



Универзитет у Новом Саду
Природно-математички факултет
Департман за географију, туризам и хотелијерство



Игор Лешчешен

**Протицајни режим великих вода Дунава, Саве,
Тисе и Драве у Панонском басену**

-докторска дисертација-

Нови Сад, 2019

ПРЕДГОВОР

Како су људска насеља од давнина настајала уз обале великих река због бројних погодности оваквог географског положаја, тако су била и изложена штетом дејству великих вода које су наносиле велике материјалне штете и често односиле и људске жртве. Вода која представља саставни део сваког људског бића, и као таква неопходна је за наш опстанак, може и да нас угрози када у великим количинама плави свет кроз који тече. Управо из тих разлога одбрана од великих вода постала је неизоставна потреба становника насеља на обалама великих река.

Идеја за дисертацију се родила постепено, после краћег лутања интересовање ме је одвело у правцу хидрологије и широког спектра истраживања у овој научној дисциплини. За поплаве сам се заинтересовао после праксе на Словачкој Академији Наука где сам учествовао на пројекту везаном за историјске поплаве у Братислави. Покренут овим искуством заинтересовао сам се за могућности истраживања великих вода на ширем географском подручју. Тако се родила идеја о истраживању великих вода на рекама у Панонском басену. Теми која би обухватила највеће реке дна Панонског басена на територији пет држава. Покушао сам да сазнам како се велика количина воде, посматрана кроз дужи временски период може описати на специфичан начин, на начин да опишем велике воде по неким њиховим карактеристикама и пронађем законитости вероватноће које могу да опишу те карактеристике кроз време. Идеја је првобитно оцењена као шкакљива, веома обимна и комплексна али то ми је дало мотив да што боље проучим истраживану тематику, пронађем и сакупим потребне податке као и да ступим у контакт са разним институцијама како националним тако и међународним и пре свега да „изгурам“ овај обиман подухват. Од већине саговорника сам добио потврду како је тема врло интересантна и примењива у различитим делатностима што је додатно потврдило да сам на правом путу. Због проблема субјективности који је заступљен где год је присутан људски фактор, одлучио сам се за примену нових статистичких метода, јер бројеви не греше.

Искористио бих прилику да се захвалим свима који су на неки начин допринели мом раду и успеху. Ова дисертација не би била могућа да није било помоћи стручних људи. Захвалност дугујем свом ментору др Драгану Долинају који је прихватио да ме води и усмерава кроз ово дуго путовање. Захвалност упућем и члановима комисије који су дали велики допринос овом раду својим сугестијама, примедбама и пријатељским

саветима. Посебну захвалност дугујем др Марку Урошеву, који ми је несебично пружио помоћ како приликом дефинисања теме дисертације и смера у коме ће она ићи тако и својим сугестијама око методолошког дела дисертације. Захвалио бих се и Др Павла Пекарова и Др Павол Микалнек са Словачке Академије Наука на укључивању у свој пројекат и тиме посредно утицали на моје даље професионално усмерење. Такође захвалио бих се и Др Милани Пантелић на помоћи и подршци током целог мог пута ка коначном циљу. Захвалио бих се и запосленима у Државној дирекцији за управљање водама (Országos Vízügyi Főigazgatóság) Републике Мађарске, Словачком хидрометеоролошком институту (Slovenský hydrometeorologický ústav), Агенцији за Околје Републике Словеније, Државном хидрометеоролошком Завода Републике Хрватске и Хидрометеоролошком Заводу Републике Србије на несебичној помоћи без које не бих био у могућности да комплетирам неопходну базу података.

Због ограниченог простора које овде имам на располагању нисам у могућности да се захвалим свима од којих сам учио, који су ми били инспирација, што директно или индиректно, током свих ових година школовања и учења. Хвала им свима.

И на крају највеће ХВАЛА дугујем својој породици, оцу Ивану, мајци Ерики, сестри Лидији и супрузи Љиљани који су увек веровали у мене и омогућили ми да у животу стекнем све што ми је потребно и уз чију сам љубав и подршку до сада остварио већину својих циљева!

Аутор

САДРЖАЈ

ПРЕДГОВОР.....	2
УВОД.....	7
ПОЈАМ ВЕЛИКИХ ВОДА	9
ЗНАЧАЈ ПРОУЧАВАЊА ВЕЛИКИХ ВОДА	11
ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА.....	16
УЗРОЦИ ВЕЛИКИХ ВОДА	20
МЕТОДОЛОГИЈА ИЗРАДЕ ПРЕЛИМИНАРНИХ ПРОЦЕНА РИЗИКА ОД ВЕЛИКИХ ВОДА.....	26
ИСТРАЖИВАНО ПОДРУЧЈЕ	35
ГЕОЛОШКЕ И ГЕОМОРФОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ.....	36
КРАТАК ПРЕГЛЕД ИСТОРИЈСКИХ СХВАТАЊА.....	36
НОВА ТУМАЧЕЊА ПОСТАНКА ПАНОНСКОГ БАСЕНА	38
КЛИМА.....	41
ПЕДОЛОШКЕ И ФИТОГЕОГРАФСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ	45
НАЈВЕЋЕ РЕКЕ ПАНОНСКОГ БАСЕНА.....	48
РЕКА ДУНАВ	48
РЕКА САВА.....	52
РЕКА ТИСА.....	55
РЕКА ДРАВА.....	57
МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ	61
БАЗА ПОДАТАКА.....	61
СТАТИСТИЧКЕ МЕТОДЕ ЗА АНАЛИЗУ ВЕЛИКИХ ВОДА	66
МЕТОДА ПРАГА.....	69
ИЗБОР ПРАГА.....	71
МЕТОДА ГОДИШЊИХ МАКСИМУМА	74
ПРОРАЧУН СТАТИСТИКА ОСНОВНОГ НИЗА ГОДИШЊИХ МАКСИМУМА И ЛОГАРИТАМСКОГ НИЗА	74
СРЕДЊА ВРЕДНОСТ	74
СТАНДАРДНА ДЕВИЈАЦИЈА.....	75
КОЕФИЦИЈЕНТ ВАРИЈАЦИЈЕ	75
КОЕФИЦИЈЕНТ АСИМЕТРИЈЕ	75

ПРОВЕРА ПОСТОЈАЊА ИЗУЗЕТАКА У НИЗУ	75
ПРОРАЧУН ЕМПИРИЈСКЕ РАСПОДЕЛЕ	76
ПОВРАТНИ ПЕРИОД	76
АНАЛИЗА ХОМОГЕНОСТИ И СЛУЧАЈНОСТИ ХИДРОЛОШКИХ СЕРИЈА..	77
ТЕСТ АУТОКОРЕЛАЦИЈЕ ПРВОГ РЕДА (ТЕСТ АНДЕРСОНА)	78
ТЕСТ КВАДРАТА УЗАСТОПНИХ РАЗЛИКА (ТЕСТ НЕЈМАНА)	78
ТЕСТ ХОМОГЕНОСТИ ДИСПЕРЗИЈЕ ДВА УЗОРКА (ФИШЕРОВ ТЕСТ)...	79
Z-ТЕСТ	79
СТУДЕНТОВ t-ТЕСТ	80
МЕН-ВИТНИ ТЕСТ (MANN-WHITNEY TEST).....	81
ТЕСТИРАЊЕ ТРЕНДА	82
РАСПОДЕЛЕ ВЕРОВАТНОЋЕ КОРИШЋЕНЕ У ХИДРОЛОГИЈИ.....	83
НОРМАЛНА РАСПОДЕЛА.....	84
ЛОГ-НОРМАЛНА РАСПОДЕЛА	85
ГУМБЕЛОВА РАСПОДЕЛА (GUMBELL)	86
ПИРСОН 3 РАСПОДЕЛА (PEARSON III)	87
ЛОГ-ПИРСОН 3 (LOG-PEARSON III).....	87
ТЕСТИРАЊЕ САГЛАСНОСТИ ЕМПИРИЈСКЕ И ТЕОРИЈСКЕ ФУНКЦИЈЕ	
РАСПОДЕЛЕ.....	88
ТЕСТ КОЛМОГОРОВ-СМИРНОВА	88
ТЕСТ КРАМЕР-МИЗЕСА	89
ИНТЕРВАЛИ ПОВЕРЕЊА ТЕОРИЈСКЕ ФУНКЦИЈЕ РАСПОДЕЛЕ.....	89
МЕТОДЕ ЗА РЕГИОНАЛИЗАЦИЈУ	90
КЛАСТЕР АНАЛИЗА	91
L-МОМЕНТИ.....	94
РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА.....	98
ИЗДВАЈАЊЕ ТАЛАСА ВЕЛИКИХ ВОДА	98
СТАТИСТИЧКА АНАЛИЗА ВЕЛИКИХ ВОДА	104
РЕЗУЛТАТИ КЛАСТЕР АНАЛИЗЕ.....	115
ФИЗИЧКО-ГЕОГРАФСКИ ПАРАМЕТРИ.....	115
ХИДРОЛОШКИ ПАРАМЕТРИ	116
ИНДЕКС РЕЧНОГ ТОКА	118
СТОХАСТИЧКИ ПАРАМЕТРИ	120

РЕГИОНАЛИЗАЦИЈА ПАНОНСКОГ БАСЕНА	122
РЕЗУЛТАТИ L-МОМЕНАТА.....	124
ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА.....	133
ЛИТЕРАТУРА	140
ПРИЛОЗИ.....	157
БИОГРАФИЈА АУТОРА.....	206

УВОД

Под појмом великих вода подразумевају се појаве означене максималним ординатама нивограма или хидрограма великих водних таласа, који се уочавају као нагло издизање протицаја током времена, достизање максималних вредности и затим опадања. Облици и запремине таласа великих вода су такође веома важни хидролошки показатељ који је директно повезан са водостајима и протицајима. Ова екстремна појава (велика вода) је дефинисана водостајем, протицајем или запремином током одређеног временског периода осматрања или је утврђена као вероватноћа појављивања у одређеном временском интервалу. Било ради одбране од поплава, димензионирања хидротехничких и других објеката потребно је знати које се велике воде могу очекивати у ближој односно даљој будућности. Због тога је важно са што већом сигурношћу одредити величине будућних великих вода (Жугај, 2010). Сваки талас великих вода не мора да доведе до поплава, али до ниједне поплаве није дошло без претходног наилазак таласа великих вода. Како смо сведоци све чешћих великих и „скупих“ поплава, све је већи значај проучавања учесталости великих вода са циљем унапређивања постојећих одбрамбених објеката и превенције будућних поплава.

Деструктивне поплаве које се дешавају широм света последњих деценија довеле су до појаве рекордне материјалне штете. Општеприхваћено је мишљење да је ово повећање штете последица повећања густине насељености речних долина (Pielke и Downton, 2000). Велике несреће и катастрофе не познају политичке границе и као такве представљају велики изазов за човечанство али и прилику за унапређивање међусуседских односа. Поплаве на рекама су природни феномени који настају услед појава великих вода посебно код оних код којих долази и до изливања воде из речних корита. Упркос томе реке су од давнина привлачиле људе који су због бројних погодности своја насеља подизали управо поред река. Поред бројних погодности, негативна страна насељавања поред водотока су јављање великих вода и изливања река из речних корита и плављење насељених или пољопривредно обрађених обала, уз угрожавање људских живота и материјалних добара. Да би се заштитили од поплава људи су почели да прате и бележе основне елементе речног режима и покушавали да схвате законитости цикличности појава екстремних вода. На основу ових запажања почели су да предузимају одређене активности ради одбране од великих вода, почевши

од најпримитивнијих ка све сложенијим мерама и објектима. У вези с овим може се рећи да развијање активности и мера одбрана од поплава представља једну од значајних компоненти развоја цивилизације (Прохаска, 2006).

Утицај река на развој људске цивилизације је вишеструк. С једне стране, изливање река је угрожавало насеља и пољопривреду у приобалним деловима, тако да су поплаве имале деструктиван карактер. С друге стране, последица плављења је била таложење плодног муља у инундационим подручјима, што је представљало основни фактор култивисања тла, па је на тај начин поплава имала конструктиван карактер. Најраније цивилизације су се развијале на местима које су имале сталану доступност води (египатска цивилизација у долини Нила, цивилизације између Тигра и Еуфрата, цивилизација у долини Инда, итд). Близина река омогућила, поред доступности воде, доступност хране, плодног земљишта и лаког транспорта. Касније, реке су представљале предуслов за индустријски развој коришћењем хидроенергије (воденице, парне машине итд) и успостављање транспортних путева. Вода има и многе друге друштвене функције, и у многим сушним и полусушним пределима, управо недостатак воде је ограничавајући фактор економског и друштвеног развоја (Ојка et al., 2008).

У новијој историји дошло је до све јачег везивања људске активности за реке. Развој урбанизације и индустријализације као и пратеће комуналне и саобраћајне инфраструктуре, све више захвата речне долине. Уз поменути развој градова, остала је и природна предиспозиција речних долина за развој интензивне пољопривредне производње. Поред свих ових функција, реке су задржале и свој велики саобраћајни значај. Концентрација најзначајнијих урбаних, привредних и саобраћајних целина поред речних токова захватала је и пратеће повећање степена заштите од великих вода. На тај начин одбрана од поплава представља приоритетни водопривредни задатак и један од основних фактора даљег развоја на оваквим подручјима (Прохаска, 2006).

Вода је предуслов за живот, али такође и узрок многих проблема од којих су најштетније поплаве и суше (хидролошке суше) које проузрокују велике штете и жртве. Око 1,2 милијарде људи немају приступ чистој пијаћој води, последица тога је смрт око пет милиона људи сваке године. Правилно управљање водама је веома значајно, не само због доступности питкој води, чистој животној средини, већ и због развоја јавног здравља, друштвеног и економског развоја (Ојха et al., 2008). Програм Уједињених Нација (United Nations Development Programme, 2014) наводи како је подручје земаља чланица ОЕСС-а (Организација за европску безбедност и сарадњу) (ОЕСС - Organization

for Security and Cooperation in Europe), врло подложно великим природним несрећама и катастрофама (земљотреси, поплаве, суша, олуја, шумски пожари) које су током последњих 25 година утицале на више од 76 милиона људи. Према анализама у периоду 1990-2014. године, поплаве (35%), олује (29%) и суше (26%) погађале су највише људи у подручју ОЕСС-а. Највећи број људи остао је без својих домова због земљотреса (54%), поплава (26%) и олуја (16%). Наведене катастрофе су током двадесетпетогодишњег периода проузроковале смрт 182.075 лица и економске губитке од трилион америчких долара (United Nations Development Programme, 2014:8).

Сви процеси у вези воде и речног режима као и облици и појаве које проистичу из тих процеса најчешће су предмет истраживања географа и географије. Нагласак досадашњих истраживања је стављан углавном на хидролошке процесе, значај вода за одређени простор или на значај заштите од вода.

ПОЈАМ ВЕЛИКИХ ВОДА

Према UNESCO-WMO-вом речнику хидролошких појмова (2012) **велика вода** се може дефинисати на три начина:

1. Пораст – обично нагли – воде у водотоку до највише вредности од које ниво почиње полако опадати.
2. Велики ток воде мерен висином водостаја или величином протицаја.
3. Растућа плима.

Под појмом „велика вода“ подразумева се стање водног режима, када се водостај, односно протицај реке повећа услед чега долази до изливања воде из речног корита и плавлеења приобалног терена. Пораст нивоа, односно протицаја је брз, да би након достигнутог максимума дошло до постепеног опадања водостаја и протицаја (Прохаска, 2003). Велика вода је екстремна појава дефинисана водостајем, протицајем или запремином током одређеног временског периода или је утврђена као вероватноћа појаве у одређеном временском периоду (Жугај, 2000). Појам великих вода подразумева стање водног режима које је последица наглог дизања нивоа воде, када се на водотоцима јављају такозвани поплазни водени таласи. Нагло повећање висине нивоа воде у водотоцима изазива плавлеење околног терена при чему највиши

досегнути водостај представља велику воду (Стојић, 2009). Велика вода подразумева појаву означену максималним ординатама нивограма или хидрограма великих таласа који се индентификују као нагло издизање водостаја или протицаја током времена (Павловић, 2013). Облик, и запремина таласа великих вода су такође изузетно значајни хидролошки показатељи, а директно су повезани са максималним водостајима и протицајима. Велика вода је екстремна појава која је у овој дисертацији дефинисана протицајем, тачније запремином таласа великих вода и дужином њиховог трајања.

У хидрологији се за велику воду често узима стање у којем корито водотока не може више да проводи сву воду низводно током, па се она прелива и настају штете. Разликују се обичне, средње и катастрофалне велике воде (Брозовић и сар., 2009).

Природна појаба током које на неком делу речног тока долази до наглог раста водостаја и протицаја, приликом чега долази до достизања њихових максималних вредности после чега следи њихово опадање сматра се великом водама. Овај процес представља дефиницију поплавног таласа чија последица може да буде изливање воде из речног корита. Постоје две врсте великих вода: обичне и катастрофалне велике воде. Прве могу али не морају да доведу до плавлeња, док друге изазивају такозване катастрофалне поплаве, које се размерама захваћених површина и проузрокованим штетама у пољопривреди, индустрији, саобраћају и стамбеној инфраструктури издвајају од осталих. Катастрофалне велике воде се јављају ређе од обичних, које се јављају сваке године, њихове последице су дугогодишње и огромне те захтевају велика средства како за отклањање директних и индиректних штета тако и ради спречавања настанка будуће штете и заштите угрожених подручја.

Према једној школи схватања, поплаве, поводањ или велика вода су синоними који означавају појаву везану за пораст нивоа воде, изливање из корита, плавлeње терена у ужој или широј зони приобаља уз пратеће материјалне штете и људске жртве. Друго схватање, које заступа и аутор ове дисертације, јесте да су велике воде последица поводња, односно наглог издизања водостаја и повећања протицаја (Жугај, 2000). Како се поплава може дефинисати као појава изливања великих вода из речног корита, свака велика вода не мора довести до поплаве али је зато поплава увек последица великих вода. Из тог разлога погрешно је потпуно изједначавање ових појмова.

Велике воде могу да представљају велики проблем за насеља, пољопривреду, саобраћајнице, индустрију и еколошки статус вода у зонама које су угрожене. Основни узроци настанка великих вода на рекама су топљење снега и интензивне и/или

дуготрајне атмосферске падавине које веома брзо и интензивно формирају отицај са сливног подручја. Антропогени утицај, поред описаног природног, на слив и атмосферу могу довести до такође негативних последица.

У ширем смислу, са појмом великих вода могу се повезати и запремине поплавних таласа, затим трајање током којих протицаји поплавних таласа превазилазе одређену вредност, времена појаве вршних протицаја и многе друге. Све ове величине се могу представити као стохастички случајни процеси.

ЗНАЧАЈ ПРОУЧАВАЊА ВЕЛИКИХ ВОДА

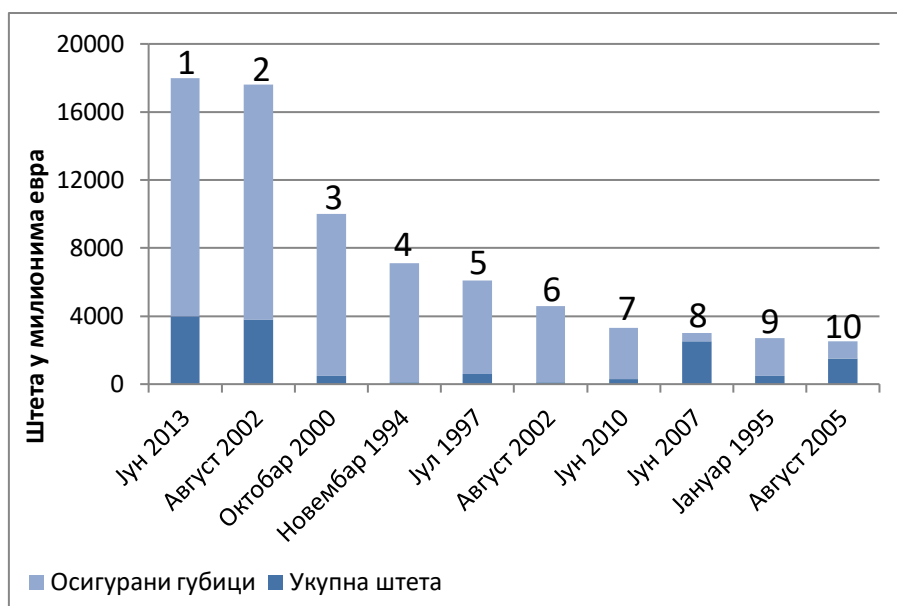
Поплаве као живописна представа ћуди природе, прате човечанство и људске цивилизације од настанка, а страх од великих вода рационализован је кроз митове и легенде свих античких цивилизација. Сведоци смо учесталих плављења великих река које имају све веће размере. Шта се може урадити да би се спречиле или ублажиле ове природне катастрофе ако до њих већ дође су питања које друштво и истраживачи постављају као горући и стално актуелан проблем. Уложена средства у одбрану и заштиту од поплава, иако краткорочно велика, су далеко мања од евентуалних последица, било видљивих или оним каснијих које су резултат предходних.

Последњих десетак година велике поплаве погодиле су бројне Европске земље, пре свега у сливовима Рајне и Дунава приликом чега су изазване велике материјалне штете. Из тог разлога, од изузетног значаја је што боље и прецизније одредити запремине и трајање великих вода. С обзиром да се процене великих вода заснивају на подацима осматрања у природи, постоји стална потреба за иновирањем тих процеса. Упоредо са друштвеним развојем и развојем система вредности у друштву, критеријуми и услови за заштиту од великих вода постају све многобројнији и међусобно више условљени. Ту се пре свега се мисли на неконтролисану урбанизацију речних обала која захтева обимне и скупе радове на заштити од великих вода. Непланске промене намена површине, затим сеча шума, изградња великих инфраструктурних система знатно повећавају ризик и компликују заштиту од великих вода. Узроци поплава широко варирају од локалних, регионалних до глобалних. Упркос континуираном развоју људске цивилизације која је праћена развојем како едукативних тако и практичних мера за превенцију и заштиту од поплаваа, број жртава и

материјална штета расте док се истовремено умножавају и нежељене последице. Поплаве се дешавају широм света, примери катастрофалних поплава забележени су на свим континентима и просторима бројних држава, САД-а, Немачке, Велике Британије, Аустралије, Југоисточне Азије, итд. Последице поплава су различите у развијеним и неразвијеним деловима света. У неразвијеним земљама (Југоисточна Азија) екстремне поплаве узрокују бројне људске жртве уз велике штете у пољопривреди, на другој страни, у развијеним земљама штете од поплава су видљиве кроз пре свега кроз економске губитке (Павловић, 2013).

Поједина европска подручја подложнија су поплавама од других. То показују историјски записи као и савремени догађаји. Поплаве су у последњих неколико година погађале државе средње и југоисточне Европе. На већим рекама ове регије као што су Дунав, Сава, Драва и Тиса забележени су историјски максимуми водостаја и проточица. Ноуоис, Guha-Sapir (2003) и Kundzewicz et al (2013) приказују и анализирају поплаве у Европи за периоде 1973-2002, односно 1985-2009 године. Регистрован је пораст броја катастрофалних поплава, са порастом како броја жртава тако и броја људи који су у зонама угроженим поплавама. Страдало је преко 2.500 људи, око 9 милиона је осетило директне последице поплава, а штете су процењене на око 70 милиона евра (Павловић, 2013).

Према подацима органа Европске Уније од 1998 – 2009 године догодило се преко 213 великих поплава које су однеле 1.126 живота и проузроковали економске губитке веће од 52 милијарде евра (European Environmental Agency, 2011). Међу њима се издвајају катастрофалне поплаве у сливовима Дунава и Елбе током лета 2002. године, и поплаве 2005. године (графикон 1).

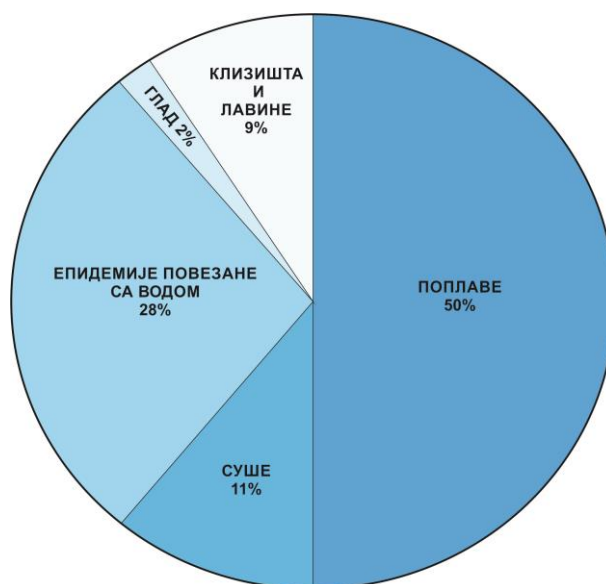


Графикон 1: Највеће материјалне штете проузроковане поплавама у Европи

1. Немачка, Аустрија, Чешка, Мађарска и Швајцарска
2. Немачка, Аустрија, Чешка, Мађарска, Молдавија, Швајцарска и Словачка
3. Италија, Швајцарска и Француска
4. Италија
5. Пољска, Чешка, Словачка, Немачка и Аустрија
6. Немачка, Аустрија, Италија, Чешка, Румунија, Бугарска, Украјина, Велика Британија и Русија
7. Хрватска, Немачка, Мађарска, Румунија, Словачка, Пољска, Аустрија
8. Велика Британија
9. Француска, Немачка, Белгија, Луксембург и Холандија
10. Аустрија, Француска, Немачка, Мађарска, Словенија, Швајцарска

Извор: CEDIM, 2013.

Глобалне климатске промене, људска активност и промене у природној средини уз одузимање природних плавних подручја река, односно простора за прихватање таласа великих вода, као и учестале поплаве стављају нас пред потребу за анализом досадашњих мера и активности, али и неискоришћених потенцијала одбране од поплава и управљања водама (графикон 2).



Графикон 2: Удео поплава у свим хазардима повезаних са водом

Према: WMO, 2011

Особине појава великих вода и комплексност узрока њиховог настанка, велико распрострањење њихових негативних последица, доводи до потребе за сарадњом не регионалном нивоу. Регионална хидролошка анализа, третирана као систематско научно подручје је научна дисциплина у хидрологији још од 1985. године када је UNESCO основао међународни истраживачки програм који се искључиво бави регионалном хидрологијом - FRIEND (Flow Regimes from International Experimental and Network Data). Главни циљ овог пројекта је побољшање разумевања хидролошких различитости и сличности у времену и простору. У Европи су, осим FRIEND пројекта установљени и пројекти као што су MEDHYCOUS (1995-данас), APFM (Associated Programme on Flood Management, 2000-данас), WATCH (2007-2011), у којима ствара база за дефинисање претходно постављених циљева у области проучавања великих вода (Павловић, 2013).

Конвенција о заштити Дунава (Danube River Protection Convention (DRPC)) потписана је у Софији 1994. године. Циљ ове конвенције је успостављање законског инструмента за међународну сарадњу и прекогранично управљање водама у Дунавском басену. Такође омогућава да се површинске и подземне воде у сливу реке Дунав користе одрживо и праведно. Да би се надгледало спровођење ових одредби и омогућило остваривање циљева DRPC, Међународна комисија за заштиту реке Дунав (ICPDR) основана је 1998. године након ступања на снагу Конвенције са седиштем у Бечу (Вакопуј, 2010).

Област заштите од великих вода законски се регулише у готово свим земљама. На подручју Европе то је на највишем нивоу постигнуто израдом оквирне Европске директиве о водама (EU WFD, 2002) и Директивом о поплавама (EU FD, 2007). У нашој земљи су законски оквири постављени кроз Закон о водама (2010).

Државе које се налазе у истраживаном региону (Панонска низија) имају тешкоћа с поплавама. Свака од њих појединачно предузима различите мере и активности како би се предвиделе, смањиле или спречиле штете проузроковане поплавама. Боље решење за унапређивање система одбране од поплава било би унапређење прекограничне сарадње и формирање јединственог региона одбране од великих вода. Прекогранична сарадња представља значајну компоненту на подручју цивилне заштите и смањења ризика од поплава. Ову сарадњу треба градити на темељу размене информација, искустава и најбољих пракси што ће све заједно довести до смањења ризика од свих врста катастрофа проузрокованих вишком воде у рекама. Развојну политику у регији треба утемељити на процени ризика, спречавању њиховог настанка и развоја као и на успешном управљању наведеним. Више ресурса неопходно је усмерити на међусекторску и прекограничну сарадњу за управљање ризицима, јавним кампањама упознати становништво са ризицима који им прете, њиховим правима и обавезама, развијати нове технологије и доградити постојеће системе раног упозоравања и узбуђивања, подстицати равој јавног и приватног партнерства ради смањења ризика од катастрофа као и осигурати стратешки приступ да је смањење ризика од катастрофа битан чинилац одрживог развоја (Perinić et al., 2014).

Поставља се питање могу ли се предвидети катастрофалне поплаве мале вероватноће појаве, и на време предузети оптималне мере заштите и раног упозорења. Осетљивост природне средине и националне економије на деструктивни утицај поплава постају све израженији због пораста броја становника у долинама великих река, општег развоја инфраструктуре и привредних капацитета.

Уколико се велике воде предвиђају на основу искустава из прошлости (њиховог ранијег јвљања) не искључује се могућност да се оне у будућности јаве чешће или да се уопште не јаве. Важно је истаћи да се представљена вероватноћа појаве великих вода односи на тренутно стање токова, не узимајући у разматрање било какве промене у сливу као и извођење техничких, биолошких и других радова у кориту и сливу. Било ради одбране од великих вода, димензионисања хидротехничких и других објеката,

потребно је знати које се велике воде могу очекивати у будућности. Због тога је неопходно са што већом сигурношћу одредити величине будућих великих вода.

Велике воде чији је узрок неки ванредни догађај, као што је пуцање бране или насипа одређују се хидраулички, на физичким моделима уз одређене апроксимације на математичким моделима и као такве неће се разматрати у овој дисертацији. Овде ће се разматрати само оне велике воде које се могу сврстати у искључиво хидролошке појаве, а то су пре свега велике воде које су узроковане падавинама излученим на слив као и отапањем снега у сливном подручју.

Све до сада наведено је само летимичан приказ разлога због којих је потребно интензивирање проучавања великих вода и развоја модела за њихову оцену. Тема ове дисертације је у складу са овим потребама и тенденцијама. Циљ ове дисертације је проучавање просторних и временских карактеристика великих вода. Велике воде су издвојене методом прага, а њихове вероватноће појаве су израчунате методом годишњих максимума.

ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА

Екстремне хидролошке појаве резултат су многобројних и међусобно условљених чинилаца. Хидролошки радови на тему великих вода су многобројни, али мало њих се бави запреминама таласа великих вода и оценом њихове вредности. Већина статистичких метода заснива се на посматрању елемената великих вода, њихових трајања и запремина и сматра их за случајне променљиве. Затим се усвајају модели расподела са више случајних променљивих, утврђују се њихове маргиналне расподеле и одређују повратни периоди који им одговарају (Ashkar, 1980; Yue et al., 1999). Други истраживачи уводе регионалне анализе засноване на корелационим техникама како би дали оцену великих вода на неизученим сливовима (Ourada et al., 2000).

Опсежна научна литература која се бави истраживањем великих вода у највећем броју случајева користи две методе за одређивање великих вода. Методу годишњих максимума и методу парцијалних серија. Метода годишњих максимума подразумева анализу максималних годишњих вредности величине која се анализира на пример,

највећа годишња вредност запремине велике воде и највећа годишња дужина трајања таласа великих вода. У овој методи протицај се третира као случајна промењива X са неком функцијом расподеле. Ова метода је најдетаљније обрађена и најчешће коришћена у хидролошким истраживањима. Нактанир (1991) у свом раду користи методу годишњих максимума на 146 река у комбинацији са моделима вероватноће са циљем да утврди најбољи модел за речне токове у Турској. Madsen et al. (1997) упоређујући методу годишњих максимума и методу парцијалних серија долазе до закључка да је метода годишњих максимума ефикаснија приликом одређивања повратног периода великих вода. Поређење методе годишњих максимума и методе парцијалних серија за потребе регионалне анализе провинција Онтарио и Квебек у Канади коришћењем методе L-моментата извршио је Adamowski (2000). Резултати овог рада су показали да регионализација методом L-моментата коришћењем годишњих максимума великих вода даје боље резултате што се тиче хомогености издвојених региона. Jinguī и Hall, (2004) приликом одређивања регионалне фреквенције поплава реке Ган-Минг у Кини користе методу L-моментата базирану на протицајима са 86 станица, добијених методом годишњих максимума. Kundzewicz и сарадници, (2005) су за утврђивање тренда повећања протицаја на рекама на шест континената користили податке са 195 станица. Коришћењем методе годишњих максимума дошли су до закључка да у Европи на 20 од 70 станица постоји тренд промене максималних вредности протицаја (на 11 позитиван и на 9 негативан тренд). Bhattarai (2005) за своје истраживање протицајног режима 98 река у Ирској користи методу годишњих максимума и наводи како ова метода даје боље резултате уколико је доступан дужи низ података (>20 година у раду Bhattarai-a). Cunderlik et al. (2004) истичу да је за методу годишњих максимума најкраћи потребан низ података 30 година да би се добили поуздани резултати. Zhang и сарадници (2006) су истраживали постојање тренда у максималним годишњим вредностима водостаја и протицаја за реку Јангценгјанг за период 1877-2000 користећи методу годишњих максимума. Varatti и сарадници (2012) користе методу годишњих максимума за одређивање фреквенције поплава Плавог Нила, као и за одређивање максималних протицаја по годишњим добима. Радић и сарадници (2012) истичу да за периоде преко 30 година, метода годишњих максимума даје поузданије резултате од методе парцијалних серија (PDS). Pekárová и сарадници (2013) приликом одређивања вероватноће појаве историјских поплава користе методу годишњих максимума на водостаје Дунва код Братиславе. Bezak и сарадници (2014) су

приликом анализе поплава у Словенији користили методу годишњег максимума (протицаја, запремине и трајања) на 50 станица. Исте параметре (протицај, запремину и трајање) користе и Ваčová Mitková и Halmová (2014) приликом истраживања великих вода на Дунаву код Братиславе за период 1876 – 2013. Šraj и сарадници (2016) приликом анализе поплава у Словенији користе методу годишњег максимума за процену промене вероватноће појаве и тренда поплавних таласа.

Што се тиче хидролошких истраживања на подручју Панонског басена треба издвојити више радова. Анализом вероватноће појаве великих вода и развојем модела пропагације поплавних таласа на Дунаву баве се аутори (Bartoš Divac et al., 2008; Kolarov et al., 2009; Ваčova-Mitkova et al., 2010). Сезонске појаве великих вода на сливу Дунава у Хрватској изучаване су од стране Барбалића и Петраша (Barbalić, Petraš, 2012). О међуграничној сарадњи на заједничким рекама бавили су се истраживачи (Jansky et al., 2004) на примеру Gabčikovo-Nagymaros project (GNP) на граници између Мађарске и Словачке. У извештајима Међународне комисије за заштиту Дунава (International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR)) могуће је наћи детаљне извештаје о узроцима и поплавама реке Дунав за 2002. годину (ICPDR, 2002), 2006 (ICPDR, 2006), 2010 (ICPDR, 2010) и 2013 (ICPDR, 2013) годину. Конечни и Nagy (2013) посебан нагласак дају на поплаву из јуна 2013. године на територији Мађарске. Детаљно истраживање варијација протицаја у горњем делу слива Дунава дат је у докторској дисертацији Павле Пекарове (2009) у којој су на примеру хидролошке станице Братислава анализирани промене протицаја за период 1876-2005. У нашој земљи, један од првих радова који се бави истраживањем великих вода и њиховим последицама јесте докторска дисертација Љиљане Гавриловић „Поплаве у СР Србији у XX веку“ (1981). На подручју бивше Југославије, регионална хидролошка анализа у потпуности је први пут описана у раду Јовановића и Радића (1985). То је пионирски рад у подручју регионалне анализе на овим просторима а представља извод из регионалне хидролошке анализе слива Дунава са подацима из раздобља 1931-1970. године. Обрађено је 57 хидролошких станица на главном току Дунава и његовим притокама. Радови који се баве проблематиком великих вода на истраживаним рекама углавном се састоје од анализе података на једној станици, на реци Сави станица Литија (Bezак et al., 2014), где аутори пореде две методе, методу годишњих максимума и методу парцијалних серија. Хидролошка анализа великих вода код Загреба за период 1926-1992 извршена је од стране Трнинића (1997). Затим Трнинић и Бошњак (2009)

изучавају карактеристичне протицаје код Загреба за дужи временски период 1926-2006. Извештај Савске комисије (International Sava River Basin Commission) (2014) детаљно указује на узроке и последице свих већих поплава реке Саве у периоду 1964-2014. На Драви, током осматраног периода највеће велике воде забележене су 1965 и 1972. године, последња је изазвала највеће штете на саобраћајној и стамбеној инфраструктури у општинама Вараждин и Осјек (Ђурковић et al, 2008). Nagy et al (2010) истичу да је Тиса 1998, 1999, 2000, 2001, 2006 и 2010 достигла критичне вредности великих вода и указују на потребу нове анализе екстремних догађаја с обзиром да је концепт регулације и превенције великих вода у Мађарској урађен давне 1970. године.

Поред овог пројекта, у научној литератури је доступан већи број различитих метода за регионализацију. У радовима Thomas и Benson, 1970; Wandle, 1977; Glatfelter, 1984; Choquette, 1988 користи се метода остатака (the method of residuals). Cavadias, (1989) уводи методу анализе каноничке корелације (the canonical correlation analysis) коју касније користе Ribeiro-Corrí и сарадници, 1995, Ouarda и сарадници, 2000 и 2001, Cavadias, 1990; Cavadias и сарадници 2001. године. Burn (1990a), користи методу региона утицаја (the region of influence (ROI)) коју су са каснијим проширивањима користили Zrinji и Burn, 1994, Cunderlik и Burn, (2006a). Кластер анализа као метод за регионализацију коришћена је у великом броју радова (Mosley, 1981; Tasker, 1982; Acreman и Sinclair, 1986; Wiltshire, 1986; Bhaskar и O'Connor, 1989; Burn, 1989; Nathan и McMahon, 1990; Hosking и Wallis, 1997; Hall и Minns, 1999; Burn и Goel, 2000; Hall et al., 2002; Jingyi и Hall, 2004; Rao и Srinivas, 2006a,b).

Последњих година, све популарнија метода је постала метода базирана на L-моментима, коју је првобитно предложио Wallis (1989), а касније дорађена од стране Hosking & Wallis (1997). L-моменати представљају линеарне комбинације сортираних података, па тако представљају мање пристрасне оцене параметара него обични моменти код којих се разлике између емпиријских података и средње вредности степењују (Radić и Mihajlović, 2010). У литератури је демонстрирана предност примене дијаграма L-момената у односу на дијаграме обичних момената (Sankarasubramanian и Srinivasan, 1999), а посебно предност примене у хидролошким студијама (Vogel и Fennessey, 1993). Bates (1994) у свом извештају „Регионализација хидролошких података“ истиче предност L-момената приликом одређивања регионалне функције расподеле, у односу на индекс методу. Ову методу је користио и Chavoshi-Vorujeni и сарадници (2009) за одређивање функције расподеле великих вода у басену Северног

Карона у Ирану. Gubareva и Gartsman (2010) детаљно излажу предности методе L-момената у односу на методу обичних момената. Rostami (2013) исту методу користи за одређивање регионалне функције расподеле речних протицаја у Западном Азербејдану. Поред одређивања функције расподеле за протицаје и водостаје, ова метода је коришћена и за регионализацију максималних температура у Колумбији Núñez-Galeano и сарадници (2016) као и за одређивање вероватноћа појаве јаких олуја у Малезији (Mohd Ariff et al., 2016).

За издвајање великих вода на хидролошким станицама коришћена је метода прага ("threshold level") (Zelenhasić и Salvai, 1987), тако да су велике воде у овој дисертацији дефинисане са две случајне променљиве $X = f(V, T)$, где је V – запремина таласа великих вода, T – трајање великих вода. Овако дефинисане велике воде пружају више информација истраживачима, него појединачна вредност максималног годишњег протицаја.

УЗРОЦИ ВЕЛИКИХ ВОДА

У односу на остале природне непогоде, поплаве по својој учесталости јављања, степену угрожености и последицама захтевају посебну пажњу због чињенице да се могу јавити у сваком месецу у години, као и у сваком делу слива. То значи да су узроци који их изазивају врло различити што чини поплаве веома комплексним појавама. Бројни су фактори који који утичу на појаву великих вода на рекама. Утицај тих фактора може бити директан и индиректан. Најзначајнији директни узроци поплава су:

- Падавине
- Појава леда на реци
- Стање водостаја главног тока у време његовог пораста
- Меандрирање тока
- Клижење земљишта (при чему долази до преграђивања речног корита)
- Коинциденција великих вода притока и главне реке (Gavrilović, 1981).

Падавине имају највећи значај на формирање великих вода јер оне одмах доводе до пораста водостаја и протицаја док се утицај снега испољава тек приликом његовог

отапања. Висина таласа великих вода зависи пре свега од количине падавина као и од величине слива који је захваћен падавинама. Приликом формирања таласа великих вода интезитет падавина има мањи значај. Већи значај имају дуготрајне падавине које захвате целу површину слива, или његове велике делове, јер доводе до засићености земљишта водом што смањује инфилтрацију и повећава сливање кишнице у речне токове што доводи до пораста водостаја у читавом речном сливу (Gavrilović, 1981). Овакве падавине имају за последицу формирање изузетно високог таласа великих вода и катастрофалних поплава. Велике количине воде налазе се и у снежном покривачу који се налази на планинама које окружују Панонски басен. Међутим, до ослобађања ове воде долази тек када дође до отапања снега. Непогодност је што до топљења снега долази у пролеће што се временски поклапа са пролећним падавинама што доводи до пораста водостаја и протицаја у рекама и формирање таласа великих вода дужег времена трајања.

Током изразито хладних зима, на рекама Панонског басена, долази до формирања ледене коре дебљине 20 до 60 центиметара (Букуров, 1967). Почетком пролећа долази до пуцања ледене коре на рекама и формирања ледених санти, санте се крећу низводно реком и када наиђу на неку препреку у речном кориту (нпр. мост), санте леда се гомилају, формирају ледену брану и проузрокују ујезеравање воде која плави околне површине (Gavrilović, 1981). Овакве поплаве се називају ледене поплаве, као што је био случај на Тиси 1975. године.

Могућност изливања великих вода зависи од карактеристика речног тока, односно његове могућности да прими нову количину воде до висине „критичног нивоа“. Најчешћи узроци поплава су падавине дужег трајања са краћим и дужим које омогућавају одржавање стално високог водостаја и протицаја (Gavrilović, 1981).

Поплаве се на равничарским рекама јављају чешће него на рекама у планинским крајевима. Поред тога њихове последице су већих размера. Један од разлога је меандрирање тока реке при чему меандри представљају неку врсту природне препреке несметаном протицању воде. У меандрима долази до промене начина тока реке, наиме, ток прелази из правлоинијског у вртложасто услед чега офлази до нагомилавања воде, њеног издизања и изливања. Због ових разлога један од главних задатака одбране од поплава јесте пресецање меандара, односно, исправљање речних токова као што је учињено на Тиси након поплаве из 1975. године (Gavrilović, 1981).

У крајевима у којима су активна клизишта која се покрећу после већег приливања воде услед обилних киша или отапања снега, постоји могућност за настанак поплаве. Може доћи до клижења стеновите или земљане масе у речно корито приликом чега долази до његовог ујезеравања и плављења (Gavrilović, 1981). Како се ове поплаве не могу догодити у истраживаном подручју неће бити више речи о њима.

Поједини делови слива или цео слив могу бити захваћени падавинама услед чега долази до појаве великих вода у главном току, његовим притокама или на свим рекама у сливу.

Последњи поменути случај доводи готово увек доводи до поплава већих или мањих размера. Посебно треба истаћи важност коинциденције таласа великих вода. Највеће поплаве се дешавају управо када дође до поклапања таласа великих вода на главној реци и њеним притокама. На срећу, описана појава се прилично ретко догађа (Gavrilović, 1981).

Као што је већ поменуто, поред директних постоје и индиректни фактори који посредно утичу на настанак великих вода. Најважнији индиректни узроци поплава су:

- Величина и облик слива
- Густина речне мреже
- Рељеф
- Степен засићености земљишта водом
- Стање водостаја подземних вода
- Степен пошумљености
- Начин обрађивања пољопривредних површина у сливу
- Комуникације попречне у односу на правац пружања долине

Речни слив на појаву поплава утиче двојачко, својом величином и својим обликом. Што је већи слив то је веће сабирно подручје главне реке па ће сходно томе и поплавни таласи на реци бити већи. Утицај облика слива се исказује на следећи начин. Код сливова издуженог облика формирање великих вода одвија се спорије и постепеније због равномерности падавина изнад слива. На другој страни, ако је слив округласног облика (Панонски басен) долази до брзог сливања падавина у главни речни ток при чему долази до наглог пораста протицаја и водостаја. Код сливова оваквог облика долази и до брзог пролаза таласа великих вода (Gavrilović, 1981).

Густина речне мреже утиче на формирање поплава кроз богатство неког слива водом. Што је речна мрежа гушћа долази до отицања веће количине падавина што

доводи до мање инфилтрације и евапорације, тј. неискоришћава се за храњење водостаја главне реке (Gavrilović, 1981).

Рељеф, као индиректни фактор, свој утицај пре свега испољава кроз нагиб терена. Што је нагиб већи долази до бржег сливања падавина у главни речи ток и настанка поплавног таласа. Утицај овог индиректног фактора је од већег значаја за планинске реке. И Панонској низији нагиб терена се не може посматрати као посредан узрок великих вода који се изражава кроз услове отицања падавина. У овим пределима поплаве настају као последица изливања великих вода које су настале претежно у горњем и средњем делу тока, због великог меандрирања, засипања речног корита и тиме проузрокованим издизањем речног корита и слично.

Земљиште задржава значајан део падавина, количина задржаних падавина зависи од дога колики је степен његове засићености водом. У почетку излучивања падавина упијање је знатно, међутим са засићењем земљишта упијање постаје све слабије што су падавине дуготрајније. Дакле, значај земљишта је у томе до које мере је оно засићено водом од њега зависи његова улога у отицања падавина у речни ток.

Позната је директна веза воде у рекама и подземних вода у непосредној близини тока. Током високог водостаја и приликом изливања воде долази до храњења издани. Губитак воде на овај начин биће већи уколико дође до поплава у лето или након дужег сушнијег периода када је издан сиромашна а земљиште суво. Током влажног дела године подземне воде имају висок водосај било због кише или отапања снега те је њихово храњење речном водом слабије и већа количина воде се задржава у рекама.

Један од најзначајнијих регулатора отицања кише је шумски покривач. Он смањује површинско а појачава подземно отицање. У шумским подручјима знатан део падавина ни не падне на земљину површину већ остаје у крошњама или учествује у транспирацији. Други значај шумског покривача огледа се кроз његов недостатак, односно кроз последице девастације. Девастацијом шумског покривача долази до повољних услова за настанак бујица. Још једна последица девастације шумског покривача је интензивирање денудације и интензивног засипања речног корита (Gavrilović, 1981).

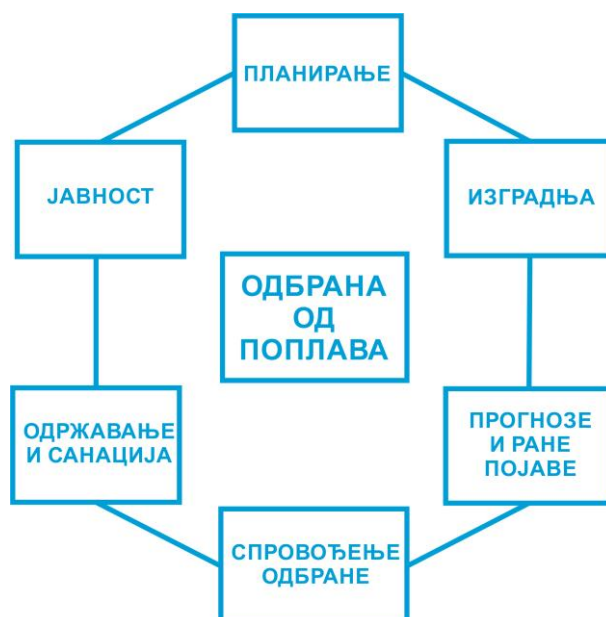
Начин обрађивања земљишта у сливу такође може негативно да утиче на отицање падавина. Наиме, отицање падавина је интензивније уколико се бразде пружају у правцу нагиба падина а не попречно у односу на њу. Овај фактор је доминантнији у планинским крајевима и из тог разлога неће бити више речи о њему.

Комуникације изграђене попречно у односу на правац пружања реке су један од антропогених фактора који индиректно утичу на настанак великих вода. Такође, насипи изграђени уз путеве и железничке пруге који имају уске пропусте за воду представљају препреке за пролаз великих вода. Приликом наилаaska поплавног таласа обично долази до обуставе саобраћаја и оштећења саобраћајне инфраструктуре (Gavrilović, 1981).

Углавном комбинација више различитих фактора, природних и антропогених, доводи до поплава. Изузетак су поплаве настале искључиво због метеоролошких услова. У Панонском басену се на основу узрока може се издвојити више типови поплава:

- Поплаве изазване кишом и отапањем снега
- Ледене поплаве
- Поплаве услед коинциденције великих вода
- Поплаве изазване клижењем земљишта
- Поплаве изазване рушењем брана (Gavrilović, 1981).

Објекти за одбрану од великих вода су направљени тако да штите животе људи и њихову имовину као и да одржи привредну активност области. Међутим, овим објектима се не може обезбедити апсолутна заштита од свих могућих великих вода и поплава, али се ризик од поплава може значајно смањити. Одбрана од поплава по високим стандардима захтева обимно планирање (слика 1) и може бити веома скупа, такође може бити и веома наметљива за природну средину и може заправо довести до повећања ризика од поплава на другом месту или да имају катастрофалне последице ако било који део система одбране попусти. Стога, постоји потреба за балансом између свих укупних трошкова и опште користи. Постоји широк спектар техника и технологија које се могу применити за одбрану од поплава. Одлука о одабиру одговарајуће мере заснива се на балансирању између различитих економских, еколошких и социјалних фактора (Fleming, 2002).



Слика 1: Комплексност одбране од поплава

Према: Пантелић-Миралем 2015

Било ради одбране од поплава, димензионисање хидротехничких и других објеката, или распоређивања водних количина, потребно је знати које се велике воде могу очекивати у будућности. Због тога је потребно са што већом сигурношћу одредити величине будућих великих вода и то првенствено у природном, непромењеном стању а након тога их различитим поступцима дефинисати за будуће изграђено/уређено стање. Важност се огледа и кроз економичност изградње хидротехничких обеката са становишта сигурности становништва и њихове имовине у приобалним подручјима.

Није могуће заштити се од свих поплава, због тога се одбрана од поплава врши према очекиваној учесталости специфичне поплаве. За речне поплаве, „стандардна заштита“ је у највећем броју земаља постављена на нивоу једна поплава у 100 година, стогодишња поплава, или поплава са 1% вероватноће појаве у једној години (Fleming, 2002).

Најчешћи приступи одбрани од поплава је изградња одбрамбених објеката:

- **Изградња насипа** – овим приступом се искључују велике воде из узводних делова слива, али се повећава ниво великих вода изнад брањених области.
- **Каналисање** – је стратегија која подразумева исправљање, продубљивање и проширивање природног речног корита. Као последица ових радова долази до повећања протицајних капацитета и смањење нивоа великих вода. Ови радови

могу да имају штетне последице на низводне области слива, а такође доводе и до промена природних речних карактеристика.

- **Изградња ретензија** – ова стратегија се користи да би се регулисао ток реке у речном току тако што се велике воде преусмеравају у области које су предвиђене за акумулацију ових вода. Када се попуни капацитет ретензионог резервоара, остатак велике воде може да настави речним током.
- **Изградња брана** – бране се користе да би се регулисао протицај реке низводно од објекта (DTLR, 2001; Fleming, 2002).

МЕТОДОЛОГИЈА ИЗРАДЕ ПРЕЛИМИНАРНИХ ПРОЦЕНА РИЗИКА ОД ВЕЛИКИХ ВОДА

Познавање великих вода веома је значајно због потребе за заштитом подручја која су угрожена од поплава, као због изградње хидротехничких објеката. Због тога је од пресудне важности, како са гледишта изградње, тако и са гледишта сигурности становишта (Прохаска и Илић., 2010).

У Европи, процедура за прорачун великих вода носи назив COST акција ES0901 (COST Action ES0901: European procedure for flood frequency estimation), покренута је 2010. године са циљем да се изврш и процена и да се упореде методе за прорачуна великих вода у Европи. Државе учеснице овог пројекта су: Аустрија, Белгија, Бугарска, Кипар, Немачка, Финска, Француска, Грчка, Италија, Литванија, Норвешка, Пољска, Словачка, Словенија, Шпанија, Велика Британија и Турска. После две године, у форми извештаја објављен је опис статистичких метода за прорачун великих вода које користе земље учеснице (Castellarin et al., 2012). Од 17 земаља студије на националном нивоу су компетиране у девет земаља, али нису у свим земљама показале које би расподеле биле најпогодније као стандардне за прорачун великих вода. Регионалне анализе и студије спроведене су у 12 земаља. Међу методама за регионализацију преовлађују разграничавање хомогених региона, затим анализа кластера и региони утицаја (Burn, 1990b; Благојевић и сар., 2014).

Директива Европског парламента и Савета 2007/60/ЕС донета 23. 10. 2007. године захтева од свих чланица Европске Уније израду прелиминарних процена ризика

од поплава до краја 2015. године. Према овој Директиви, од чланица ЕУ се очекивало да доношење прелиминарних процена на основу три дефинисана циља:

1. Израда Прелиминарне процене ризика од поплава у којој се одређују регије у којима постоје или се могу појавити значајни ризици од поплава;
2. Израда карата плавних зона, односно карата угрожености и карата ризика од поплава;
3. Израда планова управљања ризицима од поплава на нивоу водних подручја за идентификоване области значајног ризика од поплава (Коларов и Бабић-Младеновић, 2010).

Сврха ове директиве је успостављање оквира за процену и управљање ризицима од поплава са циљем смањења њихових штетних последица на здравље људи, околину, културну баштину и привредну активност. Државе чланице врше прелиминарне процене на свим водотоцима на својој територији.

На основу информација које су доступне или изведених закључака, као што су историјски подаци и студије о дугорочним кретањима, посебно о утицају климатских промена на појаву поплава, потребно је спровести прелиминарну процену поплавних ризика како би се направила процена могућих ризика. Такве процене обухватају: карте водног подручја, опис поплава које су се догодиле у прошлости, опис већих поплава у прошлости, процену могућих штетних последица будућих поплава. Циљ процена јесте да све државе чланице, на основу добијених резултата утврде она подручја за које закључе да постоје значајни ризици од поплава. Уколико је реч о међународној реци, утврђивање речних обала координирају државе које деле тај речни ток. Примери реализације Директиве 2007/60/ЕС дати су у даљем тексту.

У Немачкој 16 савезних држава независно раде на својим Прелиминарним проценама ризика од поплава примењујући доступне топографске, хидрографске и хидролошке податке као и податке о начину употребе земљишта. Употребљавају се и историјски подаци о поплавама, али недостатак ових података јесте чињеница да су ови догађаји углавном описни. Даља израда процена се заснива на коришћењу ГИС алата и састоји се од три корака у којима се процењују: 1) опасност од поплава дуж речне мреже; 2) рањивост приобалних делова; 3) значај потенцијалног ризика од поплава. У савезој држави Рајнланд-Палатинат плавне зоне дуж водотокова одређује се на основу протицаја $Q_1\%$. Преко ГИС алата идентификују се ризична подручја тако што се преклопе индикативне карате плавних зона са просторним подацима о насељима,

потенцијалним загађивачима, заштићеним подручјима и врстама и начинима употребе земљишта. Подручје са значајним ризиком од поплава је оно на коме штета може бити већа од пола милиона евра, подручја са изграђеним великим загађивачима или подручја под посебним режимима заштите (извори воде за водоснабдевање, заштићена природна подручја) (Коларов и Бабић-Младеновић, 2010).

У Аустрији процена ризика од поплава се врши на основу базе података у ГИС-у (Pleschko, 2009) коју чине: 1) хидрографска карта коришћења за извештавање према Оквирној директиви о водама (Directive 2000/60/EC); 2) карте плавних зона за повратне периоде 30, 100 и 200 година у веб-систему eHORA (www.hochwasserrisiki.at); 3) карта начина коришћења земљишта (Corine Land Cover 2006); 4) подаци о броју становника и запослених; 5) други подаци на националном нивоу (потенцијални извори загађења, заштићена подручја, културна добра итд). На основу националне процене ризика, ради се још детаљнија процена ризика на регионалном нивоу при којој се користе још детаљнији подаци о индикаторима ризика. Ниво значајног ризика од поплава тек треба да буде дефинисан (Коларов и Бабић-Младеновић, 2010).

У Чешкој основу за процену ризика представљају карте на којим су приказане потенцијалне плавне зоне за повратне периоде 5, 20 и 100 година, допуњене подацима о броју становника и изграђеним објектима (Danhelka et al., 2009; Darb и Riha, 2009). Критеријуми који су предложени за одређивање области значајног ризика од поплава су број становника, изграђена површина и дужина саобраћајне инфраструктуре.

У Словенији израда карата плавних подручја заснива се на анализи података о историјским поплавама и постојећим савременим студијама (Santl и Anzeljc, 2009). Карте приказују подручја која су угрожена поплавама и ерозијом, подручја на којима су се раније дешавале поплаве као и основне информације о свакој поплави и ерозији. Метода која се користи за израду „Предлога за процену ризика од поплава“ обухвата неколико показатеља ризика на потенцијално угроженом подручју:

- Број становника (густина насељености преко 500 ст/km²),
- Врста привредне активности на подручју,
- Положај и карактеристике осетљивих објеката (болнице, школе, ватрогасне станице, штабови цивилне заштите итд),
- Положај и карактеристике потенцијалних загађивача,
- Положај и карактеристике културно-историјских добара,

- Области са посебним захтевима према плану управљања сливом (Коларов и Бабић-Младеновић, 2010).

У Финској методологија процене ризика од поплава се заснива на подацима о топографији терена, површини слива, процентуалном учешћу језера и падовима речног корита. Плавне зоне на нивоу сваког слива се дефинишу за повратни период од 1000 година коришћењем ГИС пакета. Ризик у плавним подручјима се приказује у квадратима површине 250 x 250 m (Houkuna et al., 2009). Опасност од ризика се класификује у четири класе које су прилагођене малој густини насељености у овој Балтичкој земљи.

Прелиминарна процена ризика од поплава биће преиспитана, и по потреби ажурирана до 22. 12. 2018. године а потом на сваких шест година. Карте угрожености од поплава и карте ризика од поплава биће преиспитане и по потреби ажуриране до 22. 12. 2019. године а потом на сваких шест година. План или планови управљања ризицима од поплава биће преиспитани и по потреби ажурирани до 22. 12. 2021. године. Комисија ће до 22. 12. 2018. године поднети извештај Европском Парламенту и Савету о примени ове Директиве (DIRECTIVE 2007/60/EC).

Формирање методологије за стандардизацију прорачуна великих вода у САД добро илуструје комплексност овог задатка (Stedinger и Griffis, 2008; Griffis и Stedinger, 2007). Први извештај, назван „Bulletin 13“ из 1966. године и садржао је само методе за прорачун великих вода које тада коришћене у САД, после годину дана (1967. године) у употребу је ушао „Bulletin 15“, први приручник са препорукама за јединствену методологију за проучавање великих вода. Године 1982. прелази се на „Bulletin 17B“ под називом „Guidelines for determining flood flow frequency“ (Упутства за прорачун великих вода) (IACWD, 1982), који се и данас користи. Bulletin 17B садржи описе процедура које се односе на различите ситуације до којих може доћи у пракси. За прорачун повртаног периода великих вода, Bulletin 17B, препоручује log-Pearson III расподелу, метоу момената за прорачун параметара расподеле. Прописују се и процедуре неопходне за идентификовање и поступак са доњим изузецима као и за укључивање података о историјским поплавама у низ мерених вредности (Благојевић и сар., 2014). Ова Упутства су у употреби преко 30 година без икаквих измена. Постоји план за ревизију Упутства са циљем да се оцени допринос који би у процедуру могли да унесу новије резултате релевантних истраживања на пољу анализе великих вода (ACWI).

У Руској Федерацији, прорачун великих вода је прописан и стандардизован у правилнику SP 33-101-2003 (2004) у оквиру правила и норми којисе употребљавају у грађевинарству. Овај правилник се надовезује на SNiP 33-01-2003 (2004) који дефинише прорачуне хидролошких величина неопходних за пројектовање хидротехничких објеката. SNiP 33-01-2003 прописује основне методе и поступке за прорачун средњих, малих и великих вода. Правилник међутим омогућава и употребу метода које њиме нису обухваћене, приликом чега неопходно је дати адекватно објашњење као и приложити употребну оцену грешака прорачуна. Приликом прорачуна хидролошких карактеристика препоручује се употреба највише три методе. Добијене вредности израчунатих хидролошких карактеристика се контролишу регионално (Благојевић и сар., 2014).

Проблем заштите од поплава је актуелан и у Републици Србији, с обзиром на учестале појаве великих вода на бројним водотоковима. Посебно озбиљне ситуације биле су 2006. и 2013. године на Дунаву, 2006. и 2010. године на Тиси али је постојећим заштитним објектима обезбеђена успешна одбрана од поплава. У Републици Србији, проблемима везаним за управљање водама и заштиту квалитета вода, питање је коме се посвећује велика пажња. Ова тема постаје посебно актуелна током процеса прикључења наше земље Европској Унији (ЕУ), јер су, евидентно, проблеми везани за заштиту вода, и животне средине уопште, израженији у економски мање развијеним земљама. Зато је испуњење захтева и задовољење стандарда ЕУ у области вода све важнији услов за европске интеграције. Како је прикључење Републике Србије ЕУ један од основних циљева владе Републике Србије, а сарадња са ЕУ један од приоритета, и прилагођавање европским стандардима у свим областима јесте приоритет. Једна од активности која води ка усаглашавању са европским стандардима је и примена Оквирне директиве о водама ЕУ - Water Framework Directive - Directive of European Parliament and of the Council 2000/60/EC – Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy (ОДВ).

Тренутно стање заштите од поплава у Републици Србији није задовољавајуће и поред чињенице да су за заштиту од поплава изграђени насипи и други типови „линијске” заштите дужине преко 3.550 km, да су регулисана корита бројних водотока и побољшани услови протицања воде, наноса и леда (укупно око 535 km на свим водотоцима) (Влада републике Србије., 2015), као и да одређен број постојећих акумулација и ретензија у већој или мањој мери учествује у одбрани од поплава.

Велики део територије је још увек реално угрожен поплавама, док потенцијални ризик од плављења постоји и тамо где су изграђени заштитни системи. Највећи недостатак је тај што су брањена подручја пространа и поред постојећих насипа неопходна је изградња и локализационих насипа који би омогућили ефикасну локализацију евентуалног пробоја насипа, нарочито у зонама великих градова. Процењује се да је поплавама потенцијално угрожено око 18% територије Републике Србије, првенствено у приобаљу Дунава, Тисе и Саве, итд (Влада републике Србије., 2015). Највећи потенцијал за наносење велике штете у случају преливања или пробоја насипа имају велике реке, Дунав, Тиса и Сава (Бабић-Младеновић и Коларов, 2015).

За заштиту од поплава до сада су у зависности од хидролошко-хидрауличких и морфолошких карактеристика водотока, као и начина и намене коришћења водотока и приобаља, употребљавани различити објекти, радови и мере. Доминантну улогу су имали класични - инвестициони (грађевински) радови и мере, којима се обезбеђује заштита од усвојеног „меродавног” протицаја (протицај на који је димензионисан заштитни систем). Други комплекс мера – „неинвестиционе мере” (административне, регулативне и институционалне мере за превентивно смањење директних, индиректних и потенцијалних штета од поплава) је до сада био слабо заступљен, али се постепено све више уводи у примену. Основа постојећег система заштите од поплава су „пасивне мере” (одбрамбени насипи и други типови „линијске” заштите), док су „активне мере” (повећање пропусне моћи корита водотока, задржавање дела поплавног таласа у резервисаним просторима једнонаменских/вишенаменских акумулација или ретензија, усмеравање дела поплавног таласа у растеретне канале) слабије заступљене (Влада републике Србије., 2015).

Система заштите од поплава и његово стање по водотоцима приказано је у наставку. Заштиту од поплава дуж реке Дунав чине насипи дуж леве обале, од границе са Мађарском до ушћа Нере, као и насипи или кејски зидови дуж десне обале који су изведени на појединим местима у Београду и Срему и од Смедерева до Голупца. Од границе са Мађарском до Новог Сада насипи дуж леве обале имају дужину 182 km. Након велике поплаве из 1965. године, насипи су реконструисани и нови су изграђени како би се осигурала одбрана од 100-годишње велике воде, и додато је сигурносно надвишење од 1.2 m. Дуж већег дела брањеног подручја, насипи су виши од 5 m, са круном ширине 5 до 10 m. На линији насипа постоји велики број других водних објеката (преводнице, уставе, црпне станице, итд). У зони акумулације „Ђердап 1” (све

низводно од Новог Сада), дошло је до промене услова озаштите од поплава поселе изградње бране. Извршена је реконструкција постојећих и изградња нових насипа и неколико насеља је заштићено новим обалоутврдама и заштитним зидовима док су нека насеља премештена на виши терен. Насипи данас штите приобална подручја од 100-годишњих великих вода, уз надвишење стогодишње воде од 1,2 до 1,7 m. Уставе на бранама ХЕ „Ђердап 1 и 2” се потпуно отварају за време великих вода услед чега долази до убрзања протицаја и смањења великих вода. Разлог је тај што акумулација ХЕ „Ђердап 1” не може да прихвати поплавни талас, због релативно мале корисне запремине (Влада Републике Србије, 2015).

Обале реке Саве су заштићене насипима са обе стране речног тока кроз Републику Србију, али ови насипи нису континуални, на потезу од Купинова до Сремске Митровице на левој обали је задржана природна плавна зона за прихватање и делимично трансформисање поплавног таласа. Поплаве из 1974. и 1981. довеле су до реконструкције насипа дуж леве обале и сада обезбеђују заштиту од 100-годишње велике воде, уз заштитно надвишење од 1 m. На овој линији насипа налази се такође велики број водних објеката (устава и црпних станица) (Влада Републике Србије, 2015). Бабић-Младеновић и Коларов (2015) истичу да је једна од стратегија за одбрану од поплава на Сави изградња ретензије на мање вредним подручјима као што су шумска и пољопривредна земљишта, ради смањења врхова поплавних таласа и предлажу простор Горњег Срема као погодно подручје за локацију ретензије због претежно шумског земљишта и неколико села која би се бранила локалним насипима.

На Тиси су изграђени насипи са обе стране реке укупне дужине 278 km (слика 2). Насипи су реконструисани након поплава 1970. године и 2006. године, тако да обезбеђују заштиту од 100-годишње велике воде уз сигурносно надвишење од 1 m. Услови протицаја великих вода су значајно побољшани регулационим радовима у кориту који обухватају проширивање и просецање меандара и инундације (корекција линије насипа). На неким потезима су инундације заштићене летњим насипима од поплава десетогодишње велике воде (Влада Републике Србије, 2015).

Циљ нашег друштва треба да буде смањење ризика од штетног дејства вода. Овај циљ се може остварити само адекватним управљањем ризиком од поплава где поред сектора задуженог за воде морају да учествују и други чланови друштва (различита министарства, локалне самоуправе, грађанство) (Бабић-Младеновић и Коларов, 2015).

Закон који се односи на елементарне непогоде у Србији јесте Закон о ванредним ситуацијама. Систем заштите заштите и спасавања развијен становништва је и уређен у складу са Националном стратегијом за смањење ризика, заштиту и спасавање у ванредним ситуацијама (Влада Републике Србије, 2011), а тај систем одговоран је за заштиту живота, здравља и имовине грађана, као и животне средине и културне баштине Србије. Национална стратегија прописује механизме за координацију и смернице за смањење негативних последица проузрокованих елементарним непогодама. Штаб за ванредне ситуације се успоставља као систем оперативних рела на локалном, регионалном и националном нивоу. Закон о ванредним ситуацијама наводи неопходност поновне процене ризика за територију Републике Србије, као и да се израду плана заштите и спасавања у ванредним ситуацијама (Бијелић и Лазаревић, 2015).



Слика 2: Одбрамбени насип на Тиси код Сенте

Фотографија: Аутор, април, 2017.

Груба процена је да могућа плавна подручја дуж највећих река у Србији покривају око 12.000 km². Скоро 1,5 милиона становника је директно или индиректно угрожено поплавама. Свако веће насеље је углавном заштићено од 100-годишњих великих вода (ИЏ, 2011; Бабић-Младеновић и Коларов, 2015). Препорука је да се се градови који имају преко 20.000 становника, као и значајне индустријске зоне (нпр. ТЕ „Никола Тесла“) заштите сталним објектима (насипима) пројектованим до нивоа 100-годишње велике воде али и да се са мобилном заштитом омогући и заштита од 500-

годишње и 1000-годишње велике воде (У случају градова као Београд, Нови Сад, Сремска Митровица и Шабац) (Бабић-Младеновић и Коларов, 2015).

Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ је 2015. године израдио стратегију управљања водама на територији Републике Србије, у којој препоручује следеће степене заштите од поплава:

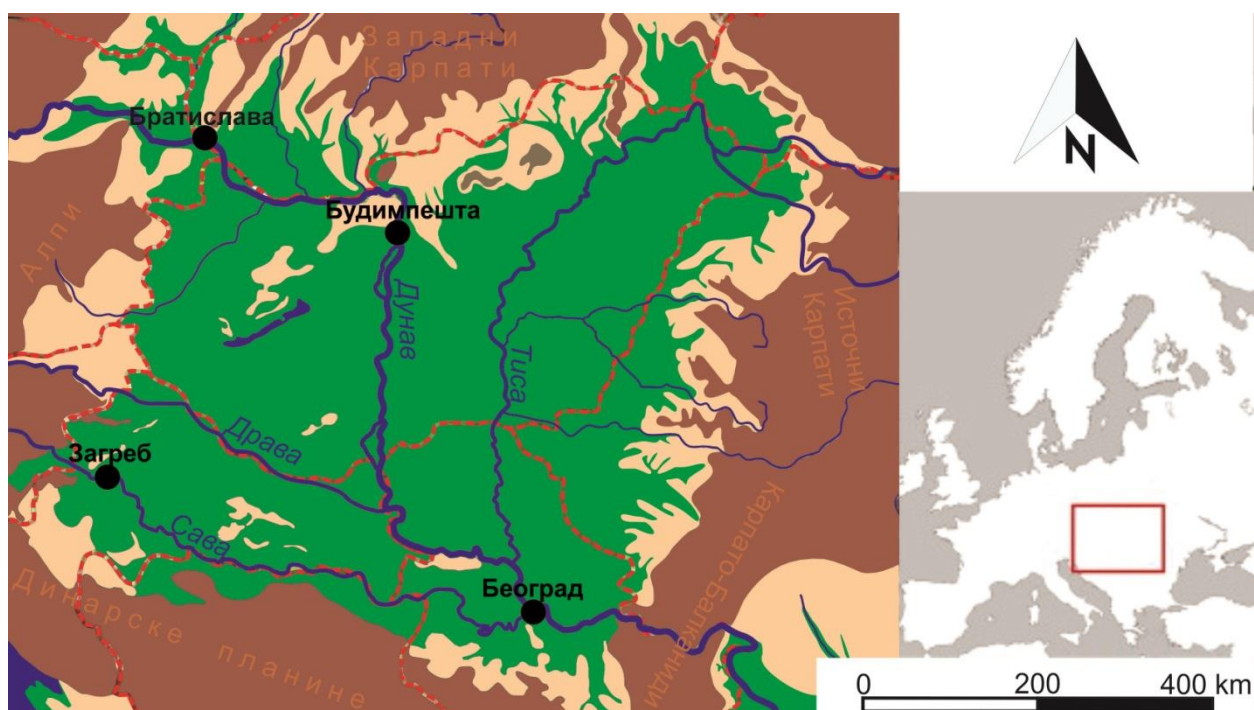
- За градове преко 50.000 становника заштита коју обезбеђују грађевински објекти (у даљем тексту насипи) за велике воде повратног периода до 100 година и допунску заштиту за велике воде 1000-годишњег повратног периода.
- Градови од 20.000 до 50.000 становника и значајне индустријске зоне насипи за велике воде повратног периода 100 година, допунска заштита до великих вода 500-годишњег повратног периода.
- Градови од 5.000 до 20.000 становника и средње значајне индустријске зоне, расута насеља, путеви, пољопривредно земљиште и пољопривредне површине са интензивном производњом бране се насипима на нивоу повратног периода великих вода од 50 година, допунска заштита до повратног периода 100-година. Штета која настане приликом велике воде већег повратног периода сматра се за „дозвољену штету“.
- Пољопривредне површине са екстензивном производњом се бране насипима пројектованим за повратни период великих вода од 20 година (ИЈС, 2015)

На територији Републике Србије у наредном периоду потребно је вршити редовна одржавања и надограђивања постојећих објеката. Такође, неопходно је већу пажњу посветити и активним мерама заштите (коришћење акумулација и ретензија) (Јовановић, 2007), растеретних и ободних канала за редукацију поплавних таласа, као и неинвестиционим мерама (које утичу на смањење штете од поплава превентивним деловањем) и укључивању свих угрожених слојева друштва у заштиту од поплава.

Основни правац за развој заштите од поплава на регионалном нивоу треба да буде интегрално решење које ће бити дефинисано на нивоу слива а не да се заштита спроводи парцијалним решењима који имају локалне ефекте и политичке функције. Само сарадњом свих држава у Панонском басену моћи ће се дефинисати технички изводљиво, еколошки и економски оправдано и одрживо решење заштите од поплава.

ИСТРАЖИВАНО ПОДРУЧЈЕ

Панонски басен је саставни део Алпског планинског система источне и централне Европе. Потпуно је окружен планинским венцима, Карпатима са севера и истока, Динаридима на југу и Алпима на западу (карта 1), регионално заузима простор централне и југоисточне Европе. Протеже се на подручју $45-50^{\circ}$ северне географске ширине и $15-23^{\circ}$ источне географске дужине. У басену доминира равничарски рељеф који је окружен планинским венцима чије су надморске висине преко 1.000 метара, при чему надморска висина у западним и јужним Карпатима и Динаридима прелази 2.500 метара а у јужним и источним Алпима 3.000 метара. Просечна надморска висина Панонског басена износи 150 метара. На западу и североистоку граничи се са басеном реке Рајне, на северу реке Вестер, Елба, Одра и Висутла, на североистоку са басеном реке Дњестар и на југу рекама које отичу у Јадранско и Егејско море. Географски, Панонски басен, са околним планинским венцима захвата територије девет држава: Аустрија, Хрватска, Словенија, Мађарска, Србија, Босна и Херцеговина, Словачка, Пољска, Румунија и Украјина (Mezősi, 2017).



Карта 1: Географски положај Панонског басена

На основу геолошких карактеристика и географских услова басен реке Дунав се може поделити у три главна дела:

1. Горњи басен, од изворишта у планини Шварцвалд до Девинске „капије“ у близини Братиславе.
2. Средњи ток Дунава обухвата Панонску низију, простор од Девинске капије до Ђердапске клисуре. Овај део басена је окружен Карпатима на северу и истоку, Караванкама, Јулијским Алпима и Динарским планинама на западу и истоку. Управо овај део басена реке Дунав је предмет истраживања докторске дисертације.
3. Доњи ток Дунава обухвата Влашку низију која се простире од Ђердапске клисуре до Црног мора.

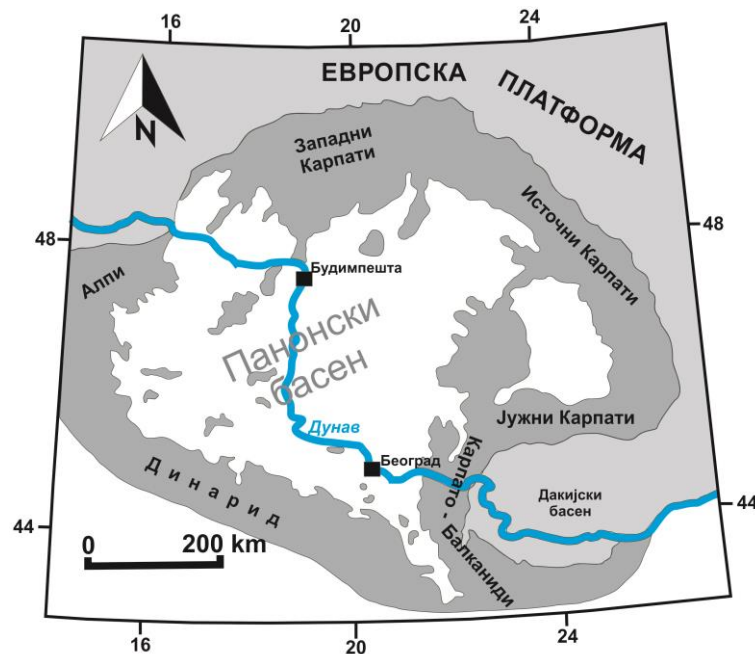
ГЕОЛОШКЕ И ГЕОМОРФОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

У тектонском погледу, Панонски басен је део Евроазијске тектонске плоче који се налази под утицајем постепеног приближавања Афричке и Евроазијске плоче као и Јадранског блока који се налази између њих.

КРАТАК ПРЕГЛЕД ИСТОРИЈСКИХ СХВАТАЊА

Жујовић (1923) је заступао мишљење да је Панонски басен потонули северозападни део „Балканско-српско-хрватске масе“ док острвске планине представљају заостале хорстове те масе. Vogdanov и сарадници (1964) истиче да цела Панонска низија између Карпата и Динарида представља међувеначну потолину где се испод неогеног покрива налазе крупни системи набраних структура антиклиноријума са језгрима сачињеним од кристалатих шкриљаца и палеозојских стена и синклиноријума изграђеним од дебелих тријаских, јурских, кредних и палеогених наслага. Vadasz (1960) је био мишљења да се у подини данашњег басена налази јединствени масив који је од периода креде био под утицајима интензивног разламања

и различитог спуштања блокова. Slavin (1958) у оквиру Мађарске низије која чини централни део Панонског басена издвојио две целине: основни терен и покров. Основни терен је састављен од прекамбријумских метаморфних стена и палеозојских полуметаморфита који су под утицајем тектонских покрета деформисани. Покров је изграђен од палеозојских и мезозојских стена док се дебели неогени комплекс налази наталожен преко покрива. Овај комплекс је формиран тако што се спуштала мезозојска подлога услед чега је потонуо централни део масива (Маровић, 2001). Schefer (1961) је истицао да у средишњем делу Панонског басена постоји једна особена мегаструктура „трансданубијско-бечки праг“ који је мање потонуо у односу на суседне области и од којих је одвојен крупним разломима. По Маровићу (2001) у подини неогених творевина Панонског басена налазе се структуре сличне онима на „острвским планинама“ и осталим ободним деловима Динарида и Карпато-Балканида. У геоморфолошкој литератури, такозвани Панонски масив, који чини основу Панонског басена, је различито називан. Staub (1928) је назвао Панонски блок, Losi (1924) Панонски или Алфелдски масив, Szalai (1961) Лоцијев праг (Маровић, 2001).



Карта 2: Положај Панонског басена у оквиру Европских Алпида

Према: Маровић, 2001

НОВА ТУМАЧЕЊА ПОСТАНКА ПАНОНСКОГ БАСЕНА

Последњих педесет година спроведена су бројна геофизичка и геолошка истраживања у Панонском басену помоћу којих је откривено да је у питању геолошки врло сложено и тектонски покретљиво подручје. Откривено је да се у његовој основи не налази јединствена маса него различити структурни садржај из области Карпата, Алпа и Динарида.

Хоризонтална и вертикална покретљивост Панонског басена посебно је дошла до изражаја током неоалпских етапа генезе када је дошло до уобличавања басена и упоредо са тим таложења дебелих неогених и квартарних седимената (Маровић, 2001). Последњих година постанак Панонског басена је тумачен на различите начине:

1. Збијањем слоја Земљине коре изграђеног од базалта, до којег је дошло због метаморфозе габра у еклогит (Artyuskov и Ваер, 1984).
2. Екстензијом литосфере (Horvath и Royden, 1981; Royden и сарадници, 1983; Horvath, 1993).
3. Екстензијом литосфере и астеносферским дијапиром (Sclater и сарадници, 1980).

Прва хипотеза се може одбацити, што због застарелости што због чињенице да постоје многобројни аргументи који указују на њену неисправност. Другу хипотезу, екстензију литосфере, велики броја аутора уважава и сматра да је имала главну улогу приликом формирања неоалпског склопа Панонског басена (Маровић, 2001).

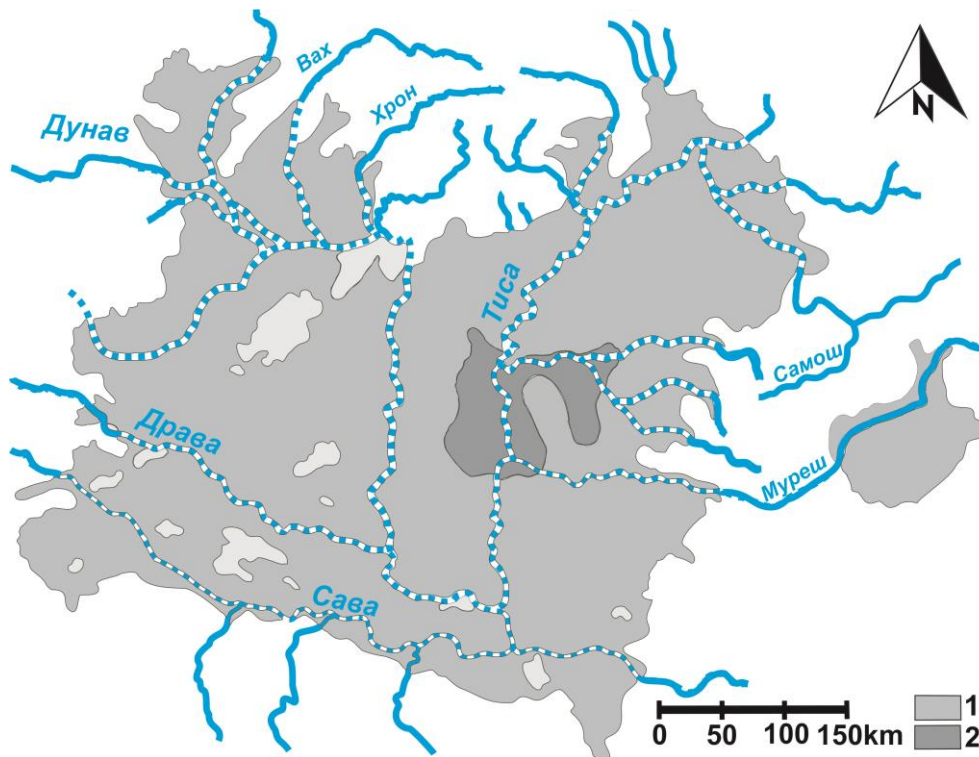
Екстензиони процеси до којих долази у области Панонског басена јављају се због субдукције континенталне плоче под континенталне фрагменте унутрашњих Карпата која до које је дошло током миоцена и наставила даљом колизијом током квартара. Екстензију у простору панонског басена могао је да проузрокује регресивни субдукциони ролинг доње европске плоче током њеног подвлачења. Поред субдукционог ролинга могли су бити укључени и други фактори: 1. источна екструзија континенталних блокова из јадранско-динаридско-алпског конвергентног домена; 2. гравитациони колапс задебљале Земљине коре настале сажимањем мезозојско-палеоеоног структурно-формационог садржаја у подини Панонског басена; 3. утицај астеносферског дијапира који је образован у подини Панонске литосфере (Маровић, 2001). Екстензија правца запад-исток је довела до истањења Земљине коре (22-27 km) и

генерално литосфере (60-70 km), што пропраћено и издизањем астеносферског дијапира што је узроковало загревања литосфере, растапања појединих делова коре и појаве магматизма (Маровић, 2001). Истежање Панонске основе одвијало се истовремено са процесима подвлачења, сударања и навлачења на простору спољашњих Карпата. Даља тумачења указују да се процес спуштања унутар Панонског басена одвијао током две главне фазе: Прва фаза је довела до брзих спуштања која су се дешавала у областима са јасно дефинисаним раседним границама означавајући тако литосферну екстензију. Друга фаза се одликује лаганим али обимнијим спуштањима до којих је дошло због опадања термалних аномалија. Од периода сармата до квартара доминантна су била лагана спуштања која су дефинисана опадањем термалних аномалија и хлађењем литосфере (Маровић, 2001). Због оваквих догађаја и структурних садржаја Панонски басен се може дефинисати као басен формиран иза острвског лука. Постанак појединачних басенских и рововских структура се може повезати са локалним екстензијама Земљине коре и раседима који имају правац пружања североисток-југозапад као и за спуштање блокова у оквиру ових система. Узимајући у обзир покретљивост током неогена у Панонском басену могу се издвојити две целине: северозападна (ALCAPA) и југоисточна (тисијско-дакијска). Границу између ова два блока чини средњемађарски линеамент (линија Загреб-Цемпелин). Преовладава мишљење да су у Панонски простор доспели из Алпско-динарске области источном екструзијом до које је дошло због палеогене а нарочито олигоцене и миоцене колизије јадранско-динарског ентитнета са европском плочом (Маровић, 2001).

Током миоцена у Панонски басен продире вода из океана Тетиса. Тетис је на северу преко Бечког и Ронског басена био повезан са Паратетисом, на југу веза је била остварена преко Егејске бразде, која се пружала од данашњег Улциња, преко Албаније, старог копна Егеиде до Црног мора. У басен је продрла вода пре око 30.000.000 година, а до повлачења мора је дошло средином плеистоцена, пре око 600.000 година. Ово велико море је имало пет фаза развоја. Рељефно данас Панонска низија представља дно некадашњег Панонског мора-језера (карта 3), најнижа тачка басена налази се у Мађарској. Током морске а потом и језерске фазе, дошло је до таложења песка и глине, који су након повлачења језера прекривени квартарним наносима, лесом и песком. Облици рељефа који данас доминирају су лесне заравни и алувијалне равни (око великих река), док највише облике рељефа представљају побрђа и изоловани планински масиви. Река Дунав је свој ток усекла кроз побрђа. Западно од Дунава је стари

Бакоњски масив (713 mnnv) састављен од вулканских и кречњачких стена. Источно од Дунава је Митра (Кекеш 1.015 mnnv). Јужно од Митре, простире се пространа равница где се издиже ниска планина Мечек (682 mnnv) (Давидовић, 1999).

Северозападни део низије који припада Словачкој се дели на западнопанонску панву и источнопанонску панву. Западнопанонска панва је пространа низијска област која се налази југоисточно од Малих Карпата. Упечатљива одлика ове области је развијена хидрографска мрежа и микрооблици флувијалног порекла. Овој регији припада и део Бечког басена (Захорска низија). Источнопанонска панва је источни део Алпско-хималајског система, који је са запада окружен словачким Рудогорјем, а са севера и истока Ниским Бескидима, ова источнословачка низија представља северни део Панонског басена (Давидовић, 1999).



Карта 3: Распрострањење Панонског језера током највеће (1) и најмање (2) фазе

Према: Borsy, 1991; Mezősi, 2017.

Југозападни део низије (Северна Хрватска), обухвата просторе Славоније и Барање. Централни део ове области захватају славонске планине. Пожешка котлина је проширење између славонских планина које је предиспонирано тектоником и има

карактер низијског подручја док околне планинине ретко прелазе 1.000 метара (Диљ 459 mnnv, Папук 953 mnnv, Псуњ 989 mnnv и Мословачка гора 489 mnnv).

Јужни део Панонске низије припада Босни и Херцеговини, регији Перипанонска Босна која се пружа и до 80 километара јужно од реке Саве. Ова равница је непрекидана планинама (Козара, Просара и Мотајица) које не прелазе 1.000 метара. Речне долине Уне и њене притоке Сане, затим Врбаса, Босне и њихових притока па затим долина Дрине раздвајају већа брежуљкаста подручја. Поменуте планине и брежуљци су терцијарне старости. Изузетак чине Просара и Мотајица које су изграђене од еруптивних стена и метаморфних шкриљца. Даље према југу по геолошком саставу доминира мезозоик. По облицима рељефа то су уске, дубље усечене долине и већи планински масиви. У том подручју нестају перипанонске особине (Давидовић, 1999).

Југоисточни део низије припада Србији, дно Панонског басена је нагнуто од севера ка југу. Највиши делови Панонске низије у нашој земљи налазе се на северу и северозападу (не рачунајући острвске планине – Вршачке планине и Фрушку Гору). Највиши врх Бачке налази се у Суботичко – хоргошкој пешчари (Ђомбе са 140 mnnv) на самој граници са Мађарском. Према истоку, југу и западу висине постепено опадају (Савић, 2009). Најнижа тачка у Српском делу Панонске низије налази на њеном крајњем југоисточном делу, на ушћу реке Нере у Дунав. Острвске планине у Војводини су Вршачке планине (Гудурићев врх – највиши врх у Војводини, 641 mnnv) и Фрушка Гора (Црвени Чот – 539 mnnv). Правац пружања острвских планина у Војводини је запад – исток (Стојсављевић, 2015). Лесне заравни и пешчаре су елементи еолског рељефа у нашој земљи које су настале током плиоцена (Јовановић, 2009). Панонски басен на југу прелази у јужни обод Панонског басена који се граничи са северним деловима Шумадије, Мачве, северног Подриња, долине Млаве и Пека, северног лука Карпатских планина и долине Велике Мораве. Све ове области су биле заливи Панонског мора (Стојсављевић, 2015).

КЛИМА

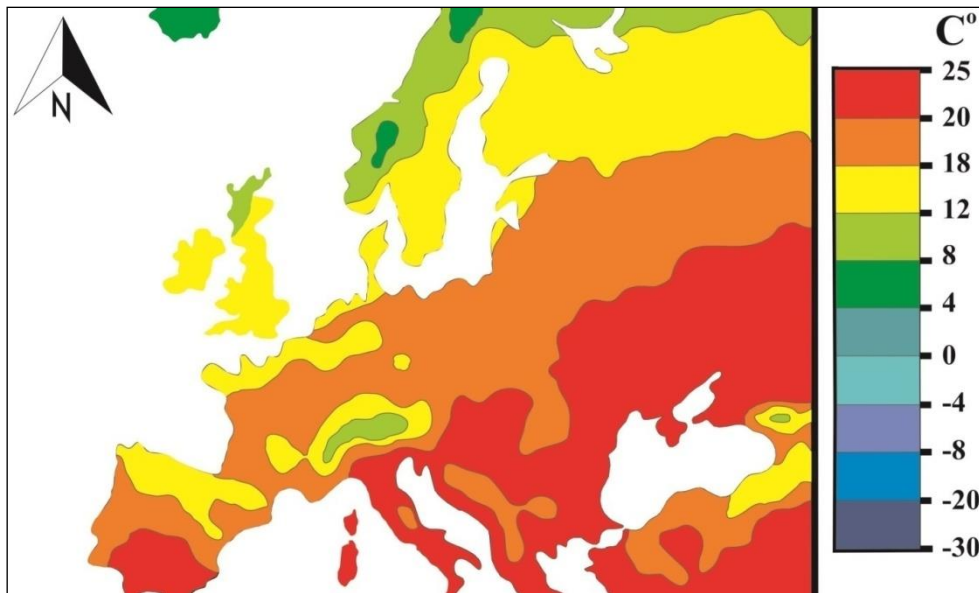
Клима је једна од основних природних компоненти географског простора и има велики значаја за све физичкогеографске процесе у природи. Панонска низија је ниска заравњена повшина са поједначним острвским планинама. Овако мала висинска

разуђеност не утиче на елементе климе толико колико облик басена и његова скоро правилна заокруженост високом планинским венцима. Може се рећи да ова Европска низија има острвски карактер због високих планина којима је окружена је са свих страна (Букуров, 1967).

Географски положај као главни климатски фактор је првенствено одређен географским положајем. Панонски басен је смештен између различитих климатских зона, и због тога се клима одликује карактеристикама које се крећу од влажне океанске климе са малим температурним варијацијама до карактеристично континенталне климе са екстремнијим температурним варијацијама. Просечна годишња температура ваздуха је за 2,5°C виша од типичних температура за ову географску ширину. Виша температура се јавља као последица утицаја Атлантског океана и Средоземног мора. Управо због утицаја ова два климатска центра изражена је позитивна температурна аномалија у Панонском басену (Mezősi, 2017).

Топлотни утицај Јадранског и Средоземног мора на температуре и друге климатске прилике био још израженији да није заустављени многобројним планинским масивима Динарског система. Утицај Атланског океана се осећа још мање због Алпа, као и због удаљености од океана. Због овога континенталност Панонске низије још је више изражена него што би то требало да буде када не би било тих планинских венаца.

Према климатској класификацији америчког географа Треварте (Glenn Thomas Trewartha) Панонски басен припада подтипу континенталне климе са дугим топлим периодима и значајним температурним амплитудама чије су главне карактеристика четири годишња доба, која понекад поприме екстремни крактер. Лета су дуга, трају најмање три месеца са просечним температурама преко 18 °C док дневни максимуми могу да пређу и 35 °C. Зимске темепратуре значајно варирају између хладних и умерених периода, док температуре испод 0 °C се ретко задржавају дуже од три месеца. Годишње количине падавина значајно варирају али задовољавају пољопривредне потребе. Иако мале топографске разлике терена могу да изазову значајне локалне климатске варијације, највећи део површине Панонског басена се налази на надомрској висини испод 200 m_{n.v.}, због тога не постоји значајан утицај топографије на регионалне климатске разлике (Mezősi, 2017).



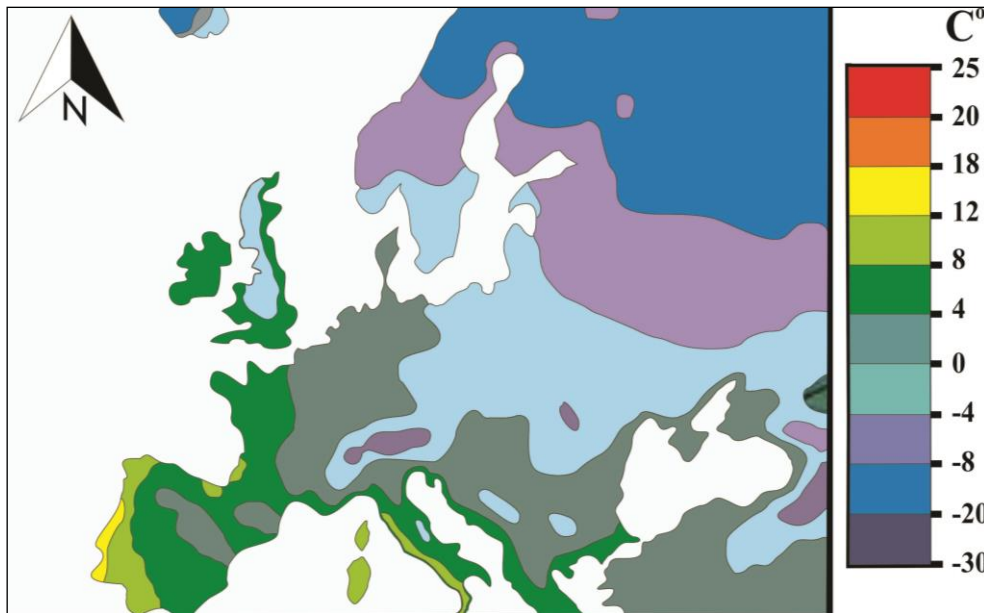
Карта 4: Температуре ваздуха Европе током летњег периода

Према: Mezősi, 2017

Подручје Панонске низије има претежно степско-континенталну климу која се одликује средњим јануарским температурама од $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (карта 5) и јулским од $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (карта 4), док просечна температура у централним деловима региона износи $11\text{ }^{\circ}\text{C}$. Средње јулске температуре расту идући од запада према истоку. Просечне годишње температуре варирају од запада према истоку што је последица све израженије континенталности источних делова басена (Schiller et al, 2010).

Најважнија климатска граница Панонског басена раздваја влажне и полусушне области и представља и границу између два вегетациона појаса – листопадних шума и шумо-степе. Четири климата утичу на ову област:

- Западноевропоски климат, одликује се већом количином падавина, заступљен је у северозападном делу низије у којем доминирају шуме;
- Континентални климат, са мањом количином падавина у источним деловима низије;
- Медитерански климат, који се одликује топлим летима и умереним зимама, у јужним деловима низије;
- Алпско-атлантски климат, у западним деловима низије (Mezősi, 2017).



Карта 5: Температуре ваздуха Европе током зимског периода

Према: Mezősi, 2017

Панонска котлина је добро затворена високим планинским венцима који омогућавају да се формирају карактеристични регионални услови за излучивање падавина. У Карпатским планинама, годишња сума падавина износи преко 2.000 mm, на јужним обронцима Јулијанских Алпа и Динарида количина падавина се креће 2.000-2.500 mm због утицаја влажне топле ваздушне масе са Медитерана. У самој Панонској низији, у долинама средњих токова Дунава и Тисе влада суви климатски режим. Годишња количина падавина овог дела Панонског басена износи 600 mm док на истоку количина падавина опада и до 500 mm (Schiller et al, 2010). Највише падавина излучи се у мају и јуну, док се издваја и секундарни максимум у октобру. Главни утицај Медитеранског климата на јужне делове низије огледа се у постојању два максимума падавина: први у мају а други у октобру. Количина падавина такође расте и са порастом надморске висине, 15-35 % на 100 m (OMSZ 2003). Просечно трајање снежног покривача износи 20-30 дана. Највећа евапотранспирација је у оним деловима где се велика количина падавина поклапа са високим температурним вредностима. У долини Саве, северно од Динарида (725 mm) и на јужним падинама Карпата (700 mm) (Schiller et al, 2010). Ваздушна кретања (ветрови) су последица неједнаког ваздушног притиска изнад пространих области Евроазијске низије, Атлантског океана и Средоземног мора. Због тога су и најчешћа кретања или са евроазијског копна према Атлантском океану и Средоземљу или обрнуто. Од мањег значаја су кретања са Алпа према Панонској

низији (Букуров, 1967) Најзаступљенији и најчешћи су западни и северни ветрови, затим источни и најређи јужни. Просечна облачност износи 52-57%, док просечан број сунчаних сати годишње износи 2050 h. Највећа количина Сунчевог сјаја бележи се у централним деловима басена (5.000 MJ) док за 500 MJ мање вредности се бележе у западним и североисточним деловима басена. Количина сунчеве енергије током летњих месеци је 5 до 6 пута већа него током зимских месеци. Највише вредности се бележе током јула и августа. Трајање сунчевог сјаја варира између 1.800-2.200 сати годишње (Mezősi, 2017).

ПЕДОЛОШКЕ И ФИТОГЕОГРАФСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

Земљишта Панонског басена су различитог начина постанка, разлика је нарочито изражена између низија и брдовитих делова. Доминирају браон шумска земљишта, док се у мочварним областима налазе црна шумска земљишта. У сувљим пределима низије, Великој Мађарској равници и унутрашњости Трансилваније (Румунија) као и у деловима Алфолда (Мађарска), формирана су степска земљишта која се могу класификовати као деградирани чернозем карактеристичан за источну Европу. Чернозем је мрвичасте структуре и одликује се наслагама хумуса насталих услед разлагања вегетације, и калцијумом обогаћени раствори се крећу двосмерно (слика 3). Ови раствори се јављају у деловима низије прекривеним типичним лесом, док се низијски калцијумски чернозем јавља у деловима покривеним инфузијоним лесом. Са агрономског становишта ова земљишта су највреднија, имају високи садржај хумуса (3-4%) у А хоризонту, такође су неутрална или благо кисела са одличном текстуром и добрим воденим и храњивим својствима (Mezősi, 2017). Између Дунава и Тисе налазе се мањи делови неплодног алкалног земљишта (szikes) (Zagoroff et al., 1955). Уз велике реке, где подземне воде имају значајан утицај на хидролошки режим земљишних профила дошло је до развоја флувијалних земљишта. Присуство подземних вода близу површине земље и њено испаравање омогућили су развој заслањених земљишта. Брдовити делови покривени су лувисолима и камбисолима (Mezősi, 2017).

Интерзонална земљишта се формирају под утицајем воде и различитих типова стена и могу се класификовати у четири главне групе: низијска, тресетна, заслањена и литоморфна земљишта. Низијска земљишта се формирају претежно у алувијалним

седиментима, на пример, кречњачки седименти Дунава или кисели седименти Тисе, Рабе и Kögös-a. Тресетна земљишта су повремено или стално покривена водом и настала су и развила се под вегетацијом некадашњих тресетишта и бара. Трећа група интерзоналних земљишта су заслањена земљишта. Натријумска со се јавља у раствореном и чврстом стању и њен квантитет, квалитет и дистрибуција дуж земљишног профила дефинише стопу и карактер салинитета. Плодност, физичке и хемијске особине се погоршавају сразмерно са повећањем салинитета. Разликујемо два типа заслањеног земљишта: Солончак, који се одликује површинском концентрацијом соли (њихова појава је честа појава у међуречју између Дунава и Тисе); Солоњец се одликује већом акумулацијом соли у нешто дубљем Б хоризонту (Mezősi, 2017).



Слика 3: Панонски чернозем

Фотографија: Аутор, 2017.

Као последица просторног распореда климатских елемената, који су најбитнији фактор у формирању вегетације, у Панонској низији се могу издвојити четири фитогеографске зоне: зимзелено-средоземна, листопадно-четинарска, високопланинска и степска. Највеће пространство заузима травна вегетација па се отуда ова област убраја у степску фитогеографску зону (слика 4). Количина падавина и њихов распоред током године значајно утиче на распорострањење биљног света. У источним деловима низије, где се излучи око 600 mm падавина доминира травна (степска) вегетација. У западним деловима низије, где количина падавина прелази 700 mm јављају се ливаде и густе шуме. На острвским планинама где је количина падавина још већа вегетацију

чине претежно шуме. Поред количине падавина, на структуру шума на овим планинама утиче и експозиција планинских страна и издашност падавина која није подједнака на свим падинама.

Панонска низија је стотинама година била под изразитим антропогеним утицајем. Данас је око 60% територије претворено у обрадиво земљиште. Од краја XIX века интензивирани су изградња канала што је проузроковало исушивање великих површина мочварних терена да би се добиле нове обрадиве површине.

Флористичка истраживања су показала да се некада 70-80% површине слива налазило под шумским покривачем (Jakucs, 1981). Најраспрострањенија шума у брдско планинским крајевима 300-400 mnnv, је била шума цера и храста (*Quercetum petraeacerris*). Мање површине покривала је чисто храстова шума (*Orno-Quercetum pubescenticerris*), чија је заступљеност примарно условљена рељефом (Mezősi, 2017).

У Панонској низији живи 118 врста животиња и 46 врста биљака које се налазе на листи Habitats Directive као и око 70 врста птица са листе Annex I директиве о птицама. Овај велики број није само одраз великог диверзитета у малом региону, већ и осетљивости и ограничености распрострањења неких врста, посебно оних које су ендемичне за регион. У њих се убрајају ендемске биљке као што су: *Colchicum arenarium*, *Dianthus diutinus*, *Pulsatilla pratensis ssp.hungarica*, и друге. Око 2.500 врста виших биљака заступљено је у Панонском басену. Станишта развијена на песковитим и заслањеним земљиштима су станишта са важним вегетацијским типовима који се чешће налазе овде него у било којој другој регији Европе. Ендемске врсте као што су *Suaeda pannonica*, *Syringa josikae*, *Vincetoxicum pannonicum*. Постоји око 50 реликтних врста, већином из последњег интергласијалног периода. Око 36 биљних врста је нестало из овог региона, укључујући и ендемичну траву *Puccinellia pannonica* (Natura 2000).



*Слика 4: Степа Панонског басена
Фотографија: Аутор, 2017.*

НАЈВЕЋЕ РЕКЕ ПАНОНСКОГ БАСЕНА

Највеће реке у Панонског басена су Дунав, Тиса, Сава и Драва и оне имају и највећи водопривредни значај за све државе кроз које протичу. Воде тих река и њихове многобројне притоке користе се за потребе насеља и индустрије, за производњу електричне енергије, за наводнавање, рибарство, рекреацију, туризам и речни саобраћај.

РЕКА ДУНАВ

Дунав је друга највећа река Европе, иза Волге. Настаје од две речице које извиру на источним падинама планине Шварцвалд у Немачкој а код места Доунаушинген. Реке чијим спајањем настаје Дунав су Брег дужине 47,6 km и Бригах 42,7 km чије ушће чини почетак тока реке Дунав. На почетку свог тока, Дунав има просечан протицај од 7,27 m³/s, док на ушћу у Црно море протицај износи 900 пута више, и за период 1914-2003 износи 6.460 m³/s. Дужина тока Дунава је 2.780 km, а површина слива 801.463 km² (ICPDR, 2004).

Име Дунав води порекло од Келтске речи **ДАНУВ** који означава реку. Антички Грци су знали само део Дунава низводно од Ђердапске клисуре и називали су га *Ister*, римљани га називају *Danister*, а део реке који се налази узводно од Ђердапске клисуре *Danuvius*. Срби, Хрвати и Бугари користе назив *Дунав*, док га Чеси, Словаци, Украјинци и Руси називају *Дунај*. У несловенским земљама називају га *Duna*, код Мађара и *Dunarea* у Румунији. Германски народи, Немци и Аустријанци га називају *die Donau*. У осталим државама има сличне варијације имена, у Енглеској – *Danube*, Француској – *le Danube*, (Гавриловић и Дукић, 2002; Петровић-Гајић, 2008).



Слика 5: Дунав на улазу у Панонску низију код Братиславе

Фотографија: Аутор, јун 2017.

Дунав има велики водопривредни значај за десет европских земаља кроз које протиче: Немачку, Аустрију, Словачку, Мађарску, Хрватску, Србију, Румунију, Бугарску, Молдавију и Украјину. Непосредном сливу реке Дунав су и делови Словеније, Босне и Херцеговине, Црне Горе као и мањи делови Македоније, Албаније, Пољске, Италије, Чешке и Швајцарске (Гавриловић и Дукић, 2002).

Слив реке Дунав се може поделити на четири целине:

- Слив горњег Дунава лежи узводно од Девинских врата до изворишта и одликује се врло хладним зимама и жарким летима. Годишња висина падавина у Алпима већа је од 1.800 mm, местимично и преко 2.500 mm док снег пада и до 200 дана годишње. Снежни покривач на планинама изнад 2.500 метара достиже висину 7-

8 метара што има велики значај за водни режим Дунава и његових већих притока: Илер, Лех, Изар, Траун, Енс и Ин.

- Слив средњег Дунава или Панонски Дунав лежи низводно од Девинске Капије до Турну Северина а има претежно суву континенталну климу, са хладним зимама и топлим летима. Падавина је мало осим на динарским и карпатским планинама, у низијским деловима честе су суше па је неопходно наводњавање пољопривредних култура. Управо овај део Дунава, од станице Братислава (слика 5) до Смедерева (слика 6) је део истраживања ове дисертације.
- Слив доњег Дунава или Понтијски басен лежи низводно од Турну Северина, и у овом делу слива Дунава доминира сува континентална клима, са хладним зимама и жарким летима.
- По новим поделама тока Дунава, издваја се и четврта независна целина, делта Дунава која покрива око 600.000 ha. Настала је поделом реке на три дела која су формирала троугласту делту са око 70 километара дугим странама. Скоро две трећине делте је сезонски потопљено услед мале надморске висине.

Дунав се улива у Црно море код Сулине и сваке године доноси огромну количину слатке воде у Црно море, око 200 km^3 успут носећи велике количине различитог материјала и правећи делту са више улива. Од многобројних притока најзначајније су Ин у Немачкој, Енс у Аустрији, Морава у Словачкој, Искар у Бугарској, Олта и Прут у Румунији а у Србији Драва, Тиса, Сава, Морава, Тамиш и Тимок (Миљковић, 2015).

Планине Алпи и Карпати имају велики утицај на речни режим река у басену Дунава. Горњи ток Дунава је под јаким утицајем Атлантског океана док су источни делови слива под утицајем континенталног климата. Јужно од Алпа, нарочито у сливовима Драве и Саве клима је под утицајем Медитерана. Услед интеракција између ова три климата, у Панонском басену може доћи до поплава у било ком делу године (ICPDR, 2009).

Речни режим Дунава условљен је комбинацијом природних различитих појава у појединим деловима слива. Кишно-снежни режим је доминантан у изворишном делу Дунава. Овај режим се одликује са највишим протицајима и водостајима током фебруара, док су најнижи током августа и септембру. Леднички режим добија уливањем реке Ин и тада су највећи протицаји су током летњег а најмањи током зимског периода године, такав режим преовладава све до ушћа реке Тисе. Код Београда,

где Дунав прима своју водом најбогатију притоку Саву, и низводно поново има кишно-снежни режим али са највећим протицајима у априлу и мају а најмањи у септембру и октобру (графикон 3) (Гавриловић и Дукић, 2002).

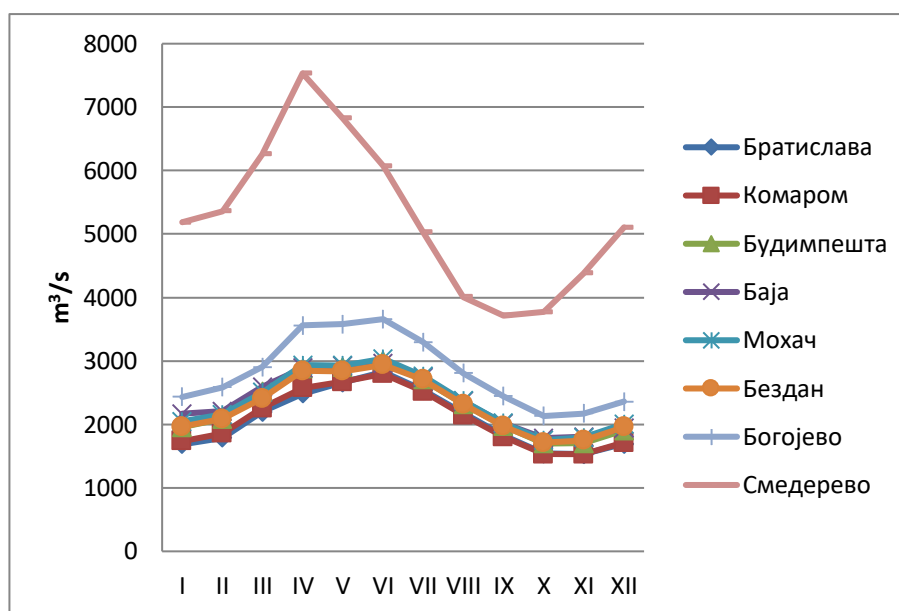


Слика 6: Дунав код Смедерева

Фотографија: Аутор, мај 2017.

Годишњи протицај Дунава на ушћу износи $203,87 \text{ km}^3$ ($6.460 \text{ m}^3/\text{s}$; ICPDR, 2004). Уочава се велики пораст протицаја у Аустријском делу тока, непосредно пре ушћа реке Ин (на 2.230 речном километру), просечни протицај Дунава износи $625 \text{ m}^3/\text{s}$, док на станици Беч, просечна вредност протицаја износи $1.920 \text{ m}^3/\text{s}$. Вредности протицаја константно расту низводно од Братиславе, после ушћа Драве, Тисе а нарочито низводно од ушћа Саве (на станици Оршова $5.600 \text{ m}^3/\text{s}$) (Lóczy, 2007). Апсолутни максимум протицаја на ушћу у Црно море измерен је 1987. године и износио је преко $35.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (DDBRA, 2000).

Пре ушћа реке Драве, Дунав има просечан протицај од $2.291 \text{ m}^3/\text{s}$, том протицају река Драва додаје око 22%, Тиса око 29,7% и Сава око 53,7%, Велика Морава 12,3% и све остале притоке око 10%. Максимални протицај Дунава забележен на његовом уласку у Панонску низију код Братиславе износи $11.000 \text{ m}^3/\text{s}$, док код Смедерева максимални протицај износи $14.800 \text{ m}^3/\text{s}$. На основу средњег годишњег протицаја Дунав је 40. река на свету (Czaуа, 1981).



Графикон 3: Упоредни приказ просечних месечних протицаја на истраживаним станицама током 1964-2013 периода.

РЕКА САВА

Сава је трећа највећа али водом најбогатија притока Дунава. Дужина Саве износи 945,5 километара док је површина слива 95.719 km² или 11,7% слива Дунава. Настаје од две реке које извиру у Словеначким Алпима, Сава Долинка (50,5 km) и Сава Бохињка (39,3 km) које се спајају код насеља Радовљица у Словенији (Гавриловић и Дукић, 2002). Слив Саве се развио у брдско-планинским деловима алпског и динарског планинског система, док Панонски део са неколико острвских планина, заузима око 21.000 km², или 21,9% слива. Басен реке се простире између 42,43° и 46,52° северне географске ширине и 13,67° и 20,58° источне географске дужине. Највеће површине слива заузимају, шуме са 54,71%, и пољопривредна земљишта са 42,36% (ICPDR, 2009).

Горњи ток Саве налази се од извора до места Подсусед код Загреба и његова дужина износи (заједно са Савом Долинком) 238,5 km, а површина слива 12.701,6 km². Релјеф овог дела тока чине младе веначне планине Алпи и Динариди покривене богатом шумском вегетацијом. Ширина корита се повећава низводно од Крања где

ширина износи 100 метара, Литије 130, Радеча 90 до Подсуседа где је ширина 130 метара (Гавриловић и Дукић, 2002).



Слика 7: Сава код Сремске Митровице

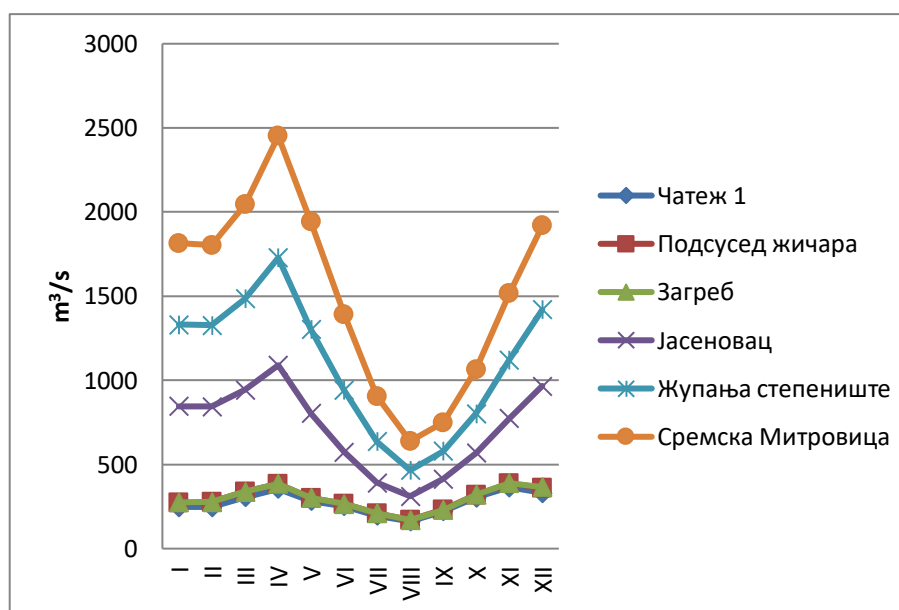
Фотографија: Аутор, јул 2017

Сава у Панонску низију улази код села Ругвице, и кроз њу тече 653 km све до свог ушћа у Дунав код Београда. Доњи ток Саве, низводно од Подсуседа дугачак је 707 km а површина износи 83.017 km. Ток Саве у овом делу одликује се меандрирањем и формирањем великих меандара као што су: Купински кут, Парашница, Босутско, Савин бок, Велика лука и други. Ширина реке код Загреба износи 120, на ушћу Врбаса 290 m, код Босанске Раче 330 m, код Сремске Митровице 250 m (слика 7), код Шапца 650-700 m, и на ушћу 280 m (Гавриловић и Дукић, 2002). Надморска висина басена варира од 2.864 mnnv (Триглав, Словеначки Алпи) до 71 mnnv на ушћу у Дунав. Просечна висина басена износи 545 mnnv. Алувијалне равни захватају 5.759 km² (ICPDR, 2009).

Водни режим Саве је у горњем току сличан као и водни режим реке Драве, док је у доњем току сличан водном режиму Тисе (графикон 4). У горњем току средњи месечни протицаји су највећи крајем јесени а настају као последица обилних киша на Алпима. Велики средњи месечни протицаји се јављају и током пролећних месеци (март-мај) до којих долази због притицања снежнице са Алпа. Најмањи протицаји у овом делу тока су током летњих месеци. Доњи ток реке одликује се највећим средњим месечним протицајима током пролећних месецима који настају од снежнице. Најмањи средњи месечни протицај на овом делу тока се јављају током јесени и зиме. Дакле, Сава се

одликује комбинованим водним режимом, до Крања река има кишно-снежни режим медитеранског типа. После уливања река Купе и Уне средњи месечни протицаји се изједначавају током марта и новембра. Низводније је све израженији утицај снежнице, и тада Сава има одлике кишно-снежног режима средњеевропског типа (Гавриловић и Дукић, 2002). Просечан вишегодишњи протицај код Београда на ушћу износи $1.600 \text{ m}^3/\text{s}$ што одговара што одговара слоју отицаја од 570 mm (ICPDR, 2009).

На Сави се могу издвојити два максимума и два минимума протицаја. Примарни максимум се јавља средином марта и траје до краја маја. Секундарни максимум траје од друге половине новембра и током прве половине децембра. Ова два максимума су раздвојени минимумима, примарним који се јавља половином јула и траје до краја септембра, и секундарним од друге половине јануара до краја фебруара. На станици Чатеж 1 просечан годишњи протицај износи $273 \text{ m}^3/\text{s}$, док у Сремској Митровици просечан годишњи протицај износи $1.518 \text{ m}^3/\text{s}$.



Графикон 4: Упоредни приказ просечних месечних протицаја на истраживаним станицама током 1964-2013 периода.

Сава прима 247 притока, од којих највећи значај имају 14 притока, од којих само њих 6 имају максимални протицај већи од $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ па могу бити да утичу на водни режим Саве, на појаву великих вода и поплава у њеној долини.

РЕКА ТИСА

Највећа притока Дунава и по површини слива, 157.220 km² и по дужини тока, 966 km (пре санације тока 1.419 km) је река Тиса. Њен басен чини скоро 20% (19,5%) басена Дунава. Настаје од Црне и Беле Тисе, које извиру у карпатском масиву Мармарошу. Код града Рахова ове две реке формирају Тису. Заједно са својим притокама Тиса одводњава највећи део Карпатских планина. Слив реке се налази у пет земаља (Украјина 12.578 km², Мађарска 47.166 km², Румунија 74.680 km², Словачка 14.936 km² и Србија 7.860 km²) (Гавриловић и Дукић, 2002) док сам ток реке протиче кроз три земље, Украјину, Мађарску и Србију (слика 8).

Планински венац Карпата чини северну, североисточну, источну и југоисточну границу слива, док је са западне стране ограничен ниским побрђем које представља развође према сливу Дунава (Штрбац, 2014). Делови басена са већом надморском висином покривени су шумском вегетацијом док се низијски делови и алувијалне равни користе за интензивну пољопривредну производњу.

Слив Тисе се на основу рељефа може поделити на три целине: Карпатске планине, Ердељски басен са планином Бихар у Румунији, и ниска долина Тисе. У горњем току – од Рахова до ушћа реке Самош дужина тока је 266 km, укупни пад износи 1.578 m. Средњи ток реке (од ушћа Самоша до Мориша) има дужину 525 km док је укупни пад тока 26 m. Доњи ток (од Мориша до ушћа у Дунав) је дугачак 175 km са падом тока од само 6 m (Гавриловић и Дукић, 2002). У Дунав утиче на 1.214,5 km (Павић, 2009). Управо због малог пада реке током историје долазило је до мањих или већих поплава у околини реке. После катастрофалне поплаве 1830. године донета је одлука о великим регулационим радовима. Током 19. века пресечено је укупно 112 меандара приликом чега је дошло до скраћивања тока на данашњих 966 километара. Смањењем дужине реке, као и променом ширине и дубине корита убрзано је отицање великих вода што је довело до пораста висине максималних водостаја и протицаја у средњем и доњем току (Штрбац, 2014).

Уз обалу Тисе кроз Мађарску изграђени су насипи у укупној дужини од 2.900 km који од поплава штите укупно 18.000 km² површине. Број становника под директном одбраном од полова износи 1.448.702 (ICPDR, 2009).

Због различитог рељефа и годишње количине падавина речни режим Тисе се разликује од речног режима Дунава. Највише вредносит средњег месечног притицаја су

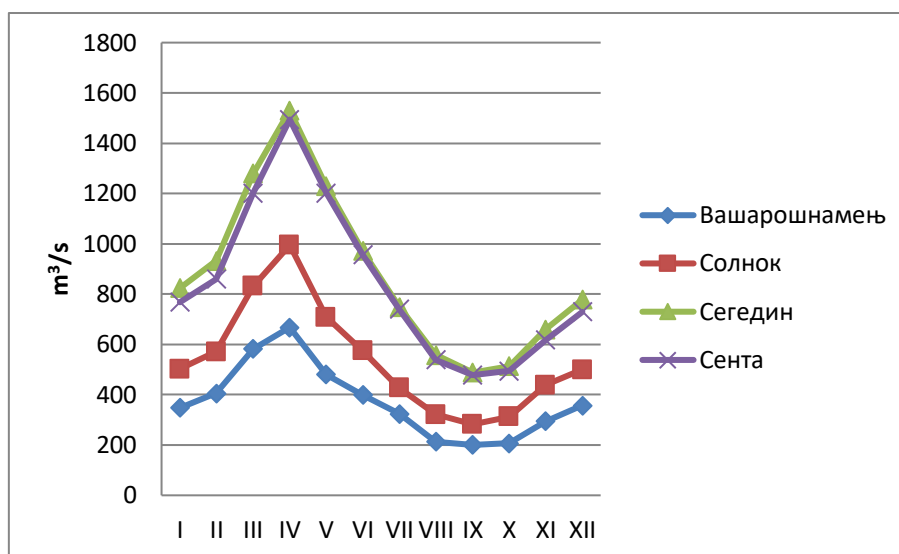
током априла и у мају до којих долази због падавина и топљења снега у Карпатима. Најмањи протицаји су у августу и током јесени (септембар и октобар). Ниски протицаји се јављају због летњих суша и великог испаравања током топлог дела године (графикон 5). Други минимум протицаја се јавља у зимском периоду године (децембар-фебруар) до којег долази због излучивања падавина у виду снега који се задржава у планинама и који се топи током пролећа.



Слика 8: Тиса код Сенте

Фотографија: Аутор, април 2017.

Велики је број притока реке Тисе, веће десне притоке су: Бодрог (267 km), Шајо (229 km), Зађава (179 km), Кереш (76 km), Чик (97 km), Јегричка (65,4 km) и Будац (25 km). Веће леве притоке су: Вишеу (80 km), Изу (83 km), Самош (415 km), Кереш (363 km), Мориш (754 km), Златица (117 km) и Бегеј (244 km).



Графикон 5: Упоредни приказ просечних месечних протицаја на истраживаним станицама

Укупна угроженост становништва, индустрије и саобраћајница само у Мађарској, према извештају ICPDR из 2009 изгледа овако:

- 2.500.000 људи су изложени ризику од поплава,
- Трећина обрадивих површина државе, односно 18.000 km²,
- 32% железничких пруга пролази алувијалним равнима,
- Преко 2.000 индустријских објеката,
- Око 25% бруто националног дохотка оствари се у овом делу земље.

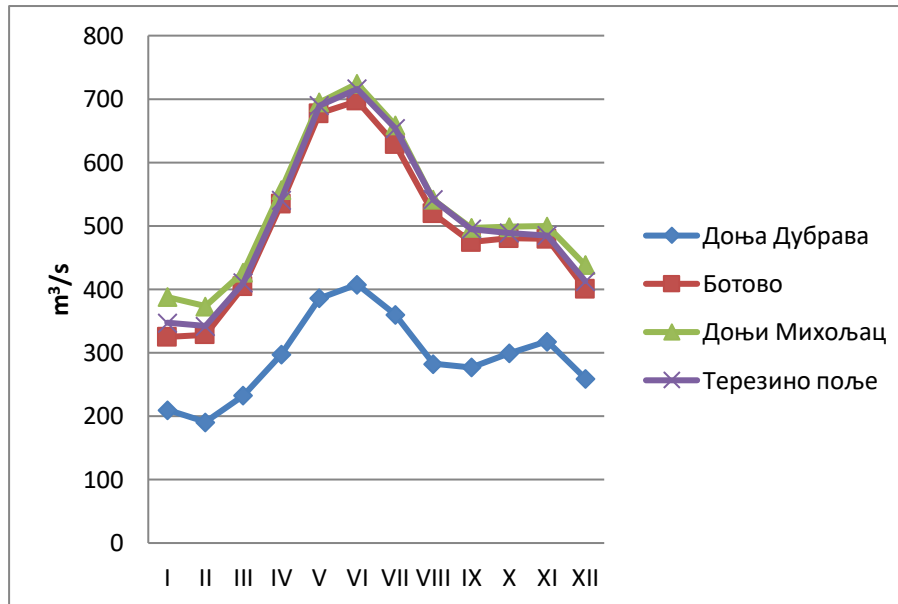
РЕКА ДРАВА

Драва је трећа највећа притока Дунава у Панонском басену. Изворе у Италији, у Тобулшком пољу – код Добиаца 1.192 mnnv, и у Дунав се улива код Алмаша 79,4 mnnv (Petrić, 2011). Извор реке се налази у високом планинском подручју које је са севера оивичено планинским масивом Високе Туре, а са југа планинским масивом Доломити (Milas, 2012). Све до Марибора у Словенији река има карактеристике планинске који се одликује великим падом речног корита и брзим током. Даље, низводно река поприма карактер равничарске реке чија се ширина повећава од Заврича где износи 100 m до Доњег Михољца где достиже 400 m. Након тога корито се мало сужава и код Осјека

ширина износи 220 m, да би се корито при ушћу у Дунва поново проширило на 320 m. Дужина тока износи 749 km, а површина слива 41.238 km² што је чини четвртим највећом притоком Дунава (Дукић, 1968).

На речни режим Драве утиче отапање снега у њеном изворишном делу, Карнијским Алпима на преко 3.000 mmv, где се највише падавина излучи током лета. У исто време долази и до отапања снежног покривача на највишим врховима, из овог разлога на Драви се бележи највећи водостај и протицај у току лета (максимум је у јуну, а нешто нижи водостај у мају и јулу) (Дукић, 1968) (графикон 6). Минимални протицаји се јављају током зимских месеци (фебруар), када се падавине које су излучене у планинске пределе задржавају у облику снега. Други максимум протицаја јавља се током јесени, до њега долази због веће количине падавина на јужним падинама Алпа. Река мења свој режим, од реке чисто снежног режима у Аплима, река низводно прелази у умерено снежни режим (Дукић, 1968).

Река Драва прима укупно 86 већих и мањих притока, 46 са десне и 40 са леве стране (Дукић, 1968). Највећа притока је Мура укупне дужине 438 km. Од осталих притока значајне су Дравиња (65 km), Бедња (93 km) и Карашица (91 km).



Графикон 6: Упоредни приказ просечних месечних протицаја на истраживаним станицама током 1964-2013 периода.

Проучавањем водних режима наших река (табела 1) бавило се више географа: Вујевић, Илешич, Дукић, Ракићевић, Зубчевић, Гашевски, Риђановић, Станковић,

Гавриловић, Живковић и други. У објављеним радовима они разматрају водне режиме по средњим месечним водостајима или протицајима и то углавном једног тока, а ређе и неке веће притоке значајне за режим главне реке (Дукић и Гавриловић, 2008; 161). У студији С. Илешича „Речни режими в Југославији“ из 1947. године, дат је преглед водних режима свих значајних река у тадашњој Југославији у којој је аутор користио класификацију М. Пардеа, и на основу ње је издвојио да Драва има *благи нивални режим* са највишим протицајима у јуну а најнижим у фебруару. Река Тиса се одликује *централно-европским* режимом са највишим протицајима у априлу а потом у марту и мају, а најнижим у септембру. Дунав и Сава су велике реке које протичу кроз области са различитом климом, рељефом, геолошком грађом слива, вегетацијом, итд. На рекама овог режима *једноставни* (плувијални или нивални) прелази у *мешовити режим* (прелазни нивални, нивално-плувијални и плувално-нивални), па се највеће и најмање воде појављују у месецима карактеристичним за поједине варијанте (Дукић и Гавриловић, 2008). На току Дунава кроз Панонски басен, највеће воде се јављај током априла а најмање током октобра. На Сави највећи протицаји се јављају током априла а најнижи током августа. На основу класификације М. Пардеа Дунав у Панонском делу тока има *централно-европски режим* док се Сава одликује *посавским режимом*.

Станица	Река	Месец												Ср. Год.
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Братислава	Дунав	1.690	1.787	2.198	2.483	2.660	2.828	2.538	2.180	1.831	1.543	1.533	1.695	2.080
Комаром		1.738	1.861	2.257	2.576	2.672	2.796	2.519	2.149	1.804	1.532	1.531	1.713	2.096
Будимпешта		1.957	2.085	2.514	2.884	2.904	2.999	2.707	2.318	1.978	1.698	1.705	1.905	2.305
Баја		2.165	2.206	2.590	2.891	2.925	2.960	2.743	2.364	2.014	1.785	1.805	1.938	2.365
Мохач		2.048	2.159	2.505	2.936	2.931	3.035	2.764	2.373	2.023	1.753	1.791	2.004	2.360
Бездан		1.967	2.085	2.407	2.842	2.837	2.938	2.705	2.317	1.970	1.715	1.747	1.961	2.291
Богојево		2.433	2.588	2.905	3.561	3.582	3.660	3.299	2.806	2.445	2.132	2.170	2.361	2.829
Смедерево		5.182	5.363	6.257	7.532	6.821	6.073	5.034	4.008	3.714	3.774	4.382	5.103	5.270
Чатеж I	Сава	246	248	306	356	284	253	196	162	222	304	365	331	273
Подсусед Жичара		272	277	339	384	300	266	209	171	231	319	388	362	293
Загреб		275	278	339	386	302	266	211	170	230	321	389	367	295
Јасеновац		846	844	944	1.090	804	574	391	311	414	568	773	966	711
Жупања степ.		1.331	1.327	1.486	1.728	1.302	942	636	466	580	803	1.122	1.421	1.095
Срем. Митровица		1.814	1.803	2.045	2.451	1.942	1.392	906	639	749	1.065	1.516	1.919	1.520
Вашарошнамењ	Тиса	348	405	583	668	481	399	324	213	200	207	294	357	373
Солнок		503	570	832	995	709	575	427	322	282	312	438	499	539
Сегедин		824	933	1.280	1.531	1.229	972	749	558	488	513	660	778	876
Сента		768	860	1.202	1.494	1.202	957	740	539	478	494	618	730	840
Доња Дубрава	Драва	210	191	233	297	386	408	360	282	277	299	318	259	293
Ботово		325	328	404	534	677	697	629	519	474	480	479	401	496
Терезино поље		388	374	427	557	695	725	659	542	497	499	500	439	525
Доњи Михољац		347	342	410	541	690	716	654	542	495	489	485	413	510

Табела 1: Средњи месечни протицаји на изучаваним станицама за период 1964-2013

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

БАЗА ПОДАТАКА

Хидролошке анализе зависе пре свега од квалитета података којима истраживач располаже, при чему квалитетни подаци добро представљају услове у сливу током изучаваног периода.

Извор података за анализу великих вода могу бити:

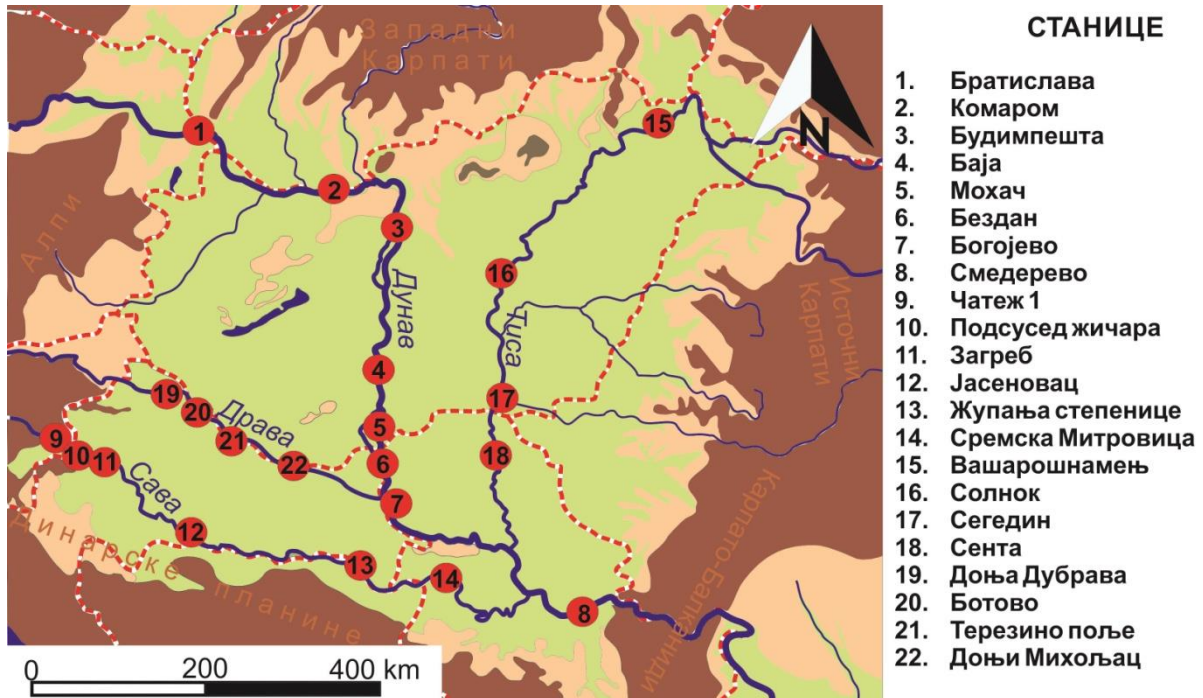
- Хидрометријска мерења – анализа вероватноће појаве одређеног протицаја и основа за креирање хидрограма таласа великих вода,
- Климатолошки подаци – анализа вероватноће појаве на основу података о падавинама са метеоролошких станица,
- Историјски подаци – из архивских података или других записа,
- Палеоподаци – на основу тумачења различитих типова маркера из времена за које не постоје писани трагови (Павловић, 2013).

Према начину прикупљања подаци се могу поделити на систематске и несистематске. Подаци прикупљени на основу системских мерења која се спроводе кроз мрежу хидролошких станица се називају системски подаци, док у несистемске податке спадају подаци историјске вредности који су издовјени из записа из прошлости. Наравно, систематски подаци представљају основу стохастичке анализе великих вода.

Хидролошка обрада доступних података је први корак приликом свих инжењерских захвата и научних истраживања. На пример, приликом пројектовања акумулационих језера потребно је знати колико воде је на располагању, какве су њене сезонске варијације и колико износи велика вода на коју се одређена грађевина пројектује. Поред тога, поменуте износе је потребно поуздано знати како би се заштитила урбана и индустријска подручја и саобраћајнице. Осим у инжењерске сврхе, резултати различитих хидролошких анализа могу се користити и за заштиту природе, у биологији, географији, итд (Pavlić, 2016).

Хидрограми дневних протицаја су основни хидролошки извори података за статистичку анализу великих вода на изученим сливовима (графикон 11). За потребе анализе великих вода у сливу Дунава кроз Панонску низију неопходни су били дневни

подаци о протицају за период 1964-2013. година за изабраних 22 станице. Подаци о станицама добијени су од надлажених институција сваке од држава кроз чије територије протиче Дунав и његове највеће притоке, Сава, Тиса и Драва.



Карта 6: Географски положај истраживаних станица

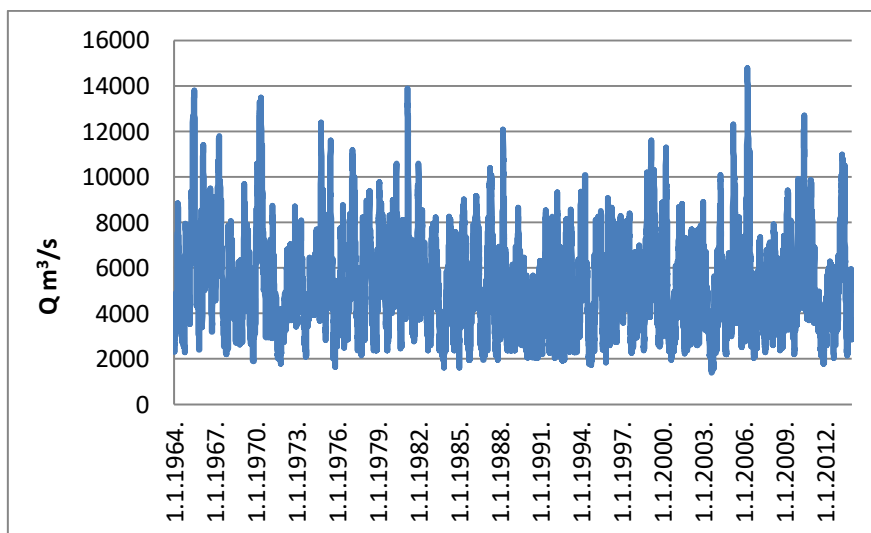
Подаци са станица на територији Републике Србије (слика 9), прикупљени су на основу података РХМЗ-а, тачније публикованих хидролошких годишњака и унешени ручно у базу. За станице на територији Републике Мађарске подаци су добијени од Државне дирекција за управљање водама (Országos Vízügyi Főigazgatóság) у виду .txt фајла и конвертовани су у .csv фајлове за лакшу обраду. За станицу Братислава податке за период 1964-2007 године подаци су добијени од стране Института за Хидрологију Словачке академије наука (Ústav hydrologie SAV), док је недостајајући период од шет година допуњен подацима достављеним од стране Словачког хидрометеоролошког института (Slovenský hydrometeorologický ústav). Податке о станицама на реци Сави и Драви набављени су од Сектора за хидрологију Државног хидрометеоролошког завода Републике Хрватске. Подаци о дневном протицају за станицу на територији Републике Словеније преузети су са сајта Агенције Републике Словеније за Околје (Agencija Republike Slovenije za okolje) у виду .csv фајла. На карти 6 приказан је географски положај истраживаних станица док су у табели 2 приказане станице са основним подацима о њима

Број на карти	Назив станице	Река	Прекид	Број година	Р слива (km ²)	Речни километар	Средња вредност протицаја (m ³ /s)
1	Братислава	Дунав	-	50	131338	1868,8	2080
2	Комаром		-	50	150820	1768,3	2096
3	Будимпешта		-	50	184893	1646,5	2305
4	Мохач		-	50	209064	1446,9	2365
5	Баја		-	39	208282	1478,7	2360
6	Бездан		-	50	210250	1425,6	2291
7	Богојево		2010	49	251593	1367,2	2829
8	Смедерево		-	50	525820	1116,2	5270
9	Чатеж 1	Сава	-	50	10173	736,7	273
10	Подсусед Жичара		-	50	12300	675,4	293
11	Загреб		-	50	12450	664,2	295
12	Јасеновац		1991/96	45	38953	500,5	711
13	Жупања степ.		-	50	62892	262	1095
14	С.Митровица		-	50	87996	139,2	1520
15	Вашарошнаме		-	50	29057	684,5	373
16	Солнок		Тиса	-	50	73113	334,6
17	Сегедин	-		50	138408	173,6	876
18	Сента	1979		49	141715	123,5	840
19	Доња Дубрава	-		31	29057	x	293
20	Ботово	Драва	-	50	31038	227,1	496
21	Д. Михољац		-	50	33916	152,3	525
22	Терезино п.		-	50	37142	74,6	510

Табела 2: Основни подаци о истраживаним станицама

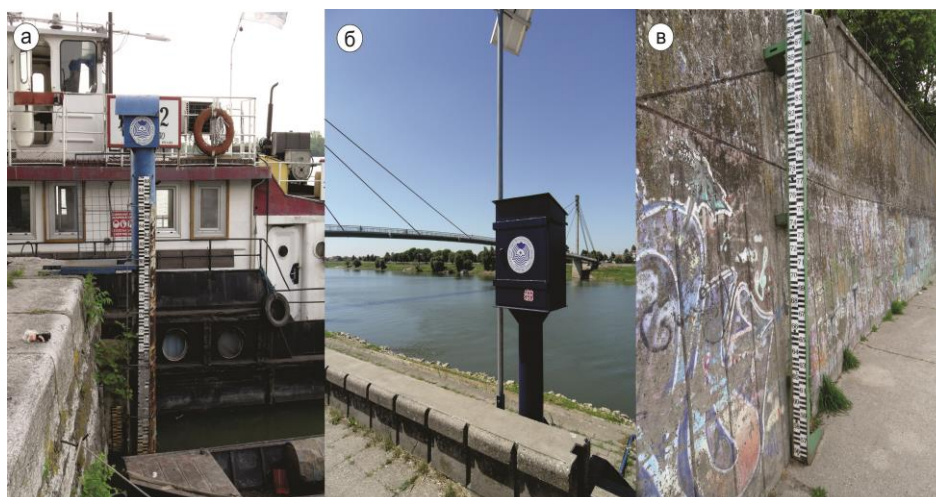
Из табеле 2 уочљиво је да су на 5 анализираних станица недостајали неки подаци. На станици Богојево недостају подаци за 2010. годину и то чини 2% од целокупних података. На реци Сави недостају подаци за станицу Јасеновац за период

1991-1995 због ратних дешавања на просторима бивше Југославије, што чини 10% недостајућих података. За реку Тису, недостају подаци за 1979. годину на станици Сента, 2%. За реку Драву нема недостајућих података.



Графикон 11: Хидрограм Дунава код Смедерева за период 1964-2013

Највећи део научних радова не препоручује коришћење хидролошких станица које имају преко 10% недостајућих података у истраживаном периоду. Из табеле 6 уочава се да свака од станица задовољава критеријум од 10% недостајућих података, односно, ниједна станица нема преко 10% недостајућих података.



Слика 9: Водомерна летве у Србији на станицама а) Смедерево, б) Сремска Митровица и в) Сента

Фото: Аутор, 2017

Феномен великих вода је један од најзначајнијих проблема којима се бави хидрологија. Та појава са хидролошког становишта има негативан контекст јер велике воде могу проузроковати велике економске штете као и губитак људских живота. Управо из тих разлога, на великим и значајним водотоцима подаци о протицајима а нарочито о великим водама се бележе кроз историју што је данас омогућило прогнозирање великих вода пробабилистичким методама или анализом фреквенције. Најпре су се користиле емпиријске формуле до којих се долазило хидролошким анализама уз податке о географским карактеристикама слива, међутим данас је тај поступак скоро потпуно напуштен. Основне методе које са данас користе у хидролошкој пракси представљене су у даљем тексту дисертације.

Будуће велике воде одређују се према подацима из прошлости на основу четири основна приступа:

1. Усвајањем једне највеће забележене велике воде или неколико њих,
2. Одређивањем великих вода различитог реда појаве методама математичке статистике на основу низа осматрених великих вода,
3. Одређивањем великих вода из падавина на основу комбинованих метеоролошких и хидролошких осматрања,
4. Употребом различитих емпиријских формула (Жугај, 2009).

Први начин одређивања великих вода не искључује могућност да будућа велика вода буде већа од највеће забележене. Без обзира на то колико се дуго у неком сливу врше осматрања великих вода то не искључује могућност појављивања неке знатно веће велике воде у будућности. Из тог разлога највећу забележену воду не треба узимати као меродавну, већ она треба да буде укључена у рачунање према другачијим основним приступима, а може послужити и за проверу резултата добијених према осталим методама (Павловић, 2013).

Резултати статистичких обрада су велике воде различитих повратних периода а то су параметри који се и захтевају од данашњих хидролошких обрада. Овим методама се редовно одређују меродавне велике воде, уколико су на располагању довољно поуздани низови података (Маркуш, 2006).

Трећи и четврти приступ користе математичку статистику. При употреби методе изохрона и методе јединичног хидрограма падавине се обрађују статистички, а развојем

искуствених израза дошло се до формула за велике воде различитих повратних периода (Жугај, 2009).

У почетку се од хидролошких истраживања, пре примене математичке статистике, тражило да одреди највеће могуће велике воде. Њих је тада било могуће одредити само на основу историјских података, као највећу забележену велику воду. Овај метод неискључује могућност да појаве још веће воде у будућности па је стога неисправан и напуштен, Други корак био је одређивање највеће могуће воде на основу тадашњих прилично једноставних емпиријских формула. Употреба различитих емпиријских формула довела је до појаве да се вредности великих вода истог слива међусобно разликују. Управо главни недостатак емпиријских формула показује да се може претпоставити да су велике воде случајне појаве. Неопходан услов за примену метода математичке статистике за одређивање великих вода различитих повратних периода је да су појаве великих вода међусобно независне (Жугај, 2009). Најисправнији приступ изучавању великих вода је да велике воде одреде као ретке појаве које имају различите повратне периоде.

Истраживања су показала да се речни режими постепено или нагло мењају током времена. Ове промене отежавају прогнозе великих вода. Из овог разлога, оправдано се могу користит различите методе за одређивање великих вода, а да се потом њихови резултати међусобно упореде.

СТАТИСТИЧКЕ МЕТОДЕ ЗА АНАЛИЗУ ВЕЛИКИХ ВОДА

Анализа и прорачуни хидролошких карактеристика неког водотока заснивају се на подацима хидрометеоролошких мерења. Ова мерења се врше на постојећој мрежи сталних хидролошких и метеоролошких станица током вишегодишњег периода (Прохаска, 2006).

Велике воде на рекама се проучавају статистичком анализом података који се формирају на основу хидрограма. Комплексност хидролошког циклуса као и немогућност његовог представљања условила је да их је неопходно посматрати као случајне процесе. Ово се односи и на велике воде чија ретка појава указује да се могу сматрати као случајни догађаји (Павловић, 2013). У поглављу „Подаци“ представљени су различити извори података који се користе приликом анализе великих вода.

Комплексност примењене статистичке анализе условљава и сложеност статистичке анализе.

Један од најефикаснијих начина одбране од поплава је примена различитих метода за предвиђање појаве великих вода. Све методе се могу сврстати у три основне групе: статистичке, емпиријске и плувиометријске. Основа статистичке методе је статистичка обрада података и примена рачуна вероватноће, емпиријска метода се заснива на посматрању великих вода као функције површине речног слива као и осталих географских карактеристика (рељеф, клима, биљни покривач), док је плувиометријски метод базиран на одређивању максималних могућих падавина (Gavrilović, 1981). У докторској дисертацији биће коришћења статистичка метода јер се њеним коришћењем најпоузданије долази до података о великим водама. Применом рачуна вероватноће омогућава да се са великом поузданошћу може утврдити вероватноћа појаве великих вода одређених повратних периода.

Које ће методе бити употребљене за прорачун великих вода зависи од више фактора, од којих је основни постојање података о протицајима на одређеном речном профилу. Праћање и бележење речног протицаја се заснива на вишегодишњем осматрању и представља дуготрајан и скуп процес. Због тога се хидролошке станице постављају само на већим и значајнијим рекама, док мањи водотоци остају неосматрани.

Уколико је основни фактор задовољен, и располажемо подацима осматрања протицаја на рекама од интереса, велике воде се прорачунавају на основу статистичке анализе. Пошто се сложеност хидролошких процеса не може објаснити физичким законима, њихово посматрање као случајни процеси је логичан пут даљег развоја хидрологије. Екстремни хидролошки догађаји се јављају релативно ретко и стога испуњавају критеријуме на основу којих се могу сматрати као потпуно случајни догађаји, односно могу се анализирати применом метода вероватноће и статистике (Plavšić, 2004).

Основни циљ статистичке анализе је повезивање величине екстремних догађаја са вероватноћом њихове појаве. Статистичке методе су најпоузданије када се анализирају међусобно независни догађаји. Због тога је претпоставка о независности података основна претпоставка у раду са статистичким низовима. Хомогеност низова података је друга основна претпоставка. Хомогеност података подразумева да сви подаци у једној бази потичу из исте популације. Пошто велике воде могу настати као

последица различитих узрока, може се јавити проблем нехомогености. Временска удаљеност представља други аспект који се подразумева под хомогеношћу, што значи да предпостављамо да се режими великих вода нису мењали кроз време (Plavšić, 2004). Да би задовољила и ова два основна услова (независност и хомогеност) хидролошки низови података се морају пажљиво формирати. То се постиже формирањем низова годишњих екстрема (максимума протицаја) (Ojha et al., 2008). Управо овакав начин формирања низова се најчешће употребљава у хидролошким истраживањима. Статистичка анализа низова годишњих максимума се врши следећим редоследом:

- Прорачун статистичких показатеља низова и формирање емпиријске расподеле низа;
- Прорачун различитих теоријских расподела са параметрима одређеним на основу статистичких низова;
- Поређење теоријских расподела са емпиријском расподелом и усвајање најпогодније расподеле;
- Оцена квантила или оцена вероватноће појаве задате вредности разматране величине према усвојеној теоријској расподели (Plavšić, 2004).

Избор теоријске функције расподеле је основни резултат статистичке анализе великих вода. У хидролошким истраживањима користе се бројне функције расподеле које имају различити број параметара. Функције расподеле које се најчешће користе су приказане у табели 3.

Број параметара	Назив функције расподеле
дво- параметарске:	лог-Нормална (LN2)
	Гумбелова (расподела екстремних вредности 1. типа, EV1)
	Фрешова (расподела екстремних вредности 2. типа, EV 2)
	Вејбулова (расподела екстремних вредности 3. типа, EV3)
тро- параметарске:	лог-Нормална (Log-normalna (LN2))
	Пирсонова (Pirsonova (P3))
	лог-Пирсонова (log-Pirson (LP))
	Општа расподела екстремних вредности (GEV)
	Општа Парето (Pareto (GP))
	Општа логистичка (GL)
четворо- параметарске:	Двокомпонентна расподела екстремних вредности
пето- параметарске:	Вејкбијева расподела

Табела 3: Функције расподеле најчешће коришћене у хидрологији

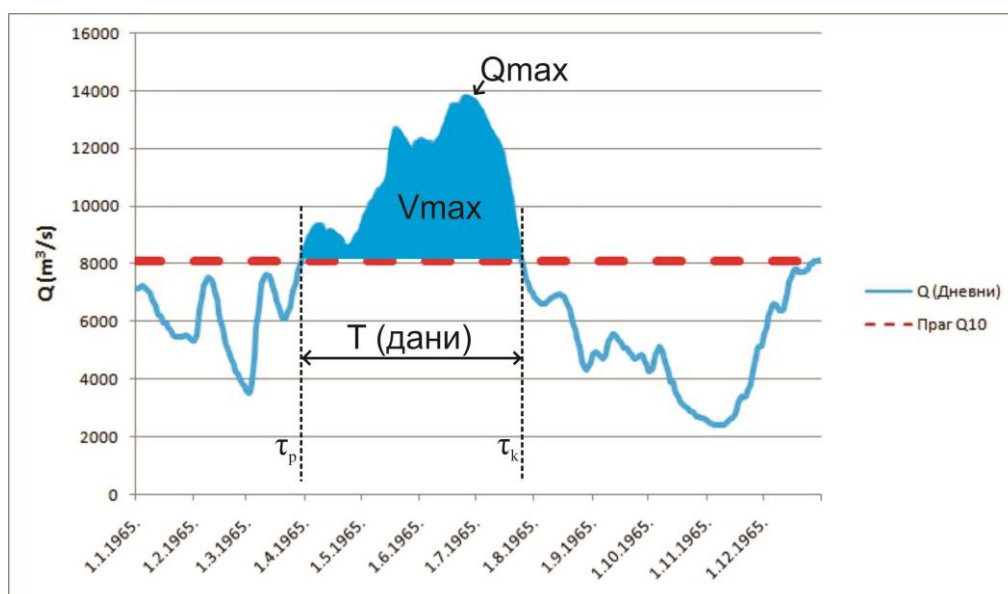
Извор: Павловић, 2013.

За практичну примену је развијен велики број упутстава и препорука у којима је сажет рад врхунских светских стручњака за свеобухватну анализу великих вода. Незаобилазне референце из ове области су публикације WMO (1969), Interagency Advisory Committee on Water Data (1982), WMO (1994), Institute for Hydrology (1999), Centre for Ecology & Hydrology (1999), Singh (2016) и друге. Статистичка анализа се сматра најпоузданијом методом нарочито ако се располаже довољно дугим низом осматрања, као на пример 50 година (Маркуш, 2006).

МЕТОДА ПРАГА

У покушају да се процес формирања хидролошких величина опише на најбољи могући начин јавила се сарадња између математичара и хидротехничара на Институту „Јарослав Черни“. Ова сарадња довела је до развоја модела који је поставио Петар Тодоровић у својим радовима (Todorović и Zelenhasić, 1970; Todorović, 1970; Todorović и Rousselle, 1971). Основу овог модела чини низ вредности протицаја који прелазе одређену вредност (праг), такозване „парцијалне серије“. (Павловић, 2013). Ова метода је у позната под називом „метода прага“ („threshold level“) и детаљно је објашњена у

каснијим радовима Zelenhasić и Salvai (1987) и Tallaksen и сарадници (1997). Од 80-тих година двадесетог века ова метода постаје широко прихваћена у научној јавности и на основу тога долази до њеног даљег развоја који обухвата све компликованије форме стохастичког процеса, уводе се нове расподеле пикова, оцене ризика и друго. Метода прага почиње да се користи после 1987. године, то јест после објављеног рада Зеленхасића и Салваиа који су први применили ову методу серију дневних протицаја (Урошев, 2016). Метода прага се заснива на теорији преласка (crossing theory) развијене од стране Rice 1945, године то јест, изучава протицаје изнад или испод прага, Касније су ову методу проширили Cramer и Leadbetter 1967 (Tallaksen, 2000). На графикону 7 дат је пример издвајања великих вода методом прага. На хидрограму дневних протицаја се постави унапред дефинисана вредност прага (Q_0). Талас великих вода почиње када протицај пређе задати праг ($Q(t) > Q_0$) и траје док се протицај не падне поново испод задатог прага ($Q(t) \leq Q_0$). На овај начин се одређује време почетка (τ_p) и крај (τ_k) великих вода. Две најважније карактеристике великих вода су суфицит (V) и трајање (T).



Графикон 7: Одређивање великих вода на примеру станице Смедерево на Дунаву током 1965. године.

Запремина суфицита (V) представља укупан суфицит протицаја ($V(t)$) за дато трајање таласа великих вода и рачуна се помоћу формуле:

$$V_{max} = \sum_{\tau_p}^{\tau_k} V(t)$$

Где је V_{max} запремина суфицита i (m^3), а $V(t)$, суфицит протицаја у времену t и једнак је:

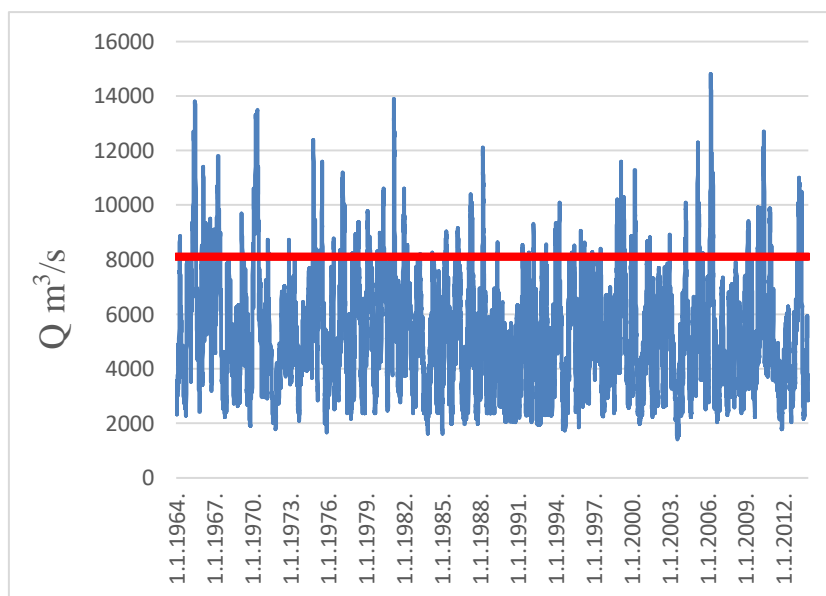
$$V(t) = \begin{cases} Q(t) - Q_0, & Q(t) > Q_0 \\ 0, & Q(t) \leq Q_0 \end{cases}$$

ИЗБОР ПРАГА

Приликом коришћења методе прага кључно је питање на је на коју висину (вредност) поставити праг. Одабир прага зависи од сврхе хидролошких истраживања. Праг може бити фиксни и променљив, односно сезонски, месечни, дневни (Урошев, 2016). Фиксни праг се најчешће употребљава, приликом употребе овог прага једна фиксна вредност се употребљава за целу временску серију. Праг се може унапред дефинисати, у зависности од потребе истраживача као што је на пример одређени доток у акумулацију, или за потребе водоснабдевања, пловидбе, хидроенергетике, итд (Урошев, 2016). Праг који је сувише висок може довести до тога да постоји велики број година без великих вода и да је број јављања ове појаве у току осматраног периода сувише мали за статистичку анализу.

Како је циљ ове дисертације да се нађу функције расподеле великих вода, то јест оних најекстремнијих са малом вероватноћом превазилажења, прво је узет праг Q_2 ($10.800 m^3/s$ у случају станице Смедерево) и издвојено је 15 година са јављањем великих вода током осматраног периода, док чак 35 година је без јављања великих вода. Слични резултати су добијени и на осталим изучаваним рекама и станицама за исти праг. Овако мали број година са јављањем великих вода не дозвољава поуздано оцењивање параметара расподеле неопходних за анализу вероватноће појаве екстремних таласа великих вода. Праг Q_5 ($9.330 m^3/s$) издвојио је већи број година са јављањем великих вода у односу на праг Q_2 . За станицу Смедерево издвојио је 25 година са јављањем великих вода преко овог прага, што је омогућило довољан број података за поуздано оцењивање великих вода са малом вероватноћом појаве. За праг Q_{10} ($8.110 m^3/s$) издвојено је 39 година (графикон 8) са јављањем великих вода преко овог прага што представља довољно дугачак низ за поуздано одређивање функције расподеле великих

вода са малом вероватноћом појаве. На основу анализираних резултата као и литературних извора (Meunier, 2001) узет је праг Q_{10} за издвајање великих вода јер су добијени низови довољно дугачки а праг је довољно висок да у анализу ужу искључиво екстремни протицаји на истраживаним станицама.



Графикон 8: Утицај висине прага на издвајање великих вода на станици Смедерево

Станица	Река	Праг $Q_{10}\%$
Братислава	Дунав	3.268
Комаром		3.320
Будимпешта		3.600
Баја		3.600
Мохач		3.680
Бездан		3.600
Богојево		4.340
Смедерево		8.110
Чатеж 1	Сава	522
Подсусед Жичара		581
Загреб		573
Јасеновац		1.495
Жупања		2.179
Срем.Митровица		2.900
Вашарошнамењ	Тиса	772
Солнок		1.180
Сегедин		1.820
Сента		1.720
Доња Дубрава	Драва	514
Ботово		814
Терезино поље		848
Доњи Михољац		827

Табела 4: Вредности протицаја за одабрани праг Q_{10}

МЕТОДА ГОДИШЊИХ МАКСИМУМА

Метода годишњих максимума подразумева анализу максималних годишњих вредности величине која се анализира. У овој дисертацији она подразумева анализу највеће годишње вредности запремине и трајања великих вода преко одабраног прага. У овој методи протицај се третира као случајна промењива X са неком функцијом расподеле. Ова метода је најдетаљније обрађена и најшире коришћена у хидролошким истраживањима (Hosking et al., 1985a; Wallis и Wood, 1985; Lettenmaier et al., 1987; Hosking и Wallis, 1988; Potter и Lettenmaier, 1990; Haktanir, 1991; Madsen et al, 1997; Adamowski, 2000; Jingyi и Hall, 2004; Zhang et al, 2004; Bhattarai, 2005; Kundzewicz et al, 2005; Montanari, 2012; Keast и Ellison, 2013; Rahman et al, 2013).

Испуњење услова независности и хомогености хидролошких података се постиже формирањем низова максималних годишњих запремина и трајања великих вода. У хидролошкој пракси ово је стандардни поступак и основа методе годишњих екстрема. Ова метода се примењује и на појединачним профилима и за регионалне анализе. Основни принцип прорачуна методом годишњих максимума приказан је у даљем тескту.

ПРОРАЧУН СТАТИСТИКА ОСНОВНОГ НИЗА ГОДИШЊИХ МАКСИМУМА И ЛОГАРИТАМСКОГ НИЗА

СРЕДЊА ВРЕДНОСТ

$$x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

при чему: x - основни низ максималних годишњих запремина и трајања великих вода а N - укупан број података у низу.

СТАНДАРДНА ДЕВИЈАЦИЈА

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{N}{N-1} \bar{x}^2}$$

где је x_i i -ти члан скупа, \bar{x} - аритметичка средина.

КОЕФИЦИЈЕНТ ВАРИЈАЦИЈЕ

$$Cv_x = \frac{S_x}{\bar{x}}$$

где је S_x – стандардна девијација, \bar{x} - аритметичка средина.

КОЕФИЦИЈЕНТ АСИМЕТРИЈЕ

$$Cs_x = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \frac{1}{S_x^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3$$

ПРОВЕРА ПОСТОЈАЊА ИЗУЗЕТАКА У НИЗУ

У литератури, за ову проверу, најчешће се користи тест Грубеса и Бека (Благојевић и сар., 2014) који се користи и у овој дисертацији. По овом тесту горња (Y_g) и доња (Y_d) граница низа се одређују као:

$$Y_g = \bar{x} + K_n S_x$$

$$Y_d = \bar{x} - K_n S_x$$

K_n – критична вредност фреквенције која за праг значајности од 10% гласи:

$$K_n = -3.62201 + 6.28446n^{\frac{1}{4}} - 2.49835n^{\frac{1}{2}} + 0.491436n^{\frac{3}{4}} - 0.03791n$$

Горњи изузетак постоји уколико је:

$$Y_{max} > Y_g$$

Доњи изузетак постоји уколико је:

$$Y_{min} < Y_d$$

ПРОРАЧУН ЕМПИРИЈСКЕ РАСПОДЕЛЕ

Емпиријска расподела подразумева додељивање компромисних вероватноћа вредностима из низа. Чланови низа су уређени по растућем редоследу. За компромисне вероватноће користи се Вејбулова формула:

$$F_e(x_i) = p_i = \frac{i}{n + 1}$$

ПОВРАТНИ ПЕРИОД

Функција расподеле $F(x)$ дефинише се као вероватноћа да ће случајна променљива X бити мања или једнака од неке вредности x :

$$F(x) = P(X < x)$$

Супротна вероватноћа, то јест вероватноћа да ће случајна променљива X имати вредност већу од задате вредности x назива се вероватноћом превазилажења:

$$R(x) = P(X > x) = 1 - F(x)$$

Када случајна променљива X представља годишњи максимум, вероватноћа њене појаве може се исказати и повратним периодом, који се изражава у годинама:

$$T(x) = 1/P(X > x) = 1/R(x) = 1/(1 - F(x))$$

АНАЛИЗА ХОМОГЕНОСТИ И СЛУЧАЈНОСТИ ХИДРОЛОШКИХ СЕРИЈА

Да би успешно применили математичку статистику и теорије вероватноће на хидролошке низове неопходно је да су они хомогени и случајни. Хомогеним хидролошки низом сматра се онај који потиче из једне популације величине (протицаја или трајања) која се разматра. Пример нехомогеног низа је низ годишњих максимума протицаја међу којима су они настали услед јаких летњих пљускова и они настали услед пролећног отапања снега. Уколико су елементи неког низа међусобно независни они се сматрају за случајне појаве.

Проверавање хомогености и случајности низа података врши се адекватним тестовима који могу бити параметарски и непараметарски. Параметарски тестови су засновани на провери неке од карактеристика низа (нпр. средња вредност) уз следеће претпоставке:

- Подаци су међусобно независни;
- Подаци потичу из нормалне расподеле;
- Популације морају имати исту варијансу (Урошев, 2016).

За непараметарске тестове, довољна је само претпоставка о међусобној независности низа података. Разлике између параметарског и непараметарског теста се смањују са повећањем дужине узорка (Урошев, 2016).

До нехомогености хидролошких података може доћи као последица промена у природном окружењу које могу бити изазване природним и антропогеним утицајима. Промене до којих долази због природних процеса су обично лагане, постепене док промене које су изазване антропогеним факторима утичу много брже. Неки од антропогених фактора су пример; неконтролисана сеча шума у сливу, изградња акумулационих басена, антиерозивне мере, подизање одбрамбених насипа, и друго (Прохаска, 2003).

За тестирање случајности коришћен је тест аутокорељације првог реда (тест Андерсона) и тест квадрата узастопних разлика (тест Нејмана). Хомогеност низа тестирана је параметарским z -тестом и Студентовим t -тестом за тестирање средњих вредности, Фишеров F -тест за тестирање варијансе и непараметарски Мен-Вирни U -тест за тестирање функције расподеле. За све тестове праг значајности постављен је на $\alpha=0,05$.

ТЕСТ АУТОКОРЕЛАЦИЈЕ ПРВОГ РЕДА (ТЕСТ АНДЕРСОНА)

Коефицијент аутокорејације првог реда је мера зависности између узастопних чланова низа и дефинисана је као:

$$r_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{x}_1) * (x_{i+1} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{x}_1) * \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - \bar{x}_2)^2}}$$

где је:

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} x_1}{n-1}, \quad \bar{x}_2 = \frac{\sum_{i=2}^n x_2}{n-1}$$

Уводи се нулта хипотеза $H_0: r_1 \cong 0$, тада статистика z :

$$z = \frac{r_1 + \frac{1}{n-1}}{\frac{n-2}{(n-1)^{3/2}}}$$

има стандардизовану нормалну расподелу $N(0,1)$, па је за задати праг значајности α , регион прихватања H_0 :

$$Z_{\alpha/2} < Z < Z_{1-\alpha/2}$$

ТЕСТ КВАДРАТА УЗАСТОПНИХ РАЗЛИКА (ТЕСТ НЕЈМАНА)

Нулта хипотеза H_0 овог теста гласи: чланови низа су међусобно независни а статистика.

$$u = \frac{\frac{d^2}{2} - 1}{\sqrt{\frac{n-2}{n^2-1}}}$$

прати $N(0,1)$ расподелу, где је:

$$d^2 = \frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i)^2$$

Регион прихватања нулте хипотезе је :

$$u_{\alpha/2} < u < u_{1-\alpha/2}$$

ТЕСТ ХОМОГЕНОСТИ ДИСПЕРЗИЈЕ ДВА УЗОРКА (ФИШЕРОВ ТЕСТ)

Једнакост варијанси серија испитана је коришћењем Фишевог теста. Главна претпоставка овог теста је да су чланови серије независни и да два узорка потичу из исте популације. Нулта хипотеза овог теста је да су варијансе два низа једнаке:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

у којој је S_1^2 већа од две варијансе ($S_1^2 > S_2^2$). Ова статистика прати Фишевову расподелу F-расподелу са $v_1=N_1-1$ и $v_2=N_2-1$ степени слободе. Овај тест је једностранни тест па је распон прихватања нулте хипотезе: $F < F_{1-\alpha, v_1, v_2}$. У супротном се одбацује H_0 и усваја хипотеза H_1 да серија није хомогена по варијанси.

Z-ТЕСТ

Z- тестом се проверава једнакост средњих вредности два узорка за које се претпоставља потичу из две распоређене популације: $X_1:N(\mu_1, \sigma_1)$ и $X_2:N(\mu_2, \sigma_2)$. Узорак X_1 , дужине N_1 има своју вредност x_1 и стандардну девијацију S_1 , док узорак X_2 , дужине N_2 има средњу вредност x_2 и стандардну девијацију S_2 . Нулта хипотеза и алтернативна хипотеза гласе:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Разлика средњих вредности два узорка представља нормално распоређену случајну промењиву:

$$\bar{X} - \bar{X}_2: N(\mu_1 - \mu_2, \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}})$$

Под условом да се прихвата H_0 ($\mu_1 - \mu_2 = 0$) хипотеза, стандардизована нормална промењива гласи:

$$z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}}$$

Расподела промењива z износи $N(0,1)$, такође, вредности овог теста могу бити позитивне и негативне па се овај тест из тих разлог сматра за двострани тест. За задати праг значајносит α регион прихватања H_0 је:

$$z_{\alpha/2} < z < z_{1-\alpha/2}$$

При чему α представља праг значајности. У супротном се одбацује хипотеза H_0 и прихвата алтернативна хиптеза H_a да два узорка не припадају истој популацији.

СТУДЕНТОВ t -ТЕСТ

t -тест је сличан Z -тесту, осим што се примењује за мање узорке. Додатна претпоставка је да су варијансе два узорка једнаке, тако да ову хипотезу треба проверити пре спровођења тета (помоћу Фишеровог F -теста за варијансе). Оцена јединствене варијансе S_x за два узорка гласи:

$$S^2 = \frac{N_1 S_1^2 + N_2 S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}$$

Разлика средњих вредности два узорка $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$ као случајна промењива има средњу вредност $\mu_1 - \mu_2$ (која је према H_0 једнака 0) и варијанса $S \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}$.

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}}$$

Прати студентову расподелу са $N_1 + N_2 - 2$ степени слободe. И овде се ради о двостраном тесту па је регион прихватања хипотезе H_0 дефинисан са:

$$t_{\alpha/2} < t < t_{1-\alpha/2}$$

у супротном се одбацује хипотеза H_0 и усваја хипотеза H_1 да два узорка не припадају истој популацији.

МЕН-ВИТНИ ТЕСТ (MANN-WHITNEY TEST)

Нулта хипотеза овог теста је да је узорак хомоген. Два подузорка дужина N_1 и N_2 се спајају и уређују у растући низ, при чему је неопходно означити припадност првом и другом подузорку. Означава се редослед чланова заједничког низа. Сабирањем рангова чланова првог подузорка добија се збир R_1 , а сабирањем рангова другог подузорка добија се збир R_2 . Затим се рачунају статистике:

$$U_1 = N_1 N_2 + \frac{N_1(N_1 + 1)}{2} - R_1$$

$$U_2 = N_1 N_2 + \frac{N_2(N_2 + 1)}{2} - R_2$$

Између ове две статистике постоји веза:

$$U_1 + U_2 = N_1 N_2$$

Између U_1 и U_2 се бира нижа вредност:

$$U = \min\{U_1, U_2\}$$

За $N_1, N_2 > 8$, статистика U прати приближно нормалну расподелу са варијансом и средњом вредношћу:

$$\mu_U = \frac{N_1 N_2}{2}, \quad \sigma_U^2 = \frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}$$

а статистика:

$$u = \frac{U - \mu_U}{\sigma_U}$$

прати стандардну нормалну расподелу $N(0,1)$. Област прихватања нулте хипотезе за праг значајности α је:

$$u_{\alpha/2} < u < u_{1-\alpha/2}$$

ТЕСТИРАЊЕ ТРЕНДА

Ако је $Y=aX+b$ регресиона права на којој су коефицијенти a и b регресиони коефицијенти методом најмањих квадрата узорака од n парова вредности (x, y) . Приликом тестирања тренда променљива X представља време или редни број података, док је променљива Y величина за коју се тренд испитује. Ако се као нулта хипотеза претпостави да је коефицијент правца једнак нули (Плавшић, 2015):

$$H_0: a = 0$$

$$H_1: a \neq 0$$

тада се одбацивањем ове хипотезе може сматрати да је коефицијент правца статистички значајан. Ако је r коефицијент узорка корелације између низова x и y , коефицијент правца a се у просторној линеарној регресији оцењује са (Урошев, 2016):

$$\hat{a} = r \frac{S_y}{S_x}$$

Контролна статистика овог теста је стандардизована вредност оцене коефицијента правца, тако да се она своди само на проверу статистичке значајности коефицијента корелације r .

$$t = r * \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

Ова тест статистика прати Студентову t расподелу са $n-2$ степени слободе, па је област прихватања нулте хиптезе:

$$t_{\alpha/2} < t < t_{1-\alpha/2}$$

Ако тестови покажу да низови нису хомогени или случајни (Табела 5), приступа се даљем анализирању резултата тестова. Ово је најчешће случај са F -тестом са неједнакошћу варијанси, што је и очекивано с обзиром да хидролошки низови најчешће не задовољавају критеријуме за стриктну примену параметарских тестов (Урошев, 2016).

Назив теста	Резултат	Доња граница	Горња граница
Тест Андерсона	-0,706	-1,959	1,959
Тест Нејмана	0,811	-1,959	1,959
Фишеров F -тест	0,300	-	2,112
Нормализовани Z -тест	0,899	-1,959	1,959
Студентов T -тест	0,864	-2,019	2,019
Mann–Whitney–Wilcoxon U -test	-0,871	-1,959	1,959

Табела 5: Пример резултата тестова хомогености и случајности хидролошких серија на станици Смедерево, река Дунав.

РАСПОДЕЛЕ ВЕРОВАТНОЋЕ КОРИШЋЕНЕ У ХИДРОЛОГИЈИ

Расподеле вероватноће су коришћене и данас се користе у великом броју хидролошких студија. Упркос интензивном истраживању и употреби, ниједан одређени модел се није издвојио као универзалан за практичну примену. Због тога, истраживачи примењују више различитих расподела и затим врше поређења резултата у складу са истраживаним проблемом и доступним подацима. Представљене расподеле коришћене су у бројним радовима (Cunnane, 1979; Kite, 1988; Bobee и Ashkar, 1988; Stedinger et al, 1993; Hosking и Wallis, 1997; Pavlović и Vukmirović, 2010; Amirataee и Montaseri., 2013).

Генерално, математичка расподела која садржи три параметра се бира тако да најбоље описује податке са којима истраживач располаже. Употреба математичких расподела пружа бројен предности:

- Уређености и константност тумачења емпиријске расподеле. Квантили и остали израчунати подаци тачније представљају хидролошке појаве.

- Компактност и лако читање добијених података.
- Постиге се реалистичнији опис вероватноће и обима истраживане појава.

Иако пружа бројне предности, постоји и неколико проблема који се тичу одабира расподеле за одређивање расподеле вероватноће (Stedinger et al., 1993):

- Која је стварна расподела на основу које се врши осматрање?
- Да ли изабрана функција одговара доступним подацима са истраживане станице?
- Која расподела би требала да буде коришћена да би се добили довољно тачне и поуздане процене ризика од поплава?

На прво питање није могуће дати пун одговор, права функција расподеле постојећих података неопходних за одређивање стварне расподеле може бити толико комплексна и да садржи више различитих параметара него што би хидролози били у могућности да процене. На друго питање се може дати делимичан одговор, понекад расподела кроз резултате покаже да нејје одговарајућа са расположивим подацима. Једино је на треће питање могуће дати потпун одговор и он гласи: Она расподела која заједно са одговарајућим процедурама даје најбоље процене ризика у истраживаном делу света. Циљ је дакле, да се развију практичне процедуре које ће са доступним подацима омогућити што тачнију процену вероватноћу појаве истраживаног феномена (Stedinger et al., 1993).

НОРМАЛНА РАСПОДЕЛА

За случајну промењиву X каже се да има нормалну (Гаусову) расподелу ако је њена функција густина вероватноће:

$$F(x) = \frac{1}{b\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left\{-\frac{(x-a)^2}{2b^2}\right\} dx$$

Функција стандардизоване нормалне расподеле:

$$\Phi_{(z)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left\{-\frac{z^2}{2}\right\} dz$$

где је:

$$z = \frac{x - a}{b}$$

Најчешћа употреба нормалне расподеле у хидрологији су следећи:

1. За прилагођавање емпиријских функција расподеле годишњих падавина, протицаја, затим за анализу вероватноће јављања годишњих и месечних вредности температура ваздуха и воде,... С обзиром да је ова расподела дефинисана за $-\infty < X < \infty$, ова се расподела, теоријски не би могла применити на промењиве које не могу узети негативне вредности.
2. За одређивање случајних грешака код хидролошких осматрања и мерења.
3. Као теоријска расподела статистика, за тестирање статистичких хипотеза.
4. Код генерисања хидролошких серија (Јовановић, 1977).

ЛОГ-НОРМАЛНА РАСПОДЕЛА

Лог-нормална расподела случајне промењиве X има за нормалну расподелу, расподелу случајне промењиве $\ln X$. Већина процеса отицаја код којих је коефицијент варијације C_v већи од 0,5 може се успешно математички моделирати помоћу логнормалне расподеле (Зеленхасић, 1997). Функција расподеле је:

$$F(x) = \frac{1}{b\sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{x} \exp\left\{-\frac{(\ln x - a)^2}{2b^2}\right\} dx$$

Са сменом:

$$y = \ln x$$

лог-нормална расподела се своди на нормалну расподелу промењиве y . Са сменом:

$$z = \frac{y - a}{b}$$

лог-нормална расподела се своди на стандардизовану нормалну расподелу. Најчешће се користи за анализу хидрометеоролошких величина код којих је најмања

вредност $X_{\min} = 0$, а немају горњу границу, нарочито је примену нашла у анализи максималних и минималних протицаја воде.

ГУМБЕЛОВА РАСПОДЕЛА (GUMBELL)

Гумбелова расподела добила је име по немачком математичару Умилу Џулиусу Гумбелу на темељу његових оригиналних радова и књиге у којој описује расподелу екстремних вредности. Његов главни фокус је био првенствено на примени теорије екстремних вредности у инжењерским проблемима, посебно у моделирању хидролошких феномена попут годишњих поплава (Reĳa, 2014).

Гумбелова расподела се користи приликом моделирања максимума узорака разних расподела. Потенцијална примена ове функције у репрезентацији максимума повезана је са теоријом екстремних вредности, посебно када је расподела темељних узорака нормалног или експоненцијалног типа. Ова расподела позната је и као лог-Вејбулова (log-Weibullova) односно дупла експоненцијална расподела, што чини посебни случај генерализоване расподеле екстремних вредности. Функција расподеле према Гумбелу је:

$$F(x) = \exp\left\{-\exp\left[-\frac{x-u}{\alpha}\right]\right\}$$

Инверзна функција расподеле:

$$x(F) = u + \alpha[-\ln(-\ln F)]$$

Сменом:

$$y = \frac{x-u}{\alpha}$$

долази се до функције стандардизоване Гумбелове расподеле:

$$F(x) = \exp\{-\exp[-y]\}$$

чија је инверзна формула:

$$y = -\ln(-\ln F)$$

А параметри:

$$u = \bar{x} - 0.45S_x, \alpha = 0.78S_x$$

ПИРСОН 3 РАСПОДЕЛА (PEARSON III)

Пирсонова расподела 3. типа може се тумачити као посебан случај тропараметарске гама расподеле. Ако се у тропараметарској гама расподели узме да је параметар $\alpha = 1$, добија се двопараметарска гама расподела. Линеарном трансформацијом двопараметарске гама расподеле, увођењем параметра локације $c > 0$, добија се Пирсонова расподела 3. типа (Pavlović и Vukmirović, 2010) са функцијом расподеле:

$$f(x) = \frac{1}{b\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x-c}{b}\right)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x-c}{b}\right)$$

Која је дефинисана за $c < x < \infty$ и функцијом расподеле:

$$F(x) = \frac{1}{b\Gamma(\alpha)} \int_c^x \left(\frac{x-c}{b}\right)^{\alpha-1} \exp\left\{-\frac{x-c}{b}\right\} dx$$

Ако се Пирсон 3 расподела и њена инверзна функција одређују из таблица, тада се користи фактор фреквенције:

$$k_p(T) = \frac{x(T) - \bar{x}}{S_x}$$

Који је табулисан у зависности од вредности функције расподеле и коефицијента асиметрије.

ЛОГ-ПИРСОН 3 (LOG-PEARSON III)

Расподела лог-Пирсон 3 је препоручена у САД (Water Resources Council, 1967) и Аустралији (I.E.A, 1977) као расподела за максималне годишње протицаје. Добија се из Пирсон 3 расподеле помоћу трансформације случајне промењиве X :

$$Y = \ln X$$

Тада је случајна величина X распоређена према функцији густине расподеле, са параметром a , b и c у облику:

$$f(x) = \frac{1}{bx\Gamma(\alpha)} \left(\frac{\ln x - c}{b} \right)^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{\ln x - c}{b}\right)$$

Функција расподеле се изражава у облику (Pavlović и Vukmirović, 2010).

$$F(x) = \frac{1}{b\Gamma(\alpha)} \int_c^x \frac{1}{x} \left(\frac{\ln x - c}{b} \right)^{\alpha-1} \exp\left\{-\frac{\ln x - c}{b}\right\} du$$

ТЕСТИРАЊЕ САГЛАСНОСТИ ЕМПИРИЈСКЕ И ТЕОРИЈСКЕ ФУНКЦИЈЕ РАСПОДЕЛЕ

Како се избор теоријске расподеле врши на бази узорка, овде се као проблем јавља тестирање сагласности теоријске и емпиријске расподеле (Јовановић, 1977). Нулта хипотеза у тестовима сагласности јесте да су емпиријска и теоријска расподела сагласне, а алтернативна хипотеза је да ове две расподеле нису сагласне.

ТЕСТ КОЛМОГОРОВ-СМИРНОВА

Овај тест се заснива на утврђивању степена сагласности између расподеле вредности узорка (добијени резултати) и неке одређене теоријске расподеле. Овај тест одређује да ли је разумно веровати да је узорак дошао из поулације која има претпостављену теоријску расподелу. Овај тест се примењује само на непрекидне случајне промењиве. Нулта хипотеза је да се теоријска расподела не разликује од емпиријске се формулише као:

$$H_0: \lim_{n \rightarrow \infty} p\{F_e(X) - F_t(X)\} = 1$$

Критеријум теста је статистика која представља максималну разлику између теоријске и емпиријске расподеле:

$$D_{max} = \max_x |F_e(x) - F_t(X)|$$

За велике вредности N , статистика:

$$\lambda = D_{max}\sqrt{N}$$

Има следећу функцију расподеле:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P\{\lambda \leq u\} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k e^{-2k^2 u^2}$$

ТЕСТ КРАМЕР-МИЗЕСА

Тест Крамер-Мизеса такође пореди емпиријску и теоријску расподелу:

$$\omega^2 = \int_{-\infty}^{\infty} [F_e(x) - F_t(x)]^2 dF_t(X)$$

Ако је низ уређен у растућем редоследу и $F_e(x_i) = i/N$, горња статистика постаје:

$$\omega^2 = \frac{1}{12N^2} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[F_t(X_i) - \frac{i-0.5}{N} \right]^2$$

ИНТЕРВАЛИ ПОВЕРЕЊА ТЕОРИЈСКЕ ФУНКЦИЈЕ РАСПОДЕЛЕ

Квантили који су одређени према усвојеној теоријској расподели су тачкаста оцена случајне промењиве која је одређена вероватноћом појаве. Поред овакве оцене могуће је одредити и интервалну оцену случајне промењиве којом се даје одређени интервал, вредности између којих се тачан квантил може наћи. Оцена добијена на овај начин се назива интервал поверења. Што је веће поверење које се жели постићи, граница у којима се тачна величина може наћи биће шира.

За величину случајне промењиве задатог повратног периода $X(T)$, горња и доња граница интервала поверења се одређују изразима:

Горња граница:

$$X_g(T) = X(T) + |z_\alpha|S_{X(T)}$$

Доња граница:

$$X_d(T) = X(T) - |z_\alpha|S_{X(T)}$$

где је:

$$z_\alpha = z(\alpha) = -z(1 - \alpha)$$

стандардизована нормална промењива, а $S_{X(T)}$ стандардна грешка оцене $X(T)$.

МЕТОДЕ ЗА РЕГИОНАЛИЗАЦИЈУ

Регионална хидролошка анализа обухвата продубљивање резултата добијених спроведеним анализама и обрада тих података за неку регију који су добијени осматрањем и мерењима. Применом регионалне анализе у хидрологији омогућава се испитивања хидролошких појава на ширим подручјима, доводећи у везу различите хидролошке и метеоролошке параметре са циљем успостављања математичких односа који се могу користити у појединој регији (Ponce, 1989). Суштина регионалних истраживања јесте да се на основу изведених математичких законитости са станица које имају довољно дуга раздобља мерења извуку законитости за станице немају никаква, или имају краћи период мерења хидролошких величина. Друга примена регионалних истраживања је укључивање регресионих техника чији је циљ добијања емпиријских једначина примењивих на шира, географски слична подручја. Регионална статистичка анализа, у хидролошкој пракси, представља важну методу за побољшање оцене квантила путем прилагођавања одговарајуће теоријске функције расподеле. Суштина регионалне анализе је побољшање квалитета оцене квантила у истраживаном

региону кроз смањење грешака у оцени параметара расподеле што ће омогућити оцену вредности протицаја на неизученим профилима (Pavlić, 2016).

Индентификација хомогених региона је обично најтежи задатак у регионалној статистичкој анализи и он захтева и велику дозу субјективности. Циљ је да се групишу локације које задовољавају услове хомогености.

У стручној литератури постоје бројне методе за груписање станица по одређеним карактеристикама и даљу њихову регионализацију. На основу анализираних литературе одабране су две методе регионализације у овој дисертацији.

КЛАСТЕР АНАЛИЗА

Кластер анализа је стандардан метод статистичке мултиваријационе анализе за поделу узорка података у групе и успешно је коришћена за формирање региона за регионалну статистичку анализу. DeCoursey (1973) је применио кластер анализу на карактеристике протицаја хидролошких станица у Оклахоми (САД) да би формирао групе станица које имају сличне карактеристике поплава. Gottschalk (1985) извршио је хидролошку регионализацију Шведске. Aceman и Sinclair (1986) су анализирали годишње максимуме протицаја за 168 станица у Шкотској и на основу тога формирали су пет региона, за четири од тих региона су изнели закључак да су изразито хомогени. Burn (1989) користио је кластер анализу да одреди регионе за потребе статистичке анализе поплава. Guttman (1993) је анализирао годишње суме падавина за 1.119 локацију у САД и на основу резултата формирао 104 региона, од којих је 101 изразито хомогено.

Hoskings и Wallis (1997) као и Rao и Srinivas (2008) сматрају да је кластер анализа најпрактичнија метода за формирање региона на основу велике базе података. Кластер анализа, као метода за хидролошку регионализацију коришћена је у радовима бројним радовима; Mosley, 1981, Tasker, 1982, Aceman и Sinclair, 1986, Wiltshire, 1986, Bhaskar и O'Connor, 1989, Burn, 1989, Nathan и McMahon, 1990, Hosking и Wallis, 1997, Hall и Minns, 1999, Burn и Goel, 2000, Hall и сарадници, 2002, Jingyi и Hall, 2004, Rao и Srinivas, 2006a,b. Користећи различите параметре сви истраживачи су дошли до закључка да кластер метода даје добре резултате приликом хидролошке регионализације. Генерални описи кластер метода су дати од стране Kalkstein, Tan и

Skindlov (1987), Everitt (1993), Fovell и Fovell (1993), Тепавчевић и Лужанин (2006), Rao и Srinivas (2008) и Стојсављевић (2015).

Кластер анализа је поступак поделе скупа различитих објеката у кластере, при чему се је главни критеријум да су објекти у добијеним групама међусобно што сличнији, и што више различити од објеката у осталим групама (Тепавчевић и Лужанин, 2006; Rao и Srinivas, 2008; Стојсављевић, 2015).

Хијерархијски тип кластера коришћен је у овој дисертацији. Овај тип кластера даје низ узастопних подела на кластере, који се приказују дендограмом. Кластер анализа се врши хијерархијским повезивањем група полазећи од кластера са једним елементом који се затим даље спајају у веће кластере све док се читаво хијерархијско стабло не групише у један кластер (Стојсављевић, 2015). Хијерархијски тип кластера се заснива на сличности и различитости између података приликом дефинисања кластера. Све ове сличности и различитости су постављене на основу критеријума које задаје истраживач. Ови критеријуми имају улогу да раздвајају или групишу расположиве податке. Да би се утврдила различитост између истраживаних варијабли у условима вишедимензионалног простора у највећем броју случајева као мера растојања користи се Еуклидово растојање које се изражава формулом (Стојсављевић, 2015; Wilks, 2006):

$$d_{x,y} = \left[\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \right]^{1/2}$$

или квадрат Еуклидовога растојања који се представља формулом:

$$d_{x,y}^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2$$

Индентификовање сличности између истраживаних објеката извршено је применом Метода Варда (Вардова метода) која се убраја у хијерархијски тип метода. Ова метода полази од претпоставке да су све истраживане станице у једном кластеру, затим се тај кластер дели у више мањих кластера. За разлику од осталих метода, ова метода приликом рачунања растојања између две групе хидролошких станица узима у обзир и варијације унутар групе. Први корак је разбијање једноставног кластера на два дела на тај начин да се укупни збир квадрата растојања свих разматраних тачака од центара новодобијених кластера минимизира. Затим сваки добијени кластер се разбија на још два применом истог критеријума, итд. Максимални број раздвајања је $n-1$ где је

n број истраживаних хидролошких станица. Ако се изврши свих n-1 подела, тада ће хидролошке станице бити подељене у једноелементарне кластере (Тепавчевић и Лужанин, 2006; Стојсављевић, 2015). Nathan и McMahon, (1990), Domroes, Kaviani и Schaefer (1998), Masoodian (1998), Badreldin и Ping (2012), истичу да управо Вардов метод даје најбоље резултате у односу на остале класификације. Резултати прегледа научне литературе спроведен од стране Gong и Richman (1995) показују да чак 85% истраживача користи управо ове методе.

Не постоји опште прихваћено правило које податке треба користити приликом одређивања хидролошких региона методом кластер анализе; Aserman и Sinclair (1986) су користили годишње максимуме протицаја, Nathan и McMahon (1990) користе читав низ параметара као што су: површина слива, географска ширина и дужина, надморска висина, падавине, пошумљеност, дужину тока, нагиб терена, густину речне мреже као и геолошки састав подлоге, укупно 19 параметара. Nyeko-Ogiramo и сарадници (2012) за регионализацију слива реке Нил користе између осталог, падавине, просечну запремину поплавних таласа, C_v , $L-C_v$, $L-C_s$, $L-C_k$, нагиб басена, удаљеност од ушћа, надморску висину, површину, надморску висину највише и најнижу тачку слива и свих подсливова, укупно 18 параметара. Каһуа и сарадници (2008) за хидролошку регионализацију Турске користи Индекс речног тока (Streamflow index), годишњу вредност индекса за 80 станица различите дужине осматрања. Rao и Srinivas (2008) наводе да истраживачи најчешће користе следеће врсте података:

1. Физичко-географски подаци слива: површина слива, дужина речног тока, нагиб речног тока, просечна надморска висина слива (Laaha и Bloschl, 2005), површина слива покривена језерима и мочварама;
2. Педолошке карактеристике: потенцијална инфилтрација, дефицит влаге у земљишту и коефицијент отицаја);
3. Употреба земљишта: проценат земљишта под шумским покривачем, пољопривредним земљиштем, површина сеоских и градских насеља;
4. Географске карактеристике: географска ширина, географска дужина, и надморска висина станице;
5. Метеоролошке карактеристике: Просечан број дана у години испод одређене температуре (Ouarda et al., 2006), максималне, минималне и просечне количине падавина (Laaha et al., 2005; Rao и Srinivas, 2008; Cupak, 2013);

6. Геолошке карактеристике: проценат површине слива изграђен од различитих типова стена (Nathan и McMahon, 1990).
7. Сезоналност и учесталост поплава (Black и Werritty, 1997; Lecce, 2000; Cunderlik et al., 2004a,b; Cunderlik и Burn, 2006b).

Карактеристике поплава на одређеној локацији (at-site) се такође употребљава за регионализацију. Примери At-site параметара су: средња вредност, коефицијент варијације и коефицијент асиметрије (Burn, 1990) и повратни период одређене запремине поплаве (Tasker, 1980).

Формирање региона не би требало да се врши употребом само физичкогеографских карактеристика слива због тога што сличност физичкогеографских карактеристика не значи и сличност у хидролошким процесима (Rao и Srinivas, 2008). Због тога је важно да се приликом регионализације користе и неки подаци изведени из карактеристика речног тока на одређеној станици (Hosking и Wallis, 1997, pp. 54–55). Генерално, истраживачи користе чисто хидролошке податке, независно од географских карактеристика, као и комбиноване географско - хидролошке податке.

Како је Панонски басен прилично хомогена регија у погледу геолошких и климатских параметара ради што поузданијег оређивања региона у овој дисертацији користиће се Физичко-географски параметри (површина слива, дужина речног тока, нагиб речног тока, просечна надморска висина слива, географска ширина, географска дужина, и надморска висина станице), индекс речног тока (Kahya et al (2008)), Хидро-метеоролошки параметри (годишњи максимални протицаји (Acergman и Sinclair, 1986) максималне, минималне и просечне количине падавина (Laaha et al., 2005; Rao и Srinivas, 2008; Supak, 2013)) и стохастички параметри великих вода (просечна запремина поплавних таласа, C_v , $L-C_v$, $L-C_s$, $L-C_k$ (Nyeko-Ogiramo et al., 2012)). Као и комбинација ових параметра како би се стекла најпоузданија слика хидролошких региона Панонског басена.

L-МОМЕНТИ

За потребе регионалне анализе помоћу L-момената неопходно је претходно одредити исте. Аналогно конвенционалним моментима (MOM), L-моменти описују

особине неке расподеле (Hosking, 1990). L-моменти су релативно новоразвијена статистичка анализа података. Представљају алтернативну статистику класичној методи момената и служе за описивање узорка и расподеле вероватноће (Hosking и Wallis, 1997). Показало се да L-моменти имају много теоријске и практичне предности у односу на конвенционалне моменте (Dalen, 1987; Hosking, 1990; Маркуш, 2006). L-моменти су изведени из *Probability Weighted Moment*-ата (PWM), дефинисаних од стране J.A. Greenwood и сарадника (1979). Ови моменти су линеарна комбинација PWM (одатле префикс L) (Hosking и Wallis, 1997) и могу се дефинисати као било које насумичне варијабле чији просек постоји и форме:

$$\beta = E\{X[F(X)]^r\}$$

где је $F(X)$ кумулативна функција расподеле од x . Прва четири L-моменат се изражавају кроз линеарну комбинацију PWM:

$$\lambda_1 = \beta_0$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0$$

Средња вредност је први L-моменат, размера (то јест мера дисперзије) је други L-моменат он се добија на основу очекиване разлике између два случајно изабрана осматрања. Затим се моменти вишег реда се стандардизују да би постали независни од мерне јединице X . Бездимензионални L-моменти, L-коэффициент варијације, L-Cv (τ_2), L-коэффициент асиметрије, L-Cs (τ_3), L-коэффициент спљоштености, L-Ck (τ_4) се рачунају као:

$$\tau_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad \tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \quad \tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2}$$

Коришћењем представљених формула израчунати су параметри и вредности функција расподела за све истраживане станице, а као пример представљени су резултати за станицу Смедерево на реци Дунав (Табела 6).

Промењива	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	τ_2	τ_3	τ_4
V(10 ⁹ m ³)	5,64	3,71	1,86	1,00	0,69	0,53	0,28
T (дани)	33,9	16,0	5,73	3,36	0,52	0,36	0,21

Табела 6: L-моменти запремине (V) и трајања (T) великих вода на станици Смедерево на Дунаву за истраживани период

На основу израчунатих L-момената и њихових бездимензионалних коефицијената могу да се израчунају параметри разних расподела. Свака расподела има различите формуле за прорачун својих параметара, које се могу наћи, на пример у Hosking and Wallis (1997).

L-моменат анализа је једна од најчешће коришћених анализа за тестирање хомогености региона и одређивање одговарајуће регионалне расподеле. За потребе визуелне процене конструишу се L-момент дијаграми на којима се вредности L-Cv, L-Cs, L-Ck упоређују са теоријским зависностима различитих расподела вероватноће (Урошев, 2016). Hosking и Wallis (1997) су ради квантитативне провере предложили тест статистику за хомогеност региона и статистику сагласности за одређивање регионалне расподеле (Урошев, 2016). У регионалној анализи важно је одредити расподелу која најбоље описује цео регион. Предложени тест хомогености служи за проверу да ли одређена група станица може да се сматра случајном реализацијом исте бездимензионалне расподеле у погледу само L-Cv (тест статистика V_1), L-Cv и L-Cs (V_2) и L-Cs и L-Ck (V_3). V_1 представља еуклидску раздаљину између вредности L-Cv за сваку поједину станицу и регионалне средње вредности L-Cv; док V_2 и V_3 представљају раздаљине у L-Cs – L-Cv – L-Ck – LCs простору и израчунавају се по формули (Hosking и Wallis, 1997; Урошев, 2016):

$$V_1 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N N_i * (t^{(i)} - t^R)^2}{\sum_{i=1}^N n_i} \right\}^{1/2}$$

$$V_2 = \frac{\sum_{i=1}^N n_i * \left\{ (t^{(i)} - t^R)^2 + (t_3^{(i)} - t_3^R) \right\}^{1/2}}{\sum_{i=1}^N n_i}$$

$$V_3 = \frac{\sum_{i=1}^N n_i * \left\{ (t_3^{(i)} - t_3^R)^2 + (t_4^{(i)} - t_4^R)^2 \right\}^{1/2}}{\sum_{i=1}^N n_i}$$

где t^R , t_3^R , t_4^R , представљају регионалне средње вредности L-Cv, L-Cs, L-Ck, осредњене тежински пропорционално дужини низа станице, на пример:

$$t^R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i * t^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i}$$

где је N број станица у региону, са станицом i која има дужину низа n_i . Ако је тест статистика $V < 1$ онда је то прихватљиво хомогени регион, ако је $1 \leq V < 2$ онда је могуће хетерогени регион, а ако је $V \geq 2$ онда је дефинитивно хетерогени регион (Clausen и Pearson, 1995; Hosking и Wallis, 1997; Урошев, 2016).

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У предстојећем поглављу прво ће бити приказани резултати везани за издвајање великих вода, затим резултати њихове статистичке анализе, као и резултати регионалне анализе вероватноће појаве запремина и трајања великих вода. Због преобимног материјала који прати прорачуне, табеле за сваку од 22 станице, са издвојеним великим водама нису дати у дисертацији.

ИЗДВАЈАЊЕ ТАЛАСА ВЕЛИКИХ ВОДА

Анализирајући податке из табеле 7 видимо да најдуже просечно трајање великих вода у реци Дунав износи 22,6 дана, затим на реци Тиси 21,7 дана, Сави 16,6 дана а најкраће на Драви 16,7 дана. Просечно трајање таласа великих вода на свим истраживаним рекама износи 20 дана. Примећује се да дужина трајања великих вода расте низводно на свим станицама осим на станици Доњи Михаљац на Драви. Просечна запремина великих вода за праг Q_{10} на Дунаву износи $2.736 \times 10^6 \text{ m}^3$ и из табеле 7 се види да просечне максималне запремине расту, уз мање осцилације, низводно од Братиславе до Смедерева. На реци Сави просечна максимална запремина великих таласа износи $701 \times 10^6 \text{ m}^3$ и уочљив је константан пораст просечних запремина низводно од станице Чатеж 1 ($359 \times 10^6 \text{ m}^3$) до Сремске Митровице ($1.637 \times 10^6 \text{ m}^3$). На Тиси просечни максимална запремина таласа великих вода износе $1.241 \times 10^6 \text{ m}^3$, а на Драви $397 \times 10^6 \text{ m}^3$, на обе реке се примећује да просечна запремина расте низводно да би се на последњој станици забележио значајан пад вредности запремина великих вода. У табели 7 приказане су и вредности изабраног прага Q_{10} , као и њихове специфичне вредности (q_{10}) нормализоване са површином слива. Просторни распоред q_{10} је сличан распореду средњегодишњег специфичног отицаја. Од педесет година истраживаног периода, велике воде су се јавиле током 44 године, или 0,88 годишње. Просечно трајање великих вода износи 20 дана. На графикону 10 представљено је трајање великих вода Дунава на станици Смедерево за период 1964-2013. Уочљиво је да се две године истичу, 1970 са 152 дана и 1965 са 117 дана. Најкраће трајање великих вода у истраживаном подручју је забележено 1983, 1984 и 1994. године, и износи један

дан. У целом сливу најдуже трајање таласа великих вода износи 120 дана и забележен је на Дунаву 1965. године. На осталим рекама најдуже трајање великих вода износи 85 дана на Тиси, 76 дана на Драви и 66 дана на Сави. У прилогу I су представљени графикони запремина и трајања великих вода за сваку станицу посебно.

Река	Станица	Р (km ²)	Број годишњих максимума	Просечна запремина (x 10 ⁶ m ³)	Трајање великих вода (дана)	Q ₁₀ (m ³ /s)	q ₁₀ (l/s/km ²)
Дунав	Братислава	131.338	41	1.756	10	3.268	24,88
	Комаром	150.820	46	2.104	20	3.320	22,01
	Будимпешта	184.893	47	2.071	20	3.600	19,47
	Баја	209.064	37	1.972	21	3.600	17,22
	Мохач	208.282	45	2.326	24	3.680	17,67
	Бездан	210.250	44	2.416	26	3.600	17,12
	Богојево	251.593	36	3.048	29	4.300	17,09
	Смедерево	525.820	43	5.116	31	8.110	15,42
Сава	Чатеж I	10.173	50	359	11	522	51,31
	П. Жичара	12.300	50	365	11	581	47,24
	Загреб	12.450	50	365	11	573	46,02
	Јасеновац	38.953	43	527	19	1.495	38,38
	Жупања	62.892	47	953	23	2.179	34,65
	С. Митровица	87.996	45	1.638	25	2.900	32,96
Тиса	Вашарошнамењ	29.057	47	778	15	772	26,57
	Солнок	73.113	43	1.090	21	1.180	16,14
	Сегедин	138.408	45	1.501	25	1.820	13,15
	Сента	141.715	43	1.598	26	1.720	12,14
Драва	Доња Дубрава	29.057	31	171	14	514	17,69
	Ботово	31.038	41	489	17	814	26,23
	Терезино поље	33.916	40	480	19	848	25
	Доњи Михољац	37.142	47	449	17	827	22,27
Просечно			44	1.784	20	2.283	25

Табела 7: Основне карактеристике великих вода истраживаних река у Панонском басену за период 1964-2013 и избрани праг Q₁₀

Из табеле 7 се види да је просечан број таласа великих вода у Панонском басену током осматраног периода 44, са просечном запремином 1.784 x 10⁶ m³ и трајањем 20 дана.

Станица	Река	Година	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Братислава	Дунав	1965					7.		8.					
Комарно		1965				21.				12.				
Будимпешта		1965				23.				11.				
Баја		2000			12.		17.							
Мохач		1965				25.				16.				
Бездан		1965				23.				18.				
Богојево		1965			28.					21.				
Смедерево		1970		13.						14.				
Чатеж	Сава	2000											4-30.	
Подсусед ж.		1970			23.		5.							
Загреб		1970			23.		3.							
Јасеновац		2013		28.		28.								
Ж. Степенице		1970	7.				14.							
С. Митровица		1970	8.				6.							
Вашарош.	Тиса	1999			28.		6.							
Солнок		1970			28.				5.					
Сегедин		1970			28.				10.					
Сента		1970			27.				12.					
Д. Дубрава	Драва	2013				14.	25.							
Ботово		1965					17.		22.					
Терезино п.		1965					18.			18.				
Д. Михољац		1965					19.		25.					

Табела 8: Дужина апсолутних максималних великих вода на свакој од станица током истраживаног периода

*Бројеви у сивим пољима обележавају дане почетка и краја таласа великих вода

Из табеле 8 уочава се да апсолутне максималне велике воде на Дунаву најкасније почиње на најзводнијој станици, Братислава (мај) док најраније у Смедереву (фебруар). Такође, највеће велике воде на Дунаву су забележене 1965. године (изузев станице Баја на којој нема података пре 1975. године). На Сави најзводнија станица Чатеж бележи почетак максималне велике воде у новембру док остали почаци историјских максимума се јављају у јануару, фебруару и марту. На Тиси апсолутни максимуми великих вода почињу у марту и трају до јула, на свим станицама на којима максимум достигнут 1970. године. Велике воде Тисе забележене 1999. године на станици Вашарошнамењ су трајале до маја месеца. На Драви почетак апсолутних максимума је померен у односу на остале истраживане реке и почиње у априлу (Доња Дубрава) односно мају на осталим станицама. Историјска максимална велика вода на станици Доња Дубрава забележена је 2013. године, за разлику од осталих станица на

овој реци, на којима је апсолутни максимум забележен 1965. године. Разлог јесте непостојање довољно дугог низа података пошто се на станици Доња Дубрава протицаји мере од 1983. године.

Станица	Река	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Братислава	Дунав	11	2	13	2	15	13	21	9	2	4	4	4
Комарно		11	2	15	9	9	26	13	2	2	4	4	4
Будимпешта		9	2	15	9	11	23	13	4	4	4	2	4
Баја		8	5	18	5	8	24	13	8	5	0	3	3
Мохач		9	4	18	9	11	20	9	7	2	2	4	4
Бездан		9	4	20	4	13	22	11	7	2	0	4	4
Богојево		6	3	25	3	11	19	14	6	3	0	6	6
Смедерево		5	12	26	26	14	5	2	2	0	2	5	0
Чатеж	Сава	8	6	18	4	4	2	4	2	6	18	14	14
Подсусед ж.		8	6	20	6	4	2	2	2	4	16	10	20
Загреб		6	4	22	2	8	2	2	2	4	14	16	18
Јасеновац		9	16	16	16	5	0	0	0	0	5	19	14
Ж. Степенице		17	13	21	13	11	0	2	0	0	4	11	9
С. Митровица		15	11	13	32	6	0	0	0	0	6	11	6
Вашарош.	Тиса	8	4	40	13	8	8	2	0	0	4	4	8
Солнок		9	12	42	9	9	0	2	0	0	5	9	2
Сегедин		7	7	29	33	13	4	2	0	0	0	4	0
Сента		7	9	33	28	7	5	2	0	0	0	5	5
Д. Дубрава	Драва	3	0	0	3	19	16	6	3	16	13	16	3
Ботово		3	0	0	15	18	15	9	6	12	6	12	3
Терезино п.		3	0	0	13	20	17	10	3	10	10	10	3
Д. Михољац		7	0	0	10	17	20	10	3	10	7	13	3

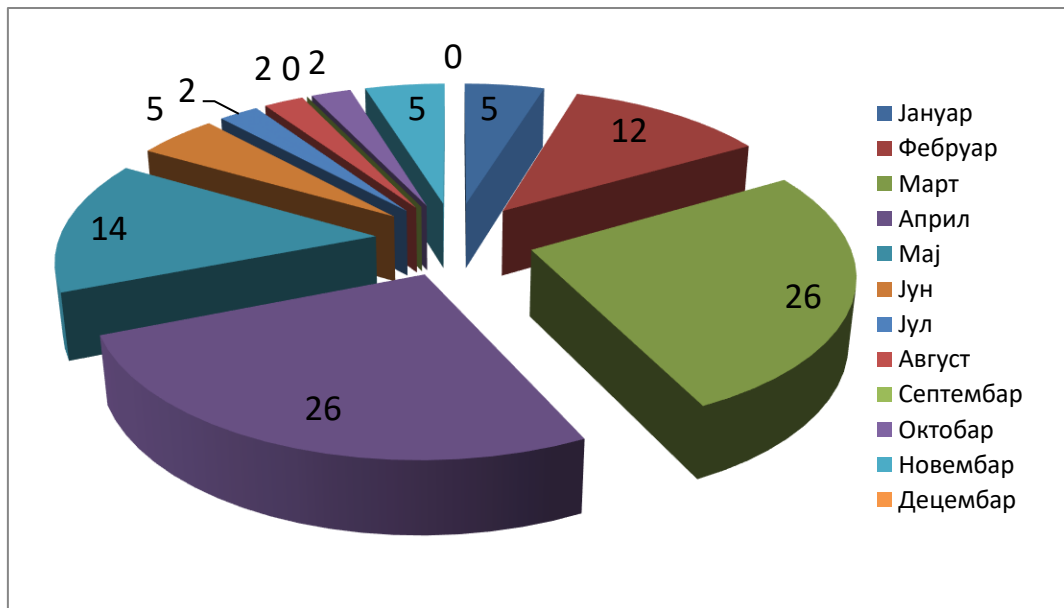
Табела 9: Учесталост почетка таласа великих вода по месецима у процентима (%)

Резултати из табеле 9 показују да се учесталост почетка великих вода помера низводно, почевши од Братиславе ка Смедереву. Процент јануарских великих вода се смањује од Братиславе до Смедерева, док у истом правцу расте проценат почетка током марта месеца. Интересантно је да је на свим станицама на Дунаву, осим Богојева и Смедерева, месец током којег почињу велике воде био јун, док на је на Богојеву и Смедереву тај почетак померен на март. Разлог овој појави треба тражити у притокама које се уливају у Дунав пре ових станица, Драве пре Богојева и Тисе и Саве пре Смедерева. Интензитет утицаја притока на појаву великих вода на главном току Дунава може бити интересантна тема за даље истраживање. Најмања вероватноћа појаве великих вода на свим станицама на Дунаву је током месеца октобра.

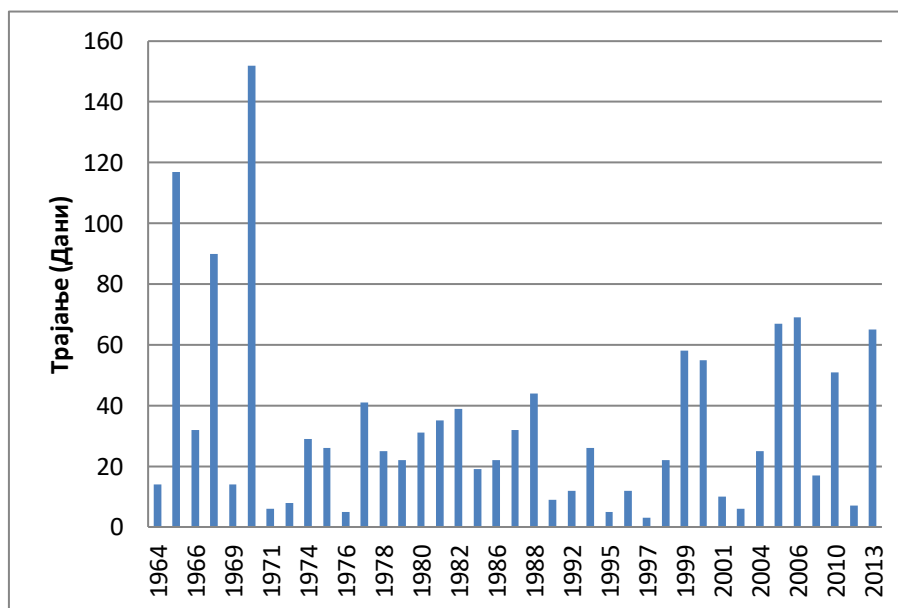
На Сави се уочава да велике воде у највећем броју случајева почињу од октобра до априла месеца док мање током маја и септембра. На најузводнијој станици, највише великих вода почиње у периоду октобар-децембар, овај тренд се уочава до станице Јасеновац. Од станице Жупања степенице велике воде се јављају најчешће у периоду од јануара до априла. Занимљив је податак да на станици Сремска Митровица чак 32% великих вода током осматраног периода је почело током априла месеца.

Током марта месеца, у највећем броју случајева почињу велике воде на Тиси (Вашарошнамењ 40%, Солнок 42%, Сегедин 29% и Сента 33%) док ниједном није забележен почетак таласа великих вода током августа и септембра (на свим станицама) и октобра (на станицама Сегедин и Сента). Почетак великих вода на Тиси се може очекивати током марта и априла. Почетак великих вода на Драви је умерен нешто касније у односу на остале три реке, у највећем броју случајева велике воде почињу од априла до јуна са највећим бројем јављања током маја. Велике воде на Дунаву, током истраживаног периода, у 38% случајева почињу у току пролећа, затим лета (36%) док у најмањем броју случајева почетак великих вода је током јесени, 9%. На Сави и Тиси велике воде такође имају највећу вероватноћу јављања током пролећа (Сава 37%, Тиса 60%) а најмање током лета (Сава 4%, Тиса 6%). На Драви се велике воде најчешће јављају током јесени (34%) и лета (30) док најмање зими (7%).

На станици Смедерево (графикон 9), која је последња станица на Дунаву и сабирна станица за све реке у Панонском басену, велике воде у 26% случајева почињу током марта и априла месеца, дакле 52% свих великих вода током педесетогодишњег истраживаног периода почиње током та два месеца, ако се томе дода и мај (14%) долази се до закључка да 66% свих великих вода на станици Смедерево почиње током пролећног дела године. Ниједном током истраживаног периода на овој станици велике воде нису почеле током септембра и децембра месеца. Таласе великих вода код Смедерева можемо очекивати од фебруара (12%) до маја (14%). Графикон 10 представља годишње максимуме трајања великих вода. Велике воде су најдуже трајале 1970. године, 152 дана и 1965. године, 112 дана. Годишњи максимуми запремина (графикон 11) и трајања великих вода по станицама представљени су у Прилогу I.



Графикон 9: Месец почетка великих вода на Дунаву код Смедерева (у процентима) у периоду 1964-2013.



Графикон 10: Трајање великих вода Дунава код Смедерева за период 1964-2013.



Графикон 11: Запремене великих вода код Смедерева за период 1965-2013.

СТАТИСТИЧКА АНАЛИЗА ВЕЛИКИХ ВОДА

Као што је већ наведено раније пре започињања статистичке анализе запремина и трајања великих вода неопходно је урадити проверу низа на случајност и хомогеност. У табелама 10 и 11 приказани су резултати тестова случајности и хомогености. Сви тестови су рађени за праг значајности $\alpha=0,05$. У неким случајевима када тестови нису потврдили хомогеност и случајност низова извршена су додатна разматрања резултата тестова. То је најчешће био случај са F -тестом, али такви резултати су очекивани с обзиром да хидролошки низови често не задовољавају услове за стриктну примену параметарских тестова који подразумевају нормалне расподеле. У ствари, најзначајнији за процену да ли низ може да прође проверу су непараметарски тестови, а једини у овом случају је био Мен-Витни тест (U -test). Тако да на станицама где није прошао U -test, а често с њим и t -тест (Дунав – Баја, за суфиците великих вода) укупан низ је разлаган на два хомогена подниза величине n_1 и n_2 , а прорачун се радио засебно за сваки од поднизова, а затим се нехомогена функција расподела одређивали из израза:

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

За низове у којима је идентификован статистички значајан тренд (табеле 10 и 11) прво је одстрањена компонента тренда, а затим се на случајни низ примењивала процедура за одређивање функције расподеле, која је приказана у поглављу Материјал и методе.

Станица	Андерсен	Нејман	F	t	U	Тренд
Братислава	+	+	+	+	+	+
Комаром	+	+	-	+	+	+
Будимпешта	+	+	+	+	+	+
Баја	+	+	+	+	-	+
Мохач	+	+	+	+	+	+
Бездан	+	+	+	+	+	+
Богојево	+	+	-	+	+	+
Смедерево	+	+	+	+	+	+
Чатеж 1	+	+	-	+	+	+
Подсусед Ж.	+	+	-	+	+	+
Загреб	+	+	-	+	+	+
Јасеновац	+	+	+	+	+	+
Жупања	+	+	-	+	+	+
С. Митровица	+	+	-	+	+	+
Вашарошнамењ	+	+	-	+	+	+
Солнок	+	+	-	+	+	+
Сегедин	-	-	+	+	+	-
Сента	+	+	+	+	+	+
Доња Дубрава	+	+	+	+	+	+
Ботово	+	+	-	+	+	-
Терезино поље	+	+	-	+	+	-
Доњи Михољац	+	+	-	+	+	-

Табела 10: Резултати тестова на случајност и хомогеност запремина великих вода

(+ прошао, - није прошао)

На основу резултата тестова приказаних у табелама 10 и 11 могуће је било приступити даљој статистичкој анализи максималних годишњих запремина и трајања великих вода.

Станица	Андерсен	Нејман	F	t	U	Тренд
Братислава	+	+	+	+	+	+
Комаром	+	+	-	+	+	+
Будимпешта	+	+	-	+	+	+
Баја	+	+	+	+	+	+
Мохач	+	+	-	+	+	+
Бездан	+	+	+	+	+	+
Богојево	+	+	-	+	+	-
Смедерево	+	+	-	+	+	+
Чатеж 1	+	+	+	+	+	+
Подсусед Ж.	+	+	-	+	+	+
Загреб	+	+	+	+	+	+
Јасеновац	+	+	+	+	+	+
Жупања	+	+	-	+	+	+
С. Митровица	+	+	+	+	+	+
Вашарошнамењ	-	+	-	+	+	+
Солнок	+	+	+	+	+	+
Сегедин	+	+	+	+	+	+
Сента	+	+	+	+	+	+
Доња Дубрава	+	+	+	+	+	+
Ботово	+	+	-	-	+	+
Терезино поље	+	+	-	+	+	+
Доњи Михољац	+	+	-	+	+	+

Табела 11: Резултати тестова на случајност и хомогеност трајања великих вода
(+ прошао, - није прошао)

У табели 12 приказане су статистичке карактеристике низова максималних годишњих запремина и трајања великих вода за све 22 станице у Панонском басену одређене методом L-момената на основу којих су израчунати параметри функције расподела.

Ако упоредимо средње вредности из табеле 12 за све станице у Панонском басену видимо да су за максималне запремине моменти вишег реда (L-Cv, L-Cs, L-Ck) већи од аналогних коефицијената за трајање великих вода. По станицама, највећи коефицијент варијације запремина L-Cv, L-Cs станици Сента на Тиси, док највећа варијација L-Ck је на станици Братислава на Дунаву. Најмање вредности коефицијената су на станицама П. Жичара (L-Cv), Вашарошнамње (L-Cs) и Баја (L-Ck). Просечно, највише вредности коефицијената забележене су на Дунаву, док најниже на Тиси.

Станице	Завремение великих вода					Трајање великих вода				
	λ_1 (x 10 ⁶ m ³)	λ_2 (x 10 ⁶ m)	L-Cv	L-Cs	L-Ck	λ_1 (Дани)	λ_2 (Дани)	L-Cv	L-Cs	L-Ck
Братислава	1756	1012	0,58	0,56	0,40	10,0	4,3	0,43	0,48	0,38
Комаром	2104	1316	0,63	0,52	0,35	20,2	10,2	0,51	0,45	0,26
Будимпешта	2071	1244	0,60	0,46	0,30	19,6	9,3	0,48	0,36	0,18
Баја	1925	989	0,51	0,26	0,07	20,5	8,9	0,43	0,28	0,11
Мохач	2326	1433	0,62	0,46	0,28	23,7	11,7	0,49	0,38	0,20
Бездан	2416	1528	0,63	0,48	0,28	25,7	12,9	0,50	0,39	0,21
Богојево	3034	2017	0,67	0,55	0,40	29,1	14,5	0,50	0,41	0,28
Смедерево	5638	3713	0,66	0,50	0,28	33,9	16,0	0,47	0,36	0,22
Чатеж I	359	139	0,39	0,27	0,12	10,7	2,8	0,27	0,19	0,19
П. Жичара	365	129	0,35	0,27	0,18	10,5	2,8	0,27	0,26	0,28
Загреб	372	136	0,37	0,28	0,15	10,2	2,7	0,26	0,17	0,15
Јасеновац	527	303	0,58	0,51	0,30	19,0	7,0	0,37	0,30	0,18
Жупања	884	519	0,59	0,46	0,30	23,4	9,1	0,39	0,28	0,23
С. Мит.	1637	931	0,57	0,46	0,26	24,9	9,2	0,37	0,33	0,27
Вашарош.	794	343	0,43	0,21	0,08	14,9	5,0	0,34	0,18	0,13
Солнок	1090	690	0,63	0,51	0,28	28,6	11,2	0,39	0,28	0,19
Сегедин	1501	941	0,70	0,56	0,29	30,5	13,6	0,45	0,27	0,13
Сента	1396	837	0,60	0,41	0,16	32,9	14,4	0,44	0,24	0,13
Д. Дубрава	171	90	0,53	0,36	0,13	13,9	5,6	0,40	0,25	0,08
Ботово	489	269	0,55	0,49	0,32	17,4	7,7	0,44	0,41	0,25
Т. Поље	449	279	0,62	0,54	0,37	16,7	8,0	0,48	0,44	0,30
Д. Михољац	480	261	0,54	0,50	0,35	18,9	7,6	0,40	0,39	0,24
Средње	1769	1102	0,56	0,44	0,26	20,3	8,6	0,41	0,32	0,21

Табела 12: L-моменти запремина и трајања великих вода

Коефицијент варијације трајања L-Cv је највећи на станици Комаром на Дунаву, док, L-Cs и L-Ck највеће вредности имају на станици Братислава, Дунав. Најмањи коефицијенти варијације забележени су на станиц Загреб (L-Cv, L-Cs) и Доња Дубрава (L-Ck). Као и код запремина, највеће просечне вредности коефицијентата забележене су на Дунаву.

Резултати тестова сагласности теоријских и емпиријских расподела запремина и трајања великих вода приказани су у табелама 13, 14, 15 и 16.

Станица	N	LN	G	PШ	LPШ	Критична вредност
Братислава	0,299	0,272	0,294	0,625	0,190	0,212
Комаром	0,229	0,059	0,229	0,443	0,101	0,201
Будимпешта	0,205	0,147	0,201	0,598	0,075	0,198
Баја	0,159	0,945	0,161	0,895	0,075	0,224
Мохач	0,241	0,149	0,240	0,246	0,101	0,203
Бездан	0,249	0,160	0,251	0,563	0,106	0,203
Богојево	0,332	0,173	0,337	0,389	0,197	0,218
Смедерево	0,296	0,153	0,304	0,272	0,141	0,207
Чатеж 1	0,153	0,254	0,095	0,061	0,067	0,192
П. Жичара	0,117	0,152	0,062	0,062	0,058	0,192
Загреб	0,155	0,184	0,090	0,054	0,059	0,194
Јасеновац	0,254	0,139	0,254	0,138	0,113	0,207
Жупања	0,176	0,169	0,174	0,079	0,036	0,194
С. Митровица	0,217	0,072	0,211	0,137	0,093	0,201
Вашарошнамењ	0,160	0,384	0,131	0,119	0,084	0,201
Солнок	0,291	0,137	0,291	0,444	0,187	0,210
Сегедин	0,268	0,163	0,278	0,176	0,130	0,203
Сента	0,289	0,137	0,287	0,210	0,190	0,210
Доња Дубрава	0,195	0,277	0,135	0,070	0,094	0,244
Ботово	0,190	0,069	0,186	0,114	0,057	0,212
Терезино Поље	0,215	0,067	0,216	0,339	0,068	0,198
Доњи Михољац	0,222	0,066	0,219	0,338	0,093	0,215

Табела 13: Резултати тестова Колмогоров-Смирнова за запремине великих вода

Колмогоров-Смирнов тест показао је да Лог-Пирсон 3 (LPШ) расподела има најбоље слагање са емпиријским подацима на 13 истраживаних станица (табела 13). На шест станица на Дунаву три на Тиси, као и на станицама у доњем току Саве (Јасеновац, Жупања), као и на станици Ботово. Пирсон 3 (PШ) расподела је показала најбоље слагање на станицама у горњем току Саве (Чатеж 1 и Загреб). Лог-Нормална (LN) расподела је показала најбоље слагање у шест случајева на станицама Комаром и Смедерево на Дунаву, Сремска Митровица на Сави и Терезино поље и Доњи Михољац на Драви. Из тестова се види да Нормална (N) и Гумбелова расподела (G) немају најбољу сагласност са емпиријским подацима ни на једној станици.

Станица	N	LN	G	РПШ	LRПШ	Критична вредност
Братислава	0,708	1,024	0,645	0,861	0,446	0,462
Комаром	0,602	0,044	0,392	0,559	0,102	0,462
Будимпешта	0,439	0,214	0,242	1,670	0,070	0,462
Баја	0,176	1,020	0,105	0,409	0,030	0,462
Мохач	0,463	0,172	0,317	0,288	0,155	0,462
Бездан	0,479	0,220	0,343	0,732	0,152	0,462
Богојево	0,332	0,223	0,631	0,181	0,471	0,462
Смедерево	0,621	0,233	0,533	0,260	0,274	0,462
Чатеж 1	0,259	1,121	0,088	0,030	0,039	0,462
П. Жичара	0,241	0,371	0,051	0,033	0,034	0,462
Загреб	0,284	0,489	0,087	0,026	0,031	0,462
Јасеновац	0,606	0,144	0,440	0,239	0,192	0,462
Жупања	0,624	0,352	0,312	0,070	0,019	0,462
С. Митровица	0,589	0,080	0,381	0,192	0,116	0,462
Вашарошнамењ	0,146	2,940	0,100	0,105	0,091	0,462
Солнок	0,706	0,113	0,595	0,528	0,285	0,462
Сегедин	0,845	0,247	0,659	0,253	0,165	0,462
Сента	0,606	0,137	0,519	0,395	0,369	0,462
Доња Дубрава	0,305	0,746	0,145	0,034	0,036	0,462
Ботово	0,707	0,065	0,394	0,129	0,043	0,462
Терезино Поље	0,586	0,049	0,351	0,204	0,118	0,462
Доњи Михољац	0,758	0,052	0,455	0,145	0,077	0,462

Табела 14: Резултати тестова Крамер-Мизес за запремине великих вода

Из табеле 14 уочава се да је LRПШ расподела најзаступљенија на истраживаним станицама, 10 пута. На три станице на Тиси, док се на осталим рекама не може уочити законитост. Пирсон 3 се јавља пет пута, Лог-Нормална седам пута док Гумбел и Нормална расподела ни у једном случају нису показале најбољу сагласност на основу резултата Крамер-Мизес теста. Анализирајући табеле 13 и 14 видимо да су модели са LRПШ расподелом највише сагласни са емпиријским подацима о запреминама великих вода, затим LN и РПШ, док модела са Нормалном (N) и Гумбеловом (G) расподелом нема. Овакав редослед је и био за очекивање с обзиром на литературне изворе.

Станица	N	LN	G	PШ	LPШ	Критична вредност
Братислава	0,256	0,400	0,254	0,657	0,204	0,212
Комаром	0,259	0,110	0,258	0,151	0,082	0,201
Будимпешта	0,174	0,137	0,157	0,389	0,082	0,198
Баја	0,155	0,301	0,099	0,478	0,072	0,221
Мохач	0,222	0,130	0,211	0,395	0,158	0,203
Бездан	0,208	0,100	0,197	0,421	0,123	0,203
Богојево	0,282	0,173	0,265	0,367	0,215	0,227
Смедерево	0,242	0,117	0,227	0,410	0,143	0,218
Чатеж 1	0,125	0,251	0,056	0,066	0,058	0,192
П. Жичара	0,168	0,167	0,099	0,101	0,084	0,192
Загреб	0,126	0,892	0,144	0,132	0,178	0,192
Јасеновац	0,193	0,105	0,169	0,138	0,152	0,257
Жупања	0,136	0,149	0,106	0,084	0,075	0,198
С. Митровица	0,167	0,125	0,137	0,419	0,098	0,202
Вашарошнамењ	0,109	0,358	0,099	0,097	0,113	0,198
Солнок	0,196	0,127	0,167	0,340	0,193	0,207
Сегедин	0,180	0,188	0,152	0,148	0,144	0,205
Сента	0,208	0,293	0,180	0,155	0,153	0,207
Доња Дубрава	0,409	0,349	0,388	0,378	0,368	0,244
Ботово	0,170	0,159	0,128	0,115	0,101	0,194
Терезино Поље	0,181	0,168	0,169	0,175	0,097	0,198
Доњи Михољац	0,158	0,083	0,135	0,339	0,122	0,198

Табела 15: Резултати тестова Колмогоров-Смирнова за трајање великих вода

Код трајања максималних великих вода ситуација није толико јасна као што је то случај са запреминама (табеле 15 и 16). Према резултатима Колмогоров-Смирнов теста од 22 станице LPШ расподела је најзаступљенија на највећем броју станица, 11, међутим значајан удео има и Лог-Нормална која је била изабрана најбољу на седам станица. Најмање су заступљене Пирсон 3 и Гумбелова које имају најбољу сагласност на две односно једној станици (табела 15).

У Табели 16 представљени су резултати Крамер-Мизес теста. Од 22 станице на пет је најбољу сагласност имала LPШ расподела, Лог Нормална на девет, PШ на две, и Гумбелова на четири станице и Нормална расподела на две.

Станица	N	LN	G	РШ	ЛРШ	Критична вредност
Братислава	0,652	1,379	0,598	1,204	0,384	0,462
Комаром	0,597	0,080	0,446	0,231	0,100	0,462
Будимпешта	0,324	0,244	0,169	1,133	0,081	0,462
Баја	0,244	1,062	0,106	1,991	0,043	0,462
Мохач	0,317	0,116	0,227	1,010	0,143	0,462
Бездан	0,368	0,085	0,244	1,016	0,156	0,462
Богојево	0,513	0,294	0,501	1,128	0,508	0,462
Смедерево	0,356	0,126	0,297	1,041	0,277	0,462
Чатеж I	0,128	1,139	0,037	0,047	0,041	0,462
П. Жичара	0,232	0,337	0,086	0,123	0,106	0,462
Загреб	0,242	0,758	0,247	0,077	0,322	0,462
Јасеновац	0,295	0,074	0,204	0,211	0,216	0,462
Жупања	0,138	0,318	0,074	0,110	0,077	0,462
С. Митровица	0,248	0,271	0,168	1,280	0,160	0,462
Вашарошнамењ	0,127	2,671	0,185	0,194	0,193	0,462
Солнок	0,324	0,181	0,297	1,388	0,336	0,462
Сегедин	0,378	0,543	0,409	0,492	0,455	0,462
Сента	0,281	1,254	0,266	0,302	0,298	0,462
Доња Дубрава	1,316	0,556	1,404	1,476	1,445	0,462
Ботово	0,543	0,139	0,231	0,089	0,106	0,462
Терезино Поље	0,550	0,242	0,283	0,216	0,115	0,462
Доњи Михољац	0,373	0,084	0,160	1,124	0,182	0,462

Табела 16: Резултати тестова Крамер-Мизес за трајање великих вода

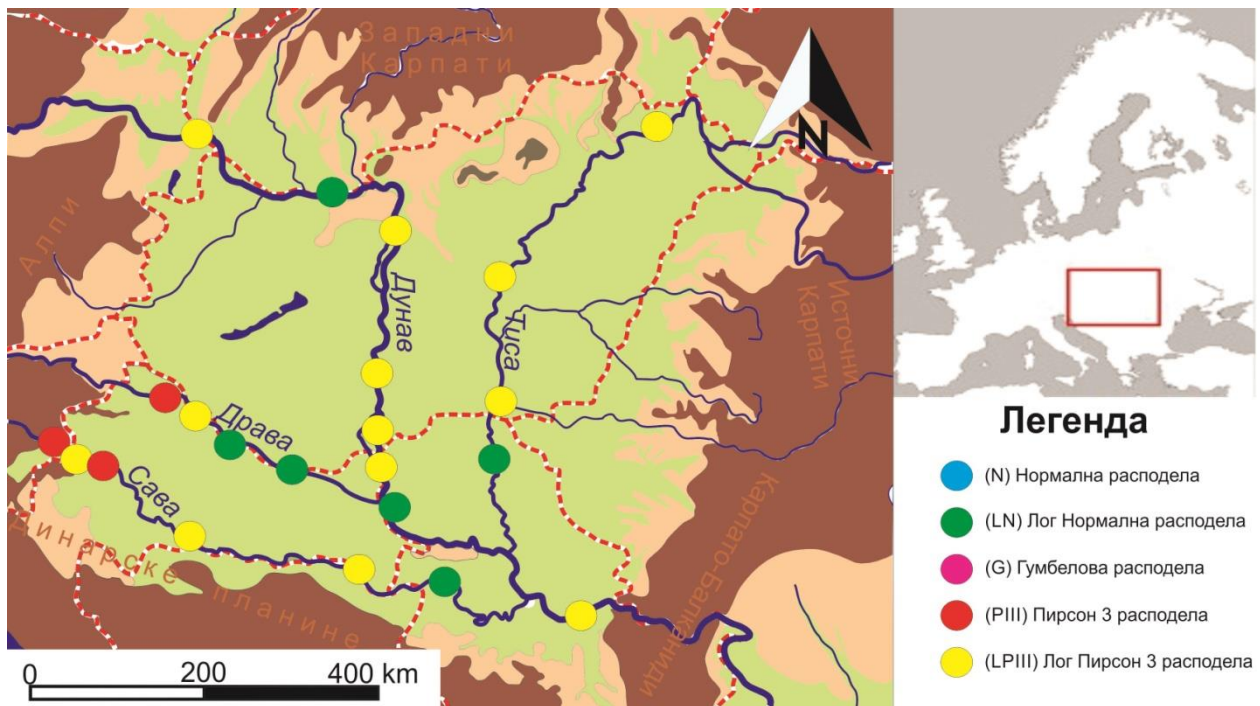
На основу тестова Крамер-Мизес и Колмогоров-Смирнова, као и уз коришћење папира вероватноће (Прилог II) одабране су расподеле за сваку станицу. Усвојене расподеле су приказане у табели 17 и на картама 7 и 8.

На карти 7 уочава се да не постоји просторна законитост функција расподеле, као ни на карти 8. На карти 7 и у табели 16 уочава се да је за запремине великих вода на Дунаву ЛРШ расподела показала најбоље слагање на шест станица, док је LN показала најбоље слагање на две станице. ЛРШ расподела је такође показала бољу сагласност на већини станица на Тиси (Вашарошнамењ, Солнок и Сегедин) док се LN јавља само на станици Сента. На Сави ЛРШ расподела усвојена је за станице Подсусед жичара, Јасеновац и Жупања степенице, док је за станице Чатеж и Загреб усвојена РШ расподела. Анализирајући табелу 17 и карте 7 и 8 видимо да је заступљен приближно једнак број различитих расподела трајања великих вода као и да нема неког значајнијег

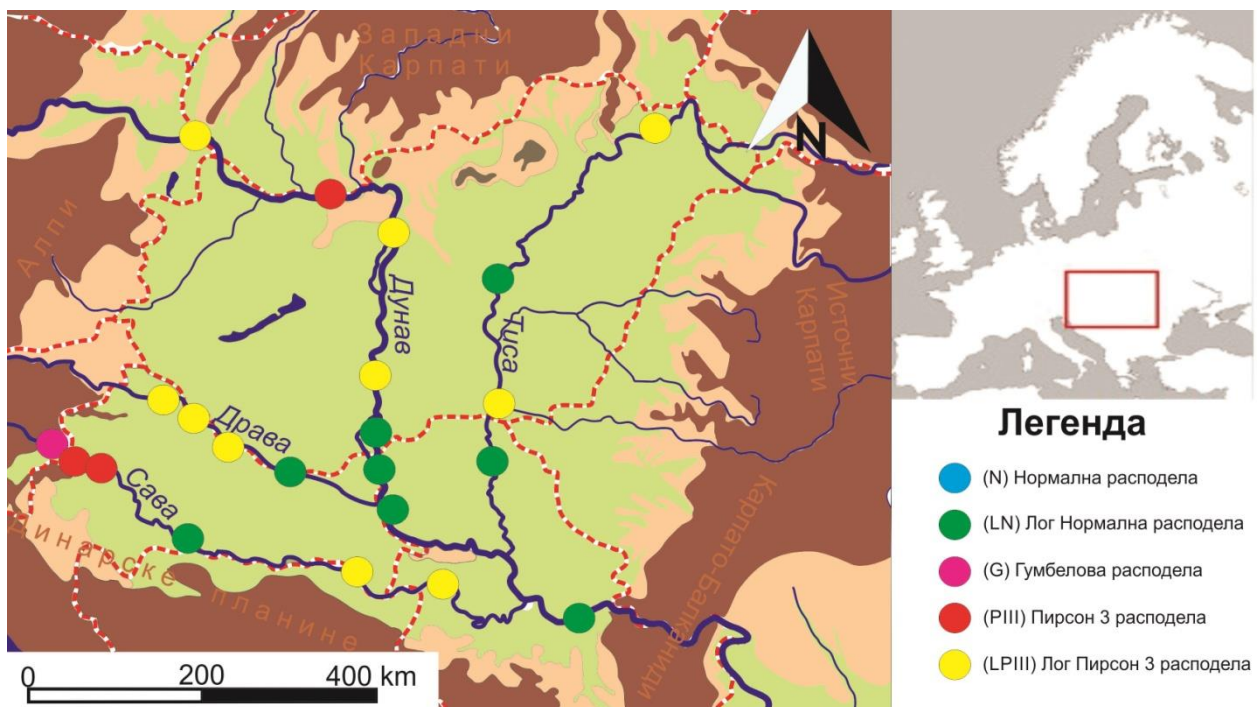
груписања расподела у простору. Када посматрамо расподеле за запремине великих вода ($F(V)$), на тринест станица усвојена је LPIII расподела, LN на шест док се и PIII јавља три пута. За трајање великих вода ($F(T)$) Дунава, LN расподела се јавља као меродавна четири пута. На реци Сави може се уочити да у горњем делу слива, на првој станици усвојена је G расподела док је за станице Подсусед жичара и Загреб усвојена PIII расподела, непосредно пред уливање у Дунав најбоље слагање има LPIII расподела, за разлику од станица на Дунаву које се налазе узводно и низводно од ушћа (Богојево – LN и Смедерево – LN). За Тису, усвојене су следеће расподеле: Вашарошнамењ-LPIII расподела, Солнок-LN, Сегедин-LPIII и Сенту-LN.

Станица	Река	Усвојена расподела (Запремине)	Усвојена расподела (Трајање)
Братислава	Дунав	LPIII	LPIII
Комаром		LN	PIII
Будимпешта		LPIII	LPIII
Баја		LPIII	LPIII
Мохач		LPIII	LN
Бездан		LPIII	LN
Богојево		LN	LN
Смедерево		LPIII	LN
Чатеж 1	Сава	PIII	G
П. Жичара		LPIII	PIII
Загреб		PIII	PIII
Јасеновац		LPIII	LN
Жупања		LPIII	LPIII
С. Митровица		LN	LPIII
Вашарошнамењ	Тиса	LPIII	LPIII
Солнок		LPIII	LN
Сегедин		LPIII	LPIII
Сента		LN	LN
Доња Дубрава	Драва	PIII	LPIII
Ботово		LPIII	LPIII
Терезино Поље		LN	LPIII
Доњи Михољац		LN	LN

Табела 17: Ревидиране расподеле максималних годишњих запремина $F(V)$ и трајања $F(T)$ великих вода



Карта 7: Усвојене расподеле запремина великих вода



Карта 8: Усвојене расподеле трајања великих вода

РЕЗУЛТАТИ КЛАСТЕР АНАЛИЗЕ

У поглављу „Кластер анализа“ представљена је метода као и низ параметара који се користи за хидролошке регионализације у научној литератури. На основу представљених параметара одабране су групе параметара које су најпогодније за хидролошку регионализацију истраживаног подручја.

ФИЗИЧКО-ГЕОГРАФСКИ ПАРАМЕТРИ

Подаци коришћени за кластер анализу представљени су у табели 18 док је просторна распоређеност кластера представљена на карти 9.

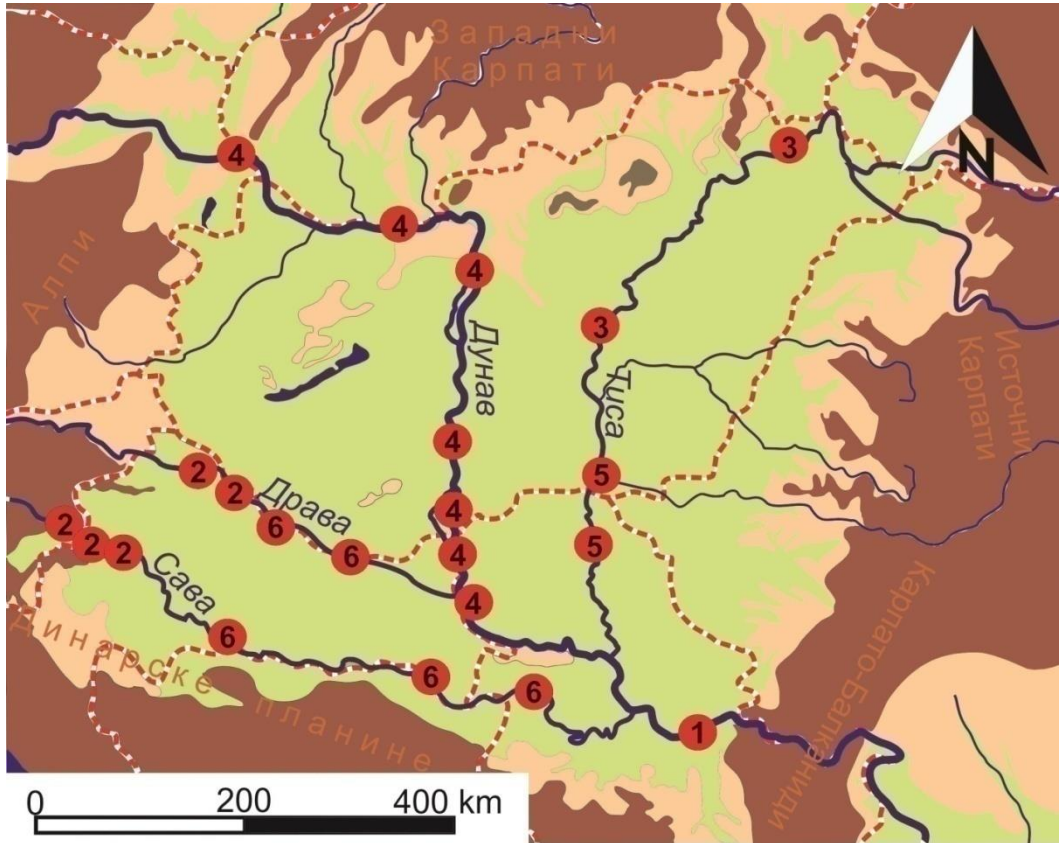
Параметри	Јединица
Површина слива	km ²
Удаљеност од ушћа	km
Удаљеност између станица	km
Надморска висина	mnv
Просечна висина слива	mnv
Географска ширина и дужина	

Табела 18: Физичко-географски подаци

Резултати регионализације коришћењем физичко-географских параметара показују да у Панонском басену може да се издвоји 6 кластера. Смедерево је издвојено као посебан кластер пошто представља последњу станицу у басену и сабирну станицу за воде свих река у басену. Станице на рекама Драва и Сава припадају истим кластерима 2 и 6. Узводне станице на Сави (Чатеж, Подсусед жичара и Загреб) и Драви (Доња Дубрава и Ботово) припадају кластеру 2, док низводније станице на Сави (Јасеновац, Жупања Степениште и Сремска Митровица) и Драви (Терезино поље и Доњи Михољац) су издвојене у кластер 6. На Тиси се такође издвајају два кластера, Вашарошнамењ и Солнок који припадају кластеру 3 док Сегедин и Сента кластеру 5.

Резултати кластер анализе физичко-географских параметара могу се употребити приликом прелиминарних истраживања терена и индентификовања евентуално различитих географских области. Нарочиту употребу примена физичкогеографских

параметара може наћи у планинским крајевима или на рекама које протичу кроз рељефно различите географске области. На основу кластер анализе података коришћених у овој дисертацији може се закључити да су површина слива и удаљеност од ушћа били главни параметри за дефинисање кластера.



Карта 9: Карта регионализације кластер методом на основу физичко-географских параметара

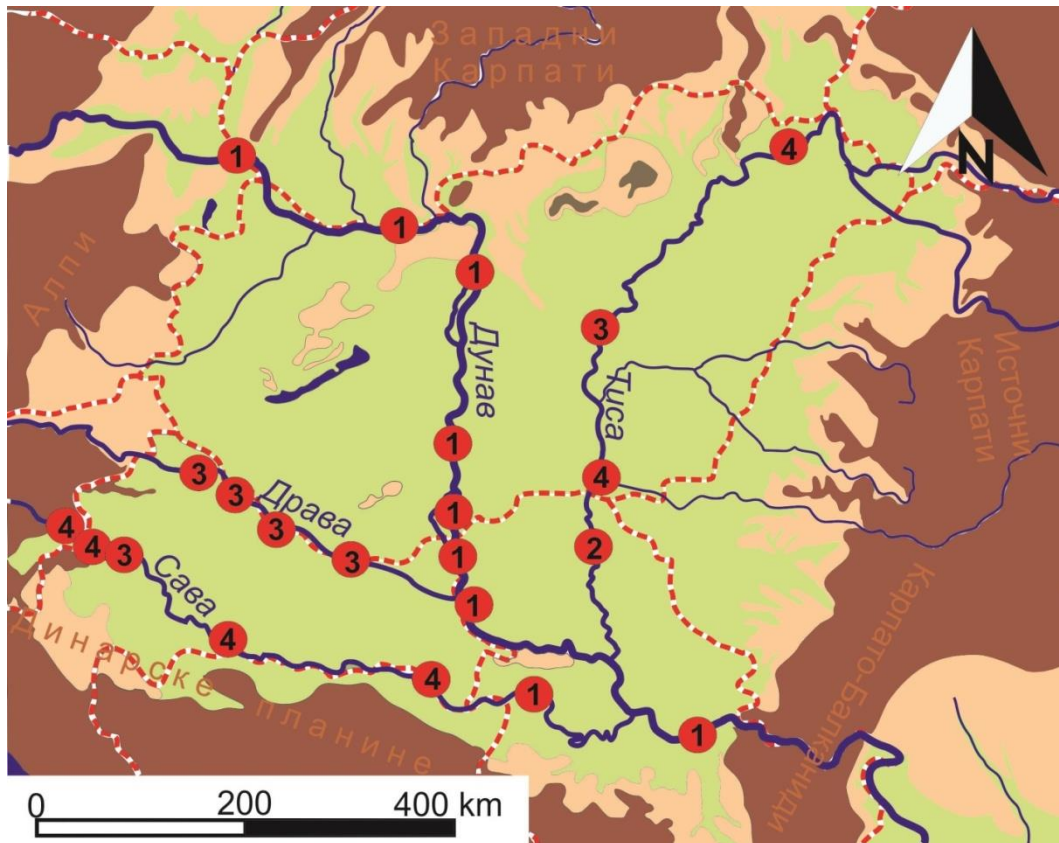
ХИДРОЛОШКИ ПАРАМЕТРИ

Хидрометеоролошки подаци коришћени за кластер анализу представљени су у табели 19 док је просторна распоређеност кластера представљена на карти 10.

Параметри	Јединица
Максимални годишњи протицај	m ³ /s
Просечна месечна количина падавина	mm
Максимална месечна количина падавина	mm
Минимална месечна количина падавина	mm

Табела 19: Хидрометеоролошки подаци

Коришћењем хидрометеоролошких података издвојена су 4 кластера. Река Дунав целим својим током припада кластеру 1, као и Сремска Митровица, последња станица на Сави. Река Драва такође припада једном кластеру, кластеру 3. Варијација између кластера је најизраженија на Тиси, Вашарошнамењ и Сегедин припадају кластеру 4, док Солнок припада кластеру 3 а Сента кластеру 2. На Сави, поред Сремске Митровице (Кластер 1) Загреб припада кластеру 3, све остале станице реке Саве припадају кластеру 4. Употреба ових параметара истраживачу показује које су карактеристике максималних месечних протицаја, односно које реке имају исте или сличне карактеристике. Такође показује разлике између горњих, средњих и доњих токова исте реке (Сава и Тиса). Ови резултати се могу искористи приликом планирања обнове постојећих или изградње нових одбрамбених насипа, изградње ретензионих басена, мостова и осталих објеката саобраћајне инфраструктуре.



Карта 10: Карта регионализације кластер методом на основу хидрометеоролошких параметара

ИНДЕКС РЕЧНОГ ТОКА

Индекс речног тока рачуна се по формули:

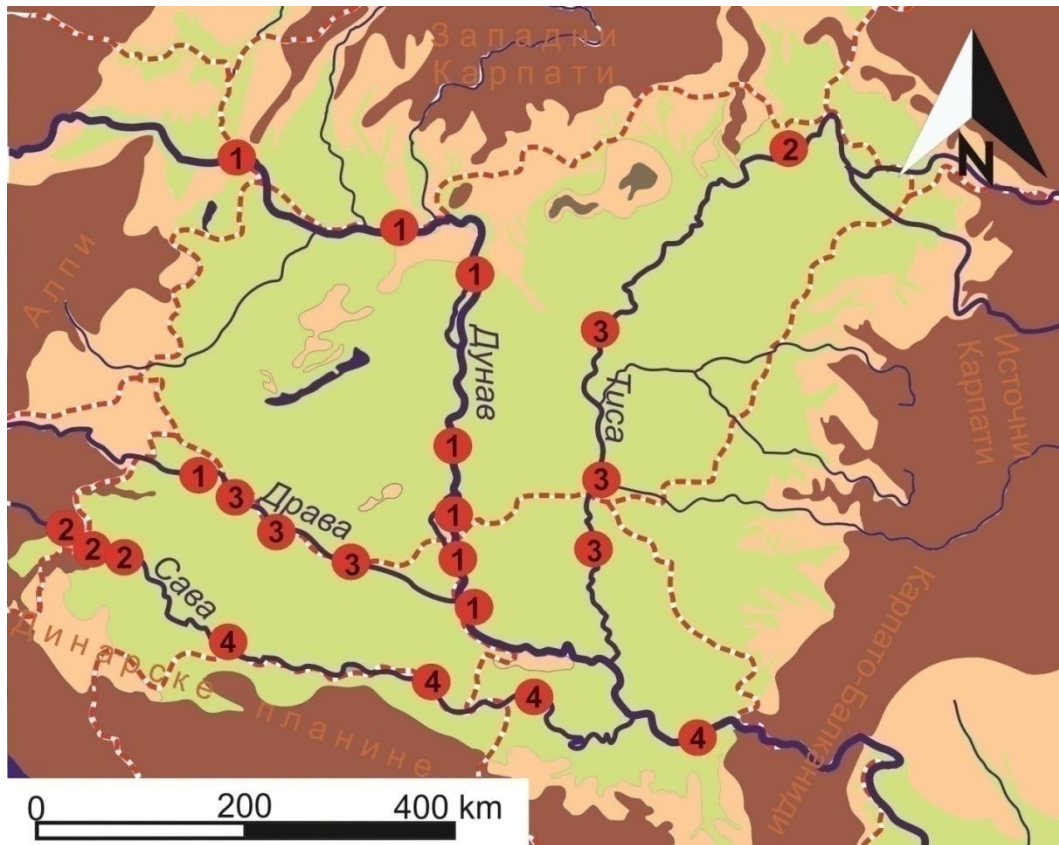
$$Z_{it} = \frac{S_{it} - \min(S_{it})}{\max(S_{it}) - (S_{it})}$$

у којој Z_{it} представља индекс речног тока, S_{it} месечна вредност протицаја на станици i у години t ($i=1, 2, \dots, 22$ станице; $t=1, 2, \dots, 50$ година) (Капуа et al., 2008).

Приликом рачунања индекса речног тока, коришћене су максималне и минималне месечне вредности протицаја. На основу кластер анализе коришћењем индекса речног тока издвојена су 4 кластера. На Дунаву су издвојена два кластера, кластер 1 којем припадају све станице осим последње станице у Панонском басену, Смедерево (кластер 4). На Сави, најузводније станице припадају кластеру 2 (Чатеж, Подсусед жичара и Загреб) док станице Јасеновац, Жупања степениште и Сремска

Митровица припадају кластру 4. На Тиси, најзводија станица Вашарошнамењ припада кластеру 2, Солнок, Сегедин и Сента кластеру 3. На Драви, осим Доње Дубраве која припада кластеру 1, све остале станице ове реке припадају кластеру 3.

Пошто се индекси рачунају на основу протицаја река, регионализација на основу индекса има смисла за све реке, осим Драве. Река Дунав припада кластеру 1 (осим Смедерева) као највећа река истраживаног подручја са највећим вредностима максималних месечних протицаја. Река Сава има два кластера, кластер 2 (Чатеж, Подсусед жичара и Загреб) је издвојен на делу речног тока који је под изразитим утицајем падавина на Алпима, станице низводо од ушћа река Купе и Уне (Јасеновац, Жупања степениште и Сремска Митровица) имају равничарски карактер тока и припадају кластеру 4, као и Смедерево на Дунаву. На Тиси су издвојена два кластера Вашарошнамењ припада кластеру 2, као и најзводније три станице на Сави. Протицај на станици Вашарошнамењ је под утицајем падавина над Карпатима. Солнок, Сегедин и Сента припадају кластеру 3. На Драви проблем представљају индекси добијени за станицу Доња Дубрава који су ову станицу сврстали у исти кластер као и станице на Дунаву (осим Смедерева). На основу хидролошких карактеристика ове станице долазимо до закључка да нема смисла сврстати је у исти кластер као и Дунав. Индекси речног тока представљају интересантан приступ хидролошком истраживању али региони издвојени само на основу индекса једног хидролошког параметра се не могу сматрати валидним. Употреба индекса речног тока за регионализацију омогућава издвајање кластера који имају исте или сличне карактеристике индекса који се рачунају на основу максималних и минималних вредности протицаја. Уколик су само ове хидролошке величине доступне истраживачу. На тај начин се могу издвојити делови речних токова са иситим протицајним карактеристикама екстремних вредности на основу којих се, уз додатне критеријуме могу планирати мелиорационе мере сходно представљеним резултатима.



Карта 11: Карта регионализације кластер методом на основу индекса речног тока

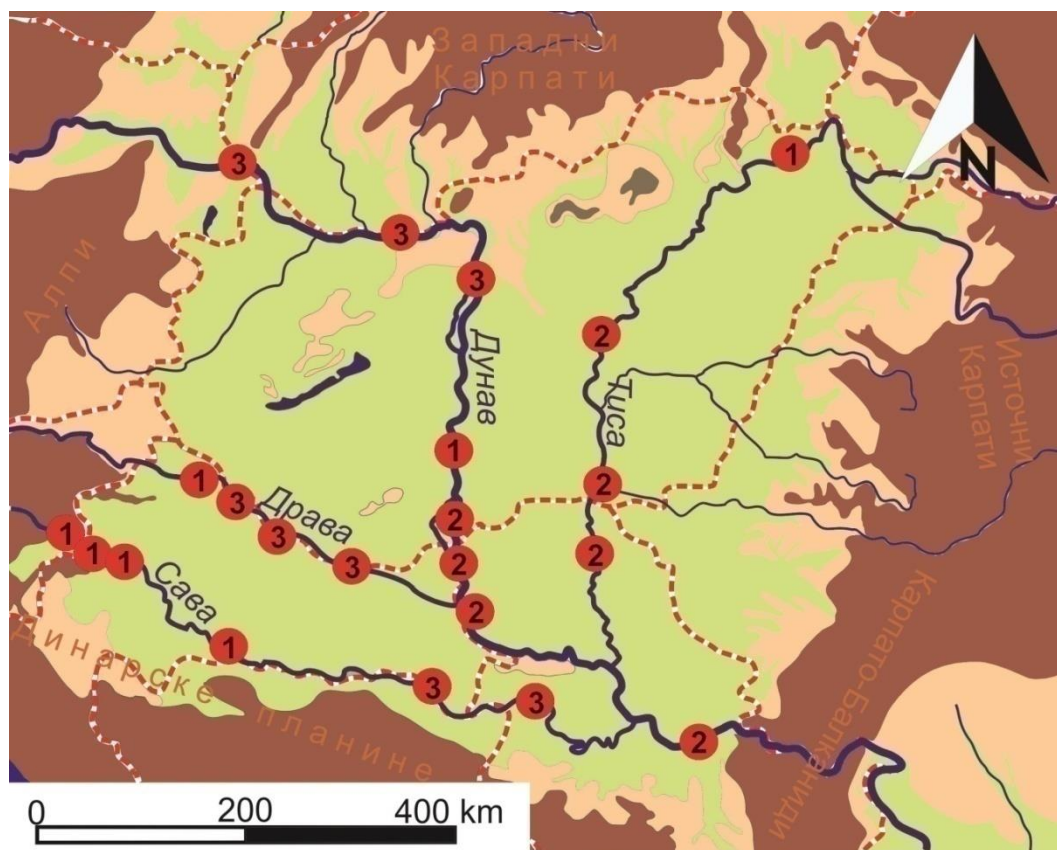
СТОХАСТИЧКИ ПАРАМЕТРИ

Према Ward-овој методи, коришћењем стохастичких података (табела 20), издвојено је 3 кластера, чији просторни распоред је приказан на карти 12. У најузводнијем делу река (Сава, Тиса и Драва) станице су класификоване у кластер 1, док последње станице на поменутих рекама су класификоване у кластер 3 (осим на Тиси). На реци Дунав, као највећој реци басена, издвојена су три кластера, од Братиславе до Будимпеште кластер 3, Баја - кластер 1 и низводно од Бездана до Смедерева - кластер 2. Географску зоналност ових кластера на Дунаву нарушава Баја (кластер 1). Ово се може објаснити чињеницом да је низ осматрања на овој станици краћи од свих других станица и није обухваћена велика поплава из 1965. године.

Параметри	Јединица
Просечна запремина/трајања великих вода	m ³ ; Дани
Највећа забележена запремина/трајање великих вода	m ³ ; Дани
Стандардна девијација*	m ³ ; Дани
Коефицијент варијације*	-
Коефицијент асиметрије*	-
Логоритмована вредност коефицијента варијације*	-
Логоритмована вредност коефицијента асиметрије*	-
Логоритмована вредност коефицијента спљоштености*	-
Усвојена расподела*	

Табела 20: Стохастички подаци

*Употребљене вредности добијене и за запремине и за трајање великих вода



Карта 12: Карта регионализације кластер методом на основу стохастичких параметара великих вода

На основу представљених резултата дошли смо до закључка да је за потпуну и праву хидролошку регионализацију великих вода Панонског басена неопходна комплекса и вишепараметарска анализа. Карта 13 представља регионализацију

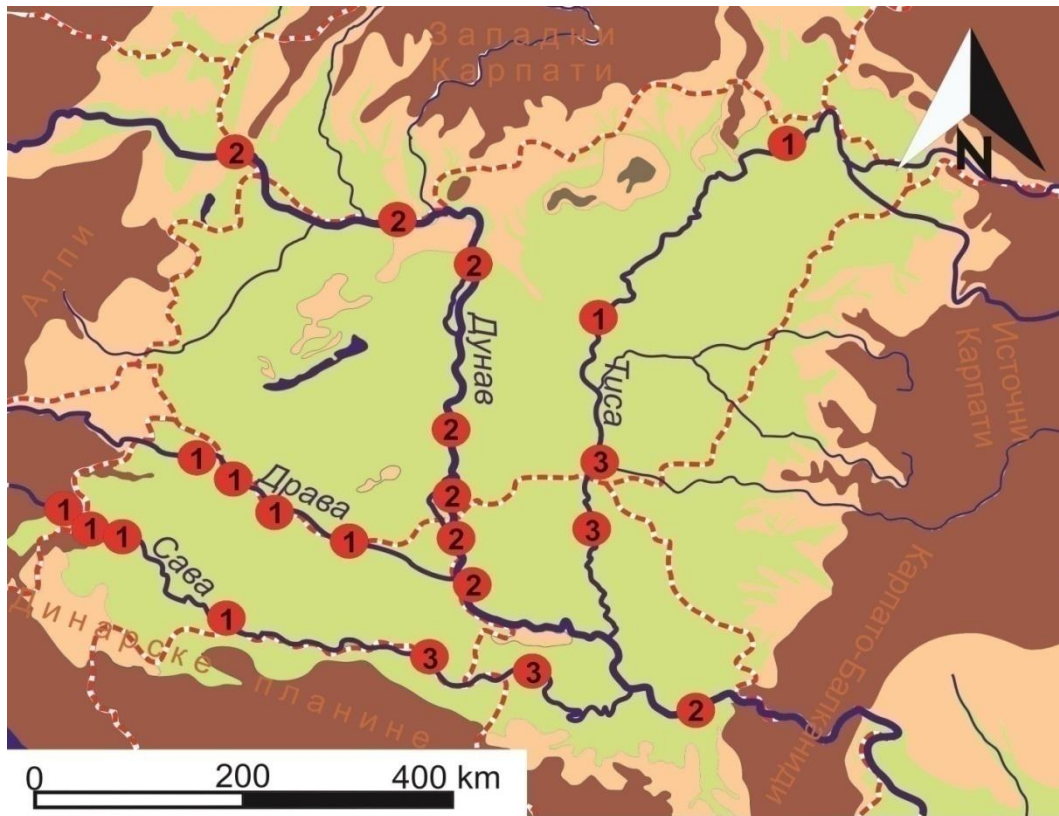
Панонског басена на основу физичкогеографских, хидрометеоролошких и стохастичких параметара великих вода.

РЕГИОНАЛИЗАЦИЈА ПАНОНСКОГ БАСЕНА

На основу представљених резултата регионализације коришћењем различитих типова података одлучили смо да се најпоузданији резултати регионализације могу добити једино употребом различитих података који детаљније дефинишу сваку од истраживаних станица. Одабрани подаци за регионализацију Панонског басена методом кластер анализе представљени су у табели 21, а резултати анализе просторно су представљени на карти 13.

Резултати кластер анализе представљени на карти 13 указују да су издвојена 3 кластера. Цео ток Дунава кроз Панонски басен је издвојен као посебан кластер, кластер 2. На Сави станице Чатеж, Подсусед жичара, Загреб и Јасеновац припадају кластеру 1 док Жупања степенице и Сремска Митровица припадају кластеру 3. Исти кластери су издвојени на Тиси, кластеру 1 припадају Вашарошнамењ и Солнок док кластеру 3 припадају Сегедин и Сента. Драва у целости припада кластеру 1.

Регионализација Панонског басена методом кластер анализе коришћењем физичко-географских, хидролошких, метеоролошких и стохастичких података показала је најбоље резултате. Дунав као највећа река, са највећим вредностима средњих и максималних месечних протицаја, највећом површином слива, највећим вредностима максималних и просечних великих вода, највећом дужином и просечних и максималних трајања великих вода, испуњава све услове да буде издвојен као посебан „Дунавски“ кластер. Кластер 1 се јавља на оним станицама на рекама које су под највећим утицајем планинских залеђа, у случају Саве то су Алпи и Динариди (станице Чатеж, Подсусед жичара, Загреб и Јасеновац) и Тисе, Карпати (станице Вашарошнамењ и Солнок). Цела Драва припада кластеру 1, „Панонски I“, због свог протицајног режима који се разликује од осталих река истраживаног подручја. Кластер 3 је „Панонски II“, и овом кластеру припадају доњи токови Саве (Жупања степениште и Сремска Митровица) и Тисе (Сегедин и Сента) непосредно пред ушће тих река у Дунав.



Карта 13: Регионализација Панонског басена

Параметари представљени у табели 21 дају најбоље резултате кластер анализе из разлога што употребљавају највише различитих карактеристика речног тока због чега се могу сматрати и најпоузданијим. На основу ових резултата уочавамо да на протицај Дунава, његове велике притоке (Тиса и Сава) немају већи утицај на промене протицајних карактеристика. На основу тога може се донети закључак да за одбрану 100-годишњих великих вода код најнизводније станице у истраживаном подручју, Смедерево, неопходно пројектовати одбрамбене објекте на основу података представљеним у табели 24 добијених на основу регионалног параметра облика за издвојене кластере.

Параметри	Јединица
Максимални годишњи протицај	m ³ /s
Просечна месечна количина падавина	mm
Максимална месечна количина падавина	mm
Минимална месечна количина падавина	mm
Површина слива	km ²
Удаљеност од ушћа	km
Удаљеност између станица	km
Надморска висина	mnv
Просечна висина слива	mnv
Географска ширина и дужина	
Просечна запремина/трајање великих вода*	m ³ ; Дани
Највећа забележена запремина/трајање великих вода*	m ³ ; Дани
Стандардна девијација*	m ³ ; Дани
Коефицијент варијације*	-
Коефицијент асиметрије*	-
Логоритмована вредност коефицијента варијације*	-
Логоритмована вредност коефицијента асиметрије*	-
Логоритмована вредност коефицијента спљоштености*	-
Усвојена расподела*	

Табела 21: Одабрани параметри за хидролошкију регионализацију Панонског басена

*Употребљене вредности добијене и за запремине и за трајање великих вода

РЕЗУЛТАТИ L-МОМЕНАТА

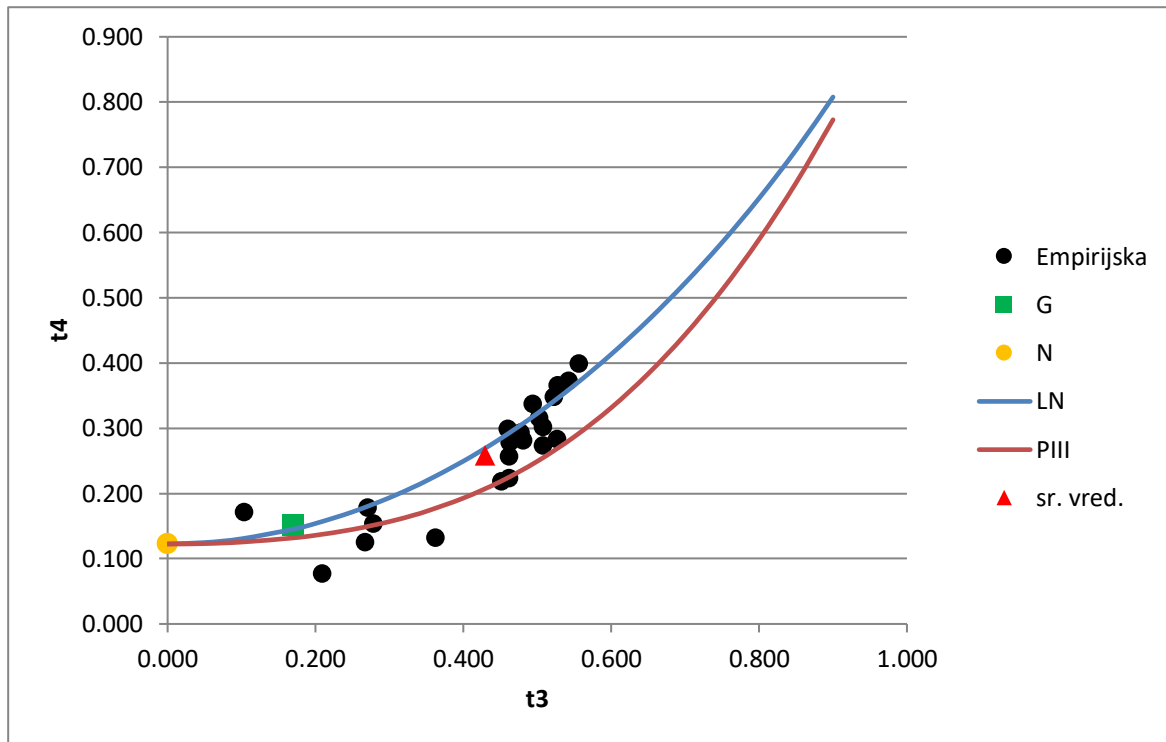
Тестирана је хомогеност свих река у Панонском басену методом L-момената. Прво су израчунате средње регионалне вредности за L-Cv, L-Cs, L-Ck, а затим и статистике V₁, V₂ и V₃ (табела 22). Из табеле се може уочити да су Vi < 1 што значи да Панонски басен представља хомоген регион у обе истраживане варијабле, запремине и трајање великих вода.

	t ^R	t ₃ ^R	t ₄ ^R	V ₁	V ₂	V ₃
Запремине	0,570	0,429	0,258	0,097	0,129	0,124
Трајање	0,425	0,317	0,217	0,074	0,110	0,107

Табела 22: Тест хомогености слива Дунава у Панонском басену за запремине (V) и трајања (T) великих вода

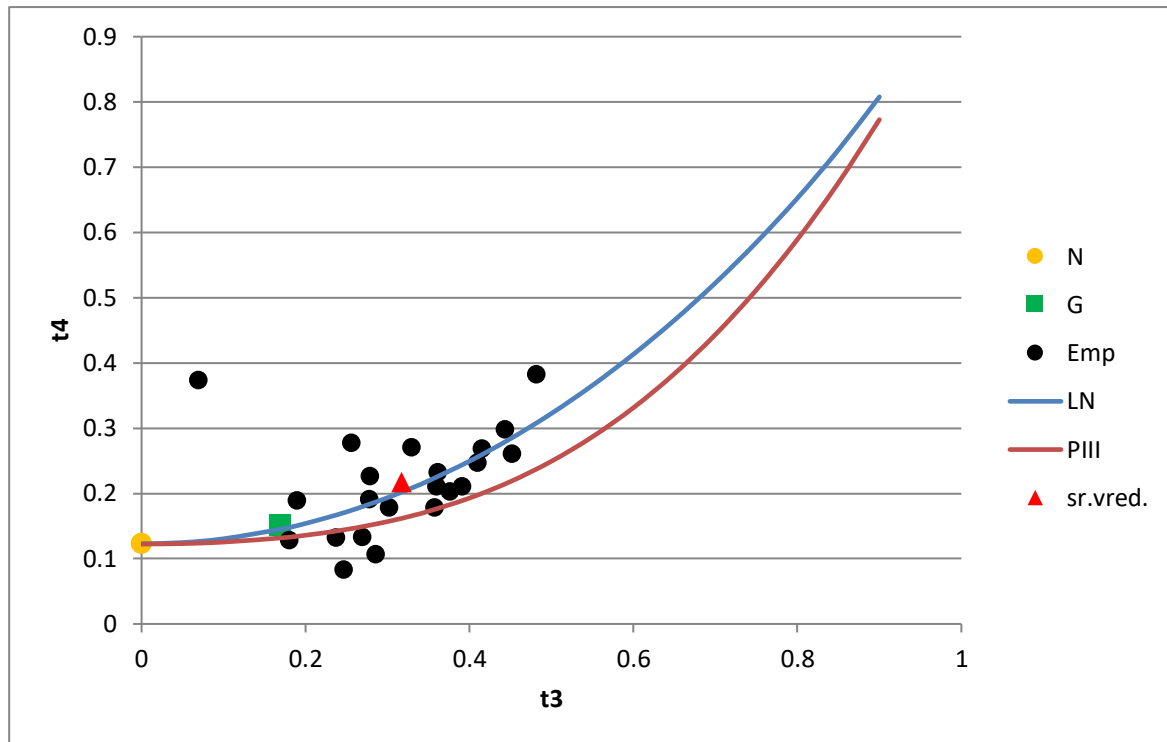
Разлике између квантила великих вода малих вероватноћа појаве (<1%) изабраних по различитим расподелама могу да буду веома велике. Из тог разлога потребно је одредити јединствену расподелу за цео Панонски басен, и на основу ње, извршити прорачуне квантила и извршити упоређивање. Као што је речено у поглављу Материјали и методе, за избор регионалне расподеле коришћена је метода L-моменат дијаграма.

Дијаграми L-Ck/L-Cs за запремину великих вода је приказан на графикону 12. Тропараметарска Лог-Нормална (LN) и тропараметарска Пирсон 3 (P3) расподела су приказане линијама, док су Гумбелова и Нормална расподела приказане тачкама. На графикону се уочава да осмотрене податке најбоље описује Лог-Нормална крива. Ово је проверено тестом сагласности Hosking и Wallis-a, по којем вредност статистике Z за Нормалну расподелу износи 1,54, за Лог-Нормалну 0,12, за Гумбелову 1,23, Пирсон 3, 0,58 и Лог-Пирсон 3, 1,52. На основу прага значајности $\alpha = 0,05$ може се утврдити да су све расподеле сагласне са емпиријском ($|Z| < 1,96$) али најбољу сагласност је показала Лог-Нормална расподела, то јест најмање одступање од средњег регионалног L-Ck (t_4^R), што се може уочити и на графикону 17. На основу резултата добијених методом L-момената, Лог-Нормална расподела се усваја као регионална расподела за запремине великих вода у Панонском басену. Иста метода (L-момената) примењена је и приликом одређивања регионалне расподеле за регионе који су издвојени методом кластера, карта 13.



Графикон 12: L-момент дијаграми запремина великих вода у Панонским басену

L-момент дијаграм за трајање великих вода приказан је на графикону 13. На графикону можемо приметити да, слично као и код запремина великих вода, најбољу сагласност са емпиријским подацима има Лог-Нормална расподела, што потврђују и вредност статистике Z : за Нормалну расподелу износи 1,25, за Лог-Нормалну 0,25, за Гумбелову 0,90, Пирсон 3 0,76 и Лог-Пирсон 3, 1,24. Анализа L-момената омогућила нам је одабир регионалне функције расподеле. За регионалну функцију расподеле трајања великих вода у Панонском басену усвојена је Лог-Нормална расподела.



Графикон 13: L-момент дијаграми трајања великих вода у Панонском басену

Резултати су показали да Панонски басен представља прихватљиво хомоген регион у којем је Лог-Нормална расподела усвојена као меродавна и за запремине и за дужине трајања великих вода. На основу усвојение Лог-Нормалне расподеле израчунате су запремине и трајање великих вода карактеристичних повратних периода на три начина. Дакле, за сваку станицу су израчунате запремине и трајања на основу израчунатих параметара Лог-Нормалне расподеле за сваку станицу, на основу регионалног параметра облика за цео Панонски басен и на основу регионалног параметра облика за кластере представљене на карти 13. Резултати су представљени у табелама 24 и 25. Као што је речено у методама, за методу по станицама коришћени су параметри Лог-Нормалне расподеле израчунати за сваку станицу. Код методе регионалног параметра облика коришћени су израчунати по станицама параметар размере (μ), док је за све станице био коришћен један параметар облика $k^R = 0.921$ за запремине и $k^R = 0.665$ за трајање великих вода. Слично овоме, за издвојена три кластера (карта 13) израчунати су три параметра облика за запремине и за трајање великих вода (табела 23).

Параметар облика	Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3
k^R (Запремине)	0,833	0,996	0,502
k^R (Трајање)	0,569	0,831	0,583

Табела 23: Регионални параметри облика за кластере представљене на карти 13

За сваку станицу у одређеном кластеру су израчунате запремине и трајања на основу израчунатих параметара одговарајуће размере за сваки кластер. За кластер 1 и кластер 2, усвојена је Лог-Нормалне расподеле за оба истраживана параметра (трајање и запремина). За запремине великих вода у кластеру 3 одговарајућа је расподела Пирсон 3, док је за трајање великих вода у овом кластеру усвојена Лог-Нормална расподела.

Станица	Река	V ₁₀₀ *	V ₂₀₀ *	V ₅₀₀ *	V ₁₀₀₀ *	V ₁₀₀ **	V ₂₀₀ **	V ₅₀₀ **	V ₁₀₀₀ **	V ₁₀₀ ***	V ₂₀₀ ***	V ₅₀₀ ***	V ₁₀₀₀ ***
		x10 ⁶ m ³	x10 ⁶ m ³	x10 ⁶ m ³	x10 ⁶ m ³	x10 ⁶ m ³	x10 ⁶ m ³	x10 ⁶ m ³	x10 ⁶ m ³	x10 ⁶ m ³	x10 ⁶ m ³	x10 ⁶ m ³	x10 ⁶ m ³
Братислава	Дунав	13.501	18.413	26.990	35.444	7.158	9.233	12.555	15.567	6.040	7.642	10.153	12.385
Комаром		16.313	21.806	30.980	39.621	11.417	14.674	19.882	24.597	9.602	12.109	16.034	19.519
Будимпешта		14.475	18.586	25.154	31.097	14.526	18.659	25.264	31.243	12.210	15.389	20.364	24.781
Баја		7.089	7.329	7.522	7.610	14.844	19.062	25.803	31.904	12.474	15.718	20.794	25.300
Мохач		16.451	21.185	28.766	35.641	16.267	20.922	28.366	35.108	13.690	17.275	22.888	27.874
Бездан		14.640	16.528	18.615	19.912	15.806	20.329	27.563	34.113	13.302	16.786	22.240	27.085
Богојево		22.625	30.516	43.781	56.346	15.565	20.109	27.388	33.991	13.154	16.667	22.176	27.075
Смедерево		42.661	57.310	81.880	105.108	29.277	37.708	51.199	63.421	24.671	31.173	41.356	50.406
Чатеж 1	Сава	1.266	1.427	1.638	1.797	2.695	3.317	4.267	5.091	3.306	4.160	5.495	6.680
П. Жичара		1.283	1.476	1.743	1.954	2.466	3.035	3.904	4.658	3.025	3.806	5.028	6.113
Загреб		1.276	1.440	1.654	1.815	2.491	3.067	3.948	4.712	3.054	3.845	5.082	6.180
Јасеновац		5.258	7.565	11.904	16.496	1.951	2.406	3.100	3.703	2.389	3.012	3.986	4.851
Жупања		5.981	7.116	8.641	9.809	6.131	7.276	8.813	9.989	5.159	6.495	8.585	10.440
С. Митровица		10.702	13.771	18.682	23.134	9.543	11.341	13.755	15.602	8.913	11.240	14.883	18.118
Вашарош.	Тиса	2.739	2.941	3.157	3.288	8.806	10.863	14.003	16.729	10.776	13.589	17.994	21.905
Солнок		8.172	10.853	15.292	19.438	7.244	8.957	11.573	13.847	8.704	11.005	14.610	17.814
Сегедин		11.365	13.555	16.354	18.364	9.096	10.857	13.222	15.032	9.377	11.840	15.698	19.125
Сента		11.263	14.526	19.753	24.493	10.013	11.965	14.586	16.593	9.444	11.940	15.852	19.328
Доња Дубрава	Драва	853	988	1.167	1.303	973	1.213	1.581	1.902	1.175	1.499	2.009	2.464
Ботово		3.171	4.039	5.356	6.482	1.687	2.078	2.676	3.195	2.067	2.603	3.443	4.188
Терезино Поље		3.580	4.842	6.979	9.016	1.532	1.888	2.433	2.906	1.876	2.364	3.128	3.807
Доњи Михољац		2.998	3.935	5.466	6.882	1.707	2.106	2.714	3.243	2.089	2.634	3.488	4.246

Табела 24: Запремине великих вода карактеристичних повратних периода

*на основу усвојене расподеле за сваку станицу, ** на основу регионалног параметра облика за издвојене кластере (Карта

13), ***на основу регионалног параметра облика за Панонски басен

Станица	Река	T100*	T200*	T500*	T1000*	T100**	T200**	T500**	T1000**	T100***	T200***	T500***	T1000***
		(Дани)	(Дани)	(Дани)	(Дани)	(Дани)	(Дани)	(Дани)	(Дани)	(Дани)	(Дани)	(Дани)	(Дани)
Братислава	Дунав	41	49	61	70	30	37	48	58	37	47	62	75
Комаром		115	135	160	180	84	104	134	160	57	68	83	96
Будимпешта		91	107	128	145	117	144	185	221	79	94	115	132
Баја		86	102	123	140	144	178	231	277	99	118	145	167
Мохач		137	169	218	261	134	165	213	254	91	108	132	152
Бездан		124	151	193	229	137	169	218	261	94	111	136	156
Богојево		151	175	206	231	128	158	205	245	88	104	128	148
Смедерево		164	199	251	295	192	237	306	366	131	156	191	220
Чатеж I	Сава	26	29	32	34	45	52	62	70	57	67	82	94
П. Жичара		30	33	38	41	32	37	43	49	40	47	57	66
Загреб		32	36	41	45	32	37	43	49	40	47	57	66
Јасеновац		55	61	68	73	61	70	84	95	76	89	110	126
Жупања		82	93	107	118	99	114	137	155	119	141	172	199
С. Митровица		85	97	115	129	73	85	101	114	88	104	127	147
Вашарош.	Тиса	41	45	50	53	83	96	114	129	104	122	150	173
Солнок		111	129	154	175	109	126	150	169	135	160	196	226
Сегедин		104	116	131	142	142	165	197	223	171	202	248	286
Сента		115	129	148	162	176	204	244	277	212	251	307	354
Доња Дубрава	Драва	45	51	59	65	59	68	82	93	72	86	106	123
Ботово		76	88	105	118	41	48	57	64	51	61	74	86
Терезино Поље		100	129	178	224	38	44	52	59	47	56	68	79
Доњи Михољац		80	97	123	144	51	59	70	79	64	75	92	106

Табела 25: Трајање великих вода карактеристичних повратних периода *на основу усвојене расподеле за сваку станицу, ** на основу регионалног параметра облика за издвојене кластере (Карта 13), ***на основу регионалног параметра облика

У табели 24 представљени су резултати великих вода 100-годишњег, 200-годишњег, 500-годишњег и 1000-годишњег повратног периода, изражени у $\times 10^6 \text{ m}^3$. Како су одбрамбени насипи у државама у Панонском басену пројектовани за одбрану од 100-годишњих великих вода посебна посебна пажња ће бити посвећена управо великим водама са овим повратним периодом. Средња вредност великих вода 100-годишњег повратног периода у Панонском басену варира од $9.894 \times 10^6 \text{ m}^3$, израчунато методом по станицама, до $8.023 \times 10^6 \text{ m}^3$, израчунато методом регионалог параметра облика. Највеће просечне V_{100} на Дунаву варирају од $13.143 \times 10^6 \text{ m}^3$ до $18.469 \times 10^6 \text{ m}^3$, на Сави од $4.294 \times 10^6 \text{ m}^3$ до $4.308 \times 10^6 \text{ m}^3$, Тиси $8.385 \times 10^6 \text{ m}^3$ до $9.575 \times 10^6 \text{ m}^3$ и Драви $2.651 \times 10^6 \text{ m}^3$ до $1.802 \times 10^6 \text{ m}^3$ у зависности од методе.

Просторна расподела трајања великих вода карактеристичних повратних периода је слична претходно описаној расподели запремина великих вода. Средње трајање велике воде 100-годишњег повратног периода у Панонском басену износи од 86 дана, израчунато методом по станицама, до 89 дан израчунато методом регионалног параметра облика. На Дунаву просечно трајање 100-годишњих великих вода, израчунато методом по станицама износи 114 дана, најдуже трајање је на станици Смедерево (164 дана) а најкраће на станици Братислава (41 дан). Методом регионалног параметра облика, просечно трајање 100-годишњих великих вода Дунава је 85 дана, са најдужим трајањем поново на станици Смедерево (131 дан) а најкраће на станици Братислава (37 дана). На Сави, карактеристични повратни период израчунат коришћењем регионалног параметра облика даје нешто веће вредности него параметар облика израчунат по регионима које је издвојила кластер анализа. И то од 13 дана за трајање 100-годишњих, до 28 дана разлике за 1000-годишње трајање великих вода. Река Тиса бележи најдужа трајања великих вода израчунато и по параметрима за сваку станицу и по регионалним параметрима облика по кластерима и за цео регион Панонског басена. Трајање 100-годишњих великих вода Драве варира од 100 до 45 а просечно трајање износи 75 дана, израчунато методом по станицама док користећи регионални параметар облика варирање је мање и креће се од 72 до 47 дана, просечно 59 дана.

Упоредивањем вредности запремина великих вода и њиховог трајања, израчунатих различитим методама, долази се до закључка да за мале и средње повратне периоде (10 и 20 година) просечне вредности запремина и трајања се не разликују много. С друге стране, за повратне периоде 100, 200, 500 и 1000 година, вредности квантила израчунатих различитим методама се значајно разликују. Тако да са

повећањем повратног периода расте и разлика у одређивању квантила овим методама. Резултати истраживања показују да повратни периоди израчунати на основу регионалног параметра облика за цео Панонски басен дају конзистентније резултате у односу на параметре облика издвојених методом кластер анализе

ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Главни циљ регионалне анализе која је спроведена у овој студији био је да се извуку информације из доступних хидролошких података и да се адекватно процени учесталост великих вода. Ово је од посебног значаја за истраживање екстремних догађаја који су од интереса за сигурност хидротехничких структура, ванредне ситуације, управљање људским ресурсима итд. Суочавање са поплавама на ефикасан начин и смањење штете захтевају одговарајуће методе за процену будућих великих вода, а касније и развој планова управљања поплавама, као што су зоне плављења и методе прогнозирања поплава.

За потребе хидролошке регионализације, у свету је широко заступљена метода кластера. Циљ ове методе је индентификација и груписање сливова (региона) који имају сличне карактеристике одређене хидролошке појаве, у овом случају великих вода. Овај приступ најчешће је базиран на статистици за сваку појединачну станицу (at-site). Савремена научна пракса је показала да се региони формирају на основу сличности параметара који утичу на великеводе.

Основа хидролошке регионализације јесте креирање хомогених хидролошких региона. Хидролошка регионализација комплексно проучава индивидуалне сливове на Земљи и дели истраживана подручја на мање целине - регије. Она објашњава како се на одређеном простору испуњавају закономерности друштвених и природних одлика и на одговарајући начин их повезује у складну целину. Међутим Hosking и Wallis (1997) износе запажање да региони нису нужно географски, због тога је нас интересовало да ли је ипак могуће формирати географске регионе који би задржали хомогеност. Из тог разлога прошли смо кроз опсежне кластер анализе засноване на различитим параметрима из научне литературе и дошли до задовољавајућих резултата, географски хомогених региона. У поглављеу „Кластер Анализа“ представљени су резултати кластер анализе истраживаних станица у Панонском басену на основу различитих улазних података. Добијени резултати су представљени на картама 9, 10, 11, 12 и 13.

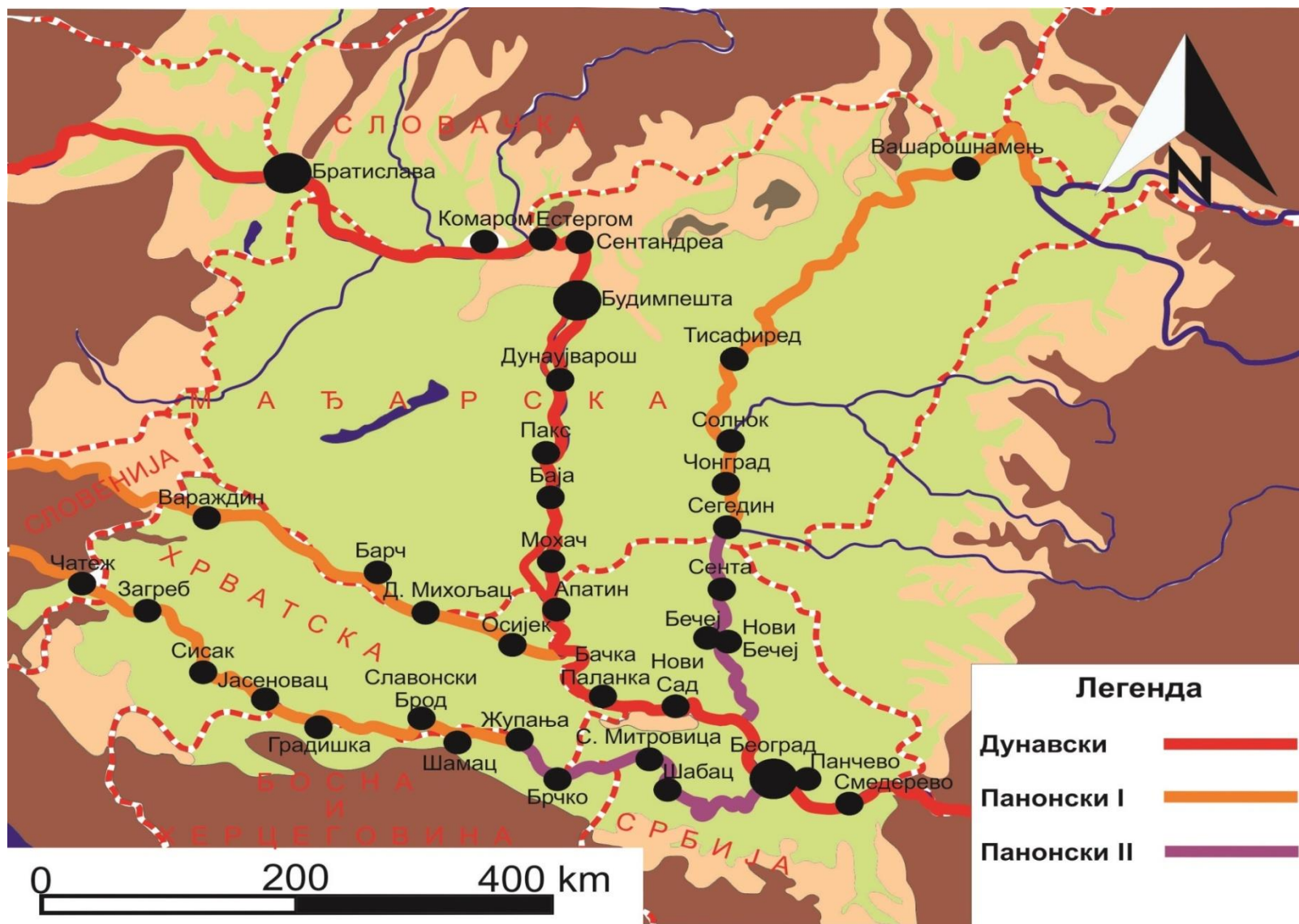
Оптимални резултат сваке регионализације јесте минимизирање варијација унутар издвојених региона користећи параметре који максимизирају варијације између региона. За издвајање таласа великих вода користили смо методу прага, са прагом постављеним на Q_{10} , на 22 станице у Панонском басену за период 1964 - 2013. године

што представља највећи узорак који је коришћен на овако великом броју станица у Панонском басену. Број станица које су укључене у анализу је био велики, иако је жеља аутора била за још већим узорком међутим непостојање довољно дугачког низа података о протицају, као и неравномерна заступљеност станица утицали су на сужавање избора на 22 станице.

Допринос ове дисертације регионалној хидролошкој анализи методом кластера јесте резултат који показује да је за комплексну регионализацију неопходна употреба што већег броја различитих параметара. Само физичко-географски параметри нису довољни јер се добије превише различитих региона, чак шест, што је за овако мали хомогени географски простор стварно превелики број. Физичко-географски параметри који су коришћени приказани су у табели 18. Ови улазни подаци такође не представљају добру основу за хидролошку регионализацију пошто не садрже ни основне податке о водотоцима. Друга група података која се анализира у дисертацији су хидрометеоролошки параметари (табела 19) на основу којих се добију четири региона без сразмерног географског размештаја. Као и физичко-географски параметри, ни ови не садрже значајне податке о водотоцима, осим максималног годишњег протицаја, који представљају само једну од хидролошки значајних величина, а како је количина падавина у Панонском басену релативно уједначена, региони добијени употребом ових параметара се не могу сматрати валидним. Такође, недостатак географски логичног распореда региона је последица непостојања података о географском положају станица. На карти 12 представљена је регионализација на основу стохастичке анализе великих вода а улазни подаци су приказани у табели 20 (ове параметре можемо сматрати чисто хидролошким). Како су подаци коришћени приликом ове регионализације изведени из чисто хидролошких параметара, региони издвојени овом методом се могу сматрати за валидне хидролошке регионе. Свака поменута група параметра није дала задовољавајућу географску регионализацију истраживаног подручја.

Да би се добила детаљна географска регионализација Панонског басена, а да се при томе не изгуби из вида тема дисертације, што јесте протицајни режим великих вода, неопходно је укључити читав низ различитих параметара који само заједно дају комплексну слику овог истраживаног подручја. Сви подаци коришћени за комплексну регионализацију Панонског басена представљени су у табели 21 а графички приказ добијених резултата на карти 13. Резултат је географско-хидролошка регионализација

која је истраживано подручје поделила на три хомогена региона. Река Дунав је издвојена као посебан регион, „Дунавски регион“. На осталим рекама се могу издвојити два региона на основу посматраних параметара, кластер 1, „Панонски I“ пошто је протицај на овим станицама под још већим утицајем планинског залеђа овом региону припадају станице Чатеж 1, Подсусед жичара, Загреб и Јасеновац на Сави, Вашарошнамењ и Солнок на Тиси као и све станице на реци Драви. Сврставање целог тока реке Драве у „Панонски I“ се поклапа са њеним протицајним режимом који је представљен на графикону 10. Кластер 3 „Панонски II“ обухвата доње токове Саве и Тисе односно станице Жупања степенице и Сремска Миторивца (Сава) и Сегедин и Сента (Тиса). На карти 14 представљени су добијени региони са градовима преко 10.000 становника који се налазе у оквиру сваког од региона. Број становника у 38 насеља који су представљени на карти 14 износи 5.639.785. Уз реку Дунав у 15 издвојених насеља живи 4.014.246 становника, уз Саву у 11 насеља 1.119.943 становника, уз Тису 328.943 и уз Драву 176.653 становника. Број становника у сваком од насеља представљен је у табели 26 (Прилог III).



Карта 14: Предлог три регије са јединственим планом одбране од великих вода

Предлог за будућа истраживања би био проширење улазних параметара за регионализацију Панонског басена методом Кластер анализе. На пример, може се узети у обзир структура тла, нагиб речног корита, нагиб, пошумљеност и изграђеност слива, густина насељености обала, обрађеност земљишта, итд. Одлична полазна тачка за даљу регионализацију би било раздвајање станице на оне смештене у урбаном окружењу и оне у руралном окружењу. Такође, будућа истраживања треба усмерити ка детаљнијем разграничењу између региона добијених у овој регионализацији.

Избор одговарајуће функције расподеле према подацима са хидролошких станица је био захтевнији и дуготрајнији задатак. За сваку станицу појединачно било је потребно направити већи број испитивања релевантности и према њиховим резултатима одлучити коју расподелу треба изабрати. Испоставило се да одабир одговарајуће расподеле на основу више различитих тестова није најбољи, пошто има превише опција и процедура је изузетно компликована. Литературни извори су показали да је најпоузданији начин одабира расподеле заснован на укупним подацима региона, односно регионалној статистици Z и дијаграму L -момента.

Користећи дијаграме L -момената (L -Cs/ L -Ck) утврђена је хомогеност Панонског басена и изабрана регионална расподела за максималне запремине и трајање великих вода. Пошто је тест на хомогеност показао да се цео слив може сматрати хомогеним $V_i < 1$ (Запремине 0.097; Трајање 0.074), није било потребе за даље истраживање хомогености мањих региона или подсливова. На основу прага значајности $\alpha = 0.05$ може се утврдити да су све расподеле сагласне са емпиријском ($|Z| < 1.96$) али најбољу сагласност је показала Лог-Нормална расподела за обе истраживане величине (запремине и трајање). Након избора најпогодније регионалне расподеле, израчунати су квантили. Приликом упоређивања резултата добијених двама процедурама (из општих регионалних података и података појединачних станица) утврдили смо да су у већини случајева били врло слични, а у неким случајевима су идентификована значајна одступања. Када се приступило одређивању функције расподеле запремина великих вода за сваку од истраживаних станица, за највећи број станица, 46% је такође усвојена Лог-Нормална расподела, за 36% Лог-Пирсон 3 а за 18% Пирсон 3 расподела. Одређивање функције расподеле трајања великих вода дало је још разноврсније резултате, Лог-Нормална расподела се показала као одговарајућа на 32% станица, Лог-Пирсон 3 и Пирсон 3 за 27%, а Гумбелова за 14%.

Ови резултати пружају могућност одређивања повратних периода великих вода, употребом регионалне функције расподеле, на рекама на којима или не постоји

водомерна станица или не постоји довољно дугачак низ података. Такође, како се све истраживане станице налазе у насељеним местима, употребом функције расподеле усвојене на свакој станици понаособ омогућава се одређивање великих вода одређеног повратног периода што пружа могућност пројектовања нових или ревитализацију већ постојећих одбрамбених структура. На основу ових анализа омогућиће се боља заштита живота и имовине становништва као и индустријских објеката уз велике реке Панонског басена.

Будући да је ово први покушај хидролошке регионализације великих вода у овом делу Европе, нисмо имали никакву основу на којој би се базирали. Предност хидролошке регионализације је да комбиновање података може допринети, у одређеним случајевима, бољим резултатима. Поједини резултати ове дисертације (регионална статистичка анализа и карта 14) могу послужити као основа за избор меродавних регионалних расподела које ће се користити у даљим прорачунима вероватноће појаве великих вода у истраживаном подручју. Даље, на основу ових прорачуна и хидролошко-хидрауличког моделовања би могло да се приступи изради нових и ревидирању постојећих карти угрожености од поплава на нивоу Панонског басена. На овим картама представљена би била подручја угрожености од поплава на којима би се представиле границе поплавног подручја за поплаве различитог повратног периода, као и њихове дубине. За разлику од националних карти, ове карте би се радиле на регионалном нивоу употребом регионалне функције расподеле што би омогућило државама Панонског басена да успоставе јединствене мере одбране од поплава. На основу угрожених подручја представљених на овим картама вршило би се даље планирање пољопривредне активности, развоја градских и сеоских насеља, изградња саобраћајне инфраструктуре и генерално свих активности које доприносе повезивању становништва и привреде у овом подручју. Неке од мера би биле мере које се морају предузети превентивно и у периоду наиласка великих вода, затим начин институционалног организовања одбране од поплава, дужности, одговорности и овлашћења руководиоца одбране и других лица надлежних за одбрану од поплава. Од велике је важности и успостављање јединствене методологије осматрања и евидентирања хидролошких и других података, прикупљање истих за потребе ефикасног спровођења одбране од поплава на регионалном нивоу. Такође, неопходно је усагласити критеријуме за проглашавање одбране од поплава као и прогнозе, пројекције и јединствено издавање обавештења и упозорења. Анализа великих вода (и

по запремини и по трајању) је само један корак у водопривредним и водотехничким пројектима и студијама који се баве проценом ризика и штета, планирањем система и пројектовањем објеката и мера за заштиту од поплава. Управо она треба да обезбеди меродавне величине за пројектовање или оцену вероватноће појава ризичних догађаја. Ови резултати омогућавају сагледавање ограничења пројектованих објеката, постизање бољих техничких решења у будућим и постојећим објектима, односно да се обезбеди сигурнији живот у срединама угроженим овим појавама. Ово су разлози због којих пројектна решења у великој мери зависе од резултата анализа великих вода која је била главни циљ истраживања у овој дисертацији.

Мере регионалне политике доводе до жељених резултата на неком простору само ако се спроводе на просторним јединицама које су хомогене с обзиром на карактеристике природне средине. Због тога је од кључне важности повезаност рањивости инфраструктуре речних токова са заједничким мерама превенције и приправности за поплаве. Ова дисертација требало би да допринесе бољем упознавању, домаће и стране, научне и стручне јавности са карактеристикама великих вода у регији Панонског басена, док поједини прорачуни представљени у овом раду могу послужити као подлога за бројне међународне хидротехничке и водопривредне пројекте.

ЛИТЕРАТУРА

Acerman, M.C. & Sinclar, C.D. (1986): Classification of drainage basins according to their physical characteristics; an application for flood frequency analysis in Scotland. *Journal of Hydrology*, 84 (3/4), 365-380.

ACWI: Water Information Coordination Program, Advisory Committee on Water Information, <http://acwi.gov/hydrology/Frequency/>.

Adamowski, K. (2000): Regional analysis of annual maximum and partial duration flood data by nonparametric and L-moment methods, *Journal of Hydrology* 229, pp. 219–231.

Amirataee, B., Montaseri, M. (2013): Evaluation of L-moment and PPCC method to determine the best regional distribution of monthly rainfall data: Case study northwest of Iran, *Journal of Urban and Environmental Engineering*, v.7, n.2 p. 247-252.

Ashkar, F. (1980): *Partial duration series models for flood analysis*. PhD thesis, Ecole Polytechnique of Montreal, Montreal, Canada.

Artyushkov, V. E., Baer, A. M. (1984): Mechanism of continental crust subsidence in the Alpine Belt, *Tectonophysics* 108, 193–228.

Báčová Mitková, V., Halmová D. (2014): Joint modeling of flood peak discharges, volume and duration: a case study of the Danube River in Bratislava, *J. Hydrol. Hydromech.*, 62, 2014, 3, 186–196 DOI: 10.2478/johh-2014-0026.

Báčova-Mitkova, V., Onderka, M. (2010) Analysis of Extreme hydrological events on the Danube using the Peak over Threshold Method, *J. Hydrol. Hydromech.*, 58, 2010, 2, 88–101.

Badreldin G. H.H., Ping, F. (2012): Formation of Homogenous Regions for Luanhe Basin – by Using L-Moments and Cluster Techniques, *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 3, No. 2.

Bakonyi, P. (2010): Flood and Drought Strategy of the Tisza River Basin, *Vituki vizgazdalkodasi és környezetvédelmi kutató intézet nonprofit kft.*

Baratti E., Montanari, A., Castellarin, A., Salinas, L.J., Viglione, A., Bezzi, A. (2012): Estimating the flood frequency distribution at seasonal and annual time scales, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, pp. 4651–4660.

Barbalić, D., Petraša, J. (2012): Seasonal Occurrence of Maximum Annual Flows in the Danube River Basin in Croatia, *GRAĐEVINAR* 64/1, 33-38.

Bartoš-Divac, V., Babić-Mladenović, M. (2008): Ekstremne hidrološke situacije na reci Dunav, *Vodoprivreda 2008, vol. 40, br. 1-3, str. 103-113.*

Bates, B.C. (1994): Regionalisation of Hydrological data: A review, *Cooperative researches centre for Catchment Hydrology, Report 94/5.*

Bezak, N., Brilly, M., Šraj, M. (2014): Comparison between the peaks-over-threshold method and the annual maximum method for flood frequency analysis, *Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques, 59 (5), pp.959-977.*

Bhaskar NR, O'Connor CA (1989): Comparison of method of residuals and cluster analysis for flood regionalization. *Journal of Water Resources Planning and Management 115(6): 793–808.*

Bhattarai, P. K. (2005): Flood frequency analysis of Irish river flow data using variants of L-moments, National Hydrology Seminar 2005.

Black AR, Werritty A (1997): Seasonality of flooding: A case study of north Britain. *Journal of Hydrology 195(1–4): 1–25.*

Bobee, B. and Ashkar, F. (1988): The generalized method of moments applied to the log-Pearson 3 distribution. *J. Hydraul. Eng., ASCE, 114(8): 899-909.*

Bogdanov, A., Muratov, M. V. Satski, N. S. (1964): *Tektonika Evropi*. Medžun geol. kongr. Izd. »Nauka« — »Nedra«, 365, 121 si., Moskva.

Borsy Z (1991) Blown Sand Territories in Hungary. *Zeitschrift für Geomorphologie 90 (1–14): 355.*

Burn DH (1989): Cluster analysis as applied to regional flood frequency. *Journal of Water Resources Planning and Management 115(5): 567–582.*

Burn DH (1990a): An appraisal of the “region of influence” approach to flood frequency analysis. *Hydrological Sciences Journal 35(2): 149–165.*

Burn DH (1990b): Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach. *Water Resources Research 26(10): 2257–2265.*

Burn DH, Goel NK (2000): The formation of groups for regional flood frequency analysis. *Hydrological Sciences Journal 45(1): 97–112.*

Castellarin, A., Kohnova, S., Gaal, L., Fleig, A., Salinas, J.L., Toumazis, A., Kjeldsen, T.R., Macdonald, N. (2012): *Review of applied-statistical methods for flood-frequency analysis in Europe*, Извештај за COST Action ES0901, NERC/Centre for Ecology & Hydrology, 122 pp.

Cavadias G.S. (1989): *Regional flood estimation by canonical correlation*. Paper Presented to the Annual Conference of the Canadian Society of Civil Engineering, St. John's, Newfoundland, Canada.

Cavadias G.S. (1990): *The canonical correlation approach to regional flood estimation*. In: Beran MA, Brilly M, Becker A, Bonacci O (Eds.), Proceedings of the Ljubljana Symposium on Regionalization in Hydrology. IAHS Publication No. 191, Wallingford, England, pp. 171–178.

Cavadias G.S., Ouarda T.B.M.J., Bob'ee B., Girard C. (2001): A canonical correlation approach to the determination of homogeneous regions for regional flood estimation of ungauged basins. *Hydrological Sciences Journal* 46(4): 499–512.

Cavoshi-Borujeni, S., Sulaiman, W.N.A. (2009): Development of L-moments based models for Extreme flood events, *Malaysian Journal of Mathematical Sciences* 3 (2): 281-296.

CEDIM Forensic Disaster Analysis Group (FDA). Juni-Hochwasser 2013 in Mitteleuropa – Fokus Deutschland. Geoforschungszentrum GFZ und Karlsruher Institut für Technologie, June 2013.

Centre for Ecology & Hydrology (1999): *Flood Estimation Handbook*.

Choquette, A.F. (1988): *Regionalization of peak discharges for streams in Kentucky*. Water Resources Investigation Report 87-4209. US Geological Survey, Louisville District, Louisville, KY.

Choulakian, V., El-Jabi, N., Moussi, J. (1990): On the distribution of flood volume in partial duration series analysis of flood phenomena. *Stochastic Hydrology and Hydraulics* 4, 217–226.

Clausen, B., & Pearson, C. P. (1995): Regional frequency analysis of annual maximum streamflow drought. *Journal of Hydrology*, 173, 111-130.

Cramér H., Leadbetter M.R. (1967): *Stationary and Related Stochastic Processes - Sample Function Properties and Their Applications*, Wiley.

Cunderlik, J.M., Burn, D.H. (2006a) Switching the pooling similarity distances: Mahalanobis for Euclidean, *Water Resources Research* 42.

Cunderlik, J.M., Burn, D.H. (2006b): Site-focused nonparametric test of regional homogeneity based on flood regime. *Journal of Hydrology* 318: 301–315.

Cunderlik, J.M., Ouarda, T.B.M.J., Bob'ee, B. (2004a): Determination of flood Seasonality from hydrologic records, *Hydrological Sciences Journal* 49(3): 511–526.

Cunderlik, J.M., Ouarda, T.B.M.J., Bob'ee, B. (2004b): On the objective identification of flood seasons, *Water Resources Research* 40.

Cunnane, C. (1979): A note on the Poisson assumption in partial duration series models. *Water Resour. Res.* 15 (2), 489–494.

Cupak, A. (2013): Regionalization of the catchment with use hierarchical cluster analysis method, *Teka Kom. Ochr. Kszt. rod. Przynr. – OL PAN*, 2013, 10, 5–13.

Czaya, E. (1981): *Ströme der Erde. – Verlag für Kunst und Wissenschaft*, Leipzig. 212 p.

Dalen, J. (1987): Algebraic bounds on standardized sample moments, *Statistics and Probability Letters*, 5, 329-31.

Danhelka, J., K. Drbal, M. Brejchova, J. Reidinger (2009): *Where and how to do Preliminary flood risk assessment? Flood mapping must help to answer: the Czech Republic situation*, Flood Mapping Workshop, WG F, Dublin.

DDBRA. (2000): *Danube Delta Biosphere Reserve Authority*, Tulcea, Romania, 25 p.

DeCoursey, G. D. (1973): Application of discriminant analysis in design review, *Water Resources Research*, Volume 9, Issue 1, Pages 93–102.

DIRECTIVE 2000/60/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL, Official Journal of the European Communities, L327/1.

Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks, Official Journal L288, 27-34.

Domroes, M., Kaviani, M., Schaefer, D. (1998): An analysis of regional and interannual precipitation variability over Iran using Multivariate Statistical Methods, *Theoretical and Applied Climatology*, vol.61, pp. 151-159.

Drab, A, and J. Riha (2009): *Implementation of Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council on the assessment and management of flood risks in the Czech Republic*, Working Group F on Floods thematic workshop on Implementation of the Directive 2007/60/EC, Brno.

DTLR (2001): *Planning Policy Guidance Note 25, Development and Flood Risk*, Department for Transport, Local Government and the Regions, London, UK.

Đurković, Z., Haničar, D., Grđan, L., Brezak, S. (2008): *Flood protection experiences on the Drava River basin in Croatia*, Maribor 23-25 September, 2008.

EU WFD, 2002, http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html

European Environmental Agency, (2011): <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/river-floods>

Everitt, B. (1993): *Cluster analysis*, Third edition. Halsted Press, New York.

Fleming, G. (2002): *Flood risk management - Learning to live with rivers*, Thomas Telford Publishing, Thomas Telford Ltd, 1 Heron Quay, London, E14 4JD.

Fovell, R. G., Fovell, M.Y. (1993): Climate zones of the conterminous United States defined using cluster analysis, *Journal of Climate*, 6, 2103 – 2135.

Gavrilović, Lj. (1981): *Poplave u Srbiji u XX veku*, Posebno izanje Srpskog Geografskog društva, Knjiga 52, Beograd.

Glatfelter, D.R. (1984): *Techniques for estimating magnitude and frequency of floods on streams in Indiana*. US Geological Survey, Water Resources Investigations Report 84-4134.

Gong, X. & Richman, M.B. (1995): On the Application of Cluster Analysis to Growing Season Precipitation Data in North East of Rockies, *J. Climate*, 8, 897-931.

Gottschalk, L. (1985): Hydrological regionalization of Sweden, *Hydrological Science Journal*, vol. 30, pp. 65-83.

Greenwood, J. A., Landwehr, J. M., Matalas, N. C., & Wallis, J. R. (1979): Probability weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form, *Water Resources Research*, 15, 1049-1054.

Griffis, V.W & Stedinger, J.R. (2007): Evolution of Flood Frequency Analysis with Bulliten 17, *Journal of Hydrological Engineering*, Vol. 12. No.3., pp. 283-297.

Gubareva, S.T., Gartsman, B.I. (2010): Estimating Distribution Parameters of Extreme Hydrometeorological Characteristics by L-Moment Method, *Water Resources*, Vol. 37, No. 4, pp. 437–445.

Guttman, N.B. (1993): The use of L-moments in the determination of regional precipitation climates, *Journal of Climate*, 6, pp. 2309-2340.

Haile, A. T. (2011): *Regional Flood Frequency Analysis in Southern Africa*. Магистарски рад. Oslo, University of Oslo, Faculty of Mathematics and Natural Sciences: 113 str.

Haktanir, T. (1991): Statistical modeling of annual maximum flows in Turkish rivers, *Hydrological Sciences Journal*, No. 36.

Hall, M.J., Minns A.W., Ashrafuzzaman, A.K.M. (2002): The application of data mining techniques for the regionalization of hydrological variables, *Hydrology and Earth System Sciences* 6(4): 685–694.

Hall, M.J., Minns, A.W. (1999): The classification of hydrologically homogeneous regions. *Hydrological Sciences Journal* 44(5): 693–704.

Hosking J.R.M., (1990): Analysis and Estimation of distributions Using Linear Combinations of Order Statistics, *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, Vol. 52, No. 1, pp. 105-124.

Hosking, J. R. M., and J. R. Wallis (1988): The effect of intersite dependence on regional flood frequency analysis, *Water Resour. Res.*, 24(4), 588-600.

Hosking, J. R. M., J. R. Wallis, and E. F. Wood, (1985): An appraisal of the regional flood frequency procedure in the UK Flood Studies Report, *Hydrol. Sci. J.*, 30(1), 85-109.

Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. (1997): *Regional frequency analysis: an approach based on L-moments*. Cambridge, Cambridge University Press: 224 str.

Houkuna, M., M. Sane, I. Peereboom, and N. Karjalainen (2009): *Cross-border small scale flood mapping for PFRA of the Tana River in Norway and Finland*, Working Group F on Floods thematic workshop on Implementation of the Directive 2007/60/EC, Brno.

Hoyois, Guha-Sapir (2003): *Three decades of floods in Europe: a preliminary analysis of EMDAT data*, Working paper (draft). Brussels, CRED, 2003.

Horvath, F., Royden, L., (1981): Mechanism for the formation of Intra-Carpathian Basins: a review. *Earth Evol. Sci.*, 1, 307-316.

Horvath, F. (1993): Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian Basin, *Tectonoph.* 226, 333-357.

I.E.A. (1977): *Australian Rainfall and Runoff: Flood Analysis and Design*, Institution of Engineers, Australia.

IACWD (1982): *Guidelines for determining flood flow frequency: Bulliten 17B (revised and corrected)*, Interagency Advisory Committee on Water Data, Hydrol. Subcomm., Washington DC.

ICPDR (2002): *Joint Danube Survey*, Technical Report of the International Commission for the Protection of the Danube River, Vienna, 261 pp. incl.

ICPDR (2006): *Annual Report 2006*, Technical Report of the International Commission for the Protection of the Danube River.

ICPDR (2009): *Annual Report 2009*, Technical Report of the International Commission for the Protection of the Danube River.

ICPDR (2010): *Annual Report 2010*, Technical Report of the International Commission for the Protection of the Danube River.

ICPDR (2013): *Annual Report 2013*, Technical Report of the International Commission for the Protection of the Danube River.

IJČ (2011): *Preliminarna procena rizika od poplava na teritoriji Republike Srbije*, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" AD, Beograd.

IJČ (2015): *Strategija upravljanja vodama na teritoriji Republike Srbije – nacrt*, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd.

Interagency Advisory Committee on Water Data (1982): *Flood Flow Frequency*, US.Department of the Interior Geological Survey.

International Sava River Basin Commission (2014): *Preliminary flood risk assessment in the Sava River basin*, Kneza Branimira 29, 10 000 Zagreb, Croatia.

Institute for Hydrology (1999): *Flood Estimation Handbook*, Vol.- total 5 volumes, Natural Environmental Research Council, London, Wallingford, Oxfordshire, UK.

Jakucs, P. (1981): *Növényártársulástan*. In: Hortobágyi Simon T (szerk) *Növényföldrajz, társulástan és ökológia*. Tankönyvkiadó, Budapest, pp 225–265.

Jansky, L., Pachova, I.N., Maurkami, M. (2004): The Danube: a case study of sharing international waters, *Global Environmental Change* 14 (2004) 39–49.

Jingyi, Z. Hall, M.J. (2004): Regional flood frequency analysis for the Gan-Ming river basin in China, *Journal of Hydrology* 296: 98–117.

Jovanović, S., Radić, Z. M. (1985): Regionalna analiza hidroloških parametara, *Vodoprivreda* 17, 93 pp. 3-12.

Kahya, E., Kalayci, S., Pieshota, C.T. (2008): Streamflow Regionalization: Case Study of Turkey, *Journal of Hydrologic Engineering*, Volume 13 Issue 4.

Kalkstein, L., G. Tan, L.G. K., and J. A. Skindlov, (1987): An evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification, *J. Climate Appl. Meteor.*, 26, 717–730.

Kavčič, K. (2013): *Hidrološka regionalizacija verjetnostnih analiz visokovodnih konic v Sloveniji*, Unpublished graduation thesis, University of Ljubljana, Faculty of Civil and Geodetic Engineering, 113 p. (in Slovenian).

Keast, D., Ellison, J. (2013): Magnitude Frequency Analysis of Small Floods Using the Annual and Partial Series, *Water*, No. 5, pp. 1816-1829.

Kite, G.W. (1988): *Frequency and Risk Analysis in Hydrology*, Water Resources Publication, Littleton, CO.

Kolarov, V., Babić Mladenović, M. (2009): Razvoj matematičkog modela za propagaciju poplavnih talasa duž srpskog sektora Dunava, *VODOPRIVREDA 0350-0519*, 41 (2009) 237-239 p. 23-30.

Konecsny, K., Nagy, Z. (2013): Hydrological Analysis of the June 2013 Flood on the Danube along the Hungarian reasc, *RISCURI ŞI CATASTROFE*, NR. XII, VOL. 13, NR. 2/2013.

Kundzewicz, W. Z., Graczyk, D., Maurer, T., Pinskwar, I., Radziejewski, M., Svensson, C., Szwed, M. (2005): Trend detection in river flow series: 1. Annual maximum flow, *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques*, 50(5)

Kundzewicz, W.Z., Kanae, S., Seneviratne, S., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., Mechler, R., Bouwer, M. L., Arnell, N., Mach, K., Muir-Wood, Brakenridge, G. R., Kron, W., Benito, G., Honda, Y., Takahashi, K. and Sherstyukov, B. (2013): Flood risk and climate change: global and regional perspectives, *Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques*, <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2013.857411>.

Laaha, G. & Blöschl, G. (2005): Low flow estimates from short streamflow records—a comparison of methods. *J. Hydrol.* 306 (1/4), 264–286.

Lecce, S.A. (2000): Seasonality of flooding in North Carolina. *Southeastern Geographer* 41(2): 168–175.

Lettenmaier, D. P., J. R. Wallis, and E. F. Wood (1987): Effect of regional heterogeneity on flood frequency estimation, *Water Resour. Res.*, 23(2), 313-323.

Lóczy, D. (2007): *The Danube: Morphology, Evolution and Environmental Issues*, Large Rivers Geomorphology and Management, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, England.

Madsen, H., Pearson, C., Rosbjerg, D. (1997): Comparison of annual maximum series and partial duration series methods for modelin extreme hydrologic events 2. Regional modeling, *Water Resources Research*, Vol. 33, No4, p 759-769.

Masoodian, S. A. (1998): *An analysis of Tempo-Spatial variation or precipitation in Iran*, Ph.D thesis in climatology, University of Isfahan, Iran.

Milas, D. (2012): Izrada hidrografskog atlasa rijeke Drave od rkm 0 do rkm 70, *Hrvatske vode* 20(2012) 81 131-138.

Meunier, M. (2001): Regional flow-duration-frequency model for tropical island of Martinique. *Journal of Hydrology* 247, 31-53.

Mezősi, G. (2017): *The Physical Geography of Hungary*, Springer International Publishing, ISBN 978-3-319-45183-1.

Millington, N., Das, S., Simonovic, S. P. (2011): The Comparison of GEV, Log-Pearson Type 3 and Gumbel Distributions in the Upper Thames River Watershed under Global Climate Models. *Raziskovalno poročilo o vodnih sredstvih*. London, Ontario, Canada, The University of Western Ontario, Department of Civil and Environmental Engineering: 52 str.

Mohd Ariff, N., Jemain, A.A., Abu Bakar, M.A. (2016): Regionalization of IDF Curves with L-Moments for Storm Events, *International Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering Vol:10, No:5, pp.217-223*.

Montanari, A., Koutsoyiannis, D. (2012): A blueprint for process-based modeling of uncertain hydrological systems, *Water Resources Research, Volume 48, Issue 9*.

Mosley, M.P. (1981): Delimitation of New Zealand hydrological regions. *Journal of Hydrology* 49: 173–192.

Nagy, I., Ligetvari, F. and Schweitzer F. (2010): Tisza River Vally: future prospects, *Hungarian Geographical Bulletin* 59 (4) (2010) pp. 361–370.

Nathan, R.J., McMahon, T.A. (1990): Identification of homogeneous regions for the purposes of regionalization, *Journal of Hydrology* 121: 217–238.

Natura 2000 (2009): *European Commission*, June 2009.

Nilson, G. and Andrén, C. (2001): The meadow and steppe vipers of Europe and Asia — the *Vipera (Acridophaga) ursinii* complex. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 47(2–3): 87–267.

Nunez-Galeano L., and Giraldo-Osorio, J.D. (2016): Adaptation of the L-moments method for the regionalization for maximum annual temperatures in Colombia, *Ing. Univ, vol. 20, no. 2, pp. 373-389*.

Nyeko-Ogiramoi, P., Willems, P., Mutua M.F., Moges, S.A. (2012): An elusive search for regional flood frequency estimates in the River Nile basin, *Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 3149–3163*.

Ojha, C.S.P., Berndtsson, R., Bhunya, P. (2008): *Engineering Hydrology*, Oxford University Press, ISBN: 978-0-19-569461-1.

OMSZ = Mersich I (szerk) (2003): *Magyarország éghajlati atlasza*. OMSZ, Budapest.

Ouarda TBMJ, Cunderlik JM, St-Hilaire A, Barbet M, Bruneau P, Bobée B (2006): Data-based comparison of seasonality-based regional flood frequency methods. *Journal of Hydrology* 330(1–2): 329–339.

Ouarda, T.B.M.J., Girard, C., Cavadias, G., Bobée, B. (2001): Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis, *Journal of Hydrology* 254(1–4): 157–173.

Ouarda, T.B.M.J., Hache, M., Bruneau, P., Bobée, B. (2000): Regional flood peak and volume estimation in Northern Canadian Basin, *Journal of Cold Regions Engineering ASCE* 14(4): 176–191.

Pavlić, K. (2016): *Regionalna hidrološka analiza kraškog porečja Kupe*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Pavlović, D., Vukmirović, V. (2010): Statistička analiza maksimalnih kratkotrajnih kiša metodom godišnjih ekstrema, *VODOPRIVREDA 0350-0519*, 42 (2010) 246-248 p. 137-148.

Pekárová P., Halmová D., Bačová Mitková V., Miklánek P., Pekár J., Škoda P. (2013): Historic flood marks and flood frequency analysis of the Danube River at Bratislava, Slovakia, *J. Hydrol. Hydromech.*, 61, 2013, 4, 326–333 DOI: 10.2478/johh-2013-0041.

Pekarova, P. (2009): *Multiannual runoff variability in the upper Danube region*, DrSc. Thesis, Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava.

Perinić, A., Mikac, R., Vitas, P. (2014): Poplave – izazovi koji zahtijevaju promjenu diskursa djelovanja, *Bezbednost 3/2014*, pp. 98-114, UDK – 556.166 (497.5): 355.58.

Petrić, H. (2011): Rijeka Drava i međimursko selo u novome vijeku - primjer Donje Dubrave (18.-20. stoljeće), *Podravina*, 10(20), 38-56.

Pielke, R. A. & Downton, M. W. (2000): Precipitation and damaging floods: trends in the United States, 1932–97. *J. Climate* 13, 3625–3637.

Pilion, J.P., Adamowski, K., Alila, Y. (1991): Regional analysis of annual maxima precipitation using L-moments, *Atmospheric Research*, 27 pp. 81-92.

Pleschko, D. (2009): *Adopting an approach for PFRA in Austria*, Working Group F on Floods thematic workshop on Implementation of the Directive 2007/60/EC, Brno.

Plavšić, J. (2004): *Analiza rizika od poplava pomoću prekidnih slučajnih procesa*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet.

Ponce, V.M., (1989): *Engineering Hydrology Principles and Practices*, Prentice Hall, New Jersey 640 str.

Potter, K. W., and D. P. Lettenmaier (1990): A comparison of regional flood frequency estimation methods using a resampling method, *Water Resour. Res.*, 26(3), 415-424.

Radić, M.Z., Mihailović, V. (2010): Marginalne raspodele dnevnih proticaja na reprezentativnim profilima u Srbiji, *VODOPRIVREDA 0350-0519*, 42 (2010) 243-245 p. 17-38.

Rahman, A.S.; Rahman, A.; Zaman, M.A.; Haddad, K.; Ahsan, A.; Imteaz, M. (2013): A study on selection of probability distributions for at-site flood frequency analysis in Australia. *Nat. Hazards 2013*, doi:10.1007/s11069-013-0775-y.

Rao, A.R., Srinivas, V.V. (2006a): Regionalization of watersheds by hybrid cluster analysis, *Journal of Hydrology 318(1-4)*: 37-56.

Rao, A.R., Srinivas, V.V. (2006b): Regionalization of watersheds by fuzzy cluster analysis. *Journal of Hydrology 318(1-4)*: 57-79.

Rao, R.A. & Srinivas, V.V. (2008): *Regionalization of Watersheds - An Approach Based on Cluster Analysis*, Springer, ISBN: 978-1-4020-6851-5.

Relja, A. (2014): *Neki statistički aspekti prepoznavanja motiva*, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, matematički odsjek, Zagreb.

Ribeiro-Corrêa, B., Cavadias, G.S., Clement, B., Rousselle, J. (1995): Identification of hydrological neighbourhoods using canonical correlation analysis, *Journal of Hydrology 173*: 71-89.

Rostami, R. (2013): Regional Flood Frequency Analysis Based on L-Moment Approach (Case Study West Azarbayjan Basins), *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, Vol. 3. Issue 3:107-133.

Royden, L.H., Horvath, F., Nagymarosy, A., Stegena, L. (1983): Evolution of the Pannonian Basin System, 2. Subsidence and thermal history, *Tectonics*, 2, 91-137.

Sankarasubramanian, A. & Srinivasan, K. (1999): Investigation and comparison of sampling properties of L-moments and conventional moments, *Journal of Hydrology*, 218, pp. 13-34.

Santl, S. and Anzeljc, D. (2009): *Preliminary flood risk assessment, Slovenia*, presentation in Working Group F on Floods thematic workshop on Implementation of the Directive 2007/60/EC, Brno.

Schefer, V. (1960): *A magyar „közbülső tömeg” kérdéséhez.* (Über die Frage des „Zentralmassiv”-s des Karpatenbeckens.) — *Geofizikai Közlemények* 9 (1–2), 55–68. (In Hungarian with German abstract)

Schiller, H., Miklós, D., Sass, J. (2010): *The Danube River and its basin physical characteristics, Water Regime and Water Balance.* In: *Hydrological Processes of the Danube River Basin: Perspectives from the Danubian Countries.*

Sclater, J.G., Royden, L.H., Horvath, F., Burchfiel, B.C., Semcen, S., Stegena, L. (1980): The formation of the Intra-Carpathian basins as determined from subsidence data, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 51, 139-162.

Singh, P.V. (2016): *Handbook of Applied Hydrology, Second Edition*, ISBN: 9780071835091.

Slavin, V.I. (1958): *The Carpathian Pannonian Massif*, *Geol. Sb.* 5:75-84. Lvov,

SNiP 33-01-2003 (2004): *Хидротехничке конструкције, основе прорачуна*, (*Гидротехнические Сооружения Основные положения*), Строительные нормы и правила Российской Федерации, Государственный комитет Российской Федерации, по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (ГОССТРОЙ РОССИИ), Москва.

SP 33-101-2003 (2004): *Одређивање основних рачунских хидролошких карактеристика* (*Определение основных расчетных гидрологических характеристик*), Свод правил по проектированию и строительству, Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищнокоммунальному комплексу (ГОССТРОЙ РОССИИ), Москва.

Šraj, M., Viglione, A., Parajka J., Blöschl, G. (2016): The influence of non-stationarity in extreme hydrological events on flood frequency estimation, *J. Hydrol. Hydromech.*, 64, 2016, 4, 426–437 DOI: 10.1515/johh-2016-0032.

Stedinger, J. R., and L.-H. Lu. (1993): Appraisal of regional and index flood quantile estimators, *Stochastic Hydrol. Hydraul.*, 9(1), 49-75.

Stedinger, J. R., Griffis, V. W. (2008): Flood frequency Analysis in the United States: Time to Update, *Journal of Hydrological Engineering*, 13 (4), pp. 199-204.

Stedinger, J.R., Vogel, R.M., Foufoula-Georgiou, E. (1993): *Frequency analysis of extreme events*. In: Maidment, D. (Ed.), *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, New York (Chapter 18).

Szalai, T. (1961): *A Tisia és a Pannonikum belsőhegysége*. (Die Tisia und das Zwischengebirge des Karpaten beckens.) — *Földrajzi Értesítő* 10 (3), 335–355. (In Hungarian with German abstract).

Tallaksen, L.M. (2000): *Streamflow drought frequency analysis*. In J.V. Vogt & F. Somma (eds), *Drought and Drought Mitigation in Europe*. Netherlands: Springer Science+Business Media Dordrecht.

Tallaksen, L.M., Madsen, H. & Clausen, B. (1997): On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume, *Hydrological Science Journal*, 42(1): 15-33.

Tasker, G.D. (1980): Hydrologic regression with weighted least squares, *Water Resources Research* 16(6): 1107–1113.

Tasker, G.D. (1982): Comparing methods of hydrologic regionalization, *Water Resources Bulletin* 18(6): 965–970.

Thomas, D.M., Benson, M.A. (1970): *Generalization of streamflow characteristics from drainage basin characteristics*, US Geological Survey Water-Supply Paper 1975, US Government Printing Office, Washington, DC.

Todorović, P. (1970): On some problems involving random number of random variables, *Annals of Mathematical Statistics*, 41(3): 1059-1063.

Todorović, P. & E. Zelenhasić, E. (1970): A stochastic model for flood analysis, *Water Resources Research*, 6(6): 1641-1648.

Todorović, P., Rousselle, J. (1971): Some Problems of Flood Analysis, *Water Resources Research*, Volume 7, Issue 5, Pages 1144–1150.

Trninić, D. (1997): *Hydrological analysis of high flows and floods in the Sava River near Zagreb (Croatia)* Destructive Water: Water-Caused Natural Disasters, their Abatement and Control (Proceedings of the Conference held at Anaheim, California, June 1996), IAHS Publ. no. 239, 1997.

Trninić, D., Bošnjak, T. (2009): Karakteristični protoci Save kod Zagreba, *Hrvatske vode* 17(2009) 69/70 257-268.

United Nations Development Programme (2014): *Review of the implementation of OSCE Commitments in the field of Disaster Risk Reduction by UNDP*, Organization for Security and Co-operation in Europe.

UNESCO-WMO (2012): *International Glossary of Hydrology*, WMO-No. 38, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2012 (ISBN 978-92-3-001154-3)

Vadasz, E. (1960): *Magyarország földtana*, Akadémia Kiadó, Budapest, 646 p

Vlada Republike Srbije (2011): *Nacionalna strategija za zaštitu i spasavanje u vanrednim situacijama*, Službeni glasnik Republike Srbije, br. 86/2011.

Vogel R.M., & Fennessey N.M. (1993): L-moment Diagrams Should Replace Product Moment Diagrams, *Water Resources Research*, vol. 29, NO. 6, pp. 1745-1752.

Wallis, J. R., and Wood, E.F. (1985): Relative accuracy of log Pearson III procedures, *J.Hydraul. Eng.*, 111(7), 1043-1056.

Wallis, J.R. (1989): *Regional frequency studies using L-moments*, IBM Res. Rep. R.C. 14597, 17 pp.

Wandle, S.W. Jr. (1977): *Estimating the magnitude and frequency of floods on natural-flow streams in Massachusetts*, US Geological Survey Water Resources Investigations Report, pp. 77–39.

Water Resources Council (1967): *A uniform technique for determining flood flow frequencies*, Bulletin No. 15, 15 pp., Washington, D.C.

Wilks, D.S., (2006): Statistical methods in the atmospheric sciences, *International Geophysics Series*, 91. 630.

Wiltshire, S.E. (1986): Regional flood frequency analysis II, Multivariate classification of drainage basins in Britain, *Hydrological Sciences Journal* 31(3): 335–346.

WMO (1969): *Estimation of maximum floods: report of a working group of the Commission of Hydrometeorology*, World Meteorological Organization.

WMO (1994): *The Guide to Hydrological Practices (WMO No.168)*, Fifth edition, WMO-No. 168, Geneva.

WMO (2011): *Manual on flood forecasting and warning*, WMO-No. 1072.

Yue, S., Ourada, T.B.M.J., Bobee, B., Legendre, P., Bruneau, P. (1999): The Gumbel mixed model for flood frequency analysis, *Journal of Hydrology* 226 pp. 88–100.

Zagoroff, S. D., Vegh, J., Bilimovich, A. D. (1955): *The Agricultural Economy of the Danubian Countries, 1935-45*, Stanford University Press, Stanford, California.

Zelenhasić, E. & Salvai, A. (1987): A method of streamflow drought analysis, *Water Resources Research*, 23(1): 156-168.

Zhang, J., Hall, M.J. (2004): Regional flood frequency analysis for the Gan-Ming River basin in China, *Journal of Hydrology* 296 (2004) 98–117.

Zhang, Q., Liu, C., Xu, C., Xu, Y., Jing, T. (2006): Observed trends of annual maximum water level and streamflow during past 130 years in the Yangtze River basin, China, *Journal of Hydrology* 324, pp. 255–265.

Zrinji Z, Burn DH (1994): Flood frequency analysis for ungauged sites using a region of influence approach, *Journal of Hydrology* 153: 1–21.

Бабић-Младеновић, М., Коларов, В. (2015): Смернице за унапређење заштите од поплава у Србији, *VODOPRIVREDA 0350-0519, Vol. 47 (2015) No. 276-278 p. 235-242.*

Бијелић, М., Лазаревић, М. (2015): *Финансијски аспекти елементарних непогода - Студија случаја поплаве у Србији 2014*, Канцеларија Програма Уједињених нација за Развој (UNDP) у Србији.

Благојевић, Б., Михаиловић, В., Плавшић, Ј. (2014): Статистичка анализа великих вода на профилима хидролошких станица: Потреба за променом приступа, *Водопривреда, 46, n.199-209.*

Брозовић, Д., Ковачец, А., Равлић, С. (2009): *Хрватска енциклопедија*, Лексикографски завод Мирослав Крлежа, Загреб.

Букуров, Б. (1967): *Географске области СФР Југославије*, Институт за Географију, ПМФ, Нови Сад.

Влада Републике Србије, Министарство пољопривреде и заштите животне средине (2015): *Стратегија управљања водама на територији Републике Србије* *Анализе и Истраживања*, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд.

Влада Републике Србије, (2011): *Законо ванредним ситуацијама*, Сл. Гласник РС, бр. 111/2009, 92/2011 и 93/2012.

Гавриловић, Љ., Дукић, Д. (2002): *Реке Србије*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд.

Давидовић, Р. (1999): *Регионална географија. Књ. 1, Географске карактеристике Европе*, Нови Сад: Природно-математички факултет, Институт за географију.

Дукић, Д. (1968): *Драва*, стр. 45-55. *Хидрографски преглед*, УДК: 556.53(497.1)(045).

Жугај, Р. (2000): *Хидрологија*, Свеучилиште у Загребу, Рударско-геолошко-нафтни факултет, Загреб.

Жугај, Р. (2009): *Хидрологија за Агроекологе*, Свеучилиште у Загребу, Агрономски факултет, Загреб.

- Жугај, Р. (2010): *Велике воде малих сливова*, Загреб.
- Жујовић, Ј. (1923): *Опита геологија*, Државна штампарија Краљевине Срба, Хрвата и Словенаца, Београд.
- Зелехнасић, Е. (1997): *Стохастичка хидрологија*, Пан.меркур, Нови Сад.
- Јовановић, М. (2007): Заштита насељених подручја од поплава помоћу ретензионих басена, *Vodoprivreda*, 229-230, 275-290.
- Јовановић, М. (2009): *Геонаслеђе лесних профила у Војводини*, ДМИИЗГ „Бранислав Букуров“, Нови Сад.
- Јовановић, С. (1977): *Примена метода математичке статистике у Хидрологији*, Грађевински факултет у Београду – Центар за умножавање Грађевинског факултета, Београд.
- Коларов, В., Бабић Младеновић, М. (2010): Подаци за израду прелиминарне процене ризика од поплава на територији Републике Србије, *Водопривреда 0350-0519*, 42, 79-86.
- Куспулић, Н., Оскоруш, Д., Вујновић, Т. (2014): Једноставна истина – риједак хидролошки догађај, *Грађевинар 66*, 653-661.
- Магрис, К. (1986): *Дунав*, Откровење, Београд.
- Маркуш, М. (2006): Анализа промена интезитета поплава на малим равничарским сливовима у североисточном Илиноису, *VODOPRIVREDA 0350-0519*, 38 (2006) 219-221 p. 131-140 .
- Маровић, М. (2001): *Геологија Југославије*, Рударско-Геолошки факултет, Универзитет у Београду.
- Милинковић, Ј. (2015): *Дунав као саобраћајна артерија и осовина развоја у Републици Србији*, Докторска дисертација, Департман за Географију, Туризам и Хотелијерство, Универзитет у Новом Саду.
- Павић, Д. (2009): Термички режим воде и режим леда на реци Тиси у Србији, *Zbornik Geografskog fakulteta, Beograd*, стр. 35-46.
- Павловић, Д. (2013): *Моделирање стохастичке структуре карактеристика великих вода добијених из серија пикова изнад прага*, Докторска дисертација, Грађевински факултет, Београд.
- Пантелић-Миралем, С. (2015): *Одбрана од поплава*, Инжињерска Комора Србије, Београд, 16. Децембар, 2015.

Петровић-Гајић, Д. (2008): Регионална сарадња у Подунављу и стратегија Србије. Међународни научни форум „Дунав-река сарадње“, Београд.

Прохаска, С. (2003): *Хидрологија 1*, Рударско-геолошки факултет, Београд.

Прохаска, С. (2006): *Хидрологија 2*, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд.

Прохаска, С., Илић, А. (2010): Нова метода за дефинисање вишеструке коинциденције поплавних таласа на сложеним системима, *ВОДОПРИВРЕДА*, 0350-0519, 42, 125-135.

Плавшић, Ј. (2015): *Стохастичка хидрологија – преглед теорије уз вежбе*, Универзитет у Београду – Грађевински факултет.

Радић, М. З., Михаиловић В., Плавшић, Ј. (2012): *Упоредна анализа статистичких метода за прорачун великих вода*, Саветовање СДХИ и СДХ – Доњи Милановац, Србија.

Савић, С. (2009): *Кретање екстремних температура ваздуха на подручју Војводине у периоду 1951-2000*, Докторска дисертација у рукопису, Природно-математички факултет, Нови Сад.

Стојић, Н. (2009): Утицај поплава на мостове, грађевинско-архитектонски факултет у Нишу, *Наука+пракса*, 12.1/2009.

Стојсављевић, Р. (2015): *Детекција и анализа климатских региона у Србији*, Докторска дисертација, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за географију-туризам и хотелијерство.

Тепавчевић, А. И Лужанин, З. (2006): *Математичке методе у таксономији*, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за математику и информатику.

Урошев, М. (2016): *Хидролошке суше у сливу Велике Мораве*, Докторска дисертација, Универзитет у Новом Саду.

Штрбац, С. (2014): *Садржај и мобилност тешких метала и органских једињења у екосистему реке Тисе*, Докторска дисертација, Универзитет у Београду.

ПРИЛОЗИ

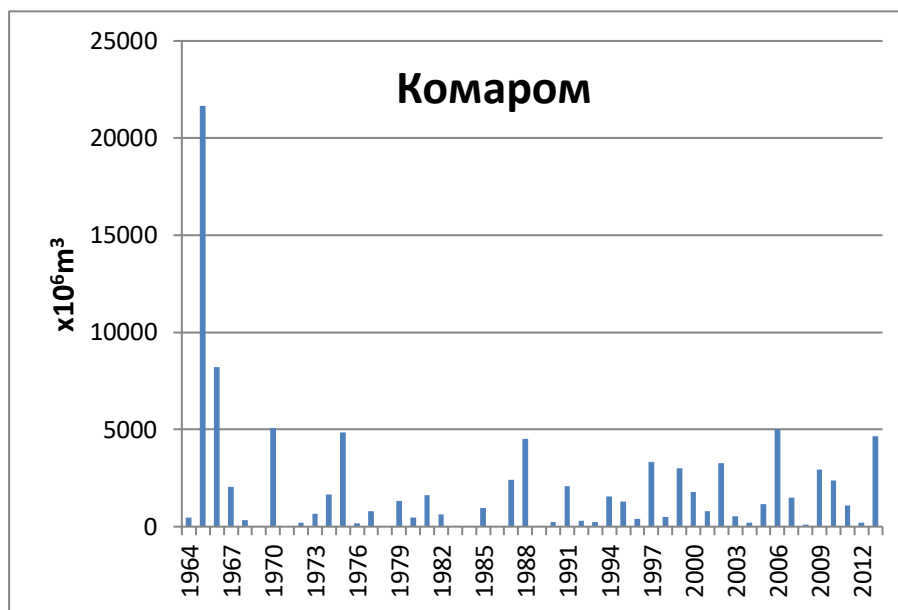
ПРИЛОГ I



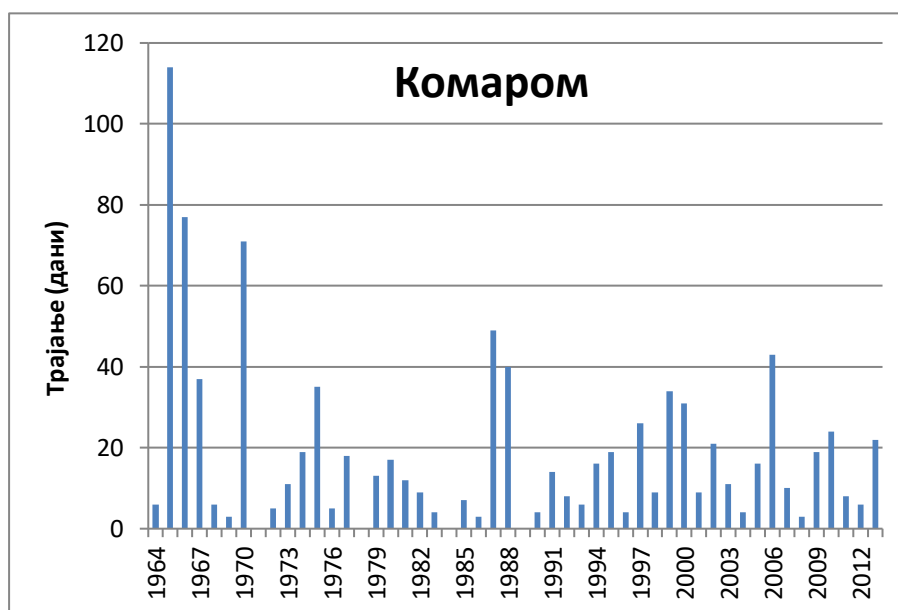
Прилог I 1: Запремине великих вода Дунава код станице Братислава за период 1964-2013.



Прилог I 2: Трајање великих вода Дунава код станице Братислава за период 1964-2013.



Прилог I 3: Запремина великих вода Дунава код станице Комаром за период 1964-2013.



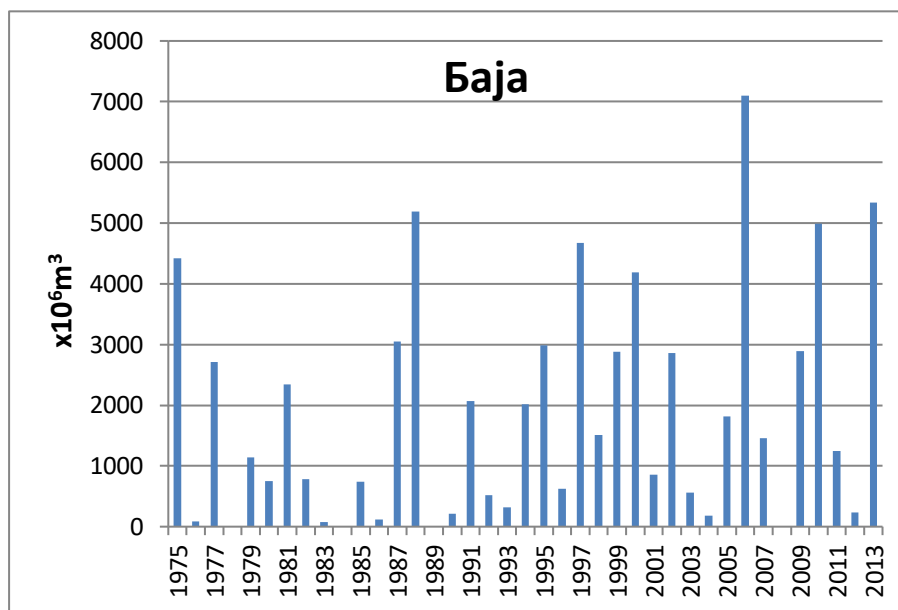
Прилог I 4: Трајање великих вода Дунава код станице Комаром за период 1964-2013.



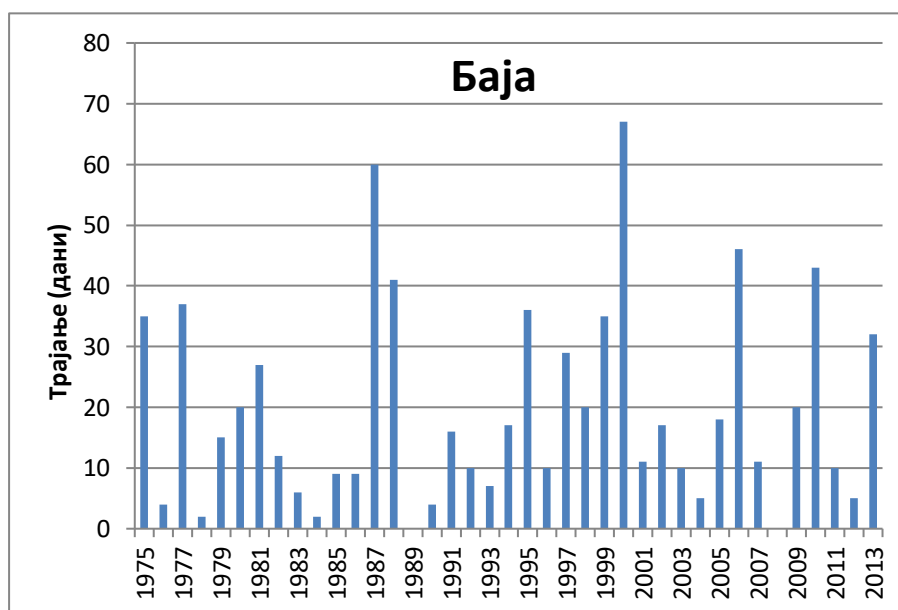
Прилог I 5: Запремине великих вода Дунава код станице Будимпешта за период 1964-2013.



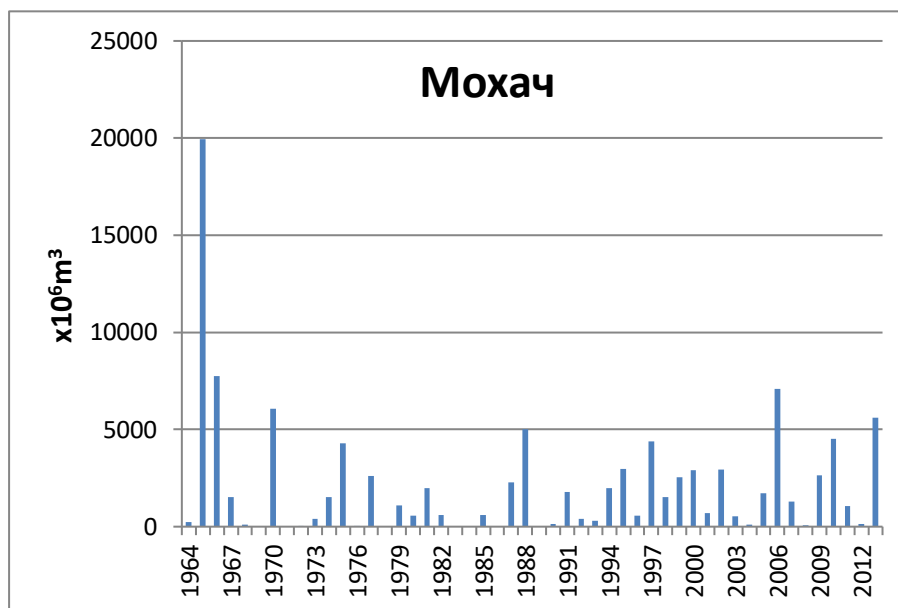
Прилог I 6: Трајање великих вода Дунава код станице Будимпешта за период 1964-2013.



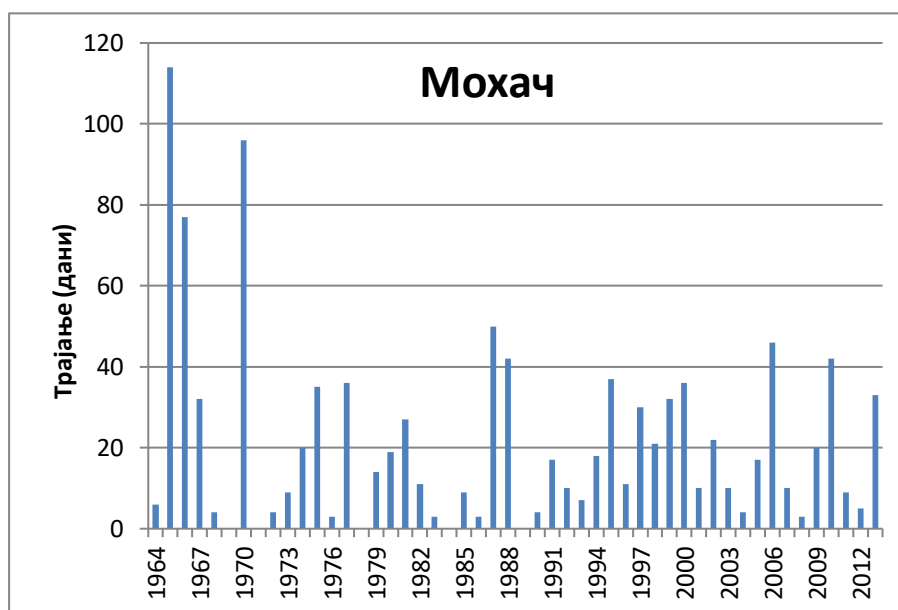
Прилог I 7: Запремине великих вода Дунава код станице Баја за период 1964-2013.



Прилог I 8: Трајање великих вода Дунава код станице Баја за период 1964-2013.



Прилог I 9: Запремине великих вода Дунава код станице Мохач за период 1964-2013.



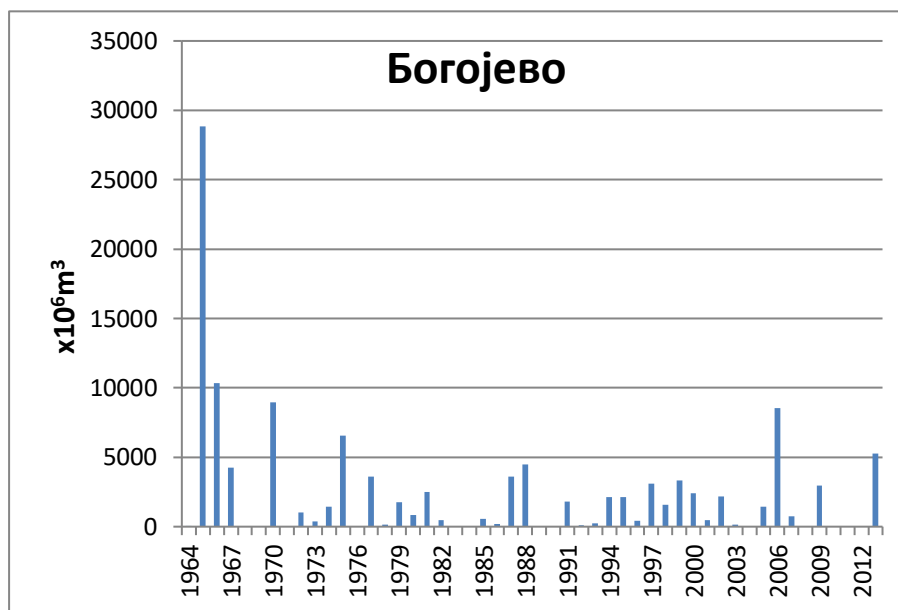
Прилог I 10: Трајање великих вода Дунава код станице Мохач за период 1964-2013.



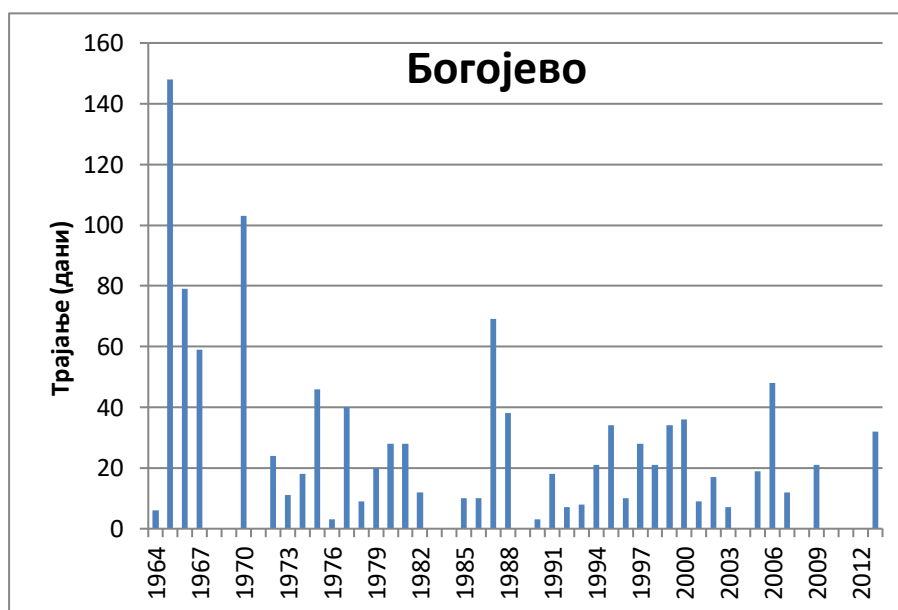
Прилог I 11: Запремине великих вода Дунава код станице Бездан за период 1964-2013.



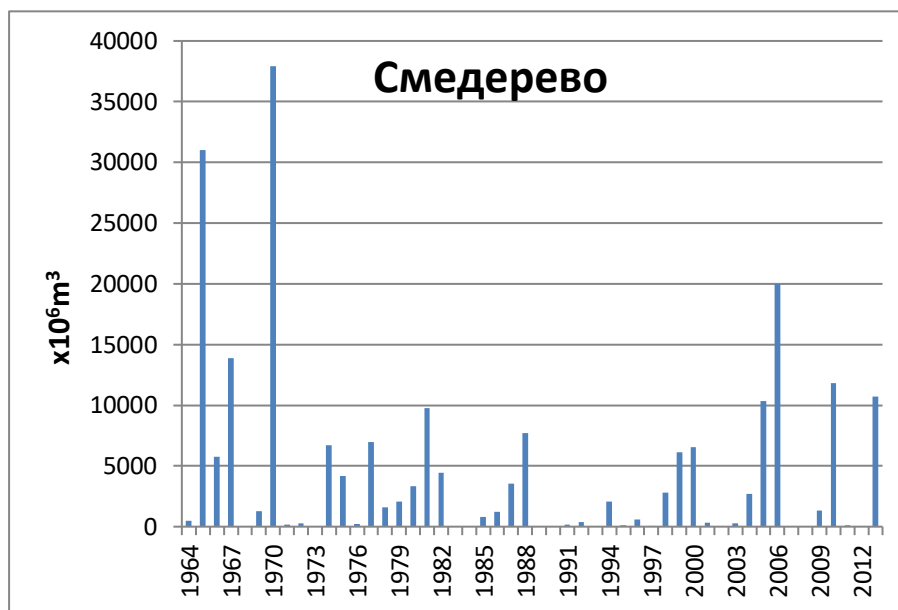
Прилог I 12: Трајање великих вода Дунава код станице Бездан за период 1964-2013.



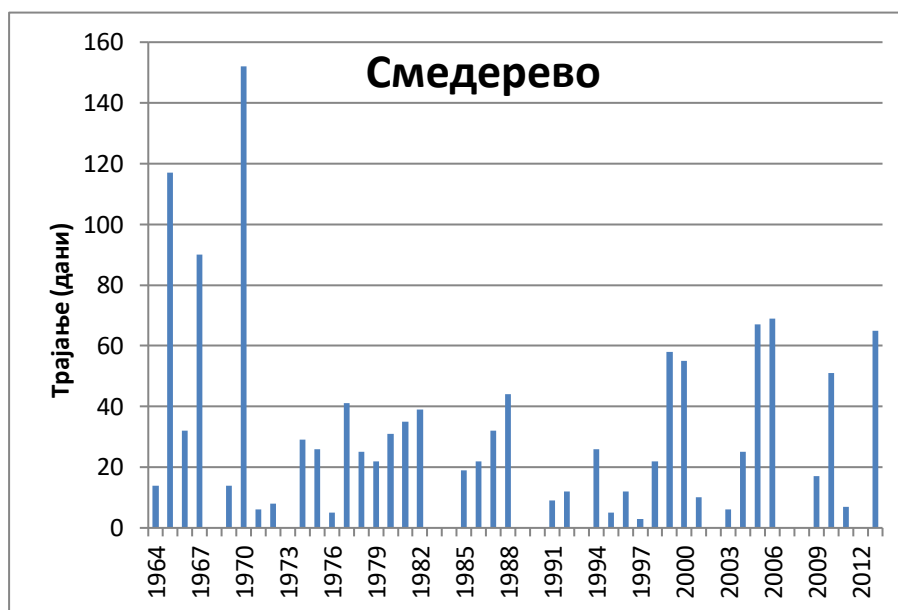
Прилог I 13: Запремине великих вода Дунава код станице Богојево за период 1964-2013.



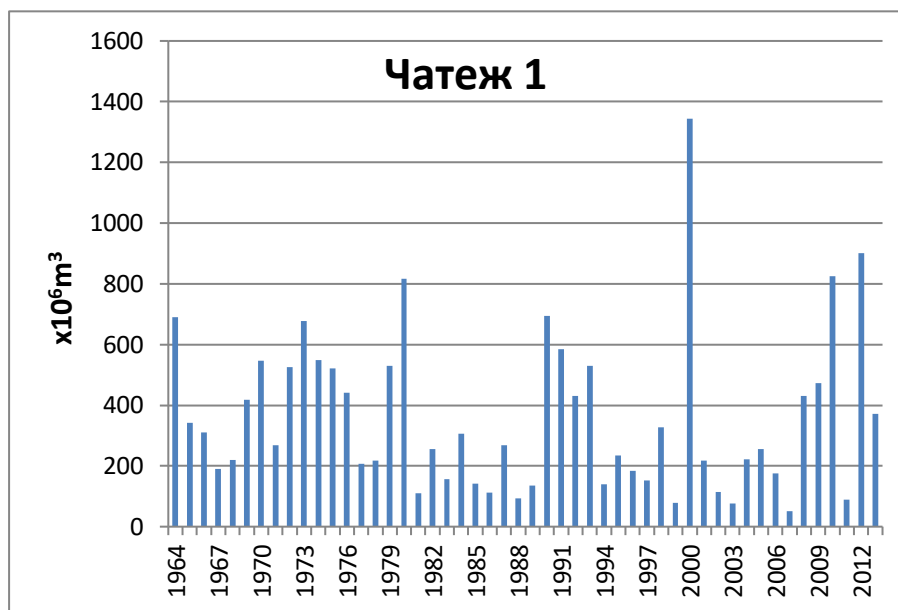
Прилог I 14: Трајање великих вода Дунава код станице Богојево за период 1964-2013.



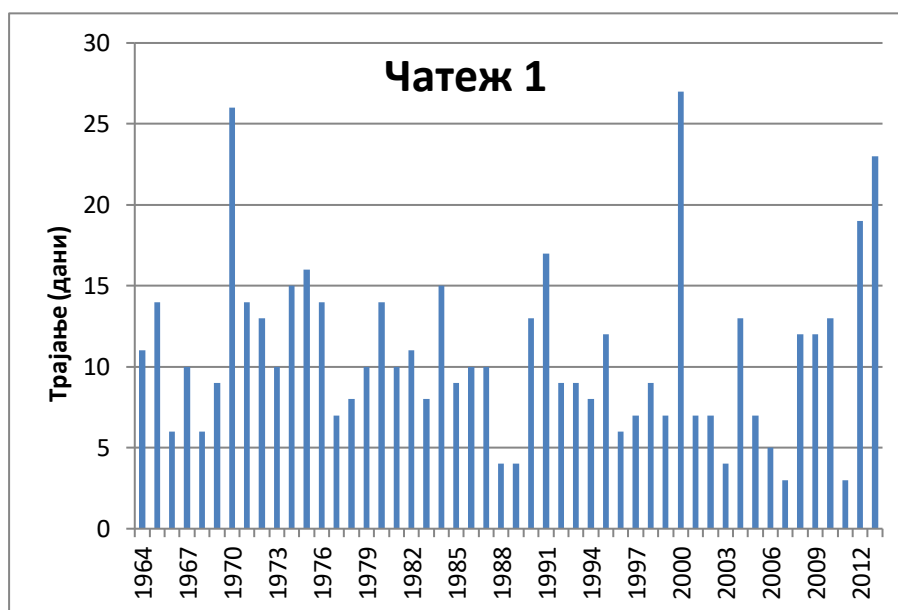
Прилог I 15: Запремине великих вода Дунава код станице Смедерево за период 1964-2013.



Прилог I 16: Трајање великих вода Дунава код станице Смедерево за период 1964-2013.



Прилог I 17: Запремине великих вода Саве код станице Чатеж 1 за период 1964-2013.



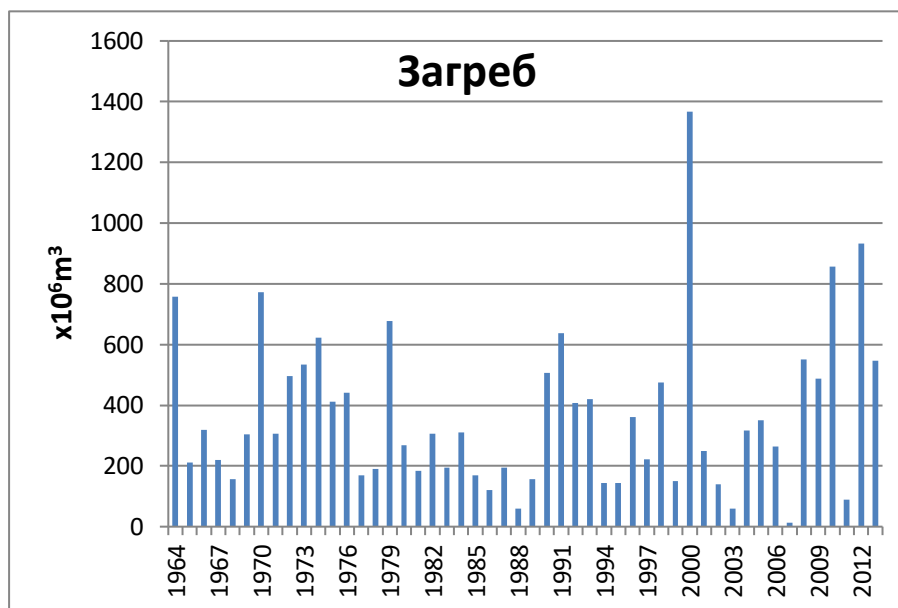
Прилог I 18: Трајање великих вода Саве код станице Чатеж 1 за период 1964-2013.



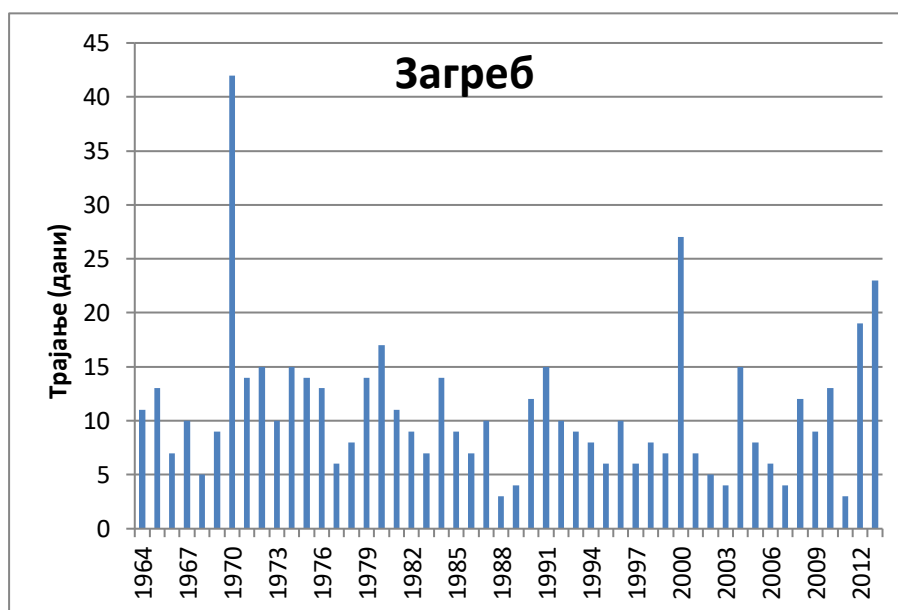
Прилог I 19: Запремине великих вода Саве код станице Подсусед жичара за период 1964-2013.



Прилог I 20: Трајање великих вода Саве код станице Подсусед жичара за период 1964-2013.



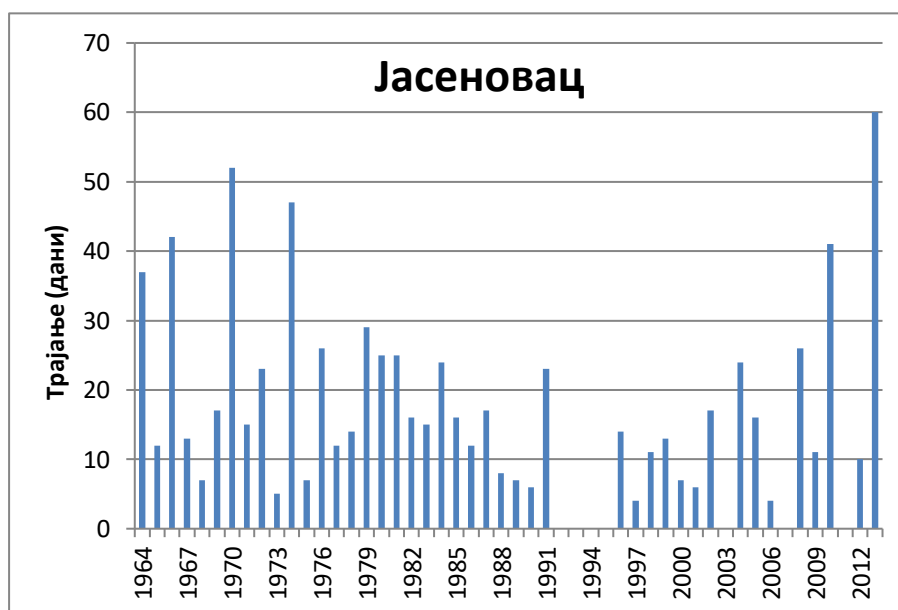
Прилог I 21: Запемине великих вода Саве код станице Загреб за период 1964-2013.



Прилог I 22: Трајање великих вода Саве код станице Загреб за период 1964-2013.



Прилог I 23: Запремине великих вода Саве код станице Јасеновац за период 1964-2013.



Прилог I 24: Трајање великих вода Саве код станице Јасеновац за период 1964-2013.



Прилог I 25: Запремине великих вода Саве код станице Жупања степенице за период 1964-2013.



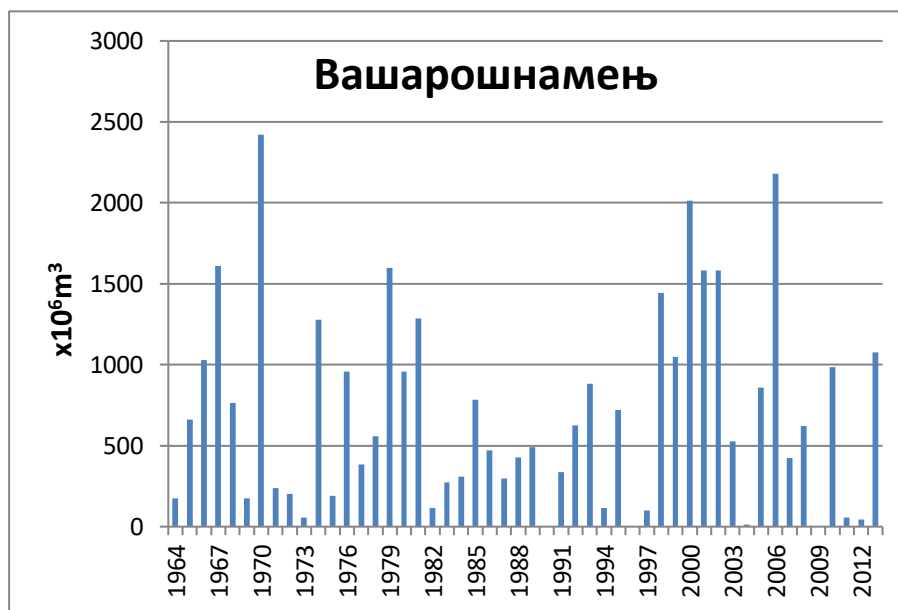
Прилог I 26: Трајање великих вода Саве код станице Жупања степенице за период 1964-2013.



Прилог I 27: Запремине великих вода Саве код станице Сремска Митровица за период 1964-2013.



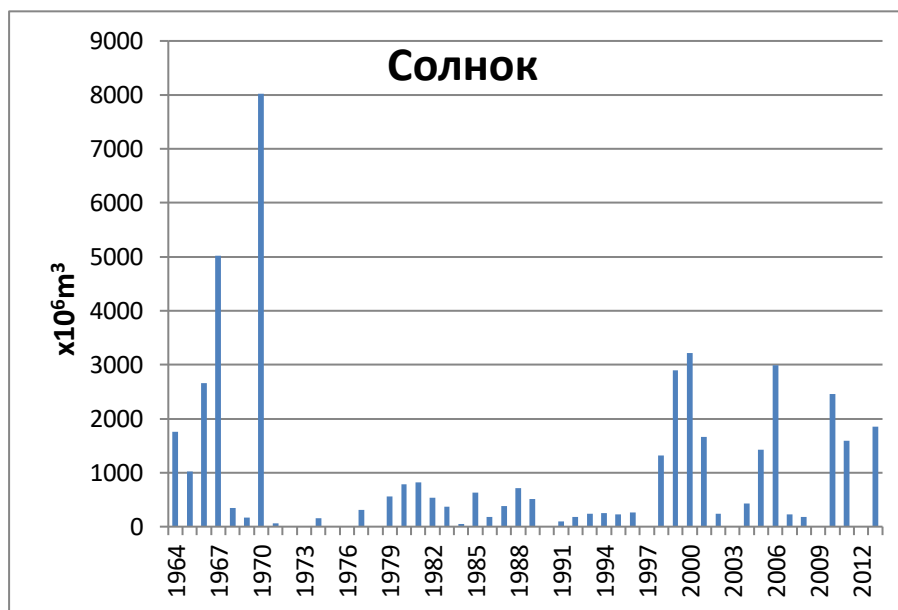
Прилог I 28: Трајање великих вода Саве код станице Сремска Митровица за период 1964-2013.



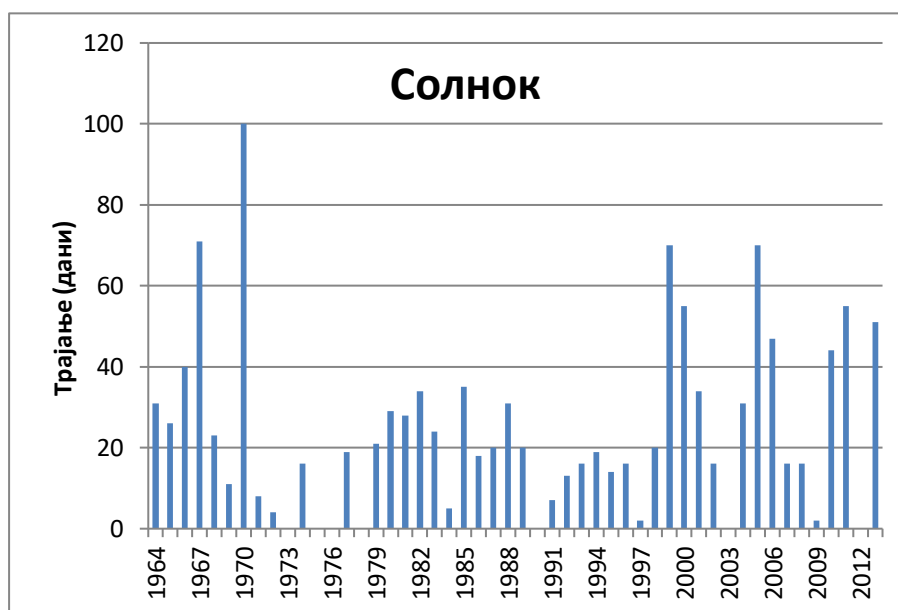
Прилог I 29: Запремине великих вода Тисе код станице Вашарошнамењ за период 1964-2013.



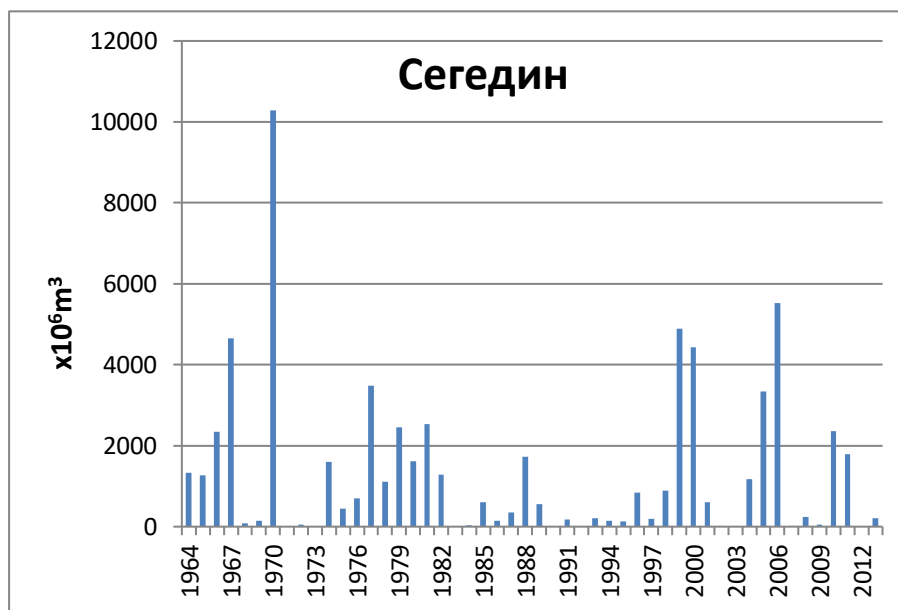
Прилог I 30: Трајање великих вода Тисе код станице Вашарошнамењ за период 1964-2013.



Прилог I 31: Запремине великих вода Тисе код станице Солнок за период 1964-2013.



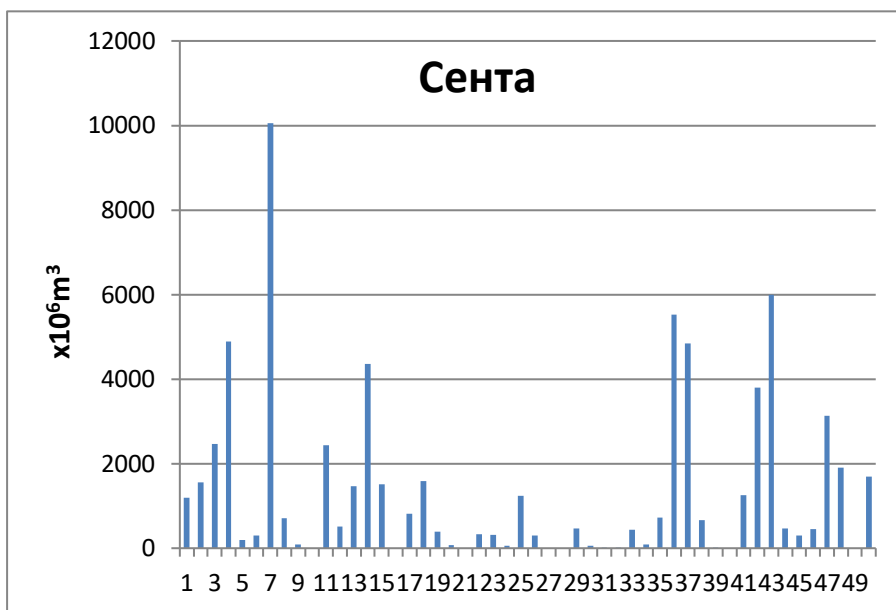
Прилог I 32: Трајање великих вода Саве код станице Солнок за период 1964-2013.



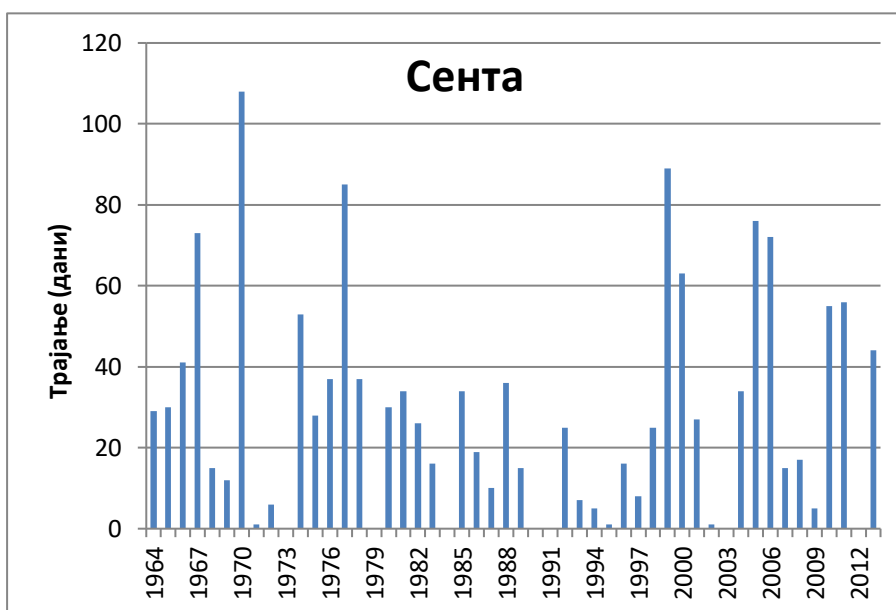
Прилог I 33: Запремине великих вода Тисе код станице Сегедин за период 1964-2013.



Прилог I 34: Трајање великих вода Тисе код станице Сегедин за период 1964-2013.



Прилог I 35: Запремине великих вода Тисе код станице Сента за период 1964-2013.



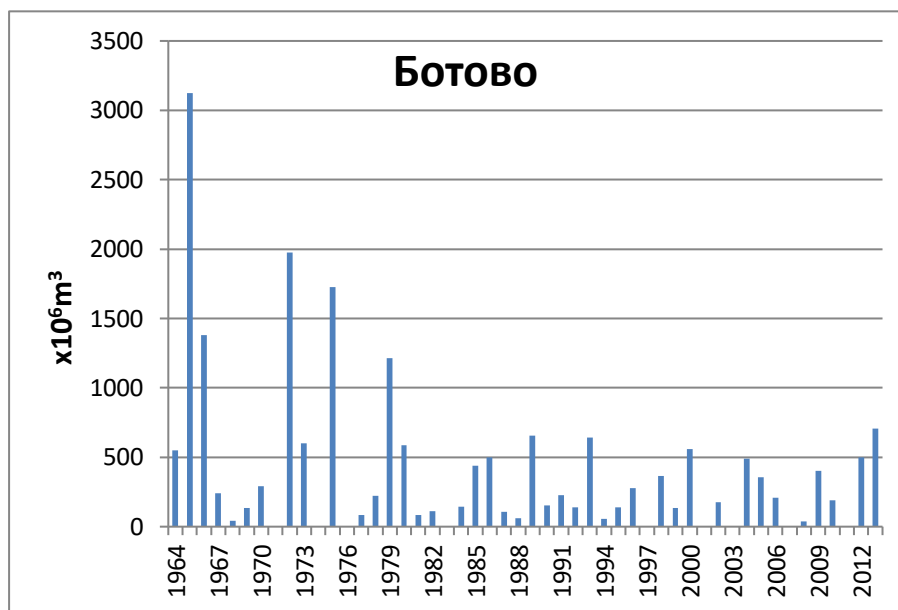
Прилог I 36: Трајање великих вода Тисе код станице Сента за период 1964-2013.



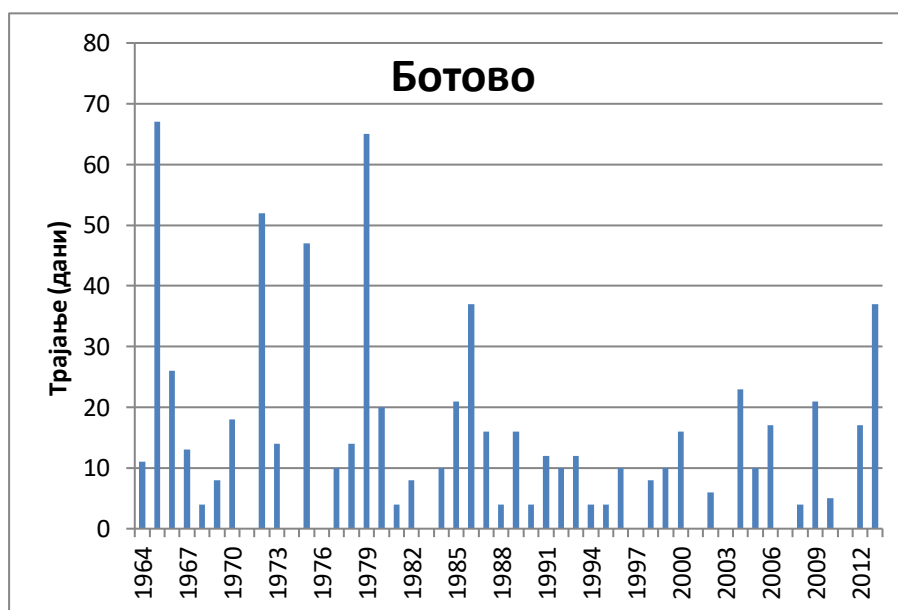
Прилог I 37: Запремине великих вода Драве код станице Доња Дубрава за период 1964-2013.



Прилог I 38: Трајање великих вода Драве код станице Доња Дубрава за период 1964-2013.



Прилог I 39: Запремине великих вода Драве код станице Ботово за период 1964-2013.



Прилог I 40: Трајање великих вода Драве код станице Ботово за период 1964-2013.



Прилог I 41: Запремине великих вода Драве код станице Доњи Михољац за период 1964-2013.



Прилог I 42: Трајање великих вода Драве код станице Доњи Михољац за период 1964-2013.

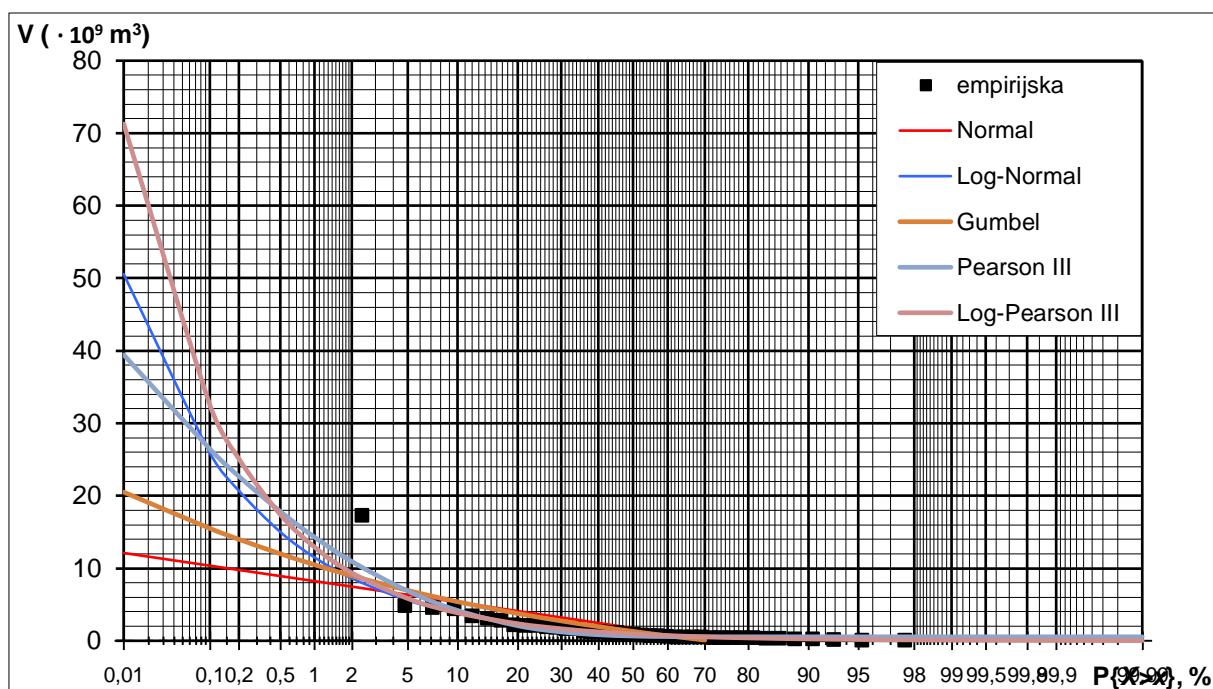


Прилог I 43: Запемине великих вода Драве код станице Терезино поље за период 1964-2013.

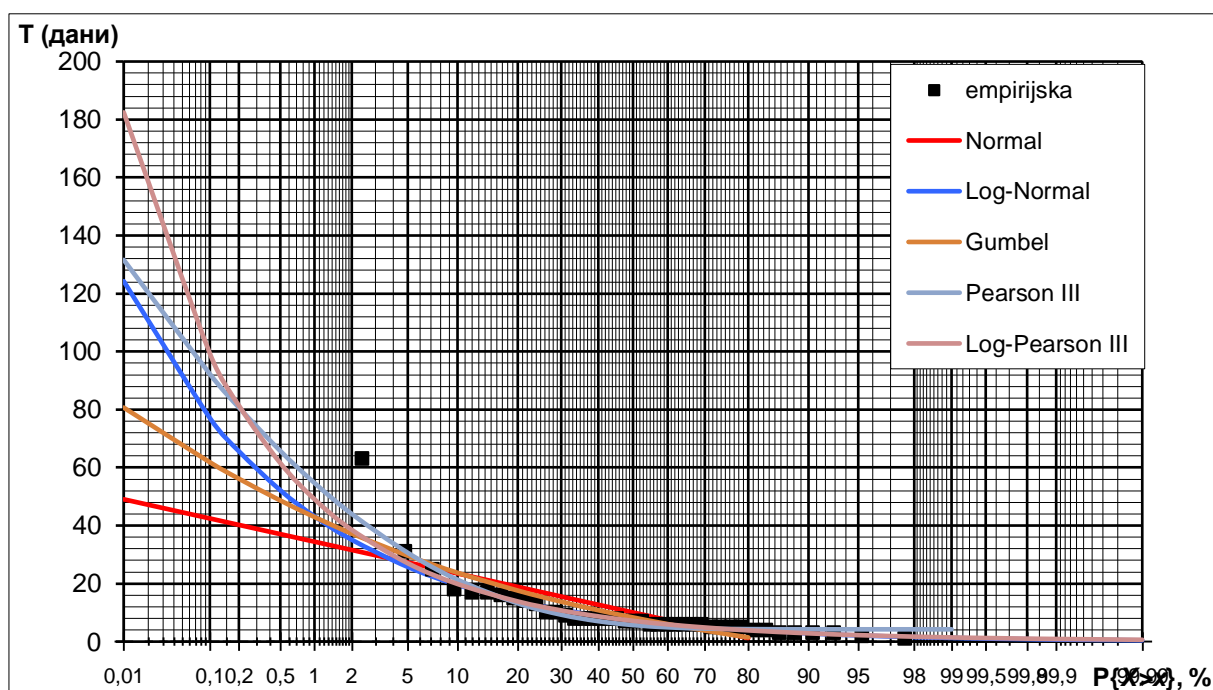


Прилог I 44: Трајање великих вода Драве код станице Терезино поље за период 1964-2013.

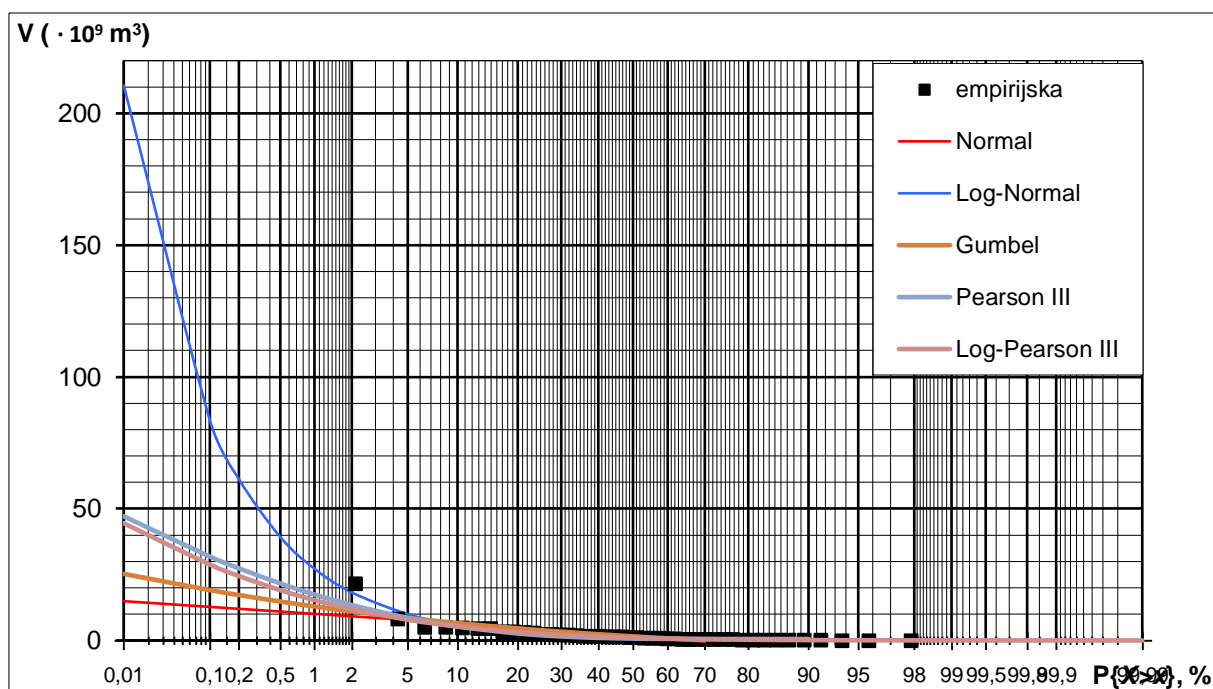
ПРИЛОГ II



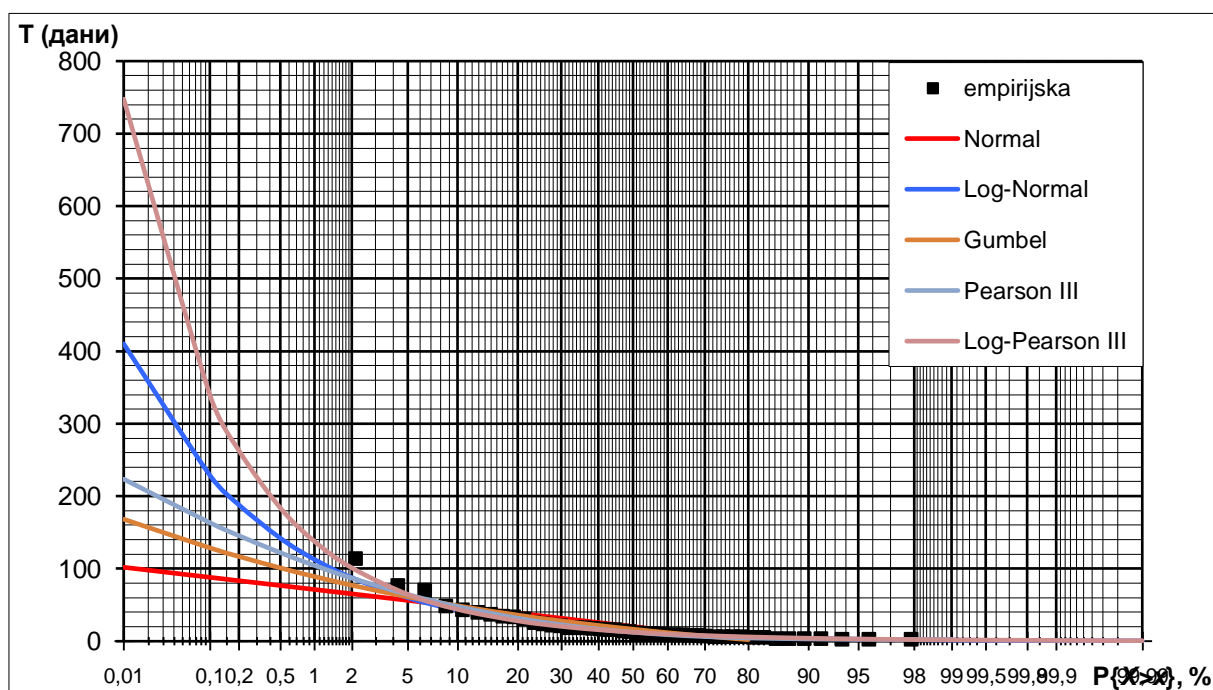
Прилог II 1 Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Дунаву код Братиславе



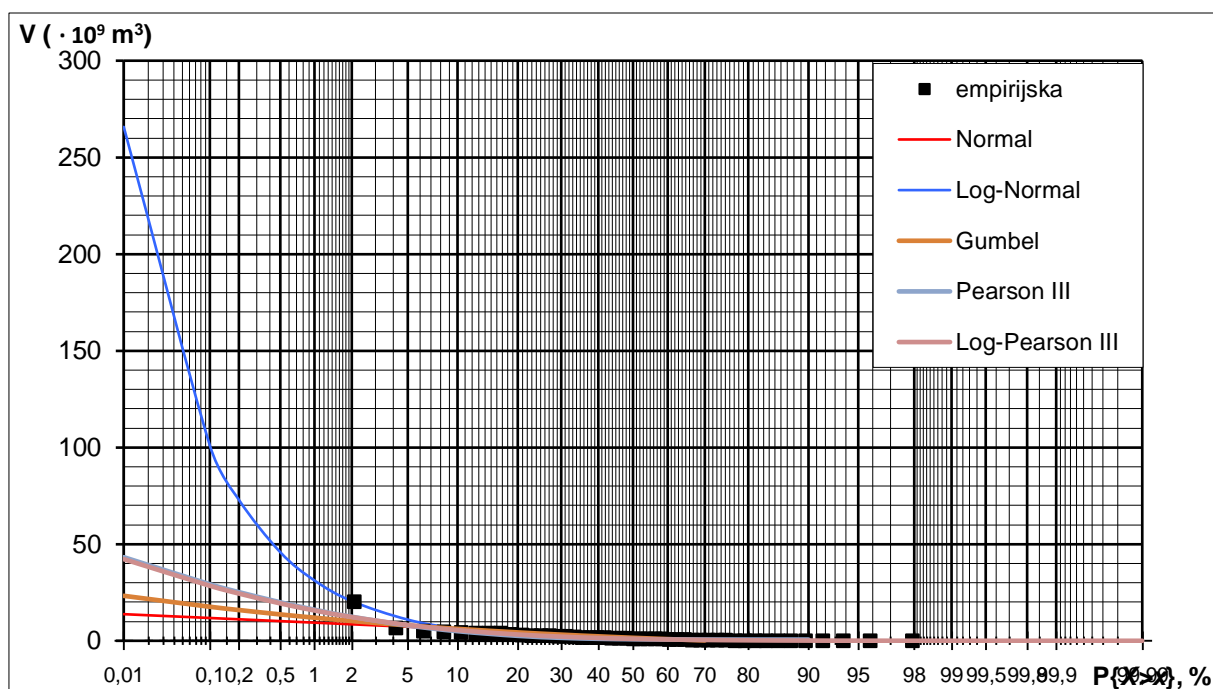
Прилог II 2. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Дунаву код Братиславе



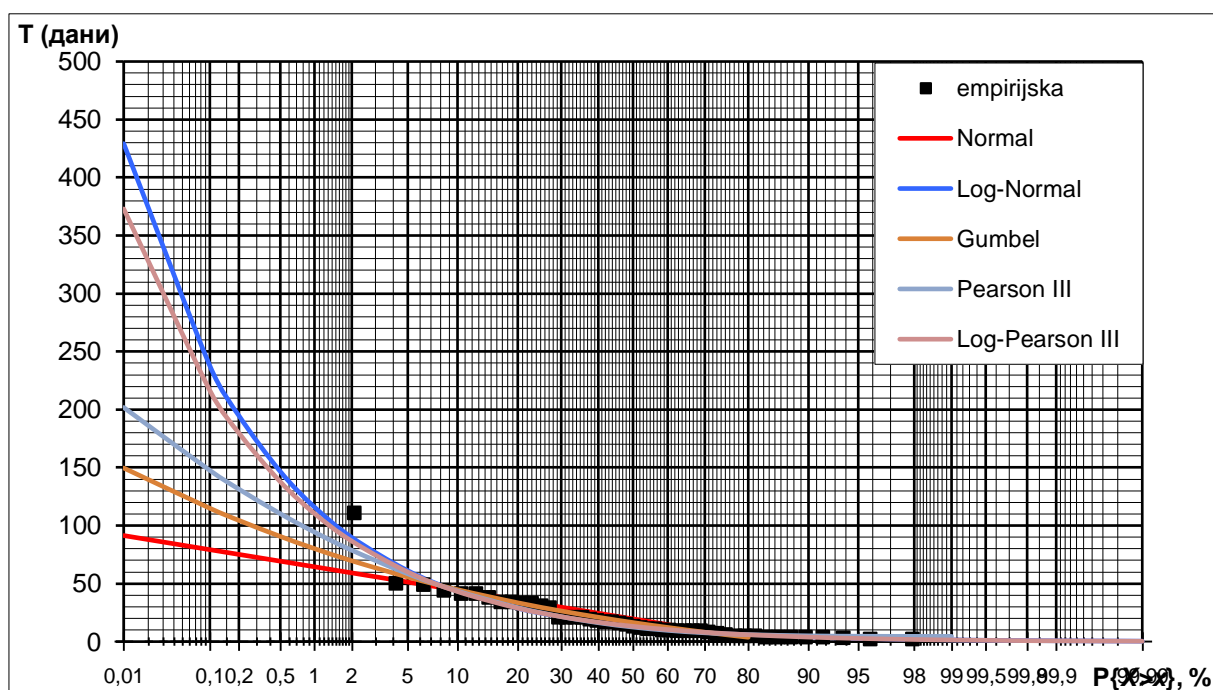
Прилог II 3. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Дунаву код Комарома



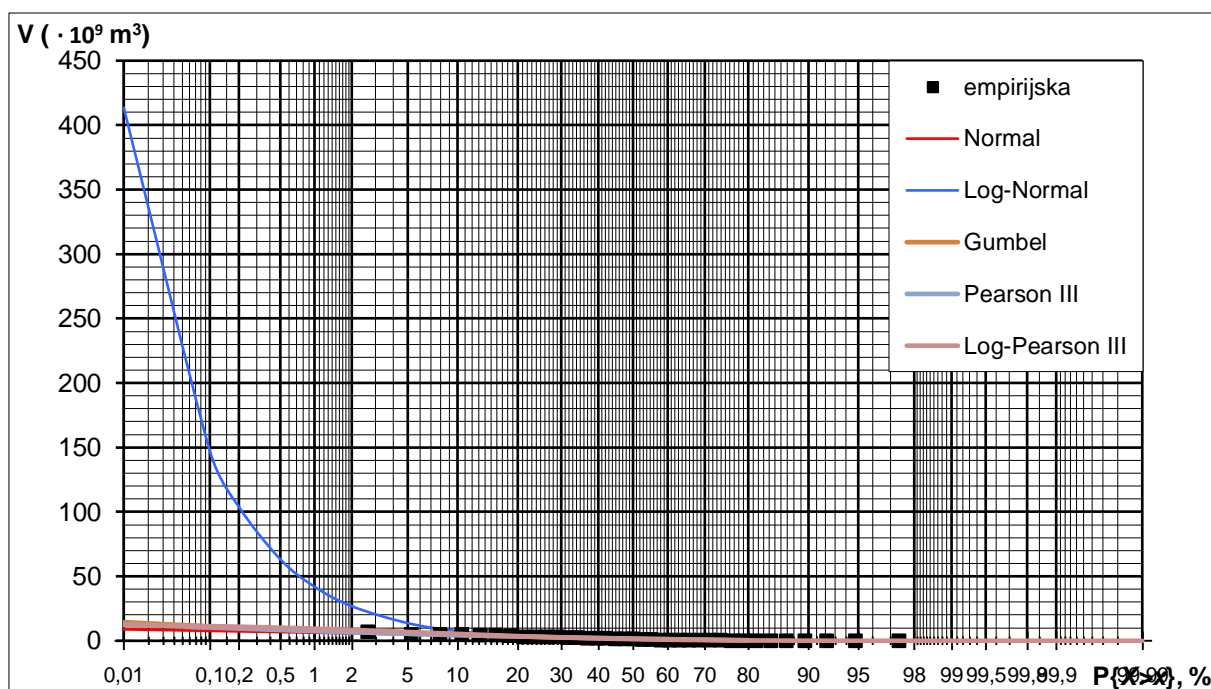
Прилог II 4. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Дунаву код Комарома



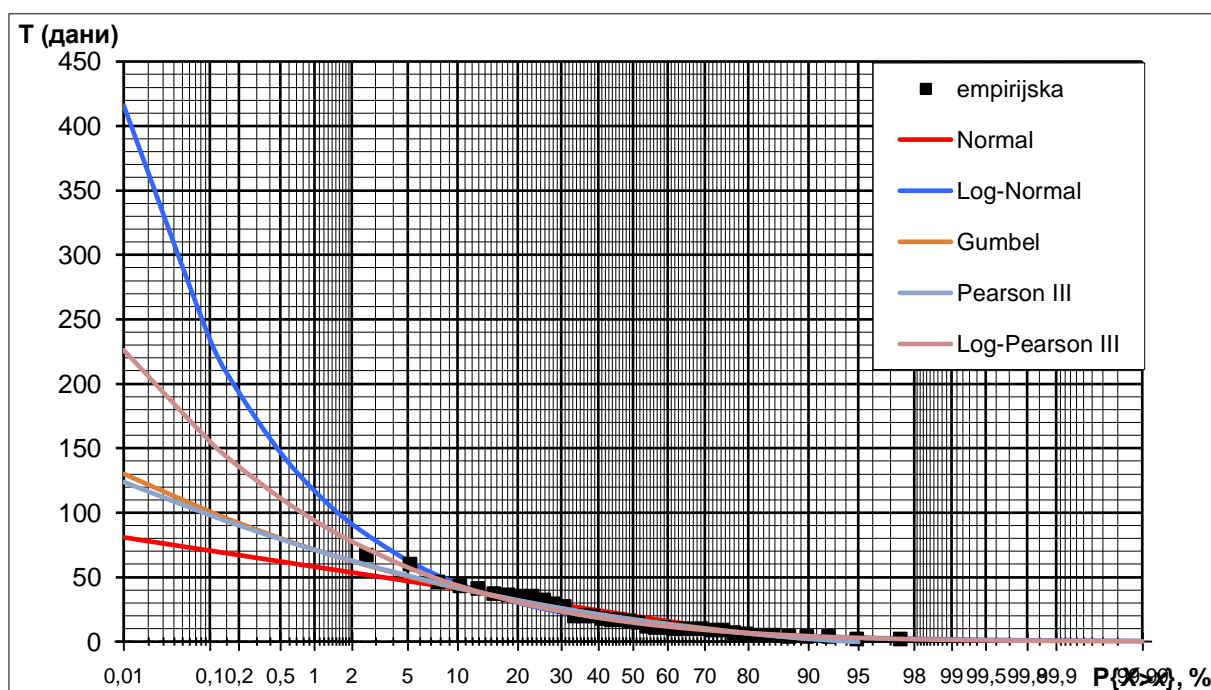
Прилог II 5. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Дунаву код Будимпеште



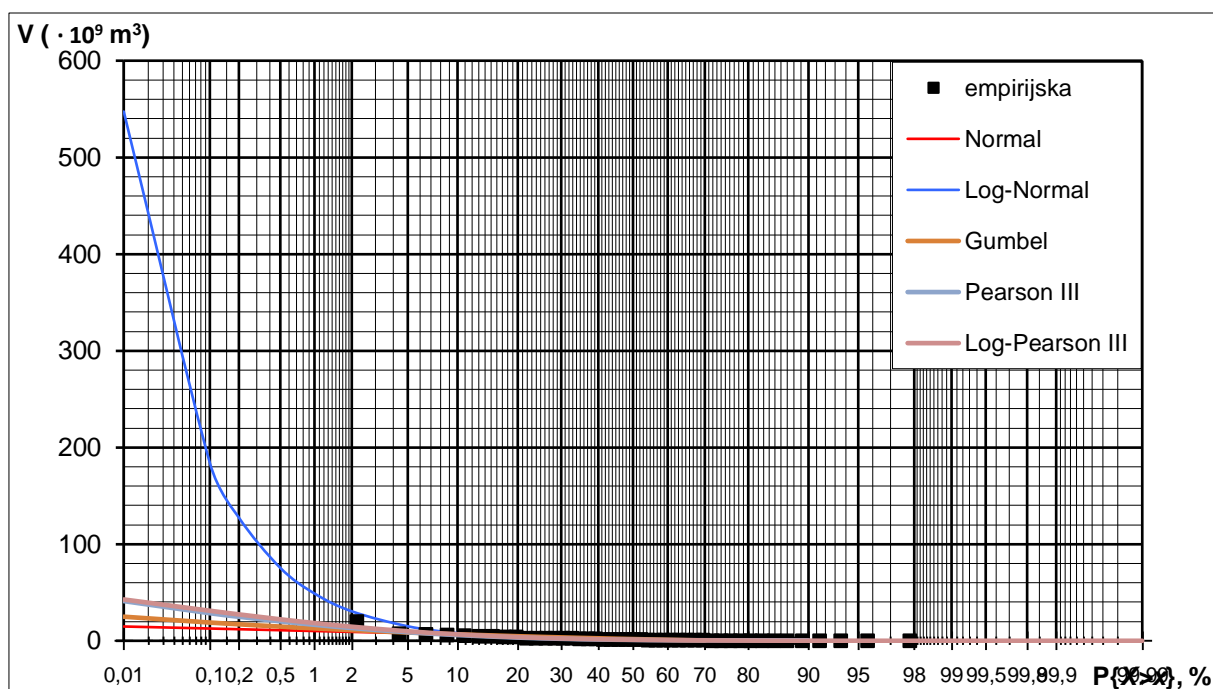
Прилог II 6. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Дунаву код Будимпеште



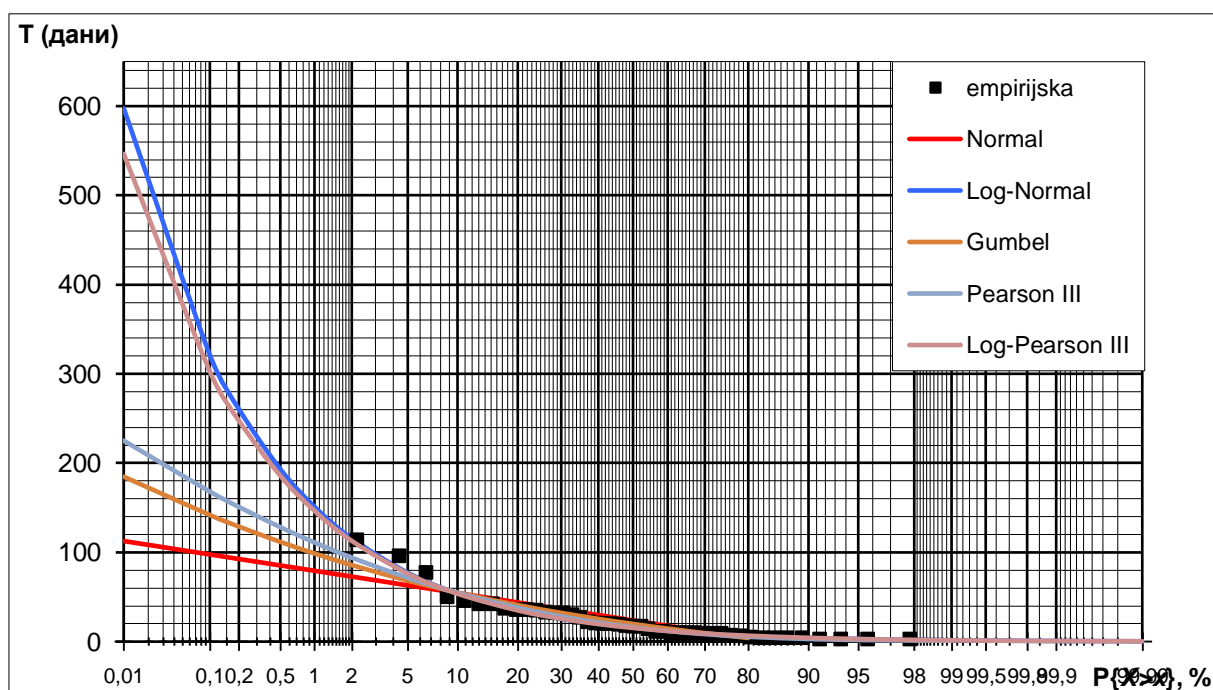
Прилог II 7. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Дунаву код Баје



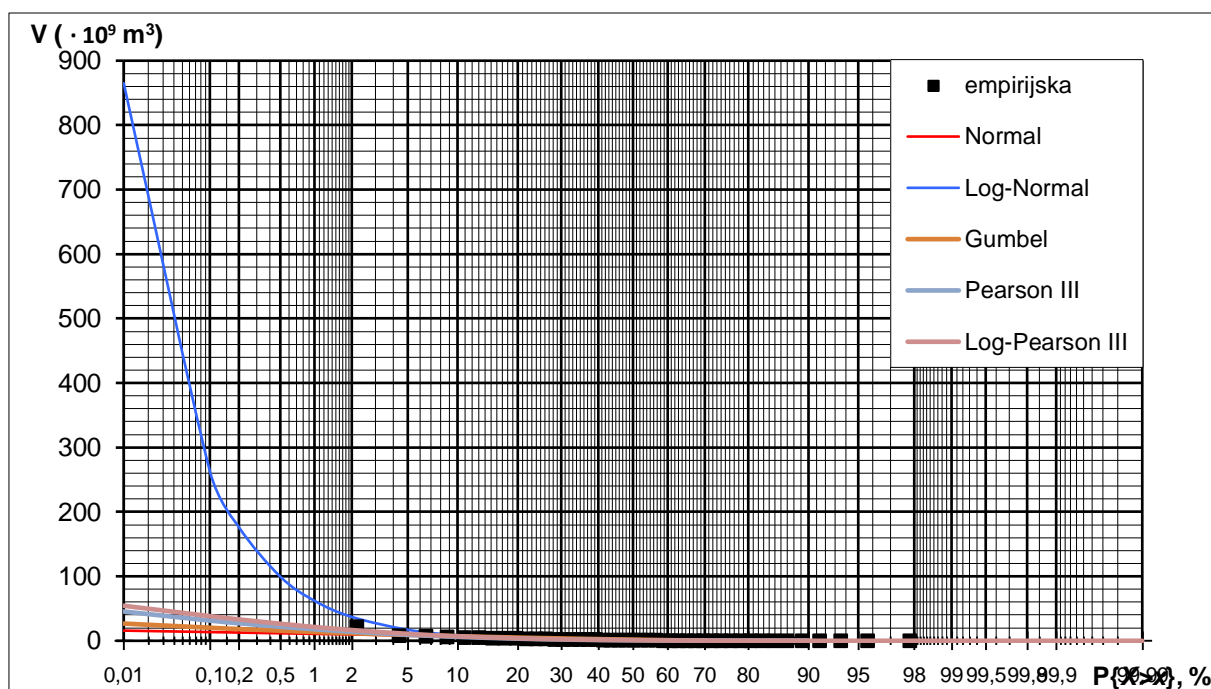
Прилог II 8. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Дунаву код Баје



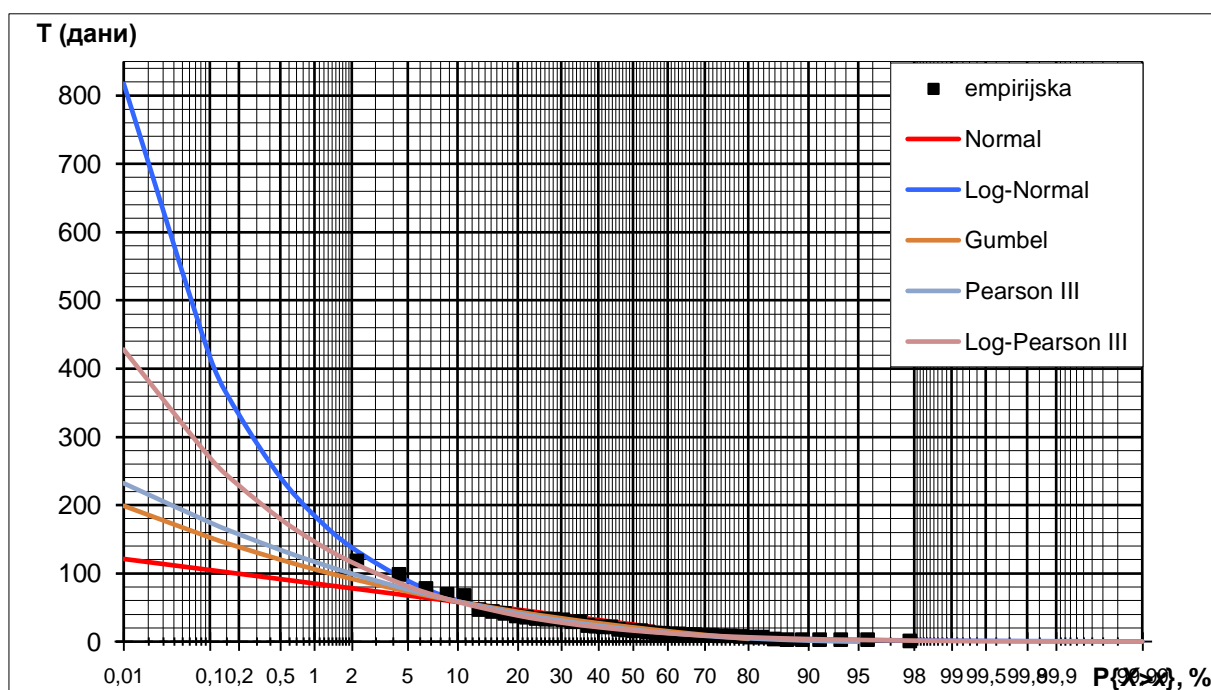
Прилог II 9. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Дунаву код Мохач



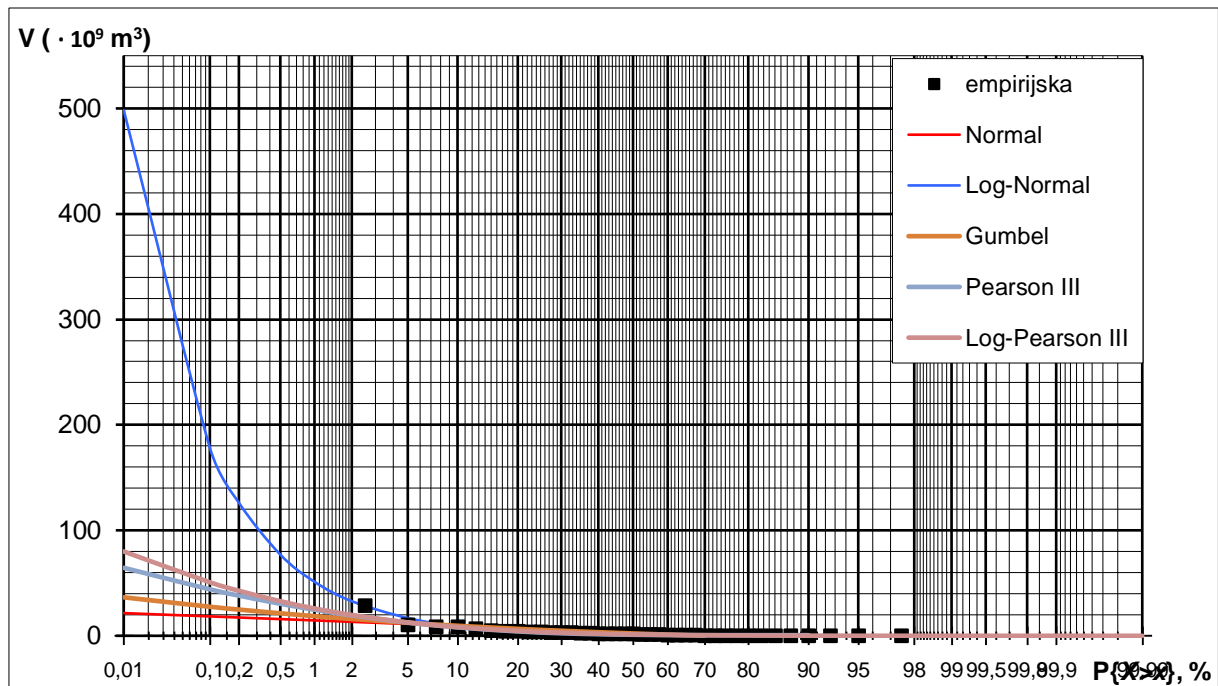
Прилог II 10. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Дунаву код Мохача



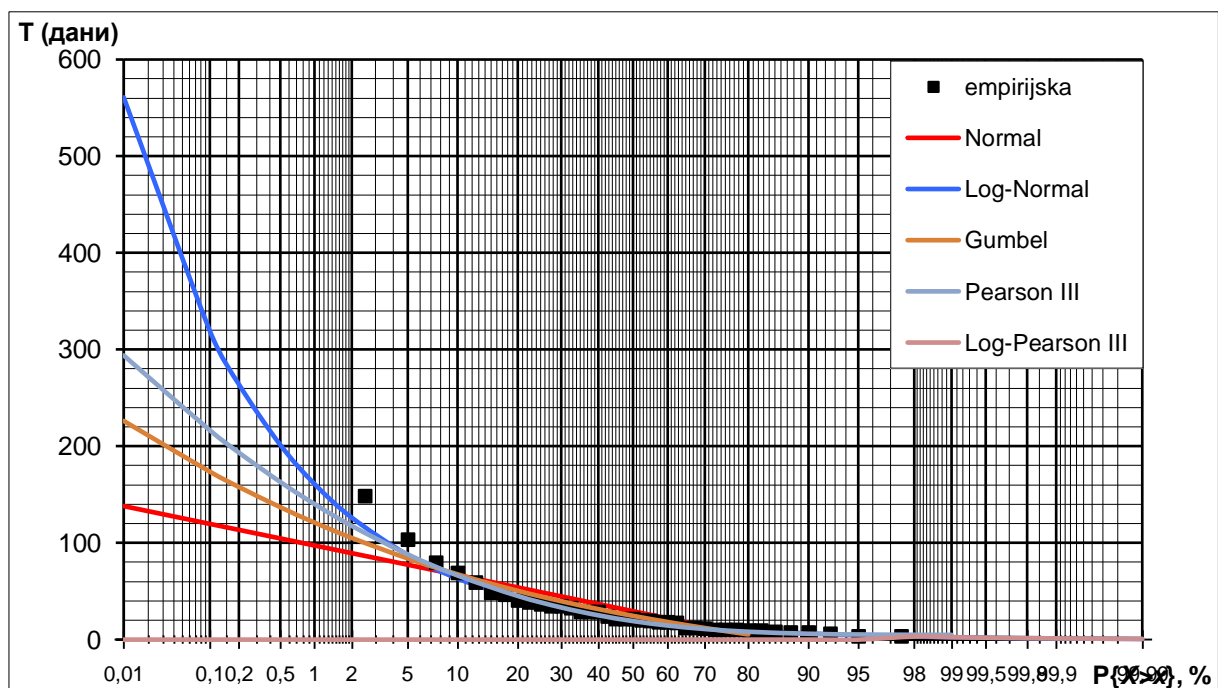
Прилог II 11. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Дунаву код Бездан



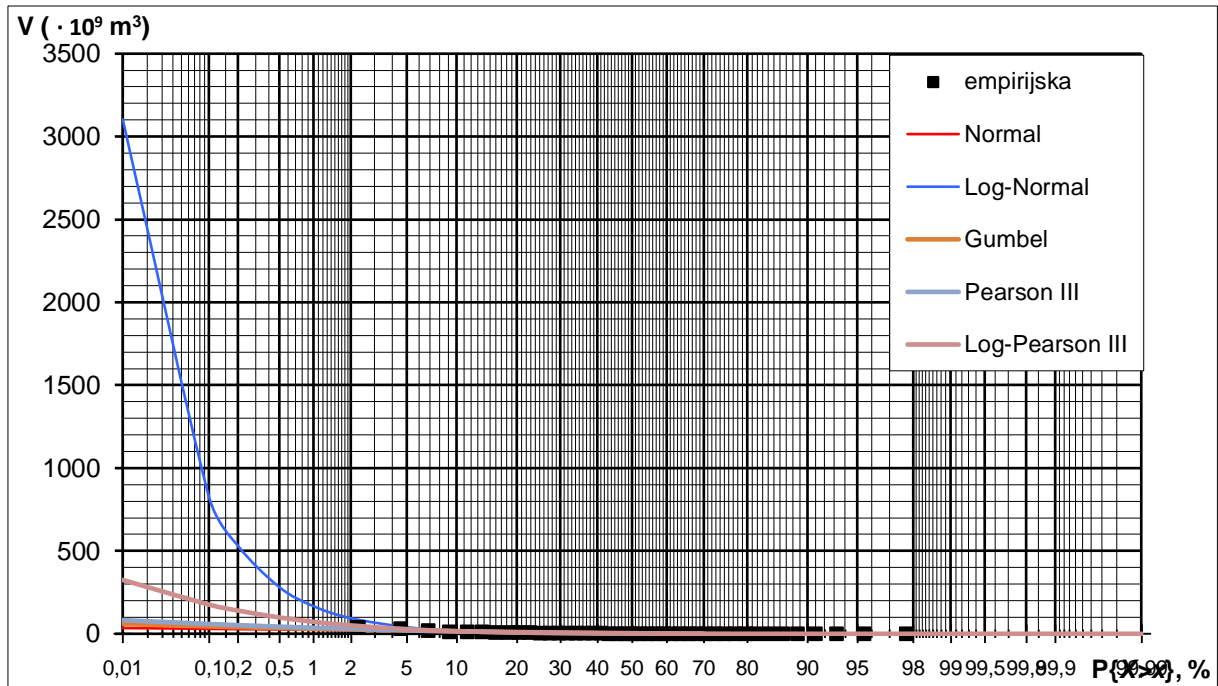
Прилог II 12. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Дунаву код Бездана



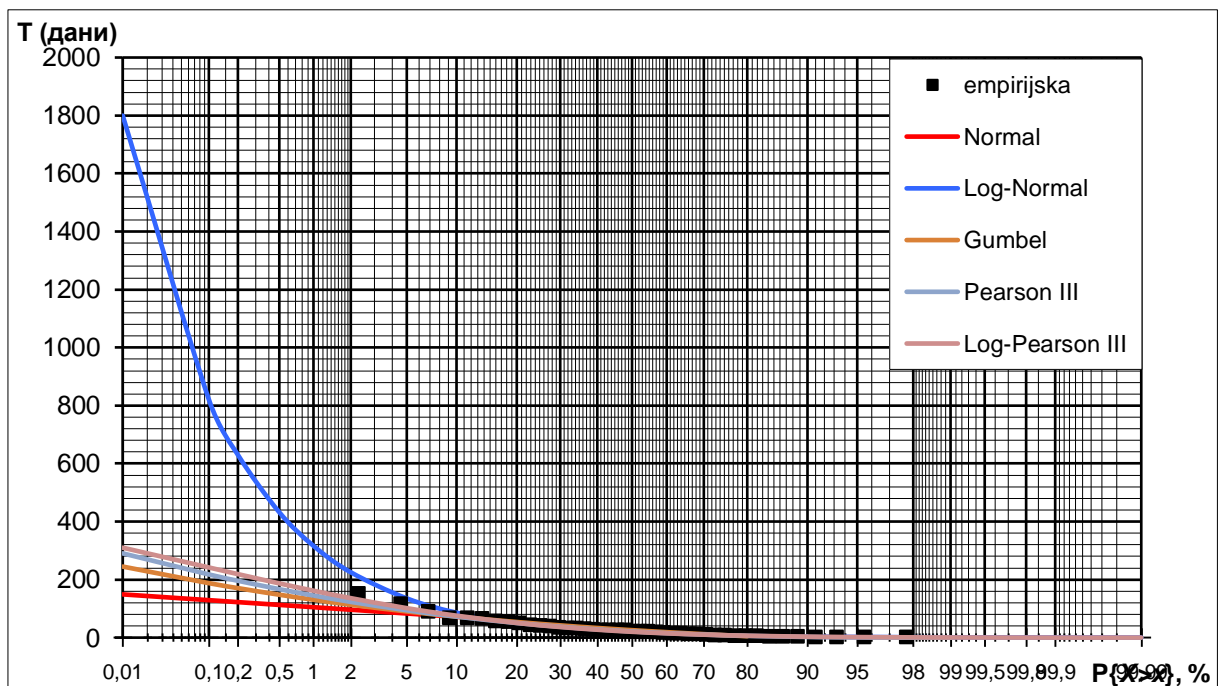
Прилог II 13. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Дунаву код Богојево



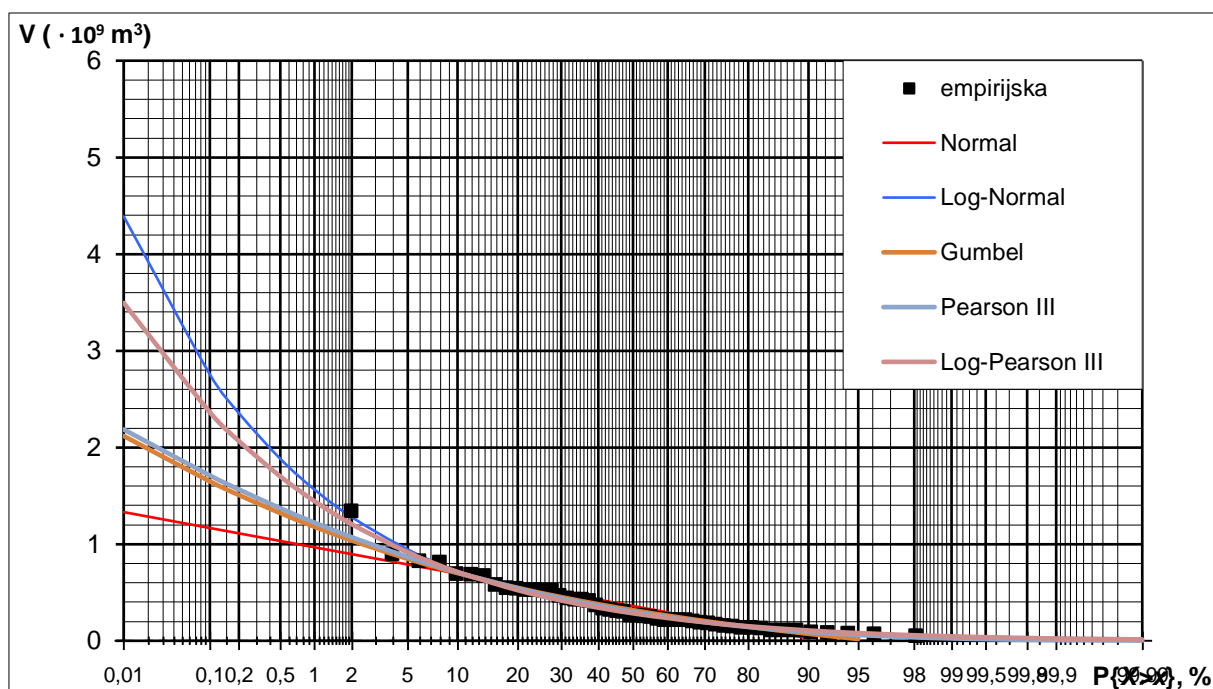
Прилог II 14. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Дунаву код Богојева



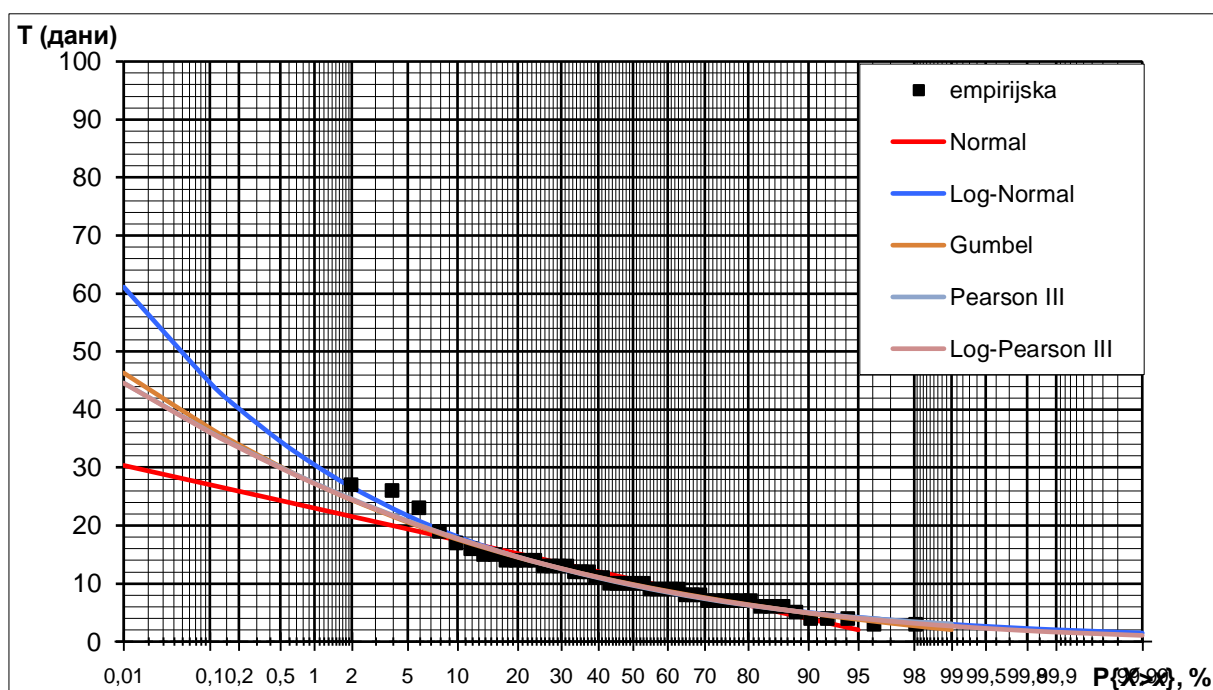
Прилог II 15. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Дунаву код Смедерева



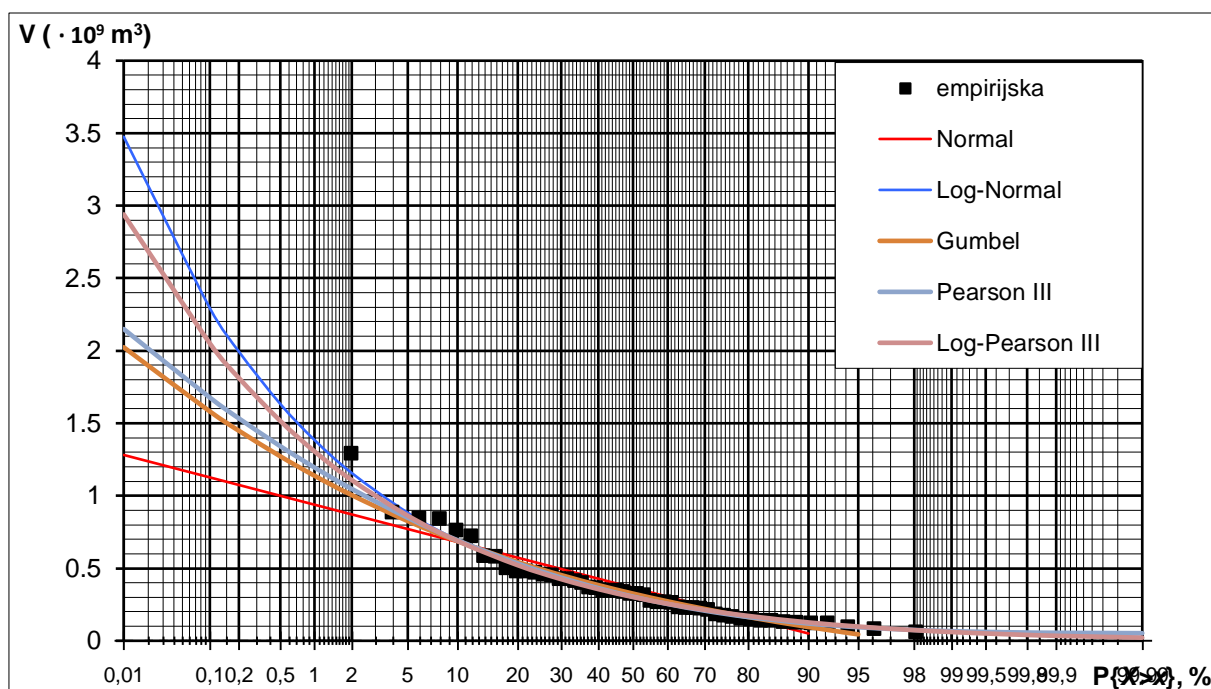
Прилог II 16. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Дунаву код Смедерева



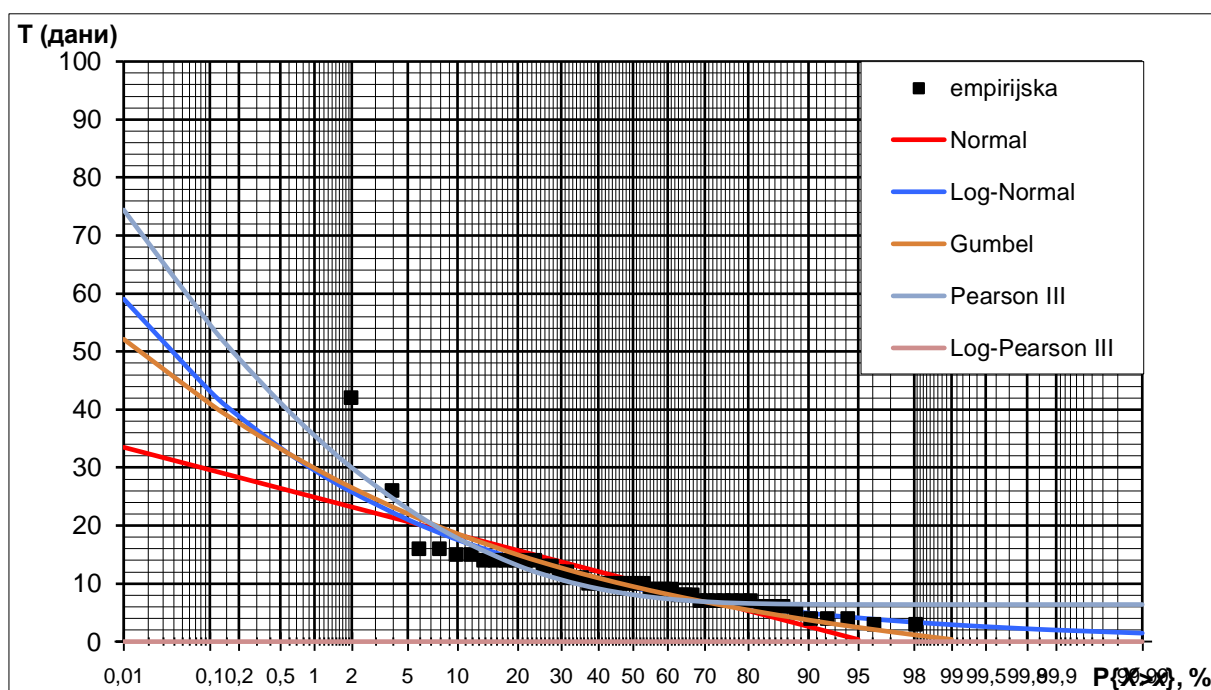
Прилог II 17. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Сави код Чатежа



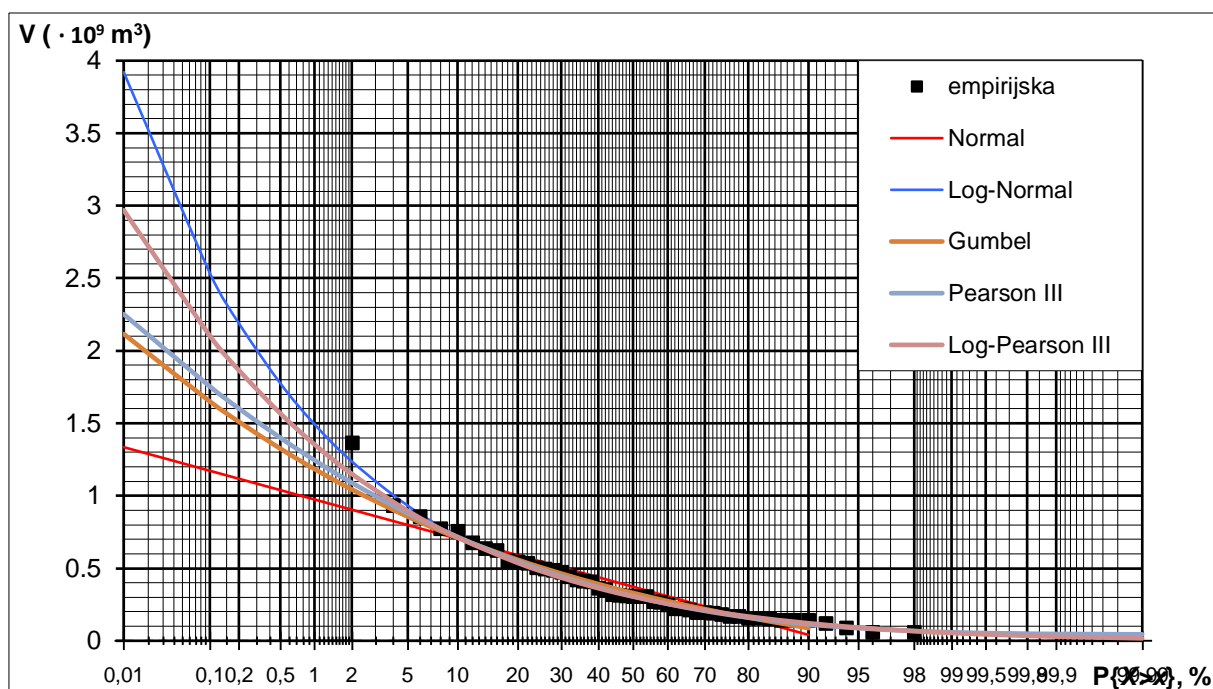
Прилог II 18. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Сави код Чатежа



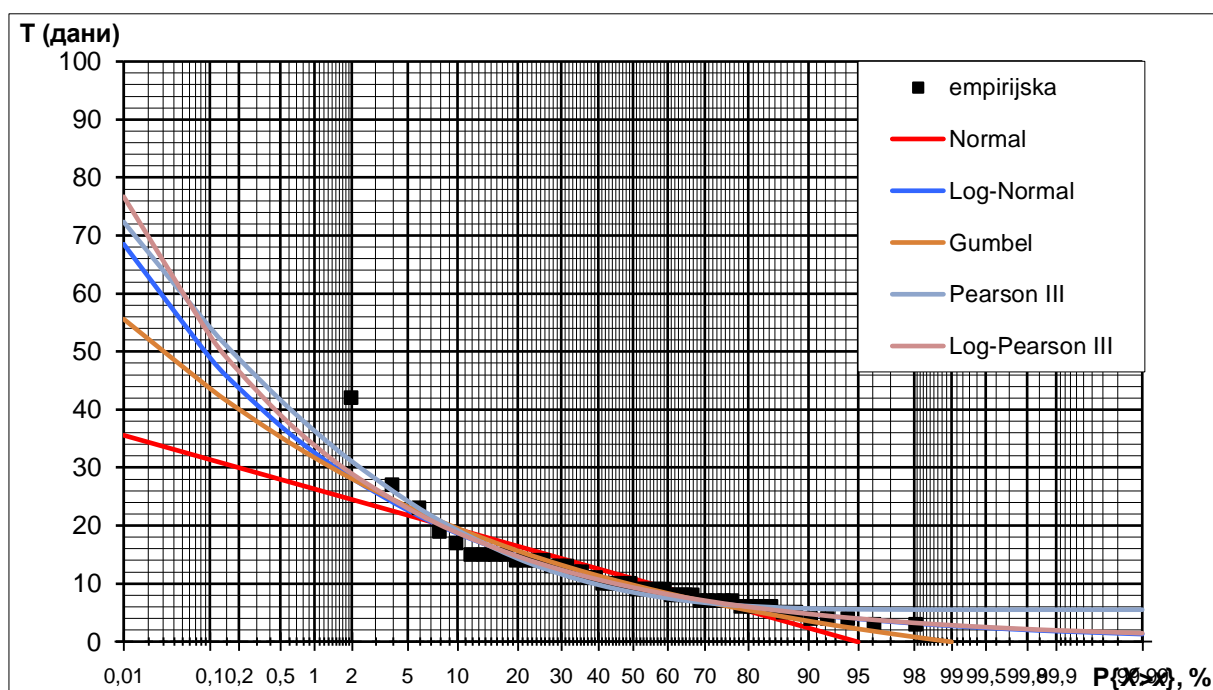
Прилог II 19. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Сави код Подсусед жичара



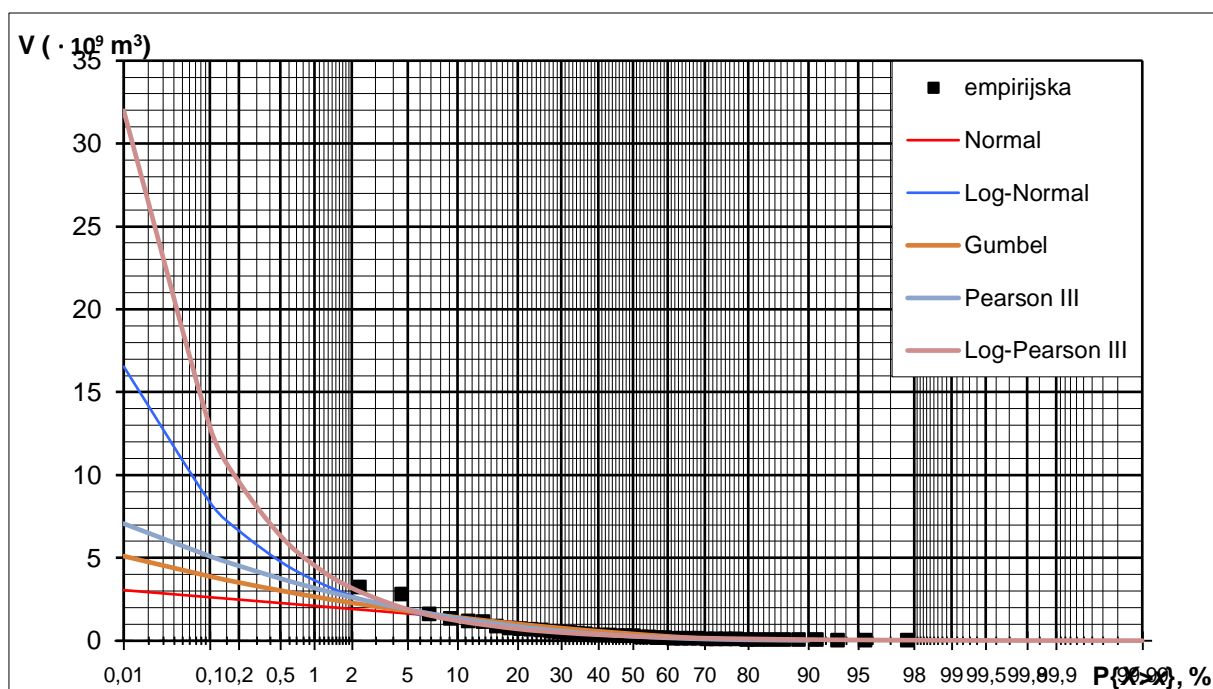
Прилог II 20. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Сави код Подсусед жичара



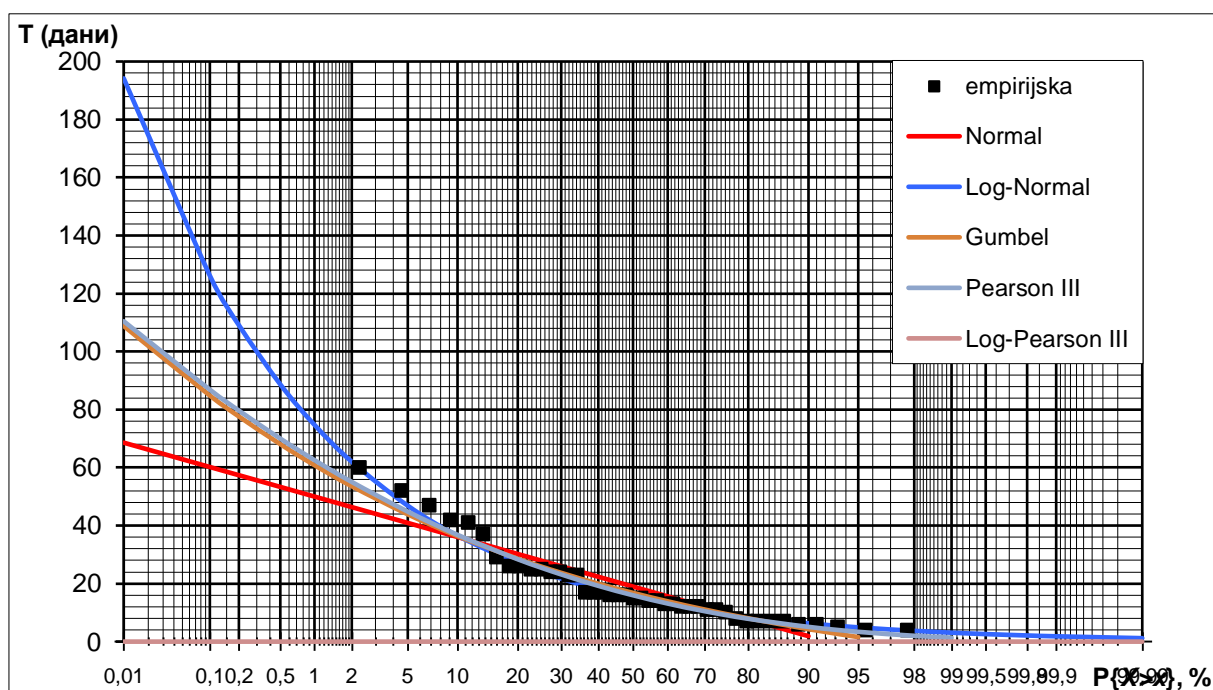
Прилог II 21. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Сави код Загреба



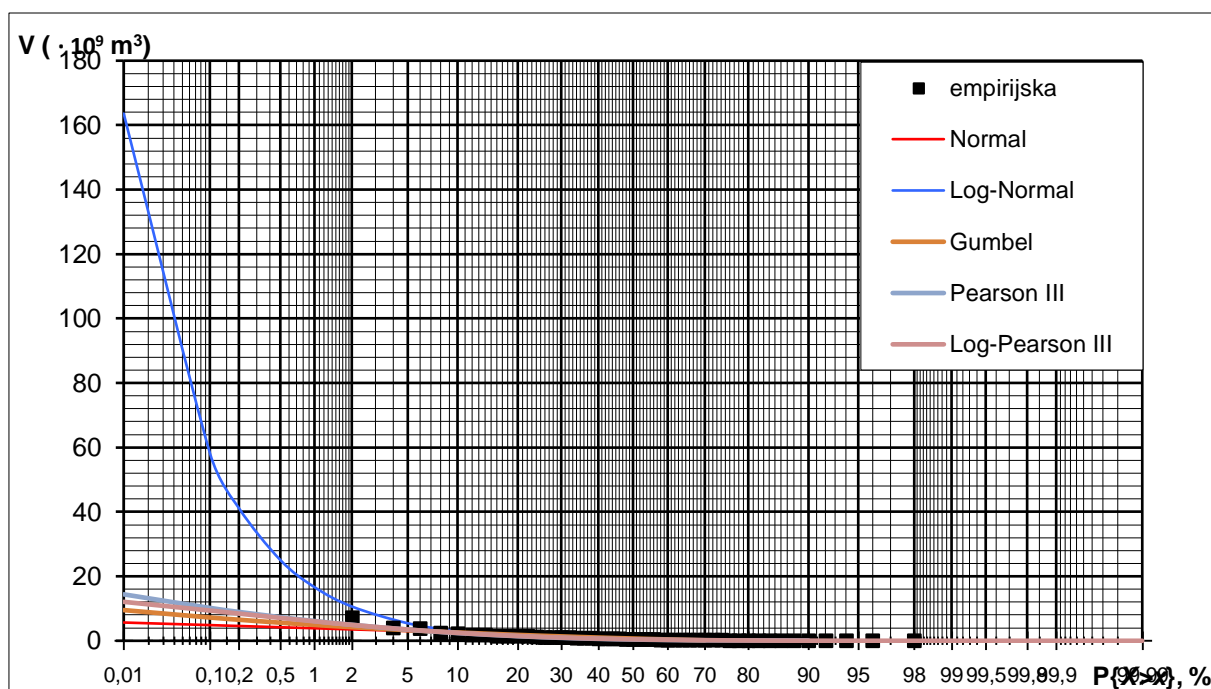
Прилог II 22. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Сави код Загреба



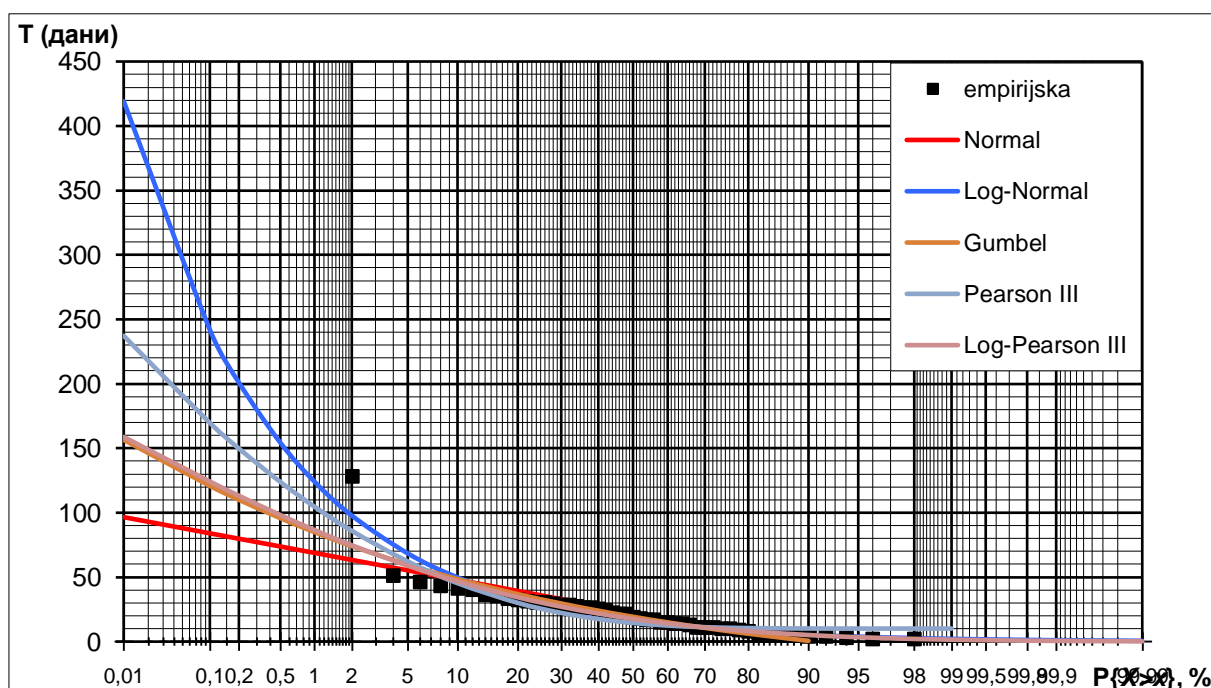
Прилог II 23. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Сави код Јасеновац



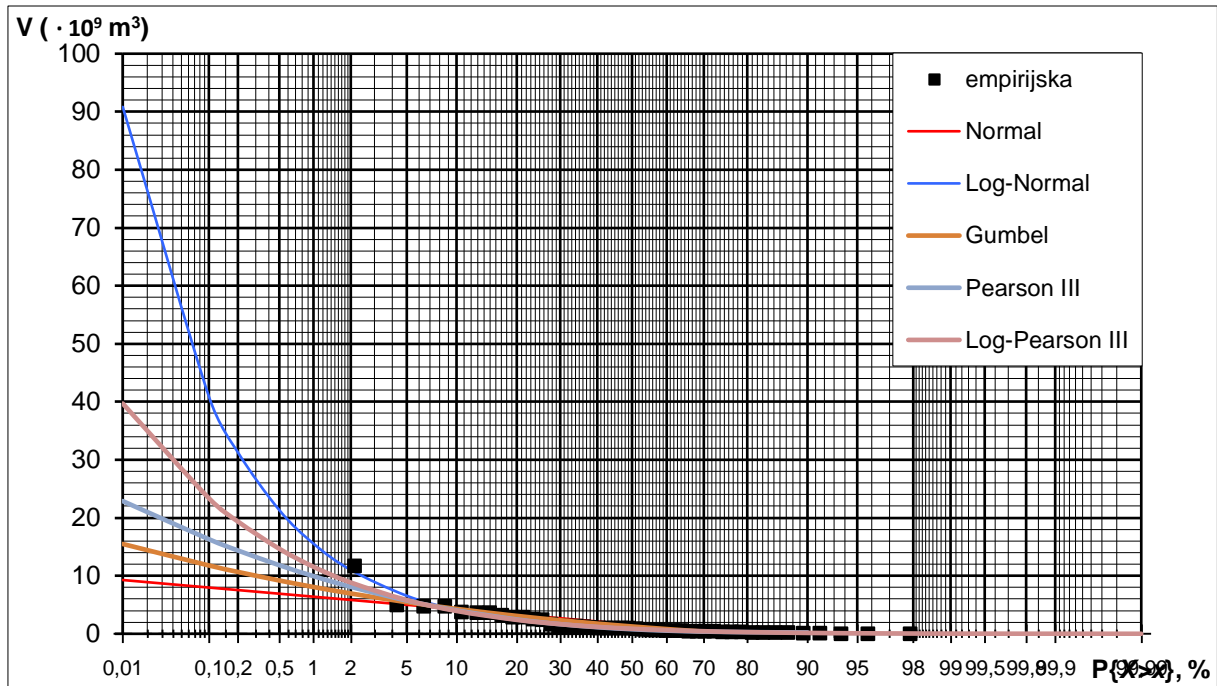
Прилог II 24. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Сави код Јасеновац



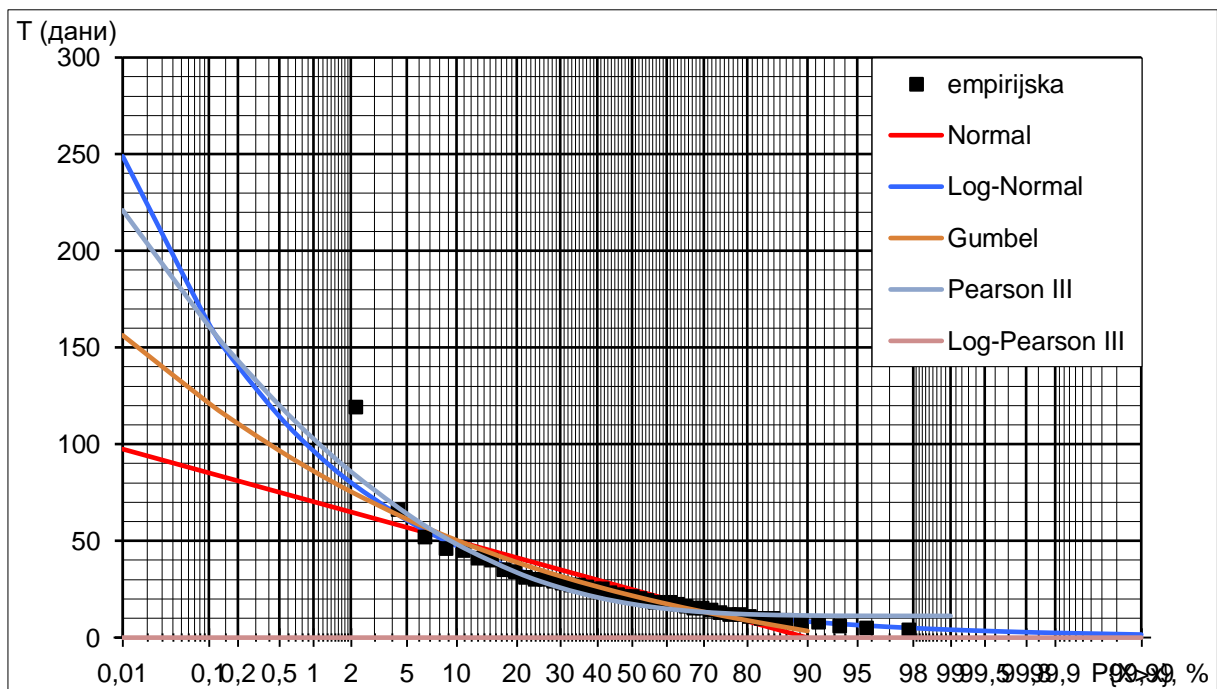
Прилог II 25. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Сави код Жупања степенице



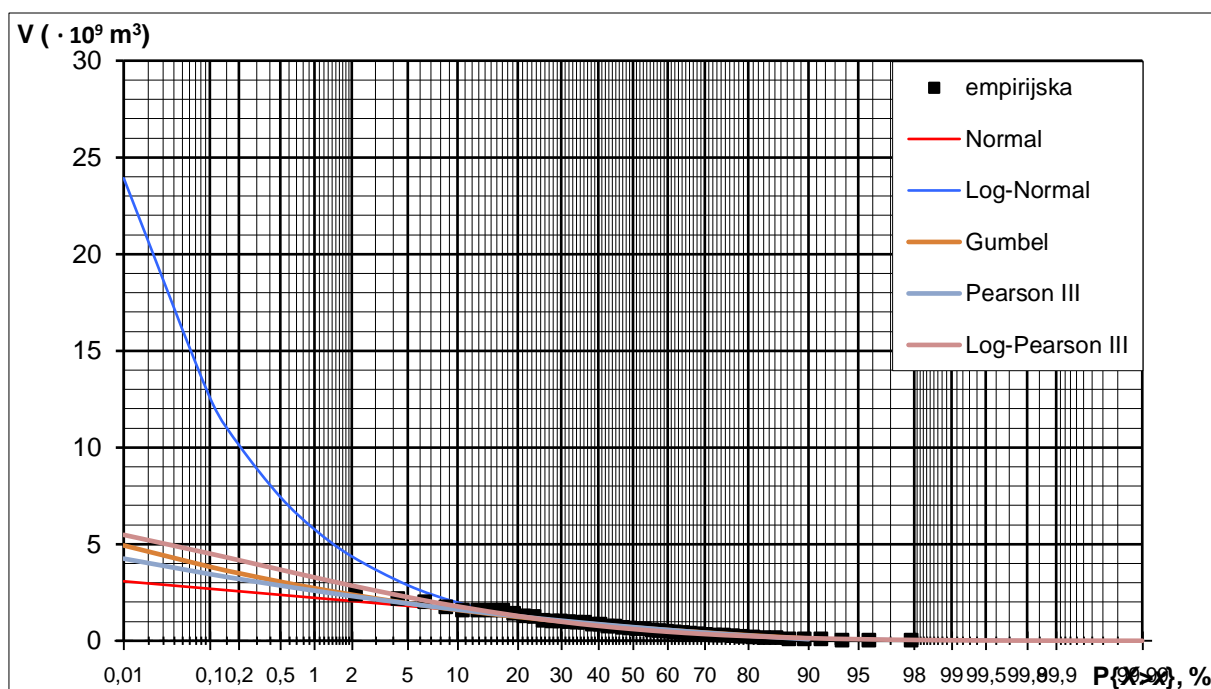
Прилог II 26. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Сави код Жупања степенице



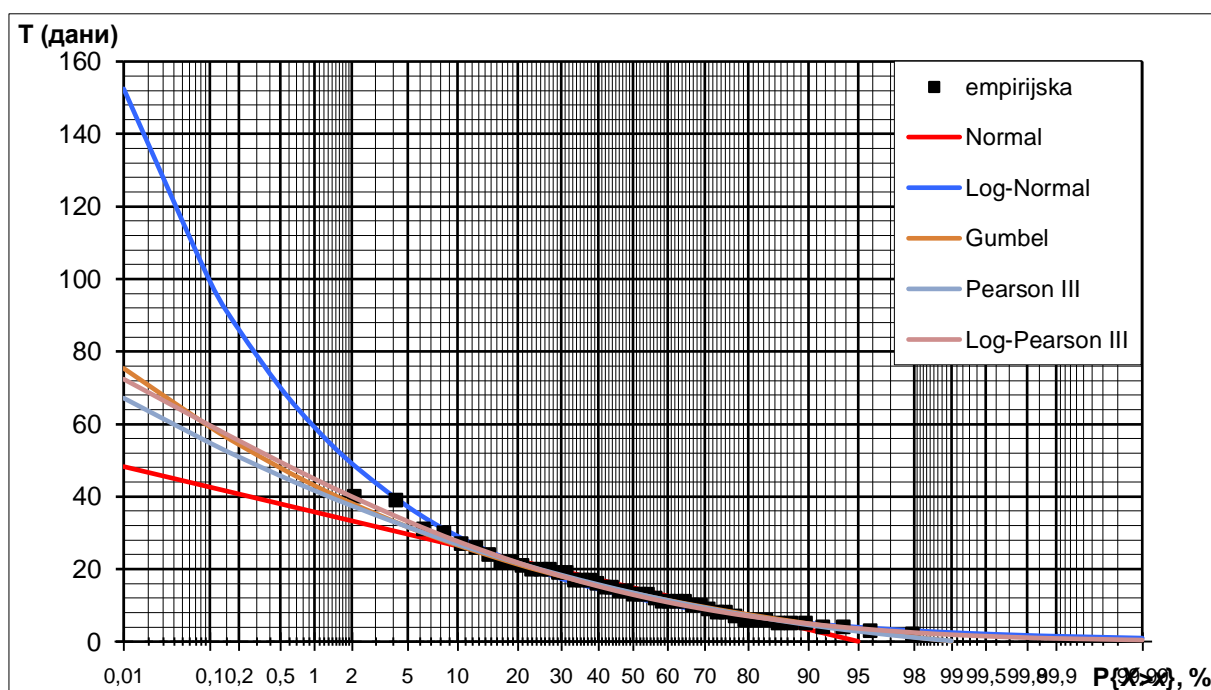
Прилог II 27. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Сави код Сремска Митровица



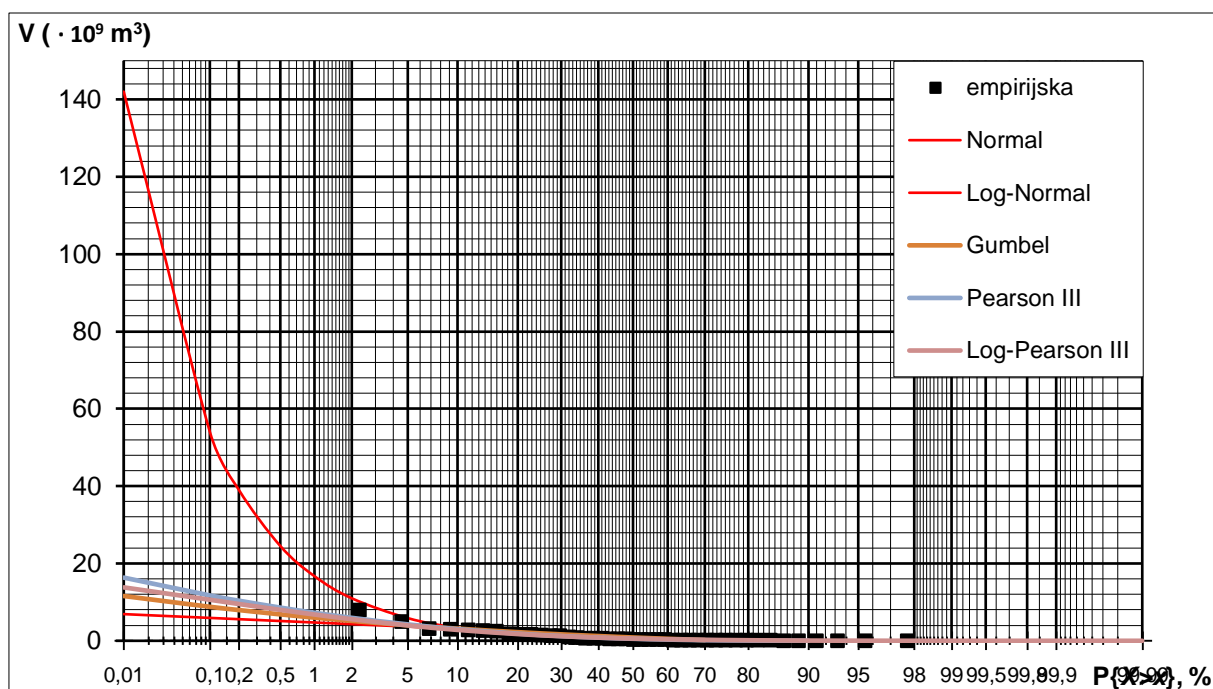
Прилог II 28. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Сави код Сремска Митровица



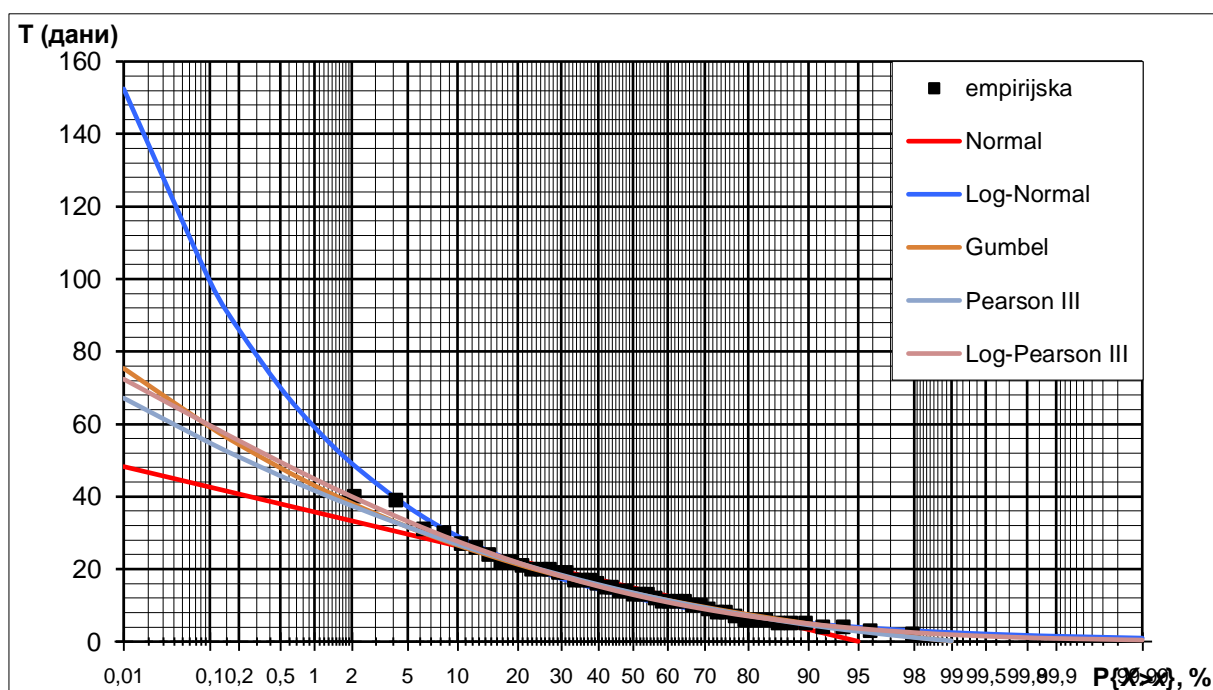
Прилог II 29. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Тиси код Вашарошнамења



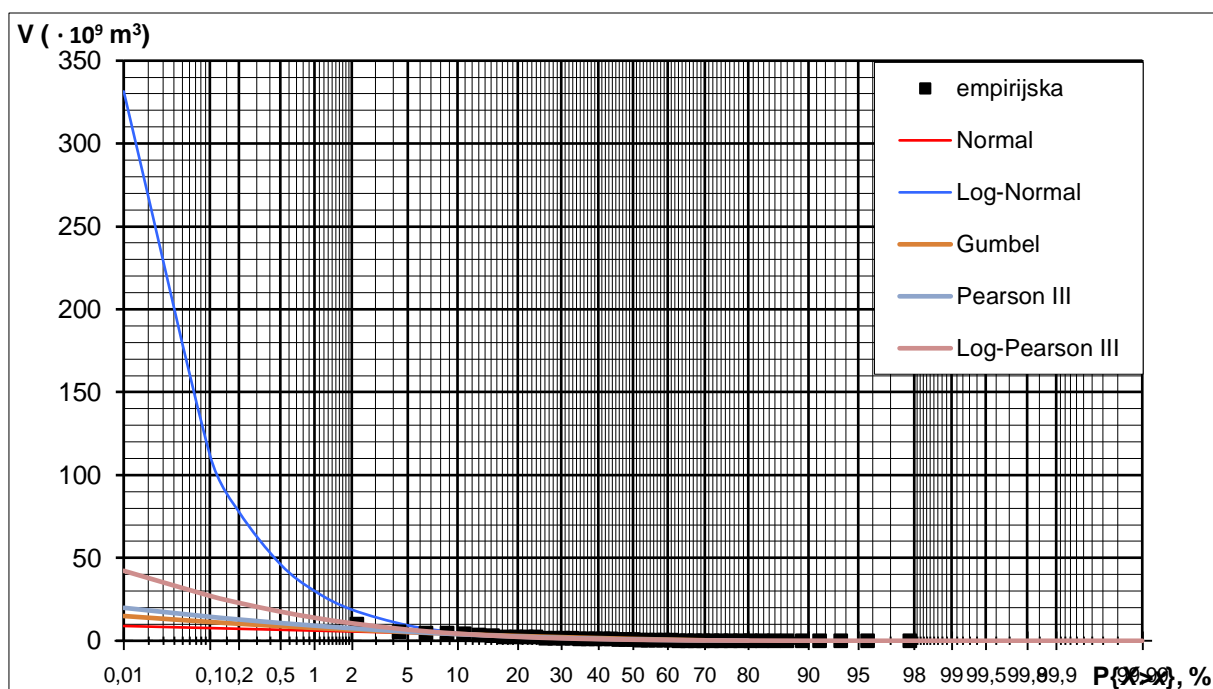
Прилог II 30. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Тиси код Вашарошнамења



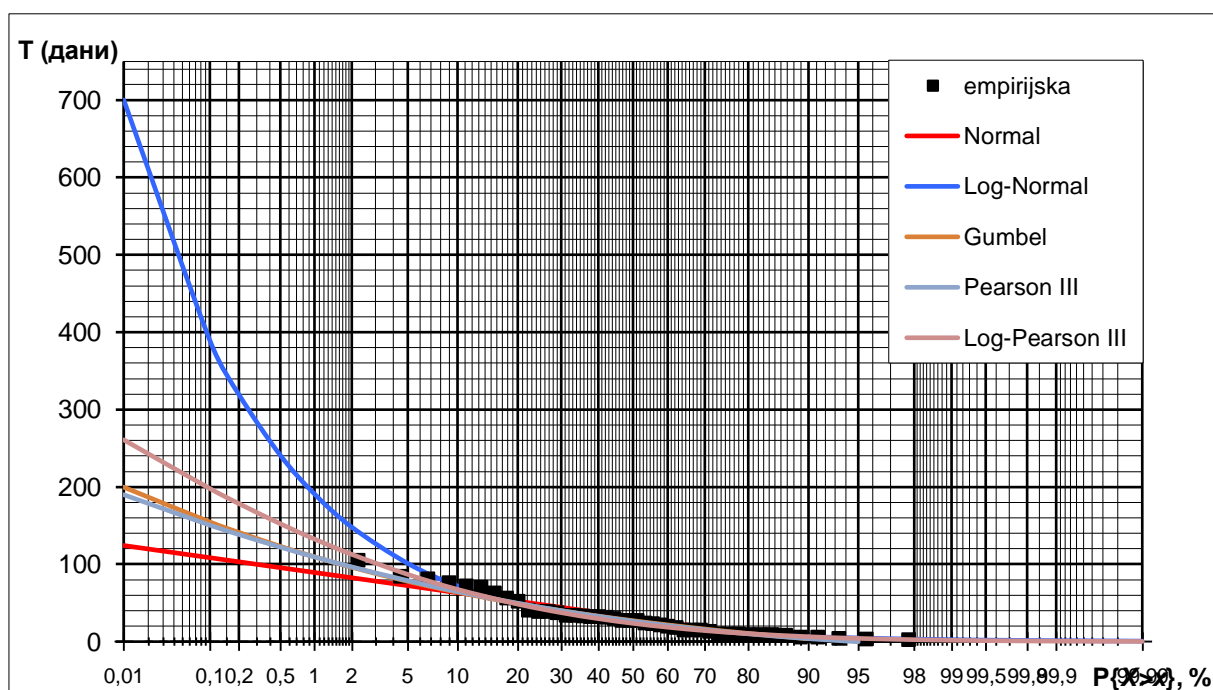
Прилог II 31. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Тиси код Солнока



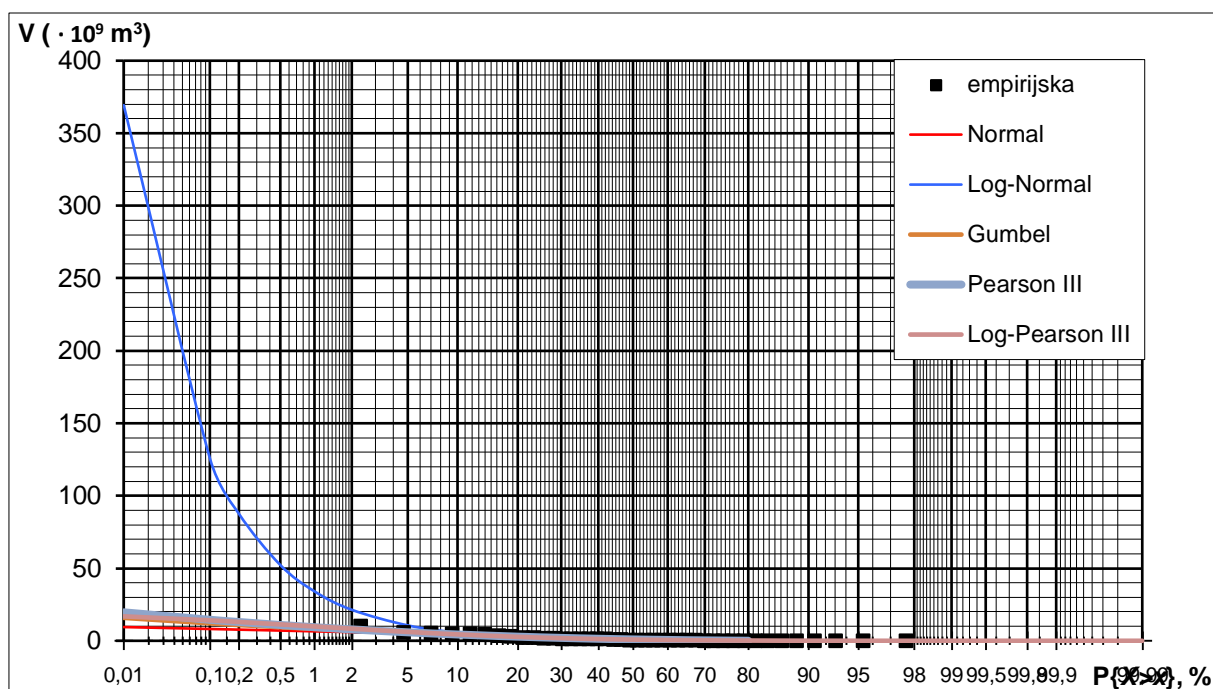
Прилог II 32. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Тиси код Солнока



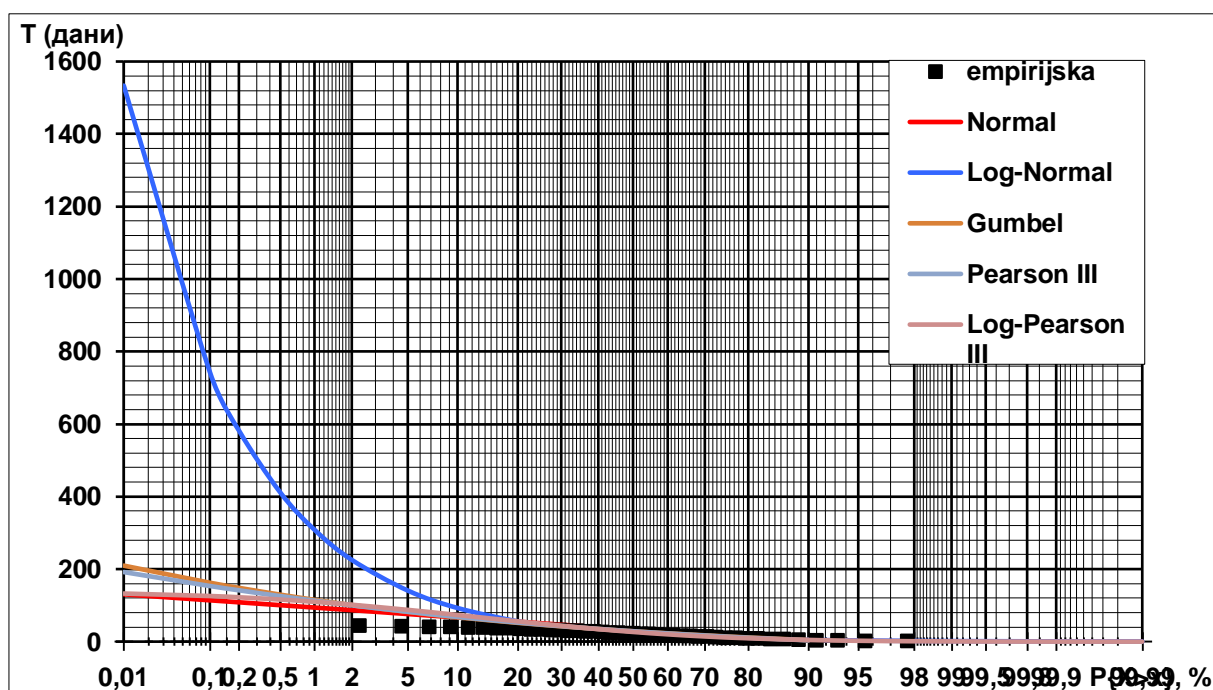
Прилог II 33. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Тиси код Сегедина



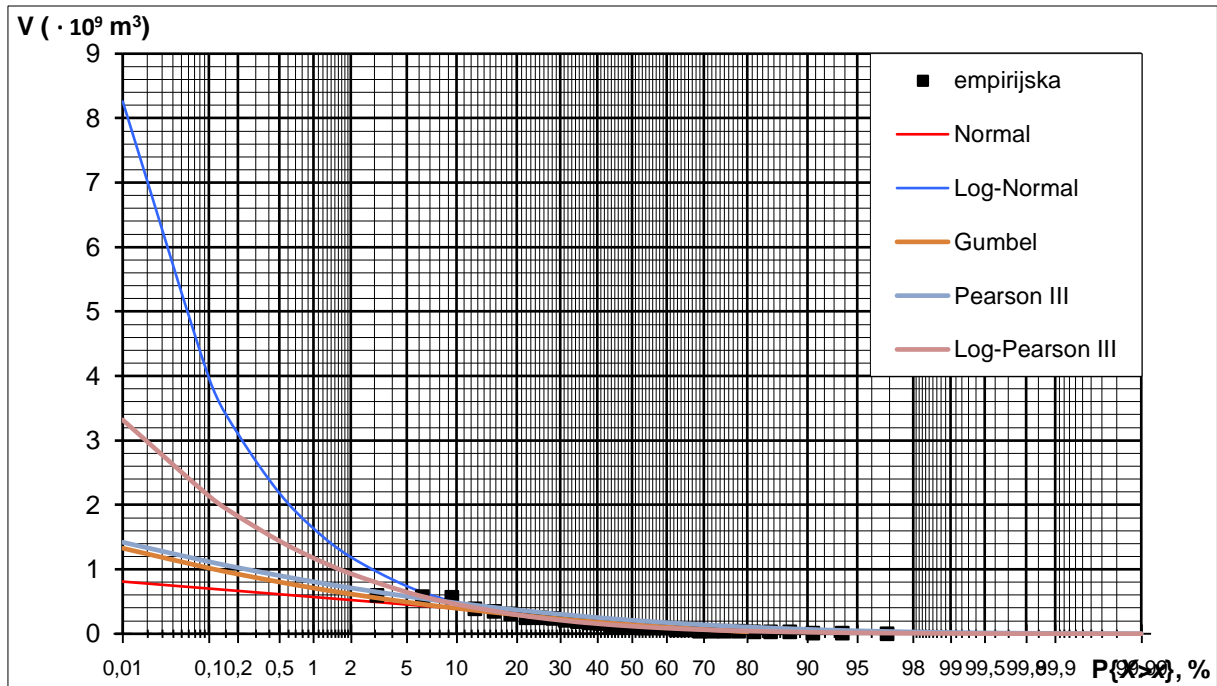
Прилог II 34. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Тиси код Сегедина



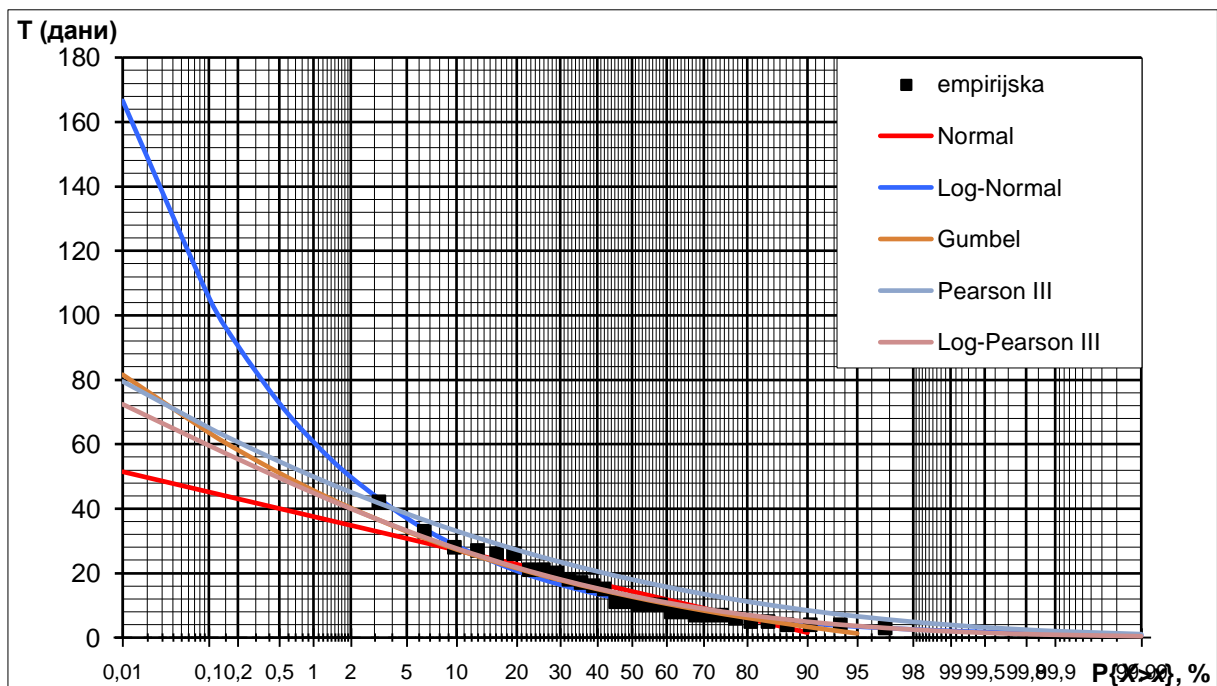
Прилог II 35. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Тиси код Сенте



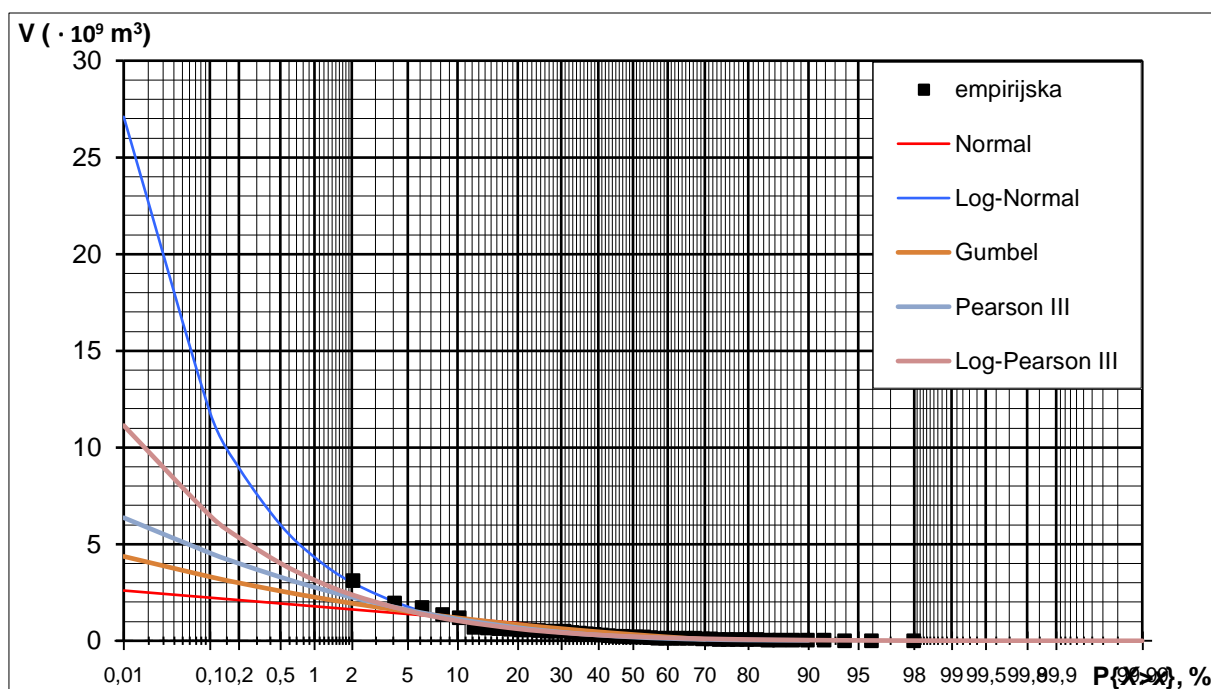
Прилог II 36. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Тиси код Сента



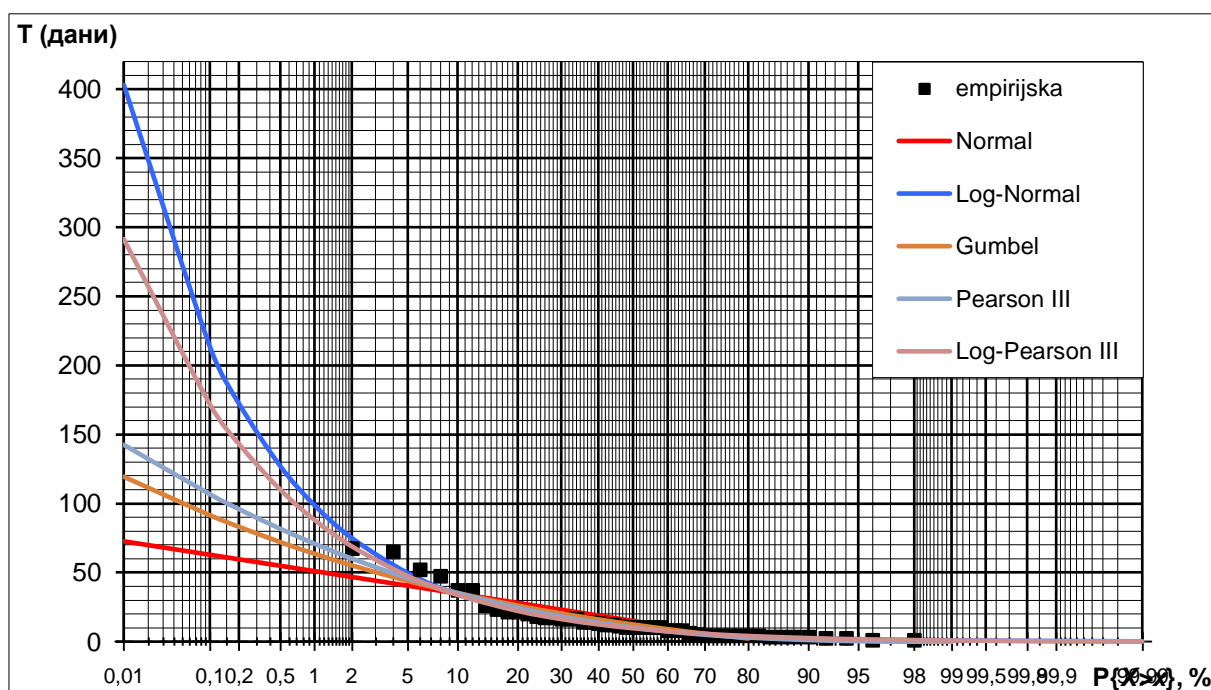
Прилог II 37. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Драви код Доња Дубрава



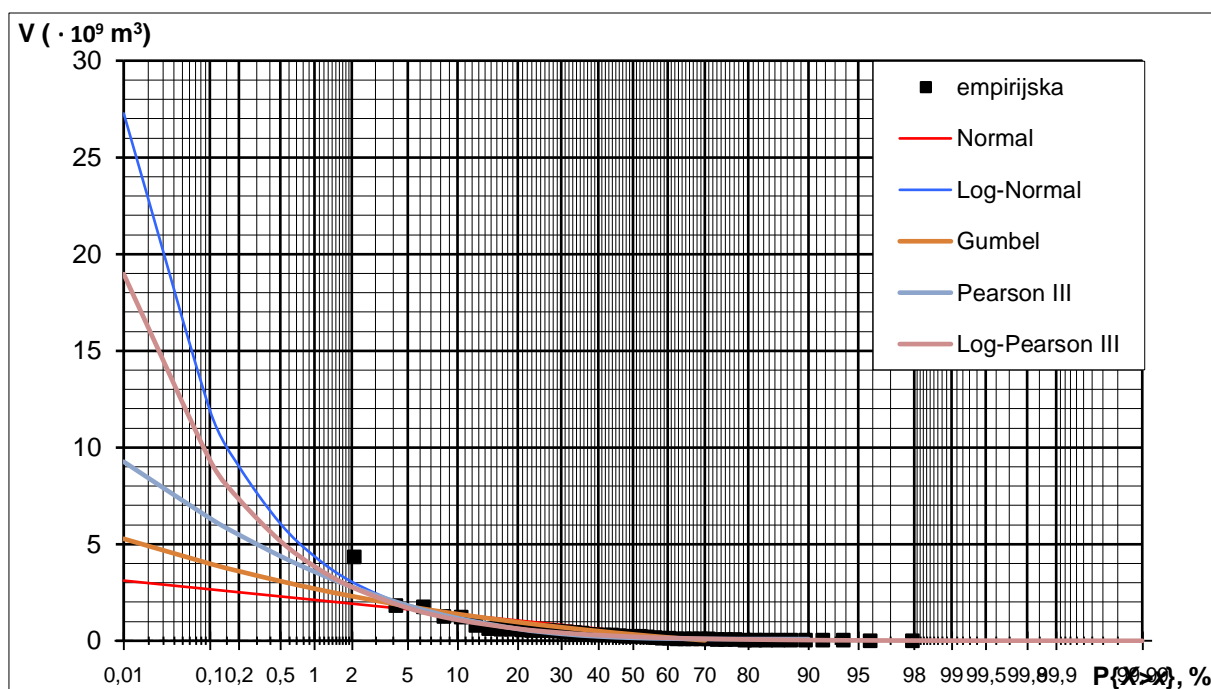
Прилог II 38. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Драви код Доње Дубрава



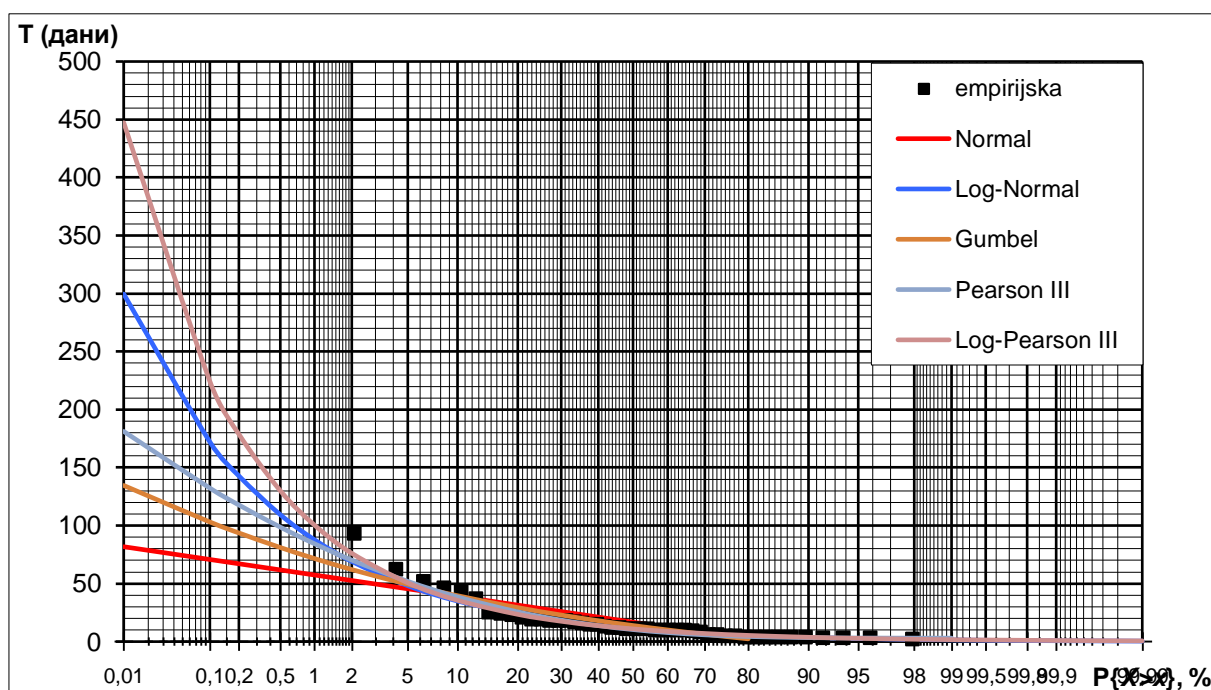
Прилог II 39. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Драви код станице Ботово



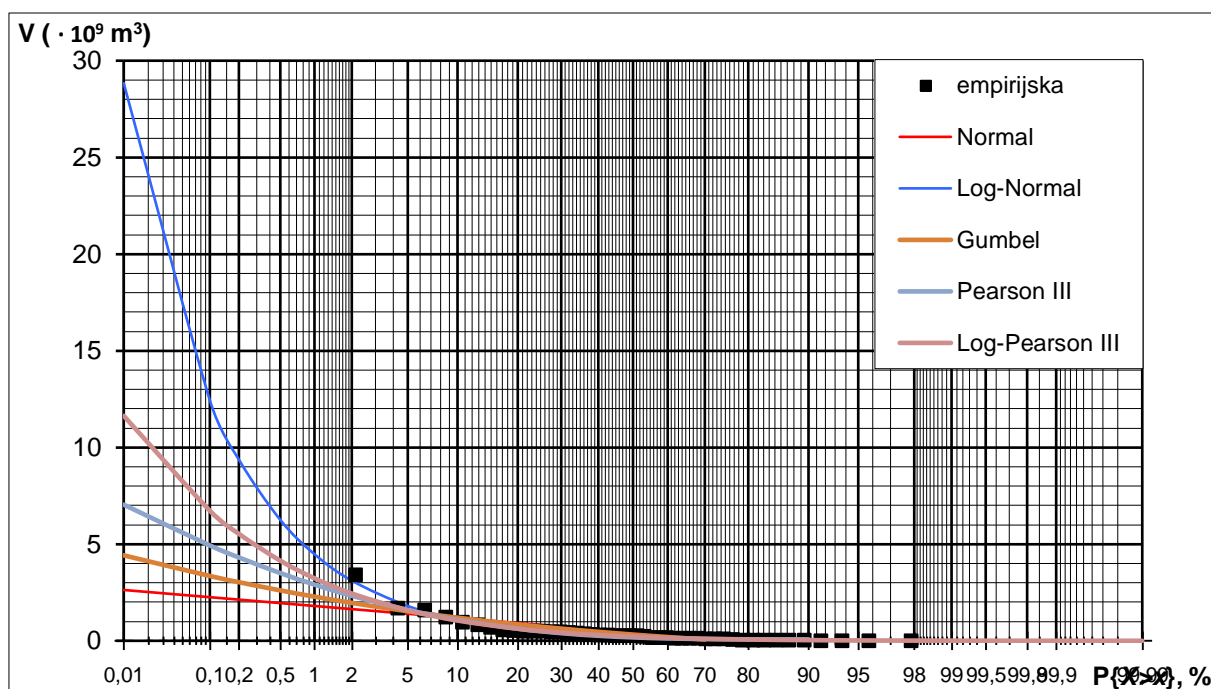
Прилог II 40. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Драви код станице Ботово



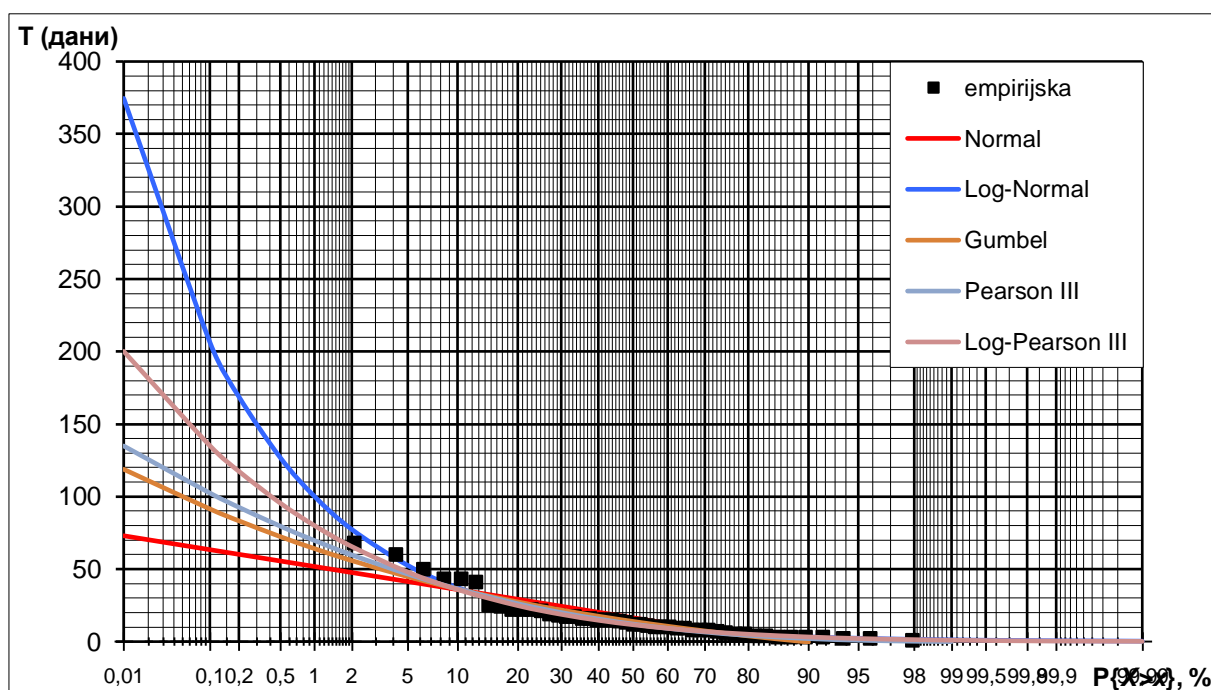
Прилог II 41. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Драви код станице Терезино поље



Прилог II 42. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Драви код станице Терезиног поље



Прилог II 43. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих запремина великих вода на Тиси код Доњи Miohaјц



Прилог II 44. Вероватноћа превазилажења максималних годишњих трајања великих вода на Драви код Доњег Miohaјца

ПРИЛОГ III

Прилог III Подаци о броју становника у одабраним насељима

Табела 24: Број становника у насељима представљеним на карти 14

Насеље	Река	Држава	Број становника	Година податка о броју становника
Братислава	Дунав	Словачка	419.700	2014
Комарно	Дунав	Словачка	34.500	2014
Естергом	Дунав	Мађарска	28.100	2015
Сентандреја	Дунав	Мађарска	25.000	2015
Будимпешта	Дунав	Мађарска	1.757.600	2015
Дунаујварош	Дунав	Мађарска	46.100	2015
Пакс	Дунав	Мађарска	19.833	2015
Баја	Дунав	Мађарска	35.700	2015
Мохач	Дунав	Мађарска	17.400	2015
Апатин	Дунав	Србија	17.411	2011
Бачка Паланка	Дунав	Србија	28.239	2011
Нови Сад	Дунав	Србија	277.522	2011
Београд	Дунав	Србија	1.166.763	2011
Панчево	Дунав	Србија	76.203	2011
Смедерево	Дунав	Србија	64.175	2011
Чатеж	Сава	Словенија	233	2011
Загреб	Сава	Хрватска	792.875	2011
Сисак	Сава	Хрватска	47.768	2011
Јасеновац	Сава	Хрватска	2.391	2011
Градишка	Сава	Босна и Херцеговина	51.727	2013
Славонски брод	Сава	Хрватска	59.141	2011
Шамац	Сава	Босна и Херцеговина	19.041	2013
Жупања	Сава	Хрватска	12.090	2001
Брчко	Сава	Босна и Херцеговина	43.007	2013
Семска Митровица	Сава	Србија	37.751	2011
Шабац	Сава	Србија	53.919	2011

Вашарошнамењ	Тиса	Мађарска	9.325	2001
Тисафиред	Тиса	Мађарска	11.260	2011
Солнок	Тиса	Мађарска	72.333	2016
Чонград	Тиса	Мађарска	17.686	2009
Сегедин	Тиса	Мађарска	162.607	2015
Сента	Тиса	Србија	18.704	2011
Бечеј	Тиса	Србија	23.895	2011
Нови Бечеј	Тиса	Србија	13.133	2011
Тител	Тиса	Србија	5.247	2011
Вараждин	Драва	Хрватска	46.946	2011
Барч	Драва	Мађарска	12.168	2004
Доњи Михољац	Драва	Хрватска	9.491	2011
Осијек	Драва	Хрватска	108.048	2011

Извори: **Словачка** - <http://population.city/slovakia/>,

Мађарска - <http://population.city/hungary/> ,

Србија - "2011 Census of Population, Households and Dwellings in the Republic of Serbia: Comparative Overview of the Number of Population in 1948, 1953, 1961, 1971, 1981, 1991, 2002 and 2011, Data by settlements" Statistical Office of Republic Of Serbia, Belgrade. 2014.

Хрватска - "Population by Age and Sex, by Settlements, 2011 Census". Census of Population, Households and Dwellings 2011. Zagreb: Croatian Bureau of Statistics.

December 2012.

Босна и Херцеговина - "Systemic census of municipalities and populated places of Bosnia and Herzegovina". Sarajevo: Agency for Statistics of Bosnia and Herzegovina. 2013. p. 7.

Словенија - <https://www.citypopulation.de/php/slovenia-spodnje-posavska.php?cityid=009022>

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Игор Лешчешен, рођен је у Бачкој Тополи 26. августа 1987. године. Основну школу завршио је у Кули 2002. године. Исте године уписује средњу „Економско-трговинску“ школу у Кули, коју завршава 2006. године. Прву годину основних студија на Департману за географију, туризам и хотелијерство, ПМФ, Нови Сад, смер професор географије уписује 2007. године. Основне академске студије завршава у року са просеком 9,10. Мастер студије уписује 2011. године на матичном факултету и исте завршава 28.09.2012.

године са просеком 9,53 одбраном мастер рада „Власинско језеро - лимнолошка студија“. По завршетку мастер студија уписује докторске академске студије на Природно-математичком факултету у Новом Саду. У циљу даљег усавршавања борави на више научно-наставних институција. Током 2013. године боравио је на Департману за Географију Филозофског факултета у Љубљани. У исто време радио је праксу у Агенцији Републике Словеније за Околје, са групом истраживача задужених за потамологију. На Институту за планинску Хидрологију, Словачке Академије наука боравио је током 2014 године где је био ангажован на пројекту „Режим поплава река у Дунавском басену“. Током 2014. године борави на Eötvös Loránd University (ELTE) у Будимпешти на даљем стручном усавршавању из обласит Хидрологије и ГИС-а.

Од 2013. године ради као наставник географије у ОШ „Петефи бригада“ у Кули, док од школске 2016/2017 прелази у ОШ „Алекса Шантић“ Степановићево и ОШ „Чаки Лајош“ Бачка Топола. Као наставник, са својим ученицима, бележи значајне резултате на општинским и окружним такмичењима из географије. Од 2017. године сарадник Центра за Климатолошка и Хидролошка истраживања на Природно-математичком факултету, Универзитета у Новом Саду.

Област истраживања му је хидрологија, са ужим опредељењем за стохастичку хидрологију, хидрологију екстрема, као и за квалитет површинских вода. У досадашњој научној каријери је објавио 29 научних радова и учествовао на више међународних и

домаћих конференција. Дугогодишњи је члан ДМИ „Бранислав Букуров“, Српског географског друштва и Међународног удружења хидролошких наука (IAHS).

(Игор Лешчешен)

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
ДЕПАРТМАН ЗА ГЕОГРАФИЈУ, ТУРИЗАМ И ХОТЕЛИЈЕРСТВО

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Индентификациони број: ИДБ	
Тип документације: ТД	Монографска документација
Тип записа: ТЗ	Текстуални штампани материјал
Врста рада: ВР	Докторска дисертација
Аутор: АУ	Игор Лешчешен
Ментор: МН	Др Драган Долинај, ванредни професор
Наслов рада: НР	Протицајни режим великих вода Дунава, Саве, Тисе и Драве у Панонском басену
Језик публикације: ЛП	Српски/Ћирилица
Језик извода: ЛИ	Српски/Енглески
Земља публикавања: ЗП	Србија
Уже географско подручје: УГП	Војводина
Година: ГО	2019

Издавач:	Ауторски репринт
----------	------------------

ИЗ	
Мето и адреса: МА	Природно-математички факултет. Трг Доситеја Обрадовића 3, 21000 Нови Сад
Физички опис рада: ФО	Брј поглавља 7/ страница 215/ слика 9/ графикона 13/ табела 25/ карата 14/ прилога 89
Научна област: НО	Географија
Научна дисциплина: НД	Физичка географија
Предметна одредница, кључне речи: ПО	Велике воде, Метода годишњих максимума, Статистичка анализа, Дунав, Панонски басен
Чува се: ЧУ	Библиотека Департамана за географију, туризам и хотелијерство, ПМФ, Трг Доситеја Обрадовића 3, 21000 Нови Сад
Важна напомена: ВН	
Извод: ИЗ	<p>Велике воде су сложена појава како у погледу фактора који је изазивају, тако и у погледу њеног утицаја на екосистем и друштво. У дисертацији је приказана предност анализе великих вода, са две променљиве (запремине и трајање), у односу на уобичајену анализу са једном вредношћу (најчешће максимални годишњи протицај). Резултати добијени статистичком анализом великих вода, које су издвојене методом прага су показали да имају већу применљивост у водопривреди него методе које користе стандардне вредности, јер дају конкретне вредности могућих количина воде (запремине</p>

	<p>великих вода) Метода прага је примењена на 22 станица на четири највеће реке Панонског басена (Дунав, Сава, Тиса и Драва) за период 1964-2013. година што до сад представља највећи узорак на овако великом географском подручју. Као праг за издвајање великих вода узета је вредност Q_{10}, јер је циљ био анализа просторних и временских карактеристика екстремних великих вода у највећих река Панонског басена. Избор прага утицао је и на избор методе годишњих максимума за статистичку анализу карактеристика великих вода. За одређивање параметра теоријских расподела коришћени су L-моменти који дају поузданије оцене параметара од обичних момената. У досадашњим радовима, који су анализирали карактеристике великих вода методом годишњих максимума, функција расподеле се унапред одабирала, а не на основу тестова сагласности и провере графика вероватноће, као што је урађено у овој дисертацији. За проверу сагласности годишњег максимума запремина и трајања коришћени су тестови Колмогоров-Смирнов и Крамер –Мизес, на основу којих су изабране меродавне расподеле за прорачун великих вода различитих повратних периода на станицама, и обрнуто. Помоћу L-момент дијаграма (L-Cs/L-Ck) утврђена је хомогеност региона, у овом случају Панонског басена, као и</p>
--	--

	изабрана регионална расподела (LN) за запремине и трајање велике воде. Кластер анализа коришћена је као друга метода за издвајање хомогених региона. На основу ове анализе у Панонском басену су издвојена три региона која имају исте карактеристике.
Датум прихватања теме од стране Сената: ДП	16.06.2016.
Датум одбране: ДО	
Чланови комисије:	Председник: др Драгослав Павић, редовни професор, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет. Члан (ментор): др Драган Долинај, ванредни професор, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет. Члан: др Марко Урошев, Научни сарадник Географски институт „Јован Цвијић“ Српска Академија Наука и Уметности Београд.

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCES
DEPARTMENT OF GEOGRAPHY, TOURISM AND HOTEL
MANAGEMENT

KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number: ANO	
Indetification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Teytual printed material
Contents code: CC	PhD thesis
Author: AU	Igor Leščešen
Mentor: MN	Dragan Dolinaj, PhD
Title: TI	Discharge regime of high waters of Danube, Sava, Tisa and Drava in Panonnian basin

Language of text: LT	Serbian/Cyrillic
Language of abstract: LA	Serbian/English
Country of publication: CP	Serbia
Locality of publication: LP	Vojvodina

Publication year: PY	2019
Publisher: PU	Authors reprint
Publication place: PP	Faculty of Sciences, Trg Dositeja Obradovic 3, 2 Novi Sad
Physical description: PD	(chapters 7/ pages 215/ photos 9/ figures 13/ tables 25/ appendix 89)
Scientific field: SF	Geography
Scientific discipline: SD	Physical Geography
Subject, Key words: SKW	High waters, Annual maximum method, Statistic analysis, Danube, Pannonian basin
UC	
Holding data: HD	Library of the Department pf Geography, Tourism and Hotel Management, Faculty of Sciences, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad
Abstract: AB	High waters are a complex phenomenon both in terms of the factors that cause it, as well as in terms of its impact on the ecosystem and society. This dissertation presents the advantage of analyzing high waters with two variables (volumes and duration), compared to the usual analysis with one value (usually the maximum annual discharge). The results obtained by the statistical analysis of high waters, which are defined by the threshold method, have shown that they have greater applicability in water management than methods that use standard values because they give concrete values of possible water quantities (volume of high

waters). The threshold method was applied to 22 stations on the four largest rivers Pannonian Basin (Danube, Sava, Tisa and Drava) for the period 1964-2013. This represents the largest sample in such a large geographical area. The value of Q_{10} was taken as the threshold for defining the high waters, as the aim was to analyze the spatial and temporal characteristics of extreme high waters in the largest rivers of the Pannonian Basin. The threshold selection also influenced the selection of the annual maximum method for statistical analysis of the characteristics of high waters. L-moments were used to determine the parameter of the theoretical distributions, which give more reliable estimates of parameters than ordinary moments. In the previous researches, which analyzed the characteristics of high waters by the method of annual maximums, the distribution function was selected in advance, and not on the basis of tests of approval and check of probability graphs, as is done in this dissertation. In order to check the goodness-of-fit tests of annual maximum volumes and duration, the tests Kolmogorov-Smirnov and Kramer-Mizes were used, and based on their results representative distribution was chosen for calculation of different return periods of high waters on the stations, and vice versa. The L-moment diagram (L-Cs/L-Ck) determined the homogeneity of the region, in this case the Pannonian basin. L-moments were used for selection of regional distribution (LN) for

	volumes and duration of high waters. Cluster analysis was used as the second method for separating homogeneous regions. Based on this analysis in the Pannonian Basin, three regions have been identified that have the same hydrological characteristics.
Accepted on Senate on: AS	16.06.2016.
Defended: DE	
Thesis bord: DB	<p>President: Dragoslav Pavić, PhD, full professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad</p> <p>Member (mentor): Dragan Dolinaj, PhD, Associate professor, Faculty of Sciences, University of Novi Sad</p> <p>Member: Marko Urošev, PhD Geographical Institute „Jovan Cvijić“ Serbian Academy of Sciences and Arts Belgrade</p>