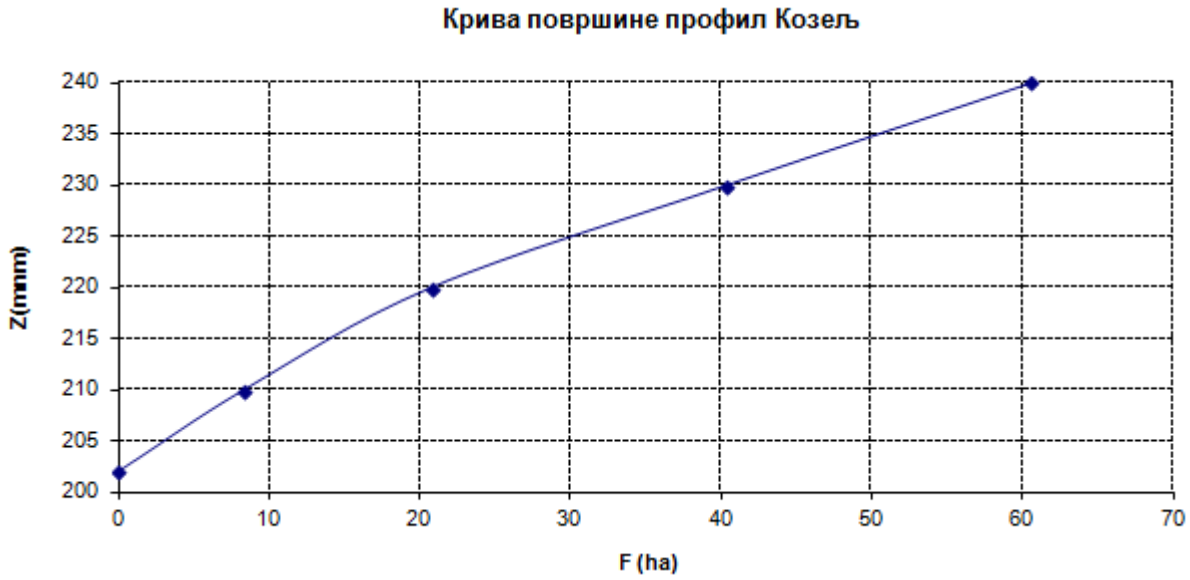
Потапање обрадивог земљишта и измештање домаћинстава из ретензионог простора представљају ограничења у даљем разматрању овог ретензионог простора.

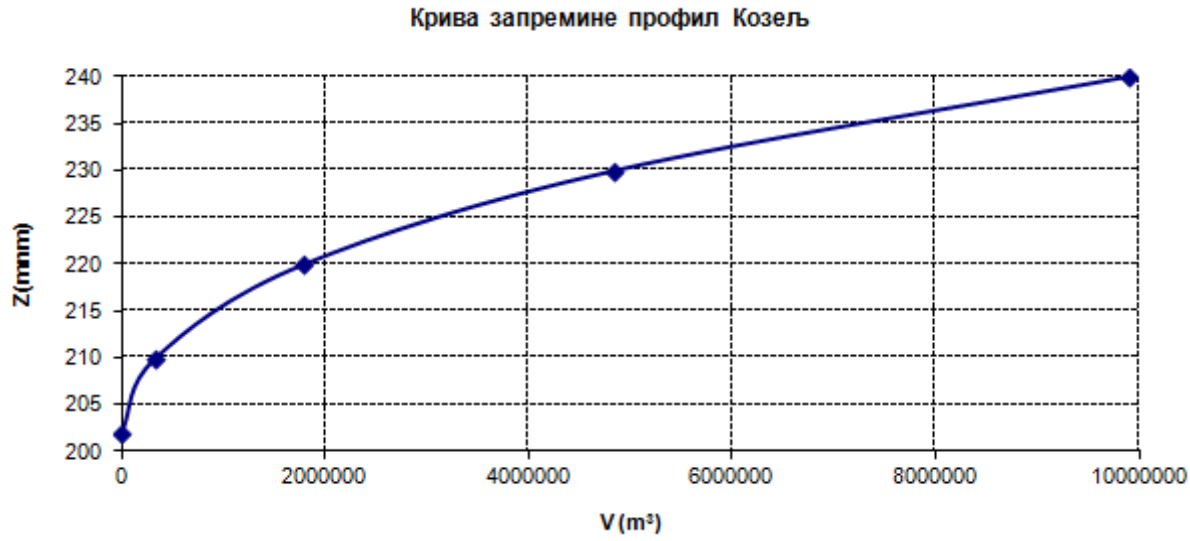
Позитивна страна овог прегрaдног профила је што контролише део слива реке Качер и да би се изградњом ове ретензије редуковао поплавни талас реке Козељице, а тиме и делимично поплавни талас река Качер, односно Љиг и Колубаре.

Ретензиони потенцијал профила Козељ је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.18 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Козељ

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
202		0,00				0,00
210	83436	8,34	41718	333743	333743	0,33
220	207404	20,74	145420	1454198	1787941	1,79
230	403064	40,31	305234	3052338	4840278	4,84
240	605334	60,53	504199	5041988	9882266	9,88





9.4.1.18 Профил Брајковац

Разматрани профил Брајковац, налази се на реци Оњег, неопсоредно низводно од ушћа реке Црнишаве у реку Оњег. Разматрани профил налази се налази на територији града Београд, односно градске општине Лазаревац, узводно од насеља Брајковац, на око 9,0 km узводно од ушћа реке Оњег у реку Колубару, узводно од насеља Брајковац.

На предвиђеном профилу Брајковац на реци Оњег, површина слива реке Оњег износи око 28 km^2.



Слика 9.18 Ситуациони приказ зоне профила и ретензионог простора Брајковци

На локацији преградног профила, речна долина је ширине до 400 m.

Ретензиони простор који би се формирао изградњом ретензионе бране би обухватио долину реке Оњег и део долине десне притоке реке Црнишаве.

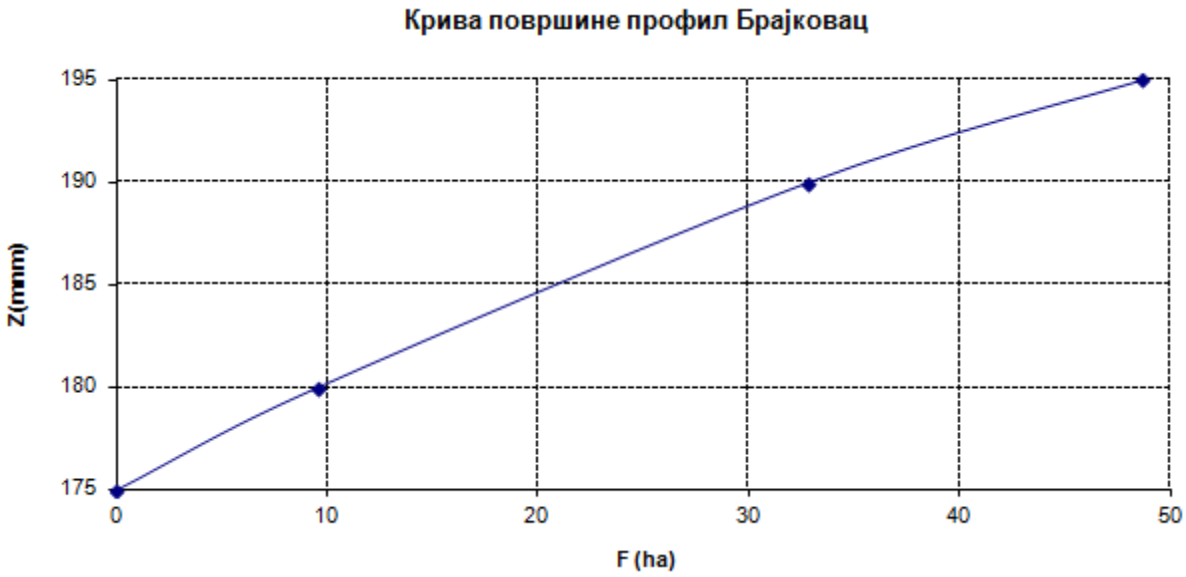
Ретензони простор би се већински заузео шумско земљиште и у мањем делу пољопривредно земљиште. На десној обали постоје домаћинстава, које је неопходно измесити.

У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору не постоје саобраћајнице, осим приступног пута обрадивом земљишту.

Ретензиони потенцијал профила Брајковац је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.19 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Брајковац

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
175	0	0,00	0	0	0	0,00
180	95308	9,53	47654	238271	238271	0,24
190	327976	32,80	211642	2116421	2354692	2,35
195	486269	48,63	407122	2035611	4390303	4,39





9.4.1.19 Профил Рудовци

У оквиру овог и наредних четири поглавља биће описани профили на реци Пештан и притокама Пештана – Даросавица, Бистрица и Трбушница. Ови профили су детаљно разматрани у оквиру пројектне документације која је третирала регулацију реке Пештан и контролу отицања поплавних вода у циљу заштите површинских копова у оквиру рударског басена Колубара. С`тим у вези урађени су Генерални (прихватила републичка ревизиона комисија – решење бр.350-01-01196/2007-10 и Идејни пројекат који су обрадили предметну тематику, односно изанализирани су профили који ће бити описани у овом поглављу и наредних четири поглавља.

У оквиру наведене пројектне документације дефинисано је 5 преградних профила на којима су предвиђене ретензионе бране. То су профили Рудовци и Крушевица на реци Пештан, профил Даросавица на реци Даросавици (десна притока реке Пештан), профили Бистрица и Трбушница на истоименим рекама.

Изградњом ретензионих брана, узводно се формирају ретензиони простори такви својом запремином да прихвате поплавни талас стогодишње велике воде са дела слива који контролишу – узводно од ретензионе бране.

Раније рађеним анализама (пре генералног и идејног пројекта, који су описани у уводу овог поглавља) била је предвиђена једна висока брана на профилу Рудовци која би својом запремином прихатила комплетан поплавни талас стогодишње велике воде простора који контролише. Од високе бране Рудовци се одустало и прешло се на разматрање два профила Рудовци и Крушевица. Разлог што се одустало од једне високе бране Рудовци је тај што би се у ретензионом простору нашло насеље Крушевица и морало комплетно да исели, у ретензионом простору би се нашао и прилаз руднику Крушевица и морала би да се измести комплетна траса регионалног пута који води ка Аранђеловцу – R 201, по старој номенклатури обележавања путева.



Слика 9.19 Ситуациони план са приказом разматраних ретензија на Пештану и притокама Даросавици, Бистрици и Трбушници

Преградни профил Рудовци, налази се на ~19,9 km тока реке Пештан, непосредно узводно од насеља Рудовци. На профилу Рудовци предвиђена је изградња ретензионе бране и ова преграда представља низводну преграду на реци Пештан (узводно од профила Рудовци налази се профил Крушевица на реци Пештан).

На предвиђеном профилу Рудовци на реци Пештан, површина слива реке Пештан износи 62,5 km^2. С`обзиром да се профил Рудовци налази низводно од профила Крушевица, на овој ретензији би припало око 11,8 km^2 слива.

Профил Рудовци и ретензиони простор леже на територији града Београда – градске општине Лазаревац.

У оквиру ретензионог простора заступљено је пољопривредно земљиште. Такође у будућој ретензији Рудовци постоји и одређени број домаћинстава које је неопходно иселити.

Од важнијих инфраструктурних објеката, у ретензији постоји регионални пут ка Аранђеловцу – раније регионални пут R 201.

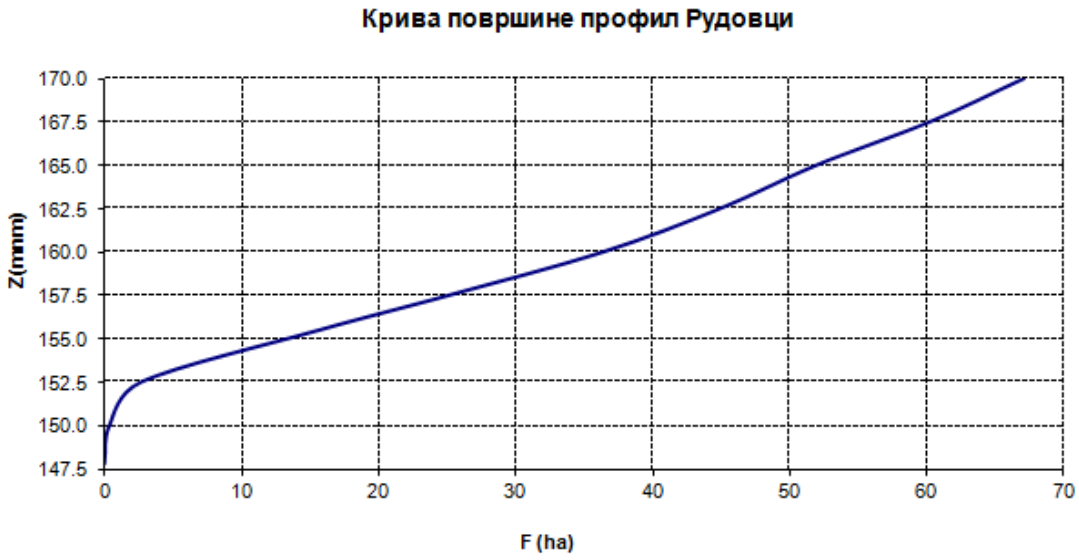
Домаћинства и део трасе регионалног пута је неопходно изместити.

Ретензиони потенцијал профила Рудовци је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Напомињемо да је у табелама и графицима у наставку дата површина и запремина ретензионог простора Рудовци, редукованог до профила Крушевица – узводна каскада на реци Пештан.

Слика 9.20 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Рудовци

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
147.8		0,00				0,00
150.0	3642	0,36	1821	4552	4552	0,00
152.5	26672	2,67	15157	37892	42444	0,04
155.5	156556	15,66	91614	229035	271479	0,27
157.5	251009	25,10	203782	509456	780935	0,78
160.0	363445	36,34	307227	768068	1549003	1,55
162.5	448702	44,87	406073	1015183	2564186	2,56
165.0	518918	51,89	483810	1209525	3773711	3,77
167.5	601602	60,16	560260	1400650	5174361	5,17
170.0	670466	67,05	636034	1590085	6764445	6,76





9.4.1.20 Профил Крушевица

Преградни профил Крушевица, налази се на ~22,7 km тока реке Пештан, непосредно узводно од насеља Крушевица.

На профилу Крушевица предвиђена је изградња ретензионе бране и ова преграда представља узводну прегаду на реци Пештан (низводно од профила Крушевица налази се профил Рудовци на реци Пештан).

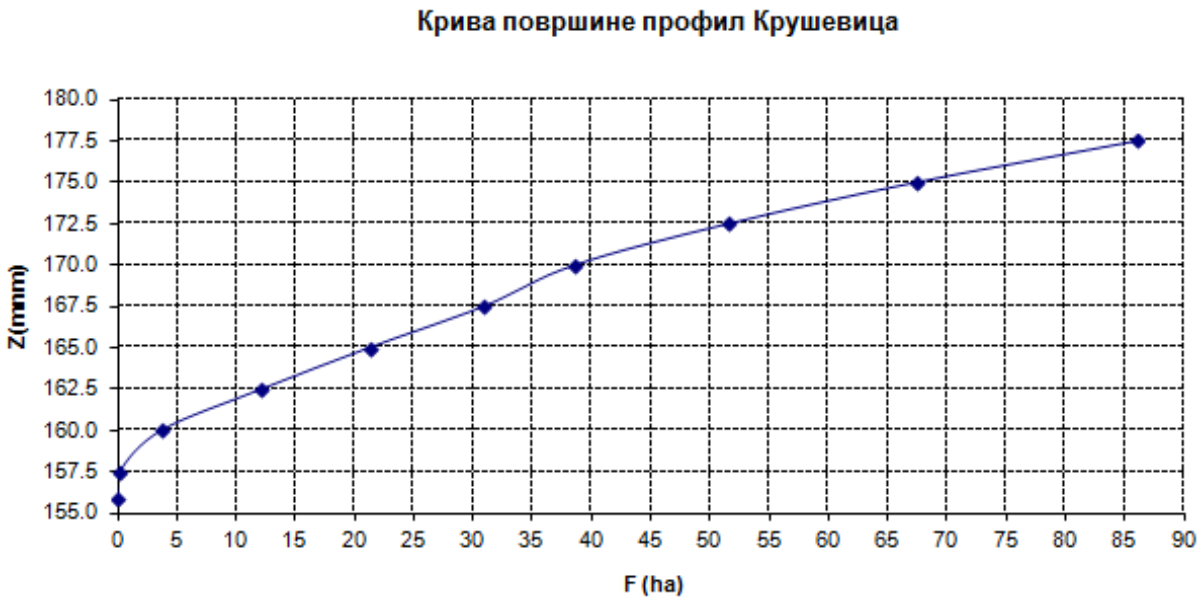
Профил Крушевица и део ретензионог простора лежи на територији града Београда – градске општине Лазаревац, а остатак ретензионог простора на територији општине Аранђеловац.

У оквиру ретензионог простора заступљено је пољопривредно земљиште. У будућој ретензији Крушевица нема домаћинстава које је неопходно иселити.

Ретензиони потенцијал профила Крушевица је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.21 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Крушевица

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
155.9		0,00				0,00
157.5	1289	0,13	644	1611	1611	0,00
160.0	36602	3,66	18945	47363	48974	0,05
162.5	121153	12,12	78877	197193	246167	0,25
165.0	211899	21,19	166526	416315	662483	0,66
167.5	308598	30,86	260249	650622	1313104	1,31
170.0	385392	38,54	346995	867488	2180592	2,18
172.5	515063	51,51	450228	1125569	3306161	3,31
175.0	673269	67,33	594166	1485415	4791576	4,79
177.5	859610	85,96	766439	1916098	6707675	6,71





9.4.1.21 Профил Бистрица

Преградни профил Бистрица, налази се на ~1,7 km тока реке Бистрице. Река Бистрица је лева притока Трбушнице, а Трбушница је лева притока реке Пештан.

Профил Бистрица налази се у насељу Мали Црљени на локацији Кочино Поље

На профилу Бистрица предвиђена је изградња ретензионе бране. Изградњом ретензионе бране се формира ретензиони простор који може да прихвати поплавни талас стогодишње велике воде, слива који који контролише – слива реке Бистрице узводно од профила.

На предвиђеном профилу Бистрица на реци Бистрици, површина слива реке Бистрице износи 17 km^2.

Профил Бистрица и комплетан ретензиони простора лежи на територији града Београда – градске општине Лазаревац.

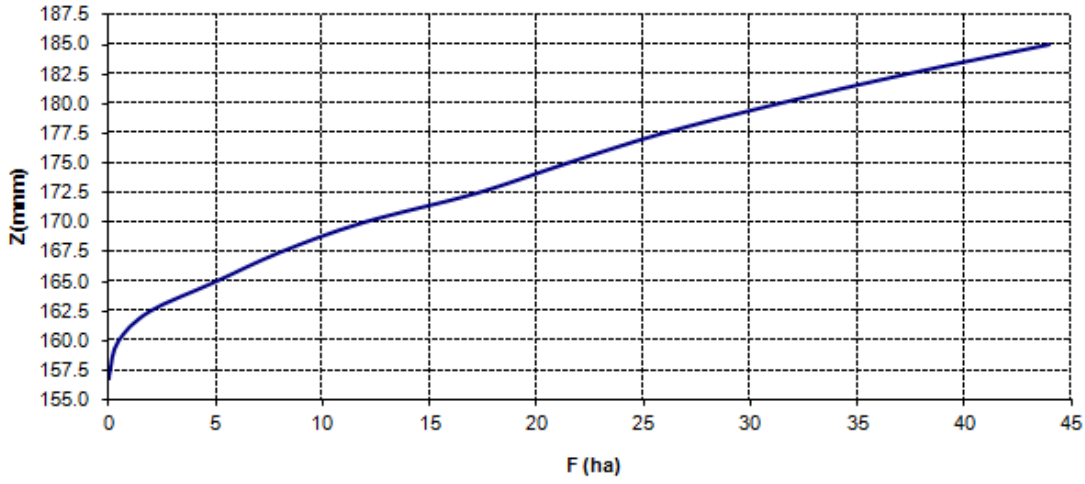
У оквиру ретензионог простора заступљено је пољопривредно и делимично шумско земљиште земљиште. У будућој ретензији Бистрица нема домаћинстава које је неопходно иселити, једино је потребно изместити локалне приступне путеве домећинствима.

Ретензиони потенцијал профила Бистрица је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

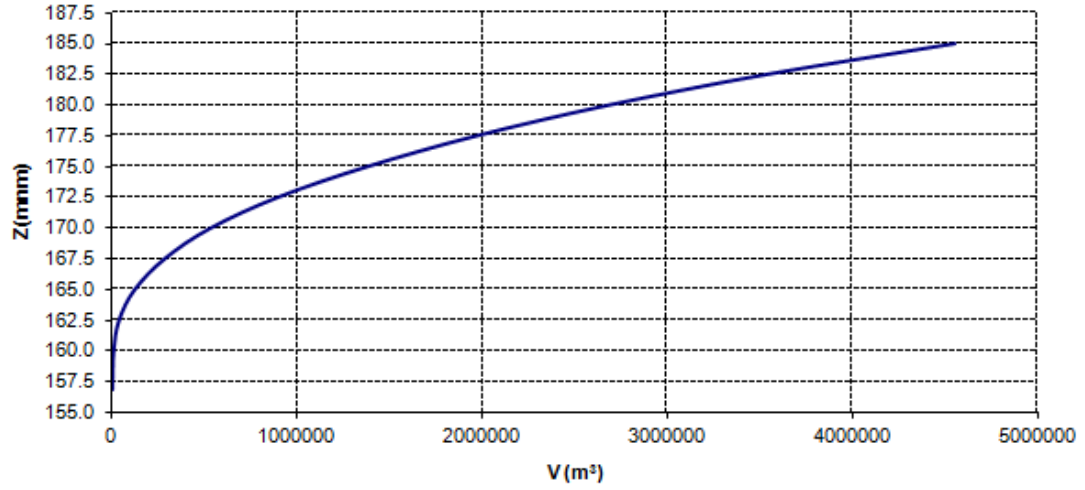
Табела 9.22 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Бистрица

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
156.9		0,00				0,00
157.5	454	0,05	227	568	568	0,00
160.0	4291	0,43	2372	5931	6499	0,01
162.5	18806	1,88	11548	28871	35370	0,04
165.0	49484	4,95	34145	85363	120733	0,12
167.5	79806	7,98	64645	161613	282345	0,28
170.0	118636	11,86	99221	248053	530398	0,53
172.5	172089	17,21	145362	363406	893804	0,89
175.0	213912	21,39	193000	482501	1376305	1,38
177.5	258250	25,82	236081	590202	1966507	1,97
180.0	312240	31,22	285245	713112	2679620	2,68
182.5	372431	37,24	342335	855838	3535458	3,54
185.0	439374	43,94	405902	1014756	4550214	4,55

Крива површине профил Бистрица



Крива запремине профил Бистрица



9.4.1.22 Профил Трбушница

Преградни профил Трбушнице, налази се на ~1,0 km тока реке Трбушнице, на око 250 m узводно од ушћа Бистрице у Трбушницу.

Река Трбушница је лева притока реке Пештан.

Профил Трбушница налази се у насељу Мали Црљени.

На профилу Трбушница предвиђена је изградња ретензионе бране. Изградњом ретензионе бране се формира ретензиони простор који може да прихвати поплавни талас стогодишње велике воде, слива који који контролише – слива реке Трбушнице узводно од профила.

На предвиђеном профилу Трбушнице на реци Трбушница, површина слива реке Трбушнице износи 7,3 km^2.

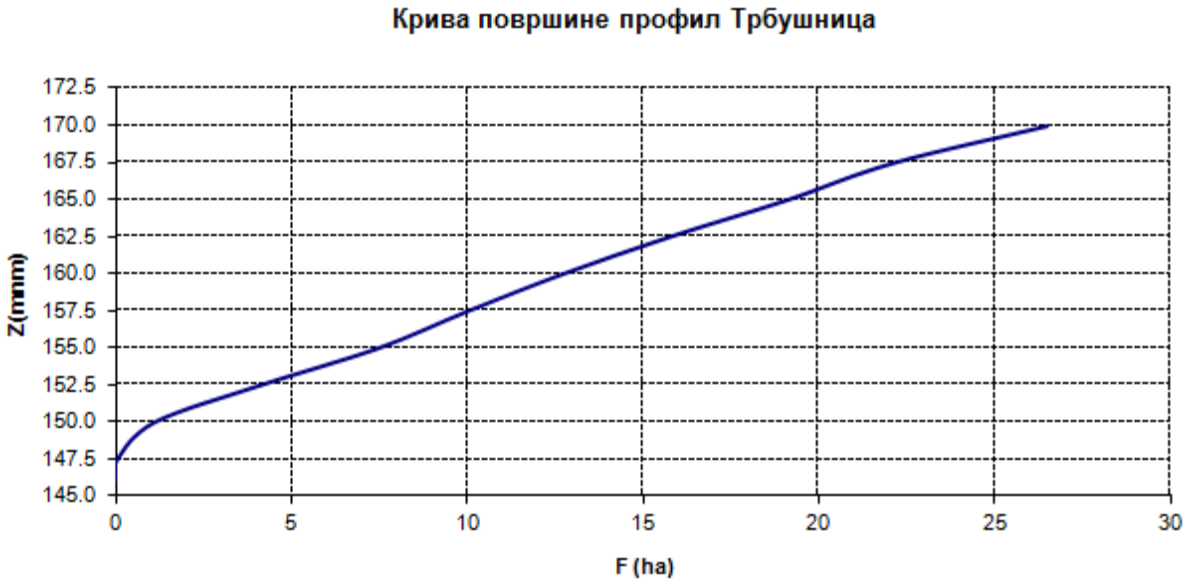
Профил Трбушница и комплетан ретензиони простора лежи на територији града Београда – градске општине Лазаревац.

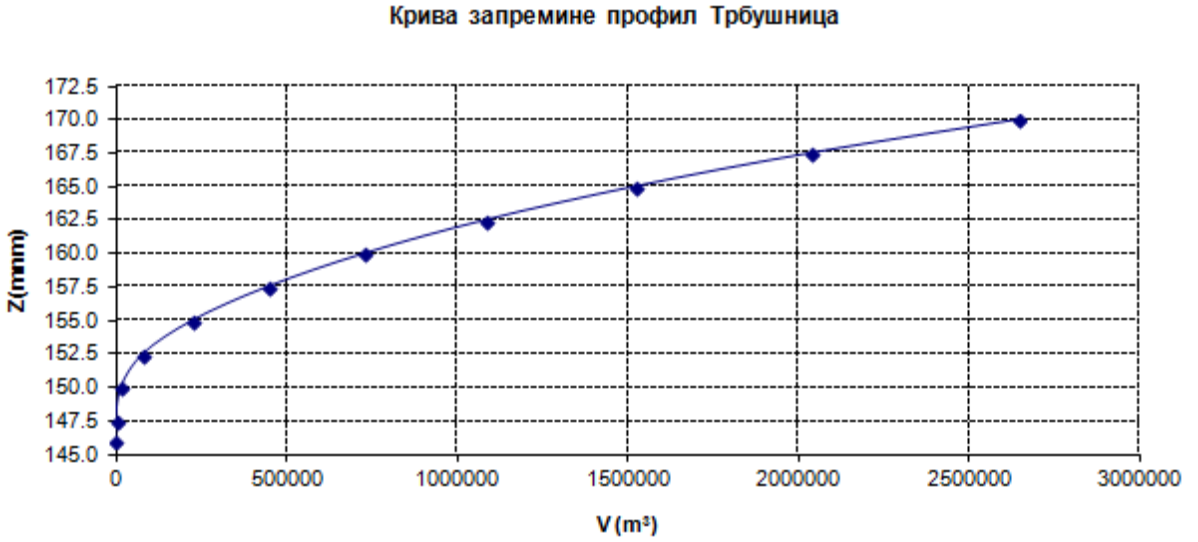
У оквиру ретензионог простора заступљено је пољопривредно и делимично шумско земљиште земљиште. У будућој ретензији Трбушница постоји неколико домаћинстава које је неопходно иселити.

Ретензиони потенцијал профила Трбушница је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.23 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Трбушница

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
146.1		0,00				0,00
147.5	578	0,06	289	722	722	0,00
150.0	11204	1,12	5891	14728	15450	0,02
152.5	41349	4,13	26277	65691	81141	0,08
155.0	74809	7,48	58079	145196	226338	0,23
157.5	100229	10,02	87519	218796	445134	0,45
160.0	127215	12,72	113722	284304	729438	0,73
162.5	157479	15,75	142347	355867	1085305	1,09
165.0	191033	19,10	174256	435640	1520946	1,52
167.5	221250	22,12	206141	515353	2036299	2,04
170.0	264999	26,50	243124	607811	2644110	2,64





9.4.1.23 Профил Даросавица

Прегрални профил Даросавица, налази се на ~2,0 km тока реке Даросавица у насељу Рудовци.

Река Даросавица је десна притока реке Пештан.

На профилу Драросавица предвиђена је изградња ретензионе бране. Изградњом ретензионе бране се формира ретензиони простор који може да прихвати поплавни талас стогодишње велике воде, слива који који контролише – слива реке Даросавице узводно од профила.

На предвиђеном профилу Даросавица на реци Даросавици, површина слива реке Даросавице износи 6,3 km^2.

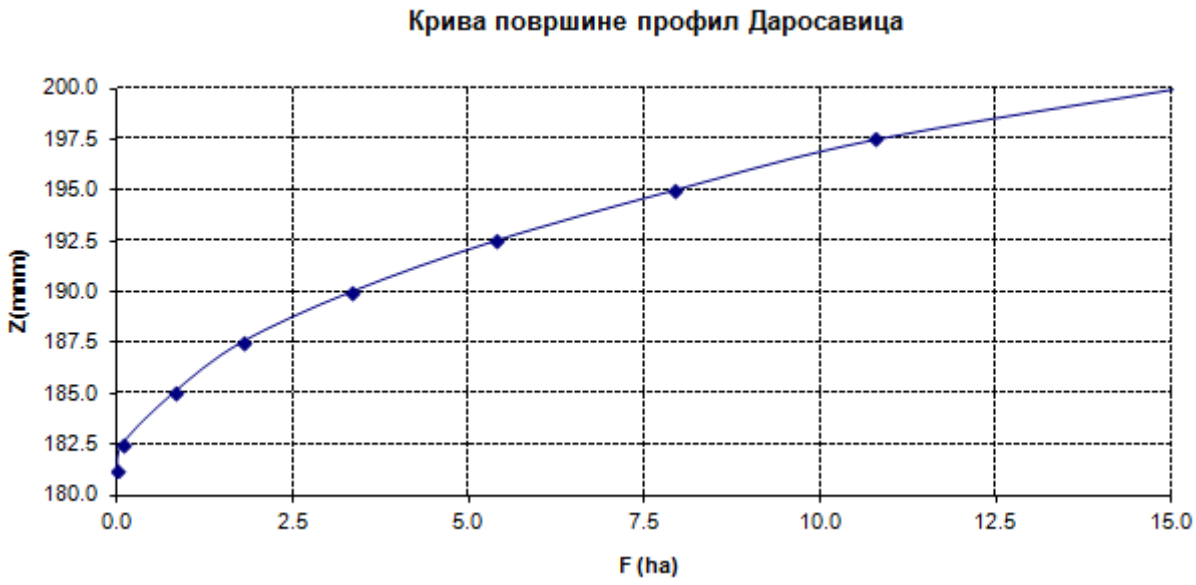
Профил Даросавица и део ретензиони простора лежи на територији града Београда – градске општине Лазаревац, а остатак ретензионог простора на територији општине Аранђеловац.

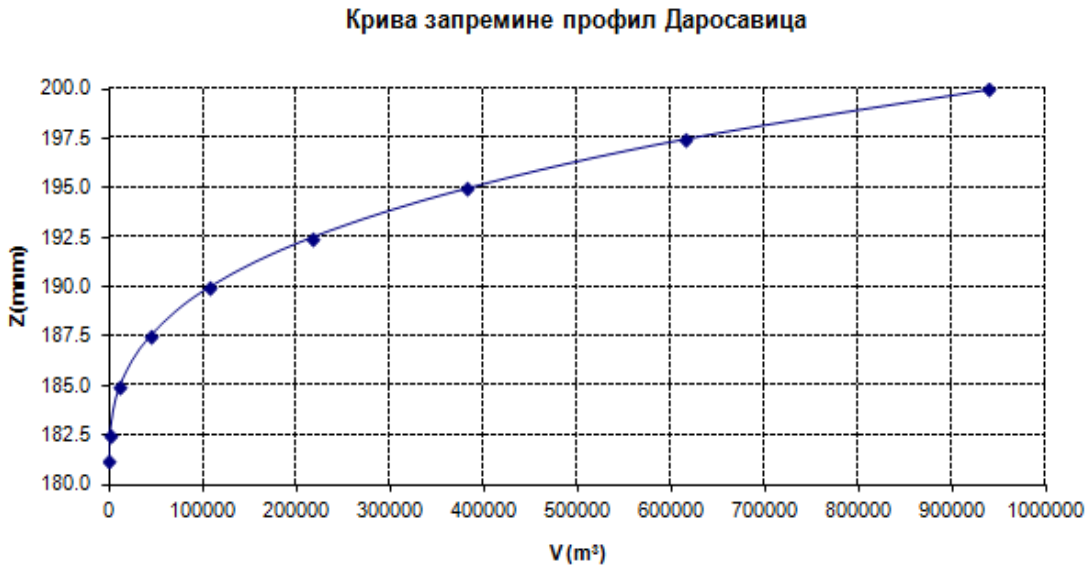
У оквиру ретензионог простора заступљено је пољопривредно и делимично шумско земљиште земљиште. У будућој ретензији Даросавица не постоје домаћинстава које је неопходно иселити, као ни значајнији инфраструктурни објекти осим 10 kV далековода.

Ретензиони потенцијал профила Даросавица је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.24 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Даросавица

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
181.2		0,00				0,00
182.5	826	0,08	413	537	537	0,00
185.0	8015	0,80	4421	11051	11588	0,01
187.5	17706	1,77	12861	32151	43739	0,04
190.0	33330	3,33	25518	63795	107534	0,11
192.5	53660	5,37	43495	108738	216272	0,22
195.0	79098	7,91	66379	165948	382219	0,38
197.5	107650	10,77	93374	233435	615654	0,62
200.0	150490	15,05	129070	322675	938329	0,94





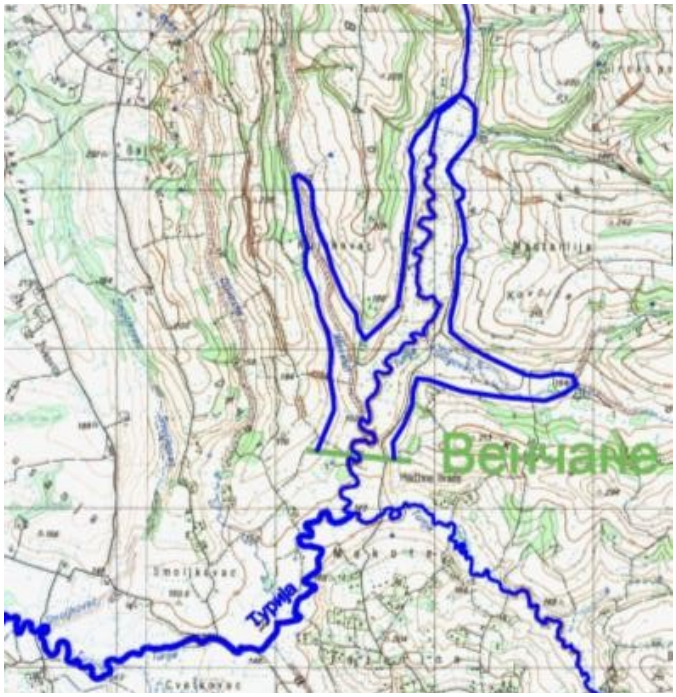
9.4.1.24 Профил Венчане

Преградни профил Венчане, налази се на реци Турији и то на ~33,0 km од ушћа овог водотока у реку Колубару.

Река Турија је лева притока реке Колубаре.

На профилу Венчане предвиђена је изградња ретензионе бране. Изградњом ретензионе бране се формира ретензиони простор. На профилу Венчане површина слива износи 32 km^2.

Оријентациона дужина бране на преградном профилу би могла да износи до 400 m. Изградњом бране и формирањем ретензије би се плавило пољопривредно земљиште. У будућој ретензији не постоје домаћинства и локални путеви за приступ домаћинствима које је неопходно изместити и то је добра околност за изградњу ретензионе бране и формирање ретензионог простора на овом простору.



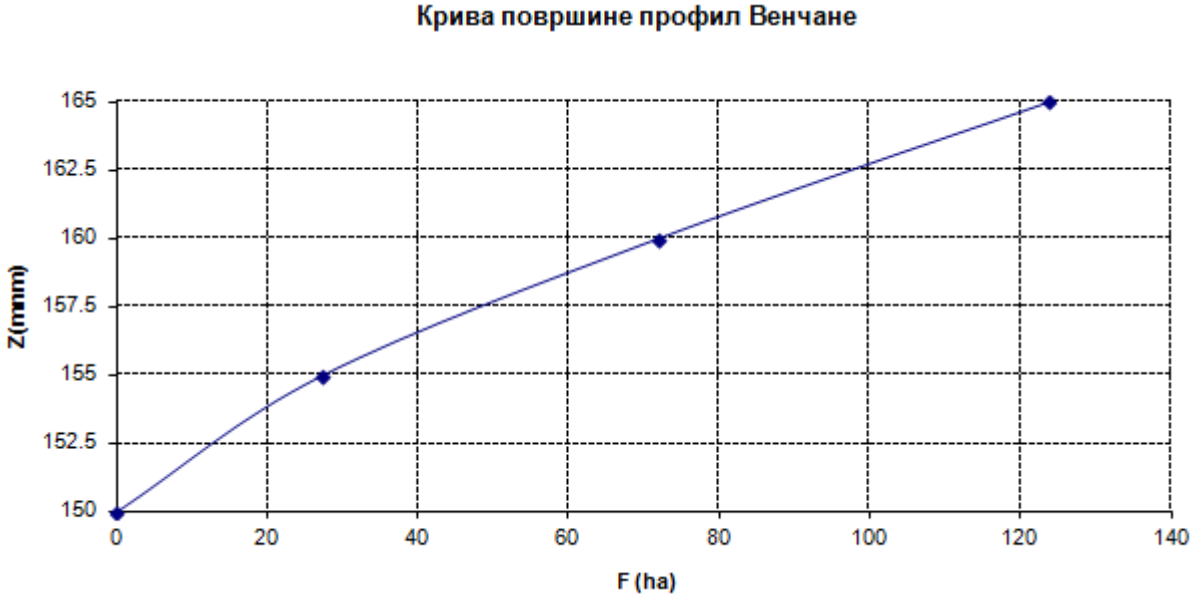
Слика 9.20 Ситуациони план са приказом разматране ретензије Венчане на реци Турији

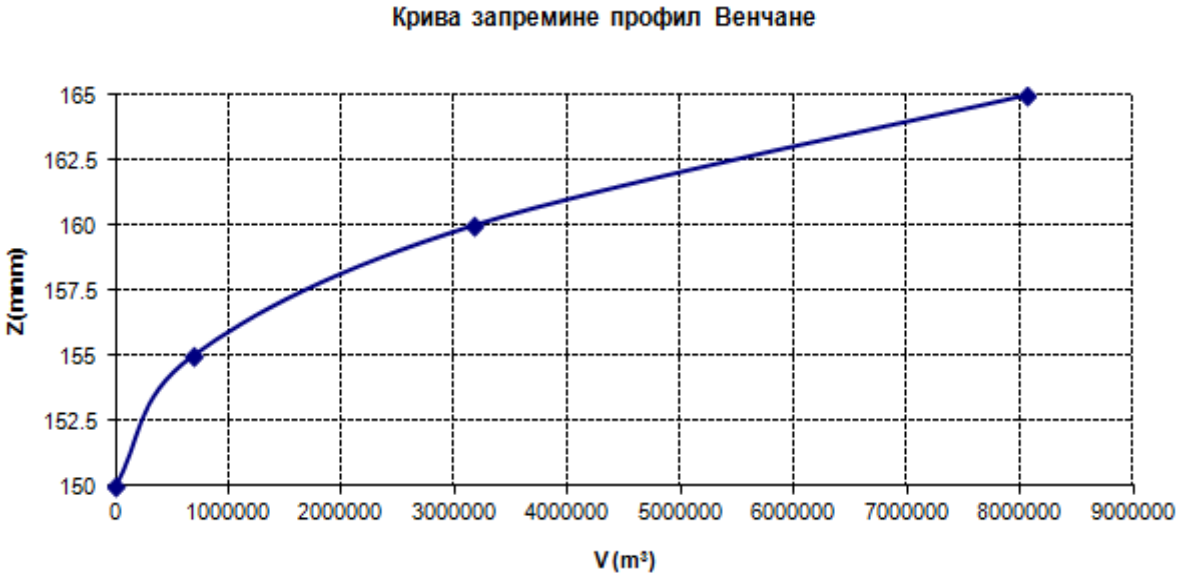
Сам профил бране Венчане као и део ретензионог простора лежи на територији општине Аранђеловац, а остатак ретензионог простора на територији града Београда – градске општине Сопот.

Ретензиони потенцијал профила Венчане је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.25 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Венчане

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
150		0,00				0,00
155	273149	27,31	136575	682874	682874	0,68
160	717513	71,75	495331	2476655	3159529	3,16
165	1236184	123,62	976848	4884241	8043770	8,04





9.4.1.25 Профил Миросаљци

Преградни профил Миросаљци, налази се на Сибничкој реци, узводно од насеља Миросаљци на ~3,8 km од ушћа овог водотока у реку Туриј у. Сибничка река је десна притока реке Туриј е.

На профилу Миросаљци предвиђена је изградња ретензионе бране. Изградњом ретензионе бране се формира ретензиони простор. На профилу Рожанци површина слива износи 19 km^2.

Преградни профил и део ретензионог простора се налази на територији градске општине Лазаревац, а део ретензионог простора на територији општине Сопот.

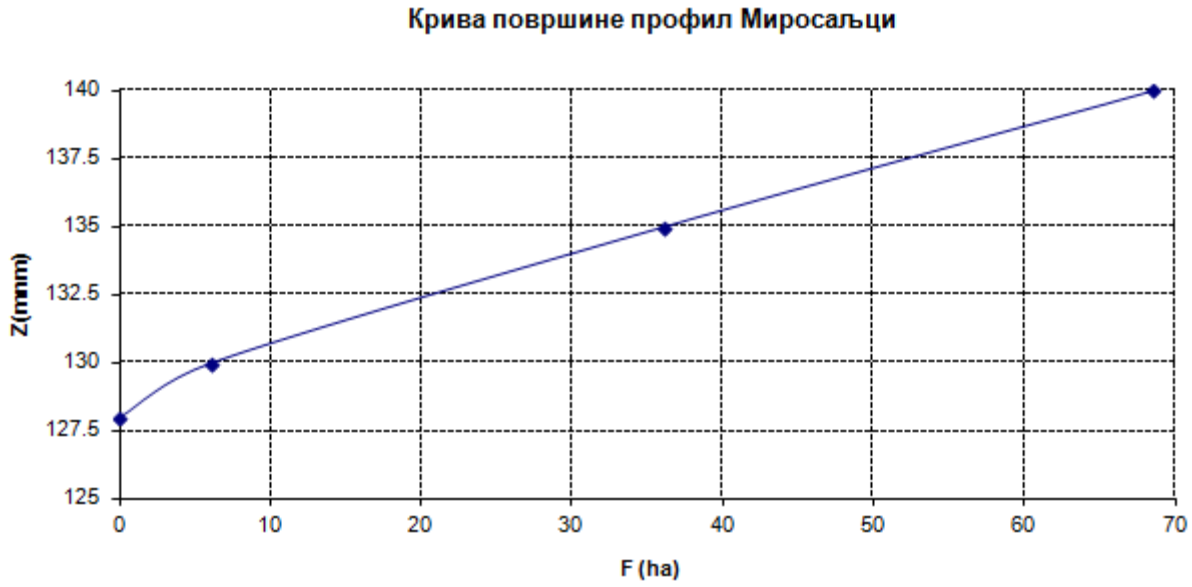


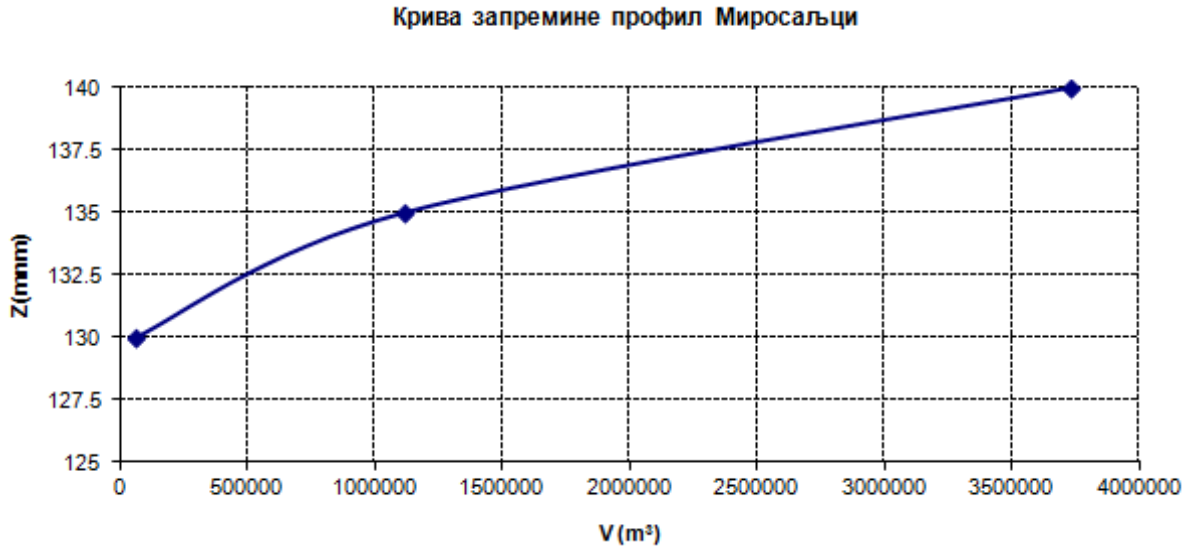
Слика 9.21 Ситуациони план са приказом разматране ретензије Миросаљци на Сибничкој реци

Ретензиони потенцијал профила Миросаљци је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.26 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Миросаљци

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
128		0,00				0,00
130	60501	6,05	30251	60501	60501	0,06
135	360597	36,06	210549	1052745	1113246	1,11
140	684903	68,49	522750	2613750	3726997	3,73





9.4.1.26 Профил Рожанци

Прегрални профил Рожањци, налази се на реци Сеони (притоци Бељанице, а Бељаница је пак десна притока Туриje), узводно од насеља Рожанци на ~9,8 km од ушћа овог водотока у реку Бељаницу.

На профилу Рожанци предвиђена је изградња ретензионе бране. Изградњом ретензионе бране се формира ретензиони простор. На профилу Рожанци површина слива износи 17 km^2.



Слика 9.22 Ситуациони план са приказом разматране ретензије Рожанци на реци Сеони

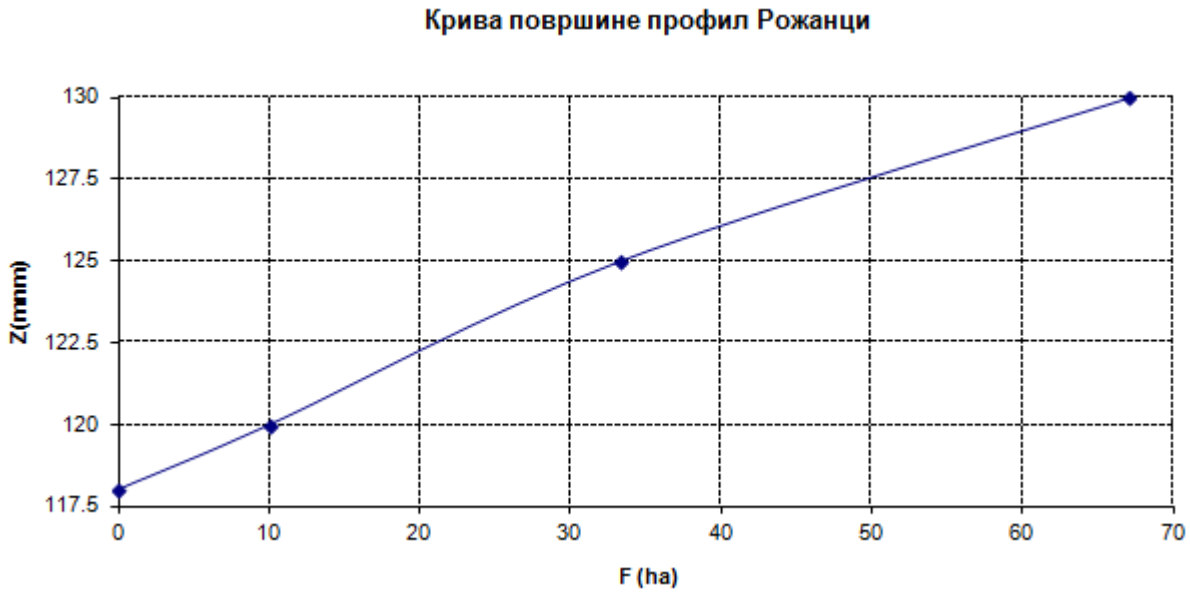
Оријентациона дужина бране на преградном профилу би могла да износи до 300 m. Изградњом бране и формирањем ретензије би се плавило пољопривредно земљиште. У будућој ретензији не постоје домаћинства и локални путеви које је неопходно изместити.

Ретензиона брана и део ретензионог простора се налазе на територији градсе општине Барајево, а део ретензионог простора пада на територију градске општине Сопот.

Ретензиони потенцијал профила Рожанци је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.27 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Рожанци

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
118		0,00				0,00
120	100770	10,08	50385	100770	100770	0,10
125	333023	33,30	216896	1084482	1185252	1,19
130	669811	66,98	501417	2507086	3692337	3,69





9.4.1.27 Профил Бељина

Преградни профил Бељина, налази се на Губеревачкој реци (притоци Бељанице, а Бељаница је пак десна притока Турије), низводно од насеља Губеревац на ~1,5 km од ушћа овог водотока у реку Бељаницу.

На профилу Бељина предвиђена је изградња ретензионе бране. Изградњом ретензионе бране се формира ретензиони простор.



Слика 9.23 Ситуациони план са приказом разматране ретензије Бељина на Губеревачкој реци

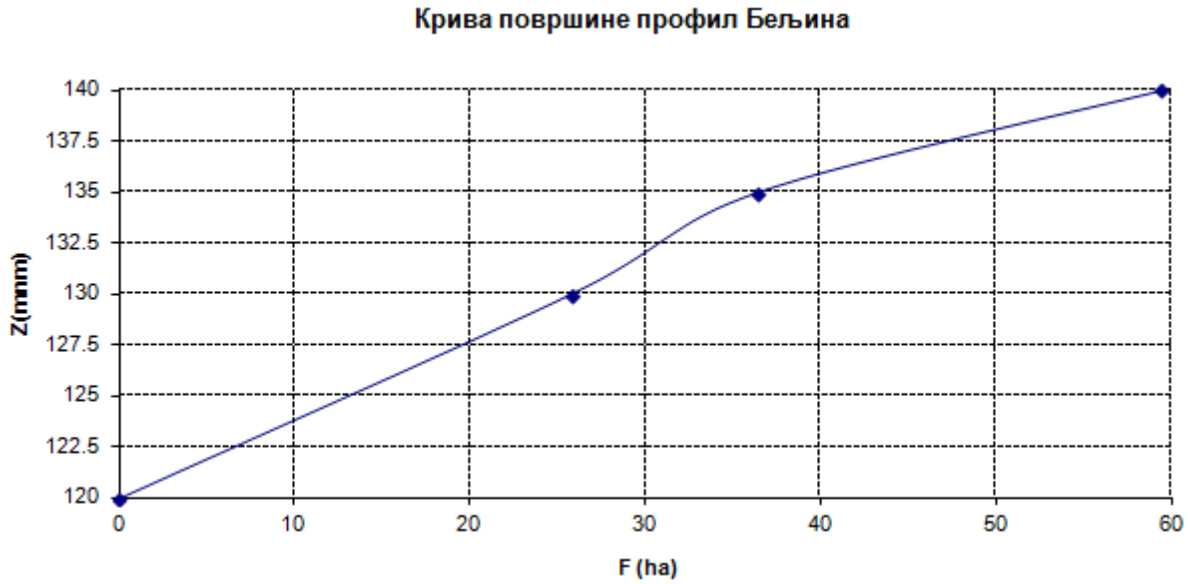
Оријентациона дужина бране на преградном профилу би могла да износи до 250 m. Изградњом бране и формирањем ретензије плавило се пољопривредно земљиште. У будућој ретензији не постоје домаћинства и локални путеви које је неопходно изместити.

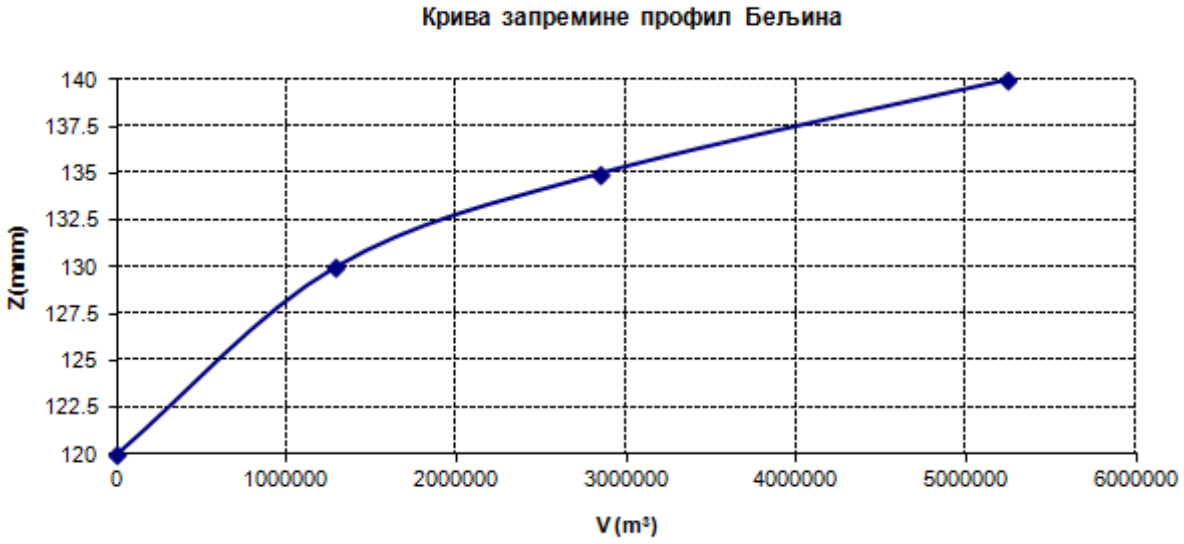
Ретензиона брана и део ретензионог простора се налазе на територији градске општине Барајево, а део ретензионог простора пада на територију градске општине Сопот.

Ретензиони потенцијал профила Бељина је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.28 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Бељина

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
120		0,00				0,00
130	257393	25,74	128697	1286967	1286967	1,29
135	363779	36,38	310586	1552932	2839900	2,84
140	594207	59,42	478993	2394967	5234867	5,23





9.4.1.28 Профил Бељаница

Као алтернативну варијанту профила Бељина, на Губеревачкој реци, низводно од овог профила на реци Бељаници, разматраће се профил Бељаница. Овај профил се налази на споју Стојничке и Суве реке (ове две реке формирају Бељаницу).

На профилу Бељаница предвиђена је изградња ретензионе бране. Изградњом ретензионе бране се формира ретензиони простор.



Слика 9.24 Ситуациони план са приказом разматране ретензије Бељаница на реци Бељаница

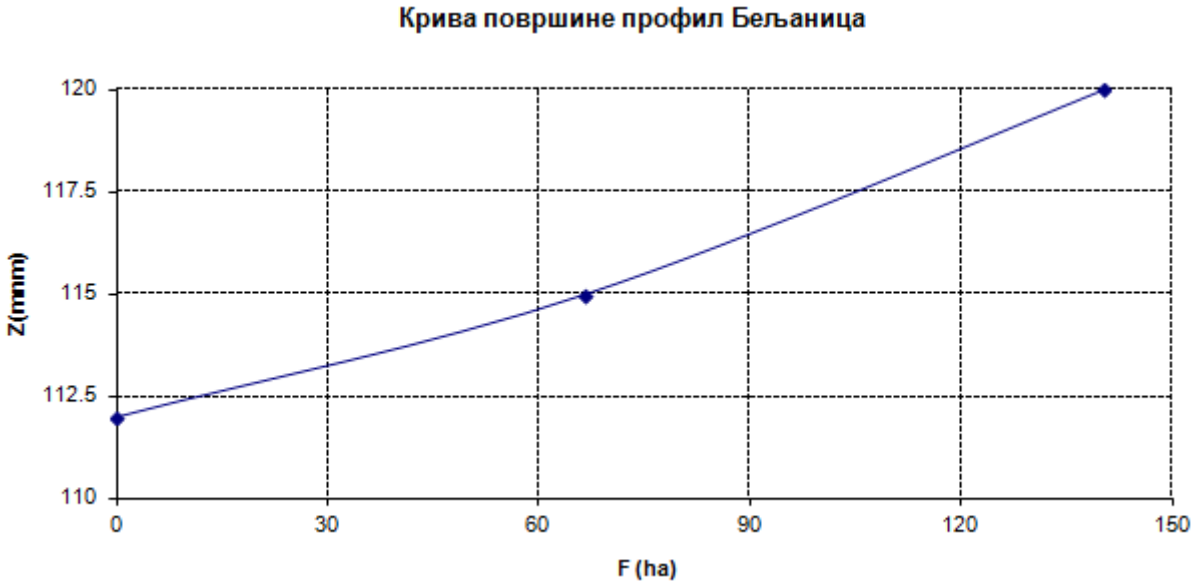
Оријентациона дужина бране на преградном профилу би могла да износи до 500 m. Изградњом бране и формирањем ретензије плавило се пољопривредно земљиште. У будућој ретензији не постоје домаћинства и локални путеви које је неопходно изместити.

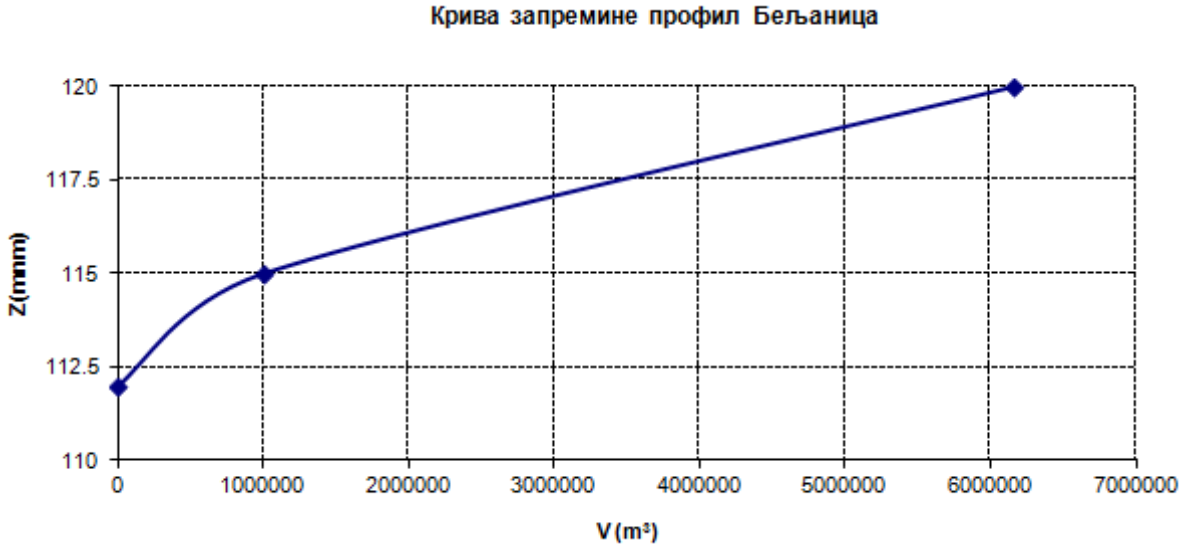
Ретензиона брана и део ретензионог простора се налазе на територији градске општине Барајево.

Ретензиони потенцијал профила Бељаница је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.29 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Бељаница

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
112		0,00				0,00
115	664614	66,46	332307	996921	996921	1,00
120	1400388	140,04	1032501	5162505	6159426	6,16

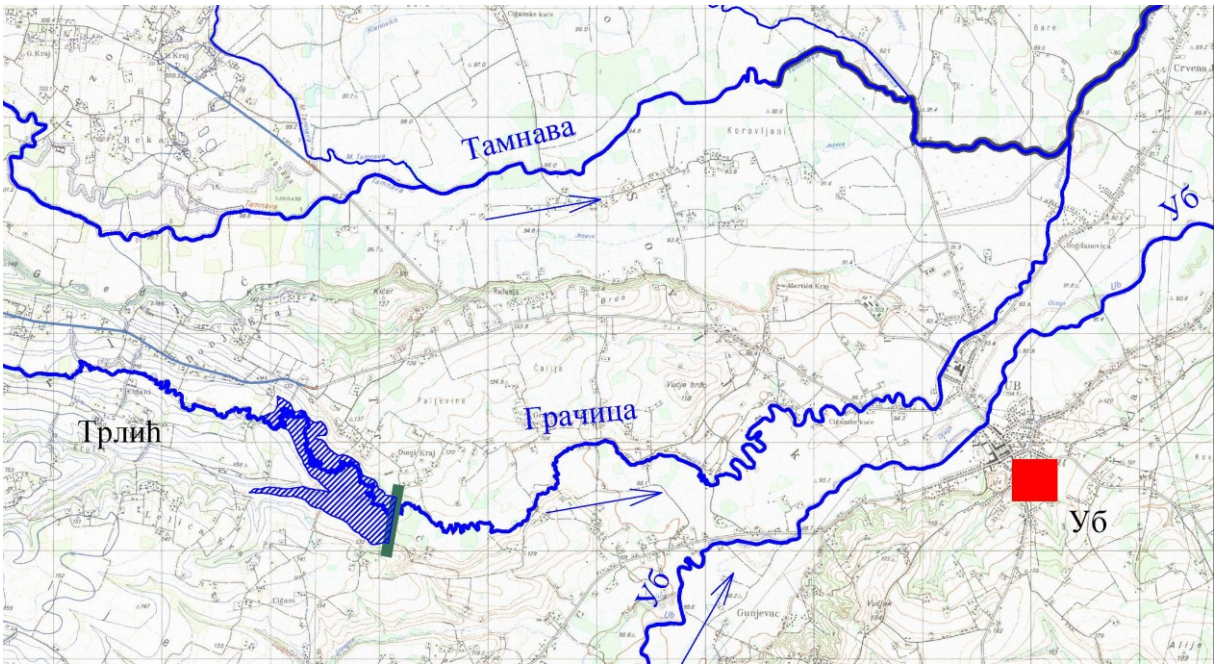




9.4.1.29 Профил Грачица

Профил преграде на Грачици сесе налази око 12 km узводно од ушћа у Тамнаву. Узводно од профила налази се насеље Трлић.

Разматрани профил се налази на територији општине Уб. Просторним планом општине није предвиђена изградња ретензије Грачица.



Слика 9.25 Ситуациони план са приказом разматране ретензије Грачица на реци Грачици

Ретензиони простор разматраног профила карактерише углавном брдски предео са широком долином. Највећа ширина речне долине је на месту преграде, око 420 m. Једним делом простор захвата и долину притоке Лелића потока.

Ретензијом би се највише заузело пољопривредно земљиште (њиве, ливаде, пашњаци, воћњаци..), око 95%. Мали проценат потенцијалног заузетог земљишта је под шумама, око 5%.

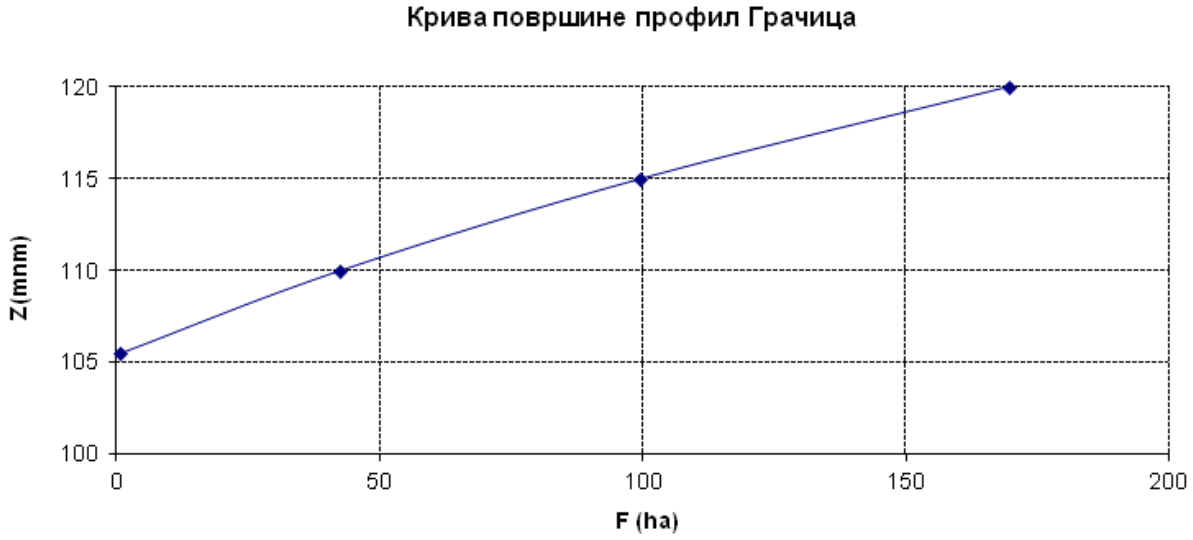
У ретензионом простору не постоје насељене зоне, а мали број домаћинстава се налазе по рубовима ретензионог простора.

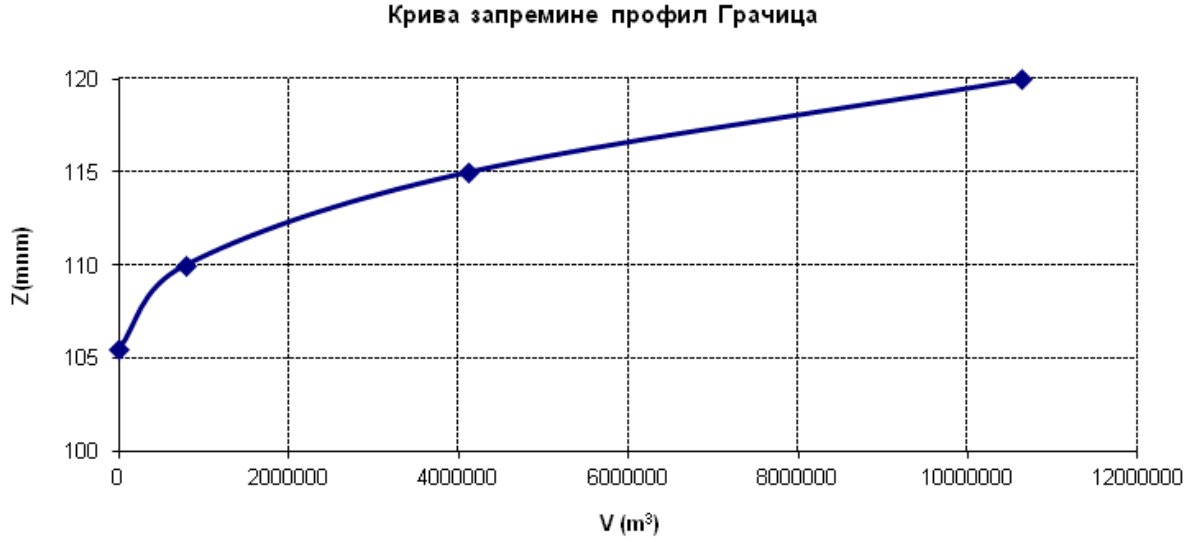
У погледу инфраструктуре у разматраном ретензионом простору нема путева вишег ранга. Планском документацијом нису предвиђени велики инфраструктурни објекти, који би представљали могуће ограничење.

Ретензиони потенцијал профила Грачица је дефинисан кривама површине и запремине које су приказане у наредним табелама и дијаграмима.

Табела 9.29 Табеларни приказ криве површине и запремине профила Грачица

Z	F		Fsr	V	Vkum	
(мнм)	(m^2)	(ha)	(m^2)	(m^3)	(m^3)	($10^6 m^3$)
105.5	5487	0.55	0	0	1716	0.00
110.0	423636	42.36	214561	965527	781900	0.78
115.0	995566	99.56	709601	3548004	4104989	4.10
120.0	1696286	169.63	1345926	6729630	10625530	10.63





9.4.2 Ретензиони простори у долинама реке Колубаре и притока

Увидом у морфологију и степен заузетости долине реке Колубаре и притока, може се констатовати да у сливу реке Колубаре постоје велика ограничења за формирање бочних ретензија односно касета у којима би се прихватио поплавни талас.

У горњем и средњем току реке Колубаре и притока долине су изразито уске, тако да не постоји већи простор за пријем поплава. Стога резервација простора за ретензирање не би значајно утицала на редуковање поплавног таласа.

У доњем току реке Колубаре и већине значајнијих притока (Тамнаве, Пештана, Уба, Љига, Турије...) долине се шире, постоји потенцијални ретензиони простор, али

ограничења за формирање касета за пријем поплавних таласа представљају пре свега инфраструктурни објекти нискоположених траса (пруга Београд – Бар, Ибарска магистрала, аутопут Београд – Јужни Јадран, мрежа локалних путева), а постоје значајни индустријски објекти (рудници и инфраструктура рударског басена Колубаре). Такође, речне долине су густо насељене (скоро сва већа насељена места леже у долинама реке Колубаре и притока), са комплексима пољопривредног земљишта.

Изразите депресије у сливу реке Колубаре, које би потенцијално могле да приме поплавне таласе, не постоје. Изузетак су отворени копови угља, који су били поплављени током мајских поплава 2014. године, што је довело до великих штета.

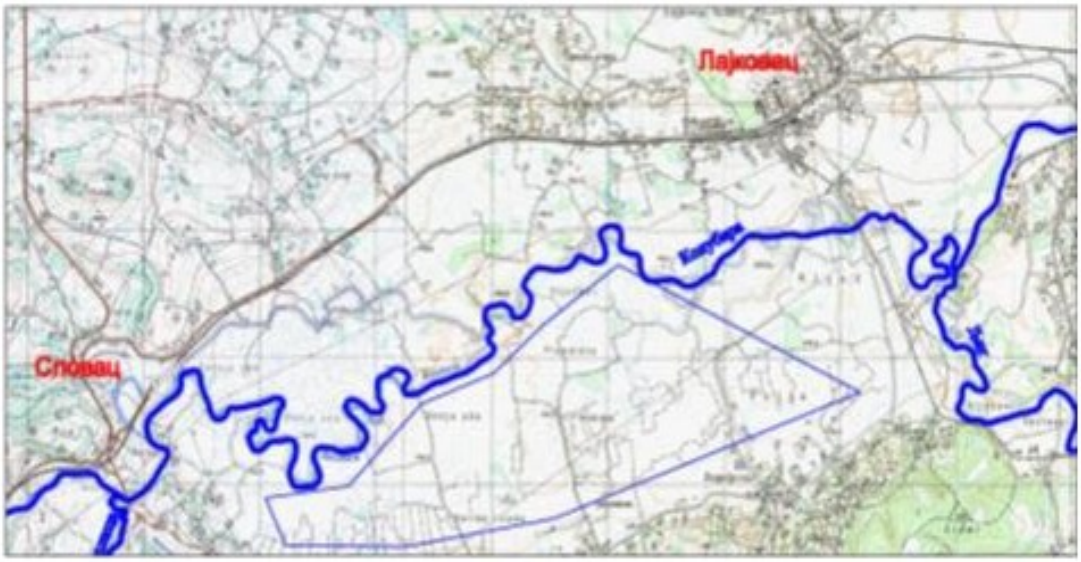
Респектујући претходно наведено, детектоване су само три зоне у које могу да представљају ретензиони простор за пријем поплавних вода и које ће се анализирати у наставку израде студије.

У наставку текста се даје приказ простора који ће се анализирати у наставку студије.

Ретензиони простор бр 1.

Овај ретензиони простор налази се на десној обали реке Колубаре на потезу између села Словац до аутопута Београд – Јужни Јадран. Оријентациона површина ретензионог простора износи ~ 5,0 km^2. Простор је ограничен са северне стране коритом реке Колубаре, јужне побрђем, источне стране трасом ауто – пута Београд Јужни Јадран, а са западне стане локалним путем у насељу Ратковац. Увидом у расположиву ортофото карту (извор google earth), на простору који ће се разматрати нема домаћинстава и инфраструктурних објеката, једино је заступљено пољопривредно земљиште које би се потопило у случају поплаве.

Ретензиони простор бр.1 се налази на територији општине Лајковац.



Слика 9.26 Ситуациони план са приказом Ретензионог простора бр 1



Слика 9.27 Ретензиони простор бр 1 – ортофото снимак google earth

Ретензиони простор бр 2.

Овај ретензиони простор налази се на десној обали реке Љиг на потезу између села Чибутковица и Дудовица. Оријентациона површина ретензионог простора износи ~ 4,0 km^2. Простор је ограничен са северне стране и источен стране Ибарском магистралом, са западне стране коритом реке Љиг, а са јужне стране локалним путем Латковићи – Дудовица и коритом реке Оњег. Увидом у расположиву ортофото карту (извор google earth), на простору који ће се разматрати нема домаћинстава и инфраструктурних објеката, једино је заступљено пољопривредно земљиште које би се потопило у случају поплаве.

Ретензиони простор бр.2 се налази на територији општине Љиг.



Слика 9.28 Ситуациони план са приказом Ретензионог простора бр 2

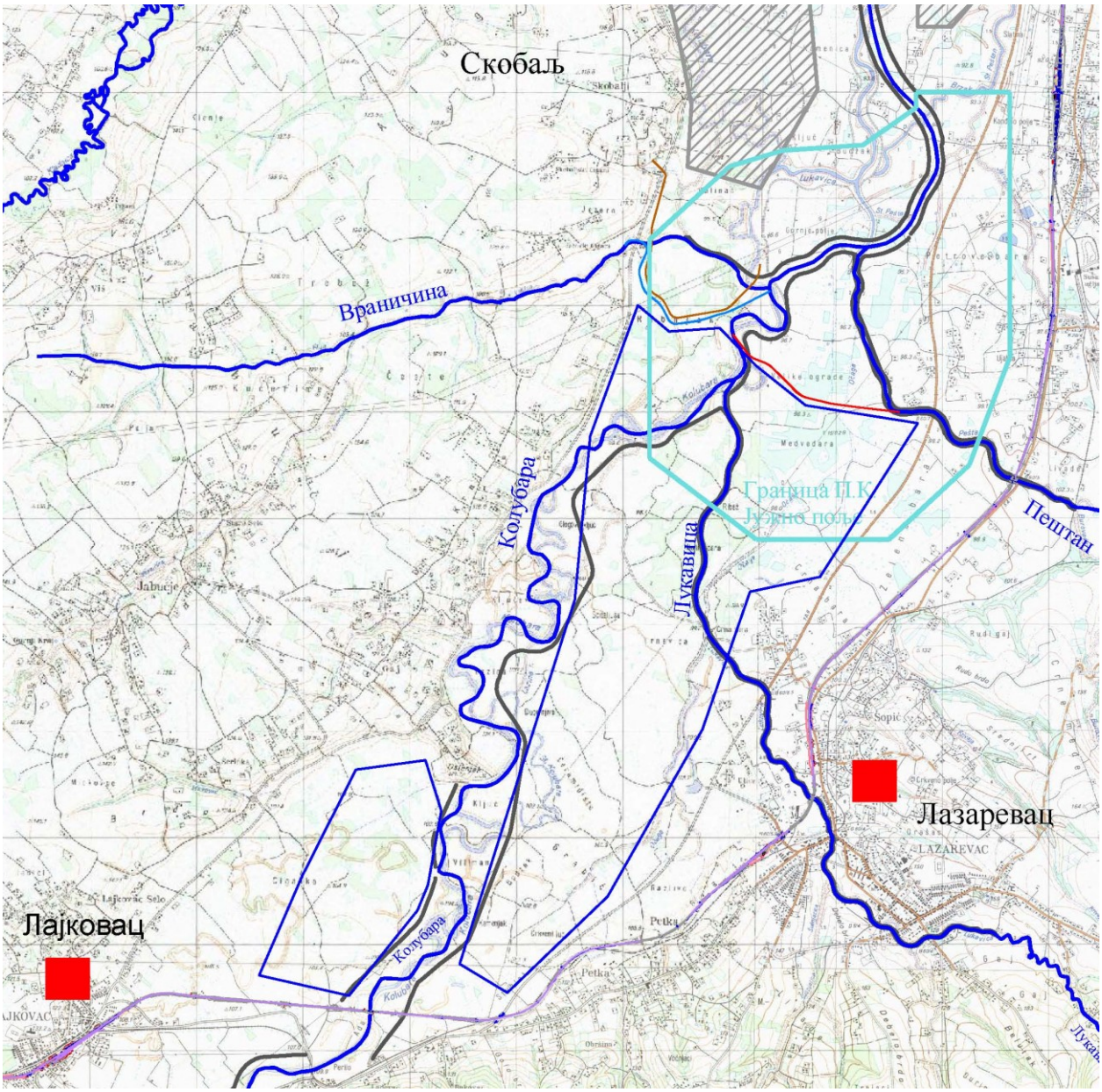


Слика 9.29 Ретензиони простор бр 2 – ортофото снимак google earth

Ретензиони простор бр 3.

Овај ретензиони простор заузима долину реке Колубаре на потезу од јужне границе Тамнавских копова (ПК Тамнава Западно Поље и Велики Црљени) до Лајковца. Тачније речено ретензиони простор бр 3 је са севера ограничен насипом на јужној граници Тамнавских копова, деснообалним насипом уз корито реке Пештан (које се тренутно измешта), са запада високим тереном и путем Јабучје – Лајковац (траса пута лежи на старој прузи уског колосека Обреновац – Лајковац), са источне стране Ибарском магистралом, а са јужне стране трасом пруге Београд – Бар. Оријентациона површина ретензионог простора износи ~ 17,0 km^2.

Део простора лежи у границама будућег копа ПК Тамнава Јужно Поље.



Слика 9.30 Ситуациони план са приказом Ретензионог простора бр 3

9.4.3 Насипи и друге пасивне мере заштите од поплава на сливу Колубаре

У сливу Колубаре су, на различитим нивоима техничке документације, планирани нови насипи. Изградња нових насипа је разматрана најчешће на Колубари.

Иако постоје могућности и већ је разматрана изградња нових насипа на незаштићеним деоницама Колубаре и Тамнаве, ова мера се мора веома пажљиво размотрити јер може имати неповољне хидрауличке ефекте, како на узводним, тако и на низводним потезима водотока. Ради дефинисања утицаја изградње нових насипа, урадиће се хидраулички прорачуни са претпоставком искључења плавних зона.

9.4.4 Мере антиерозионе заштите на сливу Колубаре

Интензитет ерозионих процеса је резултат интерактивних односа климе, геолошко-педолошке подлоге, рељефа и начина коришћења земљишта, односно људских активности. Рељеф и геолошко-педолошка подлога су два природна чиниоца који су за интензитет ерозије константе, карактеристичне за сливно подручје, и не мењају се у

условима средње и слабе ерозије, бар не у историјском периоду. Природни чинилац који има најзначајнији утицај на продукцију ерозионих наноса је клима.

Картирање ерозије и обрада продукције и проноса наноса извршена је методом "Потенцијала ерозије", која се у нашој инжењерској пракси користи за водопривредне студије и пројекте.

"Метода потенцијала ерозије" омогућава квалитативно-квантитативно утврђивање стања ерозије и бујичности токова. Метода је настала развојем изворне "Методе квантитавне класификације ерозије" која путем специјалистичких истраживања и прорачуна израђује квалитативно - квантитативну "Карту ерозије", која је основни ерозиони документ који се користи за даље процедуре прорачуна продукције ерозионих наноса на сливу и доспевања наноса до ушћа или важног профила на току (таложење наноса у акумулацијама) и дефинисање потенцијалне ерозионо бујичне карактеристике целог сливног подручја.

Метода је базирана на утврђивању стања и интеракције рељефних карактеристика слива, основних климатских карактеристика и ерозије. Иако метода захтева одређене теренске истражне радове, неупоредиво је бржа од вишегодишњег осматрања. Карта ерозије израђена по методи квантитативне класификације ерозије је погодна за примену у делатностима које се не баве проблемом ерозије, али имају потребе за брзим сагледавањем стања ерозије (инвестициони елаборати, пројекти и др.).

Класификација ерозије је могућа, у картографском смислу, само у виду квалитативних категорија. За практичну примену и прорачуне свака категорија је добила своје квалитативно име и одговарајућу вредност коефицијента ерозије (Z). Графички приказ површинске заступљености ерозије по категоријама, назива се "карта ерозије" и основа је за даљу примену у другим областима.

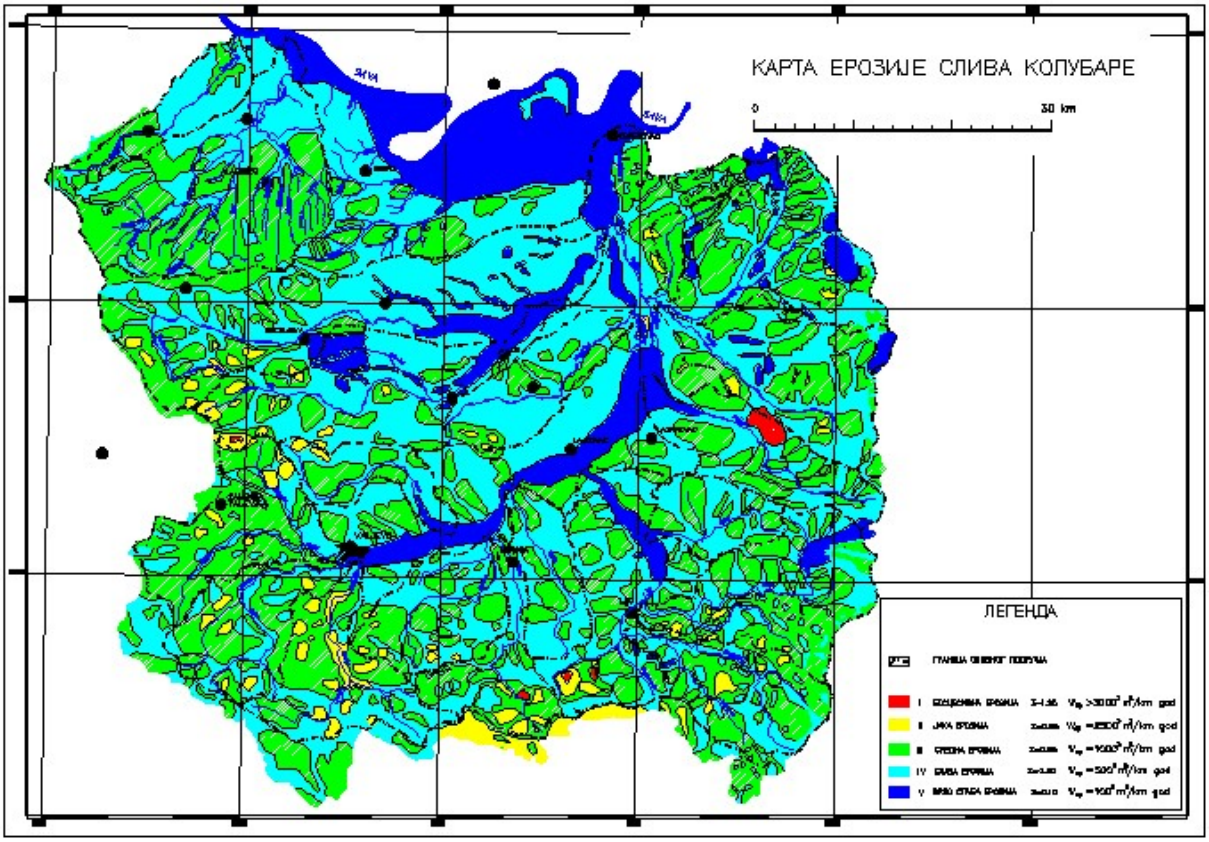
Разврставање је извшено према следећем квалитативном опису ерозионих категорија:

- I категорија ерозије - Ексцесивна ерозија - процеси дубинске ерозије (јаруге, бразде, одрони и слично)
- II категорија ерозије - Јака ерозија - блажи облик од ексцесиве ерозије
- III категорија ерозије - Средња ерозија
- IV категорија ерозије - Слаба ерозија
- V категорија ерозије - Врло слаба ерозија

Табела 9.30 Распони вредности коефицијента ерозије (Z) по категоријама ерозије

Квантитативни распони вредности коефицијента ерозије по категоријама					
Категорија ерозије	I	II	III	IV	V
Распон вредности коефицијента (Z)	Z > 1.0	0.71< Z <1.0	0.41<Z<0.7	0.20<Z<0.4	Z< 0.19
Средња вредност коефицијента (Z)	Z=1.25	Z=0.85	Z=0.55	Z=0.30	Z=0.10
Квалитативни назив категорије ерозије	Ексцесивна	Јака	Средња	Слаба	Врло слаба

Наведеном методологијом израђена је карта ерозије подручја Колубаре у размери 1:50.000. На Слици 9.31 дат је приказ карте ерозије у прилагођеној размери.



Слика 9.31 Карта ерозије подручја Колубаре

Иако је данас генерална оцена ерозионих процеса у распону од средње до слабе и самим тим је стање задовољавајуће, запажају се површине захваћене јачим процесима водне ерозије. Заступљеност ексцесивне (I) и јаке (II) категорије ерозије је мала, мада је има на стрмијим деловима слива. На сливу су најзаступљеније површине са процесима средње (III), слабе (IV) и врло слабе (V) категорије ерозије.

Смањење штета од бујичних поплава у сливу реке Колубаре могуће је једино обезбедити путем изградње комплекса објеката за уређење бујичних токова и заштиту од ерозије.

У горњем делу слива реке Колубаре и њених притока предложиће се потребан број техничких радова - бујичних преграда и прагова, као и других техничких објеката за уређење бујичних токова и смањење доспевања наноса у ниже делове сливова и саму Колубару. Ови објекти се обично граде у средњем и горњем току бујичних токова и имају вишеструку улогу:

- осигуравају попречне профиле корита бујичног тока од даљег дејства процеса дубинске ерозије у кориту,
- задржавају вучени нанос у заплаву,
- смањују уздужни пад корита чиме се, чиме се смањује брзина воде, транспортна способност тога и његова разорна моћ за време бујичних поплавних таласа,
- врше корекцију правца тока.

На падинама подложним ерозији предложиће се рационалан обим биолошких радова (пошумљавање) и биотехничких радова (плетери, контурни ровови, затрављивање, мелиорација пољопривредних површина). Правилан избор врста за пошумљавање је основа успешног, квалитетног и еколошки правилног газдовања. Треба изабрати врсте које ће се са успехом адаптирати на почетне неповољне услове средине и створити стабилне фитоценозе.

10 ЕФЕКТИ ПРЕДЛОЖЕНОГ РЕШЕЊА НА РЕЖИМ ВЕЛИКИХ ВОДА И СМАЊЕЊЕ УГРОЖЕНОСТИ ОД ПОПЛАВА

10.1 Методолошки приступ анализи ефеката предложених објеката и мера

У даљим фазама израде Студије ће се испитати ефекти нових објеката, који би били укључени у систем састављен од постојећих објеката за заштиту од поплава (заштитни насипи и акумулације које имају тренутно функцију заштиту од поплава), као и објеката чија је изградња у току или је планирана.

Њихови ефекти ће бити испитани помоћу одговарајућих хидролошких и хидрауличких анализа, применом хидролошких и хидрауличких модела развијених у оквиру ове Студије.

Треба напоменути да ће на сливу бити комбиноване различите мере (пре свега ретензије, насипи и антиерозионе мере) и биће испитан њихов заједнички ефекат за:

- услове великих вода из маја 2014. године
- услове појаве рачунских великих вода (вероватноће превазилажења 50%, 20%, 10%, 1% и 0,1%).

Ефекти ће бити испитивани подслив по подслив, почевши од најузводнијих делова слива Колубаре. Претходно дефинисани рачунски хидрограми великих вода за карактеристичне вероватноће појаве ће претрпети трансформацију у потенцијалним чеоним или бочним ретензијама. Хидрограми великих вода на профилима низводно од ретензија, профилима хидролошких станица и ушћима притока биће коришћени за оцену ефеката различитих објеката и мера.

Хидрауличким моделирањем ће се квантификовати промене нивоа воде у реци, док ће се израдом карата угрожености за стање после изградње планираног система квантификовати промене услова (досезање поплава и дубине воде) у реално и потенцијално поплавним подручјима.

10.2 Приказ простора обухваћеног хидролошко-хидрауличким анализама ефеката планираног система заштите од поплава

На сливу Обнице ће се размотрити формирање две ретензије – Причевић на главном току и Златарић на притоци Буковици. Ефекти ових објеката ће се испитати хидролошким моделом са излазним резултатима на профилу хидролошке станице Бело Поље и на споју са Јабланицом. Трансформација поплавног таласа на краткој деоници у зони споја ће бити анализирана хидрауличким моделом, како би се провериле коте заштите у зони затвора и низводно до споја са Јабланицом.

На сливу Јабланице нису предвиђени нови ретензиони простори јер се очекује да ће акумулација Ровни, уз адекватно управљање, моћи да прихвати и трансформише таласе великих вода ове реке. Хидролошки моделом ће се потврдити ефекти акумулације на профилу хидролошке станице Седларе и на споју са Обницом, а хидраулички прорачун ће се извршити низводно од станице до споја са Обницом.

На сливу реке Градац ће се размотрити две ретензије на притокама Забава (Гајевићи) и Буковска река (Ластра) у горњем делу слива. Ефекти ових објеката ће се испитати хидролошким моделом на профилу хидролошке станице Дегурић и ушћу у Колубару. Хидраулички модел реке Градац није предвиђен.

На сливу реке Рабас ће се хидролошким моделом анализирати ретензија Бабина Лука на главном току. Ефекти ће се дефинисати на профилу ушћа у Колубару. Хидраулички модел реке Рабас није предвиђен.

У сливу реке Лепенице су предвиђене две ретензије: Кључ на главном току и Ђурђевац на притоци Липница. Ефекти ових објеката ће се испитати хидролошким моделом до профила ушћа Липнице и на профилу ушћа у Колубару. Хидрауличким моделом ће се размотрити деоница од ушћа Липнице до ушћа у Колубару, као и узводно до km 12.

На главном току реке Рибнице предвиђена је ретензија Струганик, чији ће се ефекти испитати хидролошким моделом са излазом на km 10,5 и на хидролошкој станици Мионица. Хидрауличким моделом ће се обухватити потез од Паштрића (km 10,5) до ушћа у Колубару.

На Топлици ће се размотрити изградња ретензије Словац на најнизводнијем профилу, непосредно узводно од ушћа у Колубару. Ефекти ће се испитати хидролошким моделом. У случају да изградња није могућа, хидрауличким моделом ће се анализирати деоница од ушћа у Колубару до насеља Врујци са хидролошким подацима на узводном и низводном крају модела.

У сливу реке Љиг ће се размотрити шест ретензионих простора: Кадина Лука на реци Љиг, Угриновци на притоци Драгобиљ, Ивановци и Пољанице на притоци Качер и Козељ на Козељици (притока Качера) и Брајковац на притоци Оњег. Ефекти ће се испитати хидролошким моделом са излазима на ушћима притока Драгобиљ, Качер и Оњег, на хидролошкој станици Боговађа и на ушћу Љига у Колубару. Хидрауличким моделом ће се анализирати река Љиг од ушћа у Колубару до ушћа Драгобиља. На овом потезу ће се испитати ефекти евентуалне изградње бочне ретензије бр. 2, као и регулације реке Љиг у функцији заштите приобаља и аутопута на коридору 11.

На сливу реке Лукавице нису предвиђени ретензиони простори. Хидролочким моделом ће се анализирати слив реке са излазима на профилу узводно од Лазаревца и на ушћу у Колубару. Хидрауличким моделом ће бити обухваћен потез од ушћа у Колубару и кроз Лазаревац.

На сливу реке Пештан је већ разматрано и усвојено пет ретензија: Рудовци и Крушевица на реци Пештан и Трбушница, Бистрица и Даросевица на истоименим притокама. Хидролошким моделом ће се још једном проверити ефекти ових ретензија, са излазима на узводном крају код Рудоваца, на ушћу Трбушнице у Пештан, хидролочкој станици Зеоке и на ушћу Пешана у Колубару. Хидрауличким прорачунима ће се размотрити деоница од Рудоваца до ушћа у Колубару.

На сливу реке Турије ће се размотрити пет ретензија: Бељаница на Бељаници, Бењина на Губеревачком потоку и Пожанци на Сеони, све на сливу Бељанице, затим Венчане на Турији и Миросаљци на притоци Сибничкој реци. Хидролошким моделом ће се анализирати ефекти ових ретензија са излазима на ушћима поменутих притока у реципијенте и ушћу Турије у Колубару. Хидрауличким моделом ће се анализирати Турија од ушћа у Колубару до Венчана, Бељаница до Бељина, Барајевска река до ушћа Дубоког потока и Бањевачка река до Гунцата.

На току Тамнаве ће се размотрити изградња ретензије Каменица, као и ретензија Мали Бошњак на притоци Борина. Хидролошким моделом ће се дефинисати ефекат ретензија на профилима брана, ушћима притока и ушћу у Колубару. Хидраулички модел ће дефинисати нивое воде на потезу од ушћа у Колубару до Каменице.

На реци Уб ће се размотрити ефекти изградње ретензије Памбуковица, хидролошким моделом. Хидраулички прорачуни ће се радити за цео сектор водотока низводно од бране Памбуковица, до ушћа у Тамнаву. У овом сливу је разматрана и ретензија на

притоци Грачици, као и растеретни канал Уб-Грачица којим се део великих вода Грачице пребацује у корито Уба.

Ефекти мера и радова за унапређење заштите од поплава ће се такође испитати дуж целог тока реке Колубаре, од Ваљева до ушћа у Саву, применом и хидролошког и хидрауличког модела. Испитаће се ефекти бочних ретензија 1 и 3 (односно 3а и 3б), које су лоциране узводно од површинских копова РБ Колубара.

Зависно од ефеката испитаних ретензионих простора, дефинисаће се деонице насипа које треба реконструисати како би се постигао потребан степен заштите.

Хидраулички прорачуни дуж Колубаре и Тамнаве ће дефинисати које би ефекте на режим великих вода имала изградња нових насипа на појединим деоницама. На основу тога ће се предложити или одбацити њихова изградња.

Утицаји планираних противерозионих мера ће бити квантификовани кроз промену параметара отицаја у хидролошким анализама.

11 ЕКОНОМСКО ВРЕДНОВАЊЕ ПРЕДЛОЖЕНОГ РЕШЕЊА

11.1 Приказ методологије за економско вредновање засноване на benefit-cost анализи

Примарна улога финансијског модела који ће примењен у економском делу Студије је представљање, на недвосмислен начин, економских ефеката и финансијске оправданости предложених техничких мера, приказаних у Поглављу 9. Ова решења обухватају мере које представљају део планова за управљање ризиком од поплава који се развијају у складу са Директивом о поплавама.

Методолошки приступ који ће бити примењен је приступ који се користи за посебну класу "не-строго-комерцијалних" пројеката, односно, оних који укључују санацију, замену опреме и превентивне и мере заштите, са израженим друштвеним значајем и нису оријентисани само ка профиту.

Економске анализе које ће бити извршене обухватају следеће активности:

- давање елемената за избор и давање приоритета (рангирање) варијантних решења и
- економско-финансијску анализу изабраног решења.

Варијантна техничка решења се оцењују у складу са унапред дефинисаним критеријумима за њихове избор и рангирање. Један од ових критеријума представља и економска ефикасност решења. Економске анализе варијантних решења обухватају следећа три корака:

- процену трошкова и користи (избегнутих штета),
- финансијске и економске прорачуне и
- коришћење резултата економских прорачуна у утврђивању приоритета и дефинисању препорука.

За економске прорачуне при избору варијантних решења користиће се benefit-cost поступак (BCA).

Изабрано решење, односно редослед приоритета мера, биће изабрано на основу вишекритеријумске анализе (MCA). За ово решење и за претпостављене услове финансирања пројекта биће урађена детаљна економско-финансијска анализа. Модел који ће се користити се заснива на анализама предвиђених финансијских токова, односно, планираних избегнутих штета и трошкова.

11.1.1 Општа оцена предложених мера

При него што се буде извршила економска анализа предложених мера провериће се да ли оне испуњавају основне предуслове потребне за њихову реализацију, а то су:

- да су мере конципиране тако да се што је више могуће смањи њихов неповољан утицај на водно тело, у складу са WFD,
- да се ове мере не могу остварити другим поступцима чији би утицај на животну средину био мањи,
- да њихова примена има већи позитиван него негативан утицај на животну средину и здравље људи итд.

Ове провере биће извршене у Поглављима 12 и 13.

11.1.2 Процена штета

Детаљна анализа штета биће извршена у Поглављу 7.

11.1.3 Процена трошкова примене мера

Процена ће се односити на инвестиционе и оперативне трошкове. Оперативни трошкови биће обрачунати применом емпиријских стопа на одређене позиције из предмера и предрачуна.

Оперативни трошкови ће обухватити следеће ставке:

- инвестиционо и текуће одржавање,
- осигурање,
- плате запослених,
- материјалне и нематеријалне трошкове и др.

Обрачун амортизације вршиће се у складу са прописаним законским стопама. Амортизациони трошкови ће бити исказани одвојено од осталих трошкова и при одређивању актуелизоване вредности трошкова неће се узимати у обзир.

11.1.4 Процена користи од мера и трошкова

Ефекти заштите (избегнуте штете) се манифестују у облику смањења штета од дејства вода због предузимања заштитних мета и могу се одредити из израза:

$$B = D1 - D2$$

где су:

- B - ефекат заштите (benefit),
- D1 - штете у условима без заштите (стање "без пројекта") и
- D2 - штете у условима са заштитом (стање "са пројектом").

Ови ефекти утврђени су за све анализиране одељке и дати у Поглављу 10.

11.1.5 Примена BCA и оцена економске оправданости

Циљ примене BCA у овом контексту је да се процењене штете од поплава упореде са трошковима примене мера заштите од поплава. BCA је поступак који се успешно доказао у анализама пројеката заштите од поплава који се финансирају из јавних фондова.

Оцена економске оправданости варијантних решења вршиће се применом методе садашње вредности, а даваће се на основу следећих параметара:

- односа актуелизованих користи и трошкова (B:C),
- вредности нето користи (B-C) и
- минималне суме преосталих штета и трошкова заштите.

Користан показатељ економске ефикасности пројеката је такође и индекс ефикасности, који представља однос процењених избегнутих штета од поплава и процењене свеукупне цене мера заштите.

У оквиру "базне процене" (baseline) анализом ће бити обухваћен основни период коришћења система, а садашња вредност ће бити утврђена коришћењем одговарајуће дисконтне стопе.

Поред базне анализе биће извршена и анализа осетљивости решења. Ова анализа треба да узме у обзир могућа одступања вредности улазних података које потичу од:

- могућих одступања у хидролошким анализама,
- могућих одступања у хидрауличким анализама и
- могућих одступања у анализама штета и користи.

Због тога ће се анализа осетљивости вршити за следеће случајеве:

- већу вредност дисконтне стопе,
- веће трошкове пројекта,
- веће бенефите пројекта и
- краћи период коришћења објеката.

Конкретне вредности параметара анализе осетљивости биће усклађене са резултатима осталих анализа у Студији (процењеним одступањима у проценама вредности и сл.).

11.1.6 Дефинисање приоритета мера и избор оптималног решења применом МСА

Дефинисање приоритета предложених мера и њихова оцена захтевају сагледавање више аспеката реализације пројеката примене мера, а не само њихове економске показатеље, односно вишекритеријумску анализу (МСА). Неки од критеријума који се разматрају могу да буду:

- број становника изложених утицају Q_{100}
- број привредних изложених утицају Q_{100},
- присуство објеката који могу да доведу до значајног загађења, односно смањења квалитета, вода под утицајем Q_{100},
- број објеката који се сматрају културним наслеђем или културно-историјским споменицима а који могу да буду угрожени под утицајем Q_{100},
- обим избегнутих штета при примени предложених мера,
- трошкови примене предложених мера,
- економска ефикасност предложених мера и др.

Из овог списка види се да економска анализа даје само одређене елементе за оцену и рангирање предложених техничких решења. Такође је потребно истаћи да је при одређивању оправданости мера са економског становишта потребно показати и одређену меру флексибилности, пре свега због тога што се улагања у објекте за заштиту од поплава често не могу повратити у кратком року, а такође и због тога што при оцени оправданости оваквих пројеката није потпуно примерено користити мерила прихваћена за улагање у привредне објекте (применом високих стопа актуелизације). Другим речима, не би било правдано да се због високе дисконтне стопе, односно кратког рока предвиђеног за валоризацију ефеката заштите доведе у питање реализација система заштите на некој деоници. Ово ће бити узето у обзир приликом вршења МСА.

Елементи за МСА који се односе на утицаје на друштвену заједницу и животну средину биће дати редом у Поглављима 12 и 13.

11.1.7 Анализа изабраног решења

Економска анализа пројекта ће трансферна плаћања (порез и слично) искључити из економских токова.

Финансијске пројекције ће бити дате на основу константних цена јер се тиме у условима нестабилног тржишта смањује ризик од погрешне претпоставке у погледу инфлације и курсних осцилација.

Пројекције економских биланса и финансијских токова ће се заснивати на: (а) инвестиционим плановима; (б) пројекцијама фиксних и варијабилних трошкова; (в) плановима депресијације и амортизације; (г) неопходним нето обртним средствима; (д) финансијском плану и дугорочним обавезама (кредити), и (ђ) пројекцијама избегнутих штета ("прихода").

Економска оправданост пројекта ће бити оцењена на основу детаљне и сложене економске анализе, укључујући и "статичке" и "динамичке" методе и економски и новчани ток за стање са и без реализације пројекта.

Статичке методе ће се заснивати на изводима за пројектовани период "операције" и новчаним токовима.

Динамичке методе ће укључити: (а) израчунавање интерне стопе рентабилности; (б) прорачуне нето садашње вредности; (в) утврђивање вредности добити и трошкова; (г) дисконтовање новчаних токова, и (д) прорачун периода отплате за сва варијантна решења.

Динамичка анализа ће обухватити анализу осетљивости која ће узети у обзир главне параметре варијација које би могле озбиљно утицати на ефекте пројекта, као што су варијације инвестиционих трошкова, варијације избегнутих штета и других користи од имплементације пројекта. Анализа ризика ће такође бити изведена.

Економска и финансијска анализа ће бити заснована на међународним стандардима за развој таквих анализа у области изградње инфраструктуре, законској регулативи и прописима и законима Републике Србије.

Иако се пројектним задатком не дефинише да економски део Студије треба да садржајем одговара Студији оправданост, у њему ће бити садржани сви битни елементи на основу којих се, ако то буде потребно, ова Студија може направити.

12 УТИЦАЈ ПРЕДЛОЖЕНОГ РЕШЕЊА НА СОЦИЈАЛНЕ ЧИНИОЦЕ

12.1 Генерални приказ простора на коме разматрани радови и мере могу имати утицаја на социјалне чиниоце

Анализа и приказ простора на коме разматрани радови и мере могу имати на социјалне чиниоце базираће се на:

- расположивим подацима о рецепторима у простору који су од значаја за сагледавање могућих социјалних утицаја;
- картама угрожености од поплава и другим графичким прилозима који ће се радити за потребе израде Студије;
- подацима прикупљеним на начин елабориран у тачки 12.2.1.

Приказ простора на коме предвиђени радови и мере имају утицај на социјалне чиниоце базирао би се на анализи простора из других делова Студије и био би комплементаран са њима.

12.2 Приказ методологије и критеријума за оцену утицаја предложеног решења на социјалне чиниоце

Полазећи од схватања да је процена утицаја на друштво (Social Impact Assessment) „процес истраживања, планирања и управљања социјалним променама или последицама (позитивним и негативним, намерним и ненамерним) које произилазе из политике, планова, програма и пројеката“[6] који не може да третира само друштвену димензију одвојено од просторне, биофизичке, економске, односно да све оне синергично помажу постизању одрживости, препоручујемо више извора и техника за прикупљање података.

Сам процес прикупљања података би се могао одвијати по следећим фазама:

- стварање партнерских односа са представницима локалних самоуправа, које су предмет истраживања;
- одређивање локалних повереника који би помогли координирању рада на терену;
- одржавање радних састанака у градовима и општинама које су укључене;
- одређивање актера локалне заједнице (stakeholders);
- формирање фокус група у локалним заједицама, као једног од најпогоднијих облика приупљања квалитативних података. Конкретно, у овом случају би биле састављене од актера локалних самоуправа:
- носиоци друштвених функција,
- представници капитала,
- стручњаци,
- представници политичких партија,
- невладине организације,
- грађани,

[6] *Taylor, C.N., Bryan, C.H. and Goodrich, C.G. (1995). Social Assessment: Theory, Process and Techniques. Second Edition. The Caxton Press, Christchurch, New Zealand.*

- осетљиве друштвене групе (деца, стари, етничке мањине, незапослени, социјално угрожени итд).

Фокус групе би биле формиране и организоване од стране локалних повереника, а који би од Обрађивача добили детаљна упутства о вођењу радних састанака, а био би креиран и посебан упитник којим би се прикупљали подаци од самих група.

Осим фокус група и упитника, као методе избора могу се користити и остали начини прикупљања података:

- расположиви званични статистички подаци Републичког завода за статистику,
- сродне стручне студије и научна истраживања,
- посматрање,
- карте,
- орто-фото снимци,
- важећа урбанистичко-планерска документација,
- и сви други расположиви подаци државних органа локалних самоуправа, који су релевантни за обраду теме.

Предложени методолошки приступ биће усклађен са расположивим ресурсима и роковима потребним за израду Студије, односно дела Студије који се односи на процену социјалних утицаја, али на начин да се обезбеди одговарајући квалитет обраде. У контексту предложеног начина прикупљања података, то би подразумевало прилагођавање реалним околностима на терену и могућностима за њихово обезбеђивање.

Уз помоћ предложених методолошких техника, биће идентификован степен угрожености и добијени квалитетни улазни подаци о дефинисаним испитиваним појавама, на основу чега ће бити могуће извршити квалитетну процену утицаја планираних решења на социјалне чиниоце и предложити одговарајуће мере за ублажавање негативних појава, као и програм праћења утицаја на социјалне чиниоце.

Све наведено омогућило би и компарацију стања пре и после спровођења мера Студије управљања ризиком од поплава у сливу реке Колубаре.

Методолошки оквир за прикупљање података као основе за процену утицаја предложених решења на социјалне чиниоце дат је у наредној табели. Идентификована су проблемска подручја, одговарајуће класе података и приказани могући начини прикупљања података.

Табела 12.1 Методолошки оквир за процену социјалних утицаја

Проблемско подручје	Класе података	Могући начини прикупљања података
Актери локалне заједнице, (stakeholders)		Локална самоуправа – упитник, састанци
носиоци друштвених функција представници капитала стручњаци представници политичких партија невладине организације грађани вулнерабилне (осетљиве) друштвене групе деца, стари, незапослени, етничке мањине и сл.	А. Идентификација Актера локалне заједнице Б. Оцена почетног стања	SWOT (strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) анализа снага, слабости, прилика и претњи), једноставна и јевтина алатка којом локални повереници могу направити везу снага и слабости, са шансама и претњама у екстерном окружењу сваке локалне заједнице у обухвату студије
Животни стандард грађана – материјални	бруто (национални доходак), домаћи производ (БДП),нето национални производ, лични доходак, расположиви лични доходак	расположиви статистички подаци РЗС Београд,
Животни стандард грађана - нематеријални: образовање, здравствена заштита, запошљавање, друштвена укљученост, безбедност, култура, државна администрација, организација јавних служби, изграђеност инфраструктуре, систем комуникација, медији	Очекивано трајање живота –	расположиви статистички подаци РЗС Београд, фокус групе
	инциденција и преваленција болести	расположиви подаци од надлежних Завода за заштиту здравља, фокус групе,
	осећање безбедности –	фокус групе, анкетно истраживање,
	државна ад министрација, организација јавних служби –	анкетни образац за локалне самоуправе, фокус групе,
	информисање, систем комуникације	статистички подаци, анкетно истраживање, фокус групе,
Промене у друштвеном животу	Промене у начину живота, начин понашања, промене духа места, наслеђе, припадност, осећање сигурности, утицаји на вулнерабилне друштвене групе	статистички подаци РЗС за подручје за обрађивано подручје, анкетно истраживање
	Промене у вредностима и навикама	анкетно истраживање
	Промене у локалној заједници – друштвена кохезија	фокус групе, анкетно истраживање
	Дистрибуција друштвене моћи и утицаја у локалној заједници	фокус групе, анкетно истраживање
Промене у локалној заједници	поплаве, пољопривреда, инфраструктура	статистички подаци РЗС за подручје за обрађивано подручје, фокус групе, анкетно истраживање
Миграције и циркулације	Исељавање са подручја из обухвата Студије	расположиви статистички подаци РЗС , витална статистика, подаци МУП-а РС – одељења за ванредне ситуације (уколико постоје локална одељења)

У методолошком смислу, процена утицаја планираних решења на социјалне чиниоце базирала би се на вишекритеријумском експертској евалуацији. Критеријуми за процену утицаја били би у основи базирани на следећим карактеристикама утицаја:

- вероватноћа, интензитет, сложеност, реверзибилност;
- временска димензија (трајање, учесталост, понављање);
- просторна димензија (локација, географска област, број изложених становника, кумулативна и синергијска природа утицаја).

У фокусу би била процена утицаја на: становништво и здравље; насеља; инфраструктурне, вулнерабилне и друге објекте.

13 УТИЦАЈ ПРЕДЛОЖЕНОГ РЕШЕЊА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ

Процена утицаја предложеног решења ће се урадити у обиму и садржају према усвојеном Пројектном задатку.

Поглављем 13. ће бити обухваћен квалитативни и квантитативни приказ могућих промена у животној средини за време извођења Пројекта, у периодима појаве великих вода на Колубари и притокама, у случају акцидентних ситуација, као и у околностима, када су изграђени објекти у стању мировања ван предвиђених функција. Обавиће се процена да ли су промене привременог, или трајног карактера.

13.1 Генерални приказ простора на коме разматрани радови и мере могу имати утицаја на животну средину

13.1.1 Слив Колубаре

Површинске воде на сливу Колубаре су веома оскудне са изразитом временском неравномерношћу, са кратким поводњима и врло дугим маловодним периодима, што је веома неповољно са гледишта могућности захватања воде из водотока. Колубара настаје спајањем Обнице и Јабланице, узводно од Ваљева, а улива се у реку Саву код Обреновца, око 27 km узводно од Београда. Укупна површина слива Колубаре износи око 3,640 km^2. Средњи годишњи протицај износи око 20 m^3/s. Најзначајније су притоке Градац, Јабланица, Љиг, Пештан и Тамнава. Притоке су I, или II класе квалитета, док је Колубара у II и III класи. Подручје слива Колубаре обухвата делове или целе територије општина: Обреновац, Барајево, Сопот, Лазаревац, Коцељева, Уб, Ваљево, Лајковац, Мионица, Љиг, Аранђеловац, Горњи Милановац и Косјерић. Просечна густина становништва на сливу је око 92 ст/km^2. Укупан број становника на сливу је око 335 000, а највећа насеља су: Ваљево (61 035 ст.), Лазаревац (23 551 ст.) и Обреновац (23 620 ст.).

Подземне воде се, због ограничених резерви, користе за мање сеоске водоводе. Издашност расположивих изворишта је 352 l/s/st, којом се снабдева око 192 204 становника, при чему је специфична издашност изворишта 1,83 l/s/stan (Агенција за заштиту животне средине). Највећи потенцијал већ ангажованих изворишта налази се у зони кречњака на северним падинама ваљевских планина. Највеће врело је „Пакље" са капацитетом 130 до 1000 l/s већ користи град Ваљево за потребе водоснабдевања. Водом за пиће, Колубарски округ се снабдева из подземних изворишта. Према расположивим подацима (Н. Вељковић) проценат неисправних узорака је испод 5, што овај регион сврстава у област са безбедним изворштима.

Изградња акумулације Стубо Ровни је приведена крају, а планира се изградња регионалног система за водоснабдевање градова Ваљево, Лазаревац, Уб, Мионица, Лајковац, (укупан број корисника 232000 ст.) који би захватао воду са будуће акумулације.

13.1.2 Индустријски и производни објекти на сливу

Међу привредним активностима доминира рударско-енергетски комплекс, пре свега ископавање угља, квалитета лигнита и помоћу њега, као енергента, производња струје у термоелектранама. Угаљ се вади на површинским коповима смештеним на десној обали Колубаре, а струја се производи у ТЕ Колубара, укупне снаге 270 kW у Великим Црљенима и двема, много већим ТЕ, у околини Обреновца, ТЕ Никола Тесле А и Б, смештеним ван слива Колубаре. Као последица интезивног вађења угља, долази до

деградације животне средине, пресељавања насеља, загађивања вода, ваздуха и земљишта. Поред угља, најзначајније минералне сировине, која се вади на простору Колубарског округа, врши се експлоатација и кварцног песка, кречњаци, цементни лапорци, беле глине, каолин дијабас, доломит, магнезит, битуминозни шкриљци, и др. Постоје и економске резерве злата, сребра и бакра, али се оне не експлоатишу.

Значајнији индустријски производни капацитети су „Крушик", „Градац", „ДП Метал", „ИКЛ", као и прехрамбени погони, „Пивара", „Србијанка", „Задружна млекара", „Хладњача", „Воћар", АД „Прехрамбена индустрија-Тамнавац" и још неки мањи. Наведени објекти се налазе у местима Ваљево, Мионица, Лајковац, Степојевац, Уб и Коцељева. На приложеној слици дат је приказ намене простора у сливу.

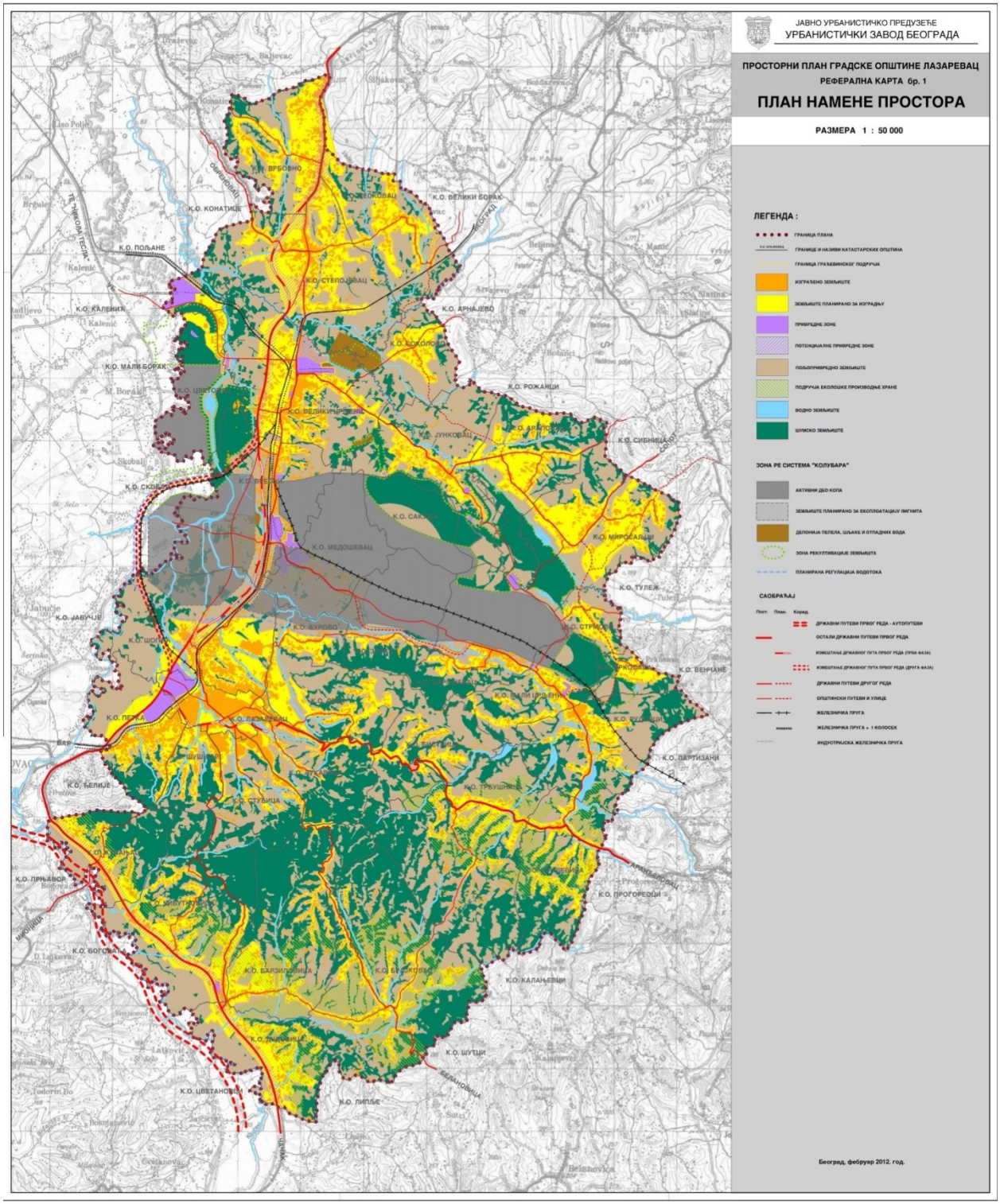
13.1.3 Комуналне отпадне воде

Објекти за пречишћавање отпадних вода су слабо изграђени и у будуће треба уложити додатни напор у изградњи недостајућих капацитета. Ваљево је једино насеље на сливу са изграђеним постројењем за пречишћавање отпадних вода. На градско постројење су повезане и одређене индустрије у ваљевском реону.

У Лазаревцу, као друго највеће насеље на сливу, не постоји постројење за пречишћавање отпадних вода. Отпадне воде се испуштају у реку Лукавицу, малу десну притоку Колубаре, низводно од града. Обреновац је насеље које, по свом положају, практично лежи на непосредном сливу Саве. Отпадне воде се, преко градског канализационог система са четири црпне станице, испуштају у Колубару без пречишћавања. Мала насеља (<2000 ст.) немају изграђену канализацију, већ се користе септичке јаме.

13.1.4 Чврсти комунални отпад

Процењује се да се количине комуналног чврстог отпада крећу у интервалу од 0,8 до 0,9 kg/d/st. Отпад се одлаже на градске депоније које су окарактерисане као »сметлишта«, јер не испуњавају ни минималне мере санитарне заштите. Укупне количине отпада на сливу Колубаре процењују на око 240 t/d. У општини Уб у атару села Каленић, планирана је изградња регионалног центра за управљање комуналним отпадом.



Слика 13.1 План намене простора на сливу Колубаре

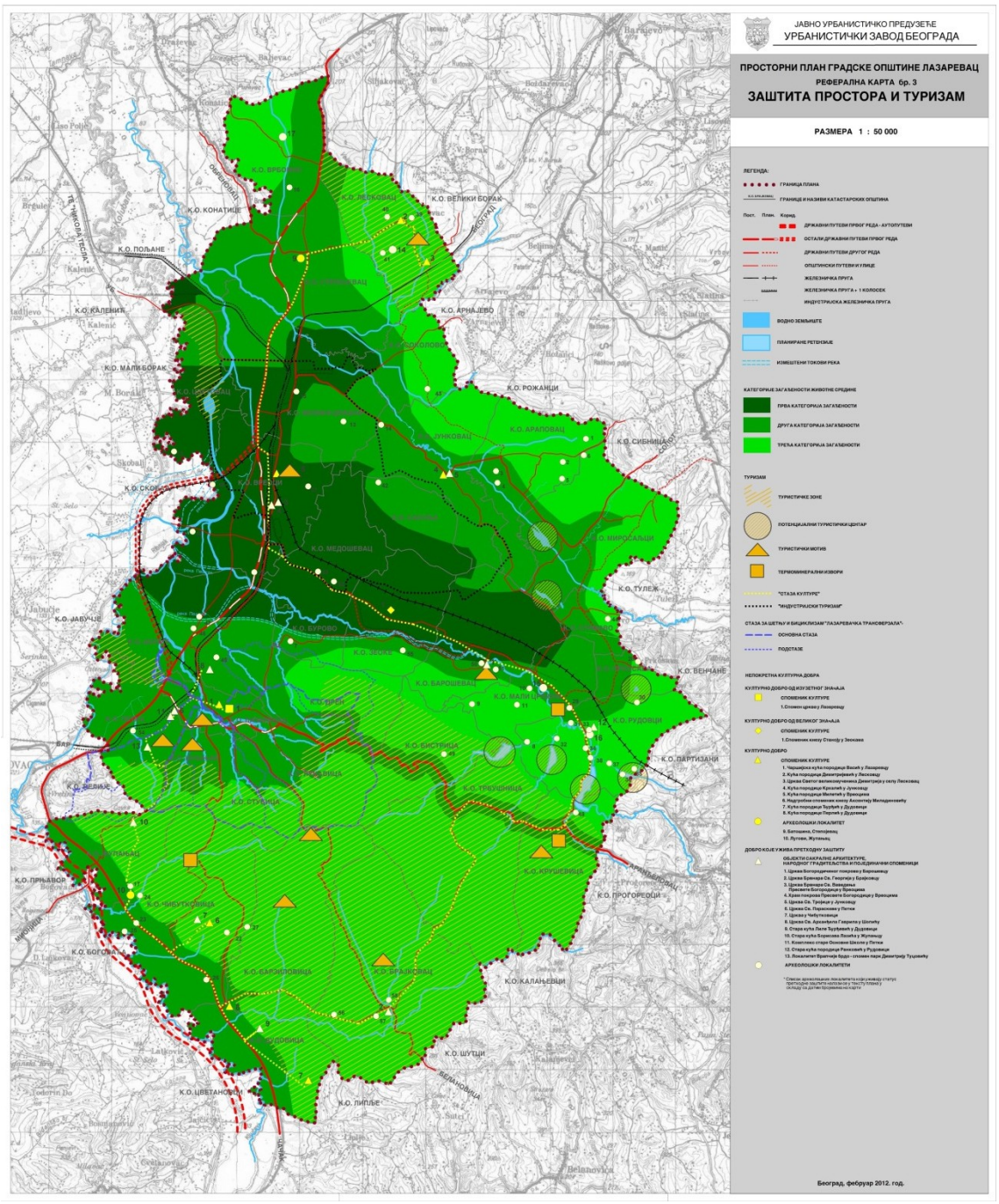
13.1.5 Културно-историјске знаменитости

У Ваљеву је чувен Муселимов конак, типичан пример турске архитектуре из XVIII века, Кула Ненадовића из 1813. Г. мономентална класицистичка грађевина у Србији, Манастир у Докмиру из XIV века, Манастири Лелићи и Ћелије у селу Лелићи, родном селу владике Николаја Велимировића, Манастир Петница, манастир Боговађа код Лајковца и спомен костурница у Ћелијама, споменик 1300 каплара на Руднику, храм светог Димитрија у Марковој цркви у Лајковцу, манастир „Докмир и црква св.

Вазнесења у Убу. Близу Лајковца, смештено је и археолошко налазиште"Арнине". У елаборату ће бити описани и сви други значајнији споменици и објекти.

13.1.6 Природне реткости и знаменитости

На сливу Колубаре се налази више паркова природе и заштићених простора, као што су природни резерват „Забелац" са строгим мерама заштите, Парк природе „Рибница" са Рибничком и Шалитреном пећином, клисура реке Градац, Петничка и Дегурићка пећина и др. Осечина је позната по бројним изворима воде за пиће, "Изворац", "Грозничава вода", "Мусагина вода", "Петрова вода", "Муселимова вода", као и лековити извори „Гвоздена вода"и извор у Горњем Црниљеву. Термо-минерална вода се појављује у бањи Врујици и у непосредној близини Љига.



Слика 13.2 Заштита простора на сливу Колубаре и туристички локалитети

13.2 Приказ методологије и критеријума за оцену утицаја предложеног решења на животну средину

Сврха Поглавља 13. је да се квалитативно вреднује постојеће стање животне средине на простору на коме се планирају радови, дефинишу и квантификују утицаји и могући утицаји за предложеног решења на животну средину.

Методолошки приступ, којим се врши процена утицаја предвиђених радова и објеката на животну средину, чини неколико корака, и то:

5. Прикупљање основних информација о животној средини на локацији

Посебна пажња биће посвећена:

- квалитету ваздуха, воде, земљишта, нивоу буке, интезитету вибрација,
- здрављу становништва,
- екосистему,
- насељености, концентрацији и миграцији становништва,
- намени и коришћењу површина (изграђене и неизграђене површине, употреба пољопривредног, шумског и водног земљишта),
- комуналној инфраструктури,
- флори и фауни на посматраном терену, опису заштићених и угрожених биљних и животињских врста,
- природним добрима посебних вредности и непокретним културним добара и њиховој околини,
- пејзажним карактеристикама подручја.

6. Процени утицаја на основу квантификације следећих елемената:
   - величине извора и врсте утицаја,
   - доминантан утицај на околину са карактеристикама утицаја,
   - стања квалитета животне средине,
   - процене просторне расподеле доминантних утицаја.
7. Анализи угрожености, под којом се подразумева идентификација свих осетљивих ресурса у околини, људи, материјалних и природних добара.
8. Дефинисање мера заштите на основу резултата процене степена утицаја, за све чиниоце животне средине (ваздух, вода, земљиште, биљни и животињски свет, становништво, заштићена културна добра и природне реткости), укључујући превентивне, техничко-технолошке и организационе мере заштите. Опис мера за спречавање и отклањања сваког значајнијег штетног утицаја на животну средину обухватиће мере, које ће се предузети за: уређење простора, техничко-технолошке мере, обезбеђивање сталне погонске исправности свих компонената одбрамбеног система. У оквиру ове активности, дефинисаће се и мере које ће се предузети у случају удеса и друге мере, које могу утицати на спречавање или смањење штетног утицаја на животну средину. Мере су обухваћене законским и другим прописима, нормативима, стандардима и роковима за њихово спровођење.
9. Дефинисање мониторинга животне средине. За мониторинг животне средине, дефинисаће се програм мониторинга. Програм мониторинга ће садржати приказ стања животне средине пре почетка функционисања пројекта на локацијама где се очекује утицај на животну средину, параметре на основу којих се могу утврдити штетни утицаји на животну средину и места, начин и учесталост мерења утврђених параметара.

14 СМЕРНИЦЕ И УСЛОВИ ЗА ИЗРАДУ И ИЗМЕНУ ПЛАНСКЕ ДОКУМЕНТАЦИЈЕ РЕЛЕВАНТНЕ ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ ЗАШТИТЕ ОД ПОПЛАВА, КАО И ЗА ОГРАНИЧЕЊА У КОРИШЋЕЊУ И УРЕЂЕЊУ ВОДНОГ ЗЕМЉИШТА

У овом делу Студије прво ће се утврдити потреба за корекцијом важеће и израдом нове планске документације – просторних и урбанистичких планова, са аспекта реализације планираних и заштите постојећих водопривредних објеката за заштиту од вода и утврђивања одговарајућег режима заштите, коришћења и изградње простора водног земљишта и потенцијалних плавних зона.

У овом делу студије ће се дефинисати и смернице за израду техничке документацију за изградњу објеката и мера за постизање пројектованог степена заштите од поплава у сливу Колубаре, као и израде документације за евентуалну реконструкцију постојећих објеката (насипа ..) и документације за управљање постојећим акумулацијама.

Наиме, даља израда планске и техничке документације и потребних студија ће бити дефинисана да би изградња планираних објеката почела у складу са Законом о планирању и изградњи.

Овај део Студије ће, за појединачне објекте, укључити и дефиницију надлежности за грађевинске дозволе. Реално је очекивати да ће општине у којима је лоциран планирани објекат бити у позицији да издају грађевинску дозволу.

У оквиру овог дела студије биће дефинисане измене планских докумената, ако је потребно (када плански документи постоје али не укључују објекте за заштиту од поплава који су планирани овом Студијом).

Обзиром да издавање грађевинских дозвола за објекте за заштиту од поплава (бране, акумулације, насипи и регулације) траје дуго (као последица имовинско-правних питања на подручју које ће бити заузето), будући инвеститори треба да буду јасно информисани о времену потребном за издавање предметног документа.

У оквиру овог поглавља биће дефинисан динамички план активности везаних за издавање грађевинских дозвола. Динамика ће обухватити време потребно за израду техничке документације, ревизију техничке документације, добијање локацијских услова и услова ресорних институција, израду и доношење планских докумената, прибављање сагласности и мишљења ресорних институција за пројектну документацију, процењено време за утврђивање имовинско-правних односа на подручју и времена потребног за добијање грађевинске дозволе.

Пошто ће развој система заштите од поплава бити изведен у фазама, динамика ће бити усклађена са унапред дефинисаним фазама грађевинских радова.

15 ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ПОДАТАКА И РЕЗУЛТАТА СТУДИЈЕ У ВОДОПРИВРЕДНИ ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМ СРБИЈЕ (ВИСС) И КОМУНИКАЦИЈА СА КОРИСНИЦИМА СТУДИЈЕ ПУТЕМ ИНТЕРНЕТ ПОРТАЛА

15.1 Приказ елемената ВИСС модела података од значаја за Студију

Пројекат Водног информационог система Србије (ВИСС) завршен је почетком 2009. године. Систем је пројектован тако да омогући свеобухватно праћење и управљање водним ресурсима у Србији на државном нивоу. Иако је у међувремену (2010) донет нови Закон о водама, ВИСС и даље у доброј мери подржава кључне елементе за управљање водама.

Приликом формирања ГИС базе података Студије, потребно је водити рачуна о садржају и структури модула и елемената ВИСС базе података како би се постигла усклађеност, али и водити рачуна о актуелном стању у области вода (нова сазнања у области заштите од поплава, подзаконска акта донета после успостављања ВИСС и др.) и дати препоруку за усклађивање модела података у ВИСС са актуелним стањем.

Модел података у ВИСС се састоји из више модула. Од значаја за ову Студију су модули:

- површинске воде,
- водни објекти,
- мерне станице,
- поплаве,
- ерозија,
- заштићена подручја,
- коришћење вода.

ГИС база података Студије је, тамо где за то постоји основ у ВИСС, формирана тако што је преузета структура ВИСС табела од значаја за Студију. На тај начин ће бити омогућено једноставно мигрирање података из Студије у ВИСС. У случајевима када структура ВИСС табела не обухвата све потребне атрибуте, табеле у бази Студије ће се проширити додатним информацијама. У овим случајевима, као и када су у питању елементи ГИС базе података Студије који немају утемељење у ВИСС (нпр. коридори путева и други просторни подаци који изворно нису предвиђени ВИСС-ом), потребно је у оквиру одржавања ВИСС пронаћи техничко решење за њихово ажурирање односно преузимање.

У наставку се наводе елементи модула ВИСС који су од значаја за Студију.

У оквиру модула **Површинске воде** се налазе геометрија и атрибут табеле водотока, стајаћих вода (природних и вештачких - акумулације и ретензије) и сливова.

Модул **Водни објекти** садржи геометрију и атрибуте насипа, регулисаних корита, подужних и попречних регулационих грађевина, брана и других попречних објеката. Осим тога, предвиђен је унос података о техничкој документацији везаној за објекте.

Модул **Мерне станице** обухвата геометрију и атрибуте хидролошких и метеоролошких станица.

Модул **Поплаве** садржи елементе Оперативног плана за одбрану од поплава (деонице, сектори, касете, водни објекти, меродавна мерна станица, временске серије и др.), као и елементе прелиминарне процене одбране од поплава (историјске поплаве, потенцијалне плавне зоне). Овај модул садржи и елементе заштите од унутрашњих вода (мелиорационо подручје, поплављено подручје). Предвиђени су и подаци о линијама попречних профила водотока.

Модул **Ерозија** садржи просторне (полигони и линије) податке о ерозионим подручјима и њихове атрибуте.

У оквиру модула **Заштићена подручја** предвиђена су подручја према различитим типовима заштите (заштита станишта, купање и рекреација и др.), као и подручја заштите изворишта воде за пиће.

Модул **Коришћење вода** садржи просторне податке о објектима за разне видове коришћења вода (хидроелектрана, водозахват, испуст, црпна станица, резервоар и др.), као и елементе водопривредних аката.

15.2 Гис база података

Географски информациони систем (ГИС) је систем у коме се прикупљају, чувају, обрађују, анализирају и приказују сви типови просторних или географских података.

Просторни подаци, векторски (тачке, линије и полигони) и растерски, који јесу или ће бити садржани у ГИС бази података Студије имају вишеструку улогу:

- представљају подлоге и/или улазне податке за хидролошке, хидрауличке и друге прорачуне (дигитални модел терена, хидрографска мрежа, границе сливова и подсливова, локације водних и других објеката релевантних за Студију, локације хидролошких и метеоролошких станица, коришћење земљишта и др.),
- омогућавају просторне анализе за различите сврхе (постојеће стање заштите од великих вода у сливу Колубаре, процена угроженог становништва, процена штета и сл.),
- омогућавају израду тематских карата у оквиру Студије за потребе приказа различитих појава:
    - карта поплављеног подручја 2014,
    - локације оштећених објеката током мајских поплава 2014,
    - локације започетих и планираних објеката и радова за унапређење заштите од поплава,
    - постојећа и планирана инфраструктура,
    - постојеће и планирано коришћење земљишта,
    - карте различитих рецептора ризика од поплава,
    - карте ерозије и др.
- представљају резултат Студије (простирање плавних зона и дубине воде при појави поплавних таласа различитих вероватноћа појаве, карта угрожених подручја, планирани објекти за унапређење заштите од поплава и др.).

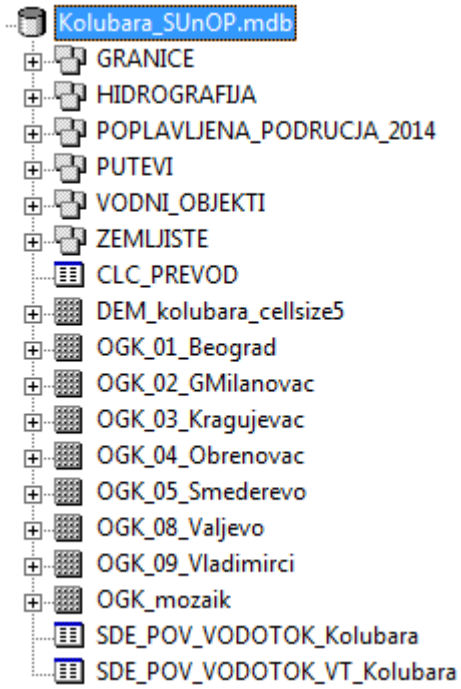
У наставку је дат приказ концепта и садржаја ГИС базе података Студије.

15.2.1 Концепт и генерални садржај ГИС базе података

ГИС база података Студије (Kolubara_SUnOP), генерално, садржи просторне податке расположиве за све потребне анализе и прорачуне који ће довести до резултата Студије, као и саме резултате Студије који су просторно или географски дефинисани. У складу са тим ГИС база података Студије ће се развијати од почетне фазе у којој садржи податке потребне за почетне анализе, до завршне фазе у којој ће, осим наведених, садржати и податке добијене као међурезултате и коначне резулате спроведених анализа.

15.2.2 Детаљан садржај дела ГИС базе података – подлога релевантних за Студију

Детаљни приказ садржаја почетне ГИС базе података дат је у посебном Извештају у оквиру Студије (Извештај о формирању ГИС базе података, Институт за водопривреду „Јарослав Черни", септембар 2015), у коме су наведене основне информације о подацима (размера, порекло и сл.). Илустрација садржаја почетне базе података приказана је на слици 1, а сам садржај сетова података, њихово порекло и основна размера приказани су у табели 1.



Слика 15.1 *Тематски сетови података у почетној ГИС бази Kolubara_SunOP*

Табела 1. Садржај почетне ГИС базе података

Сет података	Слој	Тип података	порекло	размера	напомена
GRANICE	Opstine_PTK300	геометрија	ВГИ ПТК300	1:300000	
	Vodna_podrucja	геометрија	ИЈЧ	1:300000	засновано на границама катастарским општина преузетим од МПЗЖС
HIDROGRAFIJA	POV_VODOTOK_SEGMENT_L_ Kolubara	геометрија	ВИСС	1:25000	ажурирано у ИЈЧ
	SDE_POV_VODOTOK_ Kolubara	табела	ВИСС		ажурирано у ИЈЧ
	SDE_POV_VODOTOK_VT_ Kolubara	табела	ВИСС		ажурирано у ИЈЧ
POPLAVLJENA_ PODRUCJA 2014	Pleiades_Potencijalna_klizista_GK7_2015	геометрија	РГЗ		
	Pleiades_Voda_GK7_08062014	геометрија	РГЗ		
	Pleiades_Voda_GK7_21052014	геометрија	РГЗ		
	Pleiades_Voda_GK7_08062014	геометрија	РГЗ		
	Pleiades_Zemljiste_zasiceno_vodom_GK7_21052014	геометрија	РГЗ		
	SPOT6_Voda_GK7_19052014	геометрија	РГЗ		
	SPOT6_Voda_GK7_21052014	геометрија	РГЗ		
	SPOT6_ Zemljiste_zasiceno_vodom_GK7_19052014	геометрија	РГЗ		
	SPOT6_ Zemljiste_zasiceno_vodom_GK7_21052014	геометрија	РГЗ		
PUTEVI	Koridor_11_1	геометрија	Саобраћајни институт ЦИП (AutoCad)		ажурирано у ИЈЧ
	Koridor_11_2	геометрија	Институт за путеве (AutoCad)		ажурирано у ИЈЧ
VODNI_OBJEKTI	KVO_VODNI_OBJEKAT_pt	геометрија	ВИСС		
	KVO_NASIP	геометрија	ВИСС		
	KVO_PODUZNA_REG_GRADJEVINA	геометрија	ВИСС		
	KVO_VODNI_REGULISANO_KORITO	геометрија	ВИСС		
ZEMLJISTE	CLC_2006_kolubara	геометрија	EEA		
	CLC_2012_kolubara	геометрија	EEA		
	CLC_PREVOD	табела	ИЈЧ		
Дигитални модел терена	DEM_kolubara_cellsize5	растер	ВИСС	1:25000	
Основна геолошка карта	*OGK*	растер	МРЕ		

У зависности од расположивости у наредном периоду, база података ће се допуњавати и другим подацима који су од значаја за спровођење анализа и добијање резултата Студије (насељена места, инфраструктурни, верски, здравствени, културни и други објекти из просторних планова, линије попречних профила корита, геометрија и атрибути значајних поплавних подручја и др.).

15.2.3 Начелни садржај дела ГИС базе података - резултата Студије

У складу са напредовањем активности на изради Студије, ГИС база података ће се пунити новим просторним информацијама које су резултати анализа поплаве 2014. године, хидролошких анализа и хидрауличких прорачуна.

Као један од најважнијих резултата Студије добиће се просторни подаци за приказ плавних зона који настају пресеком равни воденог огледала (која је резултат хидрауличких прорачуна) са дигиталним моделом терена. Резултати су векторски

формат плавних зона (полигони) и растерски подаци са дубинама воде за поплавне таласе различитих вероватноћа појаве.

Осим тога, коначна верзија ГИС базе података садржаће просторне и атрибутне податке о објекатима и мерама за унапређење заштите од поплава на сливу Колубаре (бране, преграде, акумулације, ретензије и др.) и другим елементимаа неопходним за сагледавање и приказ интегралног решења система за заштиту од поплава у сливу Колубаре.

15.2.4 Модел ГИС базе података

Почетна верзија садржаја ГИС базе података приказана је у 15.2.2. Са напредовањем активности на Студији, биће могуће сагледати и структуру завршне верзије ГИС базе података. Структура елемената ГИС базе података Студије треба у највећој могућој мери да буде усклађен са ВИСС. Такође, у случају да у неким елементима садржај базе података Студије буде шири од оног у ВИСС, даће се препоруке за усклађивање и ажурирање модела података у ВИСС.

15.3 Интернет портал за везу са стручном и широм јавношћу

Пројекат интернет портала за везу за стручном и широм јавношћу израђује Институт "Јарослав Черни". Сам портал ће бити имплементиран на софтверско-хардверској платформи ЈВП "Србијаводе" и администриран од стране особља ЈВП "Србијаводе".

15.3.1 Предмет и циљ израде интернет портала

Предмет израде интернет портала за везу са стручном и широм јавношћу је формирање портала који садржи вести у вези реализације пројекта и резултате пројекта у виду докумената на инфраструктури ЈВП "Србијаводе".

Циљ израде је пружање садржаја везаних за реализацију пројекта у стандардном формату стручној и широј јавности на разним уређајима и софтверима за преглед интернет портала, уз управљање приступом подацима и садржајима.

15.3.2 Развој интернет портала

Развој интернет портала треба реализовати према пројекту који даје Институт "Јарослав Черни". Пројекат треба да дефинише захтеве за израду основне структуре портала, постављање и управљање садржајем портала, као и безбедносне механизме за управљање приступом и процедуре чувања података.

Основна структура портала треба да буде дефинисана у складу са наменом портала, а то је информисање стручне и шире јавности. Како су за овакву намену предвиђене честе промене и допуне садржаја, портал треба дефинисати као динамички портал у одговарајућој технологији. Динамички портал подразумева израду програмабилних компонената, па је потребно тестирати портал пре постављања. У том смислу, потребно је обезбедити интернет адресе за портал (извршна верзија), али и за његову тест верзију.

Тест верзију треба користити пре објављивања извршне верзије за тестирање компоненти (модула) и технологија на којима се портал извршава. Тестирање извршити на тест порталу стандардним тестовима за веб садржаје и формирати извештај након успешног тестирања.

Пре објављивања, потребно је обезбедити почетни садржај портала (циљеви пројекта, списак учесника, постојећа документа у вези пројекта). Треба предвидети и тестирање почетног садржаја портала и усаглашавање садржаја пре објављивања. Тестирање се

обавља на тест порталу, а након усаглашавања, садржај се објављује на извршној верзији портала.

Пројектом је потребно дефинисати структуру корисничких налога у смислу овлашћења на порталу. Неопходно је одредити права која имају корисници за прегледање, додавање, мењање и брисање садржаја. Потребно је посебно дефинисати овлашћења анонимног корисника, ауторизованог корисника, уредника и администратора. Предвидети механизам пријављивања путем корисничког имена и лозинке, при чему треба водити рачуна о стандардним решењима у овој области (минимална дужина лозинке, велика-мала слова, комбинација бројева и слова и сл.). Узети у обзир и стандардне процедуре у смислу безбедности и размена информација између учесника на пројекту (изјаве о поверљивости и сл.).

Пројекат треба да садржи процедуру прављења резервне копије (backup процедура). Потребно је дефинисати ниво редундантности (у хардверском и софтверском смислу), и максимално дозвољено време недоступности (Maximum Allowable Downtime - MAD).

У наставку су дати оквири за пројекат интернет портала, које треба укључити у пројекат у складу са дефинисаним процедурама развоја портала.

Интернет портал треба реализовати као модуларни портал са управљивим садржајем (CMS - Content Management System).

Треба обезбедити модул за постављање вести, преко кога би овлашћени корисници могли да објављују вести о активностима на пројекту. Предвидети и овлашћења за уредника вести, који има право да уређује вести које постављају други корисници. Обезбедити секције за вести над којима се може одредити право приступа. Треба омогућити да опште вести могу да прегледају сви посетиоци портала.

Потребно је обезбедити и модул за постављање докумената, помоћу кога би овлашћени корисници могли да постављају документе. Треба онемогућити постављање извршних фајлова због безбедности корисника који преузимају фајлове. Предвидети да се документима може доделити ограничени приступ, тј. да у ту сврху посебно означене документе могу да преузимају корисници са одговорајућим овлашћењима.

Потребно је обезбедити модул за постављање фотографија у виду галерија, помоћу кога би се постављале фотографије које прате активности на пројекту. Фотографије могу постављати само овлашћени корисници, а могу их гледати сви посетиоци портала.

Неопходно је обезбедити модул за управљање корисничким налозима помоћу кога се могу правити, мењати и брисати кориснички налози. Обезбедити управљање ролама, преко којих треба дефинисати права приступа, као и вршити доделу корисничких налога у роле. Предвидети системску ролу АДМИНИСТРАТОР (и одговрајући кориснички налог) која има максимална овлашћења и која служи да дефинише остале роле и корисничке налоге.

Портал треба развијати у модерним технологијама које су подржане за извршавање на инфраструктури ЈВП "Србијаводе" (JavaScript, ASP.NET или PHP, SQL база података). Треба подржати што већи број уређаја и софтвера за прегледање портала (десктоп, лаптоп, таблет, мобилни телефон...).

15.3.3 Безбедност података

Неопходно је решити безбедност података на више нивоа. Основна претпоставка је да се приступ ресурсима са подацима (база података, фајл систем, мрежни уређаји...) изолује програмским слојем за приступ подацима. У овом слоју такође треба имплементирати права приступа у складу са ролама за корисничке налоге, тако да буде омогућено ограничавање права приступа задатим ресурсима по акцијама: прегледања,

додавања, измена и брисања. Безбедношћу портала управља администратор преко модула за управљање корисничким налозима. Администрацију портала врши овлашћено лице из ЈВП "Србијаводе".

15.3.4 Софтверски и хардверски захтеви за коришћење интернет портала

Софтверске и хардверске захтеве за коришћење интернет портала треба дефинисати у складу са могућностима информатичко-комуникационе инфраструктуре ЈВП "Србијаводе". У смислу имплементације и одржавања интернет портала ови захтеви ће бити дефинисани накнадно.

У смислу прегледања и клијентског приступа интернет порталу, потребно је подржати што више уређаја и веб прегледача (web browser). Препорука је да буду подржани најпопуларнији веб прегледачи: Google Chrome, Mozilla Firefox, Internet Explorer 11, Microsoft Edge, Safari. Уређаји на којима се извршавају ови прегледачи треба да буду савремени десктоп и лаптоп рачунари, таблет рачунари и мобилни телефони (на Windows, Android и iOS оперативним системима). Није неопходно формирати садржаје у складу са застарелим уређајима и прегледачима (на пр. Microsoft Explorer 7).

Пруга Ваљево - Лозница
(у изградњи)

Пруга Београд - Бар
(постојећа)

Аутo пут Е 763
Београд- Јужни Јадран
(у изградњи)

Каменица
Мали Бошњак
Грачица
Памбуковица
Бабина Лука
Причевић
Златарић
Ваљево
Стубо - Ровни
Ђурђевац
Ключ
Петница
Словац
Струганик
Кадина Лука
Ластра
Гајевићи
Ивановци
Пољанице
Козељ
Угриновци
Брајковац
Кладница
Паљуви Вис
Ражањ
Ражанац
Бељаница
Бељина
Дубоки поток
Рожанци
Миросаљци
Венчане
Трбушница
Бистрица
Рудовци
Даросавица
Крушевица
Аранђеловац 1
Гараши
Букуља
Лазаревац
Лајковац
Обреновац
Сава

Легенда:
- Граница слива
- Подсливови
- Водоток
- Разматране ретензије
- Ретензија у изградњи
- Постојеће ретензије
- Ретензиони простор
- Пруга Ваљево-Лозница у изградњи
- Пруга Београд-Бар постојећа
- Аутo пут Е763
- Површински копови РБ Колубара
- Хидролошке станице
- Насипи

ИНСТИТУТ ЗА ВОДОПРИВРЕДУ "ЈАРОСЛАВ ЧЕРНИ"
Завод за уређење водних токова
Завод за бране, хидроенергетику, руднике и саобраћајнице
Јарослава Черног 80, 11226 Београд

СТУДИЈА УНАПРЕЂЕЊА ЗАШТИТЕ ОД ВОДА
У СЛИВУ РЕКЕ КОЛУБАРЕ

Прегледна ситуација
-Приказ постојећих и разматраних објеката за постизање пројектованог степена заштите од поплава-

РАЗМЕРА 1:100 000 ЛИСТ БРОЈ 1 ДАТУМ 2015.