

Др Весна Рајчевић • Др Чедомир Црногорац

ХИДРОЛОГИЈА II
ПОТАМОЛОГИЈА

ГЕОГРАФСКО ДРУШТВО РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТА У БАЊОЈ ЛУЦИ

Др Весна Рајчевић • Др Чедомир Црногорац

ХИДРОЛОГИЈА II - ПОТАМОЛОГИЈА

Издавач:

ГЕОГРАФСКО ДРУШТВО РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ

Суиздавач:

ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ УНИВЕРЗИТЕТА
У БАЊОЈ ЛУЦИ

Посебна издања, књига 39

Уредник:

Др Рајко Гњато, ред проф.

Рецензенти:

Др Муриз Спахић, редовни професор у пензији
Др Зоран Милашиновић, дипл. инж. грађ., редовни професор
Грађевинског факултета у Сарајеву

Тираж:

150

Техничка припрема и коректура:

Немања Јањић

Штампа:

АКАДЕМАЦ БЛ

Бања Лука

Предметни рукопис књиге - уџбеника у складу је са наставним и научним захтјевима студијских планова и програма академских студија Географије и Просторног планирања на Природно-математичком факултету Универзитета у Бањој Луци. Као такав одговара и студијским програмима из Хидрологије и Примењене хидрологије и у другим универзитетским центрима.

ДР ВЕСНА РАЈЧЕВИЋ • ДР ЧЕДОМИР ЦРНОГОРАЦ

**ХИДРОЛОГИЈА II
ПОТАМОЛОГИЈА**

БАЊА ЛУКА, 2017.

ПРЕДГОВОР

„Не тече ријека, него вода. Као што не пролази вријеме него ми“
Иво Андрић

Вода је јединствена природна материја (минерал) – једна од четири геосфере географског омотача – која детерминише живот и омогућава низ активности хумане популације. Заједно са још једним праелементом, ваздухом, воде се може дефинисати као медиј (средина) у којем живот долази до свог пуног изражаја. Уосталом, није ли трагање за водом на планетама и трабантима Сунчевог система, односно трагање за водом у познатом дијелу васионе, заправо трагање за могућностима за живот и на другим небеским тијелима.

Вода је саставни дио хидросфере и представља хемијско једињење водоника и кисеоника, оксид водоника (H_2O).¹ Безбојна је течност, без мириса и укуса, а посједује велики топлотни капацитет. Једина је природна материја која у природи постоји у три агрегатна стања: чврстом (лед), течном и гасовитом (водена пара). Као водена пара садржана је у атмосфери, у којој видимо продукте кондензације (капљице воде) и сублимације (кристалићи леда – сњежне пахуље). Вода у чврстом стању, односно лед, присутна је у високопланинским подручјима и поларним областима наше планете. У течном стању воде највише има у Свјетском океану (Свјетском мору), затим у језерима, мочварама и ријекама.

Значење воде за хуману популацију одувijek је имао велики значај, како у прошлости људске цивилизације, тако и данас. Прва насеља, прве државе (државице) југозападне Азије, Индије и Кине свој економски развој везивали су уз велике ријеке, вјештачке акумулације, системе за наводњавање и др. Значајне цивилизације² и државе прије

¹ Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1794) је својим експериментима доказао 1774. године да ваздух није проста супстанца; увео је први хемијску једначину а његова најзначајнија једначина приказује добивање воде узајамном реакцијом водоника и кисеоника (реакцију између два елемента којима је он дао имена): водоник + кисеоника = вода („водоник реагује са кисеоником и гради воду“).

² Цивилизација (лат. *civilis* – грађански), степен материјалног, културног и политичког развоја друштва у појединим раздобљима (примитивна, античка, средњовјековна, модерна... западна, хришћанска, исламска).

наше ере биле су карактеристичне за подручја која у суштини оскудијевају падавинама и водом. Због тога су потребе за наводњавањем имале егзистенцијалну вриједност и доприносиле су формирању првих заједница за воду. Хиљадугодишње искуство изузетно је важно за коришћење воде и развој хидрологије као науке.

Данас (2016. године, оп.а.), када је хумана популација надмашила преко седам милијарди становника на нашој планети,³ када смо у фази научно – техничке револуције која троши огромне количине воде, значење воде постаје још веће. Пољопривреда и индустрија највећи су потрошачи воде, а савремени човјек користи је све интензивније: *енергетика, наводњавање, водени саобраћај, наутички туризам, рекреација и др.* Из тих разлога, савремена наука открива нове изворе и залихе воде, јер нису више само појединци овисни о води – то су данас бројне регије и државе широм наше планете.⁴

Физиолошки значај воде је и у томе што се њоме уносе различите минералне материје неопходне организму (калцијум, јод, флуор и др.). На примјер, у подручјима гдје је вода сиромашна јодом јавља се ендемска гушавост⁵, а тамо гдје у води нема флуора јавља се зубни каријес. У хигијенском погледу вода је потребна за личну и општу хигијену, као и за припрему хране.

Помањкање воде проузрокује пораст кожних обољења, а загађеност воде може бити узрочник масовних заразних обољења (трбушни тифус, паратифус, дизентерија, колера, инфективни хепатитис, полиомијелитис и др.), паразитских болести (амебна дизентерија, појава глиста и шистозомијаза), као и болести заједничких људима и животињама (туларемија, лептоспироза, бруцелоза). Осим набројаног, вода може изазвати тровање оловом, живом, селеном и другим отровним елементима и једињењима које понекад садрже отпадне воде. Тровање путем воде може бити изазвано и средствима за заштиту биља, детерџентима, фенолима (ароматична једињења која се изводе замјеном

³ То практично значи да квалитетне воде за пиће, само за људе, треба око 13 милијарди литара дневно.

⁴ Све обимнија индустријализација и оријентација хумане популације да насељава обале мора, језера и ријека, довели су до тога да се смањује количина чисте (квалитетне) воде, посебно оне за водоснабдијевање становништва.

⁵ Према релевантним испитивањима повећана гушавост (струма) код људи долази од недостатка јода (Iodum) у земљишту, храни и води. Зато се за спречавање гушавости додаје један дио KI (калијум јодида) или NaI (натријум јодида) на 100 000 дијелова кухињске соли (NaCl) која се употребљава у домаћинству и исхрани.

водоникових атома у језгру бензена хидроксилним групама; средства за дезинфекцију) и радиоактивним отпадним материјама.

Талес из Милета, старогрчки филозоф из друге половине VII в.п.н.е., један од „седам мудраца“ старог свијета и најстарији европски филозоф, је рекао: „...основни узрок свега што постоји је вода, односно... вода је основ свих материја, све потиче из воде и све се враћа у воду“. Уосталом, зар снимци наше планете, начињени из васионских пространстава, не показују да би јој назив „Aqua“ (Вода) боље пристајао од садашњег имена „Terra“ (Земља)?

Дефиниција, предмет проучавања и подјела хидрологије

Вода је предмет проучавања посебне науке – *хидрологије*. Сматра се да се ова научна дисциплина развила на прелазу из XIX у XX вијек на бази богатих искустава која су стечена у хидротехничкој⁶ пракси. Хидрологија се бави проучавањем вода у природи, њиховим распрострањењем на топографској површини и у земљишту (литосфери и педосфери), појавама и процесима који се у њима одвијају, у границама хидросфере и закономјерностима по којима се одвијају те појаве и процеси.

Према објектима истраживања, дијели се на океанологију (хидрологију океана и мора) и хидрологију копна. У сваком објекту се изучавају водни режими и водни биланс, динамика кретања водене масе, топлотни процеси и агрегатна стања воде. Хидрологија изучава кружење воде у природи, даје оцјену и прогнозу стања и рационалног искоришћавања водних ресурса.

У богатој стручној, научној и наставној литератури присутно је низ дефиниција хидрологије. С обзиром да је вода најраспрострањенија материја на Земљи, није изненађење да је од појаве првих цивилизација на нашој планети изазивала одговарајућу пажњу. Већ поодавно а посебно данас, бројне области науке баве се истраживањем воде у складу са својим циљевима, методима и одговарајућим

⁶ Хидротехника (грч. *hýdōr* – вода + *technē* – механичка спретност, умјетност, вјештина) – наука о грађевинарству у води, о водоградњи, тј. о радовима на регулисању ријека и потока, о спровођењу канала у циљу мелиорације земљишта, (пољопривредна хидротехника), о изграђивању пристаништа, о оспособљавању ријека за саобраћај (саобраћајна хидротехника), о увођењу водовода и канализације по насељима (санитарна хидротехника), о искоришћавању водне снаге (индустријска хидротехника) и др.

инструментаријем. Највећи и најзначајнији дио истраживања о води обухваћен је јединственим (заједничким) термином – хидрологија.

Бројни су аутори који су дефинисали појам хидрологије, а када је у питању подјела хидрологије, многи аутори сматрају да су поједине области хидрологије посебне научне дисциплине.

То су, на примјер, метеорологија и хидрометеорологија (проучава атмосферску воду); океанографија - бави се анализом воде у океанима и морима; хидрологија површинских вода, која се по неким ауторима дијели на потамологију и лимнологију; глациологија, која проучава кретање ледених маса; геохидрологија – проучава подземну воду; хидрометрија – бави се разним мјерењима и првом обрадом добијених података и друге дисциплине.

Хидрометрија је грана хидрологије која обухвата све врсте мјерења на води, али се под овим појмом у већини земаља свијета подразумевају мјерења на ријекама, нарочито на пловним, гдје је ова област (хидрологије) најразвијенија. Хидрометрија мбра се обично (углавном) обрађује у океанографији. Хидрометрија региструје податке за безбједност пловидбе, прогнозе и безбједност од велике воде и изналази елементе потребне за израду хидротехничких објеката и регулацију ријека.

Хидрометријски радови на ријекама обухватају: картографска снимања и премјеравања, периодична премјеравања дубина и обиљежавање пловног пута, редовно мјерење висине воде, дебљине леденог покривача, протицаја и контролу транспортованог материјала.

Разне математичке и статистичке анализе, методи и модели, отвориле су нове могућности хидролозима из тзв. параметарске⁷ и стохастичке⁸ хидрологије.

У склопу (складу) са овом дефиницијом *U. De Haar* (1974) је представио схему хидрологије (Сл. 1.).

⁷ Параметар (грч. παρά – код, покрај,уз, према; као први дио ријечи у сложеницама означава да је нешто слично, да се јавља поред оног што је регуларно, редовно, да је други облик нечега, да је замјена или додатак чему + μέτρον, мјера, мјерило) – мат. свака величина која се садржи у некој функцији поред промјенљивих; величина од које зависи функција или облик криве.

⁸ Стохастика (грч. stochastikē – нагађање, погађање) , вјештина погађања; вјештина погађања оног што је тачно, учење о оног што је вјероватно.

Вежа (однос) према:	→ →		Наукама: пољопривреда, шумарство, насеља и др.			
Зависност од:	физике - математике		физике - хемије		физике, хемије, математике	
Међузавис- ност од:	метеорологије, геолошких наука		биологије, лимнологије		метеорологије, географије, геологије, биологије	
	ХИДРОЛОГИЈА – основне дисциплине				ХИДРОЛОГИЈА – посебне дисциплине	
	Квантитативна хидрологија		Квалитативна хидрологија			
АТМОСФЕРА	ХИДРО МЕТЕОРОЛ О-ГИЈА	Падавине Испарава ње	ХИДРО ФИЗИК А	Физичке одлике воде	Изотопи у хидрологији	Аграрна хидрологија Шумарска хидрологија Обалска хидрологија Карстна хидрологија
ЗЕМЉИНА ПОВРШИНА	ВОДЕ НА ПОВРШИН И	Отицање, Хидромор -фологија Транспорт чврстих материја, Хидрологи ја снијега и леда	ХИДРО ХЕМИЈ А	Хемијск е одлике воде	ХИДРОМЕТР ИЈА	
ЗЕМЉ- ИШТЕ	ХИДРОПЕД О-ЛОГИЈА	Вода у земљишту	БИОХИ - ДРОЛО -ГИЈА	Биолош ки утицај на квалитет воде		
ПОДЗЕМНИ СЛОЈЕВИ ЛИТОСФЕРЕ	ХИДРО ГЕОЛОГИЈ А	Подземне воде				Хидрогео – графија

Слика 1. Схема хидрологије (Извор: U. De Naar, 1974)

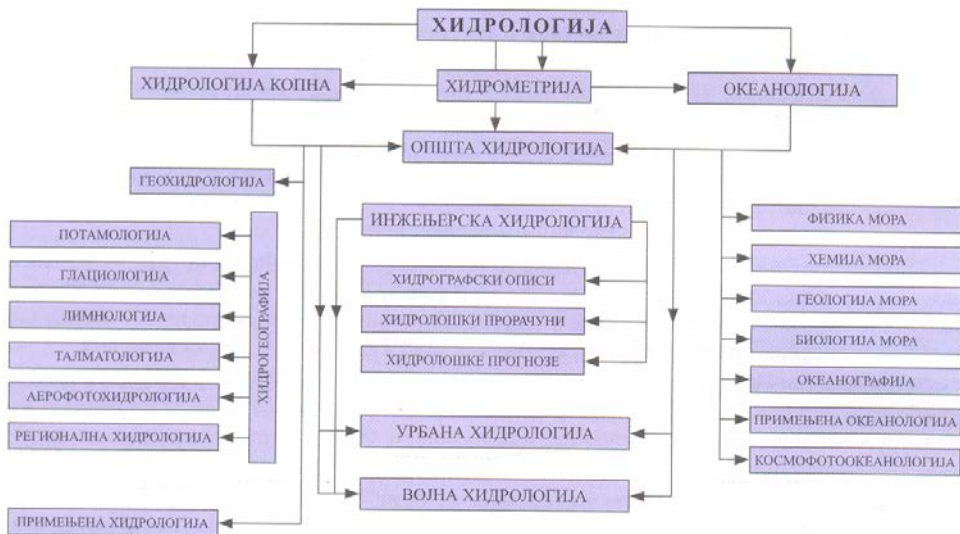
Ј. Риђановић (1989) сматра да најпотпунија и савремена дефиниција хидрологије гласи: „Хидрологија истражује воду копна изнад топографске површине, на њој и испод топографске површине према њеној расподеле у простору и времену, према њеном кретању и промјенама, физички, хемијски, биолошки, проузрокованим својствима и ефектима; све у међузависности природних услова и утицаја савременог друштва“.

Према схеми хидрологије (Сл. 1.) основне науке које, у највећој мјери, генеришу квалитетна хидролошка истраживања, су физика, математика и хемија а у мањој мјери су то метеорологија, биологија и геолошке науке. Није, стога, тешко закључити да је хидрологија интердисциплинарна наука. С обзиром на природу хидролошких појава данас се већина рјешења мора тражити на научном интердисциплинарном нивоу; у појединим приступима потребан је (неопходан је) и мултидисциплинарни ниво. Полазећи од тога и у складу

с доприносом који самој хидрологији пружају поједине науке (осим већ наведених) треба нагласити и учешће: статистике, географије, механике флуида⁹, педологије са пољопривредом, шумарства, фитоекологије, економије, социологије, водног права, уз обавезно присуство примјене компјутера (GIS, GPS), значајне подршке код обраде резултата хидролошких истраживања.

Хидрологија је дио геофизике – општи и најважније науке о Земљи. Осим хидрологије (физика хидросфере), геофизику чине метеорологија (физика атмосфере) и геологија (физика литосфере). Оштру границу међу овим трима наукама није могуће поставити, а основни разлог томе лежи у води, као елементу који их повезује.

Дукић Д. и Љ. Гавриловић (2006), имају сљедећу дефиницију: „Хидрологија је самостална наука која се бави проучавањем вода у природи, њиховим распрострањењем на Земљиној површини и у земљишту, као и појавама и процесима који се дешавају у водама, одређујући закономјерности по којима се развијају те појаве и процеси“. На Слици 2. представљена је подјела хидрологије наведених аутора, гдје основу чини подјела хидрологије (према ширем објекту проучавања) на хидрологију копна и океанологију, а између њих је општа хидрологија.



Слика 2. Подјела хидрологије (Извор: Љ. Гавриловић, Д. Дукић, 2006)

⁹ Флуид (лат. fluidum) – течност, течно тијело; у физици: течно тијело, гасовито тијело. Хидромеханика или механика течности је наука о мировању и кретању течности, о узајамном дјеловању течности и чврстих тијела, а обухвата хидростатику и хидродинамику. У ширем смислу хидромеханика се бави проучавањем течности и гасова (механика флуида), те је сродна аеромеханици.

С.Прохаска (2003) хидрологију дефинише као „науку о режиму вода на површини земље, у атмосфери и под земљом. Она проучава, без обзира на агрегатно стање, процесе преласка воде из атмосфере на површину земље, са површине под земљу, процесе обрнутих прелаза и везу између тих појава. То је наука о водном омотачу Земљине коре, односно физика хидросфере“.

WMO и UNESCO усвојили су следећу дефиницију: „Хидрологија је наука која се бави изучавањем воде на површини или у дубини земље, њеном појавом, расподелом, циркулацијом, како на површини, тако и по простору, њеним биолошким, физиким и хемијским особинама, њеним узајамним дејством са природном средином“.

Хидрологија копна, грана хидрологије која се бави истраживањем хидролошких процеса који се одвијају у границама континената, са ослонцем на континенталну фазу воденог циклуса.

Краће бисмо могли рећи да хидрологија копна проучава воде на површини копна и воде у Земљиној кори.

Океанологија проучава сва мора и океане наше планете у цјелини. То је наука о Свјетском океану (Свјетском мору) која изучава физичке, хемијске, геолошке и биолошке процесе и појаве у Свјетском океану и у појединим његовим дијеловима – рељеф дна и обале, физичка својства и хемијски састав морске воде, циркулацију воде, морске струје и морска доба (плима и осека), морске таласе, топлотне, оптичке и акустичне појаве, те биљни и животињски свијет.

Синоним за океанологију је (понекад) океанографија, која се дефинише и као: „наука која проучава физичка и хемијска својства водене средине, закономјерности физичких и хемијских процеса и појава у Свјетском океану и њиховом узајамном дејству с атмосфером, копном и дном“. Синоним за океанографију је и таласографија¹⁰, мада се термин ријетко користи у литератури и свакодневном говору.

Опита хидрологија проучава све водне објекте на Земљи, служећи се географским и геофизичким методима, ради утврђивања њихових квалитативно – генетских и квантитативних особености.

*Хидрогеографија*¹¹ представља географски правац у хидрологији. Предмет њеног изучавања је вода у узајамном дејству с другим компонентама природе – климом, стијенама, рељефом, земљиштем, вегетацијом а такође објашњава узајамне везе између разних извора

¹⁰ Грч. thálassa – more + graphia – описивати.

¹¹ Хидрогеографија је географски приступ у проучавању вода на Земљи ради њиховог искоришћавања. Овај правац у хидрологији увео је руски географ-хидролог В.Г. Глушков (1883 – 1939), детаљније га је разрадио француски географ – хидролог М. Парде (1893 – 1971) а наставио руски географ – хидролог М.И.Љвович (1906 – 1998).

водних ресурса – ријечних, подземних вода, влаге у земљишту, атмосферских вода и др.

Хидрографија је наука из области хидрологије коју проучава и описује одређене водне објекте на копну, њихове квантитативне и квалитативне карактеристике, размјере, режим, мјесне услове и економско значење. Пошто се бави питањима географског карактера, хидрографија је тјесно повезана са физичком географијом, због чега се често назива и хидрогеографија (географија вода). У поморству и ријечном бродарству хидрографија је и примијењена наука (поморска картографија) која истражује, описује, премјерава и уцртава на карте мора, језера и ријека, у првом реду за потребе водног транспорта.

*Хидрометрија*¹² је грана хидрологије која проучава режим ријека и језера, као и Свјетског океана, а такође и начине посматрања појава које карактеришу тај режим (мјерење брзине водотока, његовог нивоа, дубине и сл.). У складу са развојем технике хидрометрија све значајније користи ултразвучна мјерења и електронске (дигиталне) инструменте. Данас се све више сматра да хидрометрија чини дисциплину инжењерске хидрологије; посебно овакав став имају грађевински инжењери.

Инжењерска хидрологија је примијењена хидрологија за потребе хидротехнике, а на Слици 2. се види да је сачињавају: хидролошки описи и анализе, хидролошки прорачуни и хидролошке прогнозе.

Урбана хидрологија (хидрологија градова) проучава режим и водни биланс површинских и подземних вода урбанизованих¹³ подручја. Хидрологија градова треба да прати степен и темпо урбанизације која је свјетски процес и која поспјешује низ људских активности, посебно у грађевинарству, водоснабдијевању и просторном планирању а које изискују све већу улогу воде. Урбана хидрологија, као нова примијењена хидролошка дисциплина, се развија од седме деценије XX вијека, посебно у Русији, Њемачкој и САД.

Војна хидрологија (војна хидрологија копнених вода и војна хидрологија мора) разрађује комплексе проблема који су са хидролошког становишта специфични за успјешно вођење борбених дејстава на копну и мору у различитим географским срединама.

Д. Сребреновић сматра да „хидрологија је наука која проучава појаве воде на Земљи и законе њеног сталног кружења“. Исти аутор сматра да је наведена дефиниција веома уско постављена, јер се, већ смо

¹² Грч. *hýdōr* – вода + *metría* – мјерење.

¹³ Урбанизација (лат. *urbs,2.urbis* – град); 1. појава у развоју градова; 2. комплексне промјене у руралним срединама под утицајем града (популационо – демографске, социјално – економске, функционалне, физиономске и друге промјене).

видјели, хидрологија не задовољава само проучавањем воде у разним агрегатним стањима (гасовито, течно и чврсто), већ је занимају и друге особине воде (хемијске, физичке, биолошке и др.).

Према Д. Сребреновићу хидрологију се може сврстати у пет дисциплина:

- хидрометеорологија, наука о води у атмосфери,¹⁴
- потамологија, наука о површинским токовима,
- лимнологија, наука о језерским водама (или слатким водама стајаћицама),
- криологија, наука о води у облику снијега и леда,
- геохидрологија, наука о подземним водама или о кретању и појавама воде у литосфери.

Из бројних наведених дефиниција и подјела хидрологије можемо закључити да је изузетно тешко наћи широко постављену дефиницију, односно у свим набројаним подјелама још је теже тражити јасно омеђене границе појединих хидролошких дисциплина. Хидролошки феномени, процеси и проблеми не могу се једноставно ограничити; они су комплексни и у времену и у простору, тако да се рјешења морају често тражити на научном интердисциплинарном нивоу.

Са аспекта дефиниције географије, као науке о динамичним територијалним системима, који су формиран на Земљиној површини услед међудејства друштва и природе и о законима и закономјерностима њиховог развитака и постојања, њој је најближа подјела хидрологије коју су предложили Д. Дукић и Љ. Гавриловић. Мостовна дисциплина географије и хидрологије у овом случају је *хидрогеографија*, као дио хидрологије али и дио географије. Објект хидрогеографије је хидросфера, једна од основних компоненти географског омотача, јединственог система Земљиних сфера које се међусобно додирују и прожимају.

¹⁴ Конкретније, хидрометеорологија је наука која се бави међузависношћу хидрологије и метеорологије.

Историја хидрологије и неки аспекти њеног развоја

Генерално гледано, историјски развој хидрологије, без обзира који термин је коришћен, састоји се из низа периода гдје њен значај није био занемарљив, а улога јој је била увијек велика. Оно што је непобитно је чињеница да је вода одувјек била основ за стварање сваке цивилизације, односно основ за три цивилизацијска таласа: пољопривредна револуција¹⁵, индустријска револуција и технолошка револуција.

Хидрологија, као издвојена научна дисциплина, односно нова (самостална) наука јавља се почетком трећег деценија XX вијека. Ова констатација се везује за формирање првих установа, института и катедри за хидролошка истраживања, као и за оснивање Међународног удружења за хидрологију (IASH) 1922. године у Риму, за вријеме засједања Међународне уније за геофизику и геодезију (IUGG).

Капитални хидротехнички подухвати, данас већ изумрлих цивилизација, захтијевали су познавање одређених хидролошких процеса и закона. Хидролошки објекти, саграђени у периоду прије наше ере, показује да су стари народи (Египћани, Асирци, Вавилонци, Кинези, Грци, Римљани и др.) имали извјесна схватања о законима хидромеханике на основу опажања и искустава, али нису знали да им дају општи облик. Велики радови на изградњи система за наводњавање у Месопотамији, Египту и Кини, римски аквадукти¹⁶, системи за одводњавање у Индији, објекти за наводњавање и заштиту од ерозије на простору данашње Либије и низ других радова (објеката), довољно јасно потврђује да су реализације тих пројеката захтијевале много више од физичког рада. Радови су били изузетно функционални а за то је било потребно стручно знање.

О појму хидролошког циклуса одређена мишљења износили су писци, филозофи, физичари и историчари из античког периода (Хомер¹⁷, Талес¹⁸, Платон¹⁹ и Аристотел²⁰ из Грчке; Лукрецијус, Сенека и Плиније из Рима).

¹⁵ Пољопривредна револуција, као први талас друштвених промјена на Земљи и почетак трансформације природних екосистема у антропогене. Свој почетак има прије 16 – 18000 година.

¹⁶ Аквадукт (лат. aqua - вода + ducere – водити); 1. водовод, постављен на грађевини сличној мосту; 2. стари римски водовод; 3. водоводна цијев, канал.

¹⁷ Хомер, легендарни грчки пјесник коме се приписују најстарији грчки епови Илијада и Одисеја.

¹⁸ Талес (из Милета), старогрчки филозоф из друге половине VII вијека п.н.е. (640 – 550 г.п.н.е.); најстарији европски филозоф, познат по изјави: „ ... основни узрок свега што постоји је вода“.

Данас можемо констатовати да су ти рани концепти највећим дијелом били погрешни.

Маркус Витрувије (Vitruvius) Полио (I в.п.н.е.) први је базично добро описао хидролошки циклус, но што је значајније он је исправно схватио (и изложио) инфилтрациону теорију („поријекло подземних вода од падавинских“).

Треба напоменути да је основе инфилтрационе теорије много раније схватио Галес из Милета.

Након Витрувија, Франтиус, задужен за дистрибуцију воде у старом Риму (први вијек нове ере) оцјењивао је протицаје водотока само на основу величине овлаженог профила ријеке, не узимајући у обзир и брзину воде у ријечном кориту. За овај рани период историје хидрологије може се рећи да су стари Грци и Римљани били први озбиљни истраживачи (опажања и искуство) хидролошких појава и процеса. Ову констатацију поткрепљује и чињеница да је прво научно дјело из области хидромеханике дао грчки математичар и физичар Архимед²¹. У дјелу *О тијелима која пливају* изложио је основне задатке хидростатике.

Почетак (ембрион) хидрологије као науке може се везати за период ренесансе. Неки аутори овај период називају *период осматрања* (од 1400 – 1600. године). Наиме, на основу осматрања хидролошких процеса, Леонардо да Винчи (1452 – 1519) објављује рад (студиј из хидромеханике) „*О кретању и мјерењу воде*“. У овој студији се први пут спомиње отпор кретању тијела кроз течности, но чињеница је да је овај рад објављен тек 300 година после смрти Леонарда да Винчија ?!

Од радова који су се бавили проблемима хидромеханике у том периоду, могу се још набројати: С. Стевин – *Начела хидростатике* (1585), Галилео Галилеј²² – *О основним законима пливања тијела* (1612),

¹⁹ Платон, надимак Аристокла, ученика Сократова (учитеља Аристотелова); један од највећих старогрчких филозофа (427 – 347. п.н.е.); име Платон долази врло широких леђа (грч. plátos – ширина); у филозофији Платон је творац идеализма.

²⁰ Аристотел (384 – 322. п.н.е.), грчки филозоф, ученик Платонов, учитељ Александра Великог; оснивач перипатетичке школе (грч. περί – ратѐ: шетам се и притом расправљам).

²¹ Архимед (грч. ἀρχι – као први дио сложенице значи горњи, виши, први, предњи, над + μέδομαι – бринем се, дакле „опрезни“, „који зна предвиђати“, „обзирни“), највећи математичар и физичар античког свијета (287 – 212. п.н.е.).

²² Галилео Галилеј (Galilèa Galilèija, 1564 – 1642), италијански научник, оснивач модерне физике; познат по реченици *Еppur si muove* („ипак се креће“ – ријечи које је, наводно, узвикнуо Галилеј пред црквеним судом који га је присиљавао да се одрекне свог учења о кретању Земље око Сунца). Открио је циклоиду (равна крива линија коју описује тачка на кругу кад се он без клизања котрља по некој правој) и њену примјену на лукове мостова. Галилео Галилеј познат је и као конструктор првог термоскопа.

Б. Паскал – *О независности притиска у течности од облика суда на који дјелује* (1653), и Исак Њутн²³ - *О отпору течности* (1687).

Након дјела Леонарда да Винчија „О кретању и мјерењу воде“ Бернар Палиси (Bernard Palissy) је у раду „*Диван разговор о природи вода и извора*“ (Париз, 1580) поставио исправан поглед на хидролошко кружење воде (хидролошки циклус), посебно на инфилтрацију падавина, и у складу с тим појаву тих вода на топографској површини у виду извор и врела.

Историјски посматрано, прва хидролошка мјерења имају свој почетак у XVII вијеку. Тако су Перо (Perrault) и Мариот (Marriotte) вршили мјерења падавина, испаравања и капиларност на потесу Сене код Париза. Резултате својих мјерења објавили су у другој половини XVII вијека.

Мјерења у хидрологији²⁴ (крај XVI, XVII и почетак XVIII вијека) сврставају хидрологију у савремене науке. На примјер, Пјер Перо²⁵ мјерио је падавине, испарења и капиларне појаве за слив ријеке Сене. Едме Мариот²⁶ је проучавао протицај ријеке Сене код Париза, мјерећи попречни пресјек ријеке и брзину тока.

Едмонд Халеј је око 1700. године показао да је испаравање из океана и мора један од главних извора влаге за формирање падавина. Наиме, Е. Халеј је мјерио величину испаравања и ријечне протицаје у оквиру једне студије о Средоземном мору, и на основу резултата мјерења био је у стању да дође до релативно тачних закључака о појавама које је анализирао (мјерио).

Може се, с правом, рећи да у периоду од 1700 – 1800. године²⁷ долази до обogaћивања хидрологије (хидраулике) новим експерименталним открићима, која су имала одраза на квантитативне аспекте хидролошких студија. То је период Бернулијевог пијезометра²⁸, Питотове цијеви, Волтмановог крила, Бордаове цијеви и др. Оно што је неспорно за период експерименталних истраживања је чињеница да су наведена открића убрзала развој хидрологије.

²³ Исак Њутн (1642 – 1727), енглески физичар и научник; IN – јединица за силу у Међународном систему јединица.

²⁴ Инструментални период, односно употреба инструмената у хидрологији.

²⁵ Perrault, Pierre, *De l'origine des fontaines*, Pierre le Petit, Paris, 2d. ed. 1678.

²⁶ Marriote, Edmé, *Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides*, E. Michallet, Paris, 1686, 2d ed.. J. Jonbert, Paris, 1700.

²⁷ Неки аутори (Зеленхасић Е., Руски Матилда) период од 1700 – 1800. године дефинишу као период експерименталних истраживања.

²⁸ Пи(ј)езометар (грч. *piézō* – притискујем, сажимам + *métron* – мјера, мјерило), физ. справа за мјерење стишљивости, (компресивности – стискавости; који стиска, који сабија; збијајући). Пиезометријски ниво – сваки претпостављени ниво до којег сеже водена површина у карстном подземљу по систему спојених посуда.

Период од осамнаестог и већим дијелом деветнаестог вијека дефинише вријеме снажних друштвених и економских процеса. У складу с тим хидрологија (хидрографија и комплементарне дисциплине) постаје све више домен државних установа (институција). На примјер, у Француској, у почетку XVIII вијека основан је први хидрографски институт, но ипак, у то вријеме, водеће мјесто у хидролошким дисциплинама заузима Велика Британија. У Русији, хидрологија (хидрографија) је до Петра Великог била оријентисана искључиво на ријеке и језера. Систематски хидрографски радови о мору у Русији се јављају тек у доба Петра Великог због стварања ратне морнарице и коришћења водних (поморских) путева.

Географским открићем (открићима) поларних области (XIX вијек) хидрографија је обухватила обале свих, до тада познатих мора а њеном развоју допринијеле су многобројне научне хидрографске експедиције са намјенски опремљеним бродовима, иновираним хидрографским инструментима, као и формирање све већег броја хидрографских института.

Период модернизације хидрологије (1800 – 1900) одликује интензиван научно – истраживачки напредак из области геохидрологије (хидрологије подземних вода) и значајан допринос из области мјерења у оквиру хидрологије површинских вода.²⁹ Вилијам Смит је користио геолошка сазнања у рјешавању хидролошких проблема.

Крај XIX вијека и почетак XX вијека (период од 1900 – 1930. године) за хидрологију представља период емпиризма.³⁰ Јавља се стотињак нумеричких формула, тако да је за поједине проблеме хидролог (у то вријеме) имао низ понуђених емпиријских формула, па је избор формула, коефицијената и разних параметара зависио од субјективног приступа и личног искуства сваког хидролога.

Значајна је 1932. година када се јавља Шерман (Sherman) са својим јединичним хидрограмом. То је један од првих покушаја да се од емпиризма пређе на рационалну анализу; у овом случају на релацији: јаке кише – отицање.

²⁹ Од нарочитог значаја за хидрологију површинских вода је и знатан напредак хидрометрије (одређивања разних формула за брзину тока и протицаје, нови хидролошки мјерни инструменти и уређаји, почетак развоја мреже осматрачких станица хидрометеоролошке службе и др.).

³⁰ Емпиризам (грч. *empeiria* – искуство) – филозофија искуства; гносеолошки (сазнајни) правац који цјелокупно сазнање изводи из искуства; у методолошком погледу: принцип да све науке треба да се оснивају (заснивају) на искуству (оснивач гносеолошког емпиризма је Џон Лок, а методолошког Франсис Бекон).

*Период рационализације*³¹ (1930 – 1950) карактерише значајан број хидролога који су употребили рационалну анализу умјесто емпиријског прилаза за рјешење (рјешавање) одређених хидролошких проблема (Sherman, C.W., Horton, R.E., Gumbel, E.J., Einstein H., Meinzer O.E. и др.).

Период историјског развоја (1950 →) везује се за развој математичке статистике, теорије вјероватноће и развој компјутерске технике, уз већ успостављену солидну основу разних рационалних хидролошких принципа. Према Е. Зеленхасићу (1991) примјери оваквих теоријских хидролошких развоја су:

- линеарна и нелинеарна анализа хидролошких система,
- примјена теорије вјероватноће и математичке статистике у свим областима хидрологије са појавом изузетних хидролошких модела,
- примјена термодинамике за објашњење појава из области испаравања,
- примјена физике земљишта за објашњење појава у вези са влажношћу земљишта,
- стохастичко генерисање хидролошких података, примјена операционих истраживања и друго.

Истовремено, треба нагласити и примјену несиметричних кривуља фреквенције (Gumbel, E.J., Galton, Pearson) код одређивања екстремних отицаја или уопште хидролошких појава.

Из овог кратког историјског прегледа хидрологије можемо закључити:

1. Наслућују се тенденције (тежње) које имају за циљ да се наглашени степен емпиризма и рационализма донекле амортизује (у хидрологији, оп.а.), а да се теоријском развоју да предност; већина хидролога новијег доба сматра да ће се у хидрологији још дуго задржати емпиријско и рационално, „оплемењено“ (више или мање) теоријским анализама, а такав закључак је диктиран комплексношћу хидролошких проблема;
2. Већина садашњих сазнања потиче од 1930. године, што указује да је хидрологија релативно млада наука и да јој предстоји снажно напредовање, односно пред данашњим и будућим хидролозима је импозантан научни изазов. Интервал посматрања (опажања) се значајно продужава, па статистички материјали постају све више квантитативнији чиме су могућности за квалитетније закључивање реалније;

³¹ Рационализам (лат. *ratio* – разум), примјена разума на све што је човјеку дато у искуству; у *филозофији*: правац који сматра разум и мишљење као једини, или бар најважнији извор сазнања, којим се једино може доћи до истине.

3. Значај хидрологије и неминовна економска нужност њеног даљег развоја везана је за све већу потрошњу воде у свијету; потрошња воде везана је за повећање броја људи на нашој планети, гдје је посебан проблем производња хране³² а за коју основни услов у постизању високих жетвених приноса је наводњавање. Пораст потрошње воде све је већи и у индустрији,³³ затим све веће потребе питке воде и сл.

Актуелни задаци хидрологије. У хидрологији је значајан број појава и проблема само оквирно (грубо) теоријски дефинисан. Хуманој популацији, из генерације у генерацију, вода постаје све интересантнија и све скупља сировина а вриједност воде данас се, реално, може тешко (про)цијенити. За мањи дио данашње цивилизације вода је производ који се продаје и купује; за већи дио је то насушна потреба од које овиси егзистенција становништва многих географских простора (држава, регија и сл.).

У цјелини гледано, у хидрологији се могу поставити два подједнако вриједна подручја хидролошког дјеловања:

- прикупљање и обрада хидролошких података (посматрање, мјерење),
- систематско анализирање тих података уз максимално могуће коришћење теоријских достигнућа, уз наглашену тенденцију да резултати тих истраживања буду обликовани на начин који ће одговорити потребама праксе.

Хидрологија даје изузетно квалитетну подлогу за рјешавање водопривредних, али и низа других проблема. Данашње потребе водне привреде захтијевају сложеније коришћење хидросферног комплекса, што од хидролога и хидрологије у цјелини изискује низ нових и квалитетних рјешења. Један од очигледнијих примјера су вишенамјенске акумулације, али без изолације у простору. То се данас може постићи захваљујући и модерној компјутерској опреми (база података, брзо рјешавање сложених математичких једначина хидролошке анализе, брза израда подлога и др.). Примјена синтетичке (оперативне) хидрологије (коришћење компјутерске технике) омогућава избор темељних (битних) величина за рјешавање најсложенијих хидротехничких система у смислу тражења најповољнијих, без обзира да ли се ти системи користе у активној или пасивној водопривреди или су они полифункционални у најширем водопривредном смислу.

³² У пољопривреди за узгој 1 kg биљне масе треба до 500 kg воде.

³³ На сваку тону произведеног челика троши се 20 m³ воде; на сваку тону синтетичког бензина троши се око 80 m³ воде; на сваку тону вјештачке свиле троши се до 800 m³ воде итд.

САДРЖАЈ

1. УВОД	25
1.1. Историјат потамологије.....	25
1.2. Предмет, циљ и задаци потамологије	29
1.3. Методи и методологија потамолошких истраживања	30
2. РИЈЕКЕ; РИЈЕЧНИ СИСТЕМИ И РИЈЕЧНА МРЕЖА	39
2.1. Настанак водотока и ријека.....	39
2.2. Типови ријечних токова	45
2.3. Елементи ријечног тока.....	50
2.3.1. Морфометрија и морфологија ријечног тока	52
2.3.2. Пад ријечног корита и уздужни профил ријеке	54
2.3.3. Уздужни профил и средњи уравни пад тока.....	55
2.4. Ријечни системи	60
2.5. Ријечна мрежа.....	61
2.5.1. Типови ријечне мреже	63
3. РАЗВОЂА И СЛИВОВИ	65
3.1. Развођа и њихови типови	65
3.2. Хидролошки значај развођа	70
3.3. Слив и његове одлике	73
3.3.1. Хидрографске и физичкогеографске карактеристике слива и главног тока	73
3.3.1.1. Морфометријске карактеристике слива.....	73
3.3.1.2. Изведене величине карактеристика водотока и слива	78
4. РИЈЕЧНА ДОЛИНА И РИЈЕЧНО КОРИТО	81
4.1. Ријечна долина и елементи долине	81
4.1.1. Полоји и њихове особености	84
4.1.2. Типови долина.....	87
4.2. Меандри	90
4.3. Ријечно острво (ада) и типови ријечних острва.....	92
5. СВОЈСТВА РИЈЕЧНЕ ВОДЕ	95
5.1. Хемијска и физичка својства воде.....	95
5.1.1. Хемијски састав ријечне воде	95
5.1.1.1. Природно загађивање воде.....	96
5.1.1.2. Класификација квалитета копнених вода.....	97
5.1.2. Физичке особине воде	104
5.2. Термички режим ријека.....	112
5.3. Лед на ријекама	113

6. КРЕТАЊЕ ВОДЕ У РИЈЕЧНОМ КОРИТУ	117
6.1. Елементарни појмови.....	117
6.2. Ламинарно, турбулентно и циркулаторно кретање воде.....	119
6.3. Брзина кретања воде на овлаженом профилу.....	120
7. РИЈЕЧНИ РЕЖИМИ	123
7.1. Дефиниција ријечног режима.....	123
7.2. Водостај и водостање.....	124
7.2.1. Мјерење дубина воде.....	129
7.3. Протицај воде.....	130
7.3.1. Протицај.....	130
7.3.2. Графо-аналитички поступак одређивања протицаја воде.....	130
7.3.3. Крива протицаја.....	140
7.3.4. Хидрограм/хидрограф протицаја.....	145
7.3.5. Остале јединице за мјерење протицаја и отицања падавина са ријечног слива.....	148
7.3.5.1. Основне карактеристике отицаја.....	148
7.3.5.2. Одређивање просјечних падавина у сливу преко познатог слоја отицаја и коефицијента.....	149
7.4. Крива трајања и учесталост протицаја.....	150
7.5. Фазе водног режима.....	150
7.5.1. Расподјела отицаја током године.....	152
7.6. Просјечне воде.....	153
7.7. Велика вода.....	153
7.8. Мала вода.....	160
7.8.1. Трајање малих вода и дефицити вода у маловодном Периоду.....	161
7.8.2. Водопривредни аспект малих вода.....	161
7.9. Водни режими ријека.....	163
7.10. Климатска класификација ријека по режиму храњења.....	166
7.10.1. Ријеке које се хране сњежницом и кишницом.....	166
7.10.2. Ријеке које се хране кишницом.....	167
7.10.3. Ријеке које се хране са мало кишнице и сњежнице.....	169
7.10.4. Ријеке које се хране подледничком сочницом.....	169
7.11. Класификација ријека према типовима њиховог водног режима.....	169
7.12. Енергија и рад ријека.....	176
7.13. Водни биланс.....	179
7.13.1. Компоненте водног биланса.....	180
7.13.2. Водни биланс слива.....	181
7.13.3. Одређивање елемената водног биланса слива.....	182
7.14. Улога вегетације у отицању падавина.....	186

8. ФИЗИЧКОГЕОГРАФСКИ ФАКТОРИ РИЈЕЧНОГ РЕЖИМА	189
8.1. Утицај климатских елемената на ријечни режим	189
8.1.1 Падавине	190
8.1.2. Испаравање/евапорација	193
8.2. Утицај рељефа на отицање падавина	197
8.3. Утицај земљишта на отицање падавина у сливу	200
8.3.1. Замрзавање/смрзавање земљишта	205
8.4. Антропогени фактори ријечног режима	207
8.4.1. Утицај пољопривреде на ријечни режим.....	207
8.4.2. Утицај акумулација на ријечни режим	208
9. РИЈЕЧНА ЕРОЗИЈА И РИЈЕЧНИ НАНОС	211
9.1. Ријечна ерозија	211
9.1.1. Коefицијент ерозије	213
9.2. Ријечни нанос	216
9.3. Бујице	220
ЛИТЕРАТУРА И ИЗВОРИ	225

1. УВОД

1.1. Историјат потамологије.

Потамологија (грч. *potamos* – ријека и *logos* – ријеч, наука) је грана хидрологије копна, која проучава ријеке, процесе отицања воде и наноса у њиховим коритима и басенима. Потамологија изучава, такође, положај ријечних корита у географском омотачу, облик попречних и уздужних профила ријечног корита, узрочно – посљедичне везе водног биланса ријечног слива с падавинама и испаравањем, утицај хидротехничких мелиорација на отицање, као и водени и топлотни биланс ријечног басена. За потамологију можемо рећи и да је заједничко додирно поље геоморфологије, хидраулике и хидрологије.

За хуману популацију, од праисторије до данас, ријеке имају огроман егзистенцијални и привредни значај. Подсјетимо се само улоге и значаја неких ријека у развоју старих цивилизација у пустињским просторима наше планете: Нила, Еуфрата, Тигриса, Сир Дарје, Аму Дарје, Инда и др. Те ријеке су омогућиле развој карактеристичних водопривредних друштава, на примјер месопотамијску и египатску цивилизацију; од древног Вавилона па до данашњих бројних свјетских метропола, градови („цивилизације“) су грађени дуж ријечних обала, а неки и на самим ријекама.

Истовремено, значај ријека и њихова експлоатација било је регулисано и законским прописима још у првобитним државама старог вијека. Познат је закон вавилонског цара Хамурабија (1792 – 1750. године п.н.е.). Овај законик је изузетно подробна кодификација³⁴ вавилонског права и уједно драгоцен извор о привредним и социјалним приликама древних цивилизација античког Истока. Иако се у закону наглашава да је настао као заштита слабијих од јачих, закон ипак подржава традиционалну класну подјелу, јер су казне припадницима нижих класа за исти злочин биле знатно оштрије. Законик је писан клинастим писмом на акадском језику у 300 изрека у 51. ступцу, а састоји се из три дијела: увода, законских прописа од 282 члана и епилога. Обухвата прописе појединих грана права: стварног, обавезног, породичног, брачног и казненог.

За потамологију је веома значајно да су у закону изложени прописи о мелорационим каналима, наводњавању земљишта, плаћању такси за коришћење ријека у функционисању саобраћаја и др.

³⁴ кодификација (нлат. *codificatio*), прав. утврђивање обичајног права писаним законом, озакоњивање; систематизовање закона, правила који се односе на неко подручје друштвеног живота;

За развој потамологије и коришћење водног богатства ријека битно се подсјетити великих хидротехничких објеката у неким земљама старог вијека: насипи за одбрану од поплава у Вавилонији, канала и вјештачких језера у Египту, Великог канала у Кини (дугачког око 1500 км), као и изградње великих брана у долинама индијских ријека (Велики Антикут на ријеци Каувери, саграђена прије 1600 година) и др. Изградња језера Мерис (сада Биркет Керун) у старом Египту представљала би и данас захтјеван пројекат.

Још стари Египћани били су свјесни чињенице да Нил за вријеме својих поплава никада није имао поуздан и константан водостај/протицај, а плодност земљишта је увијек зависила од оптималне мјере изливања ријечне воде; један од египатских краљева је направио језеро да прима вишак воде. Тиме је Нил спријечен да прекомјерно плави плодно земљиште и формира мочваре и баре, односно спријечио је и могућу штету коју би усјевима донијела несташица воде. Ово језеро и данас корисно служи становништву Египта, а многи га и даље називају језером Мерис.

Када је у питању европски континент, најзначајнији и најобимнији радови, у старом вијеку, су вршени на географском простору данашње Грчке, Италије и Шпаније. Посебно су познати акведукти³⁵ из периода Римског царства. Акведукт у Сеговији је староримски акведукт, саграђен за вријеме римских царева Клаудија и Трајана (I – II в.н.е.) и један је од најбоље очуваних у свијету. Он је најпознатији симбол Сеговије, која је град истоимене аутономне провинције у аутономној заједници Castilly у Леон. Налази се на ријеци Ересми, 65 км сјеверозападно од Мадрида, а има око 56000 становника, а од 1985. године је на УНЕСКО – овом попису мјеста свјетске баштине.

Међу вриједне хидротехничке радове у Италији спадају тунели кроз које је испуштена вода из неких вулканских језера. За Римско царство је карактеристичан и акведукт преко ријеке Гар (десна притока Роне), који данас има функцију моста.

Ово је само дио великих и трајних хидротехничких објеката уз мноштво касније саграђених објеката. Та почетна фаза и њен наставак до новијег доба, упућују нас на закључак да су хидротехнички стручњаци, због захтјева праксе, први детаљније проучавали ријеке, а из тога се развило схватање да је хидрологија хидротехничка дисциплина. Очигледно, такво мишљење се не може прихватити из разлога што је комплекс хидролошких процеса и појава, којима се бави потамологија, знатно већег научног истраживачког обима и много комплекснији од захтјева које хидротехника поставља у својој дефинисаној пракси.

³⁵ акведукт (лат. aquae ductus, aqua – вода, ductus – вод), стари римски водовод, отворени канал за воду на стубовима; (непр. **аквадукт**)



Слика 3. Уже средиште Сеговије са акведуктом из периода Римског царства

Хидротехника (грч. *hýdōr* – вода + *technē* – механичка спретност, умјетност, вјештина) је наука о грађевинарству у води, о водоградњи, тј. о радовима на регулисању ријека и потока, о спровођењу канала у циљу мелиорације земљишта, (пољопривредна хидротехника), о изграђивању пристаништа, о оспособљавању ријека за саобраћај (саобраћајна хидротехника), о увођењу водовода и канализације по насељима (санитарна/комунална хидротехника), о искоришћавању водне снаге (индустријска хидротехника/хидроенергетика) и др.

Као научна дисциплина потамологија се почела приоритетно развијати у оквирима физичке географије, а тек крајем XIX вијека почиње њено осамостаљивање и дистинкција у односу на остале хидролошке дисциплине, а то је довело до усвајања термина потамологија, који је појмовно означавао науку о ријекама/ријечна хидрологија. Потамологија се, у фази конституисања и осамостаљивања, најинтензивније развијала у Француској, Њемачкој, Пољској, Румунији, Мађарској, Бугарској и Русији. Прва референтнија истраживања ријека на географском простору бивше Југославије имају своје коријене седамдесетих година XIX вијека. Анта Алексић³⁶ је написао своје најважније дјело, студију: "Морава, њено садање стање и могућност пловидбе", а студију је почетком 1871. године поднио Српском ученом друштву. Након позитивног изјашњавања о овом раду *Одсек за јестаственичке и математичке науке* донио је 29. децембра 1874. године одлуку да се "Морава, њено садање стање и могућност пловидбе" штампа као посебна књига, али је она угледала свјетлост дана тек 1879. године. У међувремену Алексић је доживио велико признање изборим за редовног члана *Српског ученог друштва* на скупштини од 17. фебруара 1874. године.

³⁶ Анта Алексић (1844 – 1893), хидротехнички официр, хидролог и војни географ, а бавио се и трговином. Био је писац, члан Српског ученог друштва, један од првих српских хидролога, а свакако први који се посветио проучавању река и осталих вода уже Србије, са хидролошке, хидрографске и хидротехничке стране, за разлику од ранијих аутора који су воде посматрали искључиво са географског аспекта, код којих се вода описује као обичан топографски објекат.

Јован Стефановић-Виловски³⁷ је изучавао Дунав, Тису и Саву. У Хрватској је Милан Шеноа (1869 – 1961), професор географије, а након тога универзитетски професор, објавио око педесет дјела из физичке географије и антропогеографије. Запажена му је студија „Ријека Купа и њезино поријечје“ (1895. године).

Данас постоји општа сагласност да пионирски радови Алексића, Виловског и Шеное не представљају потамолошке студије у данашњем смислу. Прихваћено је да први такав рад је дао Павле Вујевић³⁸ - *Die Theiss, eine potamologische Studie*. Интензивнији, обухватнији и комплекснији развој потамологије у Југославији, у суштини, почиње након Другог свјетског рата. Објављује се низ референтних радова бројних аутора, у првом реду географа, али и бројних инжињера.

Неизмјеран допринос у развоју хидрологије на нашим просторима дао је академик Јован Цвијић (1865 – 1927) својим радовима из области Физичке географије и Антропографије јужнословенских и балканских земаља. У својим бројним радовима је детаљно објаснио еволуцију подземних издани, извора и морфологију језера и водотока на Балканском полуострву.

Након Другог свјетског рата, југословенска хидрологија добија на значају доласком проф. Вујице Јевђевића. Књига проф. Јевђевића (27) „Хидрологија – I део“ представља сам свјетски врх тадашњих домета хидрологије. С правом се може рећи да је проф. Јевђевић поставио темељ не само југословенској хидрологији и водопривреди, већ и хидротехници у цјелини.

³⁷ Јован Стефановић-Виловски (1821 – 1902), био је генералштабни мајор у аустријској војци, пензионисан је 1865. године и од тада се бави хидрологијом. Написао је око 60 расправа и чланака, углавном о мелиорацији и регулацији Тисе и Дунава, а дио радова односи се на ријеку Саву.

³⁸ Павле Вујевић (1881 – 1966), био је географ и метеоролог, професор климатологије, метеорологије и математичке географије на Београдском Универзитету, академик САНУ. Био је међу првима у проучавању потамологије, а 1906. године је објављена његова студија о ријеци Тиси, *Die Theiss, eine potamologische Studie*, због које га југословенски хидролози сматрају за оснивача потамологије на географском простору бивше Југославије.

1.2. Предмет, циљ и задаци потамологије.

Аустријски географ В. Уле, један од првих пионира потамологије, написао је (1902. године) да она проучава:

1. положај, величину и ток ријеке;
2. Водни биланс текућих вода;
3. ријеке као геолошке факторе;
4. физичке особине текућих вода;
5. биологију текућих вода;

6. антропогеографски значај ријека (Дукић, Гавриловић, 2006).
Разумљиво је, с обзиром на временску дистанцу од преко једног вијека, да су се од тада предмет, циљ, задаци и сврха потамолошких истраживања значајно измијенили.

Предмет проучавања потамологије су, прије свега, водотоци на топографској површини наше планете, од најмањих (млазеви кишнице, цурци) па све до оних највећих (ријека Конго, Об, Амазон...). Истраживања која се проводе у потамологији, у суштини се односе на значај и улогу воде – посредно и непосредно виталног фактора у животу хумане популације, фактора који је укључен у најбитније сегменте економије, духовно-културни и цивилизацијски ареал наше планете. С обзиром да су бројни хидролошки процеси у принципу стохастички³⁹, ријетко детерминисани, то значи да су у принципу овисни о физичкогеографским факторима слива, односно од: геолошких својстава слива, општих геоморфолошких одлика ријечне долине и њеног сливног подручја, климатских елемената слива, педолошких и биогеографских карактеристика слива. Референтност истраживања захтијева од истраживача коришћење широког спектра метода и техника актуелних код израде потамолошких студија. На тај начин је могуће добити одговоре на низ постављених полазних премиса: хидрографска анализа слива и водотока, анализа хидрометеоролошких елемената слива, хидрометрија, анализа и прорачун основних карактеристика отицаја, анализа ријечног режима, хидролошки биланс површинских вода, примјена математичко – статистичких метода у хидролошким анализама, картирање хидролошких појава и примјена рачунара у хидролошким анализама и др.

Циљ истраживања у потамологији је првенствено издвајање и валоризација елемената природно – просторног комплекса ријечних сливова. Комплементарна компонента истраживања се дефинише кроз садржаје примијењене хидрологије. У комплексној студији ријеке и њеног слива није могуће избјећи одређени степен математизације одређених истраживања. За један ријечни ток и његов слив у цјелини,

³⁹ стохастика (грч. stokhastike), вјештина погађања, учење о оном што је вјероватно, могуће

као и за специфичне потезе водотока, често је потребна употреба парцијалне и синтезне евалуације релевантних компоненти физичкогеографског комплекса: геолошких, геоморфолошких, климатских, хидролошких (фрагментарно и у цјелини), педогеографских, биогеографских својстава и антропогеографског утицаја (пресинга на водоток). Код конкретизације циља истраживања могу се навести и сљедећи садржаји: систематизација теоријских сазнања, као основе за предвиђена истраживања, постављање и примјена поступака и метода истраживања, провјера, допуна и корекција доступних сазнања и резултата практичних истраживања и дефинисање (утврђивање) оптималних капацитета истраживаног водотока и сливног подручја за развој појединих врста дјелатности (његова садашња и будућа демографска слика, степен утрвбанизације и заштита животне средине).

Задатак потамологије, најкраће речено, је да комплексно проучи водотоке, при чему је приоритет утврђивања формирања ријечних токова и њихови типови, битне карактеристике морфометрије и морфологије ријечног тока и слива; у примарне задатке спадају и проучавања особина ријечних корита и хидролошки значај ријечних долина, затим ријечни режим и водни биланс ријечних сливова; након извршеног комплексног проучавања и прикупљених резултата истраживања потребно је израдити и карту хидролошке рејонизације проучаваног географског простора.

1.3. Методи и методологија потамолошких истраживања. Методологија представља систем метода и начела примјењиваних у некој науци или научној дисциплини. У разним научним истраживањима постоје и различити методи, а и потамологија користи читав низ метода, које јој служе да дође до релевантних истраживачких резултата.

Предмет методологије уопште је *метод*, а методологија се дефинише као *наука о методима, односно путевима сазнања*. Општа методологија науке је филозофска дисциплина и бави се научним методом и теоријом сазнања/спознаје. Свака наука има сопствену методологију истраживања. За конституисање једне науке неопходни су: постојање сопственог предмета истраживања и изграђена методологија.

За савремену науку је карактеристична све већа *диференцијација* научних дисциплина и специјализација. С друге стране све се чешће јавља потреба за *међудисциплинарним истраживањем* и сазнањима, јер „класичне науке“ нису у стању да пруже многе одговоре на суштинска питања односа и интеракције људи и природе. Такође, у посљедње вријеме је присутна све већа *интеграција* наука и научних дисциплина, а разлог је давање адекватних одговора на поменута суштинска питања.

Многи истраживачи сматрају да се свијет природе никако не може одвојено посматрати од свијета друштвених заједница и становништва у цјелости. Ако желимо зауставити угрожавање ријека, а тиме и становништва наше планете, морају се мијењати социоекономски механизми, који производе еколошку кризу. Суштинска улога методологије у пручавању ријека је да анализира методе низа других наука које можемо да користимо при истраживању у потамологији у циљу оптималног коришћења и прилагођавања потребама проучавања ријека и ријечних сливова. Битан задатак ове методологије (потамолошких проучавања) је изучавање сопствених метода за анализу примјењиваних метода, да да сугестије за њихову модификацију и разради упутстава за њихову евенталну апликацију. Неопходно је, такође, да се изврши класификација метода који се користе у истраживању ријека, да би истраживачи плански и научно обављали своја истраживања.

Сазнање о ријекама и потамолошким процесима и појавама није једноставно и не постиже се увијек истим поступцима. Некада се до сазнања долази посматрањем и упоређивањем, а данас поред ових провјерених поступака, до сазнања долазимо и логичким расуђивањем и мисаоним истраживањем.

Када су у питању ријеке, ријечни системи и ријечне мреже јављају се различите методе којима настојимо доћи до жељених сазнања. Истраживање ријека захтијева увођење посебних метода, мада је при томе неопходно користити и опште научне методе.

Резултати до којих долазимо у истраживању морају бити прецизно исказани и систематизовани тако да их је могуће провјерити, не само у истраживачком поступку, већ и касније од других истраживача, без обзира на мјесто и вријеме. Потребно је да се свака употребљена метода мора ослањати на претходна знања чиме се обезбјеђује континуитет истраживачких резултата.

Истраживачки рад мора бити праћен критичким ставом да би резултати истраживања били подвргнути бројним провјерама. Из сумње настаје истина па се као резултат истраживачког захвата издваја само оно што је сигурно, несумњиво и провјерено.

Како потамолошко истраживање спада у домен нови(ји)х наука то се онда могу очекивати дисконтинуитети и недостатак кулминације знања. Међутим, како ова научна област третира ријеке, од којих су до сада многе обимно истражене кроз бројне фундаменталне природне и друштвене науке, то онда с правом кажемо да је кулминација знања о ријекама огромна уз недостатак вишег нивоа систематичности. Како би научна истраживања и извођење закључака о законима и

закономјерностима у потамологији била сврсисходна морају се заснивати на принципима гносеологије⁴⁰ и епистемологије.⁴¹

У потамолошким проучавањима користе се различити методи, који се могу сврстати у неколико група :

- *Метод непосредног посматрања у потамологији.* Непосредно посматрање појава и процеса у потамологији је такав научно - истраживачки метод у коме није дозвољено учествовање посматрача у објекту истраживања. Ово је један од најстаријих истраживачким метода, како у природним, тако и у друштвеним наукама. При овоме, потребно је напоменути да свако посматрање не мора бити научно посматрање. Научно посматрање, као облик спознајног процеса, је организовано, планско и методско извођење опажања у циљу откривања научних чињеница или провјеравање научних хипотеза. Организација посматрања подразумијева планирање и предвиђање свих услова и циљева што се посматрањем жели остварити. Оно мора бити егзактно, прецизно и изведено веома пажљиво. У научно посматрање укључују се и одговарајући плански поступци и мјерења. Мјерење може бити у смислу квантитативног одређења интензитета појаве, димензије објеката, временске дистанце итд. У оваква посматрања спада, на примјер, осматрање водостаја и сл. Осматрања се примјењују за динамичке промјенљиве појаве и она су, најчешће, стационарног теренског карактера.

Посматрања могу бити једнократна када се истражују својства неког елемента у одређеном моменту и дуготрајна када се на одређеним стационарима прати динамика неке појаве континуирано. При извођењу теренског истраживачког посматрања неопходно је уочити поједине везе међу геокомпонентама и односе у процесима дате средине. Поред тога, потребно је утврдити каузалност и хијерархију односа и веза процеса у датој средини.

- *Експедициони метод* – користи се ради прикупљања података на терену, а можемо га дефинисати и као теренски истраживачки метод; прикупљени подаци и материјал на терену употребљава се у дескриптивном дијелу сваке појединачне студије; за

⁴⁰ Гносеологија (грч. gnōsis – знање, сазнање i logia – знање, logós – ријеч: други дио сложенице са значењем – учење, знање, наука), дио филозофије који се бави изворима, облицима и методима сазнања; теорија сазнања .

⁴¹ Епистемологија (грч. epistēmē – знање), *филозоф.* наука о спознаји стварности, теорија сазнања .

проучавање водотока на терену данас постоје детаљни приручници, у којима су изложени задаци и норме у дневном раду, а које истраживач, по могућности, треба да испуни. Експедиционим методом је веома успјешан комплемент *хидрографско дешифровање аерофотоснимака*, које омогућава мноштво географских, геоморфолошких и хидролошких, односно хидрографских података.

- *Стационарни метод* – систематска мјерења и посматрања хидролошких појава и процеса на водомјерним станицама. Резултати таквих мјерења и осматрања за дужи временски низ обрађују се *математичко – статистичким методима*. Тако обрађени подаци омогућају да се свестрано сагледају карактеристике режима проучаваног водотока и изврши географско уопштавање одређених хидролошких процеса и појава у сливу или на неком ширем географском простору.
- *Статистички метод у потамологији*. Статистички метод је важна допуна и средство у поступку потамолошких сазнавања, од анализе до синтезе. Овај метод укључује квантитативна истраживања мноштва појава, мада нису искључене ни квалитативне оцјене, посебно онда када се оне сврставају у групе. Егзактност овог метода осигурана је примјеном математичког закона у истраживању појава и процеса у потамологији. *Статистички метод* везује се за простор а *статистичка анализа* за вријеме. Тако на примјер, изворе и врела можемо изучавати по сливовима, регијама, административним и др. просторним цјелинама, док анализирање фактора ових природних појава је периодизација времена, у смислу да ли су они периодични, стални или повремени извори и врела. Статистички метод је универзалан истраживачки пут и има смисла само у случајевима када се ради о великом броју квантитативних показатеља. Статистичко истраживање ријека проводи се у неколико етапа и поступака. У првој етапи прикупљају се статистичке информације о појавама и процесима који се одвијају у некој средини. Планска регистрација битних елемената ријека, ријечних система и ријечних мрежа назива се статистичко посматрање. У прикупљању статистичких података потребно је извршити припрему у коју спада утврђивање објеката или предмета и њихових елемената или јединки о којима се прикупљају подаци. Елементи или јединке могу бити ријечна долина, извор, ријека, ријечна тераса и др. За припрему прикупљања података најчешће се користи статистички образац. Он садржи списак питања на која треба дати одговор или квантитативни податак. Статистичко истраживање према обиму

захвата може бити потпуно, а подразумијева прикупљање података за све јединке у оквиру планираног скупа без изузетка, и непотпуно код којег се у разматрања уврштава само одређен број јединки, појава и процеса. Према времену прикупљања података статистичко истраживање може бити непрекидно, периодично и по потреби. Непрекидно прикупљање података обавља се системски и континуирано. У таква спадају праћење хидрометеоролошких елемената или података о температури ваздуха, падавинама, ваздушном притиску, влажности ваздуха, водостајима на ријекама, језерима и сл. Периодично узимање података се одвија сезонски или у одабраном периоду, као, на примјер, узимање података о висини сњежног покривача, леда на ријекама или језерима, поплавама и сл. Узимање података по потреби практикује се у случајевима када се за то укаже потреба или када постоје индиције постојања неке појаве. Овај поступак се примјењује када се, на примјер, жели сазнати загађеност ваздуха и то онда када постоји неки индикатор да је ваздух загађен, или мјерење протицаја на ријекама, када се из било којих разлога, промијени морфологија попречног профила корита. У другој етапи статистичког истраживања прикупљени подаци се разврставају и групишу. Разврставање података је сложен поступак и подразумијева формирање система показатеља који дефинишу истраживани скуп. Груписање је поступак рашчлањивања мноштва података на истоврсне елементе и формирање група према одговарајућим или суштинским обиљежјима. Она могу бити квантитативна заснована на бројним показатељима и квалитативна изражена својством дате појаве. У квантитативно груписање спада, на примјер, подјела ријека према морфометријским обиљежјима на кратке и дуге, док квалитативно њихово сврставање се заснива на морфографско – морфогенетским обиљежјима.

- *Теледетекционе методе у истраживању ријека.* Основни извор информација о многим геогеним и антропогеним процесима и појавама су наша чула. Она имају свој обим функционисања и регистровања одређених промјена у средини. За праћење обимни(ј)х информација конструисани су многобројни апарати и инструменти који имају улогу даљинског одређивања својстава географског простора. Они су у могућности регистровати зраке и таласе из постојећих електромагнетних спектра. Даљинска или теледикциона истраживања географског простора могу бити активна и пасивна. Активан начин теледетекције заснива се на одбојном електромагнетном зрачењу површине Земље, док пасивни начин теледетекције користи сталне електромагнетне

таласе Сунца. Типичан примјер активног поступка је примјена радара, а код пасивног аерофотографија. Аерофотографија је најпримјенљивија метода теледетекције и подразумијева снимање и интерпретацију снимака Земљине површине са великих одстојања. Снимање се обавља из летилица као што су авиони, балони, сателити и сл. Зависно од употребе летилице, ми снимке дијелимо на авионске и сателитске. Они се међусобно разликују по размјери, детаљности, обухвату углавном територије различитих површина. Аерофотоснимци омогућују стереоскопско посматрање и мјерење треће димензије. Аерофотоинтерпретација појава и процеса у потамологији је веома раширена научна метода. Њом се брже, једноставније, јефтиније и много тачније могу истражити елементи ријека, ријечних система и ријечних мрежа.

У теледетекционим методама потамолошких истраживања користе се инфрацрвена зрачења која показују слична фотосвојства видљивом дијелу спектра. Инфрацрвене фотографије могу се добијати, како у дневним, тако и у ноћним условима снимања. Фотографије добивене инфрацрвеним спектром налазе примјену, поред потамологијег, и у глациологији, вулканологији, структурној геологији и сл. Велики шумски ландшафти у Канади, Бразилу и Русији контролишу се из авиона и сателита. Инфрацрвене фотографије велику примјену имају и у проучавању система океанских струја, ријечних наноса које ријеке уносе у мора, за регистрацију подземних вода и сл. Радарске слике, такођер, налазе широку примјену у истраживању потамолошких елемената, а највише у тематском картирању и истраживању геолошких својстава ријечних сливова. Фоторадарска интерпретација налази и широку примјену, како у хидрографским, тако и у геоморфолошким истраживањима. Она омогућују истраживање мелиорационих радова, сњежног покривача, дебљине и својстава леда и сл.

- *Експериментални метод* – примјењује се при рјешавању веома сложених проблема, који се не могу објаснити математичким методима; неки од тих проблема су: кретање наноса и њихова акумулација на појединим потезима/секторима ријеке, која је под успором воде, развој ерозије у ријечном кориту након пресјецања појединих меандара, као динамика рјечних корита уопште. Експериментална метода има широку примјену у многим научним областима, па тако и у потамологији. Основна разлика између експеримента и свих врста посматрања је у томе што се код експеримента истраживач активно укључује у средину коју истражује. Тако, на примјер, ако истраживач прати популацију

(ихтиофауну) неке врсте у одређеном ријечном току, онда је то *посматрање*, а ако уништи неке присутне врсте или унесе неке нове врсте или примјерке ихтиофауне у циљу истраживања промјена и утицаја на средину, то је онда *експериментално истраживање*. Експеримент служи за откривање и испитивање одређених односа и веза унутар једне и међу више геокомпонената. Експериментом се може утврдити генеза и еволуција неке појаве те њен утицај на квалитет ријека или ријечних система.

- Према мјесту извођења истраживачки експерименти могу бити *теренски, лабораторијски и комбиновани или комплексни*. Под *теренским експериментом* се подразумијева експеримент у реалним условима у којем је објект одређена ријека у изборном периоду времена. Експериментом у реалним условима могуће је пратити ток природних процеса након одређених антропогених захвата у ријечним сливовима. Експериментисање у реалним условима изводи се на огледним ријечним потесима или у истраживачким полигонима. Као и код других експеримената и код овог се одређују квантитативна својства или процеси који су обухваћени експериментом. *Лабораторијски експеримент* се изводи у вјештачки створеним условима. Овај експеримент се може примијенити на готово свим елементима загађивања хидросферног комплекса. Лабораторијским експериментом се, на примјер, може истраживати брзина ширења полутаната у ријечној води, одредити брзина и редосљед седиментације чврстих полутаната у води и сл. У лабораторијским експериментима могу послужити и физички модели у коме се симулирају природни процеси, као на примјер падавине и њихов утицај на промјене температуре воде, промјене водостаја, протицаја и др. *Комбиновани или комплексни експерименти* се предузимају на укупна својства и могу се изводити без прецизних мјерења. И они се обављају у реалним условима. Разликују се од теренских експеримената по комплексном истраживању појава и процеса дате средине. Примјер таквог експеримента је праћење промјена у ријечном сливу услед изградње новог урбаног или другог техногеног система.
- *Хидролошки прорачуни и хидролошке прогнозе* користе се при рјешавању многих проблема у пракси, нарочито у инжењерској хидрологији.
- *Метод оцјене и валоризације у потамологији*. Валоризација у потамологији је од посебног значаја, како за утврђивање оптималне намјене одређених ријечних сливова и ријечних мрежа

и система, тако и ради предузимања одговарајућих мјера и поступака за њихову санацију, побољшање и уређење. Потамолошко вредновање спада у домен просторног планирања, па и избор оцјењивачких поступака зависи од намјене валоризације и величине сливног подручја или величине ријечне мреже. *Валоризација може бити комплексна, компонентна или гранска и елементарна. Комплексна валоризација у потамологији обухвата оцјену и упоређивање свих елемената, односа и веза одређеног ријечног слива при чему се све геокомпоненте, процеси и појаве у њему третирају у потпуном облику. Овакве оцјене се предузимају код претходних истраживања за потребе просторног планирања. Комплексна валоризација подједнако третира све елементе неког ријечног слива. Гранска или компонентна валоризација подразумева обраду само оних елемената који су неопходни и који су у функцији неке привредне дјелатности (изградња МХЕ, изградња канала за наводњавање, намјенских акумулација и др.). Елементарна валоризација обухвата истраживање и оцјену само једног елемента. Она је обично везана за намјенске планове. Тако, на примјер, за потребе зимских спортова, за формирање вјештачког снијега на скијашким стазама, истражујемо издашност појединих извора воде и њихове потенцијале за стварање залиха воде у намјенским базенима/резервоарима. Валоризација у потамологији може бити квалитативна и квантитативна. Квалитативна валоризација подразумева оцјену својстава неког водотока, док се квантитативном валоризацијом обухвата оцјена количина или димензија тог водотока. Квантитативна и квалитативна поређења се примјењују код регионализације ријечних мрежа или ријечних сливова.*

2. РИЈЕКЕ, РИЈЕЧНИ СИСТЕМИ И РИЈЕЧНА МРЕЖА

Ријеке су врло раширене хидрогеографске појаве на нашој планети. Присутне су, у суштини у свим дијеловима свијета, осим у најхладнијим, најсушнијим и најтоплијим географским просторима Земље. Процентуално садрже мало, али врло важно учешће укупне Земљине површинске воде: удио вода у свим ријечним токовима је 0.4%. Наравнио да смо свјесни чињенице да овако мало учешће несразмјерно/неадекватно је значају које ријеке имају за хуману популацију, као и у процесима стварања нових форми рељефа Земље. По мишљењу већине геоморфолога ријеке имају доминантну ерозивну моћ на Земљи када су у питању копнени простори. Најупечатљивије пејзаже чине доминантно ријечне долине и брежуљкасто-брдски рељефни облици.⁴²

2.1. Настанак водотока и ријека.

Водену масу која се креће кроз корито (жлијеб усјечен на копну) под утицајем гравитације називамо водотоком. Већи водотоци су ријеке, а мањи водотоци су потоци. На основу претходне дефиниције закључујемо да ријеку чине два основна елемента: водена маса и корито (жлијеб) којим се она креће.



Слика 4. Извориште планинске ријеке - Врбања⁴³

Онај дио ријечне долине кроз који протиче ријечни ток назива се корито ријеке/ријечно корито. Димензије корита на цијелој дужини неког водотока нису константне, јер је количина воде (протицај) која протиче коритом промјенљива величина. Зависно од времена и интензитета промјена количине воде у кориту мијења се величина и облик ријечног корита.

⁴² Према релевантним процјенама: EARTH, Copyright, 2004 Dorling Kindersley Limited (Mozaik knjiga, Група Младинска knjiga), ТБВ, Словачка 2006.

⁴³ Ријека Врбања, десна и најдужа (96.037 km) притока Врбаса



Слика 5. Горњи ток планинске ријеке – Врбања

Међутим, промјене корита зависе и од геолошких одлика ријечне долине, као и антропогених утицаја на појединим дијеловима ријеке и ријечне долине. За дијелове корита кроз које доминантно протичу мале и средње воде у хидрологији се користи назив *минор корито* (миноран – мали по значају, степену, количини или величини). Према С. Прохаски (2003) минор корито је активно скоро у току цијеле године. За вријеме појаве великих вода долази до изливања воде из минор корита у инундацију⁴⁴. При томе долази до формирања корита за протицаје великих вода, које се назива мајор корито (мајор – већи).

Мјесто гдје ријека почиње назива се извор или глава ријеке. Извори су мјеста гдје подземне воде избијају на топографску површину на копну. Могу да буду и мјеста гдје подземна вода избија подводно (субмарински и сублакустријски извори). Настанак извора је везан за пресецање водоносних хоризоната негативним формама савременог рељефа (ријечне долине, јаруге и др.), геолошко – структурним особеностима географског простора (постојање пукотина, тектонски поремећаји) и др.

⁴⁴ Инундација (лат. unda – талас) – 1. плављење, поплава, поводањ, 2. плавно подручје водотока, обухвата појас између ријечног корита и линије вишег терена или насипа Инундациона раван – алувијална раван коју плаве и минималне велике воде; димензије су јој сразмјерне величини ријечног тока



Слика 6. Повремени извор у сливу ријеке Бањице
(Бањица, десна притока ријеке Сане, низводно од града Кључа)

Избијање изданских вода на топографску површину изазвано вјештачким путем (бушотине и бунари) не називамо извором. Постоји више типова (врста) извора, а класификација је извршена према поријеклу изворске воде, начину истицања, температури воде, издашности и хемијском саставу растворених соли у изворској води, као и на основу геолошких и геоморфолошких одлика терена.

Извор ријеке у карсту може да буде и неко врело. Врело је у суштини јак карстни извор и јавља се на мјестима гдје топографска површина пресјеца пукотине и подземне канале којима се крећу подземне воде. Врела најчешће имају велику издашност и од њих настају ријеке (врела Пливе, врело Млаве, врело Буне, врело Босне и др.). Врела се хране водом подземних токова, а могући су случајеви да понекад и поједина врела пресуше, ако њихови подземни токови пресуше. Ријеке могу да истичу из језера (нпр. Црни Дрим - отока Охридског језера, ријека Ангара – истиче из Бајкалског језера) или да почињу свој ток испод неког ледника (глечера), као ријека Рона, која се храни водом отопљеног снијега и леда у Алпима (Ронски глечер близу превоја Свети Готхард у Швајцарским Алпима). Неке ријеке настају спајањем два или више водотока. Ријека Дрина настаје спајањем Таре и Пиве на Шћепан Пољу, тако да можемо рећи да Дрина почиње од Шћепан Поља, али не може се рећи да она тамо извире. Слични примјери су за ријеку Саву (Сава Бохињка и Сава Долинка), Укрину (Велика и Мала Укрина), Усору

(Велика и Мала Усора) итд. Ријеке се образују при адекватним климатским условима; у умјереним ширинама јављају се ако је годишња сума падавина већа од 250 мм, а у тропским географским просторима количина падавина треба да буде између 750 – 1000 мм.

Мјесто гдје ријека утиче у другу ријеку, језеро или море назива се ушће или увор ријеке. Међутим, понорнице или поникве представљају посебан тип ријека у карстним теренима. Губе воду у понорима, теку подземно, да би се опет појавиле у виду неког крашког врела, од којег почиње нови површински наставак понорнице.

Маса воде у ријечном кориту потиче од падавина и подземних вода, а ријечно корито настаје дјеловањем текућих површинских вода. Када посматрамо утицај падавина, као битног метеоролошког елемента, морамо имати у виду неке битне чињенице :

- падавине (хидрометеори) сачињавају сви облици кондензоване водене паре у течном или чврстом стању који доспијевају на површину Земље из ваздуха. Дијеле се на високе падавине (киша, снијег, крупа, суградица, град и љутина) и ниске падавине (роса, слана, иње и поледица). Највећи утицај на храћење и типове водотока имају киша и снијег;
- од укупне количине падавина коју чини киша, један дио понире у издани (подземне воде), други дио отиче површински у слоју одређене моћности (одређене дебљине), а трећи дио испари (ако је ваздух сув, често мање водене капи испаре прије него што стигну до тла);
- за храћење ријека велики значај имају сњежне падавине јер представљају значајне залихе воде, а хране водотоке у вријеме отапања снијега (нивална ретенција⁴⁵);

⁴⁵ нивална ретенција (лат. retentio, према retentus задржан од retinere задржати), задржавање воде у чврстом стању

Кишне капи и град, својим механичким радом су узрок појаве плувијалне или кишне ерозије, чије је дјеловање скоро универзално на нашој планети, осим географских простора гдје су доминантне сњежне падавине, као и пустињски простори у којима годинама не пада киша. Плувијална ерозија је ограничена трајањем падавина, а њена снага зависи од пречника и брзине кишних капи, трајања и интензитета кише, распореда кише у току године и др. Плувијална ерозија је одсутна на површинама под добрим травним и шумским покривачем, а најинтензивнија је на ограниченим површинама (Лазаревић, Тошић, 2013).



Слика 7. Елементи ријечног тока

Радом малих водних млазева на топографској површини настају узани и плитки жљебови. Отицање атмосферске воде у почетној фази је неорганизовано и површинско, без јасно фиксираних путева. У потамолошкој терминологији, ови мали водни млазеви означавају се као цурци, што је повезано са појмовном вриједношћу спорог кретања воде – цурења. Они се крећу уским (1-2 cm) и плитким (0.2 – 0.5 cm) жљебовима, који се дефинишу као ерозионе бразде. У зависности од количине падавина формира се маса/количина воде која површински отиче и нагиба терена којим се маса воде креће, вода захвата честице материјала, које је у суштини већ припремила плувијална ерозија. Транспорт тих честица повећава замућеност воде и потпомаже њихово кретање, под утицајем гравитације, али и низа других релевантних фактора.

Концентрисана вода постепено формира сасвим плитке браздице, у почетку једва примјетне, које временом вертикално и хоризонтално повећавају своје димензије, зависно од масе воде из „њиховог микрослива“ (Лазаревић, Тошић, 2013). Спајањем више почетних водних

млазева (кретање воде у виду индивидуалних струја) образуу се већи хидрографски објекти – поточићи, потоци, ријечице и ријеке. То је истовремено праћено промјеном и повећањем димензија морфолошког објекта – путева отицања воде. На тај начин се формирају браздице/бразде, вододерине, јаруге и ријечна корита.

Воде која цуре површински, прије него што доспије у неки водоток, имају различите дужине површинског отицања (l_0). На дужем путу отицања, маса воде може да се губи испаравањем и понирањем, а мањи дио може да доспије у водотоке. Проучавајући дужину површинског отицања падавина, која представља једну од најважнијих независно промјенљивих величина у потамологији, Р. Хортон је дао за њу сљедећи образац:

$$l_0 = \frac{1}{2D \sqrt{1 - \left(\frac{S_c}{S_g}\right)}}$$

у којем су : S_c – пад ријечног корита, S_g – просјечни пад долињских страна⁴⁶ ; D – вриједност/величина густине ријечне мреже.

Информативни текст!

У потамологији се сваки водоток, без обзира на величину, разматра као ријека, јер је заиста тешко дати граничне вриједности које би служиле при дефинисању ријека, ријечица и неких потока. У истраживачкој пракси је већ евидентирано да многи потоци су дужи од ријека, као и ријечице/ријеке са масом воде (протицајем) већом од ријека у које се уливају. На основу тога можемо закључити да дужина водотока (нпр. ријека Буна, Омбла/Дубровачка ријека и др.), затим површина слива неког водотока (нпр. Велика Усора и Усора) или издашност водом, нису увијек параметри за рангирање ријека. У овом тексту наводимо неке примјере: Ибар је дужи од Западне Мораве и има већи просјечни протицај (Q), а ипак је њена притока. Ријека Зета је на свом ушћу богатија од Мораче, али је ипак вреднована као притока Мораче. Сличан је примјер ријеке Студене, притоке Велике Усоре (општина Теслић).

Према Д. Дукићу (1962) овај проблем не рјешавају ни термини бројних европских језика, који за ријеке користе двојне називе. Веће ријеке које утичу у море (Дунав, Нил, Мисисипи и др.) у њемачком језику имају назив *Strom* („*Štrom*“), енглеском језику *Stream* („*Strim*“), у француском језику *la fleuve* („*la flev*“), а у италијанском језику *fiume grande* („*fiume grande*“). Ријеке које се уливају у језера или у друге ријеке у њемачком језику имају назив *Fluss* („*flus*“), у енглеском *River* („*river*“), а у француском *la rivière* („*la rivier*“). По оваквој терминологији ријека Мисури је само *River*, а ријека Темза (краћа и водом сиромашнија) је *Stream*. По њемачким називима ријека Сава *Fluss* (улива се у Дунав), а ријека Неретва *Strom* (улива се у Јадранско море).

⁴⁶ S_c и S_g изражавају се у m/km , односно у ‰, док се l_0 добија у km .

Већи водоток код образовања ријечног система је поточић (поточак), чијим спајањем настаје поток, а од потока се формирају ријечице. Чињеница је да бројни поточићи и потоци имају промјенљиву количину воде у својим коритима у току године, па многи од њих су повремени водотоци. У таксономији водотока ријеке су највећи а настају од више мањих водотока или појединачних извора или издашних карстних врела.

2.2. Типови ријечних токова.

Водоток или водени ток - природни ток који тече по ријечном кориту између двије јасно изражене обале, има стално и периодично храњење водом у току године. У зависности од физичкогеографских карактеристика одређеног географског простора и начина храњења водотоци могу да буду стални, периодични и повремени.

Стални водотоци формирају се само у оним областима гдје је укупно притицање воде у ријечна корита (атмосферска вода и подземна вода) веће од њених губитака (испаривање и понирање). Француски географ Ем. де Мартон (Emm. de Martonne)⁴⁷ за образовање сталних водотока у низијама, на заравњеном земљишту и без појаве карста, сматра да је у умјереним географским ширинама потребна годишња висина падавина преко 250 mm, у суптропским изнад 500 mm, а у екваторијалном појасу више од 1000 mm.

Према подацима (Дукић, Гавриловић, 2006) која су извршена за географски простор бивше Југославије, за образовање сталних водотока потребна је средња годишња висина падавина већа од 549 mm у Панонској низији, изнад 530 mm у приморској области и преко 510 mm у планинској области, односно у просјеку за цијели државни териториј више од 521 mm.

Годишње падавине у Босни и Херцеговини крећу се у распону од 600 mm (перипанонски обод) до 2100 mm (југоисточна Херцеговина).

Периодични водотоци јављају се у оним географски просторима гдје режим⁴⁸ падавина омогућава у одређеним временским периодима у току календарске године веће притицање воде у ријечна корита, у односу на укупне губитке воде из ријечног корита. На нашим географским карстним просторима такви водотоци се називају *сушице* или *суваје* (бујичасти водоток у карсту, чије је корито већи дио године суво; њихово протицање одражава распоред падавина). У Италији и

⁴⁷ Покушао је да нађе извјесну везу између падавина, температуре ваздуха и влажности неке области у ту сврху је увео појам индекс суше – I. Аутор је класификације климата која има шест већих група климата (A,B,C,D,E,F).

⁴⁸ режим (фр. régime од лат. regimen владање) – промјене количине воде, и водостаја, односно промјене количине падавина и сл. у одређеним временским периодима.

другим медитеранским земљама називају их *torente* или *fiumare* (Слика 8).



Слика 8. *Fiumare*

У хидрологији се јавља и синтагма⁴⁹ *ријека која пресушује*, односно ријека у чијем кориту престаје отицање у периоду падања незнатних количина падавина и њиховог интензивног расхоровања на инфилтрацију (процјеђивање атмосферске и површинске воде у земљиште) и испаравање; при томе се јавља потпуна исцрпљеност (пражњење) подземних водоносних слојева – аквифера; велике/веће ријеке се неријетко разбијају на међусобно развојене дијелове .

Периодичних водотока на географском простору бивше Југославије има у Панонској низији, у крајевима који углавном примају мање од 550 mm падавина годишње, али и у подручју карста гдје је количина падавина најмања у току лета. У Босни и Херцеговини су то планине Динарског система (Прењ, Чврсница, Бјелашница, Чабуља, Зеленгора и др.), а у Србији је познат слив Јужне Мораве.

Повремени водотоци су карактеристични за сушне предјеле, у којима је само у изузетним приликама и за кратак временски период

⁴⁹ синтагма (грч. *sýntagma* оно што је заједно стављено у ред), група ријечи која образује један појам или има једну функцију у реченици

притицање воде у ријечна корита веће од свих губитака воде из ријечног корита. Повремени водотоци су својствени аридним зонама (пустињама и полупустњама), а завршавају се у мањим или већим удубљењима, гдје се вода губи инфилтрацијом или испаравањем.

Генеза (постанак) таквих водотока у пустињским областима везана је историјски влажније периоде, а наука сматра да је тако било у Сахари у плеистоцену⁵⁰.



Слика 9. Примјер планинске ријеке која пресушује у горњем току – Врбања⁵¹

⁵⁰ Плеистоцен (грч. *plesistos* – највећи, најдужи и *kainos* – нови), доњи одјељак који одговара најдужој епохи квартарног периода; карактерише се општим захлађењем климе на Земљи и периодичном појавом ледених покривача на средњим географским ширинама

⁵¹ Ово је све чешћа појава у горњем току код мањих водотока, гдје се вода из ријечног корита акумулира и усмјерава у тлачни цјевовод за покретање турбине у машинској хали МХЕ (в. слике 10 и 11)



Слика 10. Водозахват за МХЕ - извориште ријеке Врбање



Слика 11. Тлачни цјевовод којим се вода из водозавата транспортује до машинске хале МХЕ остављајући узводно већи дио године дио ријечног корита сухим (види Слику 9)

Повремене водотоке, боље речено њихова корита, у пустињама Азије и Африке називају *вади* (wadi)⁵², а у пустињама Сјеверне Америке и Аустралије *крикс* (creeks).

Информативни текст!

Вади/уади су суве ријечне долине у пустињским областима, кроз које само повремено, послје јаких пљусковитих киша, протиче вода. Водени токови у вадима имају особине бујица. Послје неколико дана, или послје неколико сати, вади пресуше јер им се вода брзо испарава или се упије у пустињском пијеску. Овакве долине са повременим воденим токовима у Аустралији називају крикс (Creeks). Вади су обично настајали у периоду влажне дилувијалне климе када су кроз њих протицали стални водени токови, тако да они данас представљају суве, фосилне ријечне долине, које су радом вјетра и процесом разарања стијена знатно измијењене и у суштини, данас, се знатно разликују од ријечних долина. На обалским странама вада/уада обично се налазе мала сеоска насеља, јер се у пјесковитом дну вада релативно лако долази до подземних вода, а „вода је извор живота“.

Понорнице или *пониквице*. Понорнице су стални или периодични токови у карсту. Извор им је најчешће на једном крају неког крашког поља, док на другом крају тог поља пониру и настављају да теку подземно. Понори су природни отвори на карстификованој површини, а јављају се по ободу или дну ерозивне долине, крашке јаме, вртаче/поникве, увале или крашког поља. Понори апсорбују атмосферску воду или воду повремених и сталних водотока. Постоје и понори који настају и отварају се у ријечним коритима могу апсорбовати (примити) ријечну воду у цјелини. На нашим географским просторима понори су распрострањени у карсту Динарида. Синоними за поноре су пропаст и сурдупина, а у Словенији је то термин пожиралник.

Неке ријеке пониру у пећинама, што је случај са ријеком Пивком, понорницом у Словенији. Протиче кроз Постојинско поље и понире у познатој Постојинској јами (Постојинској пећини). Дужина подземног тока износи око петнаест километара, а Пивка се поново као површински ток јавља у Планинском пољу, кроз које тече под именом Уница (Унец) и Љубљаница⁵³. У суштини, вода понорница се најчешће јавља у виду јачих врела у другим долинама, на морској обали, али и испод површине мора, образујући подморске изворе – *вруље*. Вруље су

⁵² вади/уади (арап.), суве долине или долине са повременим токовима у пустињама Сјеверне Африке и полуострва Арабије, дуге до неколико стотина километара; по правилу завршавају у улегнућима без отицања; представљају реликтне долине из влажнијих раздобља историје наше планете

⁵³ Љубљаница је ријека у Словенији, десна притока Саве. Извире код Врхнике из 11 крашких врела, чије се воде одмах спајају и чине моћан водоток. Један њен изворишни крак чини ријека Пивка, а други изворишни крак је је ријечица Обрх.

подморски крашки извори слатке или бочатне воде⁵⁴. Обично леже на дубинама од 20 – 30 метара, а настају када канал, којим се креће подземна вода, избија на морско дно и када је притисак воде у каналу већи од притиска стуба морске воде на отвору канала. То се догађа само у случају када су пукотине којима притиче слатка вода са копна испуњене њом изнад нивоа мора.

Сублакустријски извори су врста субаквалних (подводних) извора на дну језера.

Долине понорница се не спајају са другим долинама, јер су то долине које немају ушћа, односно не откривају се у другу долину или водени басен. Назване су слијепим долинама, а завршавају се асимилирањем (уношењем у себе) водотока краших шупљина.

2.3. Елементи ријечног тока.

Извор или глава ријеке је термин који означава мјесто од којег почиње један водоток/ријека. Већ смо истакли да извор ријеке може да буде неко врело, језеро, мочвара, а у одређеним случајевима, у високим планинским системима почетак ријеке може да буде и локација отапање неког ледника.

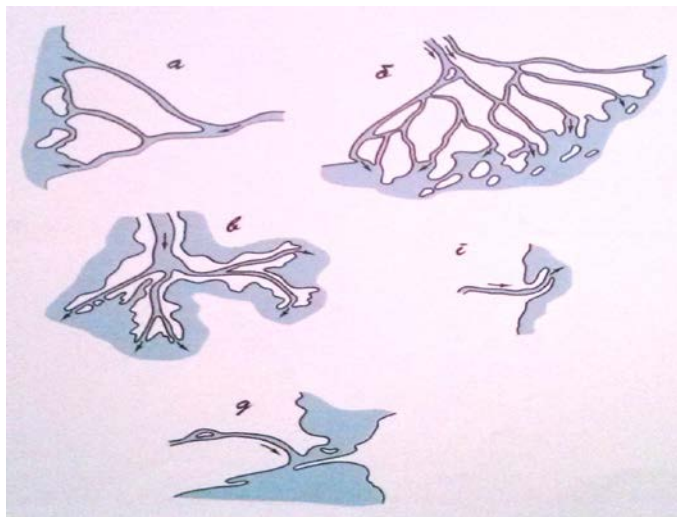
Познато је да велики број ријека наше планете настаје спајањем два или више водотока, тако да се мјесто њихових *судока* (утицање једних водотока у друге) сматра за почетак одређеног ријечног тока. Чињеница је да се у потамологији за ријеке које постају спајањем два водотока/ријеке, као извор главног тока узима глава/извор дуже саставнице (нпр. за Усору извор Велике Усоре, за Укрину извор Велике Укрине, за Дрину извор Таре итд.). При одређивању дужине ријеке на бази топографских/географских карата, неопходно је прецизно идентификовати извор и ушће ријеке. У случају да се ријека формира из два водотока, као извор треба узети извор дужег водотока. Међутим, уколико су дужине саставница приближно исте, „тада се за хидрографску дужину узима дужина лијеве саставнице“ (Прохаска, 2003).

Мјесто гдје се једна ријека улива у неку другу ријеку, море или језеро назива се ушће ријеке (ријечно ушће). Уколико се ријека улива у другу ријеку, језеро или море преко више рукаваца, тада се као ушће подразумијева мјесто уливања рукавца са највећом масом воде (највећи рукавац).

⁵⁴ Бочатна вода – бракична вода, сланкаста вода која настаје мијешањем слатке и морске воде на ушћима ријека у море или процјеђивањем морске воде у приобална језера и бунаре.

Посебан облик ушћа ријека у већа језера и мора/океане су делте (назив потиче од облика великог слова грчког алфабета делта - Δ).

Настале су седиментацијом (таложењем) ријечног материјала, на којем се ријека рачва у низ рукаваца. Делте, најчешће, настају услед сложеног узајамног дјеловања ријечног тока, морских таласа и утицаја плиме и осеке. Брзина формирања и раста појединих делти је у распону од неколико метара до неколико стотина метара у току године. Делте се постепено повећавају, а неке достигну површине импозантних димензија, од по неколико десетина и стотина хиљада километара квадратних. Највеће делте данас имају ријеке Ганг и Брамапутра, Хоангхо и Јангцекјанг, Мисисипи, Нил, Волга, Дунав, Амазон, Меконг и др. Треба нагласити да, без обзира о којем се типу делти ради, све делте имају подводни наставак у океану, мору или језеру.



Слика 12. Типови делти: а) испуњене, б) истурена, в) прстаста, г) кљунаста, д) затворена

Према облику рукаваца и наноса, у хидрологији се разликује неколико типова делти (Слика 12):

- *истурене делте* – настају на отвореним обалама и њихово наносно „испупчење“ окренуто је ка пучини мора/океана лучним обликом; овакве делте су карактеристичне за ријеке Нил, Дунав, По, Волгу, Инд и др;
- *прстасте делте* - постају само на ушћима ријека које уносе у језеро или море/океан огромне количине наноса; због тога се формирају уски и дугачки рукавци, а временом се на сваком од

тих рукаваца образује нова делта; ове делте карактеристичне су за ријеке Мисисипи и Куру⁵⁵ ;

- *кљунасте делте* – својим обликом на географској карти подсећају на птичји кљун; такве су делте Тибра, Сулака⁵⁶ и ријеке Или (притоке Балхашког језера);
- *удвојене или сложене делте* – настају спајањем делти двије ријеке, а такве су делте Ганга и Брамапутре (Индија), ријека Маханади и Брамахи (Индија), Иравади, Пенгу и Ситанга (Мјанмар) и др.

Суве делте. Посебан случај делти представљају тзв. „суве делте“ – када ријечни токови доспијевају у пустињске просторе у више рукаваца и потом нестају у пустињском пјеску. Познате су такве „делте“ у пустињама средње Азије, као нпр. Мургаб⁵⁷, Тецен⁵⁸ и др.

Естуари, (лат. *aestuarium* – потоњено ушће ријеке) љевкасти заливи, широко отворени према мору, који се сужавају према врху; настали су потапањем ријечних ушћа и модификовани (преиначени) радом плиме и осеке и морских таласа. Познати су естуари ушћа ријека Темзе, Лоаре, Јангцекјанга и др.

2.3.1. Морфометрија и морфологија ријечног тока.

Морфометрија је, условно, хидролошка дисциплина, која проучава димензије (квантитативне карактеристике⁵⁹) ријека и ријечног тока. Морфологија је наука која проучава у хидрологији облик, величину и структуру ријечног тока на топографској површини.

Дужина водотока је, у суштини, растојање између ушћа ријеке и њеног извора. Ушће ријеке је тачка која је (релативно поуздано) одређена, док се за извор (главу ријеке) могу узети извори бројних потока и поточића. За ријеке које настају од двије или више саставница, хидрографску дужину укупног ријечног тока представљају дужина главног тока ријеке и саставнице која је дужа код формирања главног тока. За ријеку Саву (945,5 km) укупну дужину чини ток ријеке Саве и њене дуже саставнице

⁵⁵ Кура, највећа ријека Закавказја је дуга 1364 километра. Извире у сјевероисточној Турској, а протиче кроз Грузију и Азербејџан, а утиче у Каспијско језеро. Пловна је на дужини од око 480 километара и има велики значај у наводњавању.

⁵⁶ Сулак, ријека у Дагестану (Русија), дуга 169 км. Настаје сутоком ријека Аварског Којсу и Андијског Којсу, које настају од ледењака Великог Кавказа.

⁵⁷ Мургаб, ријека у сјеверозападном Афганистану и јужном Туркменистану, дуга 852 километра.

⁵⁸ Тецен је туркменистански град – оаза, који се налази у пустињи Каракум. У близини града пролази ријека Хари, која извире у Афганистану, а у Туркменистану је позната као ријека Тецен.

⁵⁹ карактеристика – изразито својство, главно обиљежје, битна одлика;

Саве Долинке (45.5 километара). Код ријеке Дрине, хидрографску дужину тока представља дужина главног тока (ријека Дрина, 346 km) са дужином тока ријеке Таре (134 km).



Слика 13. Естуар

Термин ријечни километар (скраћено р.км) означава удаљеност одређене локације на ријечном току (град, село, ушће неке притоке и др.) од њеног ушћа. Нулти километар ријеке налази се на ушћу одређеног ријечног тока, тако да се у смјеру узводно додаје одређена/измјерена километража⁶⁰. Код многих ријека је сложено формирање ушћа ријеке, тако да почетна тачка од које се мјери дужина ријеке је условна. За одређивање дужине ријеке велики утицај има кривудаост ријеке, а битна је и размјера топографских карата са којих се дужина одређује.

Дужина ријека одређује се на топографским картама (картама крупнијег размјера) уз употребу циркла⁶¹. На картама крупнијег размјера (ТК 25, ТК 50...) измјерена дужина водотока је ближа њеној

⁶⁰ Београд се налази на 1171 ријечном километру Дунава, односно он је толико удаљен Дунавом од ушћа Дунава (од Сулине); док је Загреб нпр. на 700. ријечном километру Саве;

⁶¹ Циркл – справа за цртање круга и мјерење одстојања, шестар; дужине ријека данас је могуће прецизније одредити путем одређених верзија компјутерских програма;

стварној дужини. За ријеке на нашим географским просторима најчешће се користе ТК 50 (1: 50000), али су релевантније ТК 25 (1:25000).

На основу измјерених вриједности дужина ријека могу се конструисати хидрографске шеме ријечних сливова. Оне дају визуелну представу изгледа ријечног система (главна ријека са притокама првог, другог... n – тог реда). Хидролошке шеме у пракси се представљају правим линијама (ријеке) које су нормалне (под правим углом) или неким другим углом у односу на ријеку нижег реда (Прохаска, С., 2003).

У хидрологији егзистира термин *стварна дужина ријеке*, која је увијек већа од најмање могуће дужине ријеке, то јест од дужи која спаја извор ријеке са њеним ушћем. Тај однос, који показује колико је пута дужина ријеке (L_{km}) већа од њене најмање могуће дужине (L_{min} km) назива се коефицијентом развитка ријечног тока (K) а добија се по обрасцу:

$$K = \frac{L_{km}}{L_{min} km}$$

Коефицијент развитка ријечног тока равничарских ријека има вриједност 2, 3, 4, а често и већу вриједност, нарочито на појединим секторима (ријечним потесима), односно растојањима између одређених тачака на ријечном току. Планински водотоци, који имају велика лактаста скретања (Ибар, Неретва, Велика Усора и др.), имају знатне вриједности овог коефицијента.

2.3.2. Пад ријечног корита и уздужни профил ријеке .

Дужина главног тока - L_t

Дужина главног тока L_t представља растојање између извора и посматраног профила. Одређује се на картама крупнијег размјера (1:25000, 1:50000) и уз употребу циркула/шестара и кривуљара/курвиметра.

Хидрографска дужина ријеке – L ; представља растојање од ушћа (или посматраног профила) до извора најудаљеније притоке. Треба рећи да се L одређује само у случају ако је $L > L_t$;

Укупан пад тока - H_r , представља разлику надморске висине извора главног ријечног тока ($H_{r,max}$) и ушћа, односно излазног профила ($H_{r,min}$).

$$H_r = H_{r,max} - H_{r,min}$$

У хидролошкј литератури се користе и неки други симболи, као што су : h – укупан пад тока; h_1 – ката извора; h_2 – ката ушћа, то јест: $h = h_1 - h_2$.

Средњи пад тока – I_{sr} ; преставља однос укупног пада тока H_r и укупне дужине тока – L (у %).

$$I_{sr} = \frac{H_r}{L}$$

У хидролошкој литератури за средњи пад тока користи се и назив просјечан пад ријеке, а користи се образац са сљедећим симболима: h_1 – ката извора; h_2 – ката ушћа; J – просјечан пад;

$$J = \frac{h_1 - h_2}{L} \rightarrow J = \frac{h}{L} \text{ (у \%)}; h = h_1 - h_2.$$

Код проучавања својстава ријека и ријечних система потребно је одређивање падова на више ријечних сектора/дијелова. Токови многих ријека састоје се из неколико дијелова, а најчешћа је подјела на горњи, средњи и доњи дио (или: горњи, средњи и доњи ток). Подјела се заснива на орометријским карактеристикама слива, као и битним хидрографским одликама: квалитативна и квантитативна карактеристика положаја неке ријеке, физичкогеографских услова, режима и искоришћавања ријека и др. Стога се мора посветити пажња о којем се типу пада тока, јер у хидрологији се разликују:

- *ријечни пад* (у ужем смислу) – пад нивоа воде у ријечном кориту; водостаји ријеке у току године могу да буду ниски, средњи и високи; у зависности од водостаја можемо условно говорити и о падовима ниских, средњих и високих вода; углавном се користе падови нивоа најниже воде;
- *пад ријечног дна* – пад дна корита по талвегу; талвег (њем.) – осни најдубљи дио ријечног корита, ријечне долине, јаруге, вододерине;
- *долински пад* – пад дна долине, односно алувијалне равни.

Пад ријечног дна и долински пад се користе у посебним/намјенским потамолошким студијама, тако да је у пракси уобичајена примјена ријечног пада у ужем смислу ријечи.

2.3.3. Уздужни профил и средњи уравни пад тока (I_{urt})

Уздужни профил тока представља криву која повезује висине ријечног корита и/или површине водног огледала на одговарајућим тачкама дуж тока, од извора до ушћа. Он је крива, која показује зависност висине дна корита и површине водног огледала дуж тока, од извора до ушћа. Висина разматраних тачака се даје у односу над неком равном површином, а најчешће над нултим нивоом мора (ката „0“ – 0

метара над морем или 0 метара надморске висине). У суштини, уздужни профил неког тока показује промјену пада дна или нивоа водног огледала (пада нивоа воде у ријечном кориту) дуж ријечног тока или дијела ријечног тока.

Уздужни профил ријеке представља и збир свих падова на ријеци. **Брзаци** су краћи дијелови ријечног тока који имају неправилно дно и велики пад, због чега се у њима вода брже креће. Чести су код свих планинских токова и у клисурама. Овај појам означава се и терминима *бук*, *катаракт*.



Слика 14. Брзаци

Водопади су мјеста на уздужном ријечном профилу гдје ријечна вода пада вертикално преко стрмог одсјека који преграђује ријеку. Постоје *ерозивни водопади* везани за отпорније стијене, на мјестима гдје се низводно налазе мекше стијене подложне ерозији. Примјер ерозивног водопада је Нијагарин водопад. *Тектонски водопади* се јављају на расједним одсјецима, а *акумулативни водопади* у кречњачким и доломитским теренима. Такав је Пливин водопад, затим водопади између Плитвичких језера итд. Највиши водопад на Земљи је Ангел (1054 m), на ријеци Чурун у сливу Оринока (Јужна Америка). У Европи највиши водопад је Утиград (610 m) у Норвешкој. По количини воде доминантан је Викторијин водопад (Викторијини водопади) на ријеци Замбези (Африка). На овом водопаду сваке секунде пада преко 9000 m³ воде са висине од 120 m. На географском простору бивше Југославије

један од најпознатијих је водопад Пливе (висок 27 m), а највиши је Логарски шум у Словенији, на коме се вода стропоштава са висине од преко 100 m.

Водопади се према начину постанка дијеле на првобитне и накнадне. Првобитни водопади се образују на одсјецима који су постојали у рељефу при формирању воденог тока. Накнадни водопади могу да буду ерозивни и акумулативни.

Слапови – каскаде су водопади код којих вода пада преко неколико степеничасто поређаних стрмих одсјека, стварајући брзаке. Нарочито су чести на крашким ријекама, у чијим се коритима, излучивањем калцијумкарбоната, стварају пречаге преко којих пада вода.



Слика 15 . Водопад(и)



Слика 16. Слапови

Средње уравни пад I_{ur} је нагиб (пад) праве линије – линије „уравни пада“. Ова линија добија се из једначине минимума површине испод и изнад линије уравни пада. При значајној промјени уздужног пада средњи пад (I_{sr}) се рачуна преко тзв. средње уравни пада (I_{ur}). Одређивање пада се своди на дефинисање пада праве линије (линије „уравни пада“) која има ту особину да је сума разлика ката између уздужног профила и дефинисане праве линије минимална, односно да су позитивне и негативне површине између праве линије и уздужног профила изједначене (Прохаска, С., 2003). На тај начин дефинисана права пролази кроз тачку С (латинично С).

Средње уравни пад износи:

$$I_{ur} = \frac{H_n - H_k}{L_t}, \text{ гдје су:}$$

H_n – највиша ката на линији средње уравни пада;

H_k – најнижа ката на линији средњег уравни пада;

L_t – дужина главног тока;

Линија средње уравни пада пролази кроз тачку С (X_C ; Y_C);

Положај тачке С дефинисан је координатама:

$$X_C = \frac{L_t}{2}; Y_C = \frac{\Omega}{L_t}; \text{ гдје су : } \Omega = \text{површина испод линије уздужног профила}$$

и неке референтне равни:

$$\Omega = \sum_{i=1}^n \frac{H_i + H_{i+1}}{2} \times l_i; \quad l_i - \text{удаљеност између двије сусједне коте}$$

преломних тачака ($H_1 - H_2$; $H_2 - H_3 \dots$).

Преломне тачке у већини случајева су висине изохипси са топографске карте.

Пад SL^{1085}

Пад SL^{1085} представља однос денивелације коте на дужини тока $0.1 \times L_t$ и $0.85L_t$ и укупне дужине тока, то јест:

$$SL^{1085} = \frac{H_{85\%} - H_{10\%}}{L_t}, \text{ гдје је : } H_{85\%} - \text{кота дна ријечног корита на}$$

растојању од $0.85 \text{ km} \cdot L_t$ од ушћа;

$H_{10\%}$ - ката дна ријечног корита на растојању од $0.1 \cdot L_t$ од ушћа;

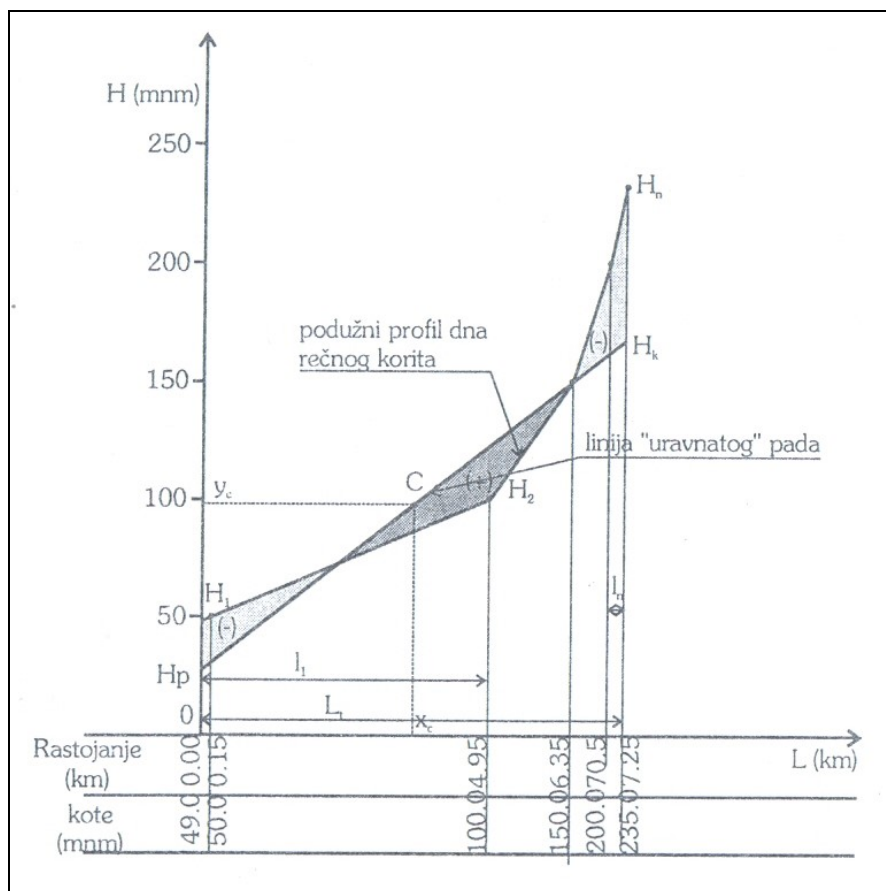
Коментар!

Пад слива није у хидролошком смислу посве дефинисан, тако да се често поједине категорије пада слива изједначавају с падовима главног водотока и његових притока. Због тога се у пракси најчешће дефинишу следећа два параметра:

- бруто пад водотока,
- средњи пад водотока.

Бруто пад водотока се добије када се разлика у надморској висини највише и најниже тачке на уздужном профилу подијели са дужином тока⁶².

Уравнати (средњи) пад водотока се одређује тако да постоји једнакост површина⁶³. У тексту смо дефинисали и „укупни пад тока“, који представља разлику надморске висине извора главног ријечног тока ($H_{r,max}$) и ушћа, односно излазног профила ($H_{r,min}$). На овај начин пад се изражава у метрима (m) и уобичајен је при изучавању водних снага у хидроенергетици, а не у ријечној хидротехници, односно ријечној хидрологији (потамологији).



Слика 17. Средње уравнати пад тока (Извор: Прохаска, С., 2003)

⁶² У овој књизи овом дефиницијом је означен „средњи пад тока“;

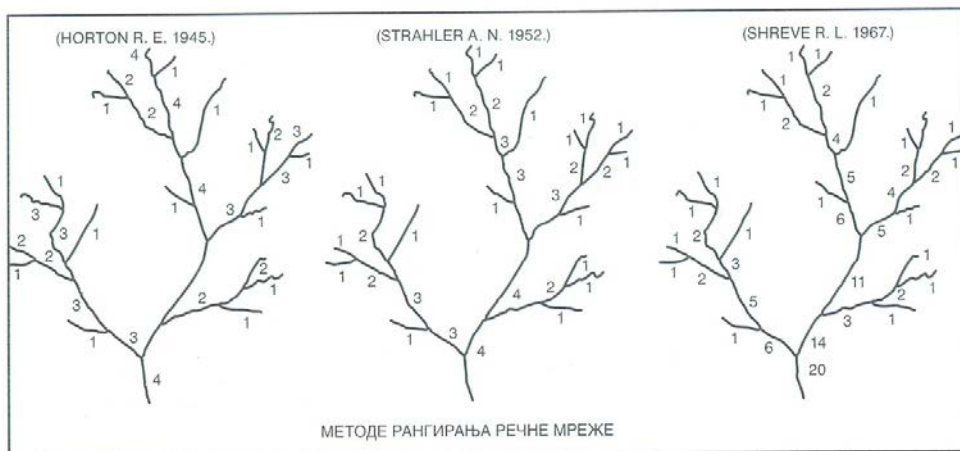
⁶³ У овој књизи овом дефиницијом је означен „средњи уравнати пад тока“;

2.4. Ријечни системи.

Нека ријека са свим својим притокама, лијевим и десним, чини ријечни систем. Он може бити симетричан или асиметричан. Ако ријека прима приближно исти број лијевих и десних притока, она има симетричан систем и обрнуто. Ријечни систем је је дио хидрографске мреже, која представља укупност ријека и других сталних и повременим водотока, као и језера и акумулација на датом географском простору. У литератури се често поред назива ријечни системи користи и термин хидрографски систем. У класификацији ријечних система постоји више метода.

Када је ријеч о рангирању водотока у неком ријечном систему, постоји више метода (Дукић, Гавриловић, 2006):

- Гравелијус (1914) – сматра да уколико ријека припада вишем реду, утолико је она мања и безначајнија; ова класификација је напуштена;
- Р. Хортон (1945) – сматра да токови првог реда су само они који немају уопште никаквих притока; токови другог реда примају само притоке првог реда, док токови трећег реда примају притоке другог реда, али и притоке првог реда итд; суштина Хортонове класификације је да уколико главна ријека припада већем реду, онда она има утолико развијенији ријечни систем (Слика 18.);
- Штралер (1952) – сврстава у токове првог реда водотоке без притока – па и изворишни ток ријеке; спајањем два водотока првог реда настаје водоток другог реда, а ако се овоме прикључи исти такав водоток онда се појављује водоток трећег реда; водоток четвртог реда настаје спајањем два водотока трећег реда итд. (Слика 18.);
- Када су уочене одеђене нелогичности Штралерове класификације, Шреве (1967) је предложио нову схему, по којој два водотока другог реда последице спајања дају водоток четвртог реда, а ако се њему прикључи водоток првог реда, онда настаје водоток петог реда (Слика 18.); по овој класификацији завршни ред неке ријеке представља у суштини збир водотока у ријечном систему; Шревеова класификација, која има логичан приступ, још није постала основа већине морфометријских истраживања ријечних система.



Слика 18. Методе рангирања ријечне мреже
(Извор: Дукић, Д., Гавриловић Љ., 2006)

2.5. Ријечна мрежа.

Ријечна мрежа представља укупност свих ријека које се налазе у границама неке територије⁶⁴. Њен основни показатељ је густина водених токова. Густина ријечне мреже је однос укупне дужине свих ријека басена (ријечног) према његовој површини. Представља показатељ развоја површинског отицања на посматраној територији, а изражава се, најчешће, у km/km^2 . Величина густине ријечне мреже зависи од геолошке грађе, карактеристика⁶⁵ рељефа датог географског простора, количине и режима, особености тла, биљног покривача и др.

Ријечна мрежа нема, као ријечни систем, својство хидрографске цјелине. Ријека Врбас са својим притокама представља хидрографски систем, док све ријеке Босне и Херцеговине сачињавају њену ријечну мрежу. Сличне релације можемо наћи на примјерима Дунав – Европа, Мисисипи са Мисуријем – Сјеверна Америка и сл.

Истраживањем бројних водотока и њихових сливова врло брзо се установило да поједини географски простори и административна подручја имају бројне водотоке, за разлику од других гдје је ријечна мрежа сиромашнија. На основу тога се дефинисао појам густине ријечне мреже, а изражава се на више начина, а обиљежава се латиничним словом D.

⁶⁴ територија (лат. territorium, земља око града), геогр. 1. географски простор одређен природним одликама; 2. подручје обухваћено утврђеним административним границама

⁶⁵ карактеристика (грч. charakter, отисак, траг, знак), изразито својство, главно обиљежје, битна одлика

Густина ријечне мреже (**D**) по Neumanu⁶⁶ (Нојману) представља однос између укупне дужине свих водотока (ΣL) и површине слива (**F**); добија се просјечна дужина водених токова на површини од 1 km².

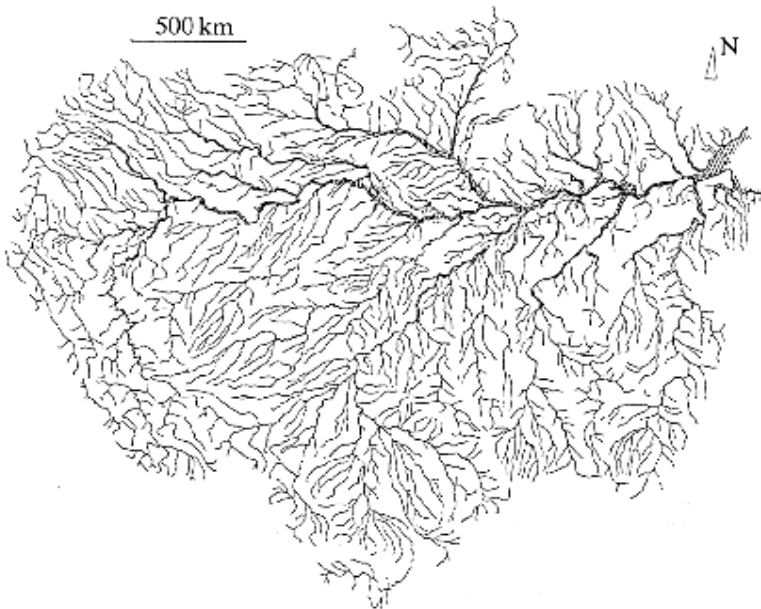
$$D = \frac{\Sigma L(\text{km})}{F(\text{km}^2)} ; (\text{km}/\text{km}^2; \text{m}/\text{km}^2) ;$$

У хидрологију је уведен и појам честина водотока – **D_f**, који представља однос броја ријека (**N**) и површине слива (**F**) или неке друге територије, изражене у km², ; **N** – број ријека у сливу ; **F** – површина слива; $D_f = \frac{N}{F}$;

слива; $D_f = \frac{N}{F}$;

Напомена: у равницама⁶⁷ преовлађују водотоци већих дужина, али у мањем броју, па је стога тамо честина водотока мала; у планинском подручју је обрнуто.

Други облик формуле: $D = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{F}$; L_i = дужина појединих токова; **N** = укупан број водотока на разматраном сливу; **F** = површина слива;



Слика 19. Хидрографски систем

⁶⁶ D – die Dichte, густина

⁶⁷ равница/равнина – облик рељефа Земљине површине који се карактерише малим нагибима и незнатним колебањима висина

Одређивање густине ријечне мреже је веома битно у потамолошким истраживањима. У суштини, ријечна мрежа је систем природних колектора, који су у функцији одводњавања слива. Код регистровања водотока у одређеном сливу потребно је јасно утврдити број повремених и сталних водотока. Њихов однос доноси и значајне разлике код појединих ријека и њихових ријечних система. Проучавање и дефинисање ријечне мреже је веома значајно за бројна геолошка, физичкогеографска и економскогеографска истраживања појединих сливова, односно за комплексне научне, техничке, привредне, планске и др. приступе у трансформацији појединих сливова

На примјеру ријеке Врбање⁶⁸ можемо видјети које су то разлике, које се могу јавити код појединих водотока, у вриједностима за повремене и сталне водотоке.

Честина водотока у сливу Врбање. Укупан број регистрованих водотока у сливу Врбање износи 2174 повремених и 396 сталних водотока⁶⁹. Честина водотока за повремене водотоке износи:

$$D_f = \frac{N}{F} = \frac{2174}{791.33} = 2.747, \text{ гдје су:}$$

N – број повремених водотока у сливу; F – површина слива Врбање (791.33 km^2); количник 2.747 значи да у сливу ријеке Врбање на сваком километру квадратном, просјечно има 2.747 повремених водотока.

За сталне водотоке D_f износи:

$$D_f = \frac{396}{791.33} = 0.5, \text{ односно да у сливу ријеке Врбање на сваком}$$

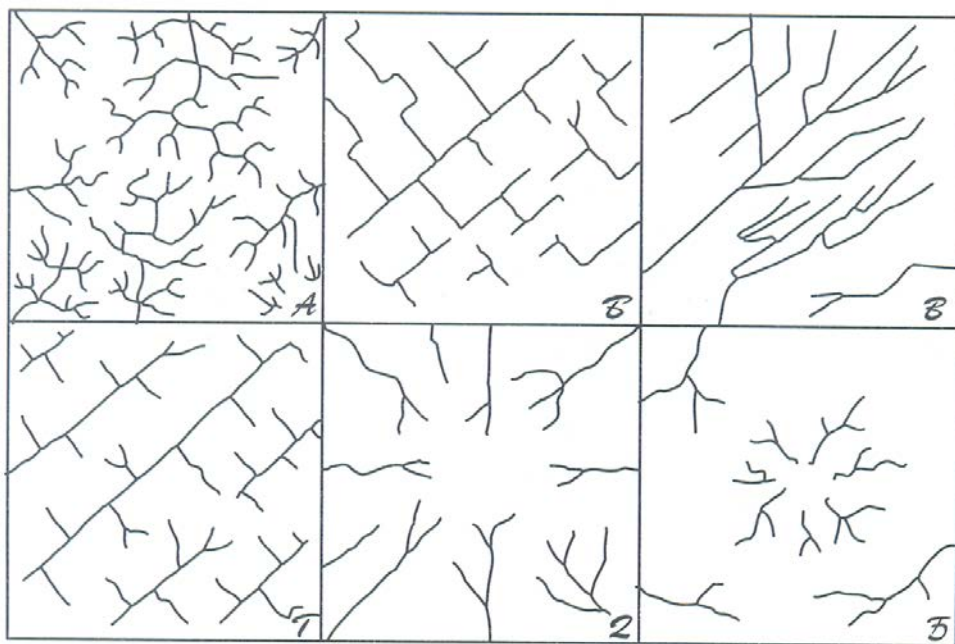
километру квадратном, просјечно има 0.5 сталних водотока.

2.5.1. Типови ријечне мреже.

Могу се сврстати у неколико група/типова. Њихово формирање и настанак условљени су тектоником, односно сталним изучавањем савремених структура Земљин коре (тектонски покрети), геолошком грађом географског простора гдје се формирала и развила нека ријечна мрежа и карактеристикама рељефа датог географског простора. На Слици 20. представљени су главни типови ријечне мреже (Дукић, Гавриловић, 2006.).

⁶⁸ Десна и најдужа притока ријеке Врбаса; у Врбас се улива у Бањој Луци

⁶⁹ Извор: Рајчевић, В., Црногорац, Ч. (2011): Ријека Врбања – Физиогена својства слива и ријечног система, АРТПРИНТ, Бања Лука; стр. 152



Слика 20. Типови ријечне мреже
А. дендроидни; Б. правоугли; В. дијагонални; Г. решеткасти;
Д. радијални; Б. центрипентални;

3. РАЗВОЂА И СЛИВОВИ

3.1. Развођа и њихови типови

Постоји неколико дефиниција развођа, као и неколико типова развођа. У термилошко/појмовном систему за термин развође користи се рјеђе и термин разводница. Једна од дефиниција гласи да је развође земљиште, најчешће планинско, које дијели два сусједна водотока или њихове системе. Развођа у равницама су слабије изражена, а у карстним (кречњачким) географским просторима су неодређена. Разлог су првенствено хидролошке особине кречњака. Линија, код одређених развођа, која спаја највише тачке на развођу зове се вододјелница. За разлику од развођа, не може бити неодређена.

Код подземних вода, развође је условна линија која раздваја токове подземних вода, које се крећу у разним правцима. У карсту развођа су само топографски одређена, односно одређена на топографским картама.⁷⁰ Термин карст (крас, крш) етимолошки је везан за географски простор *Крас*, између Трста – Италија и Сњежника – Хрватска (Горски Котар). Овај географски простор је комплекс геоморфолошких и хидролошких процеса и појава које се јављају у подручјима изграђеним од стијена растворљивих у води (кречњак – CaCO_3 и мање или веће количине глине⁷¹, доломити – $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$, гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) као и резултат хемијске и механичке ерозије у тим стијенама.

Данас се карст Динарског система сматра за подручје његовог класичног развитка у свијету. У Европи карст има значајни распрострањење: Медитерански басен, Француска, Велика Британија, јужни дио Њемачке, Пољска, Чешка, Румунија, Бугарска и друге земље Европе. Највећи (најиздашнији) карстни извор на свијету (минимум $30 \text{ m}^3/\text{s}$) је Думанли у Турској. У свјетским размјерама карст највећу површину заузима у САД (око 15%) , затим простору бившег СССР-а, Кини, југоисточној Азији, Аустралији и у подручју Мексичког залива. Према моћности карстификованих стијена и дубини положаја подземних карстних слојева, разликују се дубоки и плитки крас. У складу са цјелокупношћу манифестовања карстне морфоскулптуре и хидролошких

⁷⁰ Топографске карте, крупноразмјерне општегеографске карте на којима су детаљно приказани природни и социјално-економски објекти географског простора са њима својственим квантитативним карактеристикама. На топографским картама је уцртана географска координатна мрежа.

⁷¹ Постоји више различитих врста глине; њихове особине зависе од присутних састојака. Глина која садржи велику количину калцијум – карбоната (CaCO_3) има назив лапорац, а служи за добивање цемента; глина с већом количином гвожђевитих једињења обојена је жуто или мрко – зове се иловача.

одлика, дефинишу се *холокарст*⁷² и *мерокарст*⁷³. Између холокарста и мерокарста дефинише се прелазни карст, односно прелазни тип карста између холокарста и мерокарста.

Наука о карсту се назива *карстологија*, односно наука која кондензује географију карста, биоспелеологију и физичку спелеологију.

Основне двије одлике карста су:

- облици рељефа представљени су, углавном, затвореним депресијама различитих величина, што подручјима гдје доминира карст даје специфичан природни пејзаж;

- друга битна одлика карста лежи у његовој хидролошкој контрадикторности: снажно наглашена безводност на топографској површини а значајно присуство воде у унутрашњости кречњачке масе.⁷⁴

Вода која се излучи у виду падавина брзо понире у многобројне пукотине и њима подземно отиче. Диспропорцију између количине падавина и вриједности отицања воде на површини карбонатних стијена можемо најбоље видјети на примјеру Орјена (1859 m н.в.), Ловћена (1749 m н.в.) и Румије (1593 m н.в.). Ови планински масиви (Република Црна Гора) примају више од 5000 mm атмосферских падавина, а у суштини су највиши обалски планински бедем Динарског система без сталних површинских водотока. Истраживања су показала да је унутрашњост (подземље) тог дијела динарског карста изузетно богато водом а вода из (тог) подземља доспијева у Јадранско море, при чему се само мали дио може регистровати као вруће или врела у Бококоторском заливу.

Географски простор Балканског полуострва има изузетно распрострањење карста, тако да не изненађује податак да неки основни појмови из хидрологије и геоморфологије карста са овог географског простора су постали мјерило и узорак у свјетском стручно – научном географском називљу.

⁷² Холокарст (потпуни карст) означава присуство свих површинских и подземних карстних облика.

⁷³ Мерокарст (непотпуни карст) означава карст изграђен у кречњацима са мањим процентом CaCO_3 (лапоровити кречњаци, битуминозни кречњаци, доломит); карстни процес модификован, а облици редуковани.

⁷⁴ По ријечима Ј. Цвијића, на скрашћеном (карстификованом) земљишту „ни кап воде не отиче по површини, већ све понире у јаме, поноре, издухе и пукотине“.

Већина хидролога је сагласна да су подземне воде у карсту веома погодне за окуларна осматрања, као и да су приступачне за систематска испитивања. Но, и поред те приступачности, ове воде су, одувијек, биле и остале предмет сукобљених схватања и дефинисања. Најчешћи разлог је распоdjела ових вода, али и кретање воде у карстним стијенама.⁷⁵

Научни и стручни радови, као и бројне научне расправе су изузетна основа за анализу проблема подземних вода у карсту. Проблемом подземних вода у карсту бавио се велики број истраживача.

У хидрологији постоји неколико типова развођа:

- *Свјетско развође или главно развође наше планете* – доминантна узвишења у рељефу Земље која дијеле падавине које отичу у Атлантски океан, Тихи и Индијски океан и Сјеверни ледени океан. Свјетско развође је дефинисано у Сјеверној Америци (Роки Маунти), Јужној Америци (Анди), у Азији (Сибирске и средњоазијске планине, Тјан Шан и Хималаји), Африци (Килиманцаро – ближе Индијском океану) и Аустралији (Аустралијски Алпи – ближе Тихом океану). На основу правца пружања и географског положаја главног развођа видљиво је да се највећи дио копна (без острва и Антарктика) одводњава у Атлантски океан.

Код одводњавања разликујемо спољашње/спољно (егзореично) или периферно отицање копнених вода ријекама у Свјетски океан или његова мора и унурашње (ендореично) отицање копнених вода које се не врши у свјетски океан, него у унутрашње затворене басене (Каспијско језеро, Аралско језеро, језеро Чад, Титикака и др.).

Ендореична⁷⁶ област је област унутарконтиненталног отицања лишена веза, преко ријечних система, с океаном. Обично је везана за аридне зоне, а такође и за територије са равним рељефом (нпр. аралско-каспијска зона) у којима се отицање површинских вода остварује у унутрашњим басенима.

⁷⁵ Најзначајније хипотезе дали су А.Grund (1903), F.Katzer (1909), Е.А.Мартел (1911), Ј.Цвијић (1918), С.М.Милојевић (1939), Ј.Роглић (1958), М.Херак (1980), И.Гамс (2003) и др.

⁷⁶ Грч. endon – унутра и gheos - ток

Табела 1. Површине континената (без острва) по правцу одводњавања (у милионима km²)

Континенти → Одводњавање ↓	Европа	Азија	Африка	Аустралија	Сјеверна Америка	Јужна Америка	Укупно
Атлантски океан ⁷⁷	7.8	0.7	14.6	-	14.4	15.9	53.4
Тихи Океан	-	9.4	-	0.5	5.1	1.0	16.0
Индијски океан	-	7.9	5.0	3.2	-	-	16.1
Егзореично	7.8	18.0	19.6	3.7	19.5	16.9	85.5
Ендореично	1.6	12.6	9.6	4.0	0.9	1.2	29.9

(Извор: Дукић, Д., Гавриловић, Љ., 2006)

- *Океанска и морска развођа* – узвишења са којих падавине отичу у два океана или два мора. У Босни и Херцеговини су развођа између два мора: Црног и Јадранског мора. У Србији су развођа између три мора: Црног, Јадранског и Егејског мора.
- *Унутрашња развођа* – узвишења са којих падавине отичу ријекама периферно – у морске басене на једној страни и према неком језеру које припада областима са ендореичним одводњавањем на другој страни.
- *Ријечна развођа или развођа ријечних сливова* – узвишења на копну која дијеле падавинске воде тако да оне теку у одређене ријечне системе. Дијеле са на *главна* и *споредна* развођа, што зависи од ранга – величине ријека и њихових сливова. Главно развође је оно нпр. између Дунава и Рајне, Оба и Јенисеја и др; споредна развођа дијеле воду између притока првог, другог и п-тог реда неког ријечног система – нпр. развођа између притока ријеке Саве, Дрине и Босне, Босне и Врбаса, Врбаса и Сане, Сане и Уне и др.

Развођа су јасно изражена у брдско планинском терену, који је петрографски изграђен од вододржљивих стијена, и таква су развођа *одређена*. Развође је тешко уочити и одредити у равницама, низијама и низијским мочварама (еутрофним мочварама). Еутрофне мочваре

⁷⁷ По ранијој подјели Свјетског мора Атлантски океан је обухватао и Сјеверни ледени океан и таква подјела изложена је у Табели...

(травне мочваре) су тип мочвара карактеристичних за алувијалне равни и ријечне полоје. Таква развођа се називају *неодређена*.

У планинским предјелима постоји још један тип неодређеног развођа. Оно је представљено заравњеним удолинама⁷⁸ између долина двије ријеке. Такав тип неодређеног развођа назива се *повија* (Кумановско – прешевска повија између сливова Јужне Мораве и Вардара).

У стручној литератури често се може учити појмовно изједначавање термина развођа и вододјелнице. Видјели смо да развође представља узвишење, један од основних облика рељефа, док је *вододјелница* геометријски појам – линија која спаја највише тачке на развођу. Одређује се на топографским картама, односно на терену уколико су развођа неодређена. За разлику од развођа, водјелница не може бити неодређена.

Бифуркација⁷⁹ ријека - расток, представља дијелење ријеке и њене долине на двије гране које се у даљем току не састају, односно стварају посебна ушћа. Бифуркација ријека најчешће се јавља у вези с процесом разарања развођа. Најпознатија бифуркација је у систему ријеке Ориноко (јужна Америка), односно најтипичнији је примјер ријеке Касикијаре.

Осим површинских постоје и многе подземне бифуркације у карсту. Дунав пресушује у горњем току скоро сваког љета између насеља Имендингена и Мерингена на дужини од 5 – 8 километара. Дунавска вода се појављује у врелима ријеке *Aax*, притоке Боденског језера, кроз које протиче ријека Рајна. Врела леже дванаест километара и 186 m ниже од мјеста понирања дунавске воде. Према томе, ту постоји подземна бифуркација између Дунава и Рајне.

Ради рационалнијег коришћења текућих вода на многим ријекама саграђене су вјештачке бифуркације, а има их у многим земљама на свим континентима.

⁷⁸ Удолина, 1. двије наспрамне ријечне долине, спојене ниским превојем (нпр. моравско-вардарска удолина); превој – седло, снижење у планинском гребену према коме, по објема падинама, обично прелазе горњи дијелови ријечних долина или њихових мањих притока подесни за повезивање; превоји су мјеста најлакшег преласка из једне планинске долине у другу; у овом значењу сусреће се и термин врата; 2. улегнуће на Земљиној површини, првенствено у планинским предјелима

⁷⁹ Лат. bifurcus - рачваст

3.2. Хидролошки значај развођа

Несумњиво је да развођа имају велики хидролошки значај, а то је посебно изражено код високих планинских масива, посебно оних који чине границу између сливова са два различита климата⁸⁰. У том смислу доминантни су Хималаји: јужни дио, окренут Индијском океану, је под утицајем монсуна и монсунске климе, а сјеверни дио масива, експониран према Тибету, примјер је изразите континенталне климе. На нашим географским просторима Динарске планине представљају термичку границу између маритимног и континенталног поднебља. Догађа се врло често да ријеке на супротним странама неког високопланинског развођа имају различите ријечне режиме. Типичан примјер за ово су ријеке које теку западно и источно од Апалача, Стјеновитих планина и др. Можемо констатовати да наведени примјери, али и бројни други показују да развођа имају разнолики хидролошки значај.

Положај развођа и карактеристика његовог профила у односу на тзв. „извор влаге“ – правац из којег долази маса падавина. Већ смо навели динарске планине, код којих динарско развође прима обиље падавина са Јадранског мора, па су његове југозападне падине знатно богатије атмосферском водом од сјевероисточних. Сличан је случај са западним падинама Западних Гата (Индија) и јужним падинама Хималаја, код којих са Индијског океана тропски монсун доноси вишеструко веће падавине од оних које су оријентисане према истоку и сјеверу.

Дужина развођа (S) и коефицијент развитка развођа (m). Права вриједност дужине развођа добија се са топографских карата (ТК 25, ТК 50 и рјеђе ТК 100).

Укупна дужина вододјелнице – **S** ;

Дужина развођа на топографским картама се одређује мјерењем дужине помоћу циркула (шестара) или курвиметра (кривуљара). Дужина развођа (S) је сразмјерна површини слива (F).

⁸⁰ Климатска граница је граница на Земљиној површини дуж које се климатски услови оштро мијењају. Најчешће је то орографска преграда или зона гдје се оштро мијењају термички услови подлоге (нпр. копно и море)

Коефицијент развита развођа (m); m – тражени коефицијент; S – дужина развођа; s – обим круга чија је површина једнака површини ријечног слива;

$$m = \frac{S}{s} = \frac{S}{2r\pi} = \frac{S}{2 \times \sqrt{\frac{F}{\pi}} \times \pi} = \frac{S}{2 \times \sqrt{\frac{F}{\pi}} \pi^2} = \frac{S}{2 \times \sqrt{\pi \times F}} = \frac{S}{2 \times 1.77\sqrt{F}} =$$

$$= \frac{S}{3.54\sqrt{F}} = \dots$$

$$F = r^2 \pi; r = \sqrt{\frac{F}{\pi}}; \pi = 3.14; \sqrt{3.14} = 1.77$$

m : представља карактеристику која одређује режим отицања његова најмања вриједност једнака је јединици повећањем коефицијента развита развођа, отицање воде је равномјерније, а пролаз таласа је мирнији.

Средња висина развођа (H) представља аритметичку средину просјечне висине врхова на развођу H_{sr} и просјечне висине превоја h_{sr} , односно:

$$H = \frac{H_{sr} + h_{sr}}{2};$$

Средња висина развођа може да буде поуздан индикатор колико је неко развође препрека продирању влаге/облака и ваздушних маса које омогућују појаву орографских и фронталних падавина, односно могућности да ће се у неком сливу образовати само *конвективне падавине* (падавине у виду краткотрајних, али веома интензивних киша пљусковитог карактера - понегдје са градом), које се излучују из кумулонимбуса приликом узлазних кретања (конвекције) ваздуха који се загријава од земљине површине). *Орографске падавине* – падају из облака насталих под утицајем рељефа географског простора, нпр. приликом подизања ваздуха уз планинске стране. Орографске препреке (узвишења) често појачавају конвективне или фронталне падавине. *Фронталне падавине* – падавине које падају из атмосферских фронтава. За топли фронт типичне се дуготрајне падавине равномјерног интензитета које падају на великој површини. На хладном фронту, падавине су чешће пљусковите.

Средња висина развођа се сматра једном од најважнијих карактеристика развођа. Често су значајне разлике у режиму ријека два сусједна слива само зато што је високо развође препрека продирању и уједначавању климатских елемената у оба слива. Један од најочитијих примјера су режими ријека Ганга и Брамапутре, јужно од Хималаја и висоравни Тибета и ријеке Тарима, сјеверно од Хималаја. Ганг и Брамапутра претежно се хране кишницом, а Тарим скоро искључиво сњежницом и сочницом⁸¹.

*Премјештање развођа – пиратерија*⁸². Пиратерија је појава до које долази када ријека помјерањем, усљед регресивне⁸³ ерозије, пробије развође, зађе у сусједни слив, пресјече неки водоток и присвоји дио његовог слива. Тада настају многе промјене у морфометрији и морфологији сливова и токова, промјене у режиму наноса и даљој изградњи њихових уздужних профила код једне и друге ријеке.

Пиратерија је последица ерозивног процеса, када може доћи до повећавања или смањивања слива, у зависности од помјерања развођа. Помјерање и снижавање развођа најјаче је изнад изворишних кракова главне ријеке. Развође се не снижава свуда подједнако, већ највише на правцу изворишних кракова. Услјед тога, на развођу се јављају специфични облици: превоји, пресједлине (дубоки превоји) и повије (јако снижени и широки превоји). У зависности од тога како ријека – пират прилази другој ријечи, разликују се три типа пиратерија: бочна, чеона и контактна.

Пиратерије се откривају на терену на основу инверсног⁸⁴ рељефа, лактастих скретања долина, ријечних тераса, фосилних долина, алогеног ријечног материјала и др.

⁸¹ Сњежница – сочница, 1. вода која настаје топљењем сезонског снијега који се накупио у хладном периоду године у басену ријеке., а такође и топљењем ледника у планинским зонама. У поређењу с водом атмосферских падавина, сњежница је богата угљендиоксидом и има велику способност растварања карбонатних стијена; 2. сњежница – назив за јаму у којој има снијега

⁸² Грч. *peirates* – морски разбојник, гусар

⁸³ Регресија (нлат. *regressio* – враћање), назадовање; повлачење; регресиван - назадан

⁸⁴ Инверзија (лат. *inversio* према *invertere* – преокренути), обртање, преокретање, преметање редослиједа

3.3. Слив и његове одлике

Слив, најкраће, дефинишемо као површину копна ограничену вододјелницом, са које падавине, сњежница и сочница отичу ријечним системом у океан, море језеро или у неку другу ријеку. Ријечни слив (порјечје) можемо дефинисати и као територију с које вода по површини или подземним путем дотиче у дату ријеку или ријечни систем. Ријечни слив је најчешће амфитеатрално удубљење отворено у правцу ријечног ушћа, а са осталих страна ограничено развођем⁸⁵. Ријечни сливови су међусобно одвојени развођима. У теорији и пракси разликујемо сливове океана, мора, језера, ријека. По облику и димензијама сливови се веома разликују једни од других. Обично су лепезастог облика, односно у изворишту су шири, а према ушћу се сужавају. Уколико ријеке имају веће сливове оне су по правилу богатије водом.

Басен ријечног слива је највећи облик изграђен ријечном ерозијом, али због својих димензија није тако уочљив и импозантан, као на примјер, ријечна долина. Изграђен је ерозивно-акумулативним радом флувиоденудационог процеса, на сличан начин и са сличним интегралним утицајима и међузависностима као један уздужни профил и његова долина (Тошић, 2013).

Сваки ријечни слив има хидрографске и физичкогеографске карактеристике, које су значајне за режим главног тока ријеке и водни биланс њеног слива.

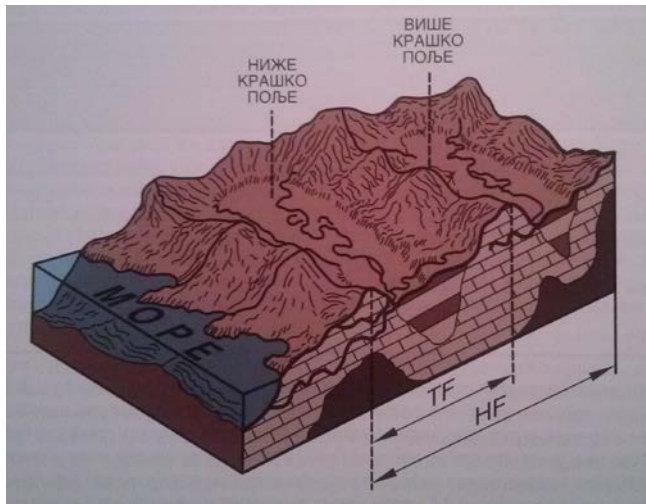
3.3.1. Хидрографске и физичкогеографске карактеристике слива и главног тока

3.3.1.1. Морфометријске карактеристике слива

Површина слива (F) – km². Укупна површина слива представља површину ријечног слива ограниченог (омеђеног) вододјелницом, односно хоризонталну пројекцију топографске површине са које се вода слива у ријечни систем или у одређени ријечни ток. На топографским картама површина слива мањих водотока одређује се планиметрисањем површине са топографске карте, са унапријед одређеном вододјелницом.

Већ одавно је уочено да је количина воде која отиче ријечним коритом углавном сразмјерна површини слива. Изузетак чине ријеке које у пустињама губе воду испаравањем, процјеђивањем масе воде у пијесак, односно и ријеке које се користе за наводњавање (Нил, Сир – Дарја, Аму – Дарја, Тарим, Колорадо и др.).

⁸⁵ Највећи слив има ријака Амазон у Јужној Америци (7.18 милиона km²); ријека Сава има слив од 95551 km², а Дунав 817000 km²



Слика 21. Одступање топографске површине слива (TF) од хидролошке површине слива (HF)

Укупна дужина вододјелнице (обим) ријечног слива (S) – km ; (в. 3.2. хидролошки значај развођа);

Дужина слива (L_s) – km . Дужина слива зависи од облика слива. Уколико је слив релативно правилних контура, његова дужина се одређује дужином праве која спаја ушће ријеке и извор ријеке, са продужетком до вододјелнице у изворишном дијелу слива. Ако је слив неправилних контура, L_s се одређује према дужини медијане (у размјери карте).

Средња ширина слива (B_m) – km . Одређује се количником површине слива F – km^2 и његове дужине L_s – km , односно $B_m = \frac{F(km^2)}{L_s(km)}$.

Неки хидролози код одређивања средње ширине слива, умјесто његове дужине (L_s) узимају дужину главног тока слива (L). За исти слив добијају се различите вриједности средње/просјечне ширине слива (Сава L_s – 157.2 km ; Сава L – 99.5 km).

Просјечна ширина слива има велики хидролошки значај, посебно када је у питању поводањ. Поводањ је сразмјерно краткотрајно издизање нивоа воде у ријечи, које се јавља усљед брзог топљења снијега, обилних киша, испуштањем воде из акумулација и сл. За разлику од поплава, поводањ се догађа у свако доба године. Уколико је просјечна ширина слива мања од његове дужине, тада ће, при осталим једнаким условима, поводањ протећи равномјерније: при отицању вода прелази дужи пут, поводањ се постепено повећава, а након тога, одржавајући се приближно на истом нивоу одређени временски период, постепено се смањује.

Табела 2. Најзначајније ријеке на Земљи по површини слива и дужини тока

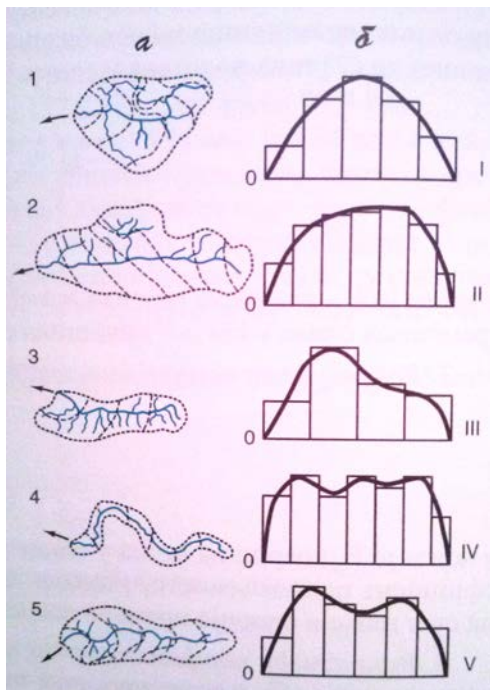
Слив ријеке		Дужина ријечног тока	
Ријека	F у km ²	Ријека	L у km
1. Амазон*	7 180 000	1. Амазон са Укајали*	7025
2. Конго	3 690 000	2. Нил са Кагером	6671
3. Мисисипи	3 238 000	3. Мисисипи са Мисуријем	6420
4. Парана	3 100 000	4. Јангце	6300
5. Об	2 975 000	5. Парана са Рио Гранде	5610
6. Нил	2 870 000	6. Макензи са Атабаском	5572
7. Јенисеј	2 580 000	7. Хоангхо	5464
8. Лена	2 490 000	8. Об са Иртишем	5410
9. Нигер	2 092 000	9. Јенисеј са Ангаром и Селенгом	5060
10. Амур	1 855 000	10. Мисури	4740
11. Јангце	1 808 000	11. Конго са Чамбеши	4700
12. Макензи	1 760 000	12. Меконг	4500
13. Иртиш	1 643 000	13. Амур са Аргуњом	4444
14. Волга	1 380 000	14. Лена	4400
15. Замбези	1 330 000	15. Иртиш	4248

*По подацима америчког *National Geographic Society* Амазон је дугачак 7025 km, док *Instituto de investigaciones sobre la Amazonia Peruana* прихвата за дужину ове ријеке 6885 km, што је 140 километара краће од америчких података.

Типизација облика ријечних сливова и њихово графичко представљање (в. Слику 22.)

- I. Ријеке са највећом ширином слива у средњем току,
- II. Ријеке са највећом ширином слива у горњем току,
- III. Ријеке са највећом ширином слива у доњем току
- IV. Ријеке са дугачким и скоро подједнако широким сливом,
- V. Ријеке чији су сливови сужени у средњем току.

Типизација облика ријечних сливова изводи се уртавањем у карту изоленија, које дијеле слив на једнаке дијелове по дужини медијане слива (*L_s*).



Слика 22. Графичко представљање типизације облика ријечних сливова

У сливовима чији су просјечна ширина и дужина приближно једнаки (код сливова скоро кружног облика) поводањ се нагло појављује, не траје дуго, а вода се нешто спорије повлачи у корито из којег је изашла.

$$\text{Просјечна ширина лијеве стране слива: } V_l = \frac{F_l}{L_s};$$

$$\text{Просјечна ширина десне стране слива: } V_d = \frac{F_d}{L_s}$$

Густина ријечне мреже (D) – km/km^2 по Нојману (Neumanu). Густина ријечне мреже представља однос између укупне дужине свих водотока (ΣL) и површине слива (F). Добија се просјечна дужина водених токова на површини од $1 km^2$.

$$D = \frac{\Sigma L(km)}{F(km^2)}; (km/km^2; m/km^2)$$

Честина водотока – D_f . $D_f = \frac{N}{F}$; N – број ријека у сливу; F – површина слива;

Други облик формуле: $D_f = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{F}$; L_i – дужина појединих токова; N – укупан број водотока на разматраном сливу; F – површина слива.

Средња дужина падина - l_p . Средња дужина падина одређује се преко густине ријечне мреже (D), путем формуле:

$$l_p = \frac{1}{1.8 \times D}$$

Висински положај слива H_{max} и H_{min} и укупан пад слива ΔH ; Под висинским положајем слива подразумевамо максималну и минималну надморску висину на посматраном сливу (H_{max} и H_{min}) изражену у mpm (m n.v.) и укупан пад ријечног тока (ΔH), који се дефинише као разлика H_{max} и H_{min} , односно $\Delta H = H_{max} - H_{min}$ (m).

Средња надморска висина слива (H_{sr}) – мтм;
 Средња надморска висина слива H_{sr} добије се из односа:

$$H_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \times h_i}{F} ;$$

h_i – средња висина између i -те и $(i-1)$ – ве изохипсе;

f_i – површина слива између i -те и $(i-1)$ – ве изохипсе;

F – укупна површина слива; f – парцијалне површине између изохипси;

За одређивање средње надморске висине слива неопходно је одредити (испланиметрирати) одговарајуће површине између дефинисаних изохипси.

Хипсометријска крива слива. Хипсометријска крива или хипсометријски дијаграм слива представља зависност процентуалне заступљености појединих висина слива у функцији површине слива. За приказ хипсометријске криве слива, односно графикана површине слива у функцији надморске висине ($F_i = f(H_i)$), неопходно је урадити узастопне суме површина и одредити процентуално учешће у односу на цјелокупну површину.

Елементи за одређивање хипсометријске криве слива:

1. Надморска висина од – до (m); висинска зона у m;
2. Површина слива f_i (km^2); парцијалне површине слива између изохипси;
3. $F_i = \sum_{i=1}^n f_i (km^2)$ - кумулативна вриједност површине;
4. $\frac{F_i}{F} \times 100(\%)$ - проценти висинских зона;
5. Кумулативна вриједност у % .

Средњи пад слива – I_{sl} (%о); (просјечни пад ријечног слива – i_F).
 Просјечни пад ријечног слива веома је значајна хидролошка карактеристика, јер од његове величине зависи брзина површинског отицања падавина (кишнице и сњежнице) до сталних водотока. Средњи пад ријечног слива представља просјечан пад падина у сливу, а добија се помоћу следеће једначине:

$$I_{sl} = \frac{i_1 \times f_1}{F} + \frac{i_2 \times f_2}{F} + \frac{i_3 \times f_3}{F} + \dots + \frac{i_n \times f_n}{F}; \text{ гдје су:}$$

f_1, f_2, \dots, f_n – површине између сусједних изохипси;

i_1, i_2, \dots, i_n – падови између сусједних изохипси, тј. $i_i = \frac{\Delta h_i}{B_i} = \frac{\Delta h_i \times L_{sr,i}}{f_i}$;

гдје су:

$L_{sr,i}$ – средња дужина између двије сусједне изохипсе; (у km)

Δh – разлика висине између двије сусједне изохипсе.

Одређивање средњег пада слива преко еквидистанције (Δh) и суме дужине изохипса.

Конечна једначина, на основу претходних параметара, за одређивање средњег пада слива гласи:

$$I_{sl} = \frac{h \times \left(\frac{l_0 + l_n}{2} + l_1 + l_2 + \dots + l_i + \dots + l_{n-1} \right)}{F} = \frac{\Delta h \times \Sigma l}{F};$$

h – висинска разлика између изохипса у м; l_0, l_1, \dots, l_n – дужина изохипса у границама слива у км; F – површина слива у km^2 .

Образац : Д. Вујићевић, 1995

$$I_{sr} = \frac{1}{F} \left[h_0 \times \frac{L_1}{2} + (L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_{n-1}) \times h + h_n \times \frac{L_n}{2} \right] =$$

I_{sr} – средњи пад слива у м/км или у % и %о;

F – површина слива;

h_0 – висинска разлика између најниже коте слива, односно тачке профила за коју се рачуна средњи пад и изохипсе L_1 ; h_0 – 1м (0.001км)

$L_1, L_2, L_3, L_4, L_{n-1}, L_n$; дужина појединих изохипси у км;

h – размак или ход изохипси, у м; h – 50м (0.05км);

h_n – висинска разлика између највише коте слива и посљедње изохипсе

L_n – 5м (0.005км)

3.3.1.2. Изведене величине карактеристика водотока и слива

3.3.1.2.1. *Коефицијент асиметрије слива* - K_a ; ова величина има практичан значај за проучавање формирања великих вода у сливу које настају отапањем снијега или од падавина на његовој десној или лијевој страни.

$$K_a = \frac{F_l - F_d}{0.5 \times (F_l + F_d)}, \text{ гдје је :}$$

F_l – површина слива лијевих притока и непосредног слива;

F_d – површина слива десних притока и непосредног слива;

$F_l + F_d = F$

Напомена: уколико је $F_d > F_l$ формула гласи: $K_a = \frac{F_d - F_l}{0.5 \times (F_l + F_d)}$;

Коефицијент асиметрије слива се може одредити једноставније диобом оног дијела слива (F_d или F_l) који има већу површину са оним чија је површина мања, односно:

$$k_a = \frac{F_l}{F_d} \text{ или } k_a = \frac{F_d}{F_l}$$

Коефицијент асиметрије слива (k_a) је значајан хидролошки показатељ, нарочито за сливове великих ријека. У многим сливовима постоје значајне разлике у физичкогеографским одликама и количинама падавина и условима за њихово отицање у ријеке са десне и лијеве стране слива. Из тих разлога се јављају знатне разлике у количини воде која са њих притиче у главни водоток.

3.3.1.2.2. *Коефицијент кривудавости тока* – K_l ; представља однос између дужине главног тока и дужине слива; $K_l = \frac{L_t}{L_s}$;

3.3.1.2.3. *Коефицијент неравномјерности ријечног тока* K_n представља однос: $K_n = \frac{L_l}{L_d}$;

3.3.1.2.4. *Коефицијент развитка тока* – K представља однос: $K = \frac{L_t}{L_{\min}}$,

гдје су:

L_t – стварна дужина ријеке (у km);

L_{\min} – најмања могућа дужина ријеке (у km);

3.3.1.2.5. *Коефицијент пошумљености* – K_s представља однос површине под шумом и укупне површине слива: $K_s = \frac{F_s}{F}$ гдје су:

F_s – површина слива под шумом;

F – укупна површина слива ;

Коефицијент пошумљености слива изражава се у процентима или у односу на јединицу. Што је K_s већи то је уједначеније отицање падавина и мања су колебања водостаја.

3.3.1.2.6. *Коефицијент језерности* – K_J . Површине слива покривене природним или вјештачким језерима и мочварама могу битно утицати на водни режим у сливу. Њихова квантитативна карактеристика се назива коефицијент језерности и представља однос површине покривене језерима или мочварама и укупне површине слива. :

$$K_J = \frac{F_J}{F},$$

K_J – коефицијент језерности слива;

F_j – површина слива покривена језерима или мочварама;
 F – укупна површина слива.

3.3.1.2.7. *Веза између морфометријских карактеристика слива и дужине ријеке.* Корелација између површине слива (F), његове просјечне ширине (B_m) и дужине ријеке (L) за велике ријеке може се представити једначином:

$L = 2.9 \times \sqrt{F}$, у којој су F и L изражени у km^2 и km .

За сливове чија је површина мања од 250 km^2 величина сталног коефицијента износи 1.6, док за планинске ријеке величина сталног коефицијента износи од 2.4 – 2.5.

Веза између просјечне ширине слива и његове површине за веће ријеке изражава се једначином:

$$B_m = \frac{F}{L} = 0.35\sqrt{F} \text{ (km)}.$$

4. РИЈЕЧНА ДОЛИНА И РИЈЕЧНО КОРИТО

4.1. Ријечна долина и елементи долине

Ријечна долина је основни и најмаркантнији облик ријечне ерозије. Њен значај за флувијални (ријечни) рељеф је изузетан, тако да се може, с правом, говорити о долинском рељефу као синониму за флувијални или нормални рељеф.

Ријечне долине у литератури имају бројне дефиниције, у зависности од уже научне области у којој је доминантан одређени појмовно – термилошки систем. Геоморфолози⁸⁶ ријечну долину дефинишу као удубљење у Земљиној кори, издужено, у чије је дно усјечено ријечно корито. Изнад долинског дна дижу се различито нагнуте долинске стране – лијева и десна долинска страна (у правцу ријечног тока). Хидролози⁸⁷ долину дефинишу као дуго и релативно уско, а обично кривудава удубљење на копну (има их и подморских) са падом који је усмјерен у правцу њиховог излаза у друге долине, језерске басене и на морске обале. Рјечници савремене географске терминологије⁸⁸ долину дефинишу као негативни линијски издужени облик рељефа који има општи пад од горњег дијела према доњем. Настају ерозивним дјеловањем сталних водотока. Долине, као морфолошки облик, производ су двије главне компоненте ерозивног рада ријечне воде – вертикалне и хоризонталне ерозије, уз читав низ модификујућих фактора.

Ријечне долине су најчешћи облик рељефа на теренима који су изграђени у вододржљивим или у полупропустљивим стијенама. У условима довољно влажне климе, долине се формирају у цијеле системе који одговарају ријечним басенима. Никад се не пресецају и различитих су величина и облика.

Елементи долине. Код сваке ријечне долине разликујемо следеће елементе:

- А) стране долине,
- Б) дно долине,
- В) ријечно корито.

Стране долине (долинске стране) су падине које бочно ограничавају дно долине, неријетко усложњеним ријечним терасама. Могу бити високе, ниске, стрме, благо нагнуте, испупчене, угнуте, степенасте и др. У зрелој долини, стране су, по правилу, издвојене од

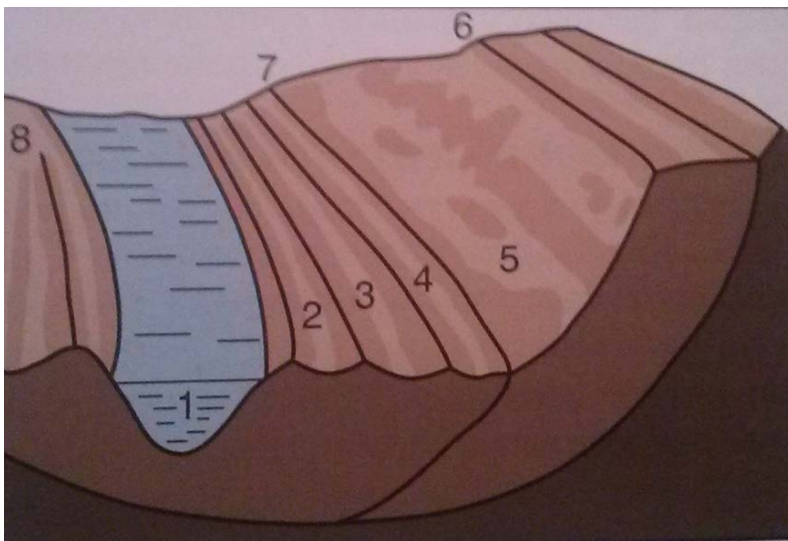
⁸⁶ Лазаревић, Р., Тошић, Р. (2013): Геоморфологија, Универзитет у Бањој Луци, стр.155

⁸⁷ Дукић, Д., Гавриловић, Љ. (2006): Хидрологија, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, стр.94

⁸⁸ Мастило, Н. (2001): Речник савремене српске географске терминологије, Географски факултет Универзитета у Београду, стр.104

обала ријеке серијом тераса. У раном стадијуму развоја долине, термини „падине“ и „обале“ су појмовно подударни.

На попречном профилу ријека долинске стране су веома ријетко *косе равни*, јер је за такав профил неопходно равномјерно/истовремено усјецање корита ријеке и елиминисање/одношење спраног материјала са долинских страна. Најчешће конкаван⁸⁹ профил долина резултат је спирања материјала са долинских страна и његово елиминисање (бочна ерозија), које је интензивније од усјецања ријеке у долинско дно (вертикална ерозија). Постоје, такође, бројне долине које имају на попречном пресеку конвексне⁹⁰ стране, а оне су карактеристичне за долине код којих је брже усјецање ријечног дна од ерозије на долинским странама. Ријечне терасе, терасе образоване дјелатношћу/радом ријека, у суштини остатак дна некадашње ријечне долине. Најчешће је ријечна тераса нагнута у правцу ријечног тока и покривена ријечним наносом. Ријечне терасе служе као поуздани индикатори⁹¹ (показатељи) промјена у интензитету ријечне ерозије сваког водотока и зато имају велики хидролошки и геоморфолошки значај.



Слика 23. Схематски приказ ријечне долине

1. Ријечно корито, 2. полој уз ријечно корито, 3. централни дио полоја,
4. полој уз ријечну терасу, 5. долинска страна, 6. горња ивица долинских страна,
7. суподина долинских страна, 8. приобалска гредица

⁸⁹ конкаван (лат. *concavus* – шупаљ) – издубљен, удубљен, угнут

⁹⁰ конвексан (лат. *convexus*) – испупчен, избочен)

⁹¹ индикатори (лат. *indico* – указујем, одређујем), природни објекти различитог поријекла (растиње, фосилни организми, неки минерали и др.) карактеристични за одређене геолошке, педолошке, хидролошке, климатске услове.

За облик ријечне долине, који проистиче из односа вертикалне и бочне ерозије, карактеристичне су три фазе:

- прва, у почетку процеса или сваком потезу уздужног профила, гдје је вертикална ерозија по обиму већа од бочне, усљед чега се изграђују долинске стране које имају конвексни облик;
- друга, када се вертикална и бочна ерозија изједначе по обиму, а долинске стране прошире и постану праволинијске;
- трећа, при крају процеса или на било ком потезу уздужног профила, гдје је вертикална ерозија успорена или је престала, док се бочна ерозија наставља и изграђује широку долину, чије су стране конкавне.

Проучавањем ријечних долина бавило се више геоморфолога са наших географских простора (Д. Гавриловић, Р. Лазаревић, Р. Тошић, И. Бушатлија и др.). У објављеним радовима, универзитетским уџбеницима и монографијама они сматрају да „однос вертикалне и бочне ерозије није исти на цијелој дужини водотока, због чега ни попречни профил, облик долине, није исти. То долази отуда што је потенцијална ерозивна енергија у горњем дијелу сагласног профила већа него у доњем току, гдје је бочна ерозија знатно смањила нагиб страна и снизила развођа. Снижавање развођа и ширење долинских страна, због чега долина постаје плитка, прво се јавља у доњем току ријеке, а затим се уназадно/регресивно преноси уз ријеку, слично као и ерозивни процес на уздужном профилу. Крајњи циљ је да се на читавој дужини изгради плитка и широка долина“. *Дно долине.* Дно, као општи појам означава дио Земљине површине потопљен водама океана, мора, језера, ријека. Границом дна у правцу воденог басена сматра се линија на којој ишчезава биљни покривач или се битно мијења карактер биљног покривача и тла. Дно ријечне долине сачињава шира или ужа долинска равна, изнад које се издиже одсјек најниже ријечне терасе или, ако терасе нема, одсјек долинске стране. Долинско дно, чији се фосилни остаци запажају на странама долине, изграђено је у фази кад је бочна ерозија била јача од вертикалне, док су одсјечи или стрмији долински дијелови испод терасе изграђени у фазама поново ојачале вертикалне ерозије. Најнижи дио долинске равни, који редовно плаве велике воде и на којима се таложи ријечни нанос, назива се алувијална⁹² равна.

Алувијалне равни су, у суштини, заравњене и ријечним материјалом засута долинска дна. Посљедица су варијабилности (промјенљивости) водостаја (Н) и протицаја (Q), односно промјенљиве механичке снаге водотока. Код високих водостаја ријека се излива из ријечног корита и плави дно долине, а због успореног отицања воде почиње таложење материјала/ријечног наноса по дну долине. Дио алувијалне равни, који

⁹² Од латинског *alluvies* – наплава, нанос

при великим водама плави ријека назива се *инундациона раван* или *инундациони појас*, док у народној терминологији постоји назив *полој*.

Ширина алувијалне равни може, код великих ријека, достићи више десетина километара: Волга у доњем току 30 – 40 km, Дунав код Београда 17 km, Велика Морава код Смедерева око 18 km, Амазон мјестимично 500 km.

Бочна ерозија има велики значај за ширење алувијалне равни, али и за њено издизање. Уколико бочна ерозија производи више материјала/наноса⁹³ него што водоток може да транспортује (пренесе), нанос се акумулира у алувијалној равни и ријечном кориту. Ријечно корито све више се затрпава и смањује своје димензије (ширину ријечног корита – B_k и дубину, односно средњу вриједност водостаја – h_{sr}). Посљедице су изливање и малих вода из ријечног корита, чиме се још више појачава таложење материјала и издизања алувијалне равни (примјер: Јужна Морава у Врањској котлини).

4.1.1. Полоји и њихове особености⁹⁴.

Већ смо дефинисали полој као дио алувијалне равни, који при великим водама плави ријека, а сложенија дефиниција полоја гласи: *полој је дио дна ријечне долине, који периодично плаве велике воде, а настаје таложењем наноса при помјерању и премјештању ријечног корита условљеног бочном ерозијом*.

Најинтензивније таложење наноса на полоју је непосредно уз ријечно корито, гдје се формирају *обалске гредице*. Оне су у суштини акумулације формиране од наноса муља, који се задржава иза неке препреке, односно на оним мјестима гдје се брзина смањује, што доводи до повећаног таложења наноса најситнијих честица. Препреке су најчешће пањеви, оборена стабла, а није ријетка ни појава плетених ограда.

Просјечна висина обалских гредица сагласна је или је врло блиска средњем вишегодишњем нивоу велики вода. Ова појава је регистрована на бројним ријекама умјереног поднебља. Ширина полоја се мијења дуж ријечног тока. Опште је правило да велике ријеке имају широке полоје.

Посебан облик рељефа у полојима су многобројна мала узвишења – греде. Греде су заједнички назив издигнутих, релативно невисоких позитивних форми рељефа различитог поријекла (моренске, пјешчане,

⁹³ Наноси, 1. заједнички назив за растресите квартарне наносе на Земљиној површини, независне од услова њиховог настанка (пијесак, шљунак, глина и др.), 2. тврде честице које ријеке и струје уносе у акумулације, јетера и мора. Наноси доспијевају у ријеке усљед разарања корита и ерозије у басену ријечног слива, 3. приобални морски наноси; у поређењу с другим типовима морских наноса, карактеришу се високим степеном покретљивости.

⁹⁴ Видјети опширније: Дукић, Д., Гавриловић, Љ. (2006): Хидрологија, стр. 97 - 100

острвске, ријечне и др.). Најбоље се уочавају на аерофотоснимцима, а код ријека формирају се на конвексним странама ријечног корита, а њиховим проучавањем може да се реконструише динамика ријечних корита по полоју, ако је потешно и неколико вијекова уназад.

Класификација полоја. Постоји више класификација полоја. Једна од најстаријих је класификација према положају у односу на ријечно корито, према којој се полоји сврставају у три групе:

- а) двострани полоји, леже са обе стране корита;
- б) једнострани полоји, леже дуж једне од долињских страна;
- в) наизмјенични полоји, леже час лијево, час десно од ријечног корита.

Више класификација заснива се на геоморфолошким одликама полоја, односно његовог рељефа, петрографске (стијенске) грађе, габарита наноса и његове генезе. Таква класификација полоја је од стране Р.А. Јеленског промовисана 1931. године. Двадесет година касније Ј.В. Шанцер је предложио класификацију полоја засновану на особеностима *хоризонталних деформација корита*. Н. И. Макавејев (1955) је издвојио класификацију полоја засновану већином на процесу седиментације наноса :

1. Ријечни полоји
 - 1.1. Полоји у крајевима са развијеном бочном ерозијом:
 - а) једнострани,
 - б) двострани;
 - 1.2. Полоји на ушћима ријека,
 - 1.3. Полоји у крајевима са преовлађивањем вертикалне ерозије,
 - 1.4. Полоји у близини делтастих ушћа.

За хидрографска проучавања, у Табели 3 дата је „*службена хидрографска класификација полоја*“. У суштини, то је класификација полоја према њиховом изгледу: положај полоја према кориту, његова висина изнад нивоа ниске воде, његов попречни профил са рељефом површине полоја и одликама вегетације. Она може релевантно да се примјени при опису дна долине, неопходном за израду идејних, планских, изведбених, генералних и других пројеката, када су у питању одређени објекти, као бране, мостови, одводни канали и сл.

Табела 3. Службена хидрографска класификација полоја

РИЈЕЧНИ ПОЛОЈ	
Положај у односу на ријечно корито	Једнострани полој
	Двострани полој
Висина над нивоом ниске воде	Високи полој
	Ниски полој
Попречни профил полоја	Око корита, висок и раздијељен полој
	Централни нижи и раван полој
	Најнижи, често замочварен полој
Рељеф површине полоја	Раван и испресијецан полој
	Усмјерено испресијецан полој
	Испресијецан* полој
	Заталасан* полој
Особености вегетације на полоју	Пашњачка вегетација, суви полој
	Пашњачка вегетација, замочварен полој
	Жбуње или шумска вегетација и суви полој
	Жбуње или шумска вегетација и замочварен полој
	Мочварна вегетација (са тресетом)

* Када је у питању рељеф површине полоја, онда се под термином „испресијецан“ мисли на издужена и већином лучна плитка удубљења кроз која најприје протиче ријечна вода када се излије из корита и почне да плави полој под термином „заталасан“ подразумевају се наизмјенични положаји греда и плитких удубљења између њих.

Ријечно корито је најнижи дио ријечне долине по коме тече вода. Оно је усјечено у алувијалној равни, а уколико ње нема, усјечео је по долинском дну. Можемо га дефинисати и као жљеб којим протичу тзв. мале и средње воде, док се велике воде изливају из њега. Равничарске ријеке одликују се вијугавим коритом (меандрирање ријеке) које карактерише смјена дубљих дијелова (конкавне обале) са плићим дијеловима корита (конвексне обале).

Морфолошки подсјећа на смањену ријечну долину, јер стране корита одговарају странама долине, а раван корита долинском дну (долинској равни).

На странама корита су *обале*. Обала је гранични појас између копна и воде који представља подручје њиховог узајамног дејства. Ријечна обала је дио стране ријечног корита који се налази изнад нивоа воде у ријечи. У основи класификације обала леже морфографски, структурни, динамички, генетски и други принципи.

У ужем смислу обала је линија дуж које се додирују вода и копно, а ширем непотопљени појас страна корита. Према правцу отицања воде у кориту разликују се *лијева* и *десна обала*, док се за сав остали простор изван корита каже да је на десној или лијевој страни ријеке.

4.1.2. Типови долина. По нагибу долинских страна и ширини долинског дна, све долине, односно поједини њихови потеси, могу се подијелити на нормалне долине, клисуре и кањоне⁹⁵.

Нормалне долине одликују се благим странама (стране имају мале падове) и широким долинским дном, а нису дубоко усјечене. Карактеристичне су за географске просторе који су изграђени од непропустљивих и полупропустљивих стијена, које не улазе у групу најотпорнијих стијена. Такве су долине ријека Велике Мораве, Тисе, ријека сјеверне Србије, Славоније, затим долине Дњепра, Волге и др.



Слика 24. Долина ријеке Неретве, при ушћу у Јадранско море

Клисуре су уске, дубоке долине стрмих страна у планинским областима. Имају узано долинско дно, али су бројне клисуре и без њега. Клисуре настају вертикалном ерозијом, тј, интензивним усјецањем воденог тока. Ако је клисура кратка зове се *сутјеска*. Она се јавља у сложеним долинама као њихов сужени дио усјечен у отпорним стијенама.

Облик клисуре имају горњи токови на нашим географским просторима, нарочито тамо гдје су токови неусаглашени, а стијене различите отпорности и водопропустљивости. Клисуре су условљене промјеном отпорности стијена на уздужном ријечном профилу.

У отпорним стијенама ријечна долина ће бити уска, стрмих страна и са повећаним уздужним падом (Ђердапска клисура, Сићевачка клисура,

⁹⁵ У хидролошкој литератури (в. Дукић, Д., Љ. Гавриловић, 2006) морфолошки типови долина су одређени према дубини усјецања у земљишту, положају долинских страна и дна долине, као и на основу правца пружања планинских вијенаца.

Ибарска клисура, клисура Врбаса, клисура Роне јужно од Франачке Јуре, клисура Ина и др.).

Пробојнице су клисуре које пресецају планинске гребене (један или више), усамљене хумове⁹⁶ и др., а спајају двије котлине или два басена.

*Епигенетске*⁹⁷ клисура. Оне су последица специфичног распореда геолошке грађе, тј. промјене отпорности стијена са дужином. Постоје три врсте епигенетских клисура:

- ивична епигенија – ако је клисура усјечена по ободу неке котлине, а испод ње се налази нижи дио котлине,
- ртаста епигенија – ако клисура пресеца неки рт (истурени дио копна који залази у ријеку), који се одваја од обода котлине,
- домна епигенија – ако клисура пресеца неко брдо, отпорну главицу, док је лијево и десно од ње топографска површина нижа.



Слика 25. Бердапска клисура – ријека Дунав/Бердапско језеро

Кањони су дубоке долине, врло стрмих или вертикалних страна, без долинског дна, тако да долинске стране представљају директно

⁹⁶ Хум – купасто узвишење, изграђено од кречњака, које се диже са дна крашког поља; висина му може достићи и више стотина метара.

⁹⁷ Епигенија (грч. еpi – послје, над, одозго и genesis – рођење, поријекло); Епигенетска долина – долина усјечена у вишем земљишту израђеном од отпорнијих стијена, док се у непосредној близини налази ниже земљиште састављено од мекших стијена. Епигенетска долина као да је постављена одозго на рецентну/савремену Земљину површину, без везе са условима њеног рељефа и геолошком структуром.

продужење страна ријечног корита. Кањони пресецају платое⁹⁸ или планинске масиве. Својствени су првенствено кречњачким или базалтним платоима (кањони ријека Таре, Пиве, Мораче, Неретве, кањон ријеке Ракитнице у Босни и Херцеговини – између планина Бјелашнице и Височице, кањон ријеке Колорадо и др.). Типични кањони су у аридним областима. Спадају у ред најдубљих долина на нашој планети (Велики кањон ријеке Колорадо – 1800 m, кањон Таре – 1300, кањон Пиве - 1100 m, кањон Диве Грабовице у масиву планине Чврнице - 1500 m, кањон Соче – 1400, и др.)



Слика 26. Кањон Таре

У односу на правац пружања планинских вијенаца разликују се три типа долина: *уздужне, попречне и дијагоналне*.

- уздужне долине – усјечене у правцу пружања слојева; пружају се паралелно са планинским вијенцем или леже у тектонском рову (нпр. долина Рајне између Vogеза и Шврцвалда),
- попречне (пролазне) долине – усјечене управно у правцу пружања слојева, пробијају се кроз планински вијенац, због чега се називају и пробојнице (Ђердапска клисура Дунава),

⁹⁸ Плато, висока равница с равном или таласастом, слабо рашчлањеном површином, ограничена оштрим ивицама од сусједних нижих равничарских пространава. Разликују се структурни плато, вулкански плато, денудациони плато.

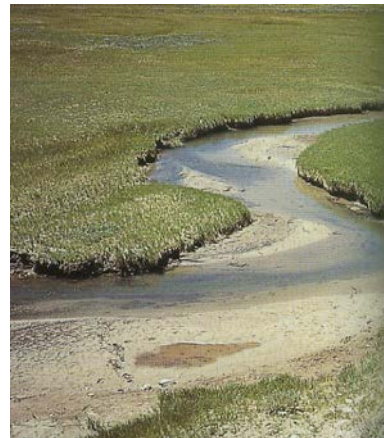
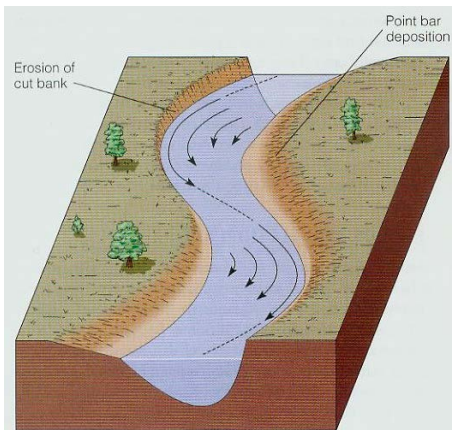
- дијагоналне долине – усјечене дијагонално на правац пружања слојева; пресецају планински вијенац под неким углом (ријека Морача, Врбас, Босна, Дрина и др.).

*Подјела долина по постанку*⁹⁹. На Земљиној површини, поред простих и морфолошки једноставних долина јављају се и сложене или композитне долине. Композитне долине састоје се из више ерозивних проширења (ријечних котлина) и сужења (клинсура или сутјески).

4.2. Меандри

Меандар (грч. Maiandros - древни назив веома кривудавае ријеке Велики Мендерес у Малој Азији), окука у кориту равничарске ријеке, чији радијус кривине зависи од богатства ријеке водом и брзине њеног тока. Настаје код водотока чији су падови благи, због чега је бочна ерозија израженија од вертикалне. Настанку меандара могу допринијети препреке у ријечном кориту и др. Окука постепено добија облик петље и ријека неријетко пробија себи нови, краћи пут, а меандар се претвара у старачу/мртвају. Старача је меандар који је ријека пресјекла створивши акумулацију (језеро или др.).

Меандри настају при бочном таложењу наноса на мање или више правим дијеловима корита, као и код ограниченог меандрирања, сваком помјерању положаја динамичке осе водене масе одговарају наизмјенични положаји ходова и плићака: у конкавним обалама су ходови, а на прелазима из једне у другу плићаци. Ход је дубоки дио ријечног корита дуж конкавних обала, настао бочном ерозијом, уз дјеловање центрифугалне силе на окукама ријеке.



Слика 27. Постанак меандара – Појачана ерозија на једној страни корита, акумулација на супротној страни

⁹⁹ Видјет опширније: Лазаревић, Р., Тошић, Р. (2013): Геоморфологија, стр. 162-163

Велики допринос познавању морфологије ријечних корита у меандрима дао је француски хидротехнички инжењер М. Фарг (Fargue). Он је на основу већег броја проматрања и мјерења рељефа дна корита ријека Гароне, Сене и Ескоа дошао до одређених закључака и та своја опажања изложио у виду тзв. шест Фаргових закона (1868)¹⁰⁰.

То су :

1. Закон одступања (loi de l'écart): највећа дубина корита налази се низводно од тјемена кривине за двоструку ширину корита, а најмања дубина је приближно исто толико низводно од мјеста гдје окука мијења правац – или, највеће дубине се налазе низводно за $1/5$, а плићаци за $1/4$ дужину окуке;
 2. Закон највећих дубина – вирова (loi de la moille): што је оштрија ријечна окука, тим је већа дубина ходова;
 3. Закон ходова (loi des biefs): да би се добила најповољнија максимална и минимална дубина, дужина кривине не смије бити ни сувише кратка ни сувише дугачка;
 4. Закон угла (loi de l'angle): спољашњи угао крајњих тангената ријечне окуке подијељен са дужином окуке, тј. специфична кривина, мјеродаван је за средњу дубину талвега у кривудавом дијелу тока – или, код истих дужина проматраног дијела окуке средња је дубина утолико већа, уколико је отворенији спољни угао између тангената повучених на крајњим тачкама проматраног дијела;
 5. Закон континуитета (loi de la continuité): постепеном прелазу окуке једне у другу одговара у плану и постепеном прелазу дубине ријеке; свака нагла промјена једне карактеристике повлачи за собом и наглу промјену друге;
 6. Закон пада дна (loi de la pente du fond): повећаној кривини одговара прираштај највеће дубине и обратно: смањеној кривини одговара смањивање дубине у кориту.
- Фаргови закони, до којих је он дошао емпиричким путем, провјерени су и на другим равничарским ријекама, чија су корита усјечена у алувијуму. Они су касније допуњавани другим законима, међу којима је најважније следеће правило: „Што је већа ширина ријечног корита, тим је мања његова максимална дубина“.

¹⁰⁰ Фаргови закони имају карактер информације

4.3. Ријечно острво (ада) и типови ријечних острва.

Ада је острво које настаје у доњим токовима равничарских ријека, на мјестима гдје је смањена механичка снага водотока. У суштини настају таложењем ријечних наноса, у плићем дијелу корита ријеке или на ставама већих ријека, усљед таложења ријечног наноса. За вријеме високог водостаја (велике воде) ријека плави, насипа и издиже острво. Временом се оно толико издигне, да га ријека не може при нормалном водостају више плавити. Биљни покривач, такође, доприноси издизању и учвршћивању ријечних острва.

Према начину постанка ријечна острва дијеле се у двије (основне) групе¹⁰¹:

- острва настала акумулацијом наноса у ријечном кориту,
- острва настала одвајањем дијелова полоја.

Острва у ријечном кориту образују се на три начина:

а) одвајањем бочних или уздужних спрудова од ријечних обала; до оваквих појава долази само дуж стабилних обала и наизмјеничним наилазцима поводања, праћених кретањем великих количинама мобилног наноса;

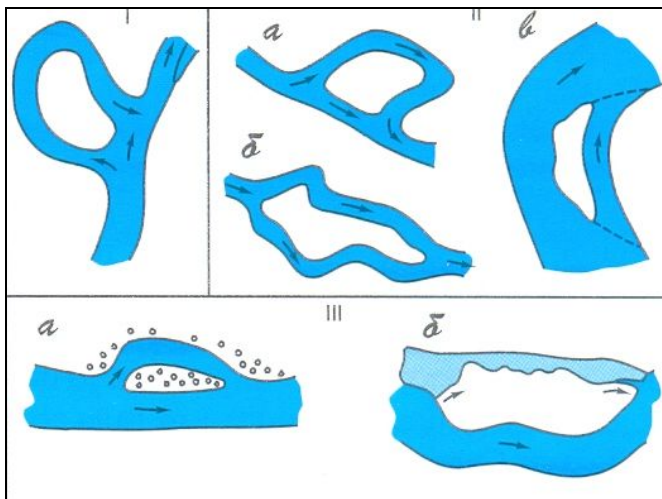
б) нарастањем пјешчано – шљунковитих греда у средини ријечног корита и њиховим прерастањем у спруд¹⁰²;

в) одвајањем спрудова дуж конвексне обале, које настаје у вријеме великих поводања; заједничко за сва три типа острва је да су им површине увијек ниже од висине полоја дуж обала.

Полојна острва појављују се при пробијању меандра или када се од меандра у вријеме поводња одвоји уска протока, у основи(ци) врата, па се простор у ријечној окуки претвара у острво. Протоке се појављују обично на мјестима гдје се полој састојао од пијеска и често без икакве вегетације.

¹⁰¹ Видјети опширније: Дукић, Д., Гавриловић, Љ. (2006), стр. 106 – 107; Лазаревић, Р., Тошић, Р. (2013)

¹⁰² Спруд, подводно издужено узвишење на дну ријечног корита, морског или језерског басена настало таложењем материјала минералног или органског поријекла. Спрудови се јављају на мјестима гдје се, из било којих разлога, смањује брзина воде у ријечном кориту, односно снага таласа у морима и језерима



Слика 28. Типови полојних острва (по И.В.Попову)

I – пробојна (пресецање врата меандра) I типа; II - пробојна II типа: а. пробијање окука и врата меандра; б. пресецање полоја дуж алувијалне терасе; в. усјецање удолине иза приобалске греде; III – пробојна острва настала при деформацијама ријечног корита без појаве меандрирања; а. пробијање полоја уз ријечно корито по (раније) засутим рукавцима корита; б. образовање малих притерасних протока које раздвајају веће полојне масиве

Сем наведене двије основне групе ријечних острва, постоји још неколико њихових типова који се рјеђе јављају.

Термокрашка острва. Земљин омотач неправилног облика у области узајамног дејства атмосфере, хидросфере и литосфере, који се одликује негативном или нултом температуром и присуством воде у чврстом или прехлађеном стању назива се криосфера¹⁰³. Криосфери су својствене многе криогене¹⁰⁴ творевине. Системи ледених облака, сњежни покривач, ледени покривач водених басена, планински и континентални ледници, сезонски смрзнута тла и стијене.

За криосферу је карактеристичан и криогени рељеф, као и облици криогене ерозије и акумулације. Један од облика криогене ерозије је и термокрас¹⁰⁵. Он представља процес отапања подземног леда који се налази у растреситим стјенама, и образовања негативних облика рељефа. Најтипичнији је на равним или благо нагнутим површинама. Између краса и термокраса постоји сличност само у површинским облицима, а не у агенсу¹⁰⁶ и процесу.

¹⁰³ Грч. kryos – хлад, мраз, лед и sphaira - лопта

¹⁰⁴ Грч. kryos – хлад, мраз, лед и genesis – постанак, поријекло

¹⁰⁵ Термин термокрас у геоморфолошку науку је увео М.М. Јермолајев (1932).

¹⁰⁶ Агенс (лат. agens, 2. agentis – дејствујући), у природним наукама – дејствујући фактор у неком процесу или појави, нпр. геоморфолошки агенс

Један од облика термокраса су термокрашка острва, која настају при отапању ледених сочива у близини ријечних корита у областима са стално замрзнутим земљиштем. На мјесту гдје је било ледено сочиво појави се улегнуће издуженог облика (каткад и округласто) у које продре вода у вријеме прољећних поплава. Вода продуби тако настало удубљење и ерзивним процесом праобрази га у протоку, која одвоји заостали дио полоја од раније обале, образујући на тај начин поменути тип острва.

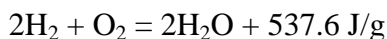
Стјеновита острва. Ове групе острва карактеристичне су за ријеке са широким коритом и дном од чврстих стијена, које сачињавају основу таквих острва. Ова острва су виша од полоја и, по правилу, не плаве их ни највеће ријечне воде.

5. СВОЈСТВА РИЈЕЧНЕ ВОДЕ

Оцјене укупне количине слатке воде на Земљи варирају од аутора до аутора. Она се углавном процјењује на око 88320 km^3 или мање од 6% од укупне запремине воде на Земљи. Међутим треба истаћи да је свега око 0.5% доступно коришћењу из језера и ријека. Ријеке уносе у мора и океане просјечно око 38200 km^3 воде годишње, док у басенима са ендореичним одводњавањем годишње доспије близу 800 km^3 ријечне воде. Текући преко различите геолошке и петрографске основе, ријечна вода дјелимично раствара стијенску масу; подземне воде које хране ријеку дају им извјесну количину страних састојака. Због тога ријечна вода има одређена хемијска и физичка својства. Међутим, не смије се занемарити чињеница да је загађивање хидросферног комплекса, а самим тим и ријечне мреже наше планете, један од најактуелнијих и најакутнијих проблема људске популације. Све више смо суочени са чињеницом да будућност наше планете и нашег опстанка на Земљи зависи од количине и квалитета употребљиве воде.

5.1. Хемијска и физичка својства воде

5.1.1. Хемијски састав ријечне воде. – Познато је да ријечна вода није хемијски чиста. Вода је хемијско једињење, које настаје сагореивањем водоника и кисеоника, при чему се ослобађа велика количина топлоте, а брзина образовања воде из смјесе водоника и кисеоника зависи од температуре.



Експериментално је утврђено да за постанак исте количине воде из поменуте смјесе је потребна температура од 400°C у току од 80 сати, док се при температури од 600°C спајање водоника и кисеоника дешава тренутно (уз снажну експлозију).

У образовању воде учествују двије запремине водоника и једна запремина кисеоника, а тежински, вода се састоји од 11.11% водоника и 88.89 кисеоника.

Сем водоника и кисеоника, од којих је састављена, ријечна вода садржи и већи број једињења, а утврђено је присуство 45 хемијских елемената. Већина њих је заступљена, у загађеним ријечним водама, у незнатним количинама.

Познавање, односно стална хемијска, физичка и микробиолошка анализа ријечне воде потребна је у свакодневном животу. Утврђивање квалитета воде неопходно је код водоснабдијевања становништва и привреде (индустрије, посебно прехранбене и фармацеутске,

термоенергетике, пољопривреде – наводњавање, грађевинарству – растворене соли у води „нагризају“ бетон и др.).

Нажалост, у XXI вијеку у ријекама су све више присутне отпадне воде, углавном антропогеног поријекла.

5.1.1.1. Природно загађивање вода.

Квалитет и физичко-хемијско својство воде у природи зависи од низа фактора. Постоји низ геогених извора који могу довести до поремећаја квалитета воде. Вулканским ерупцијама, како оним на копну, тако оним на дну морских, океанских и језерских басена, гасовити, течни и чврсти материјал доспијева у хидросферу.

Течна компонента вулканске активности представљена је лавом, чија се температура креће од 950 – 1.300°C, која у контакту са водом мијења њену температуру и врши утицај на биљни и животињски свијет. Чврсти продукти ерупције, пијесак и пепео, такође могу својим присуством измијенити хемијски састав воде, као и присуство и састав живог свијета у њима.

Геоморфолошки агенси (температура, вода, вјетар) врше механичко и хемијско разарање (ерозију) постојећих, првенствено тектонских облика рељефа. Често пута, материјал отргнут од подлоге, доспијева у водену средину (медијум). Зависно од гранулометријског састава, хемијског састава вучених и суспендованих честица, обима и интензитета транспорта ерозионог материјала, може се десити да дође до повећаног примања хранљивих и токсичних материјала у копнене воде и Свјетско море.¹⁰⁷

Уз хранљиве и токсичне материје на дно ријечних корита, морских и језерских басена падају (врло често) трупла угинулих организама, и ту су изложене процесима разградње и минерализације. Све ове промјене, у оквиру којих се повећава продукција (живи свијет у водама - биомаса) могу се одвијати у толерантним границама, посебно, код водотока, али код језера постоји посебан еволутивни развој (стадијуми у животу језера) који доводи до диференцијације језера у три групе.

Процес повећања биомасе у водама назива се еутрофизација (еутрофикација), а воде захваћене овим процесом зову се еутрофне воде.¹⁰⁸ Повећана трофичност¹⁰⁹ вода показатељ је њихове интензивне

¹⁰⁷ Материјал, који бујични токови еродирају у својим сливовима, брзо доспијева у вјештачка језера. Њихови басени се засипају, те се смањује простор за акумулацију воде, односно простор за хидробионте. Велика количина муља изузетно негативно дјелује на живи свијет језера.

¹⁰⁸ Према неким ауторима (Д.Тухтар, 1984) еутрофизација представља природни процес који се дешава као резултат геолошког старења неког затвореног воденог басена, на

еутрофизације, при чему је антропогена (вјештачка) еутрофизација знатно бржа од геогене (природне). Само чисте (олигопсапробне) воде поштеђене су еутрофизације; то су бистре воде и воде богате кисеоником, односно воде у које се не изливају индустријске или комуналне отпадне воде.¹¹⁰

5.1.1.2. Класификација квалитета копнених вода

Резултати физичко-хемијских, бактериолошких и сапробиолошких анализа служе за добијање слике о степену загађења воде. Према квалитету воде, у већини земаља свијета је усвојена подјела на четири класе воде, мада се данас говори и о пет класа воде (в. сапробиолошке класе воде).

Суштинске разлике између ових подјела нема, јер су главни индикатори који детерминишу класу (квалитет) воде исти и код једне и друге класификације.

Воде I класе. Воде прве класе су најчистије природне воде. Богате су кисеоником и могу се у свом природном стању (уз евентуалну дезинфекцију) користити за пиће и у прехранбеној индустрији. У ријекама и језерима ове класе вода живе најплеменитије врсте риба из породице салмониде (*Salmonidae*, лат. *salmo* – пастрмка): пастрмка, младица, лосос. Воде прве класе не смију имати мирис, видљиву боју, нити видљиве отпадне материје. Граничне вриједности осталих индикатора су дати у Табели 4.

Воде II класе. Воде друге класе су још увијек релативно чисте воде и у природном стању погодне за купање и рекреацију људи, као и за гајење риба из породице ципранида (лат. *Cyprinus carpio* – шаран): шаран, сом, штука, кечига и др. Ове воде, уз одговарајућу технолошку обраду могу се користити за водоснабдијевање ("фабрике воде") становништва, али и индустрија којима треба чиста вода. Воде ове класе не смију имати мирис, примјетну боју, нити видљиве отпадне материје (в. Табелу 4.).

примјер језера; хранљиве материје доспијевају у језеро путем вода које се у њега улијевају.

¹⁰⁹ Грч. τροφή - храна

¹¹⁰ Под отпадном водом означавамо воду која је промијенила своје изворне физичке, хемијске или биолошке особине резултатом људских активности; *опасне супстанце* означавају супстанце или групу супстанци које су токсичне, трајне и подложне биоаккумуляцији; *загађујућа материја* означава сваку супстанцу способну да проузрокује загађење.

Воде III класе. Ово су воде погодне за наводњавање, за индустрију (осим прехранбене и фармацеутске) и рибогојство (шарански рибањаци). Пречишћавање ове воде је технолошки могуће, али је изузетно скупо. Само економски богате земље, којима недостаје вода за пиће, пречишћавају воде III класе (на примјер, Холандија за ове сврхе користи воду из загађене Рајне). Видљиве отпадне материје код вода треће класе не смију бити видљиве.

Воде IV класе. Воде четврте класе су све оне воде које се не могу сврстати у претходне три класе. То су воде загађене преко максимално дозвољене концентрације (МДК), привредно потпуно неупотребљиве (осим за ријечни саобраћај и коришћење у хидроелектранама). Воде ријека ове класе имају специфичан мирис (од сумпорводоника), боја им је тамносива, а бројни су отпади и материје које пливају по водном огледалу или се налазе у ријечном кориту. Граничне вриједности индикатора квалитета вода четврте класе су дати у Табели 4.

Табела 4. Граничне вриједности индикатора за поједине класе копнених вода
(Табела има карактер информације)

Ред. број	Индикатори	Класе квалитета воде				Напомена
		I	II	III	IV	
1.	Суспендована материја (mg/l)	< 10	<30	<80	Нема захтјева	
2.	Укупни остатак при испаравању (mg/l)	<350 ¹⁾ 800 ²⁾	<1.000	<1.500	Нема захтјева	
3.	Растворени кисеоник (mg/O ₂ /l)*	>8	>6	>4	>0,5	* Не важи за природна језера
4.	БПК ₅ (mg/O ₂ /l)	<2	<4	<7	Нема захтјева	
5.	Степен сапробности По Liebtanni [#]	Олиго-сапробна	Бетамезо – сапробна	Алфамезо-сапробна	Нема захтјева	# Не важи за природна језера
6.	Видљива боја	Без видљиве боје оком				
7.	Степен продуктивности (језера)**	Олиготрофна	Еутрофна	Нема захтјева за III и IV класу *** Не важи за воде у крашким предјелима и површинске воде		
8.	Максимални број колиформних клица	Мах.200 у 100 ml	Мах.6000 у 100 ml	Нема захтјева		

9.	<i>Примјетљив мирис</i>	Без мириса		Нема захтјева	
10.	<i>Видљиве отпадне материје</i>	Без видљиве отпадне материје			Нема захтјева
11.	<i>Вриједност рН</i>	6,8-8,5	6,8 - 8,5	<6,8	Нема захтјева
12.	<i>Токсичне материје, измјена температуре и други индикатори штетности</i>	Не смију се налазити ни у једној класи изнад прописаних граница.			

¹⁾Вриједност за површинске воде; ²⁾Вриједност за подземне воде
(Извор: Дукић, Станковић, 1980; Комунална хигијена, 1998)

Тешко је одредити, на основу ове класификације, припадност неке ријеке одређеној класи. Низ фактора утиче, и у релативно кратком временском периоду, на припадност ријеке некој класи: замирање или оживљавање рударства, индустријске или пољопривредне производње у ријечним сливовима, застарјелост или савременост технологије и опреме у производним процесима, као и законски прописи који штите воде од загађења.

Физичко-хемијске особине воде утврђују се анализом 36 индикатора, биолошке помоћу два, а бактериолошке помоћу једног. У пракси се за класификацију квалитета употребљава углавном једанаест индикатора (в. Табелу 4.).

Међу индикаторима (показатељима) највећи значај у пракси имају укупан остатак при испаравању, биохемијска потрошња кисеоника за 5 дана БПК₅¹¹¹ и сапробност воде. С обзиром на комплексност и значај класификације квалитета копнених вода, у циљу бољег разумијевања проблема загађења хидросфере објаснићемо значај неких од битних индикатора.¹¹²

Укупан остатак при испаравању (mg/l) показује промјене у количини органских и анорганских материја од једног до другог попречног

¹¹¹ Сматра се да је БПК₅ квалитативно најбољи критериј за оцјену квалитета вода; што је већа БПК то је вода загађенија. Стандардно вријеме за одређивање је 5 дана на 20°C.

¹¹² Опширније видјети: Дукић Д., Тешић М., Станковић С., Заштита природе, цит. изд., стр. 6 – 12; Комунална хигијена, цит. изд., стр. 19-31; Тухтар Д., Загађење зрака и воде, Сарајево, 1984, стр. 143 – 164.

профила на ријеци. Најчистије површинске воде имају мање од 350 mg/l укупног остатка при испаравању.

Биохемијска потрошња кисеоника за 5 дана (БПК₅) представља потрошену количину кисеоника раствореног у води за процес оксидације и разлагање материја, то јест за биолошко самопречишћавање ријека, језера и мора. Уколико је БПК₅ (у mg O₂/l) мања вода је чистија; најчистије површинске воде имају БПК₅ мање од 2 mg O₂/l.

Неријетко се за анализу вода загађених органским материјама, поред вриједности БПК₅, употребљава калијум-перманганат (KMnO₄). Органске материје (људског, животињског, биљног или индустријског поријекла) у киселом, неутралном или алкалном раствору оксидишу са KMnO₄ и он се више или мање редуира (смањује). Потрошња KMnO₄ је утолико већа, уколико вода садржи више органских материја; подземне воде имају обично потрошњу од 3-6 mg/l, а воде загађене фекалијама и преко 60 mg/l KMnO₄.

Сапробност (биолошки индикатор квалитета површинске воде) показује бактериолошке особености воде; истовремено потврђује физичко-хемијске налазе (анализе) уз наглашено стање квалитета вода насталог дуготрајним (дужим) антропогеним утицајима. Чињеница је да се промјеном параметара који одређују квалитет воде мијењају и организми којима је одређена вода природно станиште; у загађеним водама нагло се смањује број биљних и животињских организама који су индикатори квалитетне воде, а повећава се број организама који, с лакоћом, подносе нечисте воде.

Дефинишући сапробност као један од параметара квалитета воде можемо констатовати да се поједини хидробионти¹¹³ појављују у површинским водама одређеног квалитета и да њихово присуство указује на квалитет воде.

Према карактеристичним врстама организама и њиховој густини у узетим узорцима воде на различитим локацијама, издвојено је пет сапробиолошких класа воде са хидробионтима означеним као биоиндикаторима:

- олигосапробна – чиста вода; настањују је ксеносапроби (становници чистих вода на прелазу потпуно чистих и минимално оптерећених) и олигосапроби (становници чистих, мало оптерећених вода),

¹¹³ Хидробионт, грч. *hydro* – вода + *bios* – живот; заједнички назив за све организме који живе у води.

- β-мезосапробна – слабије загађена вода; у њој се појављују бетамезосапроби (становници умјереног загађења – средње чисте воде),
- α-мезосапробна – јаче загађена вода; у њој се појављују алфамезосапроби (становници загађених вода),
- полисапробна – јако загађена вода са полисапробима (становници јако загађених вода),
- азоична (беживотна) – потпуно загађена вода; често се азоична вода ("вода изван класа") уврштава у IV класу (воде загађене преко максимално дозвољене концентрације

Киша спира са обрадивих површина различите врсте пестицида, који доспијевају у изданске воде, али и у ријеке. Неки од њих дјелују токсично на живи свијет ријека, нарочито на ихтиофауну (рибљу популацију).

Пестициди. Сва хемијска средства која се употребљавају за заштиту културних биљака од разних штетних инсеката, многих биљних болести, корова и трава називају се пестициди.¹¹⁴ Данас се за ту сврху користи преко 20 типова пестицида, који се разликују како по објекту на који дејствују тако и по механизму дејства. По саставу и структури пестициди припадају разним класама органских једињења.

У пестициде спадају: инсектициди, фунгициди, родентициди, хербициди и др.

Фунгициди су хемијски производи који уништавају гљивице, плијесан (на примјер "бордоска" чорба, бакарни камен, калифорнијска чорба и др.).

Родентициди су супстанце које се употребљавају за уништење глодара. *Хербициди* су хемијски производи за уништавање корова и трава (на примјер атразин спријечава фотосинтезу). У саставу савремених хербицида налазе се елементи као Cl, Br, Hg и др.

Пестициди дјелују токсично на нервни систем живог свијета вода, тако да "већ 0,5 mg/l ДДТ-ија¹¹⁵ као емулзија¹¹⁶ убија све рибе".

¹¹⁴ Лат. pestis – зараза + caedo – убити, усмртити.

¹¹⁵ ДДТ (хлор-фенотан), (p-Dihlog-difenil-trihlorefan) је безбојна кристална супстанца и употребљава(о) се као инсектицид. ДДТ је синтетизовао Цајдлер (O.Zeidler) 1874. године, а његове инсектицидне особине открио је Милер (P. Müller, 1899 – 1965) 1939. године.

¹¹⁶ Емулзија (лат.emulgere – измустити, исушити), течни облик дисперзних система сложен од двије текућине које се међусобно не спајају нити се једна у другој растварају, него се једна од њих налази распршена у облику микроскопски ситних честица као унутрашња фаза (тзв. емулзоид) у другој спољашњој фази као дисперзионом средством (нпр. млијеко је природна емулзија у којој се налази путер распршен у облику ситних честица у води).

Када је ДДТ у питању, врло брзо се показало да су неки инсекти отпорни према дејству ДДТ-ија, па чак могу ову своју резистентност да преносе и на своје потомство. Друга незгодна особина ДДТ-ија, која је допринијела да се његова употреба све више ограничава, је чињеница да он и после 10-15 година остаје око 50% у педосфери неразложен. Због тога се нагомилава у ткиву човјека и животиња, гдје може да изазове нежељене посљедице. Наиме, ДДТ је хлоровани угљоводоник (инсектицид који садржи халогени¹¹⁷ елеменат хлор) који се раствара у мастима и нагомилава се у већој концентрацији у масном ткиву већине животиња. Преко хране, почев од риба и осталих животиња ДДТ најзад доспијева и у људски организам.¹¹⁸

*Нафта (петролеум)*¹¹⁹ представља необично значајан енергетски извор и хемијску сировину. За нешто више од једног вијека индустрија нафте постала је једна од најмоћнијих индустријских грана, али и значајан извор емисије полутаната у географски омотач.

Нафта се све чешће запажа на водном огледалу пловних ријека и канала, а има је и у води мањих водотока око нафтоносних поља. У количини од свега 0,1 mg у литри воде нафта даје рибљем месу неугодан укус, који се не може уклонити никаквом технологијом обраде; таква риба се не може користити ни за исхрану стоке, него се уништава. Концентрација деривата нафте преко 16 mg/l изазива угинуће рибе, док танка опна нафте на површини воде омета размену гасова из воде у атмосферу и обратно.

Детерџенти. С обзиром да су сапуни (крајем XIX вијека развијена индустријска грана) показали низ недостатака, хемичари су настојали дуже времена да пронађу подесније средство за прање од сапуна. Модерна средства за прање, која налазе све већу примјену, позната су под именом синтетички детерџенти¹²⁰, а представљају смјесу више супстанци. Недостатак неких синтетичких детерџената је што се не могу бактеријски разградити у простије супстанце (као што то чине сапуни), па често долази у отпадним водама до стварања огромне количине пјене која се тешко уклања, а услијед тога настаје онечишћење водотока, језера, мора и океана. Можемо стога, с правом, закључити да већина синтетичких детерџената загађује хидросферу и животну средину. Они су веома опасни по биоценозу многих вода: концентрација од 0,5 mg/l изазива пјенушање на површини воде, док 2

¹¹⁷ Халогени (грч. halos – со + genesis – стварање, постанак), који ствара со.

¹¹⁸ Опширније видјети у поглављу 6.3. ове књиге (загађивање хране).

¹¹⁹ Ријеч петролеум је изведена од грчке ријечи "petra" – стијена, камен и латинске ријечи "oleum" – уље. Израз нафта употребљавали су Латини и Грци за запаљиву, испарљиву течност која се добија дестилацијом катрана каменог угља.

¹²⁰ Код нас се одомаћио термин "детерџенти" према енглеском изговору ове латинске ријечи (лат. detergere – чистити).

mg/l катионских детерџената уништавају све алге, а 20 mg/l доводи до потпуне стерилизације у води. Анион активни детерџенти у концентрацији од 5 mg/l изазивају угинуће риба у времену од 10 до 100 сати.

Феноли (фенол, пирокателин, резорцин) су ароматична једињења, безбојне чврсте или течне супстанце које полако оксидирају на ваздуху и при томе добијају жуту или црвену боју; са порастом броја ОН – група фенола растворљивост у води се повећава. Феноли се налазе у катрану каменог угља а могу настати и од дестилације дрвета и најраспрострањенија су група хемијских загађивача ријечне воде.

Чак и у концентрацијама од свега 0,01 mg/l дају рибљем месу неугодан мирис (мирис карбола¹²¹). Ако се у организам унесе око 1g фенола може да изазове смрт.

Осим набројаних материја, у површинске и подземне воде доспијевају и друге врло штетне материје: *хлор* је токсичан за већину риба чак и у концентрацијама од 0,05 – 0,20 mg/l, а *озон* у концентрацијама од 0,01 mg/l. О *амонијаку* је већ било ријечи, но треба знати да слободни амонијак (NH₃) је један од најјачих отрова за рибе (у концентрацијама од 0,2–1 mg/l). *Сумпор – водоник* (H₂S) у концентрацијама већим од 1 mg/l је такође изузетно отрован за ихтиофауну, мада се рибе успијевају опоравити од таквог тровања ако се пренесу у чисту воду. Веома су отровни и *тешки метали* (манган, никл, циркониј, цинк, арсен, кадмијум, олово, гвожђе и бакар) и њихове соли, који доспијевају у водотоке и акумулације из индустријских постројења и флотација рудника.

Минерализација воде. – Према укупној количини јона у mg/l воде – минерализацији, О.А. Аљекин је сврстао све воде у 4 групе:

1. ријеке са водом мале минерализације – до 200 mg/l;
2. ријеке са водом средње минерализације – 200-500 mg/l;
3. ријеке са водом повишене минерализације -500 – 1000 mg/l;
4. ријеке са водом високе минерализације – више од 1000 mg/l.

Просјечна минерализација ријечне воде износи по М. И. Љвовичу 63mg/l . Већ из те вриједности је видљиво да већина ријека има воду мале минерализације.

¹²¹ Фенол токсично дјелје на микроорганизме, спада у најстарије анестетике и раније је доста употребљаван; данас се искључиво користи за дезинфекцију предмета и излучевина у облику разблаженог воденог раствора (Aqua phenoli) као антисептично средство, под именом *карбол*, а он је отрован .

5.1.2. Физичке особине воде.

Ове особине обухватају грађу молекула (обичне) воде, агрегатна стања, њену густину, боју, провидност, мирис, укус, као и њена топлотна, електрична и акустична својства.

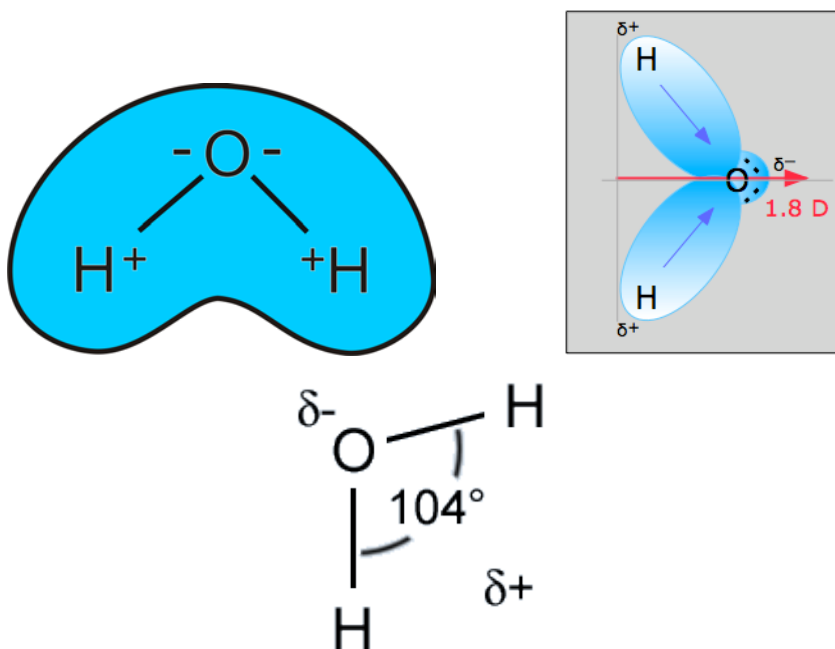
У води се налазе сложени молекуларни спојеви, сљедеће грађе и особина:¹²²

H_2O – монохидрол – молекул водене паре,

$(\text{H}_2\text{O})_2$ – дихидрол – молекул воде у течном стању,

$(\text{H}_2\text{O})_3$ – трихидрол – молекул воде у чврстом стању, лед.

Молекул воде је троугласта структура са углом од 104.5° између два атома водоника.



Слика 29 . Диполни карактер молекула воде

Због велике разлике у електронегативности између кисеоника и водоника, молекула воде је изразито диполног карактера (Сл. 29.). Тиме позитиван крај једне молекуле воде привлачи крај друге, што посредством водикове везе доводи до асоцијације¹²³ молекула и у течном и у чврстом агрегатном стању.

¹²² Видјети опширније: Д. Дукић (1984), цит. изд., стр. 11 – 14.

¹²³ Асоцијација (лат. associatio) у физици и хемији: спајање молекула у сложеније честице.

Табела 5. Однос молекуларних спојева воде (у %) при различитим температурама

Агрегатно стање воде	Температура у °С	Молекули			
		H ₂ O	(H ₂ O) ₂	(H ₂ O) ₃	%
1	2	3	4	5	6
чврсто – лед	0	0	41	59	100
течно	0	19	58	23	100
	4	20	59	21	100
течно	98	36	51	13	100

(Извор: Аполов Б.А., 1963)

На температури 0°C у грађи леда нема молекула водене паре – тада преовлађују трихидроли. Али, када започне отапање леда, на истој температури (0°C) су заступљена сва три молекуларна стања, уз преовлађивање дихидрола. Њих је највише на температури од 4°C (прецизније 3,98°C). На температури од 100°C, када се истовремено дешава кључање и испаравање воде, у њој више нема молекула воде у облику трихидрола.

Промјеном агрегатног стања мијења се запремина воде. При преласку из течног у чврсто стање (0°) вода повећава своју запремину за 1/11. При овоме се вода (лед) јавља као битан агенс: у пукотинама стијена притисак леда на зидове при температури од -22°C достиже до 2100 атмосфера. Специфична тежина¹²⁴ воде износи 1.0 g/cm³, леда 0.9168 а водене паре 0.624 g/cm³.



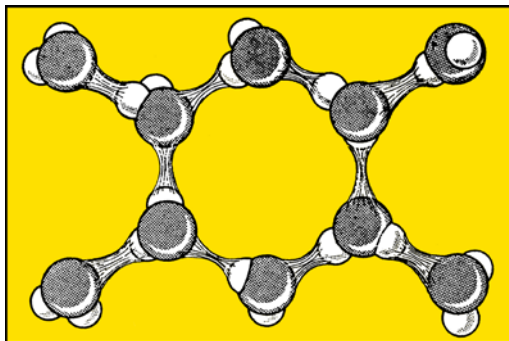
Слика 30. Облици молекула у води
(Извор: Д. Дукић, Љ. Гавриловић, 2006;)

¹²⁴ Специфична тежина; 1. број који показује колико је пута неко тијело теже односно лакше од исте запремине воде; тежина 1 m³ неког тијела изражена у грамама; 2. однос између тежине неког тијела и његове запремине; мјерна јединица у Међународном систему мјernih јединица за специфичну тежину је њутн по метру кубном (N/m³).

Густина воде.

Вода је најгушћа на температури од 4°C а то је последица једне од физичких аномалија воде.¹²⁵ При њеном загријавању или хлађењу неравномјерно се мијењају процентуални односи монохидрола и његових молекуларних спојева – дихидрола и трихидрола.

Код леда (трихидрол – $(\text{H}_2\text{O})_3$) атоми кисеоника и водоника дају тетраедарску¹²⁶ просторну структуру. Битна је карактеристика те структуре у томе што се ти тетраедри комбинују попут саћа, стварајући хексагоналне (шестоугаоне) канале (Слика 31.).



Слика 31. Комбинација тетраедарски повезаних молекула воде у структури саћа
(Према: И. Филиповић, С. Латиновић, 1978;)

Због тих шупљина лед у односу на воду има смањену густину. Кад се лед топи, та је структура нешто поремећена, али није потпуно разорена. тиме се повећава густина воде, но ако се температура повећава долази до наставка рушења тетраедарске структуре, тако да густина воде константно расте. „Истовремено, с тим ефектом, јавља се и други супротни. Порастом температуре повећава се и кинетичко¹²⁷ кретање молекула. Тиме долази до кидања појединих водоникових веза, па се ослобођене молекуле воде удаљавају једна од друге, због чега се смањује густина воде. Тај други ефекат почиње преовлађивати тек при температури већој од 3.98°C . На нижој температури (испод 3.98°C , оп. а.) значајнији је ефекат рушења тетраедарске структуре. Због тога вода при

¹²⁵ Опширније видјети: Д. Дукић, Јб. Гавриловић, цит. издање стр. 14; И. Филиповић, С. Латиновић, цит. изд., стр. 541.

¹²⁶ Тетраедар (грч. *tétra* – четири + *hédra* – основа); геом. тијело ограничено са четири подударна равнострана троугла; једно од пет правилних геометријских тијела: *тетраедар*, *хексаедар*, *октаедар*, *додекаедар* и *косиедар*.

¹²⁷ Кинетика (грч. *kinetikós* – покретан), дио динамике који истражује односе између кретања тијела и сила које дејствују на њих.

температури од 3.98°C има највећу густину“.¹²⁸ Наиме, на температури од 4°C (прецизније 3.98°C) појављује се такав процентуални међуоднос спојева молекула воде у којем је највише дихидрола (59%), па је вода тада најгушћа – 1.000 g/cm³ (в. Таб. 5). Иначе, густина воде на 0°C износи 0.999841 g/cm³ а на 20°C та вриједност је 0.99823 g/cm³.

Боја воде. Чиста вода је у танком слоју безбојна а зависно од моћности (дебљине) слоја воде и примјеса може имати различиту боју. Боја воде се одређује према степенима Међународне скале боја (Forell – Uhleova скала боја).¹²⁹

Боја воде зависи од интензитета примања и разлагања Сунчевих зрака и дифузне свјетлости (расута свјетлост, у свим правцима одбијена – рефлектована свјетлост), од дубине водног објекта (море, језеро, ријека), боје неба, али и од чистоће воде у морима, језерима и водотоцима. Вода без неорганских материја и планктона¹³⁰ има плаву боју. Мора богата фитопланктонима и зоопланктонима и богата, уопште, живим свијетом имају зеленкасту боју. На боју воде могу утицати поједини организми, различитре врсте наноса, дио ријечног корита, језерско и морско дно и сл. Такође, када је вода загађена – нафтни деривати, отпадне воде и сл. мијења се њена боја. У случају загађености, боја воде се мијења и најчешће је жућкастозелена или оловно – сива.

Табела 6. Forell – Uhleova скала за утврђивање боје воде у природи

№ скале	Описно одређивање боје	№ скале	Описно одређивање боје
I	Тамномодра	XI – XII	Жућкастозелена
II	Модра	XIII – XIV	Зеленкастожута
III	Тамноплава	XV – XVI	Мутножута
IV	Плава	XVII – XVIII	Мркожута
V-VI	Зеленкастоплава	XIX – XX	Жућкастомрка
VII-VIII	Плавичастозелена	XXI	Мрка
IX – X	Зелена	-	-

Провидност воде. Провидност или прозрачност је најважније оптичко својство воде. Под провидношћу подразумевамо својство воде (слатке и слане) да је до одређене дубине провидна као и атмосфера. Због

¹²⁸ И. Филиповић, С. Липановић, цит. изд., стр. 541.

¹²⁹ Скала се састоји од дрвеног рама са 21. затвореном епруветом у којима је различито обојена вода; обојена вода у епруветама изнад тамне подлоге посматра се и упоређује са бојом воде коју треба установити. Скала има 21 редни број (римски бројеви) и 13 описа боја.

¹³⁰ Планктони су биљни и животињски организми који живе у слободној води на површини (водном огледалу) или испод саме површине; организми које носе водена струјања.

густине воде (морска вода је око 770 пута гушћа од ваздуха) у њој су сасвим друкчији услови видљивости него у атмосфери, а провидност зависи и од присуства органских и анорганских честица у води. Провидност воде одређује се дању помоћу Секијевог котура,¹³¹ који се на жици постепено спушта у дубину. Ноћу се провидност воде одређује помоћу електричне сијалице од 10 свијећа (вати). Одређивање провидности може се вршити и фотографским снимањем.

Највећу провидност има Саргашко море у Атлантском океану, до 66.5 m дубине; у Јадранском мору провидност није већа од 33 m а у Балтичком мору је око 13 m. У језерима провидност иде и до 40.2 m (Бајкалско језеро), у неким ријекама провидност 4-6 m (ријека Ангара, Нева и др.), али се у мутним водотоцима провидност креће понекад и до 2-2.5 cm.¹³²

Укус воде. Хемијски чиста вода нема никаквог укуса. Ако садржи до 0.3‰ соли сматра се да је таква вода слатка; од 0.3 до 24.695‰ вода је сланаста а ако садржи преко 24.695‰ соли, вода је слана.

У природи постоје киселе, па и по укусу слатке воде. Тако је вода ријеке Рио Агрио у западној Аргентини кисела¹³³ – такав окус је добила од врења при труљењу у води неких врста дрвећа у горњем току ријеке. У близини Милвокија (САД) налази се језеро са потпуно слатком водом. Није још објашњено поријекло те воде. Зна се само да је језеро настало на мјесту гдје је прије неколико деценија била јама из које је вађена глина.¹³⁴

Мирис воде. Хемијски чиста вода нема мириса, али ако он постоји, тада потиче од геолошко – петрографске и педолошке основе кроз коју вода пролази или у којој је акумулирана, односно мирис потиче од полутаната који су доспјели у воду. Познато је да неке воде имају карактеристичне мирисе. Мирис вода из мочвара подсећа на трулеж, а потиче од сумпор – водоника (H₂S).

¹³¹ Бијела округла плоча пречника 30 cm; провидност се одређује као аритметичка средина из дубине на којој се диск губи из вида и дубине на којој се он прво угледа при његовом подизању ка површини. Када се Секијев котур подигне до половине провидности, према његовој бијелој боји одређује се боја воде мора, али обавезно на страни брода која је у сјенци.

¹³² Њемачка експедиција са брода „Поларна звијезда“ измјерила је провидност воде у Веделовом мору од чак 79 метара, у октобру 1987. године (Веделово море – рубно море Антарктика). Прорачунима је утврђено да се Секијев котур у чистој дестилованој води може видјети на дубини од 80 метара.

¹³³ Рио Агрио (кисела ријека) – аргентинска ријека дуга око 300 km; притока Рио Негра а њена вода је толико кисела да је чак ни животиње не користе.

¹³⁴ Д. Дукић, Љ. Гавриловић, цит. изд., стр. 14.

Сумпор – водоник је безбојан гас, карактеристичног непријатног мириса на покварена јаја (непријатан мирис покварених јаја долази, заправо, од сумпор – водоника). То је јако отрован гас и опасан је кад га има и око 0.1% у ваздуху и води јер разара хемоглобин. Такође је непријатан мирис водотока у које се директно излијевају индустријске, комуналне и друге отпадне воде.

Карактеристичан је мирис воде у језеру Тукан (око 200 km источно од града Перта у Аустралији) који мирише на тамјан (thymiana). Мирис потиче од плодова дивљег тамјана, чија се стабла налазе у горњем току једине притоке језера.

Топлотна својства воде. Количина топлоте потребна да се загрије 1 грам (1g) воде за 1°C назива се топлотни капацитет воде а изражава се у џулима (J).

Специфични топлотни капацитет („специфична топлота“) неке супстанце је количина топлоте потребна да повиси температуру 1g те супстанце за 1K (J/g · K), или за 1°C (J/g · °C). Тако, на примјер, специфични топлотни капацитет воде је 4.184 J/g. Већина других супстанци, међутим, има мању вриједност специфичног топлотног капацитета од воде. На примјер, за гвожђе износи 0.459 J/g, што значи да је потребна мања количина топлоте за повишење температуре једног грама гвожђа него једног грама воде. То исто тако значи да ће једна одређена количине топлоте повисити температуру једног грама гвожђа за вишу вриједност него што ће повисити температуру једног грама воде.

Топлотни капацитет воде при температури од 15°C узет је за јединицу количине топлоте. Наиме, многе физичке особине воде искоришћавају се у физици као јединица за мјерење, на примјер: маса једног кубног центиметра чисте воде (дестиловане воде) на 4°C зове се *грам* (g). Количина топлоте потребна да загрије грам воде од 14.5 до 15.5°C назива се *калорија* (cal.); у новије вријеме, међутим, употребљава се џул (J); (1 cal = 4.184 J).

Вода океана, мора и великих свјетских језера апсорбује,¹³⁵ у једном дијелу године, огромну количину топлоте због великог топлотног капацитета воде. Тиме се објашњавају климатски утицаји великих свјетских акумулација (резервоара) топлоте на одређене дијелове копна наше планете. Довољно је напоменути да је топлотни капацитет континенталних маса четири пута мањи него што га има вода.

Вода се при хлађењу „ненормално“ понаша. Наиме, сва тијела при хлађењу смањују своју запремину; вода показује исту особину, али само до 4°C (3.98°C) када достиже своју максималну густину. Изнад и испод 3.98°C вода има мању густину. претварањем воде у чврсто стање

¹³⁵ Апсорбовати (лат. ab – sorbere), усисати, упити, упијати.

(лед) њена запремина се повећава. Лед има 9% већу запремину од воде на 3.98°C и због тога плива на води. Ова аномалија од великог је значаја за биосферу. Ледени покривач чува преко зиме водоземце од промрзавања. Вода се мрзне од површине и зато течна вода остаје преко зиме испод леда. Слој леда на водном огледалу ријека и језера зими дејствује као топлотни изолатор између воде испод и ваздуха изнад њега.

Замрзавање воде, која је продрла у пукотине стијена доводи до денудационог процеса (распадање стијена под утицајем температурних колебања); распрскавање и дробљење стијена је истовремено предуслов стварања погодног земљишта за биљке.

Раствори су хомогени системи састављени од двије или више компонената а представљају „физичко – хемијске смјесе“ чистих супстанци и показују само дјелимично особине својих компонената већином имају њихове особине. Код сваког раствора разликују се два дијела: растворена супстанца (растварак) и растварач или дисперзионо средство у коме је извршена уситњеност (дисперзија) супстанце која се раствара. Када је вода растварач онда се говори о воденим растворима, а способност воде да раствара многе супстанце нарочито је присутна када су у питању соли. Тако вода океана и мора садржи огроман број растворених супстанци.

Електрична својства воде.

Чиста вода је лош проводник струје. Међутим, природне воде садрже низ супстанци растворљивих у води а величина електрпроводљивости тих вода зависи од концентрације¹³⁶ раствора и њихове температуре.

Супстанце растворљиве у води могу се подијелити у двије групе, у зависности од електричне проводљивости раствора, на електролите и неелектролите.

*Електролити*¹³⁷ су супстанце које при растварању у води (растварачу) дају јоне (наелектрисане честице) који се слободно крећу у раствору. Раствори електролита разликују се од раствора неелектролита по електричној проводљивости. Усљед присуства јона који се слободно

¹³⁶ Концентрација (лат. concentratio), хем. појачавање раствора смањењем његове запремине; појачање раствора, појачаност раствора; Састав раствора може квантитативно да се изрази помоћу његове *специфичне концентрације*. Израз *концентрација* употребљава се да опише релативне масе растворене супстанце и растварача у неком раствору.

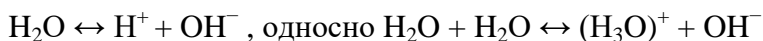
¹³⁷ Видјети опширније: В. Бојанић et al., Хемија, стр. 47-55., Пољопривредни факултет у Бањалуци, Бањалука, 1999; Арсенијевић Р.С., Хемија, општа и неорганска, стр. 312-344, Научна књига, Београд, 1994.

крећу, раствори електролита проводе електричну струју и називају се проводницима другог реда.¹³⁸

Неелектролити (супстанце које се не разлажу на јоне) не проводе електричну струју јер не садрже носиоце наелектрисања (јоне).

У електролите најчешће убрајамо три класе хемијских једињења: киселине, базе и соли.

Хемијски чиста вода спада у најслабије електролите, јер је минимално дисосована:



Константа дисоцијације чисте воде (K) на 25°C износи $1.8 \cdot 10^{-16}$:

$$\frac{[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} = K = 1.8 \cdot 10^{-16}$$

Електролитичка дисоцијација. Дисоцијација (лат. dissociare – раздружити, раздвојити, отуђити) хем. разлагање хемијског једињења у његове саставне дијелове, нарочито дејством топлоте. Електролитична дисоцијација физ. распадање молекула раствора у простије састојке (јоне).

Акустична¹³⁹ својства воде. Звук настаје брзим осциловањем (треперењем) чврстих, ријечних и гасовитих тијела. *Субјективно*, звук је осјећај који прима неки организам из вањског медија, а *објективно* звук је таласно кретање које се простире кроз еластичну средину. Да би се звук чуо, потребно је да између звучног извора и рецептора постоји одређена физичка средина (медиј): гасови, течност или чврста тијела. Гасови су добри преносиоци звука, али због веће густине, у односу на гасове, течности боље преносе звучне таласе. Брзина звука кроз ваздух износи 330 m/s док је у води та брзина 4.5 пута већа. Брзина звука кроз воду зависна је од њене температуре: ако се температура повиси, повећава се брзина звука.

Брзина звука зависи и од притиска воде, односно њене густине, па је брзина звука већа у дубљим слојевима него на водном огледалу.¹⁴⁰

¹³⁸ Проводници првог реда су метали и кроз њих се крећу електрони са мјеста вишег потенцијала ка мјесту нижег потенцијала, док се кроз растворе електролита (проводници другог реда) електрони крећу захваљујући присуству јона који врше улогу њихових преносилаца.

¹³⁹ Акустика (грч. akustikós – чујем, слушама), наука о звуку; акустичан – подесан за примање и преношење звука.

¹⁴⁰ На 0°C и при густини воде (салинитету) од 3.5‰ брзина звука на нултој изобати је 1445 m/s, на 5000 m износи 1536 m/s, и на дубини од 10 000 m вриједност брзине звука износи 1622 m/s. Звук исте јачине продире кроз воду око 2000 пута даље него кроз ваздух.

5.2. Термички режим ријека

Термички режим (фр. régime од лат. regimen – владање) промјена температуре ријечне воде у току године у сливовима ријека. Температура ријечне воде мијења се у току дана, мјесеца и годишње, а зависи првенствено од интензитета Сунчевог зрачења. Загријавање ријечне воде је двојако: примањем топлоте од загријаних честица лебдећег наноса и примањем топлоте од ријечног дна којег загријавају Сунчеви зраци (продирући кроз слој воде од водног огледала).

Проучавајући термички режим ријека, Т. Ракићевић (1958) је установио да разлике у температурама воде појединих токова зависе и од начина храњења ријеке (претежно сњежница, кишница, подземне воде или мјешовито), површине слива и количине воде у ријечи. Према овом аутору заступљене су сљедеће варијанте:

Прва група (ријеке чија је средња годишња температура воде виша од средње годишње температуре ваздуха):

1. *Панонска варијанта.* Сем једног или два прољећна мјесеца, у свим осталим мјесецима има вишу температуру воде од температуре ваздуха; годишња амплитуда температуре воде већа је од 20°C. Овој варијанти припадају Дунав (низводно од Новог Сада), Тиса, Сава (низводно од Загреба), као и доњи токови већих притока ријеке Саве,

2. *Моравска варијанта.* У прољећним и првим љетним мјесецима има температуру воде нижу од температуре ваздуха, што се објашњава високим водостајима на ријекама Моравске варијанте у наведеном периоду; годишња амплитуда температуре воде мања је од 20°C. Овој варијанти припадају ријеке хидрографског система Велике Мораве (сем изворишних дијелова ријека).

3. *Охридско - скадарска варијанта* – осим прољећних мјесеци, у свим осталим је температура воде виша од температуре ваздуха; годишња амплитуда температуре воде мања је од 20°C. Овој варијанти припада ријека Бојана (44 km) – отока Скадарског језера.

4. *Алпјска варијанта.* У прољећним и првим љетним мјесецима има нижу температуру воде од температуре ваздуха, јер се алпски токови у том периоду хране сњежницом; средња годишња температура воде незнатно је виша од температуре ваздуха, док је годишња амплитуда температуре воде око 20°C. Овој варијанти припада и Дунав, узводно од Новог Сада.

Друга група (ријеке чија је средња годишња температура воде нижа од средње годишње температуре ваздуха – обе мјерене на истој локацији)

1. *Планинска варијанта.* Одликује се вишим температурама воде од температуре ваздуха у зимским мјесецима, а нижим температурама воде од температуре ваздуха у љетним мјесецима. Средње годишње и

апсолутне амплитуде температура воде су незнатне. Планинској варијанти припада велики дио водотока на географском простору бивше Југославије.

5.3 Лед на ријекама.

Лед је, у суштини, вода у чврстом стању и настаје замрзавањем воде. Има мању густину од воде, услед чега плива у њој (в. ледени бријег). На већини ријека умјереног климатског појаса у хладнијем периоду године појављује се лед, који за вријеме хладнијих зимских периода прекрива цијело водно огледало ријека. Та је појава посебно карактеристична за ријеке хладнијег поднебља. Лед је значајан за морфологију (облик) ријечних корита и живи свијет ријека. Прогнозе ледених појава налазе широку примјену у многим гранама водопривреде: пловидба, хидроенергетика, заштита од поплава, и др.

У појави леда на ријекама разликују се три фазе (Дукић, Д., Гавриловић, Љ., 2006): *образовање леда* – настајање првих облика ријечног леда, *залеђивање ријеке* – покривање површине ријеке ледом, са свим појавама које иду уз тај процес и *откривање ријеке* – отапање леденог покривача и кретање санти низ ријечни ток. Када су у питању краткорочне прогнозе појаве леда на ријекама, али и ријечним акумулацијама, треба истаћи да прогнозе ледених појава налазе широку примјену у бројним гранама водопривреде. Према Прохаска Ј.С. (2006) основне карактеристике режима леда на ријекама и акумулацијама су:

- појава леда у покрету – ледоход (кретање санти, различите величине и дебљине кроз ријечни профил, различите густине и облика кретања (мирно или бурно);
- ледостај - сваки лед који стоји на неком мјесту у ријеци, без обзира да ли се ради о компактном (збијеном, чврсто повезаном) леду, леду уједначене дебљине, на релативно мирним дионицама (потесима) ријечног тока, или о заустављеном ледоходу;
- разарање и покретање ледостаја (откривање ријеке)
- престанак ледених појава

Режим леда на ријекама и акумулацијама тијесно је везан са термичким режимом воде у ријекама, који је посљедица размјене топлоте водног тока са околином – атмосфером и земљиштем.

На основу досадашњих проучавања (Геј – Лисак, Ф. Ј. Алтберг, С. Ј. Прохаска и др.) данас се може са доста поузданости дефинисати образовање леда на ријекама.

А) *појава кристала леда* настаје тек при температурама воде од -0.01 до -0.05°C ;

Б) први кристали леда појављују се *на површини ријеке* и имају облике иглица и танких плочица;

В) образовање леда је немогуће ако у води нема *језгара кристализације*¹⁴¹ – то су најситнији кристалићи леда или снијега, који из хладног ваздуха падају на површину прехлађене ријечне воде;

Г) при преласку воде из течног у чврсто стање ослабађа се *латентна*¹⁴² *топлота кристализације*, која непрекидно мјешањем водене масе одлази у ваздух;

Д) спајањем кристала леда на површини ријеке појављује се танак и прозиран *стакласти лед*, који се отапа на брзацима гдје је интензивно мјешање воде чија температура није спала испод 0°C; низводније на секторима/дионицама гдје се вода креће мањом брзином, појављује се *стакласти лед*;

Ђ) како је брзина воде најмања дуж обала¹⁴³ *стакласти лед* се најприје ту појављује; *расхлађивањем* воде он постаје све дебљи и претвара се у *плавичаст* и *прозиран лед*, који се назива *ведрац*;

Е) на ријекама са брзим током водена маса се интензивно мијеша, па се лед појављује истовремено како на површини, тако и у самој воденој маси и на дну корита; тај лед који се образује на дну корита, назива се *поднац*, односно *унутрашњи* или *дубински лед*. На стијењу брзих планинских ријека *поднац* се „*лијепи*“ и нараста у облику *печурки*;

Ж) *ведрац* се шири ка матици ријеке, пуца и од њега се образују *ледене санте*, које се крећу ношене водом, сударају међусобно и нагомилавају се у сужењима ријечног корита од једне до друге обале. Та појава често претходи *залеђивању* површине ријеке.

Прогнозе дебљине леденог покривача. Савремене методе прогнозе дебљине леда на ријекама базирају се на коришћењу теоријских и емпиријских¹⁴⁴ зависности, које укључују основне факторе размјене топлоте леда са околином. Битни фактори размјене топлоте су температура ваздуха, брзина вјетра и облачност. Дебљина леденог покривача мијења се како по времену, тако и у воденој акумулацији, у зависности од (Прохаска, 2006):

- просторне нехомогености при формирању леденог покривача, због различите брзине течења, дубине воде и метеоролошких услова;
- услова формирања леда;

¹⁴¹ Кристал (грч. *krystallos* - лед), тијело састављено од правилно распоређених атома, јона или молекула у облику полиедра; полиедар – геометријско тијело омеђено многоугаоницима (тетраедар, коцка, призма и др.)

¹⁴² Латентан (лат. *latens* од *later* – крити се), прикривен, скривен, притајен, који постоји али се не испољава видљиво

¹⁴³ Код ријечних корита гдје нема окука

¹⁴⁴ Емпиријски – који се добија истраживањем и експериментално, а не изводи се из теорије;

- количине и трајања падања снијега и његовог преношења вјетром;
- формирање сњежног леда, поледице и др.

Залеђивање ријеке настаје када се њена површина (водно огледало) покрије непокретним ледом, потпуно или са појавом *топлица*¹⁴⁵, са глатком или набораном површином. Залеђивање ријека на нашим географским просторима настаје послје извјесног броја *мразних дана* (снижење температуре ваздуха до вриједности испод 0°C). Трајање залеђености ријека зависи, прије свега од географске ширине (φ) области по којој теку, тј. од самог поднебља (климе), а потом и од средње надморске висине ријечног слива, а у областима са развијеном индустријом и од тзв. *термичког загађења вода* – тј. испуштања топлих вода послје њихове употребе у производном процесу у ријеку.



Слика 32. Ријека Москва зими

Откривање ријеке (покретање леда)

Отапање леденог покривача на ријеци, настаје под утицајем вишедневних високих температура, прољећних киша, топлијих вјетрова и појачане Сунчеве енергије.

Подаци о режиму леда. Према С.Ј. Прохаски, подаци о режиму леда прикупљају се у профилима водомјерних станица, а те податке чине: датуми и појаве ледохода и ледостаја, њихово трајање и датуми њиховог престанка. Такође, неопходно је забиљежити податке о дебљини леденог покривача и његовој просторној заступљености. На основу

¹⁴⁵ Мјеста гдје се лед на ријеци не хвата, било због брзе воде, било због подводних извора

статистичке обраде ових података дефинишу се средњи и екстремни датуми појаве, престанка и трајања ових феномена, заступљености и учесталости у одређеном временском периоду, као и вјероватноћа њихове појаве. Наведени подаци дефинишу режим појаве леда у природним условима.

Одређивање протицаја леда кроз ријечни профил (T_1). Одређује се помоћу формуле:

$$T_1 = d \times \sum_{i=1}^n \alpha_i \times v_i \times B_i \text{ (m}^3\text{/s), гдје је:}$$

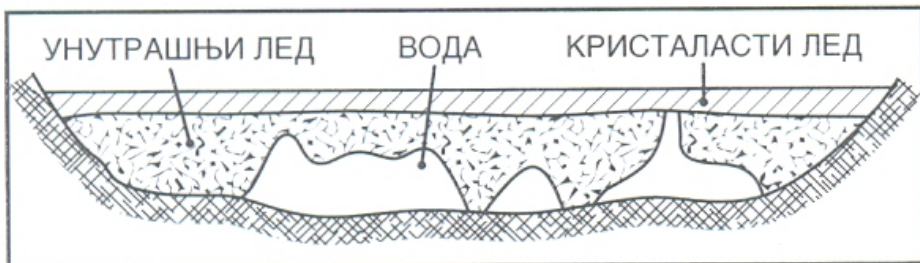
d – дебљина ледених санти (m),

α_i – 0-100 (%) густина која се одређује визуелно,

v_i – брзина путовања ледених санти у i -том дијелу корита посматраног попречног профила,

B_i – ширина i -тог дијела корита под леденим сантама у покрету (m).

Затори. При покретању санти леда, зими или у прољеће, врло често маса санти прегради ријечно корито, најчешће у сужењима корита, али и у оштријим окукама. На тај начин формира се ледена баријера која онемогућава низводно кретање укупне масе санти. Посљедица тога је формирање природних ледених препрека – „ледених брана“. Њихова концентрација може да спријечи отицање ријечне воде до саме линије талвега (дна) ријечног корита. Назив оваквих „ледених брана“ називају се на руском језику (и на руским ријекама) **затори**, а тај термин је општеприхваћен у стручној литератури.



Слика 33. Зажор

Зажори¹⁴⁶. За разлику од затора зажори су карактеристични за јесењи период кретања леда. Њихову структуру чине унутрашњи лед и *сњежник* – смјеса снијега и ледених кристала, који у води образују сунђерасту масу. И зажори, као и затори, преграђују ријечна корита и отежавају отицање воде, али и формираних ледених санти. Код појаве зажора могу се разликовати „глава зажора“ – дио ледене масе оријентисан низводно од локације заустављања и „реп зажора“, који је на узводној страни.

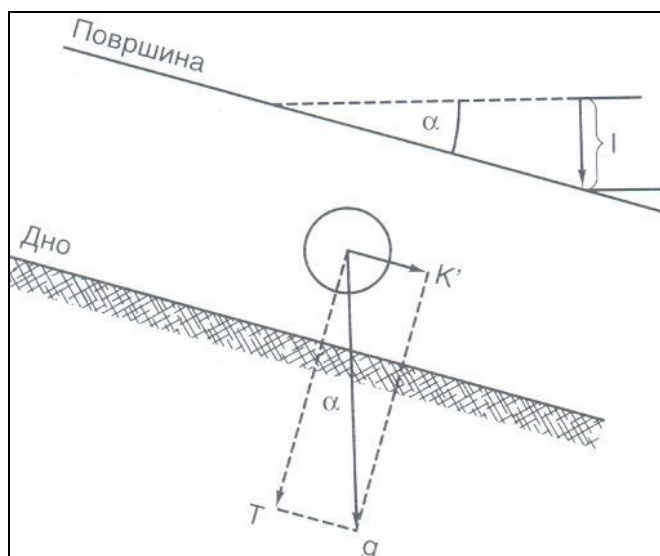
¹⁴⁶ Зажори – руски термин, који је прихваћен у стручној литератури других народа/језика

6. КРЕТАЊЕ ВОДЕ У РИЈЕЧНОМ КОРИТУ

6.1. Елементарни појмови.

У хидролошким наукама кретање воде је дефинисано као резултат континуираног утицаја више сила:

1. сила Земљине теже (g) - гравитација¹⁴⁷; гравитација представља својство свих тијела да привлаче једно друго силама које зависе од њихове масе. Гравитациона привлачност Земље задржава на орбити око наше планете Мјесец и вјештачке сателите. Дејством гравитационог поља условљен је лоптасти облик Земље, многе контуре рељефа топографске површине, *кретање ријечних токова*, кретање ледника и др. Компонента гравитације паралелна дну ријечног корита (K') – покреће честице воде низ нагиб ријечног корита;



Слика 34. Схематски приказ кретања ријечне воде; кретање воде настаје под утицајем компоненте K' која дјелује у правцу паралелном нагибу ријечног корита; брзина воде је пропорционална паду корита I , односно $\sin \alpha$

2. силе инерције¹⁴⁸ (F_1) водених маса у меандрима ријечних корита, због којих настаје денивелација воде (појава поремећаја хоризонталног положаја воде) на попречном пресеку корита – њен ниво је виши дуж конкавних, а нижи поред конвексних обала;

¹⁴⁷ Гравитација (лат. *gravitas* – тежина)

¹⁴⁸ Инерција (лат. *inertia* – неспретност, тромост) 1. физ. својство тијела да остане у стању мировања или праволинијског једнаког кретања док не буде изложено утицају спољне силе која то стање мијења

3. Кориолисове силе¹⁴⁹ (F_2), условљене обртањем Земље око њене осе, која на сјеверној хемисфери/полулопти изазива издизање нивоа воде дуж десних обала, а спуштање нивоа воде дуж лијевих обала; на јужној хемисфери је обротно.

4. силе трења (T), која се супроставља кретању воде због сложене појаве трења: а) између честица воде – хидраулично¹⁵⁰ или *унутрашње трење*¹⁵¹; б) између воде и ријечног корита – *спољашње трење* (у ово се убрјаја и незнатно трење између површине воде и ваздуха).

Брзина кретања воде (v) представља дужину пута (L) коју пређе честица воде у јединици времена – секунди, а изражава се у m/s . Она директно зависи од хидрауличних елемената корита и пада (линије енергије водног тока) површине нивоа воде.

Овлажени профил (ω) представља пресјек ријечног корита управан на правац кретања воде, изражава се у m^2 .

Обим овлаженог профила (χ) представља дужину попречног пресјека корита, које је потопљено водом; он се изражава у m , а мијења се при промјени водостаја.

Хидраулички радијус (R) представља однос између овлаженог профила и његовог обима, тј.

$$R = \frac{\omega}{\chi}; (y\ m)$$

Просјечна дубина (H_{sr}) тока добија се из односа овлаженог профила и ширине ријеке (B), то јест:

$H_{sr} = \frac{\omega}{B}$ ($y\ m$), јер су при малим дубинама, а великим ширинама ријечних корита, обим овлаженог профила (χ) и ширина ријеке (B) скоро једнаки, тј. $\chi \cong B$.

¹⁴⁹ Кориолисова сила (по имену француског научника Г. Кориолиса /G. Coriolis/; 1792 – 1843), једна од сила инерције која потиче од утицаја обртања тијела на релативно кретање према том тијелу. Тако, на све објекте који се крећу у односу на Земљу, која се обрће око своје осе, дејствује таква сила и скреће их унеколико од њиховог правца кретања.

¹⁵⁰ Хидраулика, I. *физ.* грана хидромеханике која проучава практичну примјену закона о равнотежи и кретању течности; хидраулички (лат. hydraulicus од грч. hydraulikós), који покреће неку течност, који ради на водени погон

¹⁵¹ Трење – сила која се јавља на додирним површинама два тијела; не зависи од величине додирне површине тијела. Сила трења зависи од природе (храпавости) тијела која се додирују и силе којом тијело нормално дјелује на подлогу. Нормална сила је она сила која дјелује под правим углом на додирну површину

6.2. Ламинарно, турбулентно и циркулаторно кретање воде.

Кретање воде у ријечном кориту зависи од брзине воде, молекуларне вискозности¹⁵² воде и морфометрије тока. Вода може да се креће само на више начина: ламинарно¹⁵³, турбулентно и циркулаторно. *Ламинарно кретање* представља кретање течности при коме се течност¹⁵⁴ премјешта као по слојевима паралелним правцу струјања. При преласку из једног слоја у други, брзина се у случају ламинарног кретања мијења постепено и непрекидно усљед молекуларне вискозности. Примјећују се код струја које имају веома мале брзине и код подземних водотока који пролазе кроз ситнозрне слојеве. У суштини, ламинарно кретање у природи је типично углавном за подземне токове, који пролазе кроз ситнозрне слојеве.

Ламинарно кретање је ријетко у природи, односно тешко је очекивати да у свакој тачки тока брзине тока се не мијењају ни по времену, ни по величини, нити по правцу.

*Турбулентно*¹⁵⁵ *кретање* представља форму кретања течности при коме се њене честице крећу без одређеног реда, што доводи до интензивног мијешања слојева течности (воде) која се креће. Ово кретање се одликује непрекидним промјенама брзине по величини и правцу у свакој тачки тока, а та појава се назива *пулсирање брзине*. Са пулсирањем брзине истовремено настаје и пулсирање притиска.

Док је у отвореним токовима при ламинарном кретању брзина воде на дну једнака нули, код турбулентног кретања она достиже одређену мјерљиву вриједност/величину (зависно од масе воде и пада ријечног корита/пада линије водног огледала). Код турбулентног кретања воде, брзина воде се повећава од дна корита према површини водног огледала, знатно мање него при ламинарном кретању; код турбулентног кретања брзина воде се, такође, повећава од обала према средини тока.

Бројна практична и теоретска истраживања и резултати тих истраживања показују да се вода равничарских и планинских водотока крећу турбулентно. Турбулентним кретањем воде у ријечном кориту настаје опште мијешање водене масе, које је у сагласности са брзином тока.

¹⁵² Вискозитет, вискозност (лат. *viscosus* – љепљив, тегљив, густ, љигав), својство течности да се опире промјени положаја својих молекула. Вискозност воде је њено својство условљено настајањем сила унутрашњег трења при кретању, праћеног узајамним премјештањем граничних слојева воде. Она је фактор који преноси кретање слојева са већом брзином онима у којих је брзина мања. При томе, слој који се спорије креће успорава кретање слојева са већом брзином. Молекуларно – физичка вискозност зависи од особина саме течности и температуре, а не од особености кретања.

¹⁵³ Ламина (лат. *lamina* – плоча), танка плоча, танак слој, облога

¹⁵⁴ Односи се, такође, на гас и ваздух

¹⁵⁵ Лат. *turbulentus* – буран, поремећан

*Циркулаторно кретање*¹⁵⁶ можемо дефинисати као кружно премјештање честица воде у ријечним коритима, са затвореним или дјелимично затвореним линијама тока.

Специфичан вид циркулаторног кретања је еворсионо кретање воде, а последица таквог кретања воде је појава еворсије¹⁵⁷, локалне ерозије у кориту ријека, која се јавља усљед обртања при дну воде која верикално пада. Вртложастим кретањем воде настају циновски лонци (еворсионски лонци). То су природна полусферна удубљења до неколико метара у пречнику, настала у тврдим стијенама кружним кретањем воде која носи камење.

Вир (вртлог) настаје код кружног кретања воде које се јавља у појединим дијеловима водених басена или водених токова усљед спајања двије струје, приликом течења воде око обалских избочина, или код оштрог ширења корита.

*Вртлози су честа појава на ријекама и морима, али су много интересантнији на ријечним токовима. У Србији су чести на Дунаву, гдје је вртложном ерозијом Дунав између стијена усјекао циновске лонце*¹⁵⁸. *Њихова мјеста одавали су снажни вртлози на површини ријеке у виду љевка. У клисура Госпођин вир, код стијене Пјатра Лунга (Дуги камен) измјерена је дубина од 82 m – највећа ријечна дубина у Европи.*

6.3. Брзина кретања воде на овлаженом профилу. Тренутне брзине воде на овлаженом профилу у водотоку непрекидно пулсирају¹⁵⁹ у свакој тачки. То су неправилна, случајна колебања брзине у времену, по величини и правцу око неке њене просјечне вриједности¹⁶⁰. Мјерењем брзине воде у низу тачака на овлаженом профилу могу се добити просјечне вриједности свих тренутних брзина, односно средња брзина воде у датој тачки. У пракси то значи одређивање средње брзине воде на одређеној вертикали овлаженог профила, полазећи од површине воде према дну ријечног корита. Ако се дубина воде на одређеној вертикали (зависно од ширине /В/ ријечног корита) означи са h , у пракси је уобичајено да се брзина воде мјери прво на површини водног огледала ($V_{\text{пов}}$), а затим на сваких $0.2h$, све до дна, као и на самом дну ($0.2h, 0.4h... V_{\text{дна}}$).

Примјер¹⁶¹: Обрада хидрометријског мјерења

¹⁵⁶ Лат. *circulatio*, према *circus*, 1. кружно кретање, опток; циркулисати – кружити, кретати се у круг или на малом простору

¹⁵⁷ Еворсија, лат. *evorsio* - превртање

¹⁵⁸ Прије формирања Ђердапског језера и изградње ХЕ „Ђердап I“

¹⁵⁹ Пулсирати (лат. *pulsare* од *pulsus, pellere* - ударати), живахно протицати, тећи, бити у покрету

¹⁶⁰ Видјети опширније: Дукић, Д., Гавриловић, Љ., 2006, стр. 123;

¹⁶¹ Комплетан задатак и рјешење видјети у Практикуму I – Потамологија; Вјежба број 2. Обрада хидрометријског мјерења

Основни подаци о елементима попречног профила (ријека Дунав)

Табела 7. – Елементи попречног профила (ријека Дунав)

Редни број вертикале	1	I (2)	3	4	II (5)	6	7	8	9	III (10)	11
Одстојање од лијеве обале или СП ¹⁶² (y m)	0	20	34	50	60	70	80	90	100	110	120
Дубина воде – h (y m)	0.0	9.3	11.7	10.3	9.3	9.3	9.2	9.1	9.1	9.1	9.2
Редни број вертикале	12	13	IV (14)	15	V (16)	17	VI (18)	19	VII (20)	VIII (21)	22
Одстојање од лијеве обале или СП (y m)	130	140	158	170	200	215	234	254	284	324	370
Дубина воде – h (y m)	9.3	9.6	9.8	9.7	9.4	9.2	8.7	7.8	6.5	4.45	0.0

Вертикале означене римским бројевима I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII су код овог попречног профила тзв. брзинске вертикале и за њих су одређени подаци о брзинама (Табела 8.).

Табела 8. Подаци о мјерењу брина на ријечи Дунаву (брзинске вертикале I – VIII)

Брзинска вертикала		Одстојање од површине воде (m) ¹⁶³	Брзина у тачки (m/s)	Брзинска вертикала		Одстојање од површине воде (m)	Брзина у тачки (m/s)
Редни број вертикале	Одстојање од СП (m)			Редни број вертикале	Одстојање од СП (m)		
I	20	0.10	0.639	V	200.0	0.10	0.960
		1.86	0.577			1.88	1.010
		5.58	0.555			5.64	0.796
		7.64	0.531			7.52	0.876
		9.00	0.407			9.10	0.637
II	60.0	0.10	0.770	VI	234.0	0.10	0.715
		1.87	0.785			1.74	0.694
		5.61	0.607			5.22	0.665
		7.48	0.623			6.96	0.535
		9.04	0.498			8.40	0.321
III	110.0	0.10	1.102	VII	284.0	0.10	0.524
		1.82	1.048			1.30	0.511
		5.46	1.041			3.90	0.472
		7.28	0.836			5.20	0.416
		8.80	0.639			6.20	0.382
IV	158.0	0.10	1.102	VIII	324.0	0.10	0.571
		1.96	1.142			0.89	0.602
		5.88	1.013			2.67	0.500
		7.84	0.843			3.56	0.430
		9.50	0.673			4.14	0.380

¹⁶² СП – стални почетак

¹⁶³ Дубине за брзинске вертикале I – VIII дате су у Табели 7

Израчунавање средњих брзина по вертикали израчунава се по обрасцу:

- ако су брзине мјерене у пет тачака: $V_{sr} = 0.1 \times (V_{пов} + 3V_{0.2h} + 3V_{0.6h} + 2V_{0.8h} + V_{дна});$
- $V_{пов}$ – брзина воде на површини водног огледала
- ако су брзине мјерене у четири тачке: $V_{sr} = 0.125 \times (V_{пов} + 3V_{0.2h} + 3V_{0.6h} + V_{дна});$
- $V_{0.2h}$ – брзина воде на дубини 0.2h
- ако су брзине мјерене у три тачке: $V_{sr} = 0.25 \times (V_{0.2h} + 2V_{0.6h} + V_{0.8h});$
- $V_{0.6h}$ – брзина воде на дубини од 0.6h;
- ако су брзине мјерене у двије тачке: $V_{sr} = 0.5 \times (V_{0.2h} + V_{0.8h});$
- $V_{0.8h}$ – брзина воде на дубини од 0.8h
- ако је брзина мјерена у једној тачки: $V_{sr} \approx V_{0.6h};$
- $V_{дна}$ – брзина воде при дну ријечног корита

Мјерењем брзина воде на овлаженом профилу утврђено је следеће: максимална брзина воде налази се на мјесту гдје је најмање укупно трење (унуташње и спољашње), на површини или испод ње (до 0.2h), а изнад највеће дубине корита; идући ка дну корита и ка обалама брзина воде је мања. На свакој вертикали овлаженог профила средња брзина воде лежи на дубини од 0.6h (тачније 0.596h).

ОДРЕЂИВАЊЕ ПРОТИЦАЈА ВОДЕ – протицај воде је количина (запремина) воде која протекне кроз попречни пресјек неког водотока у јединици времена. Протицај воде кроз елементарну површину d_{ω} са странама d_b и d_h износи: $dQ = V \times d^{164}$.

¹⁶⁴ Видјети опширније поглавље 7.3.1. (мјерење протицаја воде)

7. РИЈЕЧНИ РЕЖИМИ

7.1. Дефиниција ријечног режима. Један од битних приоритета циљева и изучавања потамолошких истраживања је проучавање ријечних режима, издвајање и класификација њихових типова и варијаната. Треба нагласити да географи, али и хидролози нису сагласни када је у питању консистентан/чврст и јединствен став о ријечном режиму. Није стога чудно да постоји више дефиниција ријечног режима.

С. Илешич истиче да се *„под речним режимом сматрају оне средње, редовне хидролошке појаве, с којима можемо рачунати на рекама више или мање сваке године“*.

А. М. Овчинков указује да се *„режимом реке називају законита колебања у току времена свих елемената њеног живота, а у првом реду нивоа и количине воде“*.

В. Јевђевић сматра да се *„под режимом подразумевају пре свега промене протицаја са временом, које дају основне карактеристике неком речном току“*.

Француски хидролог-географ М. Парде указује да *„режим представља комплекс појава које се односе на храђење водотока и промене њихових стања“*.

Сем наведених, постоји читав низ других дефиниција ријечног режима, а као компетентну наводимо слjedeћу: *„речни режими су закономјерне промјене водостаја, протицаја и брзине воде у ријекама у одређеном временском периоду“*.¹⁶⁵

Ријечни режими су посљедица начина храђења ријека водом, према којима се издвајају слjedeћи типови ријечних режима: нивални, плувијални, нивално-плувијални, плувијално-нивални и сл. Најчешће су комбиновани ријечни режими са преовлађујућим значајем једног од извора храђења за поједине дијелове ријечног тока и у различитим периодима године.

Дефиниција М. Пардеа, кратка, по многим хидролозима је најпотпунија. Због тога су је прихватили, углавном бројни хидролози¹⁶⁶.

Ријечни режим обухвата водни режим, термички режим, режим наноса и хидрометријски режим. Према С. Прохаски (2003) под синтагмом водни режим подразумијева се редосљед и начин промјена квантитативних и квалитативних својстава воде у природним водотоцима, као и међусобни утицаји воде и њеног природног и антропогеног окружења. Из дефиниције водног режима уочавамо да он има двије јасно раздвојене компоненте: квантитативну и

¹⁶⁵ Мاستило, Н. (2001): Речник савремене српске географске терминологија, стр. 331

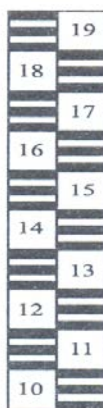
¹⁶⁶ Тешко је, заправо, дефинисати шта је то „комплекс појава“?

квалитативну, а хидрологија се бави изучавањем основних квантитативних компоненти.

7.2. Водостај и водостање. – Водостај¹⁶⁷ представља висину нивоа воде на ријекама, језерима и мору, у односу на неку условну хоризонталну површину. Ниво воде (водостај) осматра се и мјери за потребе: пловидбе, пројектовање и изградњу разних хидротехничких објеката (пристаништа, регулације водотока (уређивање корита ријеке – продубљивање корита, утврђивање обала и др.), изградње мостова, водозавата, одбране од поплава и др. Такође, водостај се може осматрати и мјерити за потребе хидрометријских радова (мјерења дубина, мјерења брзина воде и др.), као и ради изучавања самог режима промјене нивоа воде током неког временског периода.

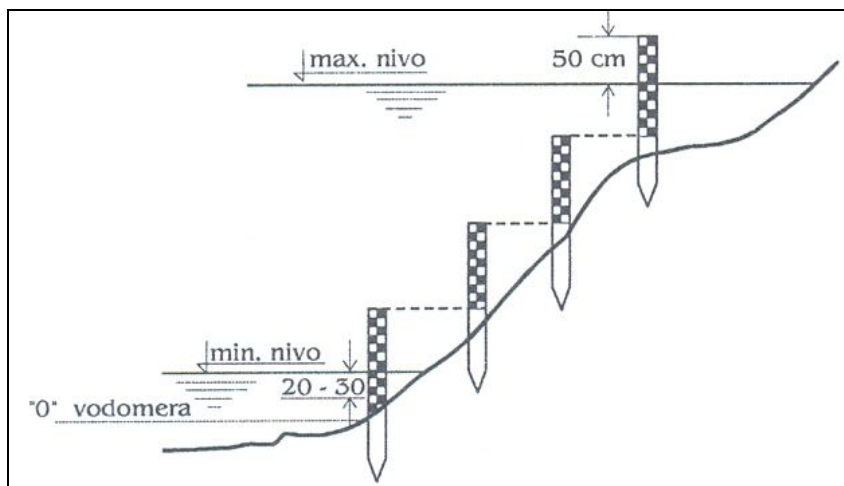
У пракси се често замјењују појмови о водостају и водостању, иако међу њима постоји битна разлика. Већ смо истакли да водостај представља висину нивоа воде (у ријечи, језеру и мору) изнад неке условне равни, а водостање је колебање водостаја у току дана, мјесеца, године или више година. Проучавање водостања врши се на основу мјерења водостаја.

Водостаји се одређују посматрањем нивоа воде на водомјерима. Постоји више типова водомјера. Најједноставнији уређај за мјерење нивоа воде (водостаја) на хидролошкој станици је водомјерна летва. Данас се водомјерне летве израђују од дрвета, ливеног гвожђа, челичног лима или (све чешће) од пластике. Подјела на летви је најчешће 2 cm, а ширина летве је 150 mm. Данас је уобичајено да се гвоздене и пластичне летве израђују у комадима дужине од 1 m. Бројеви који се уписују на летви означавају дециметре: тако први метар носи бројеве 0 до 9, други од 10 – 19, (Слика 35 – водомјерна летва) итд.



Слика 35. Водомјер

¹⁶⁷ Видјети опширније: 1. Дукић, Гавриловић (2006), стр.127 – 128; 2. С.Ј.Прохаска (2003), стр. 44-50



Слика 36. Степенасти водомјер

Начин уграђивања водомјера зависи од услова на терену. Ако у профилу водомјерне станице постоје грађевине које имају посебну функцију (кеј/озидана обала, мост/мостовски стуб) или стијена са вертикалном површином, летва се, ослањањем на подлогу, поставља у строго вертикалан положај.

Такви водомјери су најчешћи и у облику су вертикалне градуиране летве. Она се причвршћује уз доњу страну стубова мостова (јер се ту најмање излаже оштећењима од удара ледених санти, брвана и пањева) или уз колце забијене у корито ријеке. Водомјере треба тако поставити да осматрач може без тешкоће да види ниво воде према скали водомјера. Сама скала се састоји од црно-бијелих или црвено-бијелих пруга, које су широке по 2 цм. Дуж лијеве половине летве наносе се парни, а дуж десне непарни дециметри.

Ако се ниво воде мјери помоћу вертикалне летве, онда се водостај одређује у односу на почетак/нулу водомјера – тзв. кота нуле водомјера. Нула водомјера има познату фиксну надморску висину, тзв. коту нуле – „0“ водомјера. На скали водомјера убиљежена је и црта на двије трећине ширине летве, изнад које је написана нула. Надморска висина те црте, односно равни која пролази кроз њу, одређена је са тачношћу од 1 цм и она је у вези са неком оближњом тригонометријском тачком (неким торњем, димњаком, итд.). То се чини због сигурности.

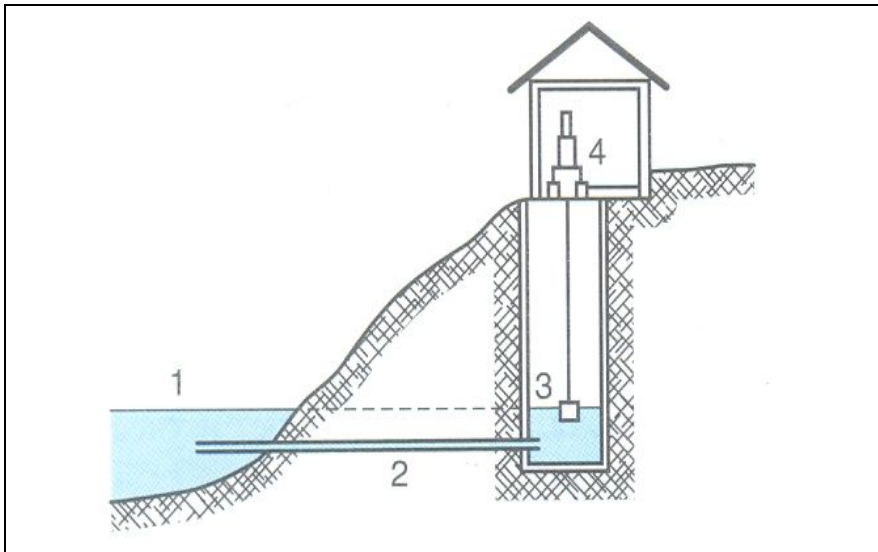
У случају да се водомјерна летва било како уништи, потребно је поставити нову, али тако да на њој „нула водомјера“ мора да буде на истој надморској висини коју је имала и одговарајућа црта на претходној

летви. Само таквим замјењивањем водомјерних летви могу да се пореде водостаји запажени на старом и новом водомјеру.

У случају да се из било којих разлога врше промјене, неопходно је да се тачно утврди положај новог референтног нивоа у односу на стари, како би се извршило свођење старих и нових мјерења на исти ниво. Према томе, ако је кота нивоа водног огледала Z , тада је водостај H дефинисан као разлика (Прохаска, 2003):

$$H = Z - „0“$$

Сем водомјера у облику летве, који се назива вертикални водомјер, постоје још вишедјелни, степеничasti (Слика 36) и коси водомјер.



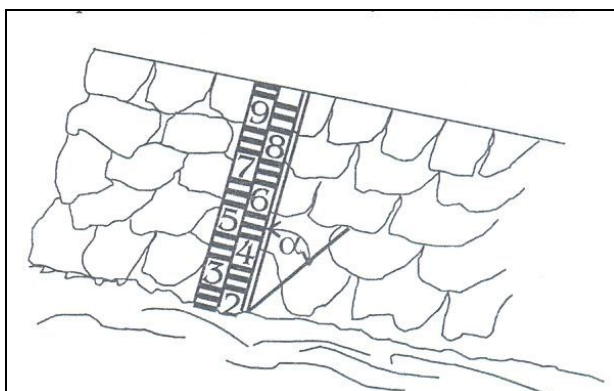
Слика 37. Хидрометријска станица са лимниграфом
1 – ријека; 2 – спојни канал; 3 – пловак; 4 – лимниграф

Уколико на природном или вјештачком водотоку постоји уређена (обложена) коса обала, препорука је да се на облогу угради тзв. коса летва (Слика 39), која се смјешта у жљеб (заштита од удара пливајућих предмета).



Слика 38. Уређена (обложена) коса обала ријеке Врбање - Челинац

Да би се водостај на косој летви читао у cm (као на вертикалној летви), подјела на косој летви је увећана за фактор $1/\sin \alpha$ (Слика 39), гдје је α угао који летва затвара са хоризонталом. На овај начин се повећава тањност читања водостаја, који код стандардних летви износи ± 1 cm. Вертикални, степеничasti и коси водомјери постављају се на ријекама/језерима са мањим колебањима нивоа воде. Вишедјелни водомјери се користе највише на ријекама понорницама и у периодски плавленим крашким пољима, на којима су вертикална колебања нивоа веома велика и гдје се обалска линија помјера на знатна хоризонтална растојања, што би отежало осматрање водостаја.



Слика 39. Коси водомјер/коса летва

Код водомјерних летви, гдје се водостаји осматрају (и евидентирају) у 7^{30} и 18^{30} сати, имамо у суштини повремено осматрање,

које код многих пројеката не могу послужити својој намјени. Стога је све масовније постављање мреже уређаја за континуално (стално/аутоматско) регистровање водостаја. Ти уређаји су лимнографи¹⁶⁸, апарати који аутоматски уписују сваку промјену водостаја на хартији намотаној око ваљка, покретног сатног механизма (Слика 37). Постоји више типова лимнографа: са пловком, пнеуматски и лимнографи са сензором, бесконтактно мјерење и сл.

Водостај регистрован у току одређеног дана (у 07.30 сати) назива се дневни водостај (тог дана). На основу суме дневних водостаја у току једног мјесеца, која се дијели са бројем дана у мјесецу, добије се мјесечни водостај. По истом принципу, висина мјесечних водостаја у току календарске године, дијељена са 12 даје годишњи водостај. Чињеница је, међутим, да дневни, мјесечни и годишњи водостаји не омогућавају објективну слику о водостају неког водотока; у питању су варијабилне вриједности, које се мијењају у дневном, мјесечном или годишњем низу. Због тога је у хидрологији уведено коришћење њихове средње вриједности, регистровање екстремних величина (*min*; *max*). Да би наведене вриједности имале своју практичну примјену, период осматрања не би требао да буде краћи од 10 година, односно пожељно је да буде што дужи, ради испољавања основних битних особина водостаја ријека/језера.

Данас је уобичајено у хидролошкој пракси да се проучавају *средњи дневни водостаји* – просјечне висине за сваки дан у години за одређени разматрани период¹⁶⁹; *средњи мјесечни водостаји* – просјечне мјесечне висине водостаја посматраног периода и *средњи годишњи водостаји* – просјечне висине годишњих водостаја цјелокупног периода осматрања. На овај начин, није тешко за дневне водостаје, у току године, одредити датум најнижег и датум највишег дневног водостаја. Разлика између највишег и најнижег водостаја у току године назива се *годишња амплитуда водостаја*.

У дугогодишњем периоду диференцирају/издвајају се, такође, *средњи најнижи* и *средњи највиши водостаји*, а на основу њих *просјечна/средња амплитуда водостаја*. За потребе бројних хидролошких пројеката потребно је знати и вриједности за апсолутно најнижи и апсолутно највиши водостај (екстремни водостаји - \pm) у одређеном временском периоду. Њихова разлика (у метрима) представља *амплитуду екстремних водостаја* (АЕВ).

¹⁶⁸ *Лимнограф* (*лимниграф*) – уређај који мјери водостај на ријечи или језеру (рјеђе мору) и аутоматски биљежи промјене водостаја; *мареограф* (лат. – грч. mare – море и грч. ggrapho – пишем), инструмент који аутоматски биљежи висину морске воде у одређеном временском раздобљу; помоћу мареографа утврђује се висинска разлика између плиме и осеке, као и време појављивања високе и ниске воде

¹⁶⁹ У пракси се ријетко користи

На нашој планети највећу АЕВ имају ријеке Јангцекјанг – 53.8 m (у клисури у Квантунгу) и Парана - 40 m (у Гвајри). Заломска ријека, понорница у Невесињском пољу у Херцеговини, има АЕВ од 38.3 m.

Основне карактеристике колебања нивоа воде (водостаја) дају карактеристични водостаји, који се најчешће пишу сљедећим скраћеницама:

СВ – средњи дневни, мјесечни или годишњи водостаји;
 ВВ – највиши дневни водостаји у осматраном периоду;
 НВ – најнижи дневни водостаји осматраног периода;
 СВВ - средњи високи водостаји (аритметичка средина ВВ датог периода);
 СНВ – средњи ниски водостаји (аритметичка средина НВ датог периода);
 ВВВ – врло висок водостај – максимално забиљежени водостај;
 ННВ – најнижи ниски водостај – минимални забиљежени водостај у току цијелог посматраног периода или од када је у функцији водомјер.

Код дугогодишњих периода осматрања, двадесет и више година, уобичајено је да се средњи водостаји називају *нормални водостаји*, јер у суштини дају приближно стварну слику водостања; тада код скраћеница долази до одређених измјена: СВ се означава као НСВ (нормални средњи дневни, мјесечни или годишњи водостаји); СВВ се означава као НВВ (нормални високи водостаји), а СНВ се означава као НМВ (нормални мали водостаји)¹⁷⁰;

7.2.1. Мјерење дубина воде.

Мјерење дубина воде служи за одређивање карактеристика рељефа дна ријечног корита, језера или код било којег дијела топографске површине потопљене водом. При мјерењу дубина у појединим тачкам сваког хидрографског објекта потребно је обратити пажњу на (Јовановић et al., 1986):

- Измјерити вертикалну дубину од нивоа воде до чврстог дна,
- Одредити положај тачке у којој се мјерење врши на ситуацији (координатама) или на профилу (као удаљеност од сталне тачке на обали),
- Одредити ниво воде (водостај) при којем се врши мјерење дубине.

¹⁷⁰ Најчешће се користи само прва скраћеница

Табела 9. Методи за мјерење дубина воде

Мјерење у појединим тачкама		Континуирано мјерење облика дна		
<i>Хидрометријска метода</i>		<i>Акустичка метода</i>	<i>Акустичка метода</i>	<i>Хидростатичка метода</i>
Мотке и летве	Челично уже с утегом	Ехосондер ¹⁷¹ с казальком (ехосондер)	Ехосондер са трак за писање (ехограф ¹⁷²)	Хидростатички дистанциони ¹⁷³ мјерач профила

(Извор: Јовановић et al., 1986)

7.3. Протицај воде

Због могућих, а код неких водотока и релативно честих промјена водостаја (засипање наносом, дјелимично продубљивање појачаним интензитетом вертикалне ерозије) често није могуће поуздано одредити особености ријечних режима. Стога се у хидрологији више користи промјена количине воде која протиче кроз одређени профил ријеке, односно у хидролошкој пракси и теорији дат је приоритет протицају.

7.3.1. Протицај.

Постоји више дефиниција протицаја, али у суштини нема велике и битне разлике у тим дефиницијама¹⁷⁴.

А) Протицај је количина воде која у једној секунди протекне ријеком на било ком дијелу њеног тока. Обично се мјери на мјестима гдје је постављена водомјерна летва, а изражава се у m^3/s . Протицај зависи од падавина, састава тла, рељефа, биљног покривача и величине слива (Н. Мастоило, 2001).

Б) Протицај је најважнији елемент ријечног режима. Он представља ону количину атмосферске воде¹⁷⁵ која протекне кроз овлажени профил ријеке у једној секунди поред неког мјеста, а изражава се у m^3/s (Дукић, Д., Гавриловић, Љ., 2006).

В) Протицај воде представља запремину воде која протекне кроз попречни профил водотока у јединици времена. Код великих водотока

¹⁷¹ Ехосондер – хидроакустички уређај који открива подводне објекте по принципу ултразвучног дубиномјера; често се користи за откривање рибљих јата

¹⁷² Ехограф - апарат који на основу одбијања звучних таласа биљежи дубине водних тијела (ријека, језеро, море, океан и др.); у медицини представља ултразвучни апарат

¹⁷³ Дистанца – удаљеност од нечега у простору и времену, раздаљина

¹⁷⁴ Лат. definitio – тачно објашњење неке ријечи или израза помоћу других израза који се сматрају познатим; одређивање суштине неког појма

¹⁷⁵ Вода осталог поријекла нема већег процентуалног удјела у укупној маси, па се не узима у обзир

протицај се изражава у (m^3/s), код потока у (l/s), док се код малих водотока, који у сушном периоду пресушују, протицај изражава у (m^3/sat) или (l/sat), односно литар/cat (С.Ј. Прохаска, 2003).

Г) Протицај представља количину воде која протиче кроз неку протицајну површину у јединици времена. У хидролошкој пракси се под појмом "количина" редовно подразумејева запремина воде, за разлику од неких других техничких дисциплина гдје се налазе и други облици протицаја (нпр. масени протицај). У складу с наведеном дефиницијом, протицај се у хидрометрији најчешће изражава у метрима кубним у секунди (m^3/s). Ако су мале вриједности протицаја, протицај се може исказати и у литрама у секунди (l/s). Протицај је изведена величина која се, као таква, најчешће одређује посредно (индиректно) – мјерењем брзине струјања воде и одређивањем површине протицајног пресека, односно попречног профила ријечног корита.

Протицај воде се сматра једним од најелементарнијих и најбитнијих хидролошких и хидрауличких¹⁷⁶ одредница водних токова. То је у суштини база најбитнијих параметара¹⁷⁷ водотока и служи као најпотпунија информација за све активности везане за неки водоток. У хидротехници (грани грађевинарства која подразумејева вјештину/способност изградње водених објеката: бране, канали, лўке, уређаји за наводњавање, заштитни насипи, направе за снабдијевање водом) познавање протицаја је примарно за све фазе планирања, пројектовања и др.

Постоји низ метода мјерења протицаја воде.

а) Један од начина да се протицај добије је када се површина овлаженог профила S помножи са средњом брзином v_{sr} цјелокупне водене масе, односно

$$Q = S \times v_{sr} (m^3/s).$$

Површина овлаженог профила.

Код већих ријека одређује се на слjedeћи начин (Дукић, Д., Љ. Гавриловић, 2006):

- преко ширине ријечног корита затегне се челично уже, али да не додирује површину водног огледала. У чамцу који је прстеном и краћим ужетом привезан за челично уже обично се налазе два веслача и хидротехничар. С обзиром да ријеке имају различиту ширину, на оним чија је ширина 50-100 метара, веслачи заустављају

¹⁷⁶ Грана хидромеханике која проучава практичну примјену закона о равнотежи и кретању течности; хидраулички - који покреће нека течност, који ради на водени погон

¹⁷⁷ Уопштена величина према којој се шта одмјерава, која представља мјерило

чамац сваких пет метара, а на ширим сваких 10 метара. Тада се мјери дубина и то уноси у одговарајућу рубрику дневника.

- дубина ријеке се може мјерити на више начина, а то зависи од димензија ријечног корита; један од начина су чамове (јелове) мотке; тег са жицом, тзв. лот¹⁷⁸ користи се на дубоким и брзим ријекама; данас се, посебно на већим ријекама, користи ехосондер¹⁷⁹, који функционише на принципу ултразвука; савремени ехосондери аутоматски уцртавају дубине ријеке, а такав цртеж је познат под називом *ехограм*.

б) *Запреминска метода*¹⁸⁰. Запреминска метода је најнепосреднији начин мјерења протицаја воде, а примјењује се за мјерење протицаја воде на малим водотоцима или изворима гдје максималне количине не прелазе 10 l/s. Суштина ове методе је у захватању цјелокупног тока (цјелокупне количине воде) једном посудом запремине W (l¹⁸¹) и мјерења времена које је потребно да се посуда напуни водом T/t (s/sek). Протицај се добије на основу обрасца:

$$Q = \frac{W}{T}, \text{ (l/sek) .}$$

Да би се могло извршити мјерење протицаја волуметријском методом, потребно је да се укупни ток (укупна количина воде) сакупи у цијев или жљеб и усмјери према мјерној посуди.

Мјерни објекти.

(1) Типолетијев прелив (Ciproletiev прелив), трапезасти (трапезоидни) пресјек прелива; протицај се одређује следећим обрасцем:

$$Q = 0.42 \cdot b \cdot \sqrt{2gh^3}, \text{ или } Q = 1.86 b \cdot h \sqrt{h}, \text{ гдје су :}$$

Q = протицај (m³/s);

b = ширина основице отвора трапеза (m);

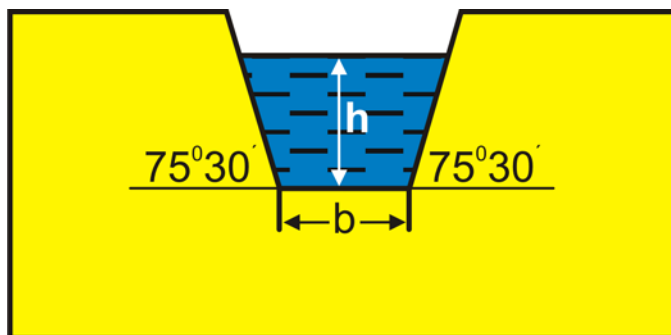
h = висина стуба воде која се прелива (m).

¹⁷⁸ Њемачки *loten* – (из)мјерити дубину; *lot* - дубиномјер

¹⁷⁹ Енглески *echo sounder* – ехо дубиномјер; у употреби је и назив *ехолот*

¹⁸⁰ Видјети опширније: С.Ј. Прохаска (2003), Хидрологија I дио, стр. 75-87

¹⁸¹ литара



Слика 40. Прелив трапезоидног отвора

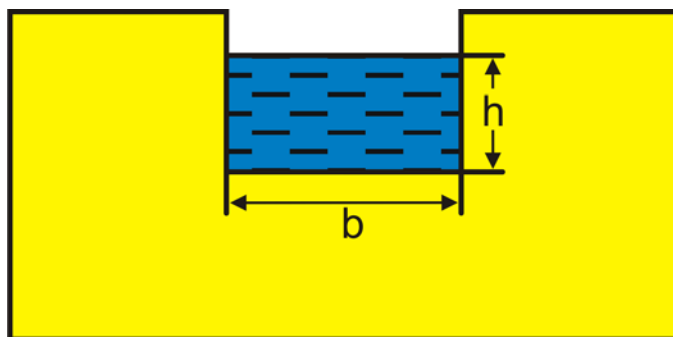
(2) Правоугли отвор прелива протицај дефинише се обрасцем:

$$Q = 0.018 b \cdot h \sqrt{h}, \text{ гдје су :}$$

Q = протицај воде (l/s);

b = основица правоуглог отвора прелива (cm);

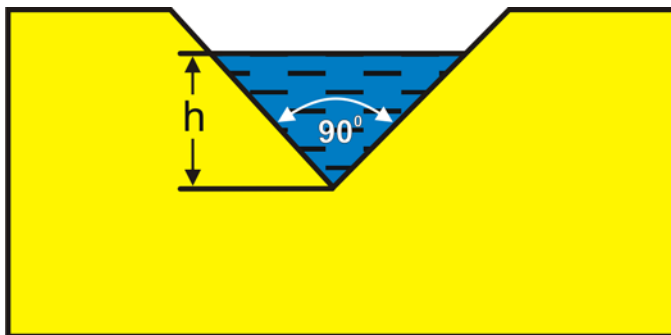
h = висина стуба воде која се прелива (cm).



Слика 41. Правоугли облик отвора прелива

(3) Протицаји који су већи од 10 l/s могу се одредити и са троуглим обликом отвора прелива воде (Thompsonov прелив). Код одређивања се користи следећи образац:

$$Q = 0.32 \cdot \sqrt{2gh^5}, \text{ или : } Q = 1.4 h^2 \cdot \sqrt{h} \text{ (m}^3\text{/s)} \equiv Q = 1400 h^2 \cdot \sqrt{h} \text{ (l/s)}$$



Слика 42. Троугласти облик отвора прелива

(4) Протицај може да се одређује и помоћу пловка. Потребно је одабрати око 10 метара праволинијског дијела водотока/ријечног корита који се формира низводно од извора/врела, при чему се користи што мирнији ток. Временско кретање пловка дефинише издашност сљедећим обрасцем:

$$Q = 0.54 \cdot F \cdot v$$

гдје су :

Q = количина протицаја (m^3/s),

v = брзина кретања пловка, по средини водотока, (m/s),

0.54 = коефицијент трења корита,

F = површина попречног пресека водене масе у кориту, на потесу који се користи за мјерење (у m^2); изражава се као:

$$F = \frac{b}{3} \cdot (h_1 + h_2 + h_3)$$

гдје су: h_1, h_2, h_3 – висине воденог стуба, мјерене на три мјеста попречног пресека водене масе у кориту, са међусобним одстојањем $b/4$;

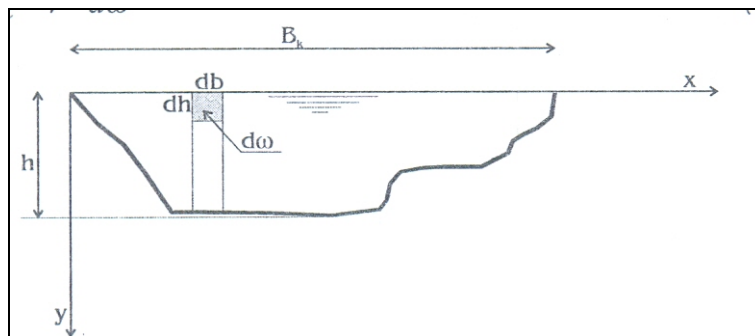
b – ширина површине воденог тока (водног огледала) попречног пресека водене масе.

Код врела изузетне издашности, од којих се образују моћни токови, протицај се може прецизно одредити у каналисаним дијеловима тока, употребом хидрометријског крила. Поступак је сличан ономе код одређивања протицаја површинских токова.

в) *Метода брзина-површина*. Ова метода се користи за мјерење протицаја у природним/вјештачким отвореним токовима и токовима под притиском (када је пречник већи од 0.8 m). Да би се одредио протицај врши се мјерење брзине воде помоћу хидрометријског крила у низу

тачака попречног профила. Практична процедура се састоји у избору одређеног броја брзинских вертикала и броја и положаја тачака на вертикали у којима се мјери брзина воде.

Протицај воде је количина воде која протекне кроз попречни пресјек неког водотока у јединици времена.



Слика 43. Модел елементарне површине

Протицај воде кроз елементарну површину $d\omega$ са странама db и dh износи:

$dQ = V \times d$, а укупан протицај: $Q = \int_0^h \int_0^B v \times dh \times dB$, гдје је: v – брзина

тока; h – дубина тока; B_k – ширина ријечног корита.

Имајући у виду да је функција $v = f(x, y)$ емпиријског карактера, у пракси се примијењују поступци сумирања парцијалних протицаја Q .

Протицај воде кроз елементарну површину $d\omega$ са странама dB и dh износи: $dQ = V \times d$ (диференцијал: производ првог извода и диференцијала промјенљиве величине; у нашем случају промјенљива величина је h и b (dh и db)).

- **диференцијал**, 1. мат. а) произвољан пораст независне промјенљиве величине; б) главни дио повећања зависне промјенљиве величине који приближно изражава значење тог пораста; **диференцијални рачун** – рачунање са бесконачно малим величинама тако да дају коначне резултате; **диференцијална једначина** – једначина која садржи један или више диференцијала или више њих, односно више деривација функције; **деривација** – добијање извода неке функције у односу на дату промјенљиву; граница којој тежи квоцијент прираста функције и прираста аргумента, кад прираст аргумента тежи ка нули; дио математичке анализе; **диференцијални квоцијент** – однос промјене функције и њеног аргумента (аргумент – мат. елемент на који се примјењује нека операција односно функција); **квоцијент** – мат. количник дјељења.

7.3.2. Графо – аналитички поступак одређивања протицаја воде

- Поступак прорачуна:

Уводећи појам елементарног протицаја на вертикали, тј. за $dB = 1 \Rightarrow$

$$q = \int_0^h V \times dh, \text{ односно}$$

$q = V_{sr} \times h$; V_{sr} – средња брзина по вертикали; h – дубина воде у вертикали;

Укупан протицај рачуна се по обрасцу: $Q = \int_0^{B_k} q \times dB$; (гдје је B_k –

ширина водног огледала тј. попречног профила ријечног корита у висини нивоа воде).

У дискретном облику једначина гласи (дискретни – развијени облик):

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{q_{i-1} + q_i}{2} \times \Delta b_i, \text{ при чему је } b_i \text{ – промјена ширине водног огледала}$$

између i – те i – (i-1)-ве вертикале.

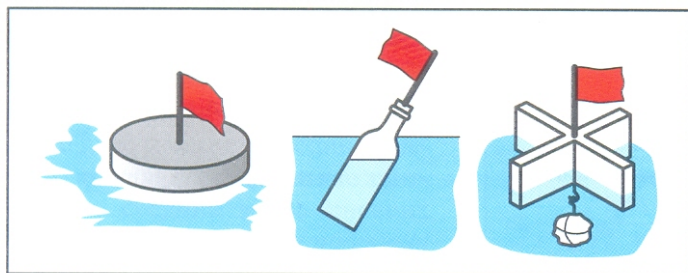
Мјерење брзине воде. У хидролошкој пракси, за мјерење брзине воде у природи или лабораторији користе се слједеће методе (С. Ј. Прохаска, 2003): кинематичке методе¹⁸² (пловци и хидрометријско крило), методе које се базирају на трансформацији енергије (инструменти типа Пито цијев, Вентури и др.), термоелектричне методе (топла жица) и електромагнетске методе.

Данас се мјерење брзине воде обавља углавном хидрометријским крилом, мада је код мањих водотока то могуће урадити помоћу пловака или неких других метода (трасери и сл.). Постоји више типова пловака којима се може мјерити површинска брзина воде: површински пловак, дубински пловак, пловак палица и др. Пловци треба да су видљиви из даљине, али дио изнад површина воде треба да има малу површину, да на кретање не би утицао вјетар.

Пловци, који могу да послуже за мјерење брзине на одређеним ријечним профилима, најчешће су дрвени кругови пречника 15-30 см, а дебљине 3-5 см. Осим дрвета могу да се користе и други материјали, чија је специфична тежина мања од специфичне тежине¹⁸³ воде (најчешће плуто, пластичне боце и др.).

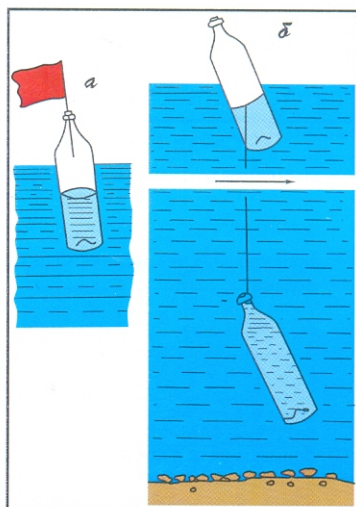
¹⁸² Кинематика, грч. *kínēma*, ген. *kinēmatos* – кретање, физ. грана теоријске механике која проучава кретање

¹⁸³ Специфична тежина, 1. број који показује колико је пута неко тијело теже односно лакше од исте запремине воде; тежина $1m^3$ неког тијела изражена у грамама; 2. однос између тежине неког тијела и његове запремине; мјерна јединица у Међународном систему мјерних јединица за специфичну тежину је *њути* по метру кубном (N/m^3)



Слика 44. Пловци се примјењују за мјерење површинске брзине на ријекама

(Извор: Д. Дукић, Љ. Гавриловић, 2006)



Слика 45. Помоћу боца пловака може да се утврди површинска брзина (а) и брзина на одређеној дубини (б)

(Извор: Д. Дукић, Љ. Гавриловић, 2006)

Специфична тежина воде износи 1.0 g/cm^3 , леда 0.9168 , а водене паре 0.624 g/cm^3 . Помоћу пловака се утврђује само површинска брзина (брзина v на дубини од 0 метара, а означава се са v_0). Суштина мјерења брзине воде v пловком своди се на мјерење дужине пута l који пловак пређе у времену t , или у мјерењу времена t које је потребно да пловак пређе утврђену дужину пута l , односно

$$v = \frac{l}{t}$$

За одређивање брзине воде на неком овлаженом профилу, уколико није доступно хидрометријско крило, могу се користити и двије боце

(Слика 45). Једна се напуни водом, веже за другу празну и пусти да тако плива на одређеној дубини. Боца на површини воде нам омогућава да одредимо средњу брзину кретања обје боце¹⁸⁴.

Најпрецизнији начин мјерења брзине воде ја помоћу *хидрометријског крила*. Оно данас представља најраспрострањенији уређај за мјерење брзине воде. Основни елемент хидрометријског крила је његов обртни дио (елиса или вијенац чашице) који се, када се крило унесе у воду, окреће под утицајем водене струје. Постоји више типова хидрометријских крила: Волтманово, Прајсово, Лагуа, Отово, крило Жестовског и др., али им је одлика да сва функционишу по истом принципу. Хидрометријска крила новијег типа производње осјетљива су на струјања/брзине воде од 2 cm/s до 8 m/s. Савремени тип хидрометријских крила омогућава да се региструју и брзине језерских струја, како у вјештачким акумулацијама, тако и у природним језерима.



Слика 46. Мјерење брзине кретања воде хидрометријским крилом

Мјерења протицаја представљају основу за низ хидролошких прорачуна и бројних активности у смислу практичног управљања водама. Данас се мјерења протицаја систематски врше на бројним ријекама широм наше планете. Евидентна је чињеница да ће се та мјерења, у наредном периоду, обављати трајно и у све већем обиму. Разлози за оваква мјерења су константан развој и заштита енергетике, пољопривреде, животне средине, водопривреде и др. Развој науке и савремене технологије условљава све већи обим енергије. На основу тога вода као обновљив извор енергије и изградња ХЕ и МХЕ добија стратешки значај у коришћењу енергетских извора. Енергетски

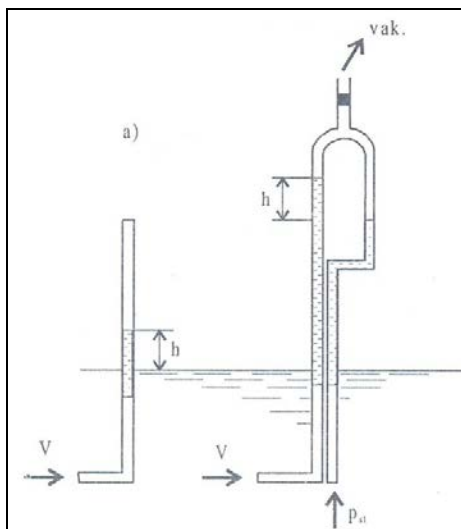
¹⁸⁴ $v_1 = (v_0 + v)/2 \Rightarrow v = 2v_1 - v_0$

потенцијал ријека није могуће валоризовати без адекватних података о протицајима на одређеним профилима.

Потребе за све већом производњом хране условљавају потребу балансирања вода у смислу контролисаног. Такође, евидентно је да се енергетски потенцијали воде не могу се одредити без података о протицајима. У пољопривреди се све више јавља потреба за балансирањем вода у смислу контролисаног и интензивног, наводњавања пољопривредних површина. Иако су такве потребе присутне већ стотињак година у данашње се вријеме оне само додатно актуелизују. Један од најактуелнијих и најакутнијих проблема животне средине је загађивање хидросферног комплекса. Морамо се суочити са чињеницом да је проблем воде све више наглашен. Тај проблем није, још увијек, резултат недостатка воде, већ у могућности коришћења воде (*употребљива вода*). Данас су термини екологија и одрживи развој наша свакодневица, када је у питању загађење хидросферног комплекса, односно појединих водотока. Колико стварно оптерећење загађењем може примити неки водоток и да буде "употребљива вода", зависи добрим дијелом и од протицаја на одређеном профилу.

И коначно, на крају, али не и мање важно, одбрана од великих и малих вода, регулација ријека, изградња насипа и канала, изградња хидротехничких грађевина, мостова, брана/загата, пропуста или прељева и др., незамислива је без познавања података о протицајима или брзинама кретања воде на ријекама.

*Пито цијев*¹⁸⁵. Суштина мјерења локалних брзина помоћу Пито цијеви заснива се на принципу трансформације динамичког¹⁸⁶ притиска флуида¹⁸⁷ у статички притисак. Пито цијев (Слика 47.) има динамичку цијев, савијену и усмјерену у правцу струјања и статичку цијев, која је постављена вертикално, а у обје цијеви се мјери ниво воде.



Слика 47. Пито цијев

¹⁸⁵ Види опширније: С.Ј. Прохаска, 2003; стр. 73 – 74.

¹⁸⁶ динамика – 1. физ. дио механике који се бави кретањем тијела под дејством силе; динамичан – пун снаге, покретљив, способан за брзе и енергичне промјене

¹⁸⁷ флуид, лат. fluidus текући, према fluere тећи; 1. текућа материја, течност, излучевина, сок, гас; флуиди – општи назив за течности и гасове

У обје цијеви се мјери ниво воде, при чему у динамичкој цијеви стуб воде „за брзинску“ је већи него у статичкој цијеви. Како су обје цијеви постављене на истој висини, примјеном *Бернулијеве једначине*¹⁸⁸ добије се да вриједност брзине воде у водотоку износи :

$$V = \sqrt{\frac{2 \times \Delta p}{\rho}} ; \text{ гдје је :}$$

V – вриједност брзине воде у водотоку,

Δp - разлика притиска између двије Пито цијеви,

ρ – густина течности која струји.

У случају да се разлика притиска мјери у висини стуба течности који тече, тада је: $\Delta p = \gamma \times \Delta H$ и $\rho = \gamma / g$, гдје су:

ΔH – разлика висина у двије Пито цијеви течности чија се брзина мјери.

γ - запреминска тежина течности,

g – 9.81 m/s^2 – убрзање Земљине теже (сила гравитације).

- Брзина воде добије се по формули: $v = \sqrt{2 \times g \times \Delta H}$

Расподјела брзина у водотоку (према Јовановић et al.). Расподјела брзина у турбулентном¹⁸⁹ току под притиском или отвореном току зависи од много локалних фактора (кривудаост тока, попречни пресјек ријечног корита, уздужни профил на појединим дионицама тока, рапавост корита и др.). Слика струјања воде зависи и од протицаја, односно расподјела брзина је и функција времена.

Код расподјеле брзина на праволинијској дионици отвореног тока, постоје одређене закономјерности. Код попречног пресјека ријечног корита, идући од површине ка дну ријеке, брзине се смањују; по ширини ријечног корита брзине се повећавају идући од ријечних обала ка средини тока.

7.3.3. *Крива протицаја*¹⁹⁰.

Протицај је у најужој вези са водостајем/ водостањем. Због неправилног облика овлаженог профила протицај није непосредна функција водостања, односно протицај се утврђује за поједине одређене водостаје.

¹⁸⁸ Бернулијева једначина – једначина којом се дефинише да је притисак течности/гаса обрнуто сразмјеран његовој брзини; због тога већа брзина тока снижава притисак, нпр. код проласка течности/гасова кроз сужење цијеви; једначина је добила име по швајцарском физичару Danielu Bernoulliju.

¹⁸⁹ Турбулентан, 1. који настаје, који је захваћен турбуленцијом; 2. немиран, промјенљив, необуздан, бунтован; турбуленција, 1. *метеор.* вртложно, усковитлано кретање ваздуха у атмосфери које наступа услед промјена ваздушних слојева, 2. немир, преокрет

¹⁹⁰ Синоними су: крива протицаја, крива линија протицаја, кривуља протицаја, консумпциона крива линија, линија консумпције, кључна линија и др; у тексту ће се искључиво користити назив крива протицаја

У суштини, под кривом протицаја подразумијева се зависност између водостаја и протицаја воде. Крива протицаја се може изразити/дефинисати аналитички¹⁹¹, графички¹⁹² или табеларно.

Табела 10. Просјечни годишњи протицаји на ушћима важнијих ријека на појединим континентима

Ријека	Q (m ³ /s)	Ријека	Q (m ³ /s)		
ЕВРОПА		СЈЕВЕРНА АМЕРИКА			
1. Волга	7580	1. Мисисипи	18390		
2. Дунав	6370	2. Свети Лоренц	13920		
3. Печора	4180	3. Макензи	11100		
4. Сјеверна Двина	3460	4. Колумбија	7860		
5. Рајна	2900	5. Јукон	6560		
АЗИЈА		ЈУЖНА АМЕРИКА			
1. Јангце	31550	1. Амазон	222000		
2. Брамапутра	20420	2. Мадеира	30500		
3. Јенисеј	19800	3. Рио Негро	29300		
4. Лена	17000	4. Ориноко	29100		
5. Меконг	16170	5. Парана и Уругвај	22900		
АФРИКА		АУСТРАЛИЈА			
1. Конго	44890	1. Мари	748		
2. Нигер	8500	2. Дарлинг	276		
3. Огове	4370	3. Викторија	195		
4. Замбези	3380	4. Фицрој	181		
5. Нил	2322	---	---		
ОКЕАНИЈА					
Нова Гвинеја		Нови Зеланд		Тасманија	
1. Флај	4470	1. Клута	615	1. Дервент	194
2. Мамберамо	4122	2. Уајву	482		
		3. Уајакато	444		
		4. Балер	387		

(Извор: Дукић, Д., Гавриловић, Љ, 2006)

Ако се на одређеној водомјерној станици утврди да за поједине дефинисане различите вриједности водостаја (ниске, средње, високе), може помоћу регистрованих података да се конструише крива протицаја

¹⁹¹ Аналитички метод – научни метод про ком се издвајају поједини елементи проблема и засебно испитују, а потом се повезују у цјелину; анализа – грана математике која обухвата теорију функција, диференцијални и интегрални рачун, теорију диференцијалних једначина и друго

¹⁹² Графикон – приказ појава помоћу геометријских ликова, фигура и сл; дијаграм – графички приказ количина односа, кретања и сл.

или консумпциона крива, на ординату се наносе водостаји у см, а на апсциси протицаји у m^3/s ; она има (крива протицаја) најчешће облик параболе.

Познавање и успостављање коректне/поуздане корелације између водостаја и протицаја на водотоцима представља примарни значај за хидрологију, а самим тим и за водопривреду. Без познавања суштине тих веза тешко би се (у)радиле квалитетне хидролошке студије и тачно димензионисање водопривредних објеката. Према В. Јевђевићу (1958) за добијање хидрограма¹⁹³ треба вршити континуирано осматрање, што је, за само једну ријеку, када је у питању мјерење протицаја, скуп и временски дуготрајан посао. Осматрање водостаја је брже и наравно јефтиније, било да се ради о регистровању помоћу лимниграфа или помоћу водомјерне летве.

Данас постоји савременије (дигитално) праћење водостаја и протицаја на већини важнијих водотока ријечне мреже одређеног географског простора, као и евидентирање водостаја и протицаја током 24 сата у току дана, тако да је олакшан пут за израду криве протицаја. За криву протицаја, протицаји се мјере у цијелом интервалу у коме варирају водостаји ($H_{\min} - H_{\max}$). У хидролошкој пракси најчешће се, за различите намјене, користе подаци дневних протицаја (за све дане у мјесецу и години), а на основу аритметичке средине збира дневних протицаја одређују се мјесечни протицаји. Годишњи протицај представља аритметичку средину збира мјесечних протицаја. Ипак, најреалнију слику, кад је ријеч о промјенама протицаја, дају средњомјесечни и средњогодишњи протицаји, а као оптималан период осматрања и мјерења узима се низ до двадесет и више година. Као и код минималних и максималних вриједности водостаја ($H_{\min} - H_{\max}$) за протицаје је битно познавање и регистровање његових екстремних вриједности ($Q_{\min} - Q_{\max}$) за одређене временске периоде. Ово је посебно важно за студије којима се одређује утицај малих и великих вода за поједина подручја у сливу ријека (пољопривредне активности, насеља, риболов, туристичке активности и др.).

Крива протицаја, осим табеларно, дефинише се још на два начина: графички и аналитички¹⁹⁴. У суштини, када је ријеч о профилу водомјерне станице на природном водотоку, зависност $Q = Q(H)$ не може се одредити унапријед, на бази геометријских и хидрауличких елемената тока,¹⁹⁵ него се могу дефинисати/одредити експериментално. То се ради

¹⁹³ Хидрограм – графичка слика и хронолошки опис протицања неког водотока у природи;

¹⁹⁴ Видјети опширније: В. Јевђевић, 1956, стр. 253 – 257; С.Ј. Прохаска, 2003, стр. 105 – 107.

¹⁹⁵ Геометријски и хидраулички елементи тока су недовољно познати и промјенљиви у неком временском периоду

на бази великог броја (серије) хидрометријских мјерења ријечног протицаја на једној или више водомјерних станица неког водотока.

Табела 11. Средњогодишње вриједности водостаја и протицаја на хидролошкој станици „Врбања“ у периоду од 1926 – 2006. године

Година	H_{sr}	Q_{sr}	Година	H_{sr}	Q_{sr}
1926.	69.75	17.15	1963.	85.17	15.55
1927.	56.83	14.10	1964.	95.50	22.74
1928.	54.25	12.03	1965.	83.83	15.25
1929.	65.83	18.04	1966.	82.42	14.35
1930.	53.08	11.54	1967.	85.00	17.13
1931.	59.17	17.07	1968.	86.75	15.99
1932.	61.83	18.40	1969.	85.75	16.17
1933.	61.42	17.13	1970.	90.50	23.79
1934.	61.17	18.45	1971.	67.42	9.08
1935.	58.67	12.60	1972.	77.75	16.55
1936.	61.67	19.82	1973.	75.00	13.70
1937.	75.08	26.82	1974.	79.17	18.59
1938.	58.50	14.96	1975.	71.50	12.87
1939.	57.25	14.76	1976.	78.50	17.80
1940.	67.92	24.00	1977.	72.00	13.55
1941.	63.00	12.16	1978.	76.50	16.27
1942.	61.83	17.32	1979.	66.75	11.26
1943.	64.58	12.62	1980.	81.08	20.61
1944.	78.25	22.58	1981.	80.00	19.79
1945.	62.00	11.18	1982.	71.75	13.58
1946.	59.83	9.90	1983.	68.42	11.77
1947.	48.08	9.18	1984.	74.00	12.71
1948.	55.83	15.32	1985.	70.67	14.47
1949.	51.42	12.84	1986.	71.42	15.39
1950.	44.17	9.73	1987.	69.92	16.17
1951.	54.58	13.88	1988.	64.75	11.71
1952.	54.67	12.02	1989.	65.83	14.25
1953.	56.83	13.79	1990.	53.50	6.62
1954.	55.83	18.37	1992.	65.92	12.06
1955.	67.08	26.19	1998.	77.33	17.00
1956.	50.08	20.00	1999.	80.50	22.85
1957.	42.75	15.18	2001.	74.00	18.38
1958.	76.00	13.63	2002.	65.33	12.46
1959.	87.83	20.45	2003.	45.75	5.17
1960.	82.92	17.11	2004.	65.92	13.62
1961.	77.58	13.30	2005.	76.83	19.87
1962.	82.00	17.62	2006.	69.00	17.90

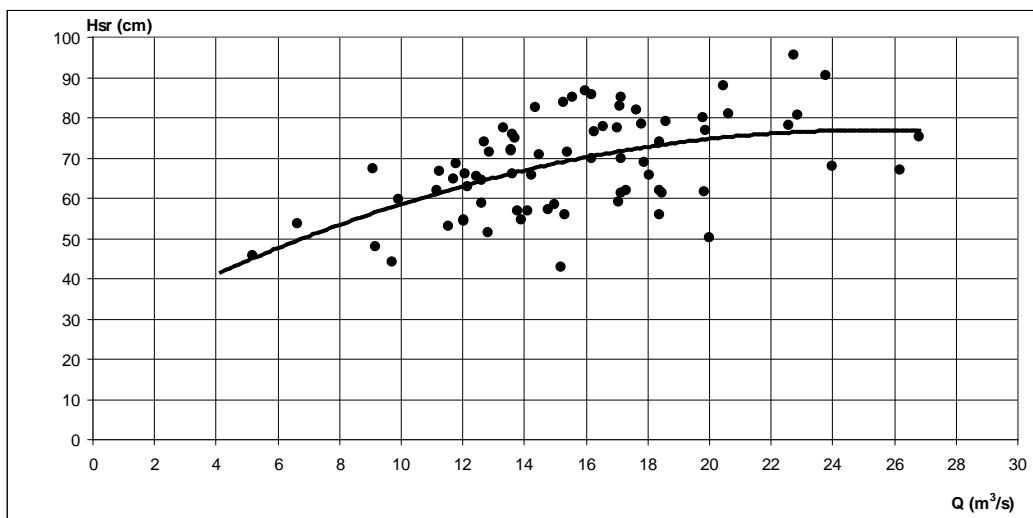
У природи је врло тешко наћи потпуно стабилне дионице/потесе ријечног тока, па се зависност $Q = Q(H)$ мора редовно контролисати, нарочито послје проласка великих вода. Хидрометријска мјерења треба

вршити у цијелом распону промјена водостаја (од H_{\min} до H_{\max}) за одређене временске периоде.

Графички начин. Крива протицаја графички се добија повлачењем линија по нанетим тачкама (Q , H), тако да приближно исти број тачака остаје са једне и друге стране криве (Табела 11., Слика 48).

Уношењем вриједности тачака за Q (m^3/s) и H (cm) на координантне осе y и x (апсису за Q и ординату за H) омогућавају се услови за конструисање и исцртавање криве протицаја.

На графикону, тамо гдје има изразитих група тачака, треба тежити да у свакој групи буде исти број тачака, које крива протицаја оставља са сваке стране. Већина хидролога се слаже да за примјену графичког начина, који се често користи, има низ оправданих разлога: одступања графички конструисане криве протицаја од аналитички добијене криве протицаја мања су од одступања која се јављају код мјерења протицаја; индивидуална мјерења протицаја разних хидрометара не могу имати исту валидност; у пракси је често недовољан број мјерења да би се увијек могле искористити методе прилагођавања разних функција на осматране резултате; код графичког начина знатно је бржи рад; могуће је за ефикасно за разне водостаје (мале воде, средње воде, велике воде) повлачити посебне дијелове криве протицаја веће тачности, како и дефинисати подручја гдје почиње поплавно подручје.



Слика 48. Зависност $Q = f(H)$ – крива протицаја в.с. „Врбања“, ријека Врбања (урађено на основу података из Табеле 11., за период 1926 – 2006. године)

Можемо закључити да, уколико се не тражи посебна прецизност података, графички начин повлачења криве протицаја у већини случајева је референтан (прихватљив). Карактеристика графичког начина криве протицаја је у томе да се лако откривају грубе грешке.

*Аналитички*¹⁹⁶ *начин*. Добијање криве протицаја аналитичким путем заснива се на избору функција одређеног типа. Свака таква функција садржи два, три или више коефицијената или параметара¹⁹⁷, које за сваку посебну/поједину криву протицаја треба посебно одредити. Одређивање параметара се заснива на начину узајамне зависности/повезаности тачака Н и Q (Табела 11, Слика 48).

7.3.4. Хидрограм¹⁹⁸/хидрограф протицаја.

На основу базе података на мјерним станицама, промјене водостаја и протицаја у одређеном временском периоду (дан мјесец, година, вишегодишњи период и др.) могу се представити календарским (хронолошким) графиконом. Он се конструише тако што се на ординату уносе водостаји, односно протицаји, а на апсцису вријеме на које се односе те величине. На основу тога могу се добити дневни, мјесечни и годишњи хидрограми, односно средњодневни, средњомјесечни и средњогодишњи хидрограми водостаја и протицаја.

Хидрограми/хидрографи имају велики апликативни (намјенски/ примјенљив) значај у анализи ријечних режима. На њима се може утврдити удио површинских и подземних вода, које доспијевају у ријечне токове. То се омогућује *рашчлањивањем хидрограма*, а постоји неколико начина рашчлањивања хидрограма, чији су аутори Б.А. Пољаков, М.И. Љвович, Б.И. Кудељин, Уист де Р. и други.

Б. А. Пољаков констатује да се у прољеће при повећању протицаја смањује удио подземних вода; подземних вода нема у периоду највећих протицаја, а када он почне да се смањује, прво се повлачи вода из полоја (дијела дна ријечне долине, периодично плављеног), уз истовремено храњење протицаја из плиће издани (подземна вода која, под утицајем гравитације испуњава шупљине у растреситом земљишту).

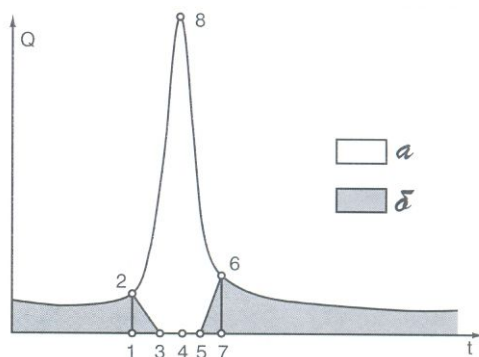
¹⁹⁶ Аналитички – научни метод при коме се издвајају поједини елементи проблема и засебно испитују, а потом се повезују у цјелину.

¹⁹⁷ Параметар – 1. *мат.* свака величина која се садржи у некој функцији или математичком изразу и који утиче на укупну вриједност те функције или израза; 2. *уопштено*. Величина према којој се се што одмјерава, која представља мјерило

¹⁹⁸ 1. хидрограм - графичка слика и хронолошки опис протицања неке ријеке у природи; 2. хидрограф – графички приказ промјене водостаја или протицаја током године или дијела године (сезоне, поводња, поплава) у датом дијелу ријечног корита; конструишу се тако да се на ординату уносе водостаји, односно протицаји, а на апсцису вријеме на које се односе те величине

М. И. Љвович истиче да је рашчлањивање хидрограма за дужи низ година тежак и спор рад. Он препоручује да се умјесто хидрограма за дужи низ година на једном профилу узму сљедеће вриједности: за двије средњоводне године, једну маловодну и једну многоводну годину. Утврђено је да су резултати задовољавајући – наведена четири хидрограма (са протицајима поменутих учесталости) интерпретирају адекватне резултате које дају хидрограми за одређени хомогени низ година;

- Б. И. Кудељин¹⁹⁹ даје сљедећу схему издвајања учешћа подземних вода у протицају ријеке, када ријека прима воду из ријечних обала (Слика 49.).



Слика 49. Хидрограм: схема издвајања протицаја од површинских (а) и подземних вода (б) при обалном регулисању храњења протицаја (Извор: Б.И. Кудељин)

При порасту водостаја у ријечном кориту подземно притоцање воде (б) нагло се смањује, а потпуно престаје при највишем нивоу, када наступа негативна фаза у храњењу ријеке подземном водом.

Линија 1- 2 показује престанак притоцања подземне воде у ријеку. У великим сливним подручјима кроз одређени профил (углавном водомјерне станице) могу дјелимично да протичу и подземне воде, које достијевају у ријечно корито у горњем току ријеке.

Вријеме престанка притоцања тих вода кроз одређени профил (тачка 3) одређује се у сваком појединачном случају по подацима (календару) о почетку и престанку поводња у сливу горњег тока ријеке и брзине дотицања/достијевања воде у ријечно корито главног тока у сливу. Ова брзина се одређује најчешће по времену проласка врха поводња на два профила (истог водотока/исте ријеке) за које су урађени/нацртани

¹⁹⁹ Преузето дјелимично од: Д. Дукић, Љ. Гавриловић (2006), стр. 145-146

хидрограми (наведеног поводња). Притицање подземних вода у ријеку обнавља се послјие престанка поводња у горњем току ријеке (тачка 4).

Те воде протичу кроз разматрани профил у зависности од брзине дотицања, по којој се одређује положај тачке 5.

Повећање удјела подземне воде у протичају ријеке настаје по правој 5 – 6; линија 6 – 7 одређује на хидрограму храњење протичаја подземном водом из ријечних обала; истовремено тачка б. представља почетак периода са малим протичајима у којем учествују само подземне воде.

Типови схема рашчлањивања хидрограма ријека које је дао Б.И.Кудељин (Слика 50.) су врло јасни и релативно једноставни, тако да објашњење испод слике не захтијева посебан коментар.



Слика 50. Схеме рашчлањивања хидрограма ријека (по Б.И. Кудељину)

I - схема хидрогеолошких услова²⁰⁰; II – особености колебања нивоа ријечних и подземних вода; III – режим подземног притицања воде у ријеку; IV – схема рашчлањивања хидрограма ријеке, 1 – водоносне стијене; 2 – вододрљиве стијене; 3 – површинско храњење протичаја; 4 – подземно храњење протичаја из водоносних хоризоната хидраулички неvezаних за ријеку; 5 – подземно кретање протичаја из водоносних хоризоната хидраулички повезаних са ријеком; 6 – притицање воде из водоносних хоризоната под притиском; 7 – ниво подземних вода: ВВ – висока вода; НВ – ниска вода; -А и А' - негативна и позитивна фаза у притицању подземне воде у ријеку у периоду поводња; Т – период обалног регулисања површинског храњења протичаја

²⁰⁰ Хидрогеологија – наука о подземним водама

7.3.5. Остале јединице за мјерење протицаја и отицања падавина са ријечног слива.

Код хидролошких прорачуна за различите потребе прихваћен је и у употреби је неколико мјерних јединица. Једна од тих јединица, коју је у хидрологију увео Гравелијус, је специфични отицај.

7.3.5.1. Основне карактеристике отицаја

Специфични отицај представља број литара атмосферске воде која отекне са површине од 1 km^2 у једној секунди; обиљежава се са q , а изражава у $l/s/\text{km}^2$. Добија се по обрасцу

$$q = \frac{Q \times 1000}{F} \quad (l/s/\text{km}^2),$$

у којем је Q – протицај у m^3/s , а F – површина слива у km^2 . Протицај се множи са 1000 да би се m^3 претворио у литре.

Специфични отицај у хидрологији је погодна мјерна јединица за низ хидролошких проучавања ријечних токова. Вриједности специфичног отицаја се, најчешће, смањују од извора ка ушћу ријеке, јер се у том смјеру и најчешће смањује и висина падавина у сливу, али примјери климатске зоналности показују и супротне примјере.

Код специфичног отицаја, у хидролошким анализама, користе се подаци његових дневних, мјесечних, годишњих, средњомјесечних и средњогодишњих вриједности, као и у појединим анализама вриједности апсолутних максималних и минималних величина. На основу вишегодишњих мјерења и регистровања апсолутно максималних и минималних протицаја (Q) и њихових специфичних отицаја (q) могу се извести одређени закључци (према: Дукић, Д., Љ. Гавриловић, 2006):

- најмању релацију²⁰¹ између екстремних протицаја и њима одговарајућих специфичних отицаја су у великим сливовима;
- максималне релације између екстремних протицаја и њима одговарајућих специфичних отицаја су у малим сливовима (који су огољени);
- што је мањи однос између екстремних протицаја и специфичних отицаја, утолико је режим протицаја уравнотежнији, а водоток/ријека повољнија за водопривредну искоришћеност;
- све већа разлика између екстремних протицаја и специфичних отицаја показује да режим протицаја има наглашен бујичарски карактер; то захтијева адекватне биотехничке радове у сливу или дијелу слива, у сврху сређивања актуелног стања;
- карст и карстне површине и у малим сливовима смањују разлике између екстремних протицаја и специфичних отицаја; и у

²⁰¹ Релација – међусобна зависност двију величина; размјера

периоду суша подземне/пукотинске воде отичу у водотоке/ријеке у количинама које хране њихов/ријечни протицај;

- највеће специфичне отицаје имају сливови ријека екваторијалног поднебља и монсунске климе, потом ријеке са изворишним планинским сливовима; најмање специфичне отицаје имају степско – пустињске ријеке.

Запремина отекле воде (V), односно количина отекле воде са слива за одређени период времена (дан, мјесец, година) одређује се према формули:

$$V = Q_{sr} \times T \text{ (m}^3\text{)} ;$$

гдје је V – запремина отекле воде (m³), Q_{sr} = средњи годишњи протицај (m³/s); T – временски период;

Слој отицаја (h) је количина воде отекле са слива, равномјерно распређене по цијелој површини и одређује се по формули:

$$h = \frac{V}{F \times 10^6 m^2} \text{ (mm/год)} ; \text{ (слој отицаја – висина отицаја)};$$

V – запремина отекле воде (m³) за дати период времена;

F – површина слива (km²)

Висина отицаја (Y) представља просјечну висину слоја падавина равномјерно распоређене по сливу, која храни протицај; изражава се у mm; вриједност висине отицаја добија се из специфичног отицаја по формули:

$$Y = \rho \times 31.56 \times 10^6 \text{ mm} ,$$

у којој је 31.56 × 10⁶ број секунди у просјечној години (3 обичне + 1 преступна).

7.3.5.2. *Одређивање просјечних падавина у сливу преко познатог слоја отицаја и коефицијента отицаја - α*

Коефицијент отицаја (I) представља однос слоја отекле воде (h) и висине падавина на сливу (P) за исти период, тј: (α = 0.3)

$$\alpha = \frac{h}{P} \Rightarrow P = \frac{h}{\alpha} ;$$

Коефицијент отицаја (II) преставља однос између висине отицаја Y₀ и висине падавина (X₀). Он показује који дио падавина излучених на површину слива отиче у ријеку и храни њен протицај. Коефицијент отицаја се означава словом C, а представља безразмјерну величину

(помножен са 100 даје проценте, па се може и тако представити).
Одређује се по формули:

$$C = \frac{Y_0}{X_0} = \frac{q \times 31.56 \times 10^6}{X_0} \times 100\%$$

Сумарна линија дотицаја. Код прорачуна изравнавања вода (регулисање протицаја) често се примјењују тзв. ИНТЕГРАЛНЕ КРИВЕ (сумарне линије) које показују ток постепеног пораста вриједности отицаја (изражених у запремини) у функцији времена, од усвојеног почетног тренутка t_0

$$V(t) = \int_{t_0}^{t_1} Q(\tau) d\tau ; \text{ или у дискретном (развијеном облику) :}$$

$$V_k = \sum_{i=1}^k Q_i \times \Delta t_i = \sum_{i=1}^k \Delta V_i = V_{i-1} + V_i$$

$$\Delta t - \text{просјечна година: } \sum \Delta t = 31.5576 \times 10^6 \text{ s;}$$

На основу података из одговарајуће табеле конструише се *ХИСТОГРАМ ДОТИЦАЈА* (хистограм – графички приказ дистрибуције фреквенције, при чему се фреквенције низа представљају правоугаоникима (стубићима); ордината : Q_{sr} (m^3/s), апсциса : t (мјесеци I – XII).

7.4. Крива трајања и учесталост протицаја.

Крива трајања показује колико је у неком периоду трајао одређени протицај и сви протицаји већи од њега. Крива учесталости показује број колико се пута неки протицај јавио у одређеном интервалу. За израду прегледа трајања и учесталости укупна амплитуда протицаја од Q_{max} до Q_{min} дијели се на интервале, а затим се врши инвентар броја дана појава протицаја у сваком интервалу.

Приближан број интервала може се одредити по обрасцу : $n > 5 \log N$

7.5. Фазе водног режима.

Појам водног режима садржи укупност и редосљед промјена квантитативних и квалитативних својстава воде у ријекама, али и начинима развоја воде у сагласности са географским простором који је окружује. На основу претходне, поједностављене, дефиниције водног режима можемо констатовати да он има јасно диференциране (различите) компоненте: квантитативну (количинске вриједности енергије воде) и квалитативну (промјене квалитета воде у времену и простору).

Хидрологија се, у суштини, бави проучавањем основних квантитативних компоненти елемената водног режима. Квантитативне карактеристике водног биланса које представљају основу за димензионисање хидротехничких²⁰² објеката могу се дефинисати као (Прохаска, 2003):

- уређење водотока ради заштите обале од плављења и неконтролисаног развоја ријечног корита,
 - уређење водотока за потребе пловидбе,
 - уређење водотока у склопу мелиорационог система,
 - уређење водотока у склопу хидроенергетског система,
 - регулација ријечних токова на потесима (дионицама) кроз насеља,
 - изградња локалних насипа ради заштите појединих објеката у непосредној близини ријечног корита (жељезничка пруга, мостови и др.),
 - димензионисање акумулација ради регулисања протицаја и управљање режимом вода, посебно код појаве катастрофалних вода,
 - димензионисање објеката у самом ријечном кориту (стубови за мостове, различити водозхвати и др.),
 - уређење ријечног корита у зони захвата воде или испуста отпадних вода,
 - измјештања ријечног корита да би се заштитило приобално подручје од посебне важности, нпр. површински рудни копови и др.
- Годишњи ток водостаја или протицаја обухвата најмање два изразита периода (на многим ријекама на четири изразита периода), који се називају *фазе водног режима*. Фазе водног режима се најбоље представљају на хидрограмима/хидрографима²⁰³.
- као просјечан укупни годишњи протицај, $m^3/год$.

²⁰² Хидротехника (грч. *hudor* – вода и *techne* – умјетност, мајсторство), грана науке и технике која се бави изучавањем водених ресурса, њиховим индустријским искоришћавањем и борбом против рушилачке снаге воде помоћу хидротехничких уређаја, постројења и оруђа

²⁰³ Графички приказ промјене водостаја или протицаја током године или дијела године (сезоне, поводња, поплава) у датом дијелу ријечног корита; конструишу се тако да се на ординату уносе водостаји, односно протицаји, а на апсцису вријеме на које се односе те величине

7.5.1. Расподјела отицаја током године.

Ово је врло важан параметар за водопривредне области, односно водопривредне гране. Чињеница је да постоје сезонске промјене у низу водених токова под утицајем климатских елемената²⁰⁴, које утичу на ријечни отицај. Поред климатског сегмента, на унутаргодишњи режим отицаја значајан утицај имају: вегетација, врсте земљишта, старост, састав и грађа Земљине коре, заступљеност карста у сливним подручјима, лимнолошке карактеристике слива и антропогене активности у сливу (ХЕ, мрежа канала за наводњавање, изградња насипа и др.).

У суштини, постоје три основна типа режима расподјеле унутар године: једноставни режим, сложени тип првог реда и сложени тип другог реда (Прохаска, 2003):

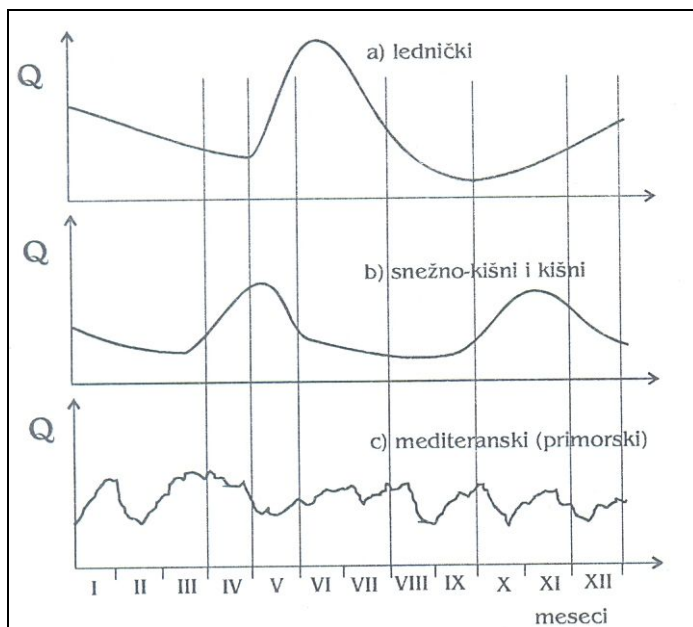
- једноставни режим имају ријеке код којих постоје само двије изражене сезоне: влажна и сушна; на отицај утиче један од два доминантна климатска елемента: температура ваздуха²⁰⁵ и кишне падавине²⁰⁶,
- у сложене типове првог реда спадају: прелазни сњежни тип, сњежно – кишни тип и кишни режим, са двије сезоне великих вода,
- сложене типове другог реда чине ријеке са различитим климатским утицајима; на примјер дуж тока ријеке Дунав мијења се карактер унутаргодишњег режима; почиње узводно, од претежно ледничког типа па све до сложеног типа са двије кишне сезоне низводно од ушћа великих ријека²⁰⁷, које у знатној мјери мијењају режим.

²⁰⁴ Климатски елементи имају врло промјенљиве вриједности, јер су у основи зависни од низа процеса и појава у атмосфери. Због тога су за климатологију, хидрологију, геоморфологију, педологију и др. значајне њихове средње и екстремне вриједности запажене (регистроване) у одређеном периоду

²⁰⁵ у овом случају појављује се леднички, сњежни планински и сњежни равничарски тип

²⁰⁶ у овом случају појављују се кишни тропски, кишни океански и кишни медитерански (приморски) режим отицаја

²⁰⁷ Драва, Тиса, Сава и Велика Морава



Слика 51. Основни типови режима расподеле унутар године
(према С.Ј. Прохаска, 2003)

7.6. Просјечне воде.

Под појмом „режим просјечних вода“ подразумевају се: просјечни годишњи протицај на излазном профилу слива, просјечан годишњи отицај са слива, просјечно трајање протицаја и др. Под просјеком отицаја подразумева се средња аритметичка вриједност протицаја у дужем периоду. У случају да не постоји довољно релевантан период осматрања (минимум од 10 – 20 година), просјек се може одредити, али најчешће са мањом или већом грешком. Просјечни отицај (просјечни протицај) за вишегодишњи период може се изразити на више начина (Јевђевић, 1956):

- као слој воде који отиче у одређеном временском интервалу са цијеле површине (у mm),
- као модул отицаја (специфична издашност, просјечна издашност или нормални модул отицаја);
- као просјечан укупни годишњи протицај, m³/год.

7.7. Велика вода.

Појам велике воде у водотоку до данас није до краја разјашњен нити устаљен. Често се пута за велику воду усваја стање кад ријечно корито више није у стању да сву воду проводи низводним током, па долази до изливања воде из профила ријечног корита и штете од великих вода. Тешко је поставити границу између обичних високих водостаја и

водостаја који проузрокују штете. Најчешћи узроци настајања великих вода у ријечном току су: јаке кише, топљење снијега или обје те појаве заједно. Распоред и величина великих вода овисе о сушном и кишном раздобљу у току године. Услови и узроци великих вода, овисно о годишњем добу, често се међусобно разликују. Појавама великих вода погодују одговарајући геолошки састав слива, топографски услови и степен пошумљености неког слива. Неконтролисана сјеча је чест узрок поплава у многим сливовима, а изражена је у сливу већих ријека и њихових значајнијих притока.

Степен засићености земљишта водом такође је битан фактор појаве великих вода. Највиши забиљежени водостај на неком водотоку, не искључује могућност да будућа велика вода буде већа од највеће до тада забиљежене. Јер, без обзира на то колико се дуго на неком сливу врши мониторинг великих вода, то никако не искључује могућност појављивања неког знатно вишег водостаја, односно већег протицаја. Због тога не треба највећу забиљежену воду усвајати као мјеродавну. У хидролошкој пракси говори се о стогодишњим, петстогодишњим и хиљадугодишњим водама, као и о водама са краћим периодима.

Но, треба знати да се неке воде могу јавити и више пута у неком краћем периоду. У посебним случајевима, када је потребна апсолутна безбједна заштита од великих вода, одређује се највећа вјероватна могућа поплава – *PMF* (кратица од енглеског: Probable (possible) maximum flood). То је највећа поплава која се може очекивати узимајући у обзир све главне факторе географског простора, метеоролошких елемената, хидрологије и морфологије простора.

Граница између обичног високог водостаја и велике воде је неодређена, а може се, у неким случајевима, одредити просјечном висином ријечних обала и економски утицајем на простор инундационе равни. У суштини под термином „велика вода“ појмовно подразумијевамо стање водног режима када се водостај и протицај ријеке повећа(ва), услед тога долази до изливања ријечне воде из матичног корита и плављења приобалног простора (инундационе²⁰⁸ равни). Пораст нивоа воде може бити постепен, али и релативно брз, а од брзине пораста нивоа воде често зависе мјере заштите становништва и материјалних добара.

²⁰⁸ Инундација (лат. inundatio, ин – префикс: у, на, ка, према; лат. unda – талас), плављење, поплава, поводањ

Дефиницијâ велике воде има веома много у хидролошкој литератури, а навешћемо само неке које су присутне у савременој литератури:

- велика вода је таква фаза водног режима који се појављује сваке године у једно те исто доба и одликује се дуготрајним и знатним повећањем водности ријеке, изазива повишење њеног нивоа и поплаву полоја²⁰⁹,
- под појмом „велика вода“ подразумејева се стање водног режима, када се водостај, односно протицај ријеке повећа и када, скоро о правилу, услед тога долази до изливања воде из основног корита и плављења приобалног терена²¹⁰,
- велике воде представљају протицаје и водостаје који у равницама и у терасастим обалама превазилазе капацитет нормалног корита, односно прелазе ивице обала²¹¹.

Настанак великих вода, а самим тим и поплава у неком сливу, има неколико узрока. Могу настати од обилних и дуготрајних киша, наглог топљења снежног покривача у сливу или истовременом појавом обилних киша и топљења снијега. Код мањих сливова и водотока велике воде се јављају најчешће од пљусковитих падавина.



Слика 52. Срушени мост на ријеци Јошавки у насељу Јошавка Доња – поплаве у мају 2014. године (општина Челинац)

²⁰⁹ Д. Дукић, Љ. Гавриловић, 2006

²¹⁰ С.Ј. Прохаска, 2003

²¹¹ В. Јевђевић, 1956

На равничарским ријекама континенталних климата, као и на ријекама високих планинских система, велике воде настају од сњежнице и сочнице²¹². На равничарским ријекама велике воде се јављају у прољетним и љетним мјесецима, а на планинским ријекама само у љетним мјесецима. Велике воде изазване кишама јављају се у току цијеле године, у свим годишњим добима, што зависи од pluвиометријског режима и температуре ваздуха у току године.



Слика 53. Новоизграђени мост на ријеци Јошавки у насељу Јошавка Доња (мај 2016. године)

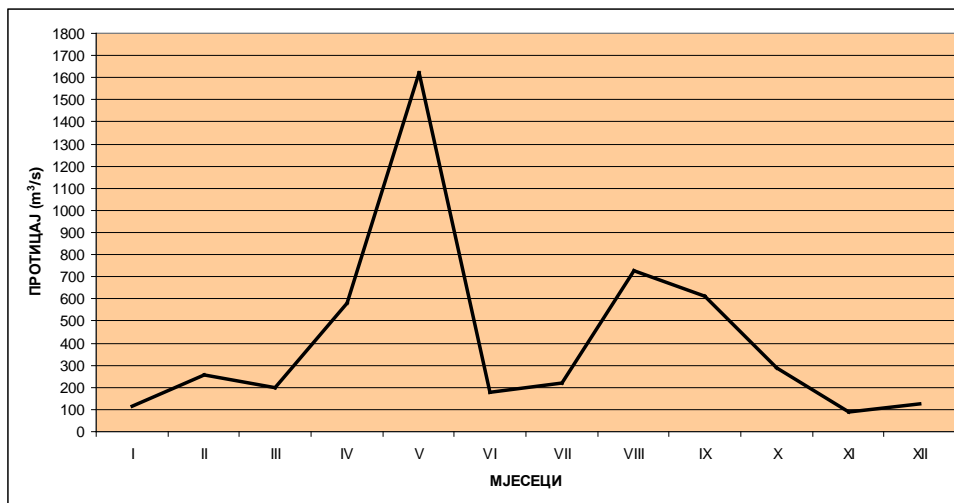
Код великих вода пораст нивоа воде (H) и протицаја (Q) у ријечном кориту је релативно брз. Након достигнутог максимума долази до постепеног опадања водостаја и протицаја. Дијаграм²¹³ који показује промјену протицаја неког водотока на одређеној локацији (мјерној станици) у току времена зове се *хидрограм*. Уколико се умјесто

²¹² Сњежница – сочница, вода која настаје топлењем сезонског снијега, који се накупио у хладном периоду године у ријечном басену, а такође и топлењем ледника у планинама; у поређењу с водом атмосферских падавина сњежница/сочница је богата угљендиоксидом и има велику способност растварања карбонатних стијена

²¹³ Дијаграм (грч. διάγραμμα – цртеж), графички приказ количина, односа, кретања и сл; графикон

протицаја нанесу вриједности водостаја, као функције времена, такав дијаграм се зове *нивограм*. У хидрологији се често користи и термин *хидрограф*²¹⁴.

Облик хидрограма зависи од низа фактора, али су примарни: топографске карактеристике слива (облик и пад слива) и трајање и интензитет расподеле падавина у сливу.



Слика 54. Хидрограм ријеке Врбаса, в.с Делибашино село, за максималне вриједности мјесечних протицаја у 2014. години

*Јединични хидрограм*²¹⁵.

Према Б. Прохаски „јединични хидрограм представља хидрограм директног отицаја на одређеном сливу изазван ефективном кишом трајања T и јединичне висине“. Теорију јединичног хидрограма предложио је амерички хидролог *L. K. Sherman* (1932). Ова теорија, иако је стара више од 80 година, ни до данас није изгубила на својој актуелности. Увођењем нових метода анализе и синтезе система у хидрологији, као и све распрострањенијом примјеном рачунара, методе за прорачун и примјену јединичног хидрограма су допуњене и усавршене, док је принцип *Shermanove* теорије остао практично непромијењен.

Велике воде на ријекама могу се јавити као посљедица сљедећих узрока (Прохаска, 2003):

²¹⁴ Хидрограф (грч. *hydro* – вода и *grapho* – пишем), графички приказ промјене водостаја или протицаја током године или дијела године (сезоне, поводња, поплаве) у датом дијелу ријечног корита; конструише се тако да се на ординату уносе водостаји, односно протицаји, а на апсцису вријеме на које се те величине односе

²¹⁵ Опширније видјети: Б.Ј. Прохаска, 2003, стр. 328 - 344

- усљед јаких киша, тако да карактеристике поплавног таласа зависе од јачине, распрострања, трајања и правца кретања кишних догађаја,
- топлее нагомиланог снијега,
- усљед рушења преграде која је због одрона створила језеро,
- усљед рушења брана или насипа,
- усљед погрешног руковања покретним уставама на бранама,
- усљед промјене водног режима на притокама и изазивања вјештачке коинциденције²¹⁶ појаве великих вода на главној ријечи и притокама,
- усљед формирања ледених баријера на ријекама,
- усљед заустављања и нагомилавања дрвета при сплаварењу и другим активностима, односно због депоновања крутог отпада (недовољна пропусна моћ мостова – посебно на малим водотоцима у урбаним зонама и сл.),
- усљед појаве вјетра на ушћима већих ријека и мора (са утицајем плиме) и др.

Кише и топлее снијега су најчешћи узроци, а често се јављају истовремено са још неким узрочником велике воде. Поплаве у нашој држави настају углавном као посљедица обилних кишних падавина и топлее снијега, али ни друге узроке не треба занемарити (притоке, мостови, узурпација ријечних корита и др.).

Познавање велике воде је од великог значаја за димензионирање²¹⁷ хидротехничких објеката (објеката за заштиту од поплава) и од пресудне је важности са аспекта економичности²¹⁸ изградње и са становишта безбједности. Могућа су два случаја²¹⁹:

1. димензионирање хидротехничких објеката, извршено на рачунски потцијењене велике воде, доводи до повећаног ризика од плављења и уништавања материјалних добара са свим осталим неповољним посљедицама;

2. прецијењене велике воде смањују ризике, али имају за посљедицу (из)градњу предимензионираних, што није у сагласности са стварним потребама безбједности, већ представља непотребне трошкове

²¹⁶ Коинциденција – подударање, поклапање, истодобно збивање, случајна подударност

²¹⁷ Димензија (лат. *dimensio* – мјерење), величина којом се мјери простор; општи назив за дужину, ширину и висину; димензионирати – одредити, одређивати димензије чега; установити, установљавати, одређивати величину чега

²¹⁸ Економичан – који доноси уштеду, рационалан у трошковима, штедљив, чуваран; економичност – начин пословања тако да се уз што мање трошкова постигне што већи привредни ефекат

²¹⁹ Видјети опширније: С.Ј. Прохаска, 2003 стр. 315 - 350

и расипање инвестиционих средстава²²⁰. Има случајева да се велике воде одређују насумице, уз подршку несигурних памћења или сумњивих забиљешки. Из наведених разлога степен безбједности од великих вода разликује су у значајном распону код бројних објеката.

Методи за одређивање мјеродавне велике воде се, у зависности од расположивих података осматрања и мјерења, могу сврстати у три групе:

1. методи прорачуна велике воде на хидролошки изученим профилима (ријечни профили на којима се прикупљање хидролошких и метеоролошких података врши непрекидно у дугом временском периоду),
2. методи за прорачун велике воде на хидролошки недовољно изученим профилима (профили гдје се јављају временске паузе у прикупљању података; недовољан временски период у прикупљању података),
3. методи за прорачун велике воде на хидролошки неизученим профилима (профили без хидролошких и метеоролошких података).

В. Јевђевић методе за прорачун највећих великих вода за разне практичне потребе сврстава у четири групе:

1. употреба досад једне највеће или неколико највећих запажених великих вода,
2. велике воде одређене из падавина, односно из заједничких метеоролошких и хидролошких разматрања и рачунања,
3. примјена математичке статистике на осматране велике воде и одређивање вјероватноће појаве највећих великих вода,
4. употреба емпијски²²¹ изведених образаца за велике воде

Тешко је донијети одлуку о томе која је метода најбоља за прорачун великих вода, али је још мање препоручљиво да се примијени само једна метода. Кад год је то могуће, треба примјенити више метода, посебно за велике воде мањих сливова. Гдје је год практично могуће треба одредити велике воде на два или више начина, па резултате упоредити међусобно (Јевђевић, 1956).

Поводањ је сразмјерно краткотрајно издизање нивоа воде у ријечи, које се јавља услед обилних киша, брзог топљења снијега, испуштања воде из акумулационог басена и др. За разлику од поплава, догађа се у свако доба године. Кишни поводањ има профил таласа са стрмијом чеоном страном, који се, текући низ ријеку, расплињава, а на дугим ријечним токовима често не испољава као значајније повишење водостаја и повећање протицаја.

²²⁰ Инвестиција – улагање капитала у какав посао, предузеће и др.; инвестициони радови – јавни радови, изградња већег обима

²²¹ Емпијски, 1. који је заснован на искуству, искуствен; 2. који је добијен истраживањем и експериментално, а не изводи се из теорије

7.8. Мала вода је фаза водног режима ријека, односно период ниског водостаја, који не траје мање од 10 дана. Мала вода²²² је најчешће условљена сувим или мразним/хладним временом, када се водност ријеке одржава углавном подземним храњењем. Према времену појављивања разликују се зимска и љетна мала вода. Познавање режима и својстава малих вода ријечних токова је од пресудне важности за уређење ријечних корита. Велики значај познавања малих вода је и код пројектовања, грађења и коришћења у водопривреди: водоснабдијевања, наводњавања, коришћења водних снага, пловидбе, рибогојства, туризма, заштите животне средине и др.

Појава малих вода често се повезује са појавом суше. Постоје бројне дефиниције и параметри којима се она дефинише. Неке од дефиниција суше су базиране на климатским елементима (падавине, инсолација, вјетар), неке на малим водама и др. Биро за вријеме САД²²³ дефинисао је сушу као „недостатак кише тако велики и дуготрајан да штетно дјелује на биљке и на животиње околине, те озбиљно смањује воде за домаћу употребу и рад хидроелектрана, нарочито у оним регионима гдје су падавине нормално довољне за такве потребе“. Свјетска метеоролошка организација²²⁴ дефинише сушу као „продужено одсуство (падавина), изражен дефицит или лоша расподјела падавина“. Организација Уједињених нација за образовање, науку и културу (УНЕСКО)²²⁵ сушу дефинише као „период абнормалног суhog времена довољно продужен да недостатак падавина озбиљно ремети хидролошку равнотежу“. У Речнику савремене српске географске терминологије²²⁶ суша се дефинише као „дуготрајан период (1-2 мјесеца, а некад и дуже) с малом количином падавина или њиховим одсуством, праћен повишеним температурама и смањеном влажношћу ваздуха и тла“.

Очигледно је да главни узрок суше/суша је дефицит падавина код бројних сливова, али су различити симптоми њеног испољавања. Суша се манифестује ниским водостајима и протицајима, условљава оскудицу воде у фреатичној зони²²⁷ смањивање нивоа и запремине воде у природним и вјештачким акумулацијама (језерима). У пољопривредној производњи суша често може имати катастрофалне посљедице због дугих периода дефицита влаге у земљишту.

²²² Мала вода, као термин, користи се и у океанологији и представља минималну висину нивоа мора за вријеме једног плимског циклуса

²²³ U.S. Weather Bureau

²²⁴ WMO

²²⁵ UNESCO/WMO International Glossary of Hydrology

²²⁶ Наталија Мاستило, Београд, 2001

²²⁷ Зона у карсту у којој вода трајно испуњава шупљине и у којој преовладава отицање под притиском

У хидрологији се под термином суше (хидролошка суша) подразумевају дужи временски периоди малих вода. Одликују их наглашено ниски водостаји у водотоцима и акумулацијама, са вриједностима који су значајно мањи од вишегодишњег просјека. Дуготрајни сушни периоди често доводе и до значајног опадања нивоа и залиха у изданима²²⁸. У хидрологији се периоди времена са појавом екстремно малих протицаја називају *маловодни периоди* (слабоводни периоди).

У хидролошкој пракси од значаја је изучавање сљедећих карактеристика маловодних периода (Прохаска, 2003):

- вриједности екстремно малих протицаја – Q_{\min} ,
- трајање маловодних периода – T ,
- дефицит вода током маловодног периода – D .

7.8.1. Трајање малих вода и дефицит вода у маловодном периоду.

Под појмом маловодни период подразумејева се, у хидролошком низу дневних протицаја, број узастопних дана током којих није превазиђен неки задати ниски протицај.

Основне карактеристике режима малих вода у маловодном периоду, поред већ споменуте екстремно минималне вриједности протицаја, јесте трајање маловодних периода са протицајима испод унапријед усвојеног референтног нивоа, као и одговарајући дефицит вода који се добије по обрасцу (формули):

$$D(T) = \sum(Q_{0,\min} - Q) \times \Delta t \quad (\text{m}^3)$$

гдје је:

$D(T)$ – дефицит воде (m^3)

$Q_{0,\min}$ – референтни протицај (m^3/s)

Q – тренутни протицај (m^3/s)

Δt – период дискретизације времена (s); (*дискретан*, мат. одвојен, посебан, дисконтинуиран)

7.8.2. Водопривредни аспект малих вода. Водопривреда је грана привреде која се бави развијањем и заштитом водених ресурса, њиховим уређењем и искоришћавањем. Ослања се на резултате свих хидролошких дисциплина, посебно на регионалну хидрологију и инжењерску хидрологију. Циљеви низа водопривредних грана је у томе да коригују водне ресурса у смислу обезбјеђења оптималних количина и квалитета воде и њеног односа са природним и географским окружењем. Основни приоритети су да смање велике воде, односно оплемене/повећају мале воде, побољшају квалитет малих вода и др.

²²⁸ Издан – подземна вода која, под утицајем гравитације, испуњава поре, пукотине и шупљине у растреситом земљишту изнад неке непропустљиве подлоге

Да би се упјешно реализовали и остварили задаци постављени у водопривредним основама, студијама и пројектима, потребни су објекти у функцији уређења вода и водотока, односно објекти који могу битније да мијењају квантитет и квалитет водних ресурса. Акумулација²²⁹ је најприхватљивији објект за управљање водним ресурсима. Њеном изградњом могу се регулисати протицаји у одређеним временским периодима и остваривати жељени водни режим. У ријечном сливу посебна је улога акумулација у горњим дијеловима водотока и слива (чеоне акумулације) јер се на тај начин постиже најефикасније управљање водним режимом. Циљаним испуштањем воде добију се пројектовани жељени квантитативни режими уз ефикасно оплемењивање малих вода, испуштањем чисте воде из чеоних акумулација.

За већину водопривредних области и водопривредних грана посебну важност имају два режима: „водопривредни минимум“ и „еколошки гарантовани минимум“²³⁰.

- водопривредни минимум ($Q_{\text{vod, min}}$) је протицај који узводни корисници морају да оставе у ријеци низводно од својих захвата за потребе низводних корисника; до ове величине долази се оптимизацијом²³¹ и итеративним²³² усаглашавањем узводних и низводних корисника;
- еколошки гарантовани минимум ($Q_{\text{ekol, min}}$) је величина протицаја ријеке која се мора увијек обезбиједити у ријеци за нормалан опстанак и развој биоценозе у ријеци као биотопу.

Гарантовани минимум или гарантовани протицај укључује обје наведене категорије. Приликом одређивања гарантованог протицаја морају бити испуњена сљедећа правила (Прохаска, 2003):

- на дионици ријеке мора увијек да буде остварен гарантовани еколошки протицај, предвиђен за тај период године,
- узводни корисници морају да обезбиједе прописане водопривредне минимуме, неопходне за кориснике на низводним дионицама ријеке,

²²⁹ Осим акумулативних басена, у објекте спадају и ретенције (задржавање воде од изливања и плављења или ради њене акумулације у мелиорационе сврхе, за рад ХЕ и сл.), уређаји за пречишћавање отпадних вода, као и низ радова чији је основни задатак да неутралишу антропогени утицај на водне режиме – антиерозиони радови, посебно са вјештачким интервенцијама (пошумљавање, мелиорација пашњака и др.)

²³⁰ Закон о водама, Службени гласник Републике Србије, бр. 46 из јула 1991. године (тачка 5, став 8)

²³¹ Оптимизација – проналажење најбољег могућег рјешења или најповољнијих услова за вршење неког задатка

²³² Итеративан – који се понавља, који се односи на понављање; итеративност – особина глагола да означавају радњу која се понавља, која је учестала

- гарантовани протицај на дионици ријеке је увијек већа вриједност протицаја од гарантованог еколошког протицаја и водопривредног минимума,
- гарантовани протицај се мора обезбиједити на свим дионицама, при чему је обезбјеђеност водопривредног минимума једнака обезбјеђености низводних корисника којима се тај протицај и упућује.

Зимска мала вода. Карактеристична је за водотоке у областима континенталне климе (умјерено-хладни /бореални/ климат са сувом зимом; умјерено-хладни /бореални/ влажни климат), а вријеме трајања зимске мале воде коинцидира²³³ са трајањем леда у неком подручју.

Љетна мала вода. Карактеристика љетне мале воде је дужина трајања, коју могу да прекину кишни поводњи. У неким географским просторима љетна мала вода временски може да обухвати и почетак јесени, кад се могу јавити и најнижи водостаји. Позната је чињеница да мањи водотоци у областима са малом количином падавина, у појединим годишњим периодима, имају суха корита и по неколико мјесеци (области медитеранске климе).

У периоду трајања мале воде већина ријека се храни изданском водом, било да је ријеч о зимским или љетним малим водама.

7.9. Водни режими ријека

Проучавањем водних режима ријека на нашим географским просторима бавило се низ истакнутих географа и хидролога (Вујевић, Илешич, Дукић, Ракићевић, Зубчевић, Гашевски, Гашпаровић, Риђановић, Станковић, Гавриловић, Живковић и др.). У низу научних радова и пројеката они анализирају и дефинишу водне режиге на основу средњомјесечних и водостаја и/или протицаја. Разматрање се углавом односи на појединачне токове, а врло ријетко и на веће притоке релевантне за режим главне ријеке.

За балкански географски простор, са аспекта прегледа водних режима свих значајнијих ријека тог простора, референтна је монографија словеначког географа С. Илешича „*Rečni režimi v Jugoslaviji*“ (Ријечни режими у Југославији), из 1947. године. Светозар Илешич је, примјењујући на географски простор Југославије класификацију водних режима М. Пардеа, дефинисао сљедеће водне режиге²³⁴ (Табела 12 и 12а.).

²³³ Коинциденција – подударање, поклапање, истодобно збивање; случајна подударност

²³⁴ Класификација дијелом преузета од Д. Дукић, Љ. Гавриловић

Табела 12. Водни режими ријека у Југославији

Редни број	Назив водног режима	Ријечни ток	H_{\max} (период) - називи мјесеци означавају редосљед	H_{\min} (период) - називи мјесеци означавају редосљед
1.	чисто нивални режим	горња Драва	јун, јул, август, мај	фебруар
2.	благо нивални режим	средња и доња Драва	јун, мај	фебруар
3.	прелазни нивални режим	Соча, Мура, Зиља	мај, јун, новембар	јануар, фебруар, јул
4.	нивално – плувијални режим			
4а)	алпска варијанта	Сава, до ушћа Љубљанице; горња Савиња	мај, новембар, јун и април	фебруар, јануар, март и август
4б)	динарско-македонска варијанта	Пива, Тара, Дрина до Љубовије, Сутјеска, Лим, Црни Дрим, Радика, Пећка, Призренска и Тетовска Бистрица, Крива и Брегалница до Штипа	мај, април, март, новембар, децембар	август или септембар, а потом фебруар и јануар
4в)	карпатска варијанта	Тамиш, Бегеј	мај, април, јун, март	октобар, септембар

Светозар Илешич, словеначки географ (1907 – 1985, Љубљана); године 1930. дипломирао је на Филозофском факултету у Љубљани, на одсјеку за географију; докторат под насловом „Kmetско naselje na Gorenjskem“ је успјешно одбранио три године касније. Од 1940. године био је доцент, ванредни професор постао је 1947. године, а од 1950. године је редовни професор. Од 1950 – 1952. године био је ректор Универзитета у Љубљани, а потом дугогодишњи декан Природословно математичког факултета у Љубљани.

Табела 12а. Водни режими ријека у бившој Југославији (наставка са претходне стране)

Редни број	Назив водног режима	Ријечни ток	H_{max} (период) - називи мјесеци означавају редосљед	H_{min} (период)- називи мјесеци означавају редосљед
5.	плувио-нивални режим			
5а)	централно-европска варијанта	Тиса	април, март, мај	октобар, септембар
5б)	посавска варијанта	Уна, Врбас, Босна и њиховим већим притокама	април, март, мај и новембар	август и септембар
5в)	умјерено - медитеранска	Купа, Крка и њихове притоке ²³⁵	новембар, март и април	август, јул и септембар
5г)	умјерено - континентална	Морава, Млава, Пек, Тимок ²³⁶	март – април или април - март	септембар - август
5д)	македонска варијанта	горњи Вардар, Треска, Лепенац, Бабуна и Пчиња	април, мај и март	август, септембар и октобар
5ђ)	медитеранска варијанта	Випава, Рјечина, Зрмања, Крка, Цетина, доња Неретва и Морача	новембар, април	август, септембар
6.	плувијални режим			
6а)	континентална варијанта	Чазма, Спреча ²³⁷	фебруар, март, април, новембар	септембар, август
6б)	медитеранска варијанта	ријеке Истре, Ниске Херцеговине, јужне и источне Македоније	децембар и април (Македонија)	август, септембар
7.	комбиновани режим			
	Сава и Дунав ²³⁸	на ријекама овог режима <i>једноставни</i> (плувијални или нивални режим) прелази у <i>мјешовити режим</i> (прелазни нивални, нивално – плувијални и плувио – нивални), па се највише и најниже воде појављују у мјесецима карактеристичним за поједине варијанте.		

Студију С. Илешича о водним режимима у бившој Југославији допунио је Д. Дукић изохронским²³⁹ картама, на којима је представљено вријеме

²³⁵ На Уни прелази у посавску варијанту; на горњем Ибру, Ситници и Белом Дриму, прелази у умјерено – континенталну варијанту

²³⁶ Са slabим јесењим порастом воде на Колубари и Западној Морави

²³⁷ и хидрографски систем Јужне Мораве (сем Нишаве)

²³⁸ Велике ријеке које протичу кроз области са разичитом климом, рељефом, геолошком грађом слива, вегетацијом и др.

појављивања I (првог) минимума и I (првог) максимума средњих мјесечних водостаја и њихова територијална распрострањеност на ријекама.

7.10. Климатска класификација ријека по режиму храњења

У свом класичном делу “Климате Земљине лопте” руски климатолог А.И.Војејков разматра ријеке и језера у њиховој зависности од климата па каже „...При осталим једнаким условима, Земља је утолико богатија текућим водама, уколико су обилније падавине и уколико је мање испаравање како са површине тла и воде, тако и са биља. На тај начин, ријеке се могу разматрати као производ климата. У земљама, мало проученим, гдје нема података о мјерењу падавина или је оно недовољно, ријеке указују на обиље падавина, а промјене њихових нивоа – на вријеме када су падавине обилније и обрнуто...”

Полазећи од указаних принципа, А. И. Војејков је дао *климатску класификацију ријека* (1884) засновану на њиховом храњењу и времену појаве великих вода. Он је издвојио четири (4) групе и девет (9) типова водних режима ријека, које је означио великим словима абецедe (А, В,С,Д...)

7.10.1. Ријеке које се хране сњежницом и кишицом

- А. **Поларни тип** – ријеке које се хране сњежницом са равница и планина високих до 1000 m. Тај тип нигдје не постоји у чистом виду, али су му најближе ријеке у сјевероисточном Сибиру и сјеверној Канади, тј. у областима које су под снијегом 8 - 10 мјесеци годишње. С обзиром на то да су то области са стално замрзнутим земљиштем, понирање воде у тле је мало, па зато ријеке поларног типа имају изразите велике воде у току прољећа, односно кратког љета.
- В. **Планински тип** – ријеке које се хране сњежницом и сочницом са планина. Ни овај тип није нигдје потпуно чист, али има више сличности од типа А. Најизразитији је на западним дијеловима планинских масива средње Азије. Овом типу припадају Сир-Дарја, Аму-Дарја, Или, Тарим, Кабул, горњи ток Инда и др. Велике воде се појављују на овим ријекама у току љета; оне се веома много користе за наводњавање земљишта, јер им средњи и

²³⁹ Изохроне (грч. isos – једнак и chronos – вријеме), изолиније истовременог наступања одређене појаве; у метеорологији разматрају изохроне разних метеоролошких елемената

доњи токови протичу кроз степе и пустиње. На неким ријекама планинског типа саграђене су велике хидроелектране и велики системи за наводњавање који користе његове воде.

- С. **Сјеверноевропски тип** – ријеке које се хране сњезницом у прољеће и почетком лjeta, а кишницом у топлом периоду године. Овај тип је својствен земљама са хладном и сњезном зимом. Велика вода настаје од сњезнице, јер кишница не може да изазове највише водостаје због великог испаравања. Сјеверноевропски тип је заступљен на ријекама Скандинавије, европског дијела Русије, сјеверног и западног Сибира, Пољске, Њемачке и сјеверног дијела САД. Воде ријека овог типа користе се за производњу електричне енергије а већи токови и за пловидбу.

7.10.2. Ријеке које се хране кишницом

- Д. **Тропски и монсунски тип** – ријеке које се хране кишницом и имају велике воде у топлијем дијелу године. Овај тип је у најужој вези са тропским и монсунским плувиометријским режимом. Заступљен је у чистом виду и на неким ријекама са великим сливовима, као што су Нил, Конго и Ориноко. Остале ријеке овог типа, као што су Амазон, Ганг, Брамапутра, Иравади, Меконг, Јангцејанг, Хоангхо и Амур хране се незнатно и сњезницом, али су им велике воде проузроковане обилним кишама. Ријеке тропског и монсунског типа свестрано се користе за пловидбу (нарочито на кинеским ријекама, а мање на Амазону по којем плове и морски бродови), наводњавање (на пакистанским и индијским ријекама, у Бангладешу и Кини и у долини Нила), искоришћавање водних снага (на Нилу, индијским и кинеским ријекама) итд.
- Е. **Западноевропски тип** – ријеке које се хране претежно зимским кишама и имају незнатна колебања нивоа воде. На ријекама овог типа велике воде су зими, али су оне мање изражене него на ријекама претходних типова због прилично равномјерне расподјеле падавина и у осталом дијелу године. Сем у западној Европи, овај тип је донекле заступљен и у средњој Европи, у источним крајевима САД, а у нешто измјењеном виду на западу Сјеверне Америке (сјеверно од $45^{\circ}\varphi_N$) и у Јужној Америци (јужније од $40^{\circ}\varphi_S$), док се на Новом Зеланду мијеша са

планинским типом – В (због отапања снијега у планинама). Ријеке западноевропског типа су највише проучаване (Сена, Лоара, доња Рајна, Елба, Мисисипи итд.) и њихове воде се комплексно користе – нарочито за пловидбу и производњу електричне енергије у хидроелектранама и термоелектранама, као и за хлађење агрегата атомских електрана, које у ову сврху троше три пута више воде од класичним термоелектрана исте снаге.

F. **Медитерански (или суптропски) тип** – ријеке које се хране обилним зимским кишима, док је преко љета мало падавина. Суптропски тип је најизразитији у јужној Европи, нарочито у Италији и Шпанији, као и у југоисточној Македонији, гдје многе ријеке преко љета пресушују („фиумаре“, односно „рекавице“) или имају врло мало воде. У хладнијем добу године на њима се појављују велике воде, а после је јачих киша настају каткад поводњи са катастрофалним поплавама (нпр. поплаве града Фиренце од изливања ријеке Арно). Ван Европе суптропском типу припадају ријеке атласких земаља, Турске, Сирије, Ирака, Ирана, Калифорније, Орегона, Чилеа, Сјеверног острва Новог Зеланда, јужне и западне Аустралије. С обзиром на оскудицу падавина у доба када је вода биљкама најпотребнија ријеке медитеранског типа се највише користе за наводњавање (Калифорнија, Сирија, Ирак, јужна Аустралија), а мање за производњу електричне енергије и друге сврхе.

G. **Пустински тип** – нема сталних токова због суве климе. Овај тип је карактеристичан за пустиње – Сахару, Сиријску, Нефуд, Рубел-Хали, Арало-каспијску низију, Гоби, пјешчане пустиње у Аустралији итд. Само после великих повремених падавина појаве се привремени токови, чија вода отиче кроз вадије у мање котлине и понире у пијеску и испарава. Испод корита овог типа ријека становници пустиње налазе воду већ на дубини од неколико метара, па зато у њиховој близини подижу своја насеља.

7.10.3. Ријеке које се хране са мало кишнице и сњежнице

Н. **Поволошки тип** – ријеке које се хране са мало кишнице и сњежнице. Оне имају воде само за кратко вријеме – два до три мјесеца, а остали дио године су сувих корита или се пак претварају у низ бара. Овом типу припадају ријеке јужног Поволожја, сјеверног Крима, казахстанских степа, висоравни средње Азије, појас Сахела – јужно од Сахаре (између $13-18^{\circ}\varphi_N$), гдје кише не дају довољно воде за сталне токове, као и неки крајеви у Америци, а нарочито у Аустралији.

7.10.4. Ријеке које се хране подледничком сочницом

И. **Ријеке замијењене ледницима** – са токовима испод ледника, који се хране водом истопљеног леда, подледничком сочницом. Овај тип је својствен ледницима Гренланда и Антарктиде.

Војејковљеву класификацију ријека, иако стару, користе још увијек многи географи и хидролози. Сем ње, постоји још десетак других класификација ријека и њихових режима: Пардеова (примјењена код нас), Кочеринова – по водности ријека, Великанова – по особинама корита, Жељезнакова – по енергетским особинама ријека, Зајковљева – по водном режиму, Родевичева – по различитим особинама: дужини тока, малим водама на ушћу, по падовима, особинама корита и климатским одликама у сливу и др.

7.11. Класификација ријека према типовима њиховог водног режима

Познати руски географ и хидролог М.И. Љвович изложио је оригиналну класификацију ријека на Земљи, а као параметре узима изворе храњења ријека и расподјеле укупног протицаја по годишњим добима. Сматра да ова два параметра „добро одређују генезу ријечног протицаја, с једне стране, односно зоналне географске закономјерности водног режима ријека, с друге стране“. Аутор издваја 12 група извора храњења и 12 група расподјеле укупног протицаја по годишњим добима²⁴⁰. У Табели 18. представљена је скраћена класификација ријека на Земљи према типовима њиховог водног режима²⁴¹.

²⁴⁰ Овакав начин издвајања омогућава укупно 144 различите могућности постојања ријечних режима.

²⁴¹ Преузето из Д. Дукић, Љ. Гавриловић (2006), стр. 166

Табела 13. Класификација ријека на Земљи према главним типовима водног режима (по М. И. Љвовичу, 1945)

Тип водног режима	Храњење	Удио гл. извора храњења у % од укупног годишњег протицаја	Највећи протицај у годишњем добу	Примјери ријека одређеног водног режима
Амазонски	Р	>80	јесен	Амазон ¹ , Конго ² , Плави Нил ³
Нигерски	Р	50-80	јесен	Нигер ⁴ , Нил ³ , Луалаба ²
Меконгшки	Р	>80	љето	Меконг ⁵ , горњи Парагвај
Амурски	Р	50-80	љето	Амур ⁶ , Витим
Медитерански	Р	50-80 и више	зима	Алма, Тибар ⁷
Одрански	Р	<50	прољеће	Одра ⁸ , Тиса ⁹ , По ¹⁰ , Охајо ¹¹
Волшки	С	80-50 и мање	прољеће	Волга ¹² , Дон ¹³ , Мисисипи ¹⁴
Јуконски	С	80-50 и мање	љето	Јукон ¹⁵ , Атабаска, Вилуј
Нурински	С	<50	прољеће	Нура, Јерусалим, Ингулен
Гренландски	Г	>80	љето	Повремени токови у областима континенталне глацијације
Кавкаски	Г	80-50 и мање	љето	Терек, Кубан, Рона ¹⁶
Лоански	У	50-80 и више	уједначено	Лоа (Чиле), неке притоке ријеке Чу (Казахстан)

Р – киша, С – сњежница; Г – сочница; У – подземна вода;

¹⁾ Амазон(а) – име ријеке поистовјећује се са легендом (племеном жена ратница, Амазонки); на режим Амазона имају утицај и плимски таласи Атлантског океана, високи до 5 метара, који се уз велику хуку крећу ријечним коритом и до 1400 километара од ушћа. Ову појаву локално становништво назива „порарока“ и „амасуну“. Сматра се да од термина *амасуну* потиче и име ријеке. Амазон је ријека у Јужној Америци, по количини воде (120000 m³/s на ушћу) и величина слива (7.2 милиона km²) је прва, а по дужини тока (7025 km) прва у свијету. У сливу Амазона се налази *Амазонија*, највећа низија у тропском појасу, са површином преко 5.0 милиона km².

Амазон, највећа ријека на нашој планети, по многим хидролозима је и најдужа ријека на свијету. Амазон постаје спајањем двије њене саставнице: лијеве Марањона и десне Укајали. Већина хидролога и географа узимала је раније за главни изворишни крак Амазона ријеку Марањон, на је дужина Амазона достигала 6400 km. Марањон са просјечним протицајем од 15600 m³/s је ријека богатија водом од Укајали (12600 m³/s),

а уз то и пловна 240 km. Амазон са десном саставницом Укајали достиже укупну дужину од 7025 km.

Ово је први пут саопштено на 18. међународном географском конгресу 1956. године у Рио де Жанеиру. Укајали извире испод двоглавог угашеног вулкана Ампато (6310 м.н.м), који је изнад 4700 метара надморске висине покривен ледом. Одатле се спуштају два крака ледника и њихова сочница слива се у мање језеро на 4831. метру надморске висине. То је прави извор Амазона, односно перуанске ријеке *Carhuasanta*. Она тече ка сјеверу у мијења називе: *Aurimas*, *Ene* и *Tambo*. Код града *Atalaya* прима десну притоку *Урубамба* и тек одатле се назива *Ucayali*, који са *Марањоном* дају Амазон. Међутим, ток Амазона се све до ушћа ријеке Рију Негру назива *Solimoes*, а потом (коначно) Амазон. Нил са *Кагером* дуг је 6671 километар, *Мисисипи* са *Мисури* 6420 km, а потом *Јангце* 6300 km.

Настанак ријеке Амазона (Амазоне) је хидролошки веома сложен. Њен извор је дубоко у удаљеним планинским масивима у јужном Перуу, на надморској висини изнад 5000 метара²⁴². Потоци који извиру на подручју планинских врхова Чила и Ампато теку у ријеку *Апуримак*, која је, уз велики пад ријечног корита, формирала свој ток на стрмим обронцима Анда. Након овог планинског масива, Апуримак има хидроним *Ене*, а након тога *Тамбо*. Тамбо преузима воде из ријеке *Урубамба* и наставља свој пут у ријеку *Укајали*. На саставку ријека *Укајали* и *Марањон* (*Марафион*) почиње раст водостаја ријеке *Амазон(а)*. Пораст вриједности протицаја, уз константан дотицај воде која долази из *Марафиона*, воде Амазона теку према граду Иквуитосу (подручје Амазоније у Перуу). Након ушћа ријеке Рио Негро (код града Манауса), Амазон, као моћна ријека, завршава свој ток (заједно са ријеком Шингу) у Атлантском океану.

Ријека Амазон(а) прима преко 500 притока, од којих двадесет имају дужину већу од 1500 km. У току године на Амазону се јављају два максимума водостаја који су у вези са максимумом падавина на сјеверној и јужној Земљиној хемисфери. Ипак, највећом количином воде воде Амазон располаже, послје кишног периода на јужној хемисфери, када му десне притоке доносе огромну количину воде.

²⁾ Конго (Заир²⁴³), ријека у централној Африци, по дужини тока (4320 km)²⁴⁴ је друга ријека у Африци (послје Нила), а по величини слива и количини воде је доминантна у Африци, а друга у свијету (иза Амазона). Хидролошка мјерења показују просјечан протицај Конга на ушћу од 39000 m³/s. Ријечни слив (басен ријеке) Конга, са површином од око 4.0 милиона km², захвата близу 13% од укупне површине афричког континента. Извориште ријеке је у југоисточном дијелу средишње Африке, око 1600 километара јужно од екватора, на надморској висини преко 1400 м.н.м. Ријека Конго два пута прелази екватор, што увелико дефинише равномјерност водостаја/протицаја, јер је увијек један дио слива у кишној зони.

Ријека извире јужно од језера Тангањика у Замбији, под хидронимом Чамбези (*Chambesi*), потом утиче у језеро Бангввелу (*Bangweulu*); након тога ријека наставља свој ток под хидронимом Луапула, која се улива у језеро Мверу (*Mwery*). Вода Луапула под називом Лувуа тече из језера према сјеверу, док се не споји са водом ријеке Луалабом. Из подручја савана ријека својим коритом долази до афричких

²⁴² Видјети опширније: Паоло Новаресио (2007): Ријеке свијета, стр. 274 - 290

²⁴³ У доњем дијелу тока, од екватора до ушћа у Атлантски океан, ријека је гранични ток између Демократске Републике Конго (главни град Киншаса) и Републике Конго (главни град Бразавил). ДР Конго је 1971. године име земље промијенила у Заир (по називу Заир за ријеку Конго у тој држави), а назив ДР Конго је враћен 1997. године. Назив ријеке (у ДР Конгу) је и даље Заир.

²⁴⁴ Према неким хидролошким изворима укупна дужина Конга износи око 4900 km

прашума, а значајна висинска разлика условила је појаву катаракта, серију стрмих брзака. На изласку из прашуме ријека утиче у језеро Малebo (Станлијево језеро), а потом у Атлантски океан.

³⁾ Нил²⁴⁵, ријека у Африци, настаје на саставцима Бијелог и Плавог Нила, код града Картума. Улива се у Средоземно море, као друга најдужа ријека на свијету (6671 km²⁴⁶). На ушћу гради импозантну делту. Бијели Нил, лијева саставница, истиче из језера Укереве (некадашње Викторијино језеро) и многобројним слаповима спушта се у језеро Кјога, а након њега (под хидронимом Викторијин Нил) прима Албертов Нил (истиче из Албертовог језера) и као Бијели Нил кривудавам и широким коритом, са малим падом и малом брзином воде, у кориту са пуно спрудова, протиче равницом Судана до града Картума.

Плави Нил²⁴⁷ (1600 km) истиче из језера Тана (Етиопија), окруженог планинским врховима преко 4000 м.н.м. и протиче кроз Етиопију и Судан. Располаже великом количином воде, нарочито у периоду јули – октобар.

Нил, заједно са Плавим и Бијелим Нилом има врло сложен водни режим. То је комплексан хидролошки систем, који врши транспорт екваторијалних падавина до Средоземног мора. Највећом количином воде располаже у љетним мјесецима (од јуна до краја септембра), када се и излива из корита и широко плави своју алувијалну раван.

⁴⁾ Нигер, ријека у западној Африци, трећа по дужини ријека овог континента (4160 km²⁴⁸), са сливом од 2092000 km², а просјечан протицај на ушћу у Гвинејски залив (Атлантски океан) је око 12000 m³/s. Извориште ријеке је у држави Гвинеји, са више изворишних кракова, на самој граници са Сијера Леонеом, а протиче још кроз државе Мали, Нигер, Бенин²⁴⁹ и Нигерију. Ријека на рубу Сахаре има смјер према југоистоку, а затим јужно од града Ансонга (Мали) прелази на државни териториј Нигера и Нигерије. У Гвинејском заливу, делтом са површином од преко 36000 km², утиче у Гвинејски залив. Ријека Нигер има углавном уједначен водни режим током цијеле године захваљујући изворишту у најкишовитијем дијелу Гвинеје (Гвинејска бразда²⁵⁰). Више од осам мјесеци у току године то подручје обилује падавинама, захваљујући влази са Атлантског океана. Вриједности водостаја и протицаја највеће вриједности имају у периоду септембар-октобар, које се низводно, с обзиром на дужину тока и брзину воде у кориту ријеке, јављају у другим временским периодима.

⁵⁾ Меконг, ријека у Азији, извире у Кини под хидронимом Лангцанг Јианг²⁵¹, а тек у Индокини (Лаос, Мијанмар²⁵², Тајланд, Камбоџа и Вијетнам) њен хидроним је Меконг. Многи ову ријеку називају и „Нилом Индокине“, због њеног водног режима, који проузрокује поплаве сваке године од јула до октобра, тако да можемо рећи да су највећи протицаји у љето и јесен. Дужина тока је утврђена тек 1975. године и износи 4900 km, а површина слива је око 810000 km².

⁶⁾ Амур, ријека крајњег истока Азије, већим дијелом гранична ријека Русије и Кине. Ријека настаје на саставу ријека Шилке (лијева саставница, извориште на 2499 м.н.м) и

²⁴⁵ Нил (арап. El-Bahr, лат. Nilus, грч. Neilos), ријека у Африци

²⁴⁶ Дужина Нила, заједно са Бијелим Нилом и ријеком Катером, притоком Викторијиног језера (ј. Укереве), износи 6671 km. Слив има површину од 2870000 km².

²⁴⁷ Домицилни назив: Бахр ел Азрак

²⁴⁸ Према Хрватској енциклопедији (2014) дужина Нигера је 4180 km, а површина слива 2117700 km²; Паоло Новаресио, Велике ријеке свијета (2007) даје податак од 4170 km

²⁴⁹ Гранична ријека држава Бенина и Нигера

²⁵⁰ Источни обронци платоа Фута Ђалон (Fouta Djallon) и планине Нимба (Nimba)

²⁵¹ Турбулентна ријека; ријека Меконг има још неколико локалних хидронима: Велика вода, Ријека девет змајева, Мајка свих вода

²⁵² Меконг је погранична ријека Мијанмара и Лаоса

Аргуња (десне саставнице, извориште на 2800 м.н.м), а ушће Амура је у Татарском мореузу (Охотско море, Тихи океан), насупрот острву Сахалин. Дужина Амура од ушћа у Охотско море до састава Шилке и Аргуња износи 4416 km. Површина слива износи око 1855000 km² (Русија ≈ 1000000 km², Кина ≈ 815000 km², Монголија ≈ 40000 km²). Просјечан годишњи протицај на ушћу износи око 12500 m³/s. Највећом количином воде Амур располаже у љетним мјесецима (монсунске кише), а најмањом у зимским мјесецима. Касолабање водостаја је значајно. Од новембра до априла ријечно корито је оковано ледом.

⁷⁾ Тибар²⁵³, ријека у Италији. Извор ријеке је у Апенинима, између Фиренце и Сан Марина, а ушће западно од Рима, у Тиренском мору. Дужина ријеке је 405 km, а површина слива око 17700 km². С обзиром на извориште у Апенинима, ријека у горњем и добрим дијелом средњег тока има карактеристике планинског водотока, док је доњи ток у низији. Тибру је својствено велика амплитуда протицаја/водостаја, односно у току љета располаже малом количином воде, а у хладнијем периоду године (новембар – март) на Тибру су доминатни високи водостаји/протицаји. Крајњи резултат водног режима у периоду новембар – март су честе поплаве.

⁸⁾ Одра²⁵⁴, географски, ријека у средњој Европи. Изворе на контакту Карпата и Судета (громадне планине у граничном појасу Њемачке, Пољске и Чешке), а улива се у Балтичко море. Дужина ријеке је 907 km, а површина сливног подручја око 112000 km². Просјечан протицај на ушћу износи око 600 m³/s. Највећом количином воде Одра располаже у прољећним мјесецима.

⁹⁾ Тиса (Tisza), лијева притока Дунава у Србији. Тиса настаје од Бијеле и Црне Тисе на подручју Шумовитих Карпата у Украјини, а потом као погранична ријека између Украјине и Румуније, преко Мађарске, свој ток завршава у Србији, као лијева притока Дунава (југоисточно од Новог Сада). Дужина тока износи 966 km, а површина слива 157100 km², а средњи годишњи протицај на ушћу је око 820 m³/s. Вода у њеном кориту највећи протицај протицај има у прољеће, а најмањи крајем љета, а има изражен кишно – сњегни режим. Значајне количине воде користе се за наводњавање обрадивих површина у Панонској низији. Због периода високих водостаја ниско земљиште уз обале Тисе је заштићено бројним насипима.

¹⁰⁾ По (итал. Padys) је највећа ријека у Италији. Извориште јој је у Котијским Алпима, испод врха Монте Визо (Mte Viso), на граници са Француском. Након тока од 652 km улива се у Јадранско море, градећи велику делту. Површина слива ријеке По износи око 75000 km². Просјечан протицај ријеке на ушћу износи око 1460 m³/s. Ријечни систем ријеке је веома развијен, а По, који протиче пространом Падском низијом, прима велики број притока, посебно са лијеве стране јер су то токови који настају у масиву Алпа и богати су водом. Десне притоке су много сиромашније водом. По се одликује великим колебањима водостаја и протицаја, излива се често из корита и плави значајне површине Падске низије, житнице Италије.

¹¹⁾ Охајо (Ohio), ријека у САД, најбогатија притока водом Мисисипија. Изворе на сјевероиточним падинама Алигена (највиши и најмасивнији дио Апалачких планина, планинском систему на истоку Сјеверне Америке, који се простире на територији САД и Канаде²⁵⁵). Дужина ријеке износи 1580 km, површина слива око 528000 km², а просјечан протицај на ушћу 7530 m³/s. Најважније притоке су Кентаки и Тенеси. Охајо је богат водом током цијеле године и нема великих колебања водостаја и протицаја.

²⁵³ итал. Tevere, од лат. Tiberis

²⁵⁴ Чешки и пољски - Odra, њемачки - Oder

²⁵⁵ Дужина Алигена је око 2500 km, ширина 300-500 km; одликују се бројним планинским гребенима, висоравнима и ријечним долинама

¹²⁾ Волга, најдужа и водом најбогатија ријека у Европи. Извориште јој је у Валдајској гори (347 м.н.м.), око 300 km источно од Финског залива. Њено корито, којим вода протиче Руском и Прикаспијском низијом, је дуго 3700 km, површина слива износи око 1380000 km², а просјечан протицај код Волгограда је 8150 m³/s. Извориште Волге је у шумској зони, средњи дио тока је формиран у степском подручју (дијелови Источно европске низије), а слив доњег тока (Прикаспијска низија), низводно од Волгограда, је у полупустињском и дијелом пустињском појасу Русије. Због појачаног испаравања у овом појасу протицај се смањује испод 8000 m³/s. Волга у доњем току транспортује значајне количине наноса (ситни пијесак) уноси га у Каспијско језеро непрекидно повећавајући димензије своје делте²⁵⁶ (око 180 метара годишње).

¹³⁾ Дон, ријека која извире у европском дијелу Русије, на источним падинама Средњоруске висије, у близини града Туле. Дон се улива у Азовско море, након тока од 1970 km. Слив ријеке има око 442500 km², а навиши водостај/протицај има у прољеће, када је у сливу Дона интензивно отапање снијега. Са ријеком Волгом повезан је вјештачким пловним каналом.

¹⁴⁾ Мисисипи (Mississippi), једна од највећих и најзначајнијих ријека свијета налази се у САД. Дужина тока јој је 3950 km, а од ушћа ријеке Мисури дужина је 6420 km. Површина слива Мисисипија је око 323800 km², што је скоро 2/5 територије САД (без Аљаске). Извориште Мисисипија је у Стјеновитим планинама, у сјеверозападном дијелу САД. Ријечни систем Мисисипија је веома развијен, а најзначајније притоке су Мисури²⁵⁷ (десна) и Охајо (лијева). Просјечан протицај Мисисипија на ушћу износи око 19000 m³/s, али како су колебања водостаја и протицаја значајно својство ове ријеке, при великим водама протицаји достижу вриједности и од 51000 m³/s, док је код појаве малих вода протицај око 5000 m³/s.

Мисури (Missouri), највећа притока Мисисипија има дужину (до ушћа у Мисисипи) од 4474 km, а површину слива од 1370000 km². Просјечан протицај на ушћу је око 2000 m³/s. Извориште и већи дио горњег тока Мисурија су на сјеверозападним обронцима Стјеновитих планина (Rocky Mountain), у САД. Мисури се одликује значајним колебањем протицаја, а познат је и по томе да транспортује значајне количине седимената²⁵⁸.

²⁵⁶ Површина делте износи преко 13500 km², а по њој се рачва око 80 рукаваца, од којих су четири пловна. Укупна дужина пловних путева у ријечном систему Волге износи преко 17000 km, а повезана је са четири мора: Бијелим, Балтичким, Азовским и Црним морем. Најпознатији је Волго – Балтички водени пут (више од 1100 km)

²⁵⁷ Са становишта хидролошких примјера многих ријека које настају од својих саставница, код Мисурија и Мисисипија може постојати дилема: да ли је Мисури притока Мисисипија или су ове двије ријеке саставнице новог ријечног тока (примјери Плавог и Бијелог Нила, Пиве и Таре и др.) ? Кад дође до спајања Мисисипија и Мисурија, воде Мисурија су прешле пут више од 4000 km, а Мисисипија око 3700 km

²⁵⁸ На језику локалних Индијанаца Мисури значи „глиновита ријека“

Табела 14. Дужина најзначајнијих ријека у свијету

Р.бр.	Назив ријеке	km	Р.бр.	Назив ријеке	km	Р.бр.	Назив ријеке	km
1.	Амазон са Укајали ²⁵⁹	7025	13.	Амур са Аргуњом	4444	25.	Пурус	3200
2.	Нил са Кагером	6671	14.	Лена	4400	26.	Салуен	3200
3.	Мисисипи са Мисуријем	6420	15.	Иртиш	4248	27.	Инд	3180
4.	Јангце	6300	16.	Нигер	4160	28.	Рио Гранде дел Норте	3033
5.	Парана са Рио Гранде	5610	17.	Мисисипи	3950	29.	Сир-Дарја са Нарином	3019
6.	Макензи са Атабаском	5572	18.	Мари са Дарлингом	3750	30.	Доња Тунгуска	2989
7.	Хоангхо	5464	19.	Јукон	3700	31.	Брамапутра	2900
8.	Об са Иртишом	5410	20.	Волга ²⁶⁰	3531	32.	Токантинис	2850
9.	Јенисеј са Ангаром и Селенгом	5060	21.	Св. Лоренца од извора Сан Луј	3350	33.	Сао Франциско	2800
10.	Мисури	4740	22.	Журуа	3283	34.	Дунав ²⁶¹	2783
11.	Конго са Чамбеши	4700	23.	Шат-ел-Араб са Еуфратом	3260	-	-	-
12.	Меконг	4500	24.	Мадера	3230	-	-	-

¹⁵⁾ Јукон (Yukon), ријека која има извориште у Канади (Приморске планине – Кордиљери), а на подручју Аљаске (САД) се налази највећи дио њеног слива и тока. Јукон је у суштини отока језера Атлин (Британска Колумбија), на удаљености од око 25 km обала Пацифика (Тихог океана), а улива се у Берингово море. Дужина ријеке је око 3700 km, а површина слива 855000 km². Храни се углавном водом отопљеном од снијега, тако да највећом количином воде располаже у љетним мјесецима. Због зимских температура које се спуштају и до -40°C на ријечи се јавља лед, од новембра до почетка маја. Просјечан протицај је око 2000 m³/s.

¹⁶⁾ Рона (Rhône), ријека у Швајцарској и Француској. Извире у масиву Пенинских Алпа, испод импозантног планинског врха Матерхорна (4505 м.н.м.). Код планинског превоја Симплон, ток Роне југ – сјевер мијења се у правац исток – запад. Пробојницом између Савојских и Бернских Алпа Рона утиче у Женевско језеро (Лас Леман – Леманско језеро). Као отока Женевског језера Рона на територији Француске,

²⁵⁹⁾ По подацима америчког National Geographic Society Амазон је дугачак 7025 километара, док Instituto de investigaciones sobre la Amazonia Peruana прихвата за дужину ове огромне ријеке 6885 километара, што је за 140 километара краће од америчких података

²⁶⁰⁾ Прије изградње вјештачких језера дужина Волге је износила 4688 километара

²⁶¹⁾ Стварна дужина износи 2783.4 km; ријека настаје спајањем двије шварцвалдске ријечице: лијево саставнице Бригаха (42.7 km) и десне Брегеа (47.6 km)

ријечном долином, између Алпа (лијева долинска страна) и Средишњег масива (десна долинска страна), воде Роне се уливају у Лионски залив (Средоземно море). Укупна дужина тока је 812 km, површина слива око 98000 km², а просјечан протикај на ушћу 1780 m³/s. Рона се храни углавном водом насталом отапањем снијега и леда, тако да су јој највећи водостаји/протикаји у љетним мјесецима, а најмањи у зимским мјесецима.

Хидроними неких ријека на географском простору Балканског полуострва. Већина значајнијих ријека и данас носе своја античка имена (хидрониме), евидентно из римског и предримског периода. Дунав (Danivius), Сава (Savus), Пек (Pincus), Тимок (Timacus), Уна (Oeneus), Врбас (Urbanus), Дрина (Drinus), и с њом Тара (у области племена Autariates), затим Тамиш (Tibissus), Бојана (Barbanna) и друге. Имена Тиса, Морава и Неретва настала су словенском прерадом (преинаком) облика Pathissus, Margus и Naron (антички град близу ушћа Неретве у Јадранско море). Иако се не располаже писменим доказима из старог вијека, могу се са сигурношћу сматрати предсловенским и имена ријека Корана, Босна, Пива, Лим, Прача, Рзав, Колубара, Љиг, Ибар, Клина, Млава и др. Непрекинути континуитет ових хидронима свједочи да се Словени нису населили на пустом територију, него су затекли старосједиоце, а њихове податке о именима ријека сматрали су мјеродавним.

7.12. Енергија и рад ријека

*Енергија*²⁶² представља физичку величину која подразумијева способност тијела да се крећу и узајамно дјелују, односно способност обављања рада. Потенцијална енергија (E_p) је енергија тијела у мировању, односно представља нагомилану способност за вршење рада. За разлику од потенцијалне енергије, кинетичка енергија (енергија кретања) представља енергију тијела у покрету (E_k). Енергију је могуће претварати из једног облика у други, али њена укупна количина остаје непромијењена²⁶³. Битну улогу у коришћењу енергије за потребе хумане популације имају енергетика и енергетски извори.

*Енергетика*²⁶⁴ се бави проналажењем извора енергије и њиховим искоришћавањем у техничке, привредне/комерцијалне, научне и др. сврхе. Подразумијева и технику примјене и експлоатације различитих облика енергије: топлотне, електричне, водене, сунчеве, енергије вјетра и др.

Носиоци енергије. Познато је пет основних врста енергије, односно пет енергетских стања. Свако се појављује у неком облику или је везано за неки процес или супстанцу.

²⁶² Грч. *enérgeia* – рад;

²⁶³ У складу са законима одржања који управља многим природним појавама

²⁶⁴ Енергетика – наука (техничка, физичка, економска – теоријска и примјењена) о енергији и енергетским изворима

Табела 15. Основне врсте енергетских стања²⁶⁵

Ред. број		Енергетско стање	Препознатљив облик или носилац
1.	ЕЕ	<i>Електрицитет</i>	Електрични напон или струја Електромагнетско поље
2.	ТО	<i>Топлота</i>	Чврсто, течно или гасовито тијело (обично на температури већој от температуре околине)
3.	ЕВ	<i>Енергија везе</i>	
		<i>а. Молекулске везе</i>	Чврсто, течно или гасовито гориво
		<i>б. Фазни прелази</i>	Пара течности Дисоцирани гас Плазма
		<i>в. Нуклеарне везе</i>	Фисионо нуклеарно гориво Фузионо нуклеарно гориво
4.	МЕ	<i>Механичка енергија</i>	
		<i>а. Потенцијална</i>	Гравитационо и магнетско поље Напон притиска
		<i>б. Кинетичка</i>	Плима; Таласи; Вјетар; Водотокови; Замајац и клатно; Звук и ултразвук
5.	ЗЕ	<i>Зрачна енергија /енергија зрачења/</i>	Нуклеарно зрачење Електромагнетско зрачење (сунчано, топлотно...)

Енергетске ресурсе чине извори из којих се добија енергија. Уобичајено је да се енергетски ресурси дијеле на обновљиве и необновљиве. Обновљиви (неисцрпљиви) извори су; сунчева енергија, хидроенергија, плима, морски/језерски таласи и вјетар. Можемо, такође, говорити и о неким условно неисцрпљивим енергетским ресурсима²⁶⁶. Ријеч је, прије свега о биомаси и неким облицима геотермалне енергије.

Необновљиви (исцрпљиви) ресурси су, прије свега, фосилна горива: угаљ²⁶⁷, природни гас, нафта, нуклеарне сировине и др. *Водена/водна снага – хидроенергија*, енергија добијена искоришћавањем вода, а најважнија је водна енергија ријека. За експлоатацију енергије ријека од битног значаја су пад ријечног корита, протицај и режим ријеке. Вода у ријечном кориту креће се непрекидно²⁶⁸ и располаже

²⁶⁵ Видјети опширније: Ристић, М. стр. 13

²⁶⁶ Ако је вријеме њихове потрошње (експлоатације) краће од времена њиховог обнављања

²⁶⁷ Налази се у Земљиној кори углавном у виду слојева у седиментима различите старости; чини 87,5% претпостављених ресурса фосилних горива Земље

²⁶⁸ Осиму случајевима изградње акумулација, мада и у тим случајевима можемо говорити о условном мировању воде

кинетичком енергијом (E_k)²⁶⁹. Њена способност да врши рад може се представити обрасцем

$$E_k = \frac{m \times v^2}{2} \quad (1), \text{ гдје је}$$

E_k – кинетичка енергија,

m – маса воде,

v – тренутна брзина воде.

С обзиром да за воду, која тече у ријечном кориту (које има одређени пад), важи истовремено и закон кретања тијела низ стрму раван, брзина воде се може изразити обрасцем

$$v = \sqrt{2gh} \quad (2), \text{ гдје је}$$

g – гравитација²⁷⁰; убрзање Земљине силе теже,

h – укупан пад одређеног потеса ријечног тока.

Када се вриједност брзине v из једначине (2) уврсти у једначину (1) добије се образац

$$E_k = \frac{m \times \sqrt{(2gh)^2}}{2} = \frac{m \times 2gh}{2} = mgh = M \times h = Q \times h = E_p \quad (3), \text{ који}$$

представља потенцијалну енергију ријеке (E_p), којом ријека располаже све док постоји и најмањи пад воде, односно њене масе m , изражене у једначини (3) *тежином* ($M = m \times g$), а потом супституисаном *протицајем* ($Q \text{ m}^3/\text{s}$).

С обзиром на опште карактеристике пада (h у m) ријечног корита, који се смањује од извора до ушћа ријеке, као и брзина воде у ријечном кориту (v) логично је закључити и да се обје енергије, кинетичка и потенцијална смањују у правцу ушћа. Потенцијална енергија (E_p) се релативно лако одређује (према датој једначини), под условом да су познате вриједности протицаја ријеке (Q , m^3/s) на одређеном дијелу ријечног тока и његов пад (h , m).

У хидролошкој теорији и пракси познато је да се кинетичка енергија троши²⁷¹:

- савлађивање силе трења (спољашњег – у додиру воде са коритом и ваздухом, и унутрашњег – трења између честица воде), чиме се омогућује кретање водених честица,
- на рад ријека, којим настаје само ријечно корито са разноврсним ерозивним и акумулативним облицима микрорељефа,
- на постепено помјерање ријечног корита у ширим алувијалним равнима.

²⁶⁹ Вода у дубоким акумулацијама има потенцијалну енергију (E_p)

²⁷⁰ Гравитација – особина тијела да се узајамно привлаче; сила теже, привлачење

²⁷¹ Видјети опширније: Дукић, Д., Гавриловић, Љ., (2006), стр. 167

7.13. Водни биланс.

Водни ресурси, укључујући подземне воде, представљају важан дио животне средине и имају значајну улогу у животу хумане популације. У току посљедњих деценија посебно је изражена потреба за водом, а тиме и потреба заштите и рационалног кориштења водних ресурса. Разлоге треба тражити у повећању броја становника, већом потребом за храном, индустријским развојем и све већим притиском становништва на градове. Неравнојерна просторна и временска расподјела воде, по неким истраживањима потенцирана и климатским промјенама/колебањима, све учесталије појава поплава, те учесталија акцидентна загађења вода изазвана директним или индиректним антропогеним дјеловањем, представљају основу за енергичније укључивање у домен вода и водних ресурса.

Вода је увијек представљала, а и данас представља, елементарну вриједност, потребу и битан дио природног потенцијала, са једне стране, а са друге ресурс, који значајно утиче на будућност или чак могућност нестанка појединих цивилизација. Историјске чињенице несталих цивилизација и показатељи да су основни разлози нестанка били вода, намећу потребу да се овом проблему посвети огромна научна пажња. Иако је вода обновљиви природни ресурси, сазнања да се већ 2025. године двије трећине свјетске популације може суочити са проблемом недостатка воде за пиће, додатно нас обавезује да знатан дио свог научно - истраживачког напора усмјеримо управо у овом правцу.

Перспективу код откривања и обезбјеђивања нових залиха питке воде треба све више усмјеравати и на подземне воде. Према Наце-у (1971) укупна количина слатке воде на Земљи процијењена је на $33.3 \cdot 10^6 \text{ км}^3$, од чега на поларни лед и глечере опада 77.77%, на подземну воду 20.9% и остале воде на копну 1.311%. Наставак истраживања и проучавања подземних вода има изузетан значај за површинску ријечну мрежу, водоснабдијевање, наводњавање, очувања квалитета животне средине, балнеологију и др. Валоризација подземних вода огледа се првенствено у њиховом привредном значају: водоснабдијевање становништва, насеља, индустријских погона и наводњавање пољопривредних површина. Међутим, ништа мањи значај није ни код реализације пројеката мелиорације, при изградњи водојаза, изградњи објеката инфраструктуре и др. Рационално управљање водним ресурсима један је од најважнијих задатака и захтјева времена у којем егзистирамо. Успјешно рјешавање овог задатка се базира највише на познавању механизма формирања водног биланса одређеног географског простора, најчешће регије²⁷².

²⁷² Регија (лат. regio, 2. – opis – крај, предио, покрајина, област) – територијална цјелина са властитом географском структуром која је индивидуалисана у простору и времену и

Водни биланс представља однос, у неком временском периоду (мјесец, година, деценија и више) прихода, расхода и акумулације воде у ријечним токовима, ријечним акумулацијама, мочварним акумулацијама или другим истраживаним хидрографским објектима. Дефинисању/одређивању водног биланса подлијежу падавине, кондензација влаге, хоризонтални пренос и акумулација/одлагање снијега, притицање, испаравање и др.

7.13.1. Компоненте водног биланса. С. Прохаска (2003) сматра да се водни биланс, у суштини, заснива на закону одржања масе²⁷³ и карактерише процес кружења воде у природи. Основне компоненте водног биланса могу се подјелити у три групе (С.Ј. Прохаска, 2003):

- *приходне компоненте биланса:* атмосферске падавине (киша, снијег и др.), дотоци из других сливова (површински или подземно) и сви видови доласка влаге из атмосфере,
- *расходне компоненте биланса:* отицај са слива (површински или подземни) и сви видови испаравања
- *резултујуће компоненте,* које настају као резултат разлике између прихода и расхода; резултујућу компоненту водног биланса представља величину промјене залихе влаге у ријечном сливу, која може бити позитивна или негативна.

Методи анализе и дефинисања компоненти водног биланса у времену и простору се, у начелу, се разликују. Просторно зависе у значајној мјери од величине анализираног дијела сливе, односно његове површине. Када је у питању временски период, једначина водног биланса за вишегодишњи период (хомогени низ) је релативно једноставна. Међутим за једногодишње и краће периоде то представља комплекснији проблем, а одређивање водног биланса повезано је са низом тешкоћа.

С. Прохаска (2003) сматра да у свјетској и нашој хидролошкој пракси информације које се добијају на основу класичних хидролошких и метеоролошких мјерења/осматрања, нипошто нису довољне за рјешавање једначине водног биланса за календарску или хидролошку²⁷⁴ годину, одређену сезону, мјесец и краће временске интервале. Још увијек нису дефинисани референтни методи који би дозвољавали да се из података осматрања за краће вријеме користе оне информације које су

разликује се од осталих територијалних цјелина. В. физиономска регија, функционална регија

²⁷³ Маса (лат. massa) 1. физ. једна од основних физичких особина; количина материје садржане у тијелу, тежина изражена у килограмима као количник силе и убрзања или производ запремине и густине; у SI – систему маса се изражава у килограмима. Килограм одговара маси кубног дециметра воде, а дефинише се према стандардном килограму – платинско-иридијумском ваљку, који се чува у близини Париза

²⁷⁴ Хидролошка година на нашим просторима почиње 01.10, а завршава се са 30.09.

неопходне у једначинама водног биланса. Због тога се морају организовати додатна, сложена и скупа мјерења и осматања²⁷⁵, што по мишљењу бројних хидролога има смисла и може се радити само на мањем броју малих, експерименталних сливова или на тзв. огледним станицама, на којима се непосредно мјере сви елементи водног биланса.

7.13.2. Водни биланс слива. У бројним хидролошким и научним институтима (установама, заводима), у циљу континуираног обезбјеђења употребљиве воде на одређеном географском простору, врло пажљиво се прате водни биланси бројних сливова, за календарску и хидролошку годину. Такође, континуирано се раде и водни биланси за поједине дијелове године – најчешће су то вегетациони период и годишња доба. Водни биланс слива представља се једначином²⁷⁶:

$$X = Y + Z + \gamma + \eta + \Delta W + \Delta V + d, \text{ у којој су:}$$

X – укупна количина падавина на слив;

Y – висина отицаја до одређеног профила на ријечи или на њеном ушћу;

Z – укупно испаравање са површине тла, воде, снијега и леда, транспирација биљака (са изузетком кондензације);

γ – количина воде коришћена у привреди (водоснабдијевање, наводњавање и др.);

η – количина враћене воде у ријеку, послје њене употребе (често се ради само о отпадним водама);

ΔW – промјена резерви влаге у тлу²⁷⁷ (која се рачуна по формули: $\Delta W = W_k - W_p$; W_k – резерва влаге на крају периода за који се рачуна водни биланс, а W_p – резерве влаге на почетку тог периода); под влажношћу тла/земљишта подразумемијева се укупна количина воде коју земљиште садржи у одређеном периоду времена; то је врло промјенљива величина и зависи од прихода и расхода воде у земљишту, као и од физичких

²⁷⁵ Осматрају се и мјере компоненте радијационог и топлотног биланса, режима подземних вода, динамике промјене влажности земљишта, акумулационих способности сливова и др.

²⁷⁶ Сви елементи водног биланса у датој једначини изражавају се у mm одговарајуће висине слоја: падавина, отицаја, испаравања и др., при чему су дате вриједности просјечне за цијели ријечни слив

²⁷⁷ Вода се у земљишту налази у разним облицима и у сва три агрегатна стања. Облици воде разликују се по особинама на основу којих су и класификовани. Постоје многе класификације облика воде у земљишту, па се често за исти облик користе различити термини. Опште узев, вода у земљишту се јавља у следећим облицима: 1. хемијски везана вода; 2. физички везана вода; 3. капиларна вода; 4. гравитациона вода; 5. вода у облику водене паре; 6. вода у чврстом стању;

особина земљишта и рељефа; приход и расход воде у тијесној су вези са способношћу кретања воде у земљишту;

ΔV – промјена резерви подземних вода (која се рачуна по формули: $\Delta V = V_k - V_p$);

d – неусклађеност водног биланса (укључујући размјену воде са сусједним сливовима и грешке у одређивању свих осталих елемената водног биланса), издвојена као допунски члан једначине водног биланса.

Наведена једначина²⁷⁸ се примјењује за прорачун водног биланса годишњих доба прољећа, љета и јесени (за умјерене климатске појасеве), а за зимски период иста једначина на десној страни допуњава се новим чланом – X_a , која се односи на акумулацију снијега у сливу за сваки мјесец; X_a се одређује као разлика резерви воде у снијегу на крају (X_k) и почетку (X_p) одређеног мјесеца ($X_a = X_k - X_p$).

За ријечне сливове са великом површином и ријеке са природним водним режимом, за које је без већег значаја подземна размјена вода са сусједним сливовима, користи се сљедећа једначина водног биланса (Д. Дукић, Љ. Гавриловић, 2006):

$$X = Y + Z + \Delta V .$$

Када је у питању дужи хомогени низ, који подразумејева мјерење и посматрање године са малим водама и године са великим водама у континуитету од 20-30 година, претходна једначина може се написати у сљедећем облику:

$$X_0 = Y_0 + Z_0 ,$$

односно, укупна висина падавина једнака је збиру отицања и испаравања.

„Маловодне“ и „многоводне“ године зависе од смјене кишних и сушних година, а њихова смјена не представља законитост, него је подложна законима случајности, односно присуству одређених вазушних маса у сливу неке ријеке, у одређеном временском периоду.

7.13.3. Одређивање елемената водног билана слива.

Падавине (X_0). Могу се одређивати на више начина²⁷⁹, али најпрецизнији је начин планиметрисања карата са изохијетама²⁸⁰ (Д.

²⁷⁸ Видјети опширније: Д. Дукић, Љ. Гавриловић (2006), стр. 152 - 155

²⁷⁹ Један од начина је обрада плувиографске траке (интегрална крива кише) гдје се дефинишу карактеристичне преломне тачке; могуће је урадити хијетограме (график промјене интензитета кише у одређеном времену), као и акумулативну криву просјечних падавина у неком сливу

Дукић, Љ. Гавриловић, 2006): измјерена површина на карти између двије изохијете множи се са њиховом просјечном вриједношћу, а потом се сви добијени резултати саберу и њихов збир се подијели са површином слива за коју се тражи висина падавина (у mm), тј.

$$X_0 = \frac{\frac{x_1 + x_2}{2} \times f_1 + \frac{x_2 + x_3}{2} \times f_2 + \dots + \frac{x_{n-1} + x_n}{2} \times f_n}{F}, \text{ у којој су:}$$

$x_1, x_2 \dots$ вриједности изохијета (у mm); $f_1, f_2 \dots$ површине између двије изохијете (у km^2);

F – површина слива (у km^2).

Висина отицаја²⁸¹ (Y_0) - добија се из мјесечних вриједности протицаја, одређених мјерењем на водомјерним станицама (или помоћу криве протицаја). Прерачунавање средњомјесечних протицаја (Q ; m^3/s) у висину отицаја (Y_0) изводи се према обрасцу:

$$Y_0 = \frac{Q_0 \times T}{F \times 10^3}, \text{ у којем је:}$$

Q_0 - средњомјесечни или средњогодишњи протицај; T - број секунди у мјесецу, односно години; F – површина слива (km^2).

Испаравање²⁸². Испаравање је једна од најбитнијих компонената водног и топлотног биланса активне топографске површине са које се врши испаравање. У природним условима активна површина је слободна водена површина, тле и вегетација. Испаравање са слободне водене површине и влажног, засићеног земљишта је непрекидан процес и зависи само од метеоролошких фактора, док испаравање са незасићеног земљишта и вегетације зависи и од низа других фактора.

Из упрошћене једначине водног биланса слива слиједи да је

$$Z_0 = X_0 - Y_0,$$

односно, испаравање Z_0 је једнако разлици између падавина (X_0) и висине отицаја (Y_0). Величина испаравања зависи, углавном, од саме вриједности количине и врсте падавина, затим од метеоролошких елемената: температуре ваздуха, температуре воде, влажности ваздуха, брзине вјетра, врсте и количине биљног свијета, али и од агротехничких мјера.

²⁸⁰ Изохијете (грч. isos – једнак и hvetos - киша), изолиније количине падавине у јединици времена или средњих вишегодишњих сума падавина за мјесец или годину

²⁸¹ Видјети: 8.4.1.

²⁸² Видјети опширније: С. Оторепец (1991), стр. 123 - 126

Параметри испаравања. Инструменти који се користе за мјерење испаравања се зову *испаритељи* или *евапориметри*. Евапориграф је инструмент који биљежи ток испаравања. Испаравање се изражава у милиметрима, тј. дебљини слоја воде који испари. На основу испаравања измјереног сваког дана у 7.00 сати (осим у случају мраза) израчунавају се сљедећи параметри (В. Дуцић, 2004):

- дневно испаравање – измјерена количина воде, изражена у mm (l/m^2), која испари у току 24 сата (између 7.00 првог и 7.00 сати другог дана),
- мјесечно испаравање - добије се сабирањем свих дневних сума испаравања у току једног мјесеца,
- годишње испаравање – добије се сабирањем свих мјесечних сума испаравања у једној календарској години,
- просјечно испаравање – израчунава се за мјесеце и године тако што се саберу све вриједности испаравања у некој временској јединици у вишегодишњем периоду и збир се подјели бројем година у низу.

Испаравање са биљног покривача се састоји из двије компоненте: транспирације биљака и испаравања падавина које се задрже на круни, гранама, стаблу и лишћу.

Транспирација²⁸³ представља појаву излучивања водене паре са површине тијела биљака и животиња, која настаје усљед физиолошких процеса, нпр. испаравањем воде коју биљке коријењем добијају из тла. Транспирација зависи од низа метеоролошких фактора: Сунчево зрачење, температура и влажност ваздуха и брзина вјетра. Такође, веома су битне физиолошке²⁸⁴ особине биљке: фазе развоја, развијеност коријеновог система, број и распоред стома. Водена пара одлази у атмосферу на два начина (Оторепец, 1991):

- дифузијом кроз стоме – отворе пречника мањег од 10 микрона,
- кроз кутикулу, кожасту опну на биљкама.

К.А. Тимирјазев је назвао транспирацију „нужним злом“, јер у условима недовољне влажности она може довести биљку до угинућа.

Евапотранспирација (сумарно испаравање) је укупна количина влаге која испарава са површине земљишта и са биљака, односно влаге која се са Земљине површине враћа у атмосферу. Евапотранспирација зависи од свих фактора вањске средине од којих зависи испаравање и са земљишта и а биљака.

Интерцепција је процес заржавања дијела падавина на крошњама дрвећа, на стаблу, гранама и лишћу вегетационог покривача у неком сливу. Овај дио падавина не доспијева до топографске површине, него се касније враћа у атмосферу у виду водене паре. Стога је логично да овај

²⁸³ Лат. trans – преко, кроз и spirare - дувати

²⁸⁴ Физиологија – 1. наука о процесима и функцијама организма; 2. витални процеси и функције организма

дио падавина не учествује у отицају и зато се често зове *губитак воде*. Према С.Ј. Прохаски (2003) интерцепција је највећа на почетку падања кише, а посебно ако падне киша после дужег сушног периода. Тачност мјерења интерцепције је већа код четинара у односу на листопадно дрвеће, јер је код листопадног дрвећа веће сливање воде низ главно дебло.

Осим интерцепције кише, постоји интерцепција снијега и интерцепција магле. У односу на интерцепцију кише, интерцепције снијега и магле су много мање и зато су у практичним прорачунима врло често занемарене.

Треба, такође, нагласити да су процеси интерцепције, евапотранспирације и инфилтрације међусобно повезани. Процес евапотранспирације је у директној функцији интерцепције, пошто је у извјесној мјери ограничен за вријеме трајања интерцепције (Прохаска, 2003). С друге стране, дио воде који се инфилтрира у земљиште враћа се у атмосферу путем евапотранспирације дијела воде који биљка не утроши за своје физиолошке потребе.

Испаравање са сњежног покривача и леда.

Осим већ идентификованих дефиниција величине испаравања са земљишта и транспирације преко биљног покривача, потребно је навести и величину испаравања са сњежног покривача, који је присутан на нашим географским ширинама. Чињеница је да снијег има значајније испаравање у односу на водно огледало, при истој температури ваздуха. То је због тога што је на cm^2 површине већа активна површина снијега од воде, због веће површине кристала у односу на исту водену површину. С. Прохаска (2003) констатује да је испаравање леда мање од испаравања снијега при истој температури. Оно је, ипак, мање важно од испаравања снијега, јер је распростирање снијега у природи чешће и захвата већа пространства. Према Јевђевићу (1956), зимско испаравање са снијега и леда није велико и оно приближно износи:

$$ES = 1.0 \cdot 2.5 \text{ mm/декаду, за } T = -20 \text{ до } -10^\circ\text{C}$$

или

$$ES = 2.5 \cdot 11.0 \text{ mm/декаду, за } T = -10 \text{ до } 0^\circ\text{C,}$$

гдје су:

ES – испаравање са сњежног покривача (mm/посматрани период)

T – температура ваздуха

7.14. Улога вегетације у отицању падавина. Вегетација (лат. vegetatio) представља скуп свих биљних заједница одређеног подручја Земљине површине. У хумидним (влажним) подручјима вегетација је примарно заступљена у шумским заједницама, а секундарно заједницама ливада, пашњака, ораница и др. На основу дуготрајних и опсежних проучавања утицаја вегетације на отицање падавина констатовано је да је утицај вегетације, као хидролошког фактора, често од пресудне важности за режим површинских и подземних вода. Констатовано је, између осталог, слjedeће:

- укупност биљних врста, својствених одређеном географском простору, задржавањем дијела падавина и повећањем инфилтрације, доприноси знатно уравнотежењу вода,
- из метеоролошке праксе је познат да шуме, у одређеној мјери, повећавају падавине,
- услед задржавања падавина на лишћу и грању (в. интерцепција) вегетација дјелује у правцу смањивања укупне масе воде која из слива отиче,
- стварањем растреситог земљишта и спријечавањем да се не елиминише ерозијом, биљни покривач штити подземне издани,
- евидентан је утицај вегетације у спријечавању ерозионих процеса, затим у успоравању и задржавању наноса да не угрожава водотоке или се акумулира у језерским басенима,
- сњежни покривач у шумама постепеним отапањем путем сњежнице учествује у храњењу протицаја многих водотока; у шуми је 18-20% више снијега него на голом пољу,
- међутим „забилежени су случајеви да су при истим кишама, пошумљени сливови дали веће количине воде од непошумљених, јер се снијег у шумама дуже задржава, па га пале кише и и топло вријеме отопе у вријеме када је и утицај од кише највећи“ (Јевђевић, 1956).,
- „сјеча шуме и напасање стоке нарушавају површинску структуру тла и погоршавају инфилтрациону способност земљишта, што се испољава у промјенама величине елемената водног биланса и ријечног режима“ (Дукић, 1998).

Сјеча шума је, прије свега, данас један од важнијих негативних антропогених утицаја на вријеме и климу. Сјечом шума на великим површинама, а у току многих вијекова, хумана популација је мијењала климу на великим географским просторима. Крчење листопадних шума у умјереном појасу, које су имале својствену климу, човјек је на огромним површинама, у правом смислу ријечи, створио културну степену са другом климом, са низом варијаната микроклиме, а да то није ни сам знао. У планинским областима, искрчивши шуму, промијенио је микроклиму, убрзао ерозију и измијенио величине компонената

водног биланса (Дукић, 1998). Прекомјерном сјечом шума у сливовима бројних ријека, код нас и у свијету пореметили смо правилно отицање падавина, јер биљни покривач је најбољи регулатор режима отицања воде на шумском и на пољопривредном земљишту. Убрзани нестанак шумског покривача у сливу бројних ријека и њихових притока довео је до појаве ерозије и бујица, а на подручју већег дијела сливова дошло је до нарушавања природне равнотеже између вегетације, земљишта и специфичног отицаја.

Сјеча пошумљених дијелова наше планете директно је одговорна за повећање емисије угљен-диоксида у атмосферу од чак 44%. Стога је од пресудне важности реализација глобалног пројекта „Чување шума“ (Forest Conservation) и доношење закона, којима се ограничава сјеча шума. У том погледу важно је истаћи двије државе – Норвешку и Бразил, које су нашле успјешан модел борбе против крчења шумских простора. Норвешки парламент ускоро ће усвојити (2016. год.) законе којима се забрањује сјеча шума, чиме се као прва земља у свијету обавезује на „нулту сјечу стабала“. Бразил издваја годишње око једне милијарде долара да спречи сјечу селваса – густих, стално зелених и тешко проходних шума у Амазонији. На тај начин је за кратко вријеме сачувано око 85000 километара квадратних шуме. Државе у којима се бјесомучно крче шуме, познате и као „плућа планете“, су Аргентина, Индонезија, Парагвај, Малезија, Боливија и др.

Шуме и шумско земљиште чине око 50 одсто простора Босне и Херцеговине, представљају добро од општег интереса и, као природно добро, треба да имају посебну бригу државних, ентитетских и нижих нивоа власти. Стога је потребан закон о шумама који ће омогућавати што боље управљање шумским ресурсима. То у суштини значи да треба зауставити извоз балвана и резане грађе, а сировину користити за виши степен прераде. Извоз балвана је строго забрањен у многим америчким савезним државама и државама чланицама ЕУ.

Сличан нацрт закона у Босни и Херцеговини је усаглашен 2004. године од стране привредника из оба ентитета, потом на нивоу ентитетских влада (плус Влада Дистрикта Брчко), као и од стране Вијећа министара Босне и Херцеговине. Међутим, ова економски и потпуно нормална мјера је стављена *ad acta* јер се Свјетска банка успротивила тој забрани!? Као, не може Босна и Херцеговина, која иде стазама неолибералне економије и слободног тржишта, забрањивати извоз. Иако у Свјетској банци нису тада жељели коментарисати како то могу САД, које такође иду стазом неолибералне економије и слободног тржишта. Суштину става Свјетске банке није тешко објаснити.

8. ФИЗИЧКОГЕОГРАФСКИ ФАКТОРИ РИЈЕЧНОГ РЕЖИМА

8.1. Утицај климатских елемената на ријечни режим.

Клима (*m*)²⁸⁵ - *поднебље*, представља дугогодишњи режим времена у некој области на Земљи одређен географским условима. Представе о клими образују се статистичком обрадом резултата метеоролошких осматрања за вишегодишњи период. Климату одређује географска ширина, висина над нивоом мора, распоред копна и мора, рељеф, карактер подлоге и др. Постоје разне класификације климе: по климатским обиљежјима у правом смислу, нпр. по распореду средњих температура ваздуха и суми атмосферских падавина (В. Кепен), по односу између падавина и испаравања, а у вези са образовањем рељефа (А. Пенк), по особеностима опште циркулације атмосфер (Б.П. Алисов).

Клима, схваћено као режим типова времена, зависи од комплекса појава, који се сврставају у двије групе; прву чине климатски елементи, а другу климатски фактори или чиниоци.

Климатски елементи имају врло промјенљиве вриједности јер су у основи зависни од низа појава и процеса у атмосфери. Због тога су за климатологију значајне њихове средње и екстремне вриједности запажене у одређеном периоду. Најзначајнији климатски елементи су:

1. радијација (краткоталасно и дуготаласно зрачење),
2. температура ваздуха и површине Земље,
3. ваздушни притисак,
4. правац и брзина вјетра,
5. влажност ваздуха и величина испаравања,
6. облачност и трајање Сунчевог сијања,
7. падавине и
8. сњежни покривач.

Наведеним климатским елементима могли би се придодати и други, мање значајни: електрицитет у ваздуху, садржај аеросола у ваздуху и др.

Климатски фактори или чиниоци су практично непромјенљиви. Најзначајнији су:

1. Земљина ротација,
2. Земљина револуција,
3. географска ширина,
4. географска дужина,
5. распоред копна и мора на Земљиној површини,
6. надморска висина,
7. рељеф земљишта – његова експозиција према Сунцу у току дана и године,

²⁸⁵ Грч. klima, 2. klimatos – нагиб; има се на уму нагиб Земљине површине према Сунчевим зрацима

8. врста подлоге – вода, снијег, лед, разни типови тла и стијена итд. и
9. биљни покривач – шума, њена врста и просјечна старост стабала, травни покривач и његова врста, голо тле и др.

Овим климатским факторима, који су стални или се мијењају веома споро, треба додати још два врло значајна, али промјенљива чиниоца: атмосферску циркулацију уз смјену и преображај ваздушних маса и дјелатност људског друштва (промјена биљног покривача, подизање шумских заштитних појасева, изградња великих вјештачких језера, изградња великих насеља итд).

Климатски фактори мијењају под одређеним условима средње вриједности климатских елемената до њихових максималних и минималних величина. Они су, према томе, не само модификатори климатских елемената него и саме климе.

Значај климе (поднебља) за ријечни режим ријека добро је уочио руски климатолог А.И.Војејков (1842-1916). Он је указао да су „ријеке производ климата“ и дао климатску класификацију ријечних режима (1884. год.).

8.1.1. Падавине.

Падавине сачињава вода у капљичасто-течном (киша, роса) и тврдом (снијег, крупа, град) стању која пада из облака или се таложи непосредно из ваздуха на површину Земље и на предмете (роса, слана, иње и поледица) усљед кондензације водене паре која се налази у ваздуху. Највећи климатски утицај имају киша, снијег и град. Сви облици падавина називају се стручно хидрометеори.

Падавине су најбитнији климатски елемент за ријечни режим, а њихово дјеловање испољава се према дневној, мјесечној и годишњој висини падавина, односно према плувиометријском режиму – расподјели годишње суме падавина падавина по мјесецима и по годишњим добима. У хидрологији, као и климатологији постоји термин “водни биланс Земље“, који представља однос између падавина (X) на једној и испаравања (Z) и отицања (Y),

$$\text{тј. } X = Z + Y.$$

Претходни образац у суштини значи, да за дужи низ година укупна висина падавина једнака је збиру испаравања и отицања падавина.

Карте изохијета²⁸⁶ представљају изолиније количине падавина у јединици времена или средњих вишегодишних сума падавина за мјесец или годину. Висина падавина је различита и на одређеном географском простору подложна и знатним колебањима. Због тога се у разматрање узимају просјечи падавина за период од најмање 35 година и уочавају се

²⁸⁶ Грч. isos – једнак и hyetos – киша;

извјесне правилности и њиховој расподјели. Појашњење тих правилности пружају карте изохијета²⁸⁷ на којима су сва мјеста са једнаким средњим висинама падавина спојена линијама које се називају изохијете.

Према подацима које је изложио М.И. Љвович (1974) водни биланс Земље има овакве вриједности:

Табела 16. Водни биланс Земље

Елементи водног биланса	Запремина у km ³	Слој у mm
<i>Периферно или егзорейчно одводњавање копна (116.8 милиона km²)</i>		
Падавине (X)	106 000	910
Отицање (Y)	41 000	350
Испаравање (Z)	65 000	560
<i>Унутрашње или ендорейчно одводњавање копна (32.1 милиона km²)</i>		
Падавине (X)	7500*	238
Испаравање (Z)	7500	238
<i>Свјетско море (361.1 милион km²)</i>		
Падавине (X)	411 600	1140
Притицање ријечне воде (Y)	41 000	114
Испаравање (Z)	452 600	1254
<i>Земља (510 милиона km²)</i>		
Падавине (X)	525 100	1030
Испаравање (Z)	525 100	1030

* укључујући 830 km² или 26 mm притицања ријечне воде

Плувиометријски режим²⁸⁸ представља годишњу расподјелу падавина по мјесецима или годишњим добима. Разликују се два типа плувиометријског режима: *динамички*, ако је годишње кретање падавина паралелно са годишњим кретањем облачности, и *статички (инверзиони) плувиометријски режим*, када годишње кретање падавина није паралелно са годишњим кретањем облачности.

За плувиометријски режим битно је нагласити да при једнакој годишњој висини падавина имају више воде ријеке у којима се претежни дио падавина излучи у хладнијем периоду године. Тада испаравање није велико, те већи дио падавина отекне него што испари.

Кишомјер, назив за лимени суд за мјерење падавина, причвршћен за дрвени стуб на отвореном простору, тако да му отвор буде 1.25 – 1.50 m

²⁸⁷ Године 1953. објављене су вишебојне карте изохијета Југославије за просјеке годишњих доба, мјесечне и годишње просјеке у периоду од 1925. до 1940. године; у току 1963 – 1975 године израђене су нове изохијетне карте којима је обухваћен период од 1931. до 1960. године

²⁸⁸ Лат. pluvia – киша, грч. metron – мјера и лат. regere – владати;

изнад топографске површине. Горњи крај је отворен, да би падавине у њега слободно доспијевале; пречник отвора је 160 mm. Мјерење падавина врши се у 07.00 сати, а на синоптичким станицама и у 19.00 сати по локалном времену. Садржина воде у кантици изручују се у стаклену мензуру (чашу) на чијој је страни уцртана скала од 1 – 10. Те бројке представљају величину падавина у mm, која се излучи на хоризонталну површину. Када у кишомјер напада снијег, онда се кишомјер скида са стуба и уноси у топлу просторију у којој се снијег отопи. Тако настала сњежница (вода отопљеног снијега) мјери се у мензури²⁸⁹ као и кишница.

Плувиограф је инструмент који аутоматски региструје падање кише, за све вријеме док траје киша.

Падавине својом количином и обимом у којем се излучују утичу на величину отицања. Пљускови изазивају у мањим сливовима нагле и краткотрајне промјене нивоа, док слабије а дуготрајније кише на већим површинама утичу на постепено издизање ријечног нивоа, које траје данима, а затим, по престанку киша, опадање водостаја је такође постепено.

Тотализатор. Инструмент који служи за мјерење падавина у тешко приступачним крајевима (планински простори, посебно планински врхови). Тотализатор има отвор као и кишомјер, али му суд прима и до 200 литара воде. Снијег који падне у отвор тотализатора отапа се помоћу калцијум хлорида, који истовремено спрјечава и замрзавање воде. У резервоар се сипа и литар петролеума или вазелинског уља, који су лакши од воде, пливају изнад ње и спречавају њено испаравање.

Излучивање падавина у виду снијега има двојак утицај на водостаје ријека у областима умјереног поднебља. Зимски сњежне падавине стварају сљежни покривач различите дебљине, тако да настаје опадање нивоа воде у ријечном кориту, односно појава ниских зимских водостаја. Сњежни покривач се отапа код појаве виших температура, нарочито у прољећном периоду, те сњежница изазива пораст нивоа воде у ријекама, а често и поплаве, које могу достићи катастрофалне размјере, посебно ако у исто вријеме падају јаче кише, а у планинским областима појави се и топли вјетар фен (у алпским крајевима називају га и „сњегождер“, јер може у размаку од 2 до 3 дана да отопи сњежни покривач дебљине 30-50 cm).

На тај начин честа је појава високих водостаја у прољеће, а на ријекама чији су сливови у високим планинама (до 2500 – 3000 метара), високи водостаји су честа појава у првој половини љета.

²⁸⁹ Лат. mensura – мјерење; 1. цилиндрична посуда са обиљеженим цртама које показују запремину течности до датог нивоа

Задржавање воде зими у сњежном покривачу назива се *нивална ретенција*²⁹⁰. Познавање величине нивалне ретенције је веома значајно за прогнозу прољећних, односно љетних количина воде у ријекама. За ове ријеке карактеристичан је *нивални режим*. То је тип ријечног режима, који имају ријеке које се хране водом од отопљеног снијега и леда (ријеке Сибира, сјеверне Канаде, али и ријеке високих планина). Ријеке нивалног режима имају највише воде у љетним мјесецима, када је најинтензивније отапање снијега и леда.

Када је у питању сњежни покривач потребно је нагласити да шумске површине (шуме) имају понекад велики утицај. Слабљењем кретања ваздуха за вријеме падања снијега шума²⁹¹ утиче на равномјернију расподјелу сњежног покривача. У току прољећа шума дејствује као регулатор при топљењу снијега.

8.1.2. Испаравање/евапорација²⁹².

Испаравање воде представља прелаз воде из течног или чврстог агрегатног стања у гасовито стање (водену пару). Испаравање може бити са:

- слободне водене површине,
- површине копна,
- биљног покривача.

При разматрању испаравања потребно је разликовати два термина/појма: стварно испаравање и могуће или потенцијално испаравање. Истраживањима је утврђено да количина испарене воде са јединице површине углавном зависи:

- од температуре површине са које вода испарава,
- од релативне влажности ваздуха изнад одређене површине,
- од брзине вјетра,
- од ваздушног притиска,
- од висине падавина

Ако је испаравање са површине копна или површине биљног покривача, оно тада још зависи и од:

- рељефа и положаја дотичног мјеста

²⁹⁰ Ретенција (лат. *retentio*, према *retentus* задржати од *retinere* задржати), задржавање воде од изливања и плављења или ради њене акумулације у мелиорационе сврхе, за рад електропостројења и сл.

²⁹¹ Шума – тип растиња који обједињава биљне заједнице у којима су доминантни дијелови састављени од дрвећа с више или мање затвореним крунама. Шума врши значајан утицај на процесе образовања тла, климу, процесе кружења влаге, нивалну ретенцију и др.

²⁹² Лат. е- од, са и варог – пара; процес прелажења материје из течног или чврстог агрегатног стања у гасовито стање (пару); у природи водена пара улази у атмосферу с површине воде, тла, снијега, леда и растиња (види: транспирација)

Испаравање је значајан фактор ријечног режима, а из поједностављене једачине слива слиједи да је испаравање (Z_0) једнако разлици између падавина (X_0) и висине отицаја (Y_0), односно:

$$Z_0 = X_0 - Y_0$$

Ово је најпрецизнији начин за одређивање величине испаравања падавина у неком сливу, али само када је у питању вишегодишњи период. Он обухвата испаравање са земљишта, вегетације и водених површина у сливу.

Температура ваздуха и влажност ваздуха налазе се у одређеној узајамној зависности, из чега слиједи да температура ваздуха представља битан фактор испаравања. К. Ли (Lee, 1942) је указао да губитак воде транспирацијом зависи око 60% од температуре ваздуха, 30-35% од његове влажности и само 5% од брзине вјетра. Количина испарене воде зависи још од неколико значајних фактора:

- у одређено времену управо је пропорционална величини површине са које испарава,
- уколико је ваздушни притисак већи утолико је испаравање мање и обратно,
- што је већа висина падавина у одређеном времену то је испаравање мање.

Мјерење испаравања. Испаравање се мјери инструментима који се називају *евапориметри* или *испаритељи*. На метеоролошким станицама употребљава се највише *Вилдов испаритељ*, који ради на принципу ваге, а показује на скали слој воде у mm који испари у току 24 сата.

Испаравање са слободне водене површине. Молекули воде са површинског слоја који у датом моменту имају већу брзину од околних молекула, излијећу из сфере утицаја околних молекула, а услед тога излијећу и из саме течности.

У суштини испаравање са водених површина зависи од разлике температуре воде и ваздуха, дефицита влажности ваздуха, брзине вјетра, надморске висине (ваздушног притиска) и др. Оно се израчунава по Мајеровом обрасцу (A. Meier):

$$Z = d (15+3v), \text{ у којем је:}$$

Z – мјесечно испаравање воде у mm; d – мјесечни дефицит засићености ваздуха влагом у mm Hg; v – просјечна мјесечна брзина вјетра у m/s на висини вјетроказа метеоролошке станице.

У употреби је и образац Б.Д. Зајкова:

$$Z = 0.15(e_0 - e_{200}) \times (1 + 0.72 w_{200}) \text{ mm/дан, у којем је:}$$

Z – дневно испаравање воде у mm; e_0 – максимални напон водене паре при температури коју има испаравајућа површина (у mb); e_{200} – напон водене паре на 200 cm изнад водене површине (у mb); w_{200} – брзина вјетра на висини од 200 cm изнад водене површине (у m/s).

Испаравање са површине копна. Према М. Милосављевићу (1982), суштина испаравања са површине копна је у томе што вода, која се налази између честица копна, било на површини или одмах испод површине копна, испарава. Водена пара, у овом случају, одлази непосредно у слободну атмосферу или у подземну атмосферу.

Испаравање са биљног покривача – врши се на два начина:

- испаравање из микроспора самих биљака, првенствено са лишћа биљака, тзв. транспирација. Ток овог испаравања представља чисто физиолошки процес, који је у вези са општим животом и растом биљака. Транспирациони коефицијент²⁹³ представља приближну релацију између раста биљке и испаравања са њене површине, у замјену за испарену воду са лишћа, биљка извлачи нову воду из земљишта својим коријеном;
- испаравањем воде од падавина која се задржала у крунама дрвећа и на листовима вегетације уопште.

Без обзира на претходне двије компоненте испаравања, испаравање је веће у првој половини вегетационог периода, када биљке транспирацијом троше знатно већу количину воде, него касније.

Утицај шуме и вегетације на испаравање. Када је копно прекривено или неком другом вегетацијом, онда се ту врши двојачко испаравање: са површине копна и са површине вегетације.

Испаравање са површине травног покривача је врло велика и, по неким истраживањима, приближава се или је чак већа од испаравања са слободне водене површине мањих вјештачких језера (Б.П. Алисов, Б.В. Полтараус, 1974). Међутим, испаравање земљишта испод травног покривача је знатно мање него са оголићених површина.

Б. Иванов је, према руским и другим изворима података, одредио висину испарене воде у току календарске године у разним вегетационим крајевима на копну (Табела 17.).

²⁹³ Коефицијент – мат. број који је сталан чинилац, множитељ у каквом алгебарском изразу; величина којом се одређује промјенљивост неке појаве или неког својства физичких тијела

Табела 17. Висина испарене воде у току године у разним вегетационим подручјима наше планете

Вегетациона подручја на копну наше планете	Висина слоја испарене воде у току године (у см)
Тропске прашуме	80 – 150
Саване	120 -140
Пустиње	10
Јужноевропске шуме	50 – 70
Средњоевропске шуме	37 – 45
Мјешовите шуме	40
Четинарске шуме	20 – 30
Сибирска тајга	5 – 10

Вегетација повећава неравнине на топографској површини,²⁹⁴ због чега се успорава површинско отицање падавина, а увећава могућност инфилтрације (процјеђивања/продирања) воде у тле. На основу досадашњих проучавања утицаја вегетације на отицање падавина дошло се до сљедећих уопштених резултата (према: Дукић, Гавриловић, 2006):

- у шумском појасу се излучују веће количине падавина него у оближњем пољу (отвореним равном земљишту),
- дио падавина задржава се на крунама дрвећа и испари; у четинарским шумама више, у листопадним мање (Табела 18.),
- висина снијега у шуми се увећава његовим преношењем са поља до ивице шуме; у шуми је 18-20% више снијега од отвореног равног земљишта,
- у шуми је инфилтрација тла већа него у пољу; томе доприносе: коријење стабала, шушкор или стеља (слој опалог лишћа) и буњина (слој од иструљелог лишћа), који скоро максимално онемогућују површинско отицање падавина, тако да оне пониру у тле,
- падавине у огољелим сливовима (сливовима интензивне сјече дрвне масе) често проузрокују појаву великих вода и поплавне таласе, док у сливовима са густим шумским покривачем таквих појава нема,
- у шуми је храћење аквифера падавинама веће него на отвореном равном земљишту, чиме је издан испод шумских простора обилнија и храни ријеке водом и у периоду сушног периода у току године и нижих водостаја,

²⁹⁴ Топографска површина – укупност равних и неравних облика рељефа од којих је састављена површина чврсте Земљине коре на било ком њеном дијелу. Што је рељеф рашчлањенији у вертикалном и хоризонталном правцу, то веће димензије достиже однос топографске површине и њене хоризонталне пројекције. Величина тог односа може послужити као мјера или карактеристика рашчлањености рељефа

- сјеча шуме и интензивно планинско сточарство нарушавају површинску структуру тла и умањују инфилтрационе способности топографске површине, а то се испољава у промјени величине елемената водног биланса и ријечног режима.

Табела 18. Задржавање падавина у крунама дрвећа у шуми у %

Врсте дрвећа	Падавине изнад круна дрвећа, P	Прошло кроз круну дрвећа			Испарило $P_3 = P - (P_1 + P_2)$
		Пало на земљу, P_1	Отекло низ стабла дрвећа, P_2	Укупно $P_1 + P_2$	
Буква	100	54.0	7.6	61.6	38.4
Храст	100	62.5	6.4	68.9	31.1
Клен ²⁹⁵	100	64.2	4.1	68.3	31.7
Бор	100	33.6	1.1	34.7	65.3

8.2. Утицај рељефа на отицање падавина.

Утицај рељефа је посредан. На картама изохијета (изолинија количине падавина) одређеног географског простора уочљива је већа годишња количина падавина у планинским областима, у односу на равничарски дио копна. Имајући у виду чињеницу да се атмосфера највећим дијелом загријава од подлоге, јасно је да температура ваздуха треба да опада са висином. У метеорологији вриједност промјене температуре са растом надморске висине се рачуна на 100 m висинске разлике и назива се вертикални температурни градијент (γ_T).

Температурни градијент (у атмосфери) је величина која карактерише измјене температуре на јединици растојања по нормали према изотермичкој површини; разликују се: хоризонтални температурни градијент, вертикални температурни градијент и адијабатски градијент (величина промјене температуре у маси ваздуха или воде, при адијабатском премјештању ваздуха на 100 m, а морске воде на 1 m);

Адијабатски²⁹⁶ процес представља измјену термодинамичког стања ваздуха која се догађа без размјене топлоте с околном средином (Земљином површином, васионом и сл.). Унутрашња енергија и температура ваздуха при томе се мијењају због сажимања или ширења. При сажимању, притисак и унутрашња енергија ваздуха расту, тако да и температура расте; при ширењу, напротив, притисак и унутрашња енергија се смањују, а температура опада.

²⁹⁵ Јавор клен (*Acer campestre L.*) је листопадни грм или стабло које може нарасти и до 20 m висине. Коријенски систем је добро развијен, а стабло достиже обим и до 80 cm; природно расте на подручју цијеле Европе; код нас се може наћи у шумама обичног граба, храста лужњака и букве

²⁹⁶ Адијабата (грч. *adiabatos* – непрелазан, затворен), у метеорологији – крива зависности између две карактеристике стања ваздуха при адијабатском процесу, нпр. између притиска и специфичне запремине ваздуха, притиска и температуре, температуре и висине на коју се ваздух премјешта адијабатски

Адијабатско загријавање представља загријавање масе ваздуха при њеном спуштању у ниже слојеве атмосфере, без размјене топлоте с околном средином; бива изазвана повећањем притиска и сажимањем ваздуха (нпр. загријавање ваздуха при фену, топлим и сувом снажном и плаховитом силазном вјетру који дува с планине у долине, при чему се ваздух адијабатски загријава). Насупрот адијабатском загријавању, адијабатско хлађење је хлађење масе ваздуха при његовом подизању у високе слојеве атмосфере, без размјене топлоте с околном средином. Адијабатско хлађење бива изазвано снижавањем притиска и ширењем ваздуха, односно адијабатско ширење у атмосфери настаје првенствено при узлазном кретању ваздуха.

Градијент²⁹⁷ је вектор²⁹⁸ који карактерише промјену неке величине на јединици удаљености, а у свакој тачки има одређену вриједност. Опадање температуре са висином се јавља због тога што (Дуцић, Анђелковић, 2004):

- главни извор топлоте представља Земљина површина,
- са порастом висине ваздух постаје рјеђи па више губи топлоту него што је апсорбује,
- озрачена површина и маса Земље која се загријава Сунчевим зрачењем и од које се загријава ваздух постаје мања са висином, док се на врху или гребену теоретски не сведе на тачку или линију,
- дању на већим висинама јачи вјетрови односе загријан ваздух са планина, а на његово мјесто доносе хладнији из слободне атмосфере; у току ноћи, при јакој радијацији, кретање ваздуха је успорено па је температура ваздуха доста ниска,

- издизањем загријааног приземног ваздуха наступа адијабатско хлађење.
- С обзиром на чињеницу да вертикални градијент температуре (γ_T) представља промјену вриједности овог климатског елемента на 100 m висине, формула за његово израчунавање ће бити (Дуцић, Анђелковић, 2004):

$$\gamma_T = \frac{\Delta T}{\Delta H} \times 100,$$

гдје је:

ΔT разлика у температури између ниже и више метеоролошке мјерне станице, односно $\Delta T = T_1 - T_2$, а $\Delta H = H_2 - H_1$ је разлика у надморској висини између више и ниже станице.

²⁹⁷ Градијент (лат. *gradiens*, 2. *gradientis* – који корача), величина промјене неке карактеристике простора (поља) на јединици удаљености; појмом градијента широко се користе у океанологији, метеорологији и др. (нпр. градијент сланости, градијент густине морске воде, градијент притиска, градијент температуре, градијент влажности, градијент брзине вјетра и др.)

²⁹⁸ Вектор (лат. *vector*), 1. *мат. физ.*, оријентисана дуж, приказ силе која има одређену величину и правац; скалар, *мат. физ.* величина потпуно дефинисана бројем

Овако дефинисаним обрасцем добије се позитивна вриједност термичког градијента када температура ваздуха опада са висином. Уколико температура ваздуха расте са висином вриједност термичког градијента је негативна, а уколико нема промјене температуре градијент је једнак нули.

Примјер ²⁹⁹. Одређивање вриједности вертикалног температурног градијента на профилу Косовска Митровица – Копаоник. Косовска Митровица има надморску висину од 526 m, а локација на Копаонику од 1710 m. Средња годишња температура (за период 1961 – 1990) за Косовску Митровицу износи 10.0°C, а за Копаоник 2.7°C. Уврштавањем ових података у образац (формулу) за израчунавање градијента добићемо његову вриједност.

$$\gamma_T = \frac{T_1 - T_2}{H_2 - H_1} \times 100 = \frac{10.0^\circ\text{C} - 2.7^\circ\text{C}}{1710\text{m} - 526\text{m}} \times 100 = \frac{7.3}{1184} \times 100 = 0.616^\circ\text{C}/100\text{m}$$

Хипсографска крива слива/хипсометријска крива слива. Хипсометријска крива или хипсометријски дијаграм слива представља зависност процентуалне заступљености појединих висина слива у функцији површине слива. За приказ хипсометријске криве слива, односно графикона површине слива у функцији надморске висине ($F_i=f(H_i)$), неопходно је урадити узастопне суме површина и одредити процентуално учешће у односу на цјелокупну површину. На основу хипсографске криве слива могуће је прогнозирати отапање снијега и количину сњежнице која се може очекивати у водотоцима. С обзиром да се отапање снијега обавља на температурама вишим од 0°C, за сваки слив потребно је да се одреди вриједност висине *нулте изотерме* (0°C).

(1). Ако нам је познат вертикални температурни градијент можемо израчунати температуру ваздуха на било којој висини (T_2) помоћу обрасца:

$$T_2 = T_1 - \left(\frac{\gamma_T}{100}\right) \times \Delta H$$

T_2 је измјерена температура на некој станици, а ΔH је разлика у надморској висини између те станице и станице чију температуру узимамо у обрасцу: $\Delta H = H_2 - H_1$.

(2). Други облик обрасца прорачуна температуре ваздуха (t) за било коју висину добија се по формули:

$$t = t_n \pm TG \frac{\Delta H}{100}$$

у којој су: t_n – температура ваздуха ниже метеоролошке станице, TG – термички градијент ($^\circ\text{C}/100\text{ m}$), а ΔH – висинска разлика између више и ниже тачке (односно метеоролошке станице).

(3). Код прорачуна отапања снијега често је потребно одредити висину изотерме од 0°C. Ова изотерма се добије по обрасцу:

$$H_0 = \frac{100 \times t}{TG} + H$$

²⁹⁹ Подаци преузети из Практикума за географе (Тошић.Р., Црногорац. Ч., 2005)

у којем је H_0 – висина изотерме од 0°C , H – висина метеоролошке станице у m , док су значења осталих чланова обрасца дата у претходној једначини.

8.3. Утицај земљишта на отицање падавина у сливу.

Земљиште (тло) је природно тијело настало усљед преображавања површинских слојева литосфере под заједничким утицајем воде, ваздуха и живих организама. Земљиште мијења метеоролошке процесе и појаве у хидролошке чиме, на тај начин, представља посредника између различитих типова климата и хидролошког режима. Вода се у земљишту јавља у различитим облицима и у сва три агрегатна стања (Оторепец, 1991):

- хемијски везана вода,
- физички везана вода,
- капиларна вода,
- гравитациона вода,
- вода у облику водене паре,
- вода у чврстом стању.

Вода у недосфери, која представља порозни површински дио литосфере, је под утицајем молекуларних,³⁰⁰ капиларних,³⁰¹ гравитацијских³⁰² и других сила. Због тога се подземна вода одликује низом особености у погледу квалитета, стања, својстава и начина кретања.³⁰³

Вода у облику паре налази се у земљишту у врло малим количинама (хиљадити дијелови процента), али има изузетну улогу у процесима распадања стијена и исхране биљака. Физички везана вода са силама молекуларног привлачења се држи за минералну честицу. Код физички везане подземне воде разликују се: хигроскопна и опнена вода.

*Хигроскопна или адсорпцијска*³⁰⁴ вода је дио подземних вода којег молекуларне силе држе за минералну честицу притиском који је ранга величине 10^9 Pa .³⁰⁵ Количина хигроскопне воде је зависна од величине распореда гранула (зрна), то јест од унутрашње површине петрографско – педолошког слоја, као и од релативне влажности ваздуха.

³⁰⁰ Молекул (фран. *molécule* – мала маса), најситнији дјелић једног тијела који још задржава сва својства своје првобитне цјелине.

³⁰¹ Капилари (лат. *capillus* – влас, коса, длака), цјевчице са танким каналима; танки канали различитих врста (нпр. поре у земљишту).

³⁰² Гравитација (лат. *gravitas* – тежа), привлачење, основно својство масе; својом масом тежити, приближавати се неком другом тијелу.

³⁰³ Видјети опширније: Радичевић П., цит. изд., стр. 171 – 175.

³⁰⁴ Адсорпција (лат. *adsorptio*), физ. задржавање гасова, пара или течности на чврстој површини, усљед привлачних веза са површином.

³⁰⁵ Паскал, физ. мјерна јединица за притисак (напон) у Међународном систему мјерних јединица. То је притисак који производи сила од једног Њутна на равну површину од 1 m^2 ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$).

Табела 19. Количина хигроскопне воде у различитим стијенама

Ред. број	КОЛИЧИНА ВОДЕ У РАЗЛИЧИТИМ СТИЈЕНАМА (ЗЕМЉИШТИМА)	
	Врста стијене (земљишта)	Хигроскопност у %
1	2	3
1.	пијесак	0.36
2.	прашинасти пијесак	4.60
3.	квартарна иловача	6.53
4.	лес	7.00
5.	глинени пјешчар	10.34
6.	терцијерна глина	17.60

(Извор: Богомолов, В.Г., 1958)³⁰⁶

Опнена (адхезијска³⁰⁷ или пеликуларна) вода је физички везана вода која попут танке кожице надсвођује хигроскопну воду (обавија минералну честицу и хигроскопну облогу слојем различите дебљине). Кретање јој је споро, а одвија се од зрна велике дебљине опне до зрна мале дебљине опне, у циљу изједначавање дебљине.

Слободне (гравитационе) воде могу бити: капиларне, амбулантне и изданске. Гравитациона вода је онај сегмент подземних вода који може слиједити ефекат силе теже и слободно се кретати у земљишту и кроз стијенску масу.

Капиларне воде су оне воде које се крећу под утицајем површинског напона у правцима капиларних шупљина (капилара).³⁰⁸ Капиларне воде, по правилу, изнад слободне површине издани образују појас и под сталним су утицајем више сила, на примјер адхезије, кохезије³⁰⁹ и гравитације.

³⁰⁶ Bogomolov, V.G., Grundlagen der Hydrogeologia, стр. 187., Berlin, 1958.

³⁰⁷ Адхезија (лат. adhesio), у физици: сила којом се привлаче молекули разних тијела; пеликула (лат. pellicula – кожица).

³⁰⁸ Капилари (лат. capillus – влас, коса, длака), танки канали разне врсте; капиларност – особина течности да се диже (или спушта) по капиларима.

³⁰⁹ Кохезија (лат. cohaerere – бити везан, приањати), унутрашња сила која дјелује између молекула неког тијела држећи их на окупу.

Табела 20. Капиларно издизање воде у различитим стијенама

Ред. број	КАПИЛАРНО ИЗДИЗАЊЕ ВОДЕ У РАЗЛИЧИТИМ СТИЈЕНАМА	
	ВРСТА СТИЈЕНЕ (ЗЕМЉИШТА)	ИЗДИЗАЊЕ ВОДЕ (у cm)
1	2	3
1.	Шљунак (крупни пијесак)	< 3
2.	Средњозрнасти пијесак	20 – 40
3.	Ситнозрнасти пијесак	40 – 80
4.	Глиновити пијесак - лес	100 – 400
5.	Глина	> 400

(Извор: Богомолов Г.В.,1958)

Вода се пење у капиларима у зависности од притиска ваздуха у порама стијенске основе. „Капиларно издизање вода има посебно значење за вегетацију. Кроз крупне поре пролази вода слободно. Кроз средње поре пролаз воде је најповољнији за раст биљака. Кроз ситне поре пролаз је тако мален да биљка уопште не може добити воде и почиње венути, биљка се суши“.³¹⁰

Амбулантне воде су лутајуће,³¹¹ које са топографске површине пониру у виду цурака³¹² према непропусној подлози. Ове воде учествује у формирању изданских вода, које се у маси крећу кроз шупљине стијена по законима хидраулике

Воде у чврстом стању могу бити оне подземне воде које се налазе у подручју дејства ниских температура. Подземни лед се налази у горњим слојевима литосфере. По времену настанка разликују се савремени и фосилни подземни лед а по поријеклу разликујемо примарни лед (настао у процесу замрзавања растреситих наслага) и секундарни лед (продукт кристализације воде и водене паре у пукотинама, порама и шупљинама). Подземни лед је везан за области распрострањења стално замрзнутих стијена.

Хемијски везана вода је хемијским процесима укључена у састав минерала. У оквиру хемијски везаних вода разликују се : конституциона, кристализациона и зеолитска вода.

Конституциона вода је у облику хидроксилних група³¹³ (OH^{-} , H^{+} , H_3O^{+}), саставни дио кристалне³¹⁴ решетке минерала (мусковит, апатит,

³¹⁰ Ј. Риђановић, цит. изд., стр. 88.

³¹¹ Амбуланта (лат. *ambulare* – шетати, путовати); амбулантан – покретан, преносив, путујући.

³¹² Цурак – мали водени ток; вода се у њима споро креће – цури.

³¹³ Хидроксил (грч. *hýdōr* - вода + *oxýs* – кисео), у хемији негативно једновалентни радикал једињења – ОН, основни дио хидроксида који условљава његову базичност.

топаз и др.). Загријавањем од 300°C до 1000°C конституциона вода елиминише се из минерала, уз потпуну деструкцију кристалне (кристаласте) решетке.

Кристализациона вода улази у састав кристалне решетке минерала у облику молекула воде (епсомит,³¹⁵ карналит,³¹⁶ гипс,³¹⁷ аналгам и др.). У одређеним физичким условима кристализациона вода се може укључивати у кружење воде у природи.

*Зеолитска вода*³¹⁸ је такође у саставу кристалне решетке минерала, али је за њу везана најслабије па се без промјене својства минерала може постепено удаљити.

У зависности од особина стијена (минерални и хемијски састав и одређене структурне карактеристике) и особина топографске површине која утиче на услове храњења и појаву извора, подземне воде немају правилан и уједначен распоред у Земљиној кори.

Подземне воде имају вишеструк значај: дјелују као деструктивни фактор,³¹⁹ али и као фактор стварања нових минерала и стијена. То практично значи да се подземне воде не јављају у чистом стању већ садрже разне растворљиве материје (минерали и гасови). Како подземне воде продиру у све празне просторе стијена и минерала, у цијелој литосфери, можемо рећи да је деструктивно – креативни ефекат подземних вода разноврстан и свеобухватан.

*Кондензационе*³²⁰ воде се образују од водене паре подземних дијелова атмосфере која, услијед општих струјања ваздуха доспијева у шупљине стијена, као и од водене паре која долази из дубљих слојева Земљине коре или из близине вулканских огњишта. Начин стварања воде путем процеса кондензације био је познат хуманој популацији која је насељавала пустињске и/или полупустињске просторе наше планете.³²¹ Значајна искуства за настанак кондензационих вода везан је за спелеолошке објекте, посебно за оне гдје су присутна ваздушна

³¹⁴ Кристал (грч. *krýstallos*), у минералогии тијело ограничено равним геометријским површинама и у свим дијеловима подједнаких хемијских састава; кристали су грађени по типу просторне решетке која представља скуп правилно периодично распоређених тачака у простору.

³¹⁵ Минерал магнезијума ($Mg SO_4 \cdot 7H_2O$).

³¹⁶ Минерал натријума и калијума ($KMgCl_3 \cdot 6H_2O$).

³¹⁷ Минерал калцијума ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$).

³¹⁸ Зеолити (грч. *zēō* - кључам + *lithos* - камен), група већином бијелих, сјајних и лиснатих минерала, углавном силиката са водом, натријумом и калцијумом; зеолити су природни силикати.

³¹⁹ Деструкција (лат. *destructio*), рушење, разарање, уништавање, преврат.

³²⁰ Кондензација (лат. *condensatio*), *физ.* згушњавање, претварање паре у течност путем расхлађивања или притисака.

³²¹ Стари народи су сакупљали кондензационе воде у вјештачким ходницима и галеријама.

струјања. Хлађење топлог ваздуха доводи до кондензације на своду и зидовима пећинских система гдје се вода слива до дна пећинских ходника и канала и формира мање или веће акумулације кондензационе воде.

Убризгане воде (инјективне³²² воде) припадају такође, вадозним водама а поријекло им је, најчешће, од вода ријечних токова. Наиме, у равничарским географским просторима, у доњим токовима моћних ријека са високом амплитудом водостаја, у вријеме високог водостаја у ријечном кориту и ниског водостаја подземних вода врши се продирање (убризгавање) ријечне воде у издан. Према Ј. Петровићу и Ж. Богдановићу (1995) „такве воде нарочито су заступљене у седиментима пространих алувијалних равни великих равничарских река. Јављају се у свим деловима Панонског басена, у котлинама и у доњим деловима притока Саве и Дунава“.

Међу најзначајније хидролошке особине земљишта спадају: инфилтрациона способност и способност задржавања воде (изражена у капацитету садржаја воде у земљишту или у било којој стијени).

*Инфилтрација*³²³ представља процјеђивање атмосферске и површинске воде у земљиште, стијене и њено кретање по капиларима, порама и шупљинама према нивоу подземних вода. У складу са овом дефиницијом инфилтрационе воде су подземне воде које настају процјеђивањем кишнице, сочнице и ријечне воде кроз стијене са површине Земље. Инфилтрација у систему кружења воде у земљишту има значајну функцију, јер од инфилтрационе способности земљишта зависи колико воде ће бити апсорбовано (упијено), а колико ће бити површинско отицање, које је узрок ерозије земљишта.

Инфилтрационо поријекло подземне воде. Према инфилтрационом³²⁴ поријеклу подземних вода површинске и атмосферске воде пониру (продиру) кроз шупљине стијена и испуњавају их дјелимично или у потпуности до одређеног нивоа. Један од доказа инфилтрационог поријекла подземне воде је промјена нивоа воде у бунарима: у кишном периоду долази до повишења нивоа воде, а у сушном периоду до опадања нивоа воде.

Инфилтрациона теорија, дуго времена прихваћена од већине хидролога, има и своје слабе стране. Прве сумње су се јавиле након истраживања подземних вода у пустињским областима. У тим, површински безводним просторима гдје нема падавина, на одређеним дубинама

³²² Инјектирати (лат. *injectio*), убацивати, убризгати.

³²³ Лат. *in* – у и *filtratio* - процјеђивање

³²⁴ Инфилтрација (фран. *infiltration*) – продирање, увлачење, цијеђење, процјеђивање.

(одређеној дубини) се налазе подземне воде. Слично је и са поларним крајевима, гдје је такође врло мало падавина.³²⁵

Највећа количина атмосферских падавина продире у Земљину кору у географским просторима који су изграђени од стијена са доста шупљина а најмању инфилтрацију имаће простори изграђени од контактних, водонепропусних стијена. На основу тога Ј. Петровић и Ж. Богдановић³²⁶ су дали слједећи образац за израчунавање количине инфилтрационих вода:

$$K = P - O - I - B$$

при чему је : K – количина инфилтрационих вода; P - укупна количина падавина; O – отицање; I – испаравање; B – биосфера.

Способност задржавања воде састоји се у особинама земљишта да прими и задржи воду, а под извјесним условима и да је одаје. Ако је способност задржавања воде код земљишта значајно изражена, онда се повећава расход воде на испаравање, па се он увећава до испарљивости. Ако је способност задржавања воде мала, онда у таквом земљишту вода понире у дубину и храни подземне воде. У таквим условима отицање падавина је велико, а протицај се увећава значајним притицањем подземних вода, док је површинско отицање мало, а безначајно при максималној инфилтрационој способности земљишта (Дукић, Гавриловић, 2006).

8.3.1. *Замрзавање/смрзавање земљишта.*

Појава мрза се везује за снижење температуре испод 0°C. У нашим географским просторима и географским ширинама замрзавање земљишта обично почиње послје календарског почетка зиме, под условом да нема сњежног покривача. Период замрзавања земљишта зависи од интензитета и трајања мрза и од појаве и дебљине сњежног покривача. Сњежни покривач има огроман утицај на природне особености географске средине: на климу, хидролошке процесе, формирање спацифичних облика рељефа, образовање педолошког покривача, на живот флоре и фауне, а такође и на многе људске дјелатности. Када су у питању хидролошки процеси сњежни покривач штити земљиште од промрзавања. Због тога, када почне његово отапање, земљиште испод сњежног покривача прима знатну количину сњежнице, која учествује у храњењу издани и ријека; оголићено земљиште се дубље

³²⁵ Без обзира на одређене недоумице и данас се сматра да највеће количине подземних вода настају инфилтрацијом.

³²⁶ Петровић Ј., Богдановић Ж., цит. изд., стр. 10.

замрзне и извјесно вријеме не пропушта сњежницу, тако да има и улогу вододржљивог слоја.

Процес замрзавања земљишта се према П.И. Колоскову³²⁷ може се подијелити на четири стадијума:

I. стадијум почиње падом температуре испод 0°C и траје до почетка образовања леда; у суштини то је стадијум прехлађене воде у земљишту;

II. стадијум почиње од момента појаве кристалића леда и завршава се када почиње повећање запремине земљишта; ова стадијум карактерише настајање и повећање чврстоће земљишта усљед цементације³²⁸ његових честица, односно усљед преласка воде у лед;

III. стадијум почиње од момента повећања опште запремине земљишта и завршава се потпуним замрзавањем цјелокупне слободне воде, усљед чега земљиште има највећу могућу запремину;

IV. стадијум настаје при даљем паду температуре, при чему потпуно замрзнут површински слој земљишта почиње да смањује запремину и рашчлањује се на појединачне вертикалне призме,³²⁹ раздвојене пукотине.

Мјерење и одређивање дубине замрзавања земљишта. Дубина продирања нулте изотерме се може узети и као дубина замрзавања земљишта. Дубина продирања нулте изотерме може се одредити инструментално, помоћу *мрзломјера Данилина*, или рачунски, на основу мјерења температуре земљишта на разним дубинама.

Израчунавање дубине продирања нулте изотерме на основу вриједности температуре земљишта на разним дубинама (Дроздов, 1957) врши се по обрасцу:

$$H = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1}(t_1), \text{ у којем је:}$$

H – дубина продирања нулте изотерме, у см

h_1 – дубина последњег геотермометра с негативним терминским³³⁰ минимумом

h_2 – дубина наредног геотермометра с позитивним терминским минимумом

t_1 и t_2 – термински минимума температуре земљишта на дубини h_1 и h_2

(t_1) – апсолутна вриједност терминског минимума температуре на дубини h_1

³²⁷ Цит. Шуљгин, 1957.

³²⁸ Цементирати, фиг. поставити јаке основе, чврсто везати

³²⁹ Грч. *prisma* – 1. геометријско тијело ограничено одозго и одоздо двама полигонима (полигон – многоугаоник), а са стране паралелограмима (паралелограм, *геом.* – четвороугаоник код кога су наспрамне странице паралелне и једнаке дужине)

³³⁰ термински – који је везан за одређени термин, рок, датум

8.4. Антропогени фактори ријечног режима

Агротехничке мјере и хидротехнички објекти имају најизразитији утицај, када је ријеч о антропогеним факторима, на ријечни режим. Чињеница је да се у новом миленијуму све веће количине воде (m^3/s) узимају из ријечних токова, језера и са ријечних извора. Све бржи демографски раст хумане популације отвара бројна водопривредна питања на локалном, државном и глобалном нивоу. Јављају се бројни сукоби интереса када је у питању водоснабдијевање руралних и урбаних простора, водоснабдијевање пољопривредне и индустријске производње, као и глобални недостатак питке воде (и све интензивнији развој пласмана и продаје „флашираних вода“).

Све су наглашенији проблеми наводњавања, хидроенергетике и пловидбе, гдје се путем Европске уније (ЕУ) одређују стандарди везани за енергетику, рибарство, пољопривреду, заштиту животне средине и др. У суштини Европска унија ствара јединствено тржиште путем система закона који се примењује у свим државама чланица, што треба да гарантује слободан проток људи, роба, услуга и капитала. Она задржава заједничку трговинску политику, пољопривредну политику и политика у области рибарства и регионалног развоја.

Антропогени утицаји могу бити позитивни и негативни. Најизразитији антропогени утицаји на отицање падавина, осим сјече шума, јесу пољопривредне активности у неком сливу. С једне стране је то утицај на смањење површинског отицања падавина, а с друге стране је ријеч о коришћењу ријечне воде за водоснабдијевање становништва, привреде и термоенергетике (ХЕ и ТЕ)³³¹.

8.4.1. Утицај пољопривреде на ријечни режим.

Агротехничке³³² мјере су један од најзначајнијих фактора ријечног режима. Агротехника подразумијева употребу техничких средстава у пољопривреди у циљу рационалније производње и повећања приноса, посебно у земљорадњи. Када је у питању утицај агротехничких мјера у земљорадњи, већ се дошло до резултата истраживања који показују да агротехничке мјере могу не само да смање површинско отицање (специфични отицај – q), него га у многим случајевима потпуно елиминишу. Истраживања у ратарству су потврдила да дубоким попречним орањем благих падина (смјером изохипси/паралелно са изохипсама), задржава се у земљишту до 90-99% падавина, док при уздужном орању (под правим углом на линију изохипси) та вриједност износи од 44 – 90% падавина.

³³¹ Видјети опширније: В. Јевђевић, 1956., стр. 225 - 226

³³² Агротехника – обрађивање земљишта употребом техничких средстава

Већ је раније истакнуто да шумски заштитни појаси смањују отицање падавина у ријечна корита у аридним зонама³³³ (областима са недовољним или малим количинама влаге за потребе земљорадње). На тај начин они посредно утичу и на ријечне режиме.

Информативни текст! А.М. Грин је установио на експерименталним полигонима Централно-чернозјомног рејона европског дијела Русије (око града Курска) да се дубоком јесењим орањем смањује прољећно површинско отицање воде за 1.5 пут на сјеверозападу овог рејона, до 2.3 – 3 пута на његовом југоистоку, у поређењу са отицањем воде са поља неузораних у јесен. Приближно 1.5 пут се смањује отицање воде и повећавају резерве влаге у тлу на пођубреним пољима у поређењу са онима која нису ђубрена. Водни биланс Централно – чернозјомног рејона за период 1925 – 1950. године показује смањивање површинског отицања воде до 68% од укупног отицања (површинског и подземног отицања воде). Томе је допринијело дубоко јесење орање и пођубривање ораница. На тај начин је повећана влажност тла за 15 mm (слој воде) у поређењу са ранијим периодом.

8.4.2. Утицај акумулација на ријечне режиме.

Вјештачко језеро³³⁴ је језеро створено људским радом, преграђивањем ријечних токова бранама. Вода вјештачких језера користи се за покретање турбина у хидроелектранама, за наводњавање, за водоснабдијевање, за рибњаке, за туристичке сврхе, али и за обезбјеђивање еколошког минимума протицаја. Преграђивањем ријечних долина земљаним или бетонским бранама мијења се дотадашњи режим ријечног тока, али и режим подземних вода у приобалском појасу језера. У суштини долази до значајних промјена природне дистрибуције³³⁵ протицаја воде у ријекама.

Хидротехнички објекти са акумулацијама воде доводе до бројних и често значајних промјена природних стања које утичу на околни географски простор, али и на живот људи у подручју насталих језера. Најчешће промјене које се јављају су: потапање пољопривредног земљишта, потреба расељавања хумане популације (са низом посљедица за промјену животних услова, привређивања и др.). Након одређеног временског периода могу се појавити промјене микроклиме. Када је у питању ријечни режим, низводно од бране битно се мијења режим водотока и стабилност ријечног корита, најчешће због престанка таложења наноса и повећане ерозије (са значајним посљедицама за ихтиофауну и водене организме у ријечи).

³³³ Зоне у подручју аридна климе (лат. aridus – суви); клима у којој величина испаравања у великој мјери превазилази годишњу количину падавина; у аридним зонама доминантна су аридна земљишта

³³⁴ У српском језику за вјештачко језеро постоји термин „загат“

³³⁵ Дистрибуција – 1. диоба, дјелење, расподела, снабдијевање, достављање, испоручивање; 2. распоређивање, разврставање, класификовање

Комитет за високе бране (бивше Југославије) организовао је 1978. године симпозиј на тему „*О утјецају вјештачких језера на човјекову средину*“³³⁶, гдје су утврђене одређене промјене својстава воде у акумулационим језерима и у ријечи низводно од бране:

- биолошке посљедице промјене температуре успорене воде стварају услове углавном мање повољне него у ријечи,
- погоршава се квалитет воде због еутрофикације³³⁷ у већој дубини језера,
- језеро се с временом засипава и смањује корисну запремину,
- корито се низводно од бране продубљује јер се не таложи нанос, па дјелује само ерозија (вертикална ријечна ерозија),
- ерозија ријечног корита изазива снижавање нивоа подземне воде у приобаљу.

Значајан утицај на ријечни/водни режим имају и мале акумулације. Оне, у суштини, имају вишеструки значај. Према М. Михајловићу (2006) користе се за наводњавање брдских терна, за снабдијевање питком водом, задржавање поплавних таласа и заштиту низводних терена од поплава, за заштиту земљишта од ерозије и за производњу електроенергије.

Значај малих акумулација је истакнут и у неким публикацијама ФАО³³⁸, као што је:

„Мале акумулације, брдска језерца откривају нове могућности за добијање плодних поља, у најчешће ерозијом опустошеним брежуљкастим и брдским предјелима, за подизање стандарда и рјешавање незапослености становништва“.

„Оне представљају спас за велики дио људства, којем пријети глад или које већ гладује. Помоћу њих се спријечававају штете од ерозије, поплава и суше. Мале акумулације су императив данашњице“.

Код малих акумулација, ефекти од уређења водног режима су: одбрана од поплава, задржавање наноса, оплемењивање малих вода и заштита великих акумулација. Оплемењивање малих вода је од велике важности за водотоке који имају велике амплитуде минималних и максималних водостаја у току године. Код малих вода, испуштање биолошког минимума воде има одлучујући утицај за одржавање флоре и фауне

³³⁶ Видјети опширије: Е., Nonveiller (1983): Nasute brane – projektiranje i građenje, Školska knjiga, Zagreb, стр. 24 – 29.

³³⁷ Еутрофикација (грч. eutrophos – добро ухрањен), процес услед кога се вода обогаћује хранљивим материјама неопходним за раст биљака и животиња. Еутрофикација је резултат или природног старења воденог басена или његовог побољшања или загађивања

³³⁸ Скраћеница од енгл. Food and Agriculture Organization of United Nations; Организација Уједињених нација за исхрану и пољопривреду (основана 1945. год. са сједиштем у Риму)

(посебно ихтиофауне), и истовремено спрјечава термичко и друга загађења воде у ријечном кориту.

Видимо да вода из акумулације се може употребити и за побољшање, тј. контролу квалитета воде на потесу/сектору низводно од бране. Режим ријечног тока послје изградње бране је успорен. Природан (или непоремећен) режим неког водотока је онај прије изградње бране, а његова карактеристика су биле мале и велике воде. Разноврсне и често конфликтне намјене акумулације³³⁹ могуће је сврстати у двије групе:

- активно коришћење запремине акумулације,
- заштита од поплава.

У анализи акумулација постоји велики број питања који захтијевају одговор. Најчешћа су сљедећа питања (С. Симоновић, 1989):

- који пројекат прихватити за изградњу;
- када почети изградњу;
- колика је запремина акумулације;
- шта се може очекивати од пројекта;
- колика су испуштања из акумулације;
- како управљати акумулацијом у реалном времену, и
- колика је цијена 1m^3 воде.

Позната је чињеница да са великих површина водног огледала већих и великих вјештачких језера испарава значајна количина водене паре („воде“), па ријеке стога имају мање воде, али равномјерније расподијељене током календарске године. Код великих акумулација (великих вјештачких хидробјеката) најизраженије промјене на ријечни режим евидентиране су у случајевима када се из неке акумулације узима дио воде, а често и сва вода, за потребе слива неке друге ријеке. То се обично чини (Д. Дукић, Љ. Гавриловић, 2006) да би се искористио пад воде и њене што веће количине у сврху производње струје, а понекад и ради наводњавања.

³³⁹ Видјети опширније: Zelenhasić, E., Ruski, M. (1991), Inženjerska hidrologija, стр.435-490.

9. РИЈЕЧНА (ФЛУВИЈАЛНА) ЕРОЗИЈА И РИЈЕЧНИ НАНОС

9.1. Ријечна ерозија³⁴⁰.

Ерозија³⁴¹ представља механичко и хемијско разарање постојећих, у првом реду тектонских, облика рељефа дјеловањем егзогених сила: воде, вјетра, леда, таласа. Ерозија доводи до настанка посебних облика рељефа које проучава ерозивна геоморфологија. Разликују се физичка (механичка), хемијска и органска ерозија. Ријечна ерозија (флувијална ерозија) је механички рад који врше ријечни токови снагом своје водене масе. Агенс³⁴² процеса ријечне ерозије је вода, и то текућа вода, која се креће коритима водотока различитих по габаритима³⁴³, односно количини воде (поточићи, потоци, ријечице, ријеке). Механички рад ријечне ерозије се састоји у:

- проширивању и продубљивању корита³⁴⁴, при чему се ријечни слив у цјелини снижава,
- преношењу материјала, који се налази растворен и суспендован у ријечној води, и
- транспортовању материјала који ријека вуче по дну свог корита.

Дубинска или вертикална ерозија продубљује ријечна корита. Карактеристична је и доминантна за оне потесе ријечног корита гдје је изражена већа брзина тока воде (углавном горњи токови водотока). Горњи токови низа водотока, лоцираних углавном у планинским подручјима и са мањим протицајима, често имају велике падове и сходно томе одговарајуће брзине воде, при чему располажу знатном енергијом. Међутим, ерозија није карактеристична само за горње токове водотока.

Хоризонтална или бочна ерозија шири/проширује ријечна корита. Доминантна је, углавном, за средње и доње токове ријека, на којима су мањи падови ријечног корита, односно брзина тока воде, али је протицај знатно већи него у горњем току.

Процес ријечне ерозије. Ријечна ерозија зависи од двије супротне силе: воде која се креће – агенса, и геолошког састава – отпора. Поред тога, на процес ријечне ерозије утичу још двије групе фактора (Лазаревић, Тошић, 2013):

- зависно – варијабилне (промјенљиве) вриједности (проистичу из процеса): пад и брзина отицања, денудација, маса и калибар материјала, промјена попречног профила, развитак тока (меандри,

³⁴⁰ Видјети опширније: Лазаревић, Р., Тошић, Р. (2013), стр. 135 - 183

³⁴¹ Лат. erosio – разједање;

³⁴² Агенс (лат. agens – који дјелује), покретна сила

³⁴³ Димензија неког предмета, промјер, величина

³⁴⁴ Бочна и дубинска (вертикална) ерозија

пиратерија), промјена басена ријечног слива, смањење протицаја усљед снижавања слива и др;

- независно-варијабилне вриједности (не проистичу из процеса ерозије): водостање, почетни слив, густина и распоред притока, климатске и тектонске промјене у току ерозивног процеса и др.

Пошто се налази у непрекидном кретању низ стрму раван, ријечна вода располаже одређеном кинетичком енергијом, која зависи од масе воде и тренутне брзине воде. Вода у ријечним коритима не креће се под цијелокупним утицајем силе теже, већ се та сила разлаже на двије компоненте (в. Слику 34). Кретање се одвија само под утицајем компоненте која дјелује у правцу паралелног нагиба ријечног корита, док друга компонента, која дјелује у правцу управном на нагиб корита, представља силу трења – отпора, која се противи кретању водене масе. Кад би се вода кретала низ стрму раван под укупним дејством силе теже, онда би њено кретање било одређено обрасцем за брзину. Међутим, због спољног и унутрашњег трења, ерозивног рада и преношења материјала, вода у ријекама не креће се са убрзањем, тј. не повећава своју кинетичку енергију. Брзина по обрасцу за стрму раван јавља се изузетно само код водопада, па и ту са извјесним одступањем.

Кинетичка енергија ријечног тока троши се углавном на механички рад у кориту, односно на уздужном профилу ријеке. У зависности од величине, кинетичка енергија се троши слиједећим редом: на отицање (савлађивање трења, турбуленције), на пренос суспендованог и бученог наноса, на корозију (механичко дејство воде) и наноса у кориту, на убрзање отицања и на прелаз у потенцијалну енергију (повећање дебљине слоја воде) и др.

Процеси флувијалне (ријечне) ерозије спада у ред најраспрострањенијих ерозивних процеса. Индикатори за разграничавање денудационог рада воде (површинске и линијске ерозије) од процеса флувијалне ерозије јесу облик уздужног профила, облик попречног профила и водостај. Процес ријечне ерозије почиње са појавом параболичног уздужног профила и издвајањем ријечног корита, ријечне долине и басена ријечног слива.

Ријечни токови, са серијом специфичних облика, нормална су појава на већем дијелу Земљине копнене површине, због чега се ријечна ерозија назива још и нормална ерозија, а рељеф изграђен њеним радом нормални рељеф.

Облици изграђени радом ријечне ерозије, по начину постанка могу бити двојаки: ерозивни и акумулативни, а у зависности од тога да ли се данас граде или су изграђени раније, разликују се рецентни (нови, скорашњи) и фосилни облици флувијалне ерозије.

У групу ерозивних облика спадају: ријечно корито, ријечна долина и басен ријечног слива, док су облици настали акумулацијом ријечног материјала: плавине, аде, делте и алувијалне равни. Граница између

ових двију група облика није оштра, Због тога није погрешно рећи да су сви облици изграђени ерозивно-акумулативним радом ријечне воде.

9.1.1. Коэффициент ерозије.

За ријечну ерозију карактеристични су и процеси ерозије на долинским странама и другим падинама земљишта у ријечном сливу. Та ерозија може бити тројака (Дукић, Гавриловић, 2006):

- *истирање* – обухвата поједине честице земљишта, које се механичком или хемијском ерозијом односе са површине земљишта; то је најслабији вид ерозије,
- *спирање* – обухвата ерозивно уклањање читавих слојева земљишта; то су видови средње и јаче ерозије,
- *разлоковање* – образовање ријечног корита „ V “ облика у ратреситом земљишту долинских страна и других падина; најјачи вид ерозије.

Дефиниција ерозионог подручја и његовог картирања има више степена детаљности, у зависности од жељене намјене. Према С. Гавриловићу (1995) ерозија је у суштини феномен који дјелује на цјелокупној површини наше планете и могуће га је истраживати на макро, мезо и микро нивоу, односно на: планетарном нивоу, континенталном, административно – територијалном, све до нивоа неке парцеле. При томе је на сваком од наведених нивоа могуће одредити ерозионе зоне.

Картирање ерозије усмјерено је у правцу сагледавања опште угрожености земљишта ерозијом. Картографским приказивањем интензитета механичке водне ерозије омогућава се сагледавање интензитета ерозионог процеса, односно дефинисање карактера ерозионог процеса, али и дефинисање релевантних мјера заустављања штетних ерозионих процеса и обнове деградираног земљишта. Картирање интензитета механичке водне ерозије од великог је значаја за област пољопривреде, водопривреде и заштите животне средине. Стога је апликативност једно од најважнијих карактеристика карте ерозије (Р. Лазаревић, 2004).

Основна величина којом се, методом квантитативне класификације ерозије, дефинише интензитет ерозије је коэффициент ерозије (Z). Како је ерозија појава која је присутна на цјелокупној топографској површини, најпрактичнија слика територијалног/површинског учешћа ерозије је путем картографског представљања или путем *карте ерозије*.

Према С. Гавриловићу (1968) у процедури израде карте ерозије потребно је извршити истраживања и прорачуне којима ће се утврдити и картографски приказати површине са истим коэффициентом ерозије (Z).

Коефицијент ерозије (Z) израчунава се према сљедећем обрасцу:

$$Z = X \cdot a \cdot Y \cdot (\varphi \cdot \sqrt{I}), \text{ гдје је}$$

X – коефицијент начина коришћења земљишта,

a – коефицијент антиерозионог уређења површине,

Y – коефицијент отпора земљишта на ерозију,

φ – коефицијент уоченог процеса ерозије,

$I (I_{sr})$ – средњи пад површине за коју се израчунава коефицијент ерозије.

Р. Тошић (2007) с правом указује да се проблем ерозије и бујица на одређеном географском простору не може посматрати само са техничког аспекта, већ и као комплексан процес који је неопходно пажљиво пратити у циљу доношења одговарајуће легислације³⁴⁵, у циљу заштите педосферног комплекса од ерозије.

Код израчунавања коефицијента ерозије (Z) за одређени слив користе се одређени поступци (нпр. синтетички, табеларни поступак и др.). Према јачини (интензитету) ерозија се дијели на латентну и ексцесивну, док се становишта очувања земљишта, дијели на компензациону или толерантну ерозију (одношење је једнако стварању земљишта) и штетну ерозију (ако је одношење веће).

Табела 21. Коефицијент отпора земљишта од ерозије (Y)

Врста земљишта - стијена	Вриједност (Y)
Земљиште	1.0 – 0.8
Скелетоидно и скелетно земљиште	0.7
Непропустљиве и неотпорне стијене (шкриљци, флишеви, глине)	0.6
Пропустљиве и неотпорне стијене (пијесак, шљунак, лес и др.)	0.5
Полупропустљиве стијене	0.4
Непропустљиве и отпорне стијене	0.25
Пропустљиве и отпорне стијене (кречњак и доломити)	0.1

Табела 22. Коефицијент заштићености земљишта од атмосферилија и ерозије (X)

Начин искоришћавања земљишта	Вриједност (X)
Површине без вегетационог покривача	1.0
Оранице, са орањем уз и низ падину; виноград	0.9
Оранице са орањем по изохипси	0.8
Вишепољни плодоред	0.6
Деградирани пашњаци	0.4
Дегриране шуме	0.3
Ливаде	0.2
Шуме доброг склопа	0.1

³⁴⁵ Легислација (лат. *legislatio*, од *lex* – закон и *latio* – доношење) – доношење закона и законских прописа, законодавство; зб. законски прописи, закони.

Табела 23. Коefицијент вида ерозије (ϕ)

Стање ерозионих процеса	Вриједност (ϕ)
Површине су избраздане јаругама, вододеринама и браздама, које су усјечене у елувијално-делувијалне насlage или јако распаднуте неотпорне стијене: такве површине није могуће користити без посебних антиерозионих радова и мјера; у ријечни коритима акумулација наноса	1.5 до 0.9
Јака површинска и скривена линијска ерозија на ораничним површинама, са падом већим од 10°; деградиране шуме и пашњаци са појединачним вододеринама и браздама; у ријечним коритима преовлађује акумулација наноса.	0.89 до 0.6
Површине под ораницама на нагибима од 5 – 10°; деградирани пашњаци и шуме са оштећеном простирком, голети на отпорним непропустљивим стијенама; водотоци односе нанос из слива и усјецају се.	0.59 до 0.3
Слабија ерозија у шумама слабијег склопа, на лошијим ливадама и пашњацима, на падовима до 10°; шуме и ливаде на падовима од 10 – 30°, шуме доброг склопа и добре ливаде на доњем дијелу падине; оранице са падовима 3 – 5°; у ријечним коритима преовлађује дубинска ерозија.	0.29 до 0.2
Латентна (притајена) ерозија: шуме доброг склопа, на нагибима до 10°, уколико заузимају површине од развођа и располажу шумском простирком; добре ливаде и пашњаци (сувати ³⁴⁶) на падовима до 10°; простране равнице са падовима мањим од 3°; карбонатне стијене (голи крас или са очуваном природном вегетацијом), у ријечним коритима брдско-планинског подручја дубинска ерозија.	0.19 до 0.1 и мање
Акумулација у алувијалним равницама, у касетама између падина и насипа за путеве и пруге, и иза одбрамбених насипа.	0

Табела 24. Средња вриједност коefицијента ерозије (Z)

Категорија	Јачина ерозионих процеса у кориту и сливу	Тип доминантне ерозије	Вриједност (Z)	Количина наноса	
				m ³ /km ² /год.	mm/km ² /год.
I	Експесивна – претјерана ерозија	Дубински Мјешовити Површински	1.5 и више 1.25 1.00	3000	3.0
II	Јака ерозија	Дубински Мјешовити Површински	0.99 0.8 0.7	1200 - 3000	1.2 – 3.0
III	Средња ерозија	Дубински Мјешовити Површински	0.69 0.5 0.4	800 - 1200	0.8 – 1.2
IV	Слаба ерозија	Дубински Мјешовити Површински	0.39 0.25 0.2	400 - 800	0.4 – 0.8
V	Врло слаба ерозија	Трагови свих врста ерозије	0.19 0.1 и мање	100	0.1 – 0.4

³⁴⁶ Сувати (турц.) – површине под травом на високим планинама изнад појаса шуме; лети служе као пашњаци

Картирање интензитета механичке водне ерозије према емпиријској методологији С. Гавриловића (1965, 1972) и измјенама од стране Р. Лазаревића (1971, 1974, 1985), заснована је на одређивању основних параметара од којих зависи процес ерозије, али и на њиховом димензионисању како би се прорачунао интензитет механичке водне ерозије и билансирао ерозиони материјал који се губи из слива³⁴⁷. У том смислу, на терену се одређује коефицијент отпора земљишта од ерозије (Y), коефицијент заштићености земљишта од атмосферилија (X) и коефицијент вида ерозије за сваку ерозиону парцелу (ϕ). По завршетку теренског рада слиједи одређивање коефицијента ерозије (Z) за сваку ерозиону парцелу којој су одређени наведени параметри.

Специфична продукција, односно модул продукције ерозионих наноса (W_{SP}), израчунава се према обрасцу:

$$W_{SP} = T \times H \times \pi \times \sqrt{Z^3} \text{ m}^3/\text{km}^2, \text{ (годишње)}$$

гдје је:

T – температурни коефицијент,
 H – средњогодишња сума падавина,
 Z – коефицијент ерозије.

У пракси често постоји схватање да је картирана категорија ерозионог процеса идентична са продукцијом наноса. С обзиром да је климатски фактор промјенљив, свако подручје/географски простор има своје карактеристичне вриједности продукције наноса које варирају у широком распону виједности.

9.2. Ријечни нанос.

Под појмом наноса подразумевамо:

- заједнички назив за растресите квартарне наносе на Земљиној површини, независно од услова њиховог настанка (пијесак, шљунак, глина и др.),
- тврде честице које ријеке и струје (језерске и морске) уносе у акумулације језера и мора; наноси доспијевају у ријеке усљед разарања ријечних корита и ерозије у басену ријечних сливова,
- приобални морски наноси, у поређењу с другим типовима морских наноса карактеришу се високим степеном покретљивости.

Већ је истакнуто да кинетичка енергија ријечног тока троши се углавном на механички рад у ријечном кориту, односно на уздужном ријечном профилу. У зависности од величине, кинетичка енергија се троши сљедећим редом (Лазаревић, Тошић, 2013):

- на отицање (савлађивање трења, турбуленције),
- на пренос суспендованог и вученог³⁴⁸ наноса,

³⁴⁷ Табеле 21, 22, 23, 24; Видјети опширније: Р.Тошић, 2015, стр. 21, 22

³⁴⁸ Кристи се и термин *потискивани нанос*

- на корозију (механичко дејство воде и наноса у кориту),
- на убрзање отицања и
- на прелаз у потенцијалну енергију (повећање дебљине слоја воде) и др.

Суспендовани нанос. Суспендовани или лебдећи нанос састоји се од најситнијих честица одређених врста стијена у сливу неке ријеке. Суспендовани ријечни нанос одликује ситан гранулометријски састав и посебан начин транспорта у ријечном кориту. Овај нанос у ријечним коритима најчешће је денудационог поријекла (од спирања), потом од ерозивног рада ријечне воде у кориту и мањим дијелом од прашине коју доноси вјетар. У хидролошкој пракси потврђено је да је количина суспендованог наноса веома варијабилна и колеба се у складу са промјеном протицаја. За одређени временски период (мјесец, година...) највећи дио масе суспендованог наноса транспортује се за вријеме поводња.

За дефинисање режима суспендованог наноса, у хидролошкој пракси, најчешће се успостављају зависности између проноса наноса и протицаја ријеке, као једног од најбитнијих фактора који условљавају појаву наноса у ријеци.

У цјелини посматрано, зависности између протицаја наноса и воде морају се разликовати по сезонама због различитог карактера њихових узрочно – посљедичних веза. Зими се формирање отицаја јавља као посљедица топљења сњегова и киша слабијих интензитета, а као посљедица тога појављују се мање концентрације суспендованог наноса. Љети је отицање посљедица углавном киша јаког интензитета и праћено је високим вриједностима концентрације наноса. Ако се томе додају још и различити нивои развоја вегетације у тим периодима, онда се у потпуности може схватити сва комплексност која је присутна код формирања ријечног наноса (Прохаска, 2003).

Пренос суспендованог наноса (P_s) најлакше се доводи у узајамну везу са протицајем воде (Q), при чему је $P_s = P(Q)$, односно $P_s = f(Q)$.

Пренос наноса представља количину наноса (у g или kg) коју ријека преноси кроз одређени овлажени профил у јединици времена (T).



Слика 55. Вучени нанос – ријека Јошавка

Код вученог наноса G_s , узајамна веза се успоставља у односу на карактеристике ријечног тока и гранулометријски састав. Из тога слиједи функционална веза $G_s = G(Q)$, односно $G = f(G)$. Успостављањем зависности $P_s = P(Q)$ и $G_s = G(Q)$ дефинише се режим ријечног наноса, који представља протикај суспендованог наноса и пронос вученог наноса кроз изабране хидрометријске профиле са циљем утврђивања биланса на одређеном сектору (потесу) ријеке.

Одређивање вриједности проноса суспендованог наноса и вриједности концентрације на одређеном хидрометријском профили је у суштини једноставно, али захтијева велику тачност и јасноћу поступка. Користи се, најчешће, метод филтрације узорковане воде кроз 125 mg папир (бијела трака).

Сам поступак је једноставан, али истовремено захтијева велику тачност и јасноћу поступка. Сваки филтер папир прије употребе се мора сушити на температури од 100°C , а потом оставити одређено вријеме у десикатору, након чега се врши одвага на аналитичкој ваги (тзв. прва одвага). Након тога, одвагани филтер папир користи се у процесу филтрирања и поново суши у сушионику након чега се врши вагање (по други пут) на аналитичкој ваги.

Разлика у тежини филтер папира прије и после филтрирања представља тежину, односно концентрацију суспендованог наноса (C_s) а она се може изразити кроз образац:

$$C_s = \frac{T_n}{V} \text{ (g/l), гдје је}$$

C_s – концентрација суспендованог наноса

T_n – тежина чврсте фазе (g)

V – запремина узорка (l)

Према Р. Тошићу (2004), мјерењем концентрације суспендованог наноса на одређеном профили могуће је одредити неку тачку (А) у којој концентрација (C_{SA}) стоји у једнозначној вези са просјечном концентрацијом на читавом профили или се однос средње концентрације (C_s) и концентрације мијења по одређеном закону који се може утврдити мјерењем на терену. Уколико се на овај начин утврди величина (R) – коефицијент редукције, укупни пронос суспендованог наноса (P_s) кроз посматрани ријечни профил одређује се помоћу једначине:

$$P_s = R \cdot Q \cdot C_{SA}, \text{ гдје је}$$

P_s – пронос наноса (кр/s),

R – коефицијент редукције,

C_{SA} - концентрација наноса, који се свакодневно мјери у једној тачки (А),

Q – протицај (m^3/s).

Коефицијент редукције одређује се према обрасцу:

$$R = \frac{C_s}{C_{SA}}, \text{ гдје је}$$

C_s – средња концентрација

C_{SA} - концентрација наноса који се свакодневно мјери у једној тачки.

Израчунавање проноса наноса врши се по обрасцу:

$$E_{T/\text{дан}} = Q (m^3/s) \cdot C_s (mg/l) \cdot R$$

Збир дневних вриједности проноса суспендованог наноса даје мјесечне вриједности, а збиром мјесечних вриједности добијају се вриједности за годишње доба, полугодишње или годишње вриједности.

Специфични пронос наноса, који представља одношење наноса са површине једног квадратног километра у току једне године, добије се преко обрасца:

$$M_e = \frac{E(t)}{F (km^2)}, \text{ гдје је } F \text{ – површина слива у } km^2$$

Ако нема техничких услова за одређивање концентрације наноса која се свакодневно мјери у једној тачки (C_{SA}), израчунавање проноса наноса врши се преко средње концентрације наноса на мјесечном нивоу:

$$P_s = Q_{sr} (m^3/s) \cdot C_s (mg/l)$$

Објективно гледано, посматрају ли се вриједности проноса наноса, за период од једне године, без могућности упоређивања са резултатима истраживања у претходном периоду, не можемо са сигурношћу знати да ли је дошло до значајнијег смањивања, односно повећања проноса суспендованог наноса.

Р. Тошић (2004) сматра да би резултати примјене хидротехничког метода одређивања интензитета ерозивних процеса у сливу неке ријеке били репрезентативнији, мора се обезбједити праћење годишње вриједности кретања (проноса) суспендованог наноса на више станица на уздужном профилу тока, првенствено на бази комплексних мјерења протицаја воде и наноса, али и свакодневним осматрањем наноса, односно концентрације суспендованог наноса на овлаженим профилима. Будући да такав ниво услова не постоји у ријечној мрежи Републике Српске, као и чињеница да већина водотока/ријека има кратак период осматрања преноса суспендованог наноса са нивозима које је најчешће немогуће (у)поредити са нивозима других токова, доводи нас до констатације да резултати, углавном, не дају прихватљив ред величина. Изузетак је мањи број станица које су лоциране на већим ријекама (Врбас, Сава, и др.).

9.3. Бујице.

У хидролошкој литератури постоји више дефиниција ове карактеристичне појаве. У пракси је евидентно да је појам бујице често нејасан и контраверзан. У стручној литератури преовлађују махом схватања из праксе, која нису производ генетске анализе, ваћ извјесног субјективног схватања. Тако поједини аутори сматрају да су бујице облик ерозије или врста ерозије, па чак да је то посебна појава, поред ерозије (отуда: ерозија и бујице). Други аутори сматрају да су бујице посебни водотоци (вододерине, планински потоци и сл.); трећи да су бујице кашаста маса, која се креће по дну корита јаруга и потока итд.³⁴⁹ Од низа дефиниција које се јављају у обимној литератури, на нашим географским просторима преовлађују сљедеће:

- (1) бујица је плаховити поток, најчешће повремени, који нагло набуја за вријеме пљусковитих киша или непосредно послје њих, носећи велике количине денудираних материјала³⁵⁰,
- (2) бујице су брзи токови велике рушилачке снаге који се састоје од смјесе воде и стијена различите крупноће; оне се појављују у сливовима мањих планинских ријека под утицајем интензивних падавина или наглог отапања сњежног покривача, као и наглог пражњења глацијалних језера при провалама морена³⁵¹,
- (3) хидролошка дефиниција бујице гласи (Лазаревић, 2000): бујица је карактеристика режима сталних и повремених водотока различитих димензија, која се манифестује у чешћој, наглој и изузетно великој концентрацији воде и наноса, послје чега је корито суво или се брзо враћа на претходни протицај.

³⁴⁹ Видјети опширније: Лазаревић, Тошић: (2013): стр142 - 146

³⁵⁰ Процеси одношења продуката ерозије само путем површинског спирања

³⁵¹ Дукић, Гавриловић, 2006, стр.171

Одређена схватања о бујицама дају и бројни страни истраживачи:

- Е. Тијери сматра да су бујице водни токови, чије су поплаве изненадне и нагле,
- Д. Л. Соколовски бујице дефинише као природне токове, са поплавним водама, које носе велике количине наноса,
- А. А. Малахов сматра да су то периодски токови који се за вријеме максималног дјеловања зову бујични токови или бујице,
- Ф. Рајнер сматра да су бујице крајњи и видни одраз већ развијених ерозивних процеса, односно да су оне посљедица нарушене динамичке равнотеже физиогеног и антропогеног фактора у одређеном сливу.

Настајање бујица. Постоји низ параметара који одређују настанак бујичних токова. Знатан је број бујица антропогеног поријекла, али и постојање бујица физиогеног поријекла. Ове бујице су углавном присутне у планинским подручјима, у сливним подручјима која се одликују великим падовима, значајном количином падавина, са петрографском компонентом коју чине непропустљиве стијене. Бујице у овим подручјима су учесталије и доминантније ако је слив без вегетације.

Уколико је бујични режим посљедица деградације земљишта и биљног покривача ерозија је просторна – површинска и линијска, а уздужни профил водотока је у сталним промјенама. У зони природне вегетације ерозија је концентрисана само на ријечна корита, а доминантна је дубинска ерозија, јер из слива у ријечно корито дотиче вода без наноса (Лазаревић, 2000).

Дио хидролога сматра да бујице настају под сљедећим условима (Дукић, Гавриловић, 2006):

- интензивно отицање падавина са падина у сливу или привремено сакупљање великих количина воде у јаругама и сувим коритима,
- обиље растреситих и денудационих наноса на мјестима са великом количинама текуће воде и
- већи нагиби терена – преко 50%.

Типови бујица. Према Р. Лазаревићу (2000) у пракси је одомаћена подјела бујица на спирњаче и подриваче.

Спирњаче се одликују бржом и чешћом концентрацијом воде и наноса, послје сваке кише или кише већег интензитета. Количина материјала који из слива доспијева до ријечног корита, обично је већа од транспортне снаге тока, зог чега уздужни профил ријечног корита стагнира или се издиже.

Подриваче имају мало наноса из слива, тако да имају додатну енергију за вертикалну (дубинску) и бочну ерозију. Треба истаћи да се, с појавом киша великог интензитета и трајања, повремено дешавају бујичне

поплаве. Количина и врста наноса условљена је геолошким/петрографским³⁵² саставом ријечног корита и долинских страна; количина наноса пропорционална је одређеним денудационим процесима на долинским странама ријека: сипари, одрони, клизишта и др.

Ризичне и тешко контролисане бујице јављају се у високопланинским областима изнад горње границе вегетације, гдје је присутно интензивно распадање стијенске масе, а самим тим и присутна велика продукција наноса у сливу и ријечном кориту.

Д. Дукић и Љ. Гавриловић (2006) издвајају, на основу састава бујичне масе, три типа бујица:

- *блатне бујице* – садрже преовлађујућу количину ситних честица, тако да представљају густе глиновито-пјешчани раствор; садржи и врло малу количину стијенског³⁵³ материјала (ситније и крупније камење),
- *блатно-камене бујице* – састоје се из смјеше ситних честица и шљунка, валутака и дробине; за покретање већих блокова стијена неопходни су већи падови и већи протикаји;
- *водно-камене бујице* – одликују се малом садржином ситног растреситог материјала; у њима је доминантна крупна дробина стјујена и мања количина стјеновитих блокова.

У пракси постоји још једна, мада рјеђе примјењивања, класификација бујица са два главна типа:

- *невезиве (турбулентне³⁵⁴) бујице* – турбулентни токови у којима је количина воде толика (преко 20-30%) да се она налази у слободним стању, па је стога вода транспортна средина/транспортно средство чврстог материјала, али може да прихвати и лебдећи нанос; овом типу припадају већ наведене водно-камене бујице,
- *везиве бујице* – код њих је вода интегралан дио бујичне масе, једна од компонената течно – пластичне медијума³⁵⁵, која

³⁵² Петрографија – петрологија (грч. petros – камен и grapho – пишем или logos – ријеч), наука о стијенама, њиховом хемијском и минералошком саставу, структурама и текстурама, условима налазишта, закономјерностима распрострањености, поријекла и измјена у Земљиној кори и на површини Земље

³⁵³ Стијена – природни агрегат минерала, више или мање постојаног минералског и хемијског састава, који образује самостално геолошко тијело у Земљиној кори. Облик, величина и узајамни размјештај минералних зрна условљавају структуру (састав, склоп) и текстуру (спољни знакови конструкције минералне/рудне насlage условљени узајамним односима њених саставних дијелова – слојевитост, наслаганост и сл.)

³⁵⁴ Турбулентан – немиран, промјенљив, бунтован, необуздан

³⁵⁵ Медијум – 1. биол., хем., физ., - средина у којој се нешто налази, преносник

представља структурну цјелину; овом типу припадају блатне и блатно-камене бујице.

Географска распрострањеност бујица. Појава бујица је карактеристична за планинска подручја. На европском континенту су доминантне, према досадашњим истраживањима, у западним и источним Алпима, Карпатима, Пиринејима и Кавказу; затим у планинама средње Азије и дијелу источног Сибира; у Сјеверној Америци доминантне су на Кордиљерима³⁵⁶ (Стјеновите планине – Rocky Mountains).

Поред механичке водне ерозије, свих категорија јачине ерозионих процеса, те дјеловања еолске ерозије на неким дијеловима Босне и Херцеговине, бујични токови представљају врло значајан проблем. Бујицама су угрожена бројна урбана и рурална насеља, инфраструктурни³⁵⁷ објекти, пољопривредно земљиште, водопривредни објекти, као и други елементи материјалне баштине у Босни и Херцеговини³⁵⁸.

³⁵⁶ Један од најопаснијих бујичних региона је околина Лос Анђелеса – због кратких, али врло интензивних падавина, као и поодмаклог процеса ерозије на планинским странама експонираним ка Пацифику

³⁵⁷ Инфраструктура – 1. темељ, основа, подлога. 2. скуп уређаја и објеката неопходних за функционисање државе и њене привреде (саобраћајна мрежа, водовод, електродистрибуција и сл.)

³⁵⁸ Видјети опширније: Тошић, Р. (2015), стр. 99 -123

ЛИТЕРАТУРА И ИЗВОРИ

1. Алисов, Б., П., Полтараус, Б., В. (1974): Климатологија, Издат. Московскогo Унивеверситета, Москва
2. Vogner, M., Stanojević, M. (2006): О водана, ЕТА, Beograd
3. Гавриловић, Љ., Дукић, Д. (2002): Реке Србије, Завод за уџбенике и наставна средства, Beograd
4. Deroko, J. D. (2004): Drina: geografsko – turistička monografija, Ћigoja, Beograd
5. Dukić, D. (1962): Општа хидрологија, Наша Књига, Beograd
6. Дукић, Д. (1998): Климатологија, Географски факултет, Beograd
7. Дукић, Д., Гавриловић, Љ. (2006): Хидрологија, Завод за уџбенике и наставна средства, Beograd
8. Дуцић, В., Анђелковић, Г. (2004): Климатологија – практикум за географе, Географски факултет Универзитета у Београду, Beograd
9. Ђорђевић, В. (1990): Vodoprivredni sistemi, Научна књига, Beograd
10. Илић, Р. (1996): Vode: prirodne zakonitosti infiltracije padavina površinskog i podzemnog oticaja, Novinsko-izdavačka ustanova „Vojska“, Beograd
11. Илић, Р. (1998): Vode: prirodni zakoni vodnog bilansa u riječnom slivu, Vojnoizdavački zavod, Beograd
12. Јакшић, В. (1995): Заштита вода водотока, Универзитет у Банjoj Луци, Tehnološki fakultet, Banja Luka
13. Јевђевић, В. (1956): Hidrologija – I deo, Hidrotehnički institut „Inženjer Jaroslav Černi“, Beograd
14. Јевђевић, В. (1958): Hidrologija, I deo, Hidrotehnički institut „Ing. Jaroslav Černi“, Beograd
15. Јовановић, С., Вонаци, О., Анђелић, М. (1986): Hidrometrija, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Beograd
16. Лазаревић, Р. (2000): Геоморфологија, Природно-математички факултет, Бања Лука
17. Лазаревић, Р., Тошић, Р. (2013): Геоморфологија – III допуњено издање, Универзитет у Бањој Луци, ОЈ Природно-математички факултет, Бања Лука
18. Малахов, А., А. (1962): Кратки курс общей геологии, Москва
19. Миличић, М. (2009): Izvorište površinskih voda Srbije – Ekološka ograničenja i revitalizacija naselja, Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Beograd
20. Милојевић, М., Љубисављевић, Д. (1989): Zbirka rešenih ispitnih zadataka iz predmeta Snabdevanje vodom i kanalisanje naselja, Грађевински факултет Универзитета у Београду, IRO „Научна књига“, Beograd
21. Милајловић, М. (2006): Inženjering za projektovanje, izgradnju i korištenje malih akumulacija, Zadužbina „Mihajlović M i D“, Beograd

22. Milosavljević, M. (1982): Meteorologija, Naučna knjiga, Beograd
23. Mojović, Lj. (2004): Biološka obrada otpadnih voda – Zbirka rešenih zadataka sa teorijskim osnovama, Tehnološko – metalurški fakultet, Beograd
- 24.. Nalkov priručnik za vodu /priredila Hemijska kompanija Nalko/; (2005): (uredio Frank N. Kemer), Savez inženjera i tehničara Srbije, Jugoslovenska inženjerska akademija, Građevinska knjiga, Beograd
25. Nonveiller, E. (1983): Nasute brane – projektiranje i građenje, Školska knjiga, Zagreb
26. Novaresio, P. (2006): Great Rivers of the World, White Star S.p.A., Italia
27. Novaresio, P. (2007): Rijeke svijeta, STANEK d.o.o za Hrvatsku, Varaždin
28. Otorepec, S. (1991): Agrometeorologija, Naučna knjiga, Beograd
29. Prohaska, S., Ristić, V. (2002): Hidrologija kroz teoriju i praksu – 2. prošireno izdanje, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu
30. Prohaska, S. J. (2003): Hidrologija – I deo: hidro-meteorologija, hidrometrija i vodni režim, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Republički hidrometeorološki zavod Srbije, Beograd
31. Prohaska S. J. (2006): Hidrologija – II deo: hidrološko prognoziranje, modelovanje i praktična primjena, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, Republički hidrometeorološki zavod, Beograd
32. Рајнер, Ф. (1955): Проблем ерозије и уређења бујичних подручја, те наша практична искуства, Прво саветовање о ерозији, Београд
33. Ракићевић, Т. (1958): Температурни режими воде на нашим ријекама, Зборник радова Географског института ПМФ, св. V, Београд
34. Resursi Republike Srpske: (2008), Akademija Nauka i umjetnosti Republike Srpske, Naučni skupovi, Knjiga XIII, Odjeljenje Prirodno-matematičkih i tehničkih nauka, Knjiga 7, Banja Luka
35. Ристић, Д. (1995): О енергији, Музеј науке и технике, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд
36. Simonović, S. (1989): Modeliranje akumulacija: od sumarne krive do ekspertnih sistema, Vodoprivreda 21, Beograd
38. Соколовский Л., Д. (1952): Речный сток, Ленинград
39. Spahić, I., M. (2013): Hidrologija kopna, Sarajevo Publishing, Sarajevo
40. Srpsko društvo za zaštitu voda: (2015), 44. Konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda, Kopaonik, 2-4. jun 2015.
41. Stanojević, M., Simić, S., Radić, A., Jovović, A. (2006): Aeracija otpadnih voda – teorija i proračuni, ETA, Beograd
42. Танацковић, В. (2005): Мале акумулације: сигурносни преливи: евакуација великих вода преко круне насутих брана, Задужбина „Михајловић М. и Д. 1952“, Смедеревска Паланка

43. Teodorović, I., (2004): Testovi toksičnosti u kontroli kvaliteta otpadnih voda, Zadužbina Andrejević, Beograd
44. Tomić, G., V. (1991): Hidrogeološko kartiranje, IDP „Naučna knjiga“, Beograd
45. Tošić, R. (2015): Erozija i bujični tokovi u Republici Srpskoj, Geografsko društvo Republike Srpske, Banja Luka
46. Hrelja, H. (2007): Inženjerska hidrologija, Građevinski fakultet, Sarajevo