



УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ
СА ПРИВРЕМЕНИМ СЕДИШТЕМ У
КОСОВСКОЈ МИТРОВИЦИ



ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Ненад З. Станојевић

**СТУДИЈА ОДРЖИВОСТИ
ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ ВОДНИХ
РЕСУРСА ШАР-ПЛАНИНЕ**

Докторска дисертација

Косовска Митровица, 2024



**UNIVERSITY OF PRISTINA
TEMPORARY SETTLED IN
KOSOVSKAMITROVICA**



FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES

Nenad Z. Stanojević

**STUDY OF SUSTAINABLE WATER RESOURCES
EXPLOITATION IN THE SHAR MOUNTAINS**

Doctoral Dissertation

Kosovska Mitrovica, 2024.

Ментор:

др Јелена Ђокић, редовни професор

Универзитет у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, Факултет техничких наука.

Чланови комисије:

Датум одбране:

Захвалница

Пријатна ми је дужност да се захвалим свима који су ми помогли.

Најдубљу захвалност и поштовање дугујем ментору проф др Јелени Ђокић, редовном професору Факултету техничких наука у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, за све савете, разговоре, поверење и разумевање, којом је руководила мојим студијама од самог почетка па све до израде експеримената и помоћи у писању тезе.

Члановима комисије за оцену и одбрану докторске тезе, др Ирми Дервишевић, ванредном професору,ФТН-а, Универзитета у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, и др Срђану Ковачевићу, научном сараднику ФТН-а у Новом Саду, на корисним примедбама и саветима у писању дисертације.

Захваљујем се вишем научном сараднику ИНН „Винча“ др Душану Никезићу, на сугестијама и помоћи у току обраде резултата, током писања публикација и тезе.

За корисне сугестије и конструктивне дискусије, захваљујем се проф др Живчету Шаркоћевићу.

На крају, највећу захвалност дугујем мојим родитељима, на подршци и разумевању.

ИЗВОД

Српска јужна покрајина, Косово и Метохија, највећим делом је сиромашна водом, што представља извор низа проблема за појединце и друштво у целини. Карактеристично је да у планинском делу косовско-метохијске области, на Шар-планини, постоји изузетно богат акваторијум. Шар-планина је богата изворима, потоцима, рекама и језерима, што се може сматрати сингуларитетом за Косово и Метохију. Постојање великих количина воде на Шар-планини привлачи пажњу из више разлога. Наиме, вода акваторијума Шар-планине би могла бити искоришћена као вода за пиће за суседне области, могла би бити употребљена за изградњу мини-хидроцентрали, могла би се флаширати итд. Да би се било која од тих намена реализовала, потребно је познавати порекло и повезаност акваторијума планине Шаре, а такође и старост подземних вода. Поред свега овога, током последњег рата на овим просторима агресор је дејствовао на циљеве муницијом од осиромашеног уранијума. Део те испалене муниције је остао у земљишту Шар-планине и реално је очекивати да је изазвао и ширу контаминацију простора Шар-планине. Циљ овога рада јесте да се испита повезаност и порекло површинских и подземних вода Шар-планине, старост подземних вода и оправданост сумње о нуклеарној контаминацији земљишта и вода.

У првом делу рада испитивана је повезаност и кретање воде унутар акваторијума планине Шаре. У сврху је коришћен поступак трасирања узорка узетих са карактеристичних локација природним изотопом водоника трицијумом. Овај неспорно најсофистициранији начин трасирања вршен је експериментално уз поступак обогаћења узорка. Само узимање узорка и њихово мерење је вршено по методама које предвиђају одговарајући стандарди, а мерења су вршена под добро контролисаним лабораторијским условима у ЈП „Нуклеарни објекти Србије“ и у Институту за нуклеарне науке „Винча“. За доношење закључака коришћени су само резултати добијени са комбинованом мерном несигурношћу мањом од 10% (мада се показало да је комбинована мерна несигурност углавном била око 5% и да јој је највише допринела мерна несигурност типа А). Мерне методе које су примењиване зависиле су од концентрације трицијума у узорку, и то су биле методе примене јонизационе коморе, пропорционалног бројача, полупроводничких детектора и сцинтилационих детектора. Сви примењивани инструменти имали су редован атест издат од АТС-а.

За одређивање старости подземних вода, као и повезаности подземних и површинских вода са падавинским водама, коришћена је метода мерења стабилног изотопа кисеоника ^{18}O и трицијума. Узорци су узимани према стандардом одређеним прописима, а мерење је вршено мерењем бета зрачења трицијума и масеном спектроскопијом кисеоника ^{18}O . Сви услови за мерење и стандарди који су коришћени испуњавали су исте услове као и претходно писани поступци мерења концентрације трицијума у узорцима. За добијање жељених резултата на основу измерених карактеристика узорка била је развијена метода заснована на статистичкој математици и вероватноћи, која је врло слична методи пораста вероватноће и која се заснива на закону множења независних вероватноћа.

У трећем делу овог рада вршена је процена еколошког и здравственог ризика Шар-планине (Косово) од контаминације осиромашеним уранијумом. Процена ризика од контаминације је потребна

од пролећа 1999. године, када је дошло до сукоба бомбардовањем на територији Западног Балкана, током којег је осиромашени уранијум коришћен као муниција. У Србији и Црној Гори су вршена оваква испитивања, а на основу испитивања неке територије су биле деконтаминирани. У том смислу које је иначе сиромашно водом. Узорци за испитивање узети су са земљишта и воде на карактеристичним местима за акваторијум Шар-планине. Испитивања узорака изведена су у добро контролисаним условима. Мерна несигурност је била мања од 5%. На бази добијених резултата, констатовано је да није било контаминације Шар-планине осиромашеним уранијумом. Овај закључак се може проширити и на шире подручје око Шар-планине, јер је то безбедно подручје окружено високим планинама.

На завршетку рада, извршена је детаљна микробиолошка и физичко-хемијска анализа воде која се користи за пиће на подручју општине Штрпце. Резултати ових анализа показали су да вода на том подручју није исправна за пиће, што представља тренутну ситуацију. Паралелно са тим, урађена је иста врста анализе на извору реке Болованке, који се налази изнад насеља и који представља потенцијално решење за водоснабдевање општине Штрпце. Овим истраживањем дат је фокус на микробиолошке и физичко-хемијске параметре воде из овог извора. Резултати су од кључне важности за одређивање прихватљивости овог извора воде за употребу у водоснабдевању општине Штрпце. На основу добијених резултата, дошло се до закључка да извор реке Болованке представља потенцијално решење за водоснабдевање општине Штрпце, имајући у виду да испуњава прихватљиве стандарде за квалитет воде за пиће. Поред тога, дате су и препоруке за сва могућа технолошка решења као и оптимизација технолошког решења.

На основу добијених експерименталних резултата, познавањем теорије и додатним испитивањем, дошло се до следећих закључака:

Воде акваторијума планине Шаре не треба комерцијализовати јер су као извор енергије непредвидиве, а њихова комерцијализација би могла произвести промене и у екосистему и у биосистему планине. Утврђено је да се могу предвидети количине воде сваког порекла и на тај начин предвидети могућност њихове примене у индустрији и водоснабдевању становништва. Приказана мерења, заснована на ограниченом броју узорака, показују да у узорцима воде и земље на локацијама Перебес, Дурлов поток и Беревачки поток на Шар-планини није утврђено присуство уранијума из производње, односно да нема уранијума из муниције од осиромашеног уранијума.

Претходно наведени резултати истраживања су потврђени објављивањем у три часописа са SCI листе импакт фактора већих од један.

ABSTRACT

The Serbian southern province of Kosovo and Metohija is, for the most part, poor in water, which is the source of a number of problems for individuals and society as a whole. It is characteristic that in the mountainous part of the Kosovo-Metohija region, there is an extremely rich water area on the Šar mountain. Šar mountain is rich in springs, streams, rivers and lakes, which can be considered a singularity for Kosovo and Metohija. The presence of large amounts of water on the Shar mountain attracts attention with different motives. Namely, the water of the Shar Mountain water area could be used as drinking water for neighboring areas, it could be used for the construction of mini hydropower plants, it could be bottled, etc. In order to realize any of these purposes, it is necessary to know the origin and connection of the water area of Mount Šare, as well as the age of the groundwater. In addition to all this, during the last war in this region, targets in this region were attacked with depleted uranium ammunition. Part of that fired ammunition remained in the land of the Shar Mountain and it was realistic to expect that it caused the contamination of the area of the Shar Mountain. The aim of this work is to examine the connection and origin of the surface and underground waters of the Šar mountain, the age of the groundwater, to examine the quality of the water for the purposes of choosing a water resource and the location of the water intake for the supply of drinking water to the population, and based on the results to choose a technological process for the production of drinking water, and optimize the technological process.

In the first part of the paper, the connectivity and movement of water within the water area of Mount Šare was examined. For this purpose, the procedure of tracing samples taken from characteristic locations with the natural hydrogen isotope tritium was used. Taking samples and measuring them was carried out according to the methods provided by the relevant standards. Only the results obtained with a combined measurement uncertainty of less than 10% were used to draw conclusions (although it turned out that the combined measurement uncertainty was mostly around 5% and that the type A measurement uncertainty contributed the most to it). The measurement methods that were applied depended on the concentration of tritium in the sample and these were the methods of applying the ionization chamber, proportional counter, semiconductor detectors and scintillation detectors. All applied instruments had a regular certificate issued by ATS.

To determine the age of groundwater as well as the connection of groundwater and surface water with rainfall, the method of measuring the stable isotope of oxygen ^{18}O and tritium was used. The samples were taken according to the regulations determined by the standard, and the measurement was performed by measuring beta radiation of tritium and mass spectroscopy of oxygen ^{18}O . To obtain the desired results based on the measured characteristics of the samples, a method based on statistical mathematics and probability was developed, which is very

similar to the method of increasing probability and which is based on the law of multiplication of independent probabilities.

In the third part of this work, an assessment of the environmental and health risk of Šar Mountain (Kosovo) from contamination with depleted uranium was carried out. Samples for testing were taken from soil and water at characteristic places for the Shar Mountain water area. The measurement uncertainty was less than 5%. Based on the obtained results, it was concluded that there was no contamination of the Shar mountain with depleted uranium. This conclusion can be extended to the wider area around Shar Mountain, as it is a safe area surrounded by high mountains.

Then a detailed microbiological and physico-chemical analysis of water that can be used for drinking in the area of the municipality of Štrpce was carried out. Based on the obtained results, it was concluded that the source of the Bolovanka River represents a potential solution for the water supply of the municipality of Štrpce, bearing in mind that it meets acceptable standards for the quality of drinking water. In addition, recommendations for potential technological solutions are given. Based on the results of the connection of water resources, analysis of water and surrounding land, estimated needs and climatic conditions, the optimization of the purification process with closed filters and the sizing of the technological purification process for the conditions determined by the choice of location and water resource were carried out.

Based on the obtained experimental results, knowledge of the theory and additional testing led to the following conclusions:

The waters of the water area of Mount Šare should not be commercialized because they are unpredictable as a source of energy, and their commercialization could produce changes in both the eco and biosystem of the mountain. It was established that it is possible to predict the amount of water of each origin and thus predict the possibility of their application in industry and water supply to the population. The presented measurements, based on a limited number of samples, show that in the water and soil samples at the locations of Perebes, Durlov potok and Berevački potok on the Šar mountain, the presence of uranium from production was not determined, that is, there is no uranium from depleted uranium ammunition.

The previously mentioned research results have been confirmed by publication in three journals with SCI-listed impact factors greater than one.

САДРЖАЈ

УВОД	1
2. ПРОСТОРНА ДЕФИНИЦИЈА ЛОКАЛИТЕТА	4
2.1. Хидрографске и хидролошке карактеристике	7
2.1.1. Опис водотока	7
2.1.2. Средње воде и режим вода	12
2.1.3. Распоред отицања дуж тока Лепенца	17
2.1.4. Хидролошка карта општине Штрпце	20
2.1.5. Карактеристични отицаји, нанос и штете од великих вода	21
2.2. Воде сиринићке жупе	23

УВОД

Снабдевање водом за потребе становништва, индустрије и пољопривреде представља један од актуелних проблема данашње цивилизације са којим се човек суочава.

Са овога знатно скраћеног списка области у којима појединци и друштво у целини користи воду, ипак је најважнија примена воде за одржавање живота на нашој планети. Наиме, без воде би живот био немогућ, тако да сентенца „Вода је извор живота“ тешко може бити доведена у питање. Међутим, где год се човек окрене око себе, без обзира на то где се налази, види неки облик живота. Када се говори о води за пиће, превасходно је реч о води за људску употребу. Да ли се нека вода може користити за људску употребу, зависи од њеног хемијског и биолошког састава.

Када је реч о води акваторијума Шар-планине, могло би се помислити да се ради о води јединственог састава са хемијског и биолошког аспекта. То ипак није у потпуности тако будући да разни водотокови пролазе кроз различите слојеве земљишта, са којима интерреагују. Укратко, може се рећи да се свака вода на Шари може пити, али, исто тако, да по строгим стандардима није сва вода препоручљива за људску употребу.

Хидроенергија је енергија која потиче од снаге воде и представља обновљив извор енергије, који се вековима користи за добијање механичке, а у последње време и добијање електричне енергије. Енергија добијена из хидроелектрана може бити доста јефтинија од енергије добијене из фосилних горива или нуклеарне енергије. Подручја са великим хидропотенцијалом привлаче индустрију. Међутим, брига за животну средину може бити препрека развоју хидроенергетике.

Овај проблем чине посебно актуелним и идеје о потреби добијања енергије из такозваних обновљивих извора енергије, међу које спадају мини-хидроелектране.

Обновљиви извори енергије представљају неисцрпне ресурсе природе који се периодично или постојано регенеришу. Употреба ових извора обухвата претварање енергије у електричну, механичку или топлотну форму. Мини-хидроелектране су инжењерска постројења у којима потенцијална енергија водотока прво прелази у кинетичку енергију преко статора турбине, а затим у механичку енергију преко ротора турбине. Крајњи производ је електрична енергија која се генерише у генератору.

Наравно, постоји оправдана сумња о идеји везаној за повећање обновљивих извора енергије пошто се показује да се у њихову изградњу улаже често више енергије (углавном необновљивог порекла) него што се из њих може добити током њиховог радног века. На основу литературе и истраживања, обновљиви извори енергије, нарочито мини-хидроелектране, нарушавају еколошке балансе средине у којој се изграђују.

Из тог разлога је потребно, као основним податком, располагати енергетским потенцијалом акваторијума у коме се планира изградња мини-хидроелектране.

То подразумева, између осталог, и квантитативно (процентуално) познавање учешћа атмосферских, површинских и подземних вода у водама предвиђеним за рад мини-хидроелектране.

Велике количине воде које се налазе у природи, према месту налажења и особинама, деле се на: атмосферску, подземну и површинску воду. Ниједна од њих никада није хемијски чиста.

Атмосферска вода, вода настала кишним и снежним падавинама, има најмањи садржај примеса. Атмосферска вода не садржи растворене соли и спада у категорију меких вода. Она садржи растворене гасове са којима долази у додир, попут кисеоника и угљен-диоксида. Од чврстих материја садржи нешто прашине и чађи, а у близини мора и нешто соли.

Површинске воде чине воде потока, река, језера, мора и океана. Одликују се разноликим саставом присутних материја. Мора и океани садрже велике количине соли. Речне воде имају мање растворених соли, али су мутне и мање или више загађене. Најчистији су планински потоци и реке.

Подземне воде су воде артеријских пукотина, бунара, извора, гејзира, насталих продирањем атмосферских и површинских вода у земљу. Одликују се различитим саставом растворених соли, зависно од структуре и састава терена и агресивности воде која понире. Садржај растворених соли је знатан, али доста устаљен. Настају продирањем падавина од површинских водених токова ка тзв. водонепропусним слојевима (унутар

Земљине површине) који се састоје од стена са малом ефективном порозношћу. Ова вода спада у ред чистијих, па се због таквих одлика веома често користи за пиће.

У ту сврху се стандардно користе вештачки трасери (боје) који се убацују у воду и на бази њихове концентрације се процењује повезаност воде у посматраном акваторијуму. Међутим, такви трасери не подлежу истим хидродинамичким законитостима као вода, што уноси одређену мерну несигурност у сам поступак.

Расподела извора воде у природи није равномерна. У неким областима воде има у толиким количинама да се морају правити вештачке бране за заштиту од превеликих количина воде, док су нека места толико сиромашна водом да је биљни и животињски свет сведен на минимум.

У том погледу је интересантна српска јужна покрајина Косово, која спада у реоне сиромашне водом, са једним изузетним сингуларитетом, тј. планином Шаром, чији акваторијум је богат водом. Може се напоменути и то да је једно од највећих места на планини Шаре, Штрпце, добило име по томе што водене бујице често мењају његов рељеф, што на тај начин откидају (штрпну) делове његовог земљишта.

Овај прилично необичан распоред водотокова у јужној српској покрајини Косово је веома интересантан и из научних и из економских разлога, наиме, научно интересантан као и појава било каквог сингуларитета у неком систему, пошто се од система очекује хомогеност, а економски је интересантан због могућности коришћења великог пада водотокова планине Шаре за коришћење у изградњи мини-хидроцентраља, као и касније за снабдевање пијаћом водом општине Штрпце или осталих суседних делова територије Косова. Поред ових несумњиво научно-економских разлога за испитивање водотока планине Шаре, постоји, нажалост, и једна специфичност јужне српске покрајине Косова и области планине Шара, а то је чињеница да је 1999. године извршена агресија над СР Југославијом, при чему је авијација агресора користила муницију израђену од осиромашеног уранијума. (осиромашени уранијум је изузетно ефикасан у борбеним дејствима са оклопљеним метама будући да је то најтежи елемент у природи).

Да би се расветлио део наведених научних и економских питања повезаних са акваторијумом планине Шаре, који је сам по себи веома интересантан, тј. представља сингуларитет у концентрацији водотокова на једној широј области, има предиспозиције које указују на могућност енергетске експлоатације и једина је област Европе у којој постоји велика вероватноћа контаминације нуклеарним контаминантом, са свим познатим и непознатим (неиспитаним) последицама, у овом раду је за циљ постављено да се процени порекло воде на акваторијуму планине Шаре, установи повезаност, старост и хемијски параметри подземних, површинских и падавинских вода акваторијума планине Шаре и на основу тога процени његов капацитет. Након што се установи да ли постоји нуклеарна контаминација и радиоактивна контаминација водотокова и земљишта у близини

водотокова на местима која су током војних сукоба погођена од стране агресора, на основу установљеног капацитета акваторијума планине Шаре, уз узимање у обзир еколошких последица, приступиће се процени могућности његове одрживе експлоатације у енергетске и конзумне сврхе.

У току израде дисертације уложиће се напор да се дефинисани циљ постигне методама које су прихваћене и које се користе у техничким наукама. У то спада: анализа теоријских основа, експериментално испитивање, нумеричко симулирање и математичко-статистичка процена резултата уз изражавање мерне несигурности свих експерименталних поступака искоришћених за обогаћење.

2. ПРОСТОРНА ДЕФИНИЦИЈА ЛОКАЛИТЕТА

Општина Штрпце захвата простор од 247,36m², и то у горњем делу слива реке Лепенац. Ова општина је такође позната под називом Сиринићка жупа. Општина има јасно одређене административно-управне и катастарске границе, али се оне не поклапају у потпуности са природним границама Сиринићке жупе, односно истоимене високопланинске коте која је природним маркантним међама одвојена од околних мезорегија и микрорегија Косова и Метохије. Сиринићка жупа је уоквирена планинским масивом Шар-планине и њених огранака, у које спадају следећи: Ошљак, Коџа Балкан, Жар и Језерска планина.

Својим пространством и висином Шар-планина, у чијем се подножју налази и Сиринићка жупа, заузима доминантан положај на читавом Балканском полуострву. По својим основним морфотектонским особинама она припада Шарско-пиндском планинском систему, односно припада Динаридима. Касније, различитим тектонским раседањима, када су створене суседне котлине (Косовска, Метохијско-призренска, Полошка), као и неке мање котлине као што су: Сиринић, Средска, Опоље и Гора, формирано је пространство Шаре и одређен њен данашњи правац север-југ.

Пространо било Шаре укупне је дужине 80–85 km, пружа се од Качаничке клисуре на североистоку до горњег тока реке Раике на југу, ширине и до 30 km. Изнад пространог била налази се планински гребен просечне висине 2500 m са бројним врховима који одају утисак јаке назупчености.

На крајњем североисточном делу шарског планинског масива налази се врх Љуботен (2498 m), који је од централног простора одвојен преседлином званом Кула, те се стога добија утисак његове усамљености. Он има доминантан положај у односу на Сиринић, али и у односу на Косово, као и већи део северне Македоније. При погодним временским приликама, у праскозорје, са Љуботенасе пружа величанствен погледсве до Солунског залива. Иза превоја Кула, са Ливадицом (2497 m) настаје прави гребен Шаре, на коме се нижу врхови: Језерска чука (2586 m), Бистрица (2651 m), Црни врх (2585 m), Кобилица (2526 m) и један од најзначајнијих шарских превоја – Кара Никола (2040 m).

На југозападним падинама Шар-планине налазе се многобројни циркови са кратким, стрмим и дубоким долинама, који се спуштају ка Сиринићу и другим планинским котлинама. Ови циркови су често изворишта река, као што су Лепенац и Призренска Бистрица. У топлијим месецима, на стрмим обласнима циркова, снег се задржава и формира леднике. Шар-планина има укупно 25 прекрасних ледничких језера, од којих су најпознатија Ливадичко и Јажиначко језеро, која се налазе у општини Штрпце. Друга позната језера на Шар-планини укључују Караниколичко, Боговинско, Бабасаничко, као и Бело и Црно језеро на Рудоки. Ова језера имају плавозелену боју и температуру од 5 до 10 °C у летњим месецима.

Територија општине Штрпце у великој мери се подудара са природним границама Сиринићке жупе, иако постоје нека одступања, која имају значајан утицај на економски живот становништва. Јужна граница општине прати СИ део Шаре, између Љуботена и Бистрице, и има типичан „метохијски“ правац, који је обликован радијалним тектонским покретима и завојима директритиса. Ова граница служи и као граница између Србије и Косова и Метохије на једној страни и Северне Македоније на другој страни. Западна граница Сиринићке жупе почиње од врха Бистрице и протиче између сливова Лепенца и Призренске Бистрице, преко превоја Превалац (1515 m) и врха Попово прасе (1946 m), где нагло завршава на западу и прати гребен Ошљака до превоја Вирови на јужној страни Коца Балкана. На овој западној граници постоје највећа одступања између природних географских и административно-управних или општинских граница. Један део биле Шаре и Доведеница на Свињарском потоку припадају општини Призрен, што обухвата површину од 7,13 km². Та област се састоји од планинских пашњака и букове шуме, а еколошка равнотежа је оштећена неразумном сечом шуме, посебно у делу ниже од насеља Јажинце. Мања одступања границе постоје и на делу код Вирова. Важно је напоменути да су ове границе биле предмет бројних конфликта, укључујући сукобе међу становништвом села Севце, Јажинце и Средачке жупе, који су довели и до губитка људских живота.

Северна граница општине Штрпце протиче од превоја Вирови и следи извијугани потез Коца Балкана преко Череначког виса (2043 m) и Тронеђе (1934 m) до Островице (2029 m). Одатле се граница простире билом планина Жар, преко Болована Камена (1694 m) до Маје Студенице (1723 m). На овом делу, такође, дошло је до промена општинске

границе на потезу Островица – Пљош, где је површина од 2,5 km² слива Хајдучког потока, који је лева притока Лепенца, премештена и припада општини Сува Река. Природна граница жупе наставља се преко Језерске планине на Карађино (1655 m) и затим се креће на југозапад до Куркулице и Грабена. Граница општине Штрпце обухвата сливно подручје Мале реке и проширена је на 5,1 km² са крајем на коти 890 m, где се налазе остаци средњовековног утврђења Мали Петрич.

Источна граница општине Штрпце почиње од косе Грабен (1515 m), која раздваја насеља Бурник и Ижанце, а затим силази до косе Шулан (974 m) и пролази кроз Бродску клисуру, где пресеца реку Лепенац. Одатле, граница наставља по северним падинама Љуботена и проширује се све до његовог највишег дела.

Ако занемаримо деформације условљене неједнаким развитком долинских система, што нарочито долази до изражаја у изворишним деловима реке Лепенац (Череначка и Тисова река), добија се утисак лепезасте контуре Сиринићке жупе, али и делом територије општине, чија се средишња зона везује за дно долине реке Лепенац, између села Јажинце и Брода. Овај простор између поменутих насеља са дужом осом правца ЈЗ–СИ, која је у потпуности паралелна са билом Шаре, представља централни део Сиринића, односно новоформиране општине Штрпце, везујући се првенствено за природно најатрактивнији простор дуж означеног дела долине Лепенца и северних падина Шаре, између Љуботена и Бистрице. Овако схваћено подручје има типичан асиметричан положај. Како је назначено у литератури: „Жупа је, по својој равници по дну Лепенчеве долине, издуженог облика, углавном упоредничког пружања. Али, са планинским падинама изнад те Лепенчеве равнице жупа је облика широког неправилног многоугла.“ Према томе, очигледно је да се ова регија може просторно диференцирати на неколико микроцелина различитог значаја и природно-географске атрактивности. Осим јасно ограниченог централног дела Жупе, треба истаћи и секундарну целину у изворишном делу Лепенца, између села Јажинце и Коца Балкана, која због свог ексцентричног положаја у односу на главну осу даје утисак неке друге целине.

Треба истаћи да се централни део Сиринићке жупе географски битно разликује од осталих области, пре свега због свог алпског изгледа и високопланинског окружења. Неке долине, као што су Сува река, Блатештица, Муржица, Калуђерска, Болованска река и Ропотски поток, приметно су издубљене и подсећају на алпске долине. Изворишта ових река представљају циркове који се пружају до самог врха Шар-планине. Рељефни облици овог подручја карактеришу се „немирном пластиком“ са изразито разуђеним ободима, високим брдима и насеченим врховима, између којих је наличје клисуре, са брзим и богатим рекама. Ова природна околина је идеална за туризам. Поред погодног природног окружења за планинарење, постоје и изузетни топографски и снежни услови за зимски спорт и рекреацију. Ово подручје Сиринићке жупе такође има бољу саобраћајну приступачност, будући да се налази на раскрсници путева који воде ка Скопљу, Урошевцу и Призрену.

Алпски карактер дела Сиринићке жупе, тачније Шар-планине, има изузетно упадљив ефекат и препознатљив је по својим биљним формацијама. Ова област обилује шумском и травном вегетацијом, а богатство биљног и животињског света овог подручја има неизмерну вредност.

Шар-планина је од давних времена била станиште за развијено сточарство, привлачећи народе са свих крајева Балкана. Овде су се кретали историјски народи, као што су: Илири, Дардани, Трачани, Цинцари, Словени, Арбанаси и други сточари.

Општина Сиринићка жупа се састоји од 16 насеља и данас има око 10.000 становника. Ова област је део мањих друштвено-политичких заједница на Косову и Метохији које припадају Србији у целини. Преко археолошких истраживања, зна се да је ова област имала рану насељеност. Постоје први докази о постојању насеља као што је „Битинија“. У VI веку су изграђена два или три градска утврђења на путу кроз Сиринићку жупу: Зидовница – изнад села Готовуша и Градиште код Брезовице. Средњовековни писани споменици потичу из 15. и 16. века, када су изграђени и најстарији црквени објекти у овом региону.

Са изузетком западних делова Жупе, села Севце и Јажинце су била административно одвојена и под турском владавином су припадала Призрену, док су остала насеља административно припадала Приштини, а затим Урошевцу. Таква административна подела, настала у периоду турског владања, остала је и после ослобођења од Отоманске империје 1912. године. Тек 1934. године, на молбу становника, насеља Сиринићке жупе су припојена општини Штрпце. Међутим, 1965. године, насеља Сиринићке жупе изгубила су своју административну самосталност и укидањем општине Штрпце су припојена општини Урошевац. Након бројних захтева становништва свих насеља Сиринићке жупе, општина је поново формирана 10. августа 1988. године [1].

2.1. Хидрографске и хидролошке карактеристике

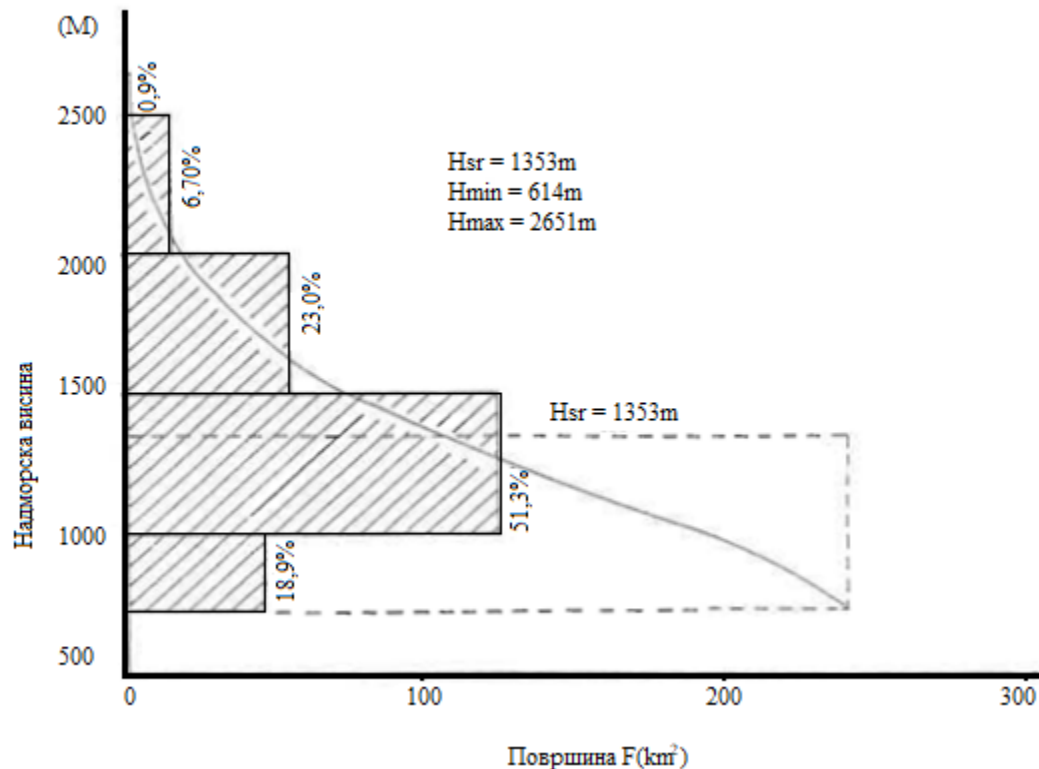
2.1.1. Опис водотока

Река Лепенац је лева притока реке Вардар и улива се код Скопља, на 253 mnm. Настаје на источним падинама Коца Балкана, конкретно, од Тисове и Череначке реке које се спајају код села Севце на 1.120 mnm. Импресивно је да Лепенац припада сливу Егејског мора, што је карактеристично за малобројне реке на Косову и Метохији.

Река Лепенац има дужину од 72 km, од којих је 62 km на Косову. Ток реке пролази кроз клисуре и котлине на свом путу. Основни правац тока реке је од запада ка истоку. Након што прими своју највећу притоку, Неродимку, код Качаника, река нагло скреће на

југ и задржава тај смер све до свог уливања у реку Вардар. Као типична планинска река, Лепенац савладава значајну висинску разлику од 1680 m од извора до ушћа. Слив реке има неправилан облик, са изразитим проширењем на левој страни, што резултује асиметричношћу слива. Површина слива реке Лепенац износи 770 km².

Лепенац има разгранат систем извора. Од своје формације на месту где се састају реке Тисова и Череначка, река тече кроз уску долину са стрмим обалама. Када прелази у низинско подручје низводно, долина се значајно проширује и ту се састају многе притоке реке. Највиша тачка на извору Лепенца (Тисова река) достиже висину од 1934 m, док је најнижа тачка у пролазу кроз Брод (630 m). Просечни пад тока реке је 50 m на сваких 1 km. Средња надморска висина целокупног слива Лепенца износи 353 m (слика 2.1).



Слика 2.1. Хипсограм општине Штрпце [1]

Лепенац прима многобројне притоке с обе стране. Укупно има 41 притоку првог реда. Просечно, на сваких 1,56 km тока реке Лепенац прими једну притоку. Највећи број притока се улива у Лепенац на делу тока кроз Брезовицу, где су притоке: Сува река, Врбештица, Блатештица и Муржица. Код Штрпца, низводно, Лепенац прима Миљоштицу као десну притоку. Лево притоке укључују Сушићку реку са Беревачким потоком, као и познате реке: Вичанску реку, Ижанску реку и Ропотски поток.

Осим Сушићке и Врбештичке реке, које имају веће сливове, све остале реке на Лепенцу имају мали слив површина мању од 20 км². Дужина тих водотокова се креће од 3 до 8,5 км. Густина речне мреже на овом подручју није равномерна. (Слика 2.2)

Сваки водоток у општини Штрпце, на Лепенцу, карактеришу мале дужине, које се крећу од 3 км за Ропотски поток до 8,5 км за Блатештицу. Густина речне мреже на овом подручју је неравномерна. На падинама Шаре, десна страна слива Лепенца има малу густину речне мреже због утицаја карстних појава. С друге стране, Болованска и Калуђерска река имају само 0.82 км сталних водотока на 1 км слива, што је знак ниске густине речне мреже. (слика 2.3).

Осим Сушићке и Врбештичке реке, које имају веће сливове, све остале реке на Лепенцу имају мали слив површине, мањи од 20 км².



Слика 2.2. Хидрографска карта општине Штрпце [1]

Тисова река је леви изворишни крак Лепенца. Извире на падинама Коџа Балкана са његове леве стране, чија надморска висина износи 1934 m. Површина њеног слива износи 9,40 km², док дужина тока износи 4,70 km.

Череначка река представља десни изворишни крак реке Лепенац. Њен извор налази се на планини Ошљак. Заједно са осталим водотоцима у сливу реке Лепенац, Череначка река има велики пад на сасвим малом растојању.

Врбештичка река је према својој величини слива међу првим притокама у општини Штрпце. Њен слив износи 28,9 km². Њено извориште налази се на висини од 1760 m, а место где се улива у Лепенац јесте Брезовица, на 890 m. Село Врбештица има лепезасти слив, чији обим развођа износи 24 km, док дужина речне мреже износи 55 km. Врбештичка река има нешто мањи пад у односу на друге реке, нарочито на бројне десне притоке Лепенца. Средња надморска висина слива износи 1364 m.

Сува река представља десну притоку Лепенца. Извире из Јажиначког језера на висини од 2130 m. На току од 8,5 km, савладава значајну висинску разлику од 1215 m. Средња надморска висина слива износи 1692 m. Она је једна од већих река у општини, која усред сушних периода може пресушити. То је више резултат геоморфолошких услова него климатских фактора.

Истраживања су открила да Сува река, на делу тока око 500 m узводно од пута Брезовица–Призрен, нагло понире по дну и боковима речног корита, које је изграђено од порозно-кавернозне кречњачке стене старе тријаске. Забележена су три значајна понора на левој и десној страни реке.

Применом методе бојења воде и праћењем њеног појављивања на околним изворима, утврђено је да је вода извирала у Лепенцу изнад Јажинца и Крк бунара, који се налази у непосредној близини Призрена и удаљен је 18 km у ваздушној линији од понора у Сувој реци. Нажалост, нема доступних података о томе у којој мери је проток Суве реке смањен на овај начин.

Река Блатештица се улива у реку Лепенац близу насеља Брезовица. Иако је површина њеног слива мала, око 10,4 km², река је изузетно обилна водом. Просечна годишња количина падавина у њеном сливу износи 1120 mm. Извориште Блатештице се налази испод Језерске чуке на Шар-планини, на висини од 2510 mm.

Муржица, с друге стране, десна је притока Лепенца. Улива се у Лепенац код насеља Брезовица, на надморској висини од око 880 mm. Извориште Муржице је разгранато, иако нема значајних великих притока. Дужина Муржице износи 8 km.

Река Миљоштица настаје од две реке, Калуђерске и Болованске, које се састају узводно од места Штрпце. Иако сама Миљоштица има кратку дужину од само 1,5 km, треба напоменути да се њенток наставља кроз Калуђерску реку, која је дужа и богатија водом од Болованске реке. Уколико узмемо у обзир и проток Миљоштице кроз Калуђерску реку, њена дужина износи 8,7 km.

Калуђерска река извире из Ливадичког или Штрбачког језера, на надморској висини од 2180 mnm. Дужина Калуђерске реке је 7 km. Површина слива Калуђерске реке износи 15,7 km², а коефицијент развитка тока је 1,30. Средња надморска висина слива Калуђерске реке је 1650 mnm, док је за Миљоштицу та висина 1535 mnm.

Сушићка река представља леву, уједно и највећу притоку горњег Лепенца. Површина слива ове реке износи 33,7 km². Сушићка река извире на јужним падинама Језерских планина, тачније испод Буковичког врха, на надморској висини од 1635 mnm. Код Доње Битиње прима већу леву притоку у виду Беревачког потока од 10,2 km², чија дужина тока износи 5,2 km [1].

Слив Сушићке реке нижи је од десних притока Лепенца, док средња надморска висина слива износи 1227 mnm (табела 2.1).

Табела 2.1. Општи хидрографски подаци за реке у сливу Лепенца[1]

Назив реке	F	S	L	B	ΣL_{sum}	D	km	H _{max}	H _{min}	Jt	Hsr
Тисова река	9,40	12,5	4,70	2,00	19,7	2,09	1,16	1934	1120	173	1630
Чераничка река	8,30	12,0	4,00	2,10	13,0	1,57	1,10	2035	1120	228	1650
Сотачки поток	3,15	8,0	3,00	1,05	8,0	2,53	1,20	1010	1050	255	1350
Сува река	19,4	22,5	8,50	2,28	24,5	1,26	1,44	2130	915	143	1692
Блатештица	10,5	20,0	8,50	1,26	12,0	1,12	1,70	2110	890	144	1508
Врбештица	29,0	24,0	10,0	2,90	55,0	1,90	1,26	1760	890	87	1364
Муржица	16,0	20,0	8,00	2,00	16,0	1,00	1,41	2130	880	156	1673
Миљоштица	27,0	20,0	8,70	3,10	24,7	0,91	1,40	2220	810	162**	1535
Калуђерска	15,7	18,0	7,00	2,24	14,0	0,89	1,30	2220	910	187	1650
Болованска	9,70	14,0	6,00	1,62	8,0	0,82	1,30	1900	910	198	1700
Сушичка река	33,7	23,0	7,00	4,81	52,7	1,56	1,16	1550	790	109	1227
Беревачки поток	10,2	13,2	5,20	1,92	17,7	1,73	1,15	1520	790	140	1300
Вичанска река	13,0	16,0	6,00	2,17	29,0	2,23	1,25	154	720	137	1252
Ропотски поток	9,64	16,5	6,30	1,42	10,8	1,12	1,50	1920	680	182	1592
Ижанска река	10,7	15,2	7,00	1,53	21,0	1,96	1,31	1400	650	107	1030
Лепенац - Брод	241	75,0	26,2*	9,20	358,6	1,49	1,07	1934*	630	50	1353

Ознака симбола: F –површина слива;S – обим слива;L–дужина реке;B – просечна ширина слива; ΣL_{sum} –дужина речне мреже;D–густина речне мреже; km –коефицијент развитка развођа;H_{max} – максимална висина на извору реке; H_{min}–минимална висина у сливу реке; Jt–просечан пад водотока; Hsr–средња надморска висина слива; * –преко Калуђерске реке; **– преко Тисове реке.

2.1.2. Средње воде и режим вода

На рекама у Општини Штрпце, хидролошка осматрања се фокусирају пре свега на реку Лепенац, и то на станици у профилу Брод. На овој станици се пре свега прикупљају подаци о водостају реке. Када је у питању просечно отицање Лепенца и његових притока, методологија која се користи је метод аналогije. За профил Брод подаци из постојеће литературе или других објављених извора се користе како би се одредили просечни проток и отицање реке. (табела 2.2).

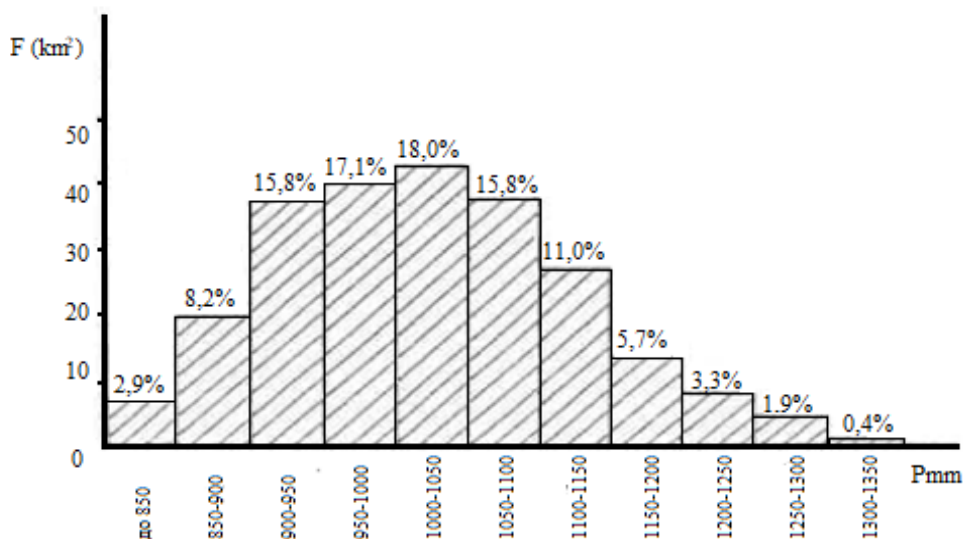
Лепенац је река која се истиче својом богатом водном запремином. На делу тока од изворишта до профила Брод, просечни проток Лепенца износи 5,63 m³/s, што је примерено 177,5 x 10⁶ m³ годишње. Ово представља значајну количину воде и чини приближно половину укупног протока Лепенца који се уноси у реку Вардар. Важно је напоменути да ова запремина протока произилази из само 1/3 површине слива Лепенца, што упућује на изузетну издашност ове реке.

Табела 2.2. Прорачун средњих вода на рекама општине Штрпце[1]

Назив реке	Профил	F (km ²)	T _s °C	P _s mm	E	P/S	R/E	R (Lang.)	R (Osm)	K
Тисова река	ушће	9,40	4,00	1130	9,80	11,50	6,40	627	0	1,48
Чераначка река	ушће	8,30	4,00	1150	9,80	11,70	6,60	647	0	1,48
Сотачки поток	ушће	3,15	5,00	1080	10,50	10,30	5,30	556	0	1,48
Сува река	ушће	19,40	4,50	1080	10,30	10,50	5,45	561	0	1,48
Блатештица	ушће	10,70	4,50	1120	10,30	10,90	5,80	597	0	1,48
Врбештица	ушће	29,00	6,00	1050	11,20	9,38	4,45	498	0	1,48
Муржица	ушће	16,00	5,00	1100	10,50	10,50	5,45	572	0	1,48
Калуђерска	ушће	15,70	6,00	1070	11,20	9,55	4,60	515	0	1,48
Болованска	ушће	9,70	6,00	1050	11,20	9,38	4,45	498	0	1,48
Миљоштица	ушће	27,00	6,00	1060	11,50	9,22	4,35	500	0	1,48
Сушићка река	ушће	33,70	6,50	980	11,20	8,75	3,90	437	0	1,48
Беревачки поток	ушће	10,20	6,00	980	11,20	8,75	3,95	442	0	1,48
Вичанска река	ушће	13,00	6,50	920	11,50	8,00	3,40	391	0	1,48
Ропотски поток	ушће	9,64	6,00	1000	11,20	8,93	4,10	459	0	1,48
Ижанска река	ушће	10,70	7,00	900	12,00	7,50	3,02	362	0	1,48
Лепенац	Брод	241	6,00	1025	11,20	9,38	4,45	498	737	1,48

Легенда: F – површина слива; T_s – средња температура ваздуха; P_s – средње падавине у сливу; E – Температурни фактор; R (Lang.) – отицање по методу *Langbein*; R(Osm) – осмотрени подаци; K – коефицијент редукције.

Највећи део површина слива Лепенца обухвата падавине између 1000 и 1050 mm, што чини 18% укупне површине. Падавине у опсегу од 900 mm до 1150–1300 mm заступљене су на мањем делу површине слива Лепенца. Када се ради о притокама Лепенца, реке Муржица и Блатештица су карактеризоване највећим падавинама – од 1100 mm. Ове информације о падавинама на различитим деловима слива Лепенца омогућавају боље разумевање расподеле падавина и протока воде у том региону (слика2.4).



Слика 2.4. Територијална заступљеност падавина на територији општине Штрпце [1]

Средња температура ваздуха за подручје општине Штрпце износи 6,0°C. На другим деловима, конкретно на речним сливовима, температура се креће између 4°C и 8°C, док на највишим врховима планина температура пада испод 0°C.

Температурни фактор (E) и однос R/E одређени су на основу анализе дугогодишњих хидролошких осматрања. Ови фактори и односи су корисни за разумевање и проучавање температурних услова на том подручју и њиховог утицаја на хидролошки систем (слика 2.5).

годишња вредност отицања реке на подручју општине Штрпце, приказана у табели 2.3. Ова табела нам пружа информације о просечном годишњем отицању на том подручју.

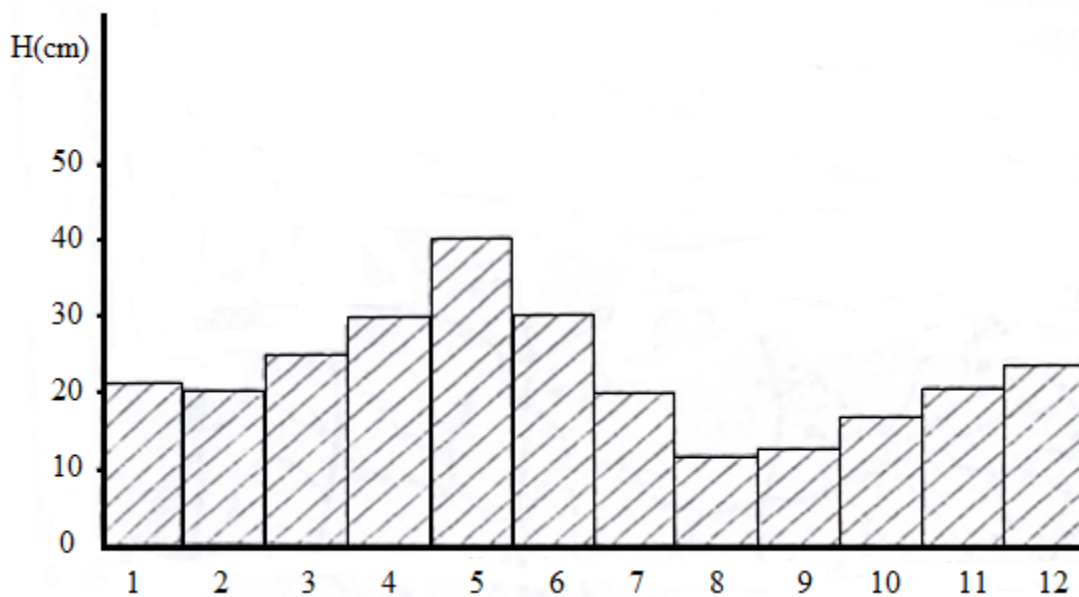
Табела 2.3. Просечно отицање река на територији општине Штрпце[1]

Назив реке	Профил	Притока	F (km ²)	Q ₀ l/s	q l/s/km ²	C _m	W (m ³)
Тисова река	Ушће	Лепенца	9,40	276	29,4	0,82	8,70 x 10 ⁶
Чераничка река	Ушће	Лепенца	8,30	253	30,5	0,84	7,98 x 10 ⁶
Сотачки поток	Ушће	Лепенца	3,15	830	26,0	0,76	2,58 x 10 ⁶
Сува река	Ушће	Лепенца	19,40	510	26,3	0,77	16,10 x 10 ⁶
Блатештица	Ушће	Лепенца	10,70	330	28,8	0,79	9,46 x 10 ⁶
Врбештица	Ушће	Лепенца	29,00	677	23,3	0,70	21,30 x 10 ⁶
Муржица	Ушће	Лепенца	16,00	429	26,8	0,77	13,50 x 10 ⁶
Калуђерска р.	Ушће	Миљоштице	15,70	379	24,1	0,71	12,00 x 10 ⁶
Болованска р.	Ушће	Миљоштице	9,70	227	23,4	0,70	7,16 x 10 ⁶
Миљоштица	Ушће	Лепенца	27,00	633	24,4	0,70	20,00 x 10 ⁶
Сушићка река	Ушће	Лепенца	33,70	691	20,5	0,66	21,80 x 10 ⁶
Беревачки поток	Ушће	Сушићке	10,20	212	20,8	0,67	6,68 x 10 ⁶
Вичанска река	Ушће	Лепенца	13,00	239	18,4	0,63	7,54 x 10 ⁶
Ропотски поток	Ушће	Лепенца	9,64	208	21,6	0,68	6,56 x 10 ⁶
Ижанска река	Ушће	Лепенца	10,70	182	17,0	0,60	5,74 x 10 ⁶
Лепенац	Брод	Вардара	241	5630	23,4	0,72	177,50 x 10 ⁶

Легенда: F – површина слива; Q₀–просечни отицај m³/s; q – специфични отицај l/s/km²; C_m– коефицијент отицања; W – запремина отицања

Река Лепенац је карактерисана изузетно богатим водним ресурсима, са просечним протоком од 5.630.000,00l/s или 177,5 • 10⁶ m³ годишње. Исто тако, и остале притоке Лепенца се издвајају по својој водној издашности, која се креће у рангу од 17 до 30 l/s/km². Ово је резултат обилних падавина, значајне енергије рељефа и велике количине отеклих падавина. Процес отицања има веће коефицијенте, што је директна последица ових фактора. Распоред водотока уз Лепенац и на подручју општине је благотворан, с обзиром на мале разлике у издашности међу различитим рекама.

На дијаграму познатом као нивограм, приказан је просечан водостај реке Лепенац у профилу Брод. Из слике 2.6. је видљиво да највиши водостаји наступају у периоду од маја до јуна, као и у априлу. Са друге стране, најнижи водостаји се јављају у августу, септембру и октобру. Интересантно је да и за време зиме може доћи до ниских водостаја, што је резултат задржавања воде у снегу или замрзавања површинског слоја земљишта. Подаци са истраживања у профилу Ђенерал Јанковић, која су започеле 1923. године, откривају да је највећи водостај на Лепенцу забележен 20. новембра 1979. године. Током историје, високи водостаји су такође забележени у 1937, 1955, 1965, 1971. и 1976. години.



Слика2.6. Ниво просечних водостаја реке Лепенац у профилу Брод [1]

На основу свега наведеног, долазимо до општег закључка, а то је да је територија општине Штрпце врло богата водом. То се може илустровати не само постојањем великог броја водотока, извора, као и мањих језера него и њиховом издашношћу, која је за неких 4 до 5 пута већа од осталих река која протичу кроз Косово и Метохију, и кроз јужну Србију уопште. Резултат свега јесу и већи прооцији Лепенца, као и његових притока равномерно распоређених по територији и у времену.

На основу овога, Сиринићка жупа се убраја међу водеће у Покрајини, Републици, али и шире.

2.1.3. Распоред отицања дуж тока Лепенца

Поред планираног тока унутар године (по месецима, сезонама и периодима раста), како и просторног распореда водених тела (карте хидролошке анализе приказују области са вишком или недостатком воде), могуће је исказати промену водостаја током тока реке од њеног извора до ушћа (табела 2.4).

Табела 2.4. Распоред (прираштај) површина, падавина и протока дуж тока Лепенца од извора до профила Брод (подаци су добијени методом аналогије)[1]

Место на водотоку	L ₁ km	L ₂ km	F km ²	P mm	Q _{sr}			
					l/s	cm	q	Wx10 ⁶ m ³
Тисова река	66,5	4,7	9,40	1130	276	0,82	29,4	8,70
Череначка река	66,5	4,0	8,30	1150	253	0,84	30,5	7,98
Лепенац-поч.	66,5	0,0	17,7	1140	527	0,82	29,8	16,6
Лепенац пре Сотачког п.	65,0	1,5	21,0	1140	630	0,883	30,0	19,9
Сотачког п.	65,0	3,0	3,15	1180	082	0,76	26,0	2,50
Лепенац после Сотачког п.	65,0	1,5	24,3	1125	712	0,82	29,3	22,4
Лепенац пре Суве реке	59,7	6,8	41,0	1100	1190	0,83	29,0	37,5
Сува река	59,7	8,5	19,4	1080	500	0,77	26,3	16,1
Лепенац после Суве реке	59,7	6,8	60,4	1095	1700	0,81	28,1	53,6
Лепенац пре Блатештице	58,6	7,9	60,8	1095	1710	0,81	28,1	53,9
Блатештица	58,9	8,5	10,7	1120	300	0,79	28,0	9,46
Лепенац после Блатештице	58,9	7,9	70,8	1110	2010	0,80	28,4	63,4
Лепенац пре Врбештице	58,2	8,3	71,0	1110	2010	0,80	28,3	63,4
Врбештица	58,2	10,0	29,0	1050	677	0,70	23,3	21,4
Лепенац после Врбештице	58,2	8,3	100	1093	2680	0,77	26,8	84,5
Лепенац пре Муржице	58,0	8,5	101	1093	2710	0,77	26,8	85,5
Муржица	58,0	8,0	16,0	1100	429	0,77	26,8	13,5
Лепенац после Муржице	58,0	8,5	117	1095	3130	0,77	26,7	98,7
Лепенац пре Миљоштице	55,8	10,7	122	1092	3170	0,75	26,0	100
Миљоштица	55,8	8,7	27,0	1060	633	0,70	23,4	20,0
Лепенац после Миљоштице	55,8	10,7	149	1085	3800	0,74	25,5	120
Лепенац пре Сушићке	53,4	13,1	152	1085	3840	0,73	25,2	121
Сушићка	53,4	7,0	33,7	975	691	0,66	20,5	21,8
Лепенац после Сушићке	53,4	13,1	186	1063	4540	0,77	24,4	143
Лепенац пре Вичанске	50,3	16,2	198	1053	4750	0,72	24,0	150
Вичанска	50,3	6,0	13,0	920	240	0,63	18,4	7,57

Лепенац после Вичанске	50,3	16,2	211	1045	5000	0,72	23,7	158
Лепенац пре Ропотског п.	47,6	18,9	216	1040	5110	0,72	23,6	161
Ропотски поток	47,6	6,7	9,64	1000	280	0,68	21,6	6,56
Лепенац после Ропотског п.	47,6	18,9	225	1038	5320	0,72	23,6	168
Лепенац пре Ижанске	45,6	20,9	229	1035	5410	0,72	23,6	171
Ижанска	45,6	7,0	10,7	900	182	0,60	17,0	5,74
Лепенац после ижанске	45,6	20,8	239	1032	5600	0,72	23,4	177
Лепенац – профил Брод	45,0	21,5	241	1025	5630	0,72	23,4	176

Легенда: L_1 – стационача Лепенца у односу на ушће, L_2 – дужина реке, F – површина слива, P – средње падавине у сливу, Q – просечан проток, St – коефицијент отицања, q – специфични отицај, W – запремина отицања у mm^3

У 1953. и 1979. години, долине притока реке Лепенац су преживеле катастрофалне поплаве. Ове екстремне воде изазвале су разарајуће поплавне таласе који су уништили богату биоразноврсност шумског живота и племените рибље популације. Потоци су носили грубе талоге, оштећујући и односећи делове путева и кућа. Токови воде донели су велики број камења, променили обале и изменили еколошке и хидролошке услове речног окружења.

Тренутно стање заштите од бујичних таласа и заштите бујичних таласа је незадовољавајуће. Примењене санационе мере, како биолошке тако и техничке, за спречавање или смањење деградације земљишта, показале су се као неефикасне. Као резултат, ерозија земљишта је уочљива и присутна.

У многим случајевима, приметни су знаци почетка или напредовања дубинске ерозије, као што су увале, жлебови и речни канали. Површинска ерозија такође је присутна у воденим басенима. Процес ерозије условљен је деградацијом земљишта, присуством велике рељефне енергије, али и климатским факторима као што су температура земљишта и ваздуха, као и интензивни преципитациони догађаји током године.

Иако су изведени радови на санацији бујичних токова, они су били фрагментарни и несистематични. Заштита бујичних токова и простора је неадекватна, па представља постојану опасност за пољопривреду и урбани простор. Да би се смањила опасност од бујичних токова, потребно је применити ефикасније и систематичније санационе мере за заштиту водених токова и простора.

2.1.4. Хидролошка карта општине Штрпце

На хидролошкој карти (слика 2.7) приказан је просторни распоред водотокова у општини Штрпце, користећи изолиније специфичног отицаја.

Са леве стране карте, видљиво је значајно веће отицање, што је резултат утицаја Шар-планине, у односу на десну страну. Исто тако, приметно је да је број десних притока већи у односу на леве.

У најнижем делу општине, који граничи са реком Лепенац и представља алувијалну равницу, просечни годишњи отицај је до 12 l/s/km^2 . Преко 35% површине општине има отицање између 12 и 20 l/s/km^2 . Ови делови доприносе протоку Лепенца са просечно $1,35 \text{ l/s/km}^2$, што чини око 24% укупне воде која настаје у овој општини.

Највиши делови планинских венаца, који значајно утичу на проток река, имају специфични отицај од око 40 l/s/km^2 на Шари, и од 30 до 35 l/s/km^2 на врховима Језерских планина, Жар-планине, Ошљака и Коџа Балкана.

Ова информација са хидролошке карте о распореду отицања пружа боље разумевање хидролошких услова у општини Штрпце и њеном окружењу.

Однос између просторног распореда воде (отицања) и површина општине и када се конструише кружни графикон распореда вода, дају да површина слива ($F = 40 \text{ km}^2$), које су окружене изолинијама отицања од $25\text{--}30 \text{ l/s/km}^2$ дају највећи проток ($Q = 1100 \text{ l/s}$). Највећи део вода формира се на површинама које су између изолинија од $20\text{--}25 \text{ l/s/km}^2$. Приближно се може узети да изохипса од 1500 m дели слив на два дела у којима се образује по 50% вода Лепенца које учествују у формирању укупног његовог протока (5600 l/s).

Ове информације нам пружају детаљније разумевање водних услова у општини Штрпце и показују како се распоред отицања вода одразио на формирање протока реке Лепенац.

хидролошки режим. У пролеће и јесен обично имају бујични карактер и носе значајне количине наноса. Лети је често случај да неке од притока постају суве или садрже мали проток воде, који је довољан само за одржавање биолошког минимума.

Табела 2.5 приказује распоред водотокова дуж тока Лепенца и један је од примера који илуструје тај распоред.

Специфична издашност Лепенца у Сиринићкој жупи смањује се са 26,0 l/s/km² – после ушћа Сотачког потока на 23,4 l/s/km² по изласку из општине. Ово незнатно смањење представља последицу утицаја нижег рељефа Сиринићке жупе, где је испаравање веће него у планинском рељефу и то због обрадивих култура.

На току Лепенца се примећује благо смањење коефицијената отицаја. Ово је делом објашњено великим износом протеклих падавина, које су резултат изразите надморске висине. Преко 72% падавина отиче са слива, док се само мањи део од око 28% испарава. Када је у питању отицање притока Лепенца, највећи коефицијент отицаја има Череначка река са вредношћу од 0,84, док је најмањи коефицијент отицаја Ижаначке реке са вредношћу од 0,60.

Веома су мале варијације протока. Годишњи коефицијент варијације протока износи 0,22 што указује на степен одступања.

Карактеристични отицаји воде, при изласку из општине Штрпце, на профилу Брод износи:

$$Q_{min} Q_{95\%} = 694 \text{ l/s,}$$

$$Q_{sred} = 5630 \text{ l/s,}$$

$$Q_{max} Q_{1\%} = 350000 \text{ l/s.}$$

(2.1)

Укупан износ расположиве количине водних токова на годишњем нивоу током средње влажне године на подручју општине Штрпце износи:

$Q_{sr/god} = 31536 \times 10^6 \times 5,63 \text{ m} = 177,5 \times 10^6$, односно 1.775.477.680 m³ годишње, чији је просечни модул отицања 23,4 l/s / km².

Велике воде у оквиру слива Лепенац у директној су зависности од површине слива, али и од других физичко-географских фактора слива (Табела 2.5). Варирају од слива са максималном специфичном издашношћу која се креће од 1450 – 7600 l / s / km².

И мале воде Лепенца, као и његових притока, веома су променљиве. Средње месечне мале воде – трајања 30 дана са $Q_{min} Q 95\%$ обезбеђености су: 694 l/s у Броду – Лепенац, 68 l/s на Вичанској, 45 l/s на Ижанској, 186 l/s на Сушићкој, 205 l/s на Миљоштици, 133 l/s на Калуђерској, итд.

Табела 2.5. Максималне вероватне воде [1]

Река	F km ²	Q1% l/s	q1% l / s / km ²
Череначка	8,30	48300	5820
Тисова река	9,40	39000	4150
Сува река	19,4	103000	5310
Блатештица	10,7	57000	5330
Врбештица	29,0	87000	3000
Муржица	16,0	80000	5000
Миљоштица	27,0	136000	5040
Калуђерска	15,7	65700	4150
Болованска	9,70	50000	5150
Сушићка	33,7	101000	3100
Беревачки поток	10,2	40000	3920
Вичанска	13,0	80000	6150
Ропотски поток	9,64	52900	5480
Ижанска	10,7	81300	7600
Лепенац - Брод	241	350000	1450

2.2. Воде сиринићке жупе

Воде Сиринићке жупе јављају се у три вида, и то као: подземне воде, водени токови и језера.

Подземне воде претежно се јављају у облику фреатске и пукотинске издани, док је појава крашких подземних вода мање заступљена; захваљујући знатним резервама подземних вода, оне су у стању да хране велики број извора. Најчешће су то слаби извори издашности од 0,1 – 1 l/s, а доста је и оних са издашношћу од 1 – 5 l/s. Водом најбогатија су крашка врела (два врела испод Љуботена, Тиха долина, Црни камен I и II и др.), која имају и највећи водопривредни значај.

Појава подземних вода и језера условљена је посебним условима. Терени општине Штрпце изграђени су од зелених шкриљаца, филита, црнокредног флиша, кречњака и доломита, серпетинита, дијабаз-рожњачке формације, шљункова, пескова и глина. Само подручје карактерише се вододржљивим стенама у којима постоји разбијена издан са водонепропустивим стенама преко којих вода прелази. Овај издан храни многобројне

изворе који се јављају у врховима бројних челенки од којих се формира развијена хидрографска мрежа.

Извори су мале издашности од 0,10 l/s до неколико l/s. Температура воде износи од 3–10°C. Извори су већином некаптирани, налазе се на великим висинама и има их на целом простору.

Расподела подземних вода веома је различита и зависи од геолошке структуре подручја. У регији се примећују значајни водоносни слојеви у долинама река, посебно у Муржичкој и Миљоштичкој долини, али и у осталим долинама са мањом моћи водоносних слојева. Дебљина глацијалних наноса у Муржичкој и Миљоштичкој долини креће се од 2 до 5 m, а може бити и већа. Иако није извршено детаљно истраживање, претпоставља се да постоје значајне количине воде у тим подручјима.

Међутим, са аспекта коришћења, најнеповољнија ситуација је са подземним водама у области Викенд зоне и Штрбачке долине због загађења које је резултат урбанизације. Коришћење подземних вода путем копаних бунара је веома ретко, вероватно због присуства многобројних природних извора. Ипак, готово свако село има неколико бунара. Продуктивност бунара се креће између 1 и 3 l/s воде, што указује на постојање значајних количина воде у подземљу.

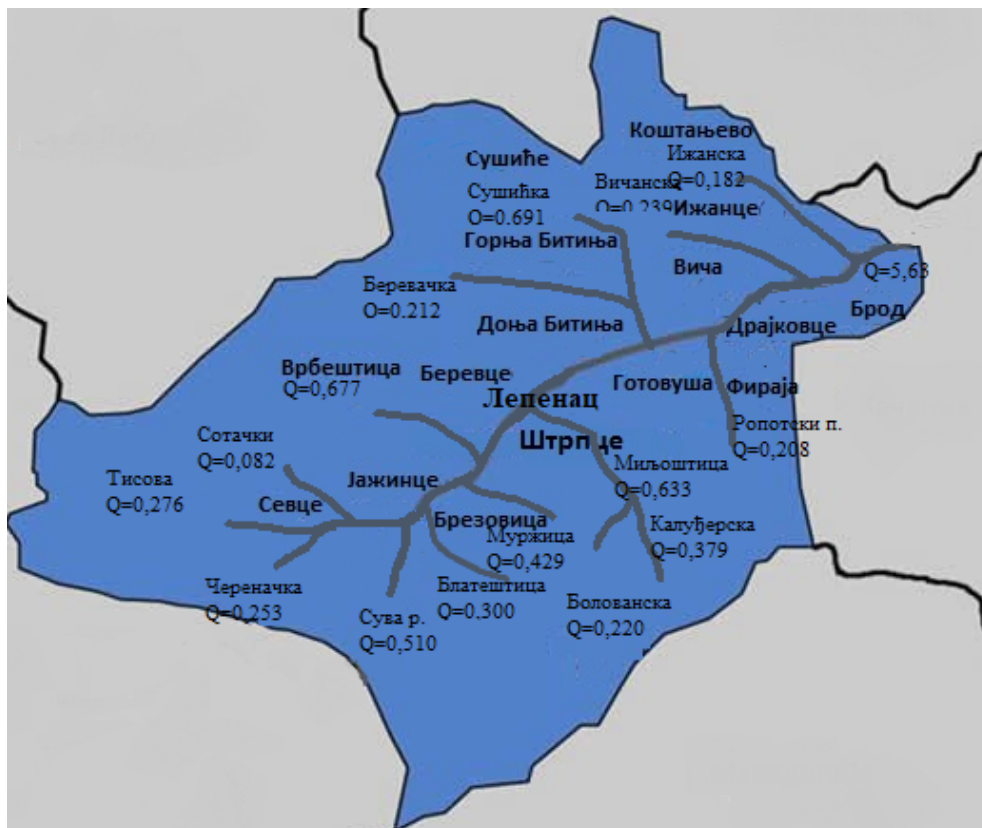
Треба напоменути да су подземне воде важан ресурс за снабдевање локалних заједница у овим подручјима, посебно у руралним срединама. Квалитет подземних вода за пиће може бити проблематичан у деловима где је присутно загађење, што захтева предузимање мера заштите и адекватно управљање водним ресурсима [1].

У површинске воде спадају:

- реке: Череначка, Тисова река, Сува река, Блатештица, Врбештица, Муржица, Миљоштица, Калуђерка, Болованка, Сушићка, Вичанска, Ижанска и Лепенац;
- језера: Јажиначко и Ливадичко као стална и већа, као и седам несталних мањих језера;
- потоци: Дурлов, Савин, Витачки, Беревачки, Ропотски итд.

Површинске воде на територији општине Штрпце достижу дужину до 110.800,00 m и површину од 587.240,00 m².

Што се река тиче, на карти општине Штрпце (слика 2.8) површинску хидрографску мрежу чине Лепенац и његове притоке, од којих се по значају истичу: Врбештичка, Сува река, Блатештица, Миљоштица, Сушићка река. Густина хидрографске мреже веома је променљива и колеба се од 0,91 до 2,53 km/km².



Слика 2.8. Шема распореда притока и протока дуж тока Лепенца у општини Штрпце [1]

Као последица повећаних падавина, велике енергије рељефа и великог износа отеклих падавина, просечни коефицијент отицања у сливу горњег Лепенца већи је од 60%, што је знатно више од већине речних сливова у региону. Расподела отицања током године на Лепенцу и његовим притокама је таква да се од јануара до маја континуирано њихов проток повећава, а затим постепено опада до септембра. Према својим основним хидролошким карактеристикама, флувијални режим Лепенца припада македонској варијанти плувионивалног режима.

Река Лепенац и његове притоке веома су богате водом. Тако просечан проток Лепенца код Брода износи 5,63 l/s, док на већим притокама он има следеће вредности:

Сушићка река 690 l/s , Врбештица 670l/s, Милоштица 630l/s, Сува река 510 l/s.

Прираштај протока Лепенца од извора до ушћа континуирано се повећава, тако да код састава Тисове и Череначке реке износи 5270l/s. а код Брода 5600 l/s .

Варијације протока су мале, тако да годишњи коефицијент износи 0,22.

Просторни размештај воде (отицање) у Сиринићкој жупи неравномеран је, с тим што су виши делови и сливови десних притока богатији водом. Међутим, општа оцена указује на велико водно богатство општинског атара, а тиме и на могућности за решавање многих водопривредних проблема.

Истовремено, јављају се и озбиљна ограничења у коришћењу површинских вода, првенствено условљена бујичарским карактером речног режима већине притока Лепенца. Овим су условљене доста честе појаве великих вода, које доводе до поплава знатних размера.

Посебно велике и разорне биле су поплаве 1897, 1950. и 1979. године, када су протоци готово достигли ниво хиљадугодишњих вода. Очигледно је да узроке овог треба тражити у развијеном процесу ерозије земљишта и слабој заштити од вода тј. несистематском и спорадичном спровођењу санационих мера биолошког, биотехничког и техничког карактера.

Очигледно је да се са водопривредним искоришћавањем вода симултано морају предузимати и мере заштите од вода, које у општини Штрпце крију у себи велику латентну разорну снагу.

Посебан хидролошки феномен представљају глацијална цирусна језера: Ливадичко, Мало Јажиначко и Врбештичко. С обзиром на димензије, њихова основна вредност естетског је карактера. Наиме, њихово присуство у високопланинском појасу Шаре чини овај предео туристички атрактивнијим и вреднијим.

2.2.1. Извори

За коришћење вода на територији општине Штрпце може се рећи да је минимално, иако има велики потенцијал вода. Само извора на територији општине има 247. Извори су мале издашности, од 0,10 l/s до неколико l/s. Извори су већином некаптирани и налазе се на великим висинама и има их на целом простору (слика 2.9). За снабдевање водом села каптирани су следећи извори [1]:

- (11)врело Скок 1 корисне издашности 2 l/s за снабдевање водом Сушића, температуре 7,5°C;
- (66)Велико врело испод Попове главе, корисне издашности 0,7 l/s и
- (68)врело Тополик издашности 0,7 l/s. Оба врела имају температуру воде 10°C. Оба су каптирана за потребе снабдевања водом села Виче.

Сличну геолошку грађу имају и терени изнад следећих села: Фираја, Брод, Драјковце, Готовуша и Штрпце, која се налазе испод врха Љуботен. Карактеристике

извора су сличне, осим температуре воде која износи око 8°C, због северне експозиције самог терена.

На овом простору налазе се три значајна врела и то:

- (222) врело Беле воде 1 и врело Беле воде 2, температура воде износи 5°C, а издашност првог 30 l/s, док је издашност другог извора 40 l/s.
- (92) врело Беле воде 3, издашности 10 l/s и температуре воде 8°C. Каптирано је за потребе села Готовуша.

Јужно од долине Лепенца, између ова два дела, простире се горњокредни флиш и на овом простору налазе се следећа врела:

- (80)Каптирани извор у дворишту Шаини Бафти, корисне издашности 2,5 l/s, температуре 9°C;
- (81) врело Гура зез (Црни камен), издашности 5 l/s, t=9,5°C.
- (83) врело разбијеног типа, корисне издашности 6 l/s, t=10°C.
- (84) врело код Цркве Светог Петра, издашности 2 l/s, t=10°C.

На јужном делу општине, са северне стране терена Шаре, у пределу Штрбачког, Беревачког и Јажиначког дела Шар-планине где углавном преовлађује шљунак, песак и лапорац, налазе се многобројни извори и они сачињавају густу хидрографску мрежу са температуром извора најчешће око 5°C.

Овде се налазе следећи извори:

- (194) врело Тиха долина, делимично каптирано, корисне издашности 40 l/s, температуре 3,2°C;
- (195) врело Црни камен, издашности 10 l/s, t=3°C.
- (198)врело Стојкова кућа 2, каптирано, корисне издашности 13 l/s, температуре 3,2°C;

На западном делу општине, у пределу села Јажинце и Севце, терен чине дијабаз-рожњачке формације. Овде је појава извора ређа са издашношћу и до неколико литара у секунди. Међутим има и моћнијих врела и то:

- из Штрбачког језера: 50 l/s, t=7°C;
- из Блатештичког језера: 30 l/s, t=6°C;
- из Јажиначког језера: 45 l/s, t=7°C.

На југозападном делу, у масиву Ошљака, углавном су кречњачке формације, налазе се врела веће издашности. Ова врела се понекад муте за време јаких киша и топљења снега и она су понекад бактериолошки неисправна. У пределу села Севца налазе се следећа врела:

- (145) Хајдучка чесма, издашности 1,00 l/s, $t=5^{\circ}\text{C}$;
- (165) Црни камен 1, издашности 22 l/s, $t=4^{\circ}\text{C}$;
- (166) Црни камен 2, издашности 25 l/s, $t=4^{\circ}\text{C}$;
- (167) Череначки извор 1, издашности 6 l/s, $t=5^{\circ}\text{C}$;
- (168) Череначки извор 3, издашности 3 l/s, $t=5^{\circ}\text{C}$;
- (157) Бела капља, издашности 3 l/s, $t=4^{\circ}\text{C}$;
- (158) Гумништа, издашности 1 l/s, $t=5^{\circ}\text{C}$;
- (159) Гобелџинац, каптирано, издашности 1 l/s, температуре 5°C ;
- (160) Здравац, издашности 1 l/s, $t=5^{\circ}\text{C}$;
- (163) Пешчаница, издашности 1,8 l/s, $t=5^{\circ}\text{C}$;
- (164) Суништа, издашности 4 l/s, $t=4^{\circ}\text{C}$;
- (170) Боровски поток, каптирано, издашности 3 l/s, температуре 6°C ;
- (171) Влах, каптирано, издашности 1,8 l/s, температуре 7°C ;

У атару села Врбештице:

- врела од (112–116) Девет корита, укупне издашности 4 l/s, $t=3\text{--}6^{\circ}\text{C}$;
- (119) Превадска река, каптирано, издашности 3 l/s, температуре 7°C ;
- (130) Три врела, издашности 1 l/s, $t=10^{\circ}\text{C}$;
- (132) Жар, издашности 2 l/s, $t=8^{\circ}\text{C}$.

У атару села Беревце:

- (142) код задружних штала врело, корисне издашности 0,5 l/s;
- (143) врело испод Крчагова, издашности 0,5 l/s, $t=9^{\circ}\text{C}$;
- (144) Бугарско врело, издашности 5 l/s, $t=8^{\circ}\text{C}$;
- (224) Беревачка чука, каптирано издашности 4 l/s, температуре 8°C ;
- (8) Бигар врело, издашности 3 l/s, $t=9^{\circ}\text{C}$;
- (61) Ропетић врело, издашности 2 l/s, $t=10^{\circ}\text{C}$.

У селу Штрпцу:

- (227) Врело Близумир, каптирано, издашности 20 l/s, температуре 8°C ;
- (228) Врело Обе реке, каптирано, издашности 3 l/s, температуре 8°C .

У селу Готовуши:

- (91) врело Готовуша, издашности 5 l/s, $t=8^{\circ}\text{C}$;

- (92) Беле воде 3, издашности 10 l/s, $t=8^{\circ}\text{C}$.

У селу Дражковце:

- (85) Врело, каптирано, издашности 2 l/s, температуре 9°C ;
- (86) каптирано врело, издашности 4 l/s, $t=8^{\circ}\text{C}$;
- (87) некаптирано врело, издашности 15 l/s, $t=8^{\circ}\text{C}$.

У селу Фираја:

- (89) врело Фираја, каптирано, издашности 1 l/s, температуре 8°C ;
- (90) некаптирано врело, издашности 0,7 l/s, $t=8^{\circ}\text{C}$.



Слика 2.9. Хидрографска карта са картом извора [1]

2.2.2. Језера

Међу природним лепотама овог подручја посебно место заузимају планинска језера у народу позната као „горске очи”. Најпознатија су:

- Ливадичко језеро или Штрбачко језеро у цирку Калуђерске реке. Налази се на надморској висини од 2173 mnm. Дужина језера износи око 230 mnm, ширина 120 m, дубина око 7 m.
- Јажиначко језеро, на надморској висини од 2170 m, у цирку изворишта Суве реке, које при највишем водостају има дубину око 11 m. Дужина му је око 120 m, а ширина око 80 m.

Од мањих језера позната су:

- Врбештичко језеро, на надморској висини од 2075 m, налази се у цирку Блатештице;
- Мало Јажиначко, које је на највишој надморској висини око 2200 m, а налази се у цирку између изворишта Блатештице и Суве реке.

Сва језера су глацијално-акумулативног порекла [1].

2.2.3. Фреатске воде – издани

Расподела ресурса подземних вода такође је веома различита. Према геолошкој грађи, значајнији водоносни слојеви налазе се у Муржичкој и Миљоштичкој долини, а има их у свим долинама река, са мањом моћи водоносних слојева. Дебљина моренских наноса креће се од 3 до 5 m, па и више, у Муржичкој и Миљоштичкој долини. Иако нису вршени истражни радови, може се претпоставити да има значајних количина воде. Међутим, са аспекта коришћења, најнеповољније су подземне воде у рејону викенд-кућа (Муржичка долина – Реџина тршења) и Штрбачка долина, због загађења насталог урбанизацијом.

Коришћење подземних вода уз помоћ копаних бунара у Сиринићкој жупи је веома ретка појава, што је разумљиво због обиља појава природних извора. Но, ипак, готово у сваком селу има понеки бунар. Издашност бунара се креће између 1 и 3 l/s, из чега следи закључак да у подземљу има значајних количина воде [1].

3. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ РАДА

3.1. Примена радиоактивних изотопа у хидрологији

Примена изотопске технике у ове сврхе заузима све значајније место, поготову последњих двадесет година, у којима је нуклеарна инструментација достигла високи технички ниво.

Коришћење изотопа у хидрологији зависи од природе проблема, према којој можемо извршити следећу класификацију [2–4]:

- Испитивања повезана са одређивањем карактеристика површинских вода, одређивањем протока, цурењем резервоара и канала;
- Испитивање везе између подземних, површинских и атмосферских вода;
- Испитивање термалних вода, одређивање зоне храњења;
- Испитивање у седиментологији, одређивање брзине формирања седимената;
- Испитивање у лимнологији, одређивање динамике мешања воде у акумулацији;
- Испитивање у хидрометеорологији, одређивање зоне формирања влажних таласа и
- Испитивање у глациологији, код формирања и транспорта глечера.

Према горе наведеном, можемо закључити да су изотопи нашли примену у свим деловима хидролошког циклуса.

Сумирањем досадашњих истраживања изотопима у хидрологији, закључујемо да су подземне воде биле најчешћи објекат испитивања тим методама. У радовима из ове области, публикованим последњих година, уочава се да изотопска техника све чешће замењује класичне технике трасирања бојама и хемијским једињењима [5,6].

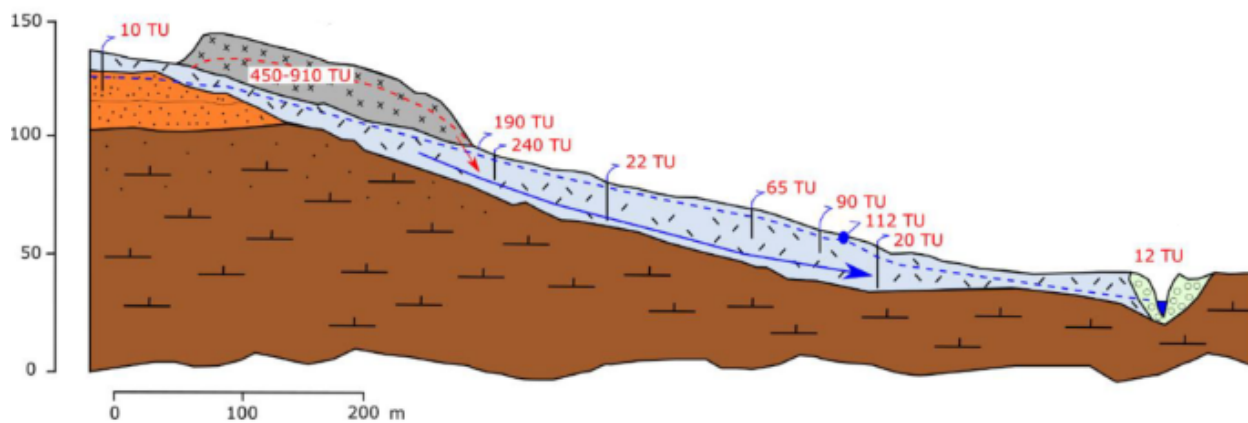
Употребу изотопа у хидрологији можемо поделити на следећи начин:

- Површинске и подземне воде могу бити обележене са вештачким радиоизотопима или са супстанцама које касније могу бити активирани (употребом активационе анализе).
- Вода у свом природном стању има стабилне и радиоактивне изотопе који такође могу да служе за њено обележавање.

Код примене трасера тражи се од њих да што потпуније прате кретања испитиване воде, те да се лако и у ниском саставу могу прецизно детектовати [7–9].

Мали део, од мноштва вештачких радиоизотопа, задовољава ове услове у форми специјалних једињења. Табелом 3.1. приказани су облици радиоизотопа који се најчешће користе у хидрологији [10].

Убацивање радиоактивних трасера у подземне воде врши се помоћу специјалних бушотина или путем природних пукотина, а њихова детекција врши се на основу емитованог зрачења у тачкама које могу бити бушотине или извори. Упрошћен приказ методе радиоактивног трасирања дат је на слици 3.1.



Слика 3.1. Приказ трасирања воде [11]

Основни недостатак ове методе је у могућности губитака радиоактивних трасера адсорпцијом при струјању кроз подземну средину.

У циљу повећања ефикасности инструктивно је употребљавати више радиоактивних трасера заједно, нарочито ако се испитују различити подземни токови у делимично кохерентном подручју под компарибилним условима, или ако се врши тестирање различитих трасера под једнаким условима [12,13].

Табела 3.1. Облици радиоизотопа који се најчешће користе у хидрологији. [14]

Радиоизотопи	Хемијска форма	Време полураспада	γ – зрачења (MeV)
^{51}Cr	$^{51}\text{Cr-EDTA}$	27,8 дана	0,32 (9%)
^{82}Br	$\text{NH}_4^{82}\text{Br}$	35,6 сати	1,48 (17%) 0,78 (83%)

			0,62 (41%) 0,55 (66%)
^{131}J	Na^{131}J	8,07 дана	0,72 (2%) 0,36 (82%)
^{198}Au	$^{198}\text{AuCl}_3$	2,7 дана	0,68 (1%) 0,41 (95%)

Код ових експеримената употребљавају се трасери са различитим енергијама зрачења, па је употребом вишеканалних анализатора могућа њихова детекција и раздвајање. За разлику од вештачких радиоизотопа, који су примењивани за трасирање у ограниченој релативно малој области, природним изотопима могуће је истраживање регионалног и интеррегионалног карактера.

Од свих изотопа који се јављају у природи нарочито интересантни за хидролошка истраживања су: деутеријум, кисеоник 18, трицијум и угљеник 14. [15–18].

Деутеријум и кисеоник 18 стабилни су изотопи и налазе се у води на основу њихове абундације, сматрају се тешким изотопима воде и детектују се помоћу методе масене спектрометрије.

Трећи, интересантан природни изотоп трицијум, ствара се у атмосфери космичким зрачењем. Будући да је он радиоактиван, ово стварање је уравнотежено радиоактивним распадањем, па је услед тога природни ниво умногоме поремећен човековим активностима, као што су експерименти са нуклеарним експлозивима и термонуклеарна енергетска постројења.

Угљеник 14 производи се такође космичким зрачењем у горњим слојевима атмосфере. Оксидацијом он настаје, већим делом, у атмосферским залихама када један део посредством калцијум-карбоната прелази у хидролошки циклус. За детекцију угљеника 14, као и за детекцију трицијума, користе се искључиво радиоактивни индикатори.

Угљеникова једињења растворљива у води, могу интерреаговати са материјалима подземне средине па на тај начин компликовати интерпретацију резултата мерења помоћу угљеника 14. [19,20].

У последње време развијају се технике примене силицијума 32, урана 238 и аргона 39, чиме се проширују истраживачке могућности у овој области [21].

Анализе које се врше у овом раду су засноване на одређивању концентрације трицијума и кисеоника 18, тако да ће касније о њима бити више речи.

3.1.1. Трасирање вода радиоактивним изотопом трицијумом

За испитивање повезивања вода се користи општепознати метод трасирања (на једно карактеристично место акваторијума се убаца неки трасер, често боја или слично, и онда се прати његова појава на другим местима и констатује време и интензитет њеног појављивања). Овај метод даје несумњиво технички употребљиве информације, међутим, за научна испитивања мале комбиноване мерне несигурности није подесан, будући да све врсте трасера имају различите хидродинамичке карактеристике у односу на воду. Једини трасер који не доприноси повећању комбиноване мерне несигурности је сама вода.

Могућност трасирања воде водом проистиче из чињенице да је вода, H_2O , сачињена од два елемента, водоника и кисеоника, који имају своје изотопе. Водоник има два изотопа 2H (деутеријум), 3H (трицијум). Деутеријум је стабилни изотоп, а трицијум је радиоактивни изотоп који нискоенергетским бета распадом прелази у 3He . Кисеоник има три стабилна изотопа, од којих два имају јако малу распрострањеност у природи (абундацију) и врло малу разлику у масама, што за последицу има тешко мерљиве физичке и хемијске разлике. Из тог разлога за трасирање воде водом најбоље се определити за мерење трицијума уз напомену да је мерење нискоенергетског бета распада релативно сложен процес [22–26].

3.1.2. Примена трицијума у хидрологији

Најчешћи облик трицијума у природи је НТО. Молекули трициране воде улазе у хидролошки циклус унутар кога се, изузимајући фазне прелазе, понашају идентично обичним молекулима воде. При фазним прелазима НТО се понаша као и остале теже компоненте воде, то јест, нижи му је притисак паре (при $15^\circ C$ притисак паре за трицирану воду је за 10% нижи него за H_2O), услед чега је концентрација трицијума у пари нижа него у води која испарава, а у случају кондензације концентрација трицијума већа је у кондензату него у преосталој пари. На концентрацију НТО у свим фазама хидролошког циклуса утиче и просечна старост молекула трициране воде услед губитака трицијума из система радиоактивним распадањем. Наведене особине трицијума, као и особине трициране воде, омогућавају примену трицијума у хидрологији [27–29].

Најчешћи видови ове примене су:

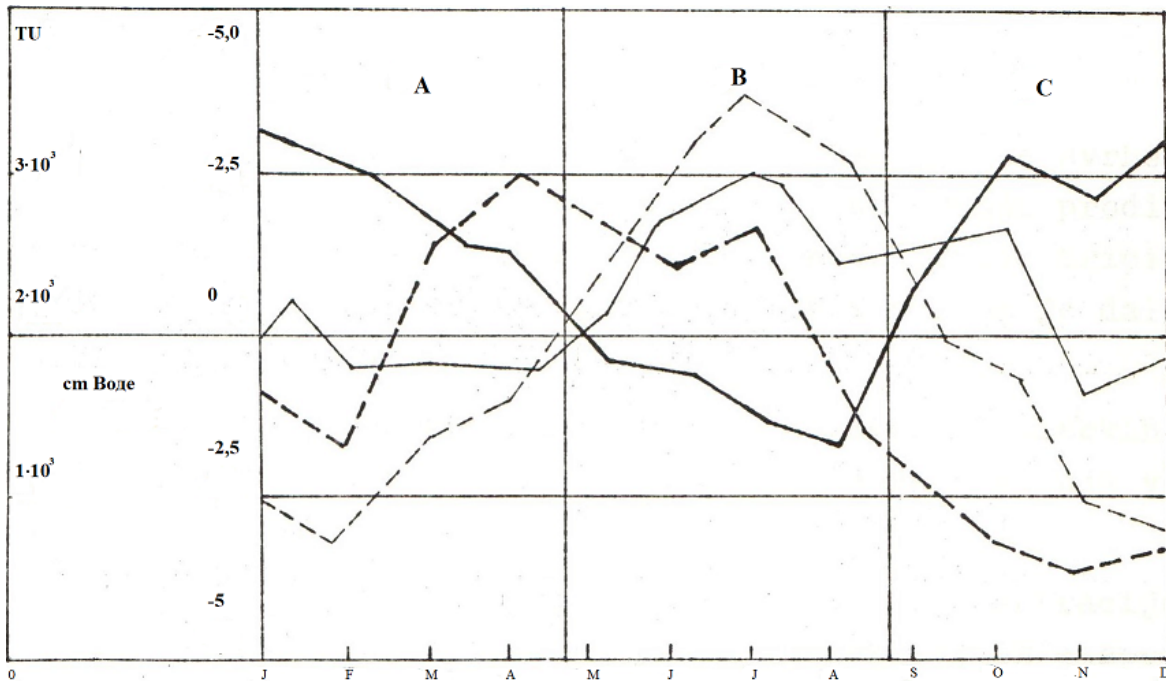
а) Обнављање подземних вода

Концентрација трицијума у води обнављања зависи од:

– дистрибуције трицијума са временом у падавинама;

- интензитета падавина у току година;
- интензитета испаравања и транспирације.

Међусобни односи ових фактора, на 50 °С северне географске ширине, приказани су сликом 3.2. Задебљана линија представља криву „вишка воде“. Запажа се да је она негативна од априла до августа (период В), а позитивна од августа до априла (период А и С), са високим вредностима у зимском периоду [30,31].



Легенда:

- Вишак воде
- Трицијум у падавинама
- _____ Падавине
- Испаравање и транспирација

Слика 3.2. Крива промена концентracије трицијума [32]

На истој слици је приказана крива промена концентracије трицијума у падавинама. Уочљив је сезонски максимум који се поклапа са негативним делом криве вишка воде.

Можемо закључити да је изотопска флукутација, која одржава механизам обнављања, корелација више величина, што отежава једнозначно закључивање њеним праћењем. Ради тога се, у одређеним регионима, упрошћава наведени модел.

Генерално посматрано, за наш географски положај, може се сматрати да ниске средње годишње температуре теже повећању „вишка воде“ у зимском периоду и да промена концентрације трицијума у водама обнављања следи концентрацију трицијума у падавинама (пошто је већи део падавина зими када је обнављање минимално).

б) Инфилтрација падавина у тло

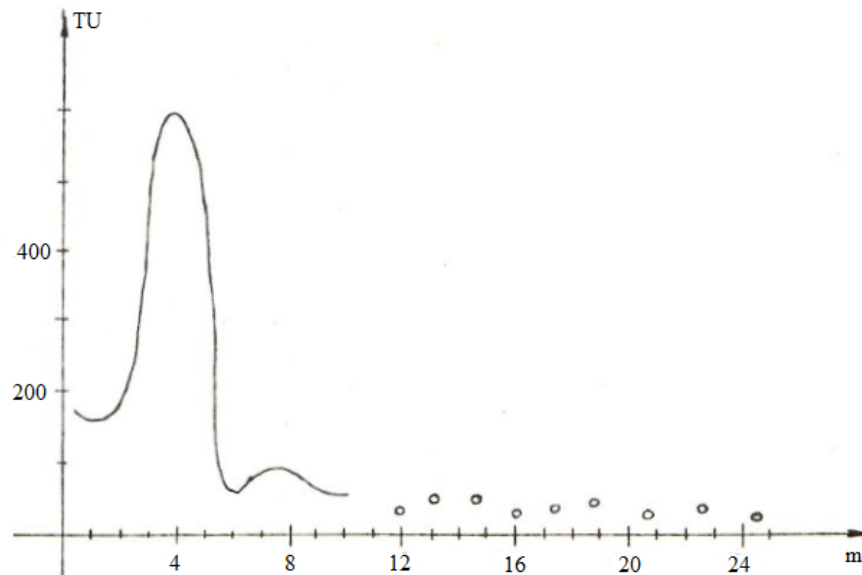
У почетку примене трицијума у хидролошке сврхе он се користи као вештачки обележавач за проучавање продирања падавинских вода. При томе су високе концентрације трицијума убациване у воду на местима инфилтрације и праћен је даљи временски ток процеса [33,34].

Касније је уочена могућност коришћења високих концентрација трицијума у падавинама за праћење кретања влажности у тлу.

Познавање временске расподеле концентрације трицијума у падавинама, од времена пре термонуклеарних експеримената до данас, омогућило је да се израчуна укупан прираштај трицијума у подземном систему за временски период од интереса.

Снимањем такозваног трицијумског профила за састав посматраног земљишта можемо одредити брзину инфилтрације падавина кроз тло. На пример, трицијумски профил глиненог земљишта приказан сликом 3.3, на којој уочавамо два „пика“ резултирана повећањем концентрације трицијума у периодима 63/64 и 58/59. Мерењем растојања ових пикова одређујемо брзину продирања влажности кроз глину.

Снимање трицијумског профила омогућује да се одреди и механизам инфилтрације. Постоје пикови и указују да се она врши интегралним процеђивањем, а мерењем концентрације трицијума на већим дубинама, где би требало да се налази само природни трицијум, одређује се да ли се јављало директно канално цурење. Такође је фитовањем трицијалног профила погодним математичким моделом могуће одредити фракцију падавина која је вршила обнављање [35,36].



Слика 3.3. Трицијумски профил глиненог земљишта [37]

в) Комуникација површинске и подземне воде

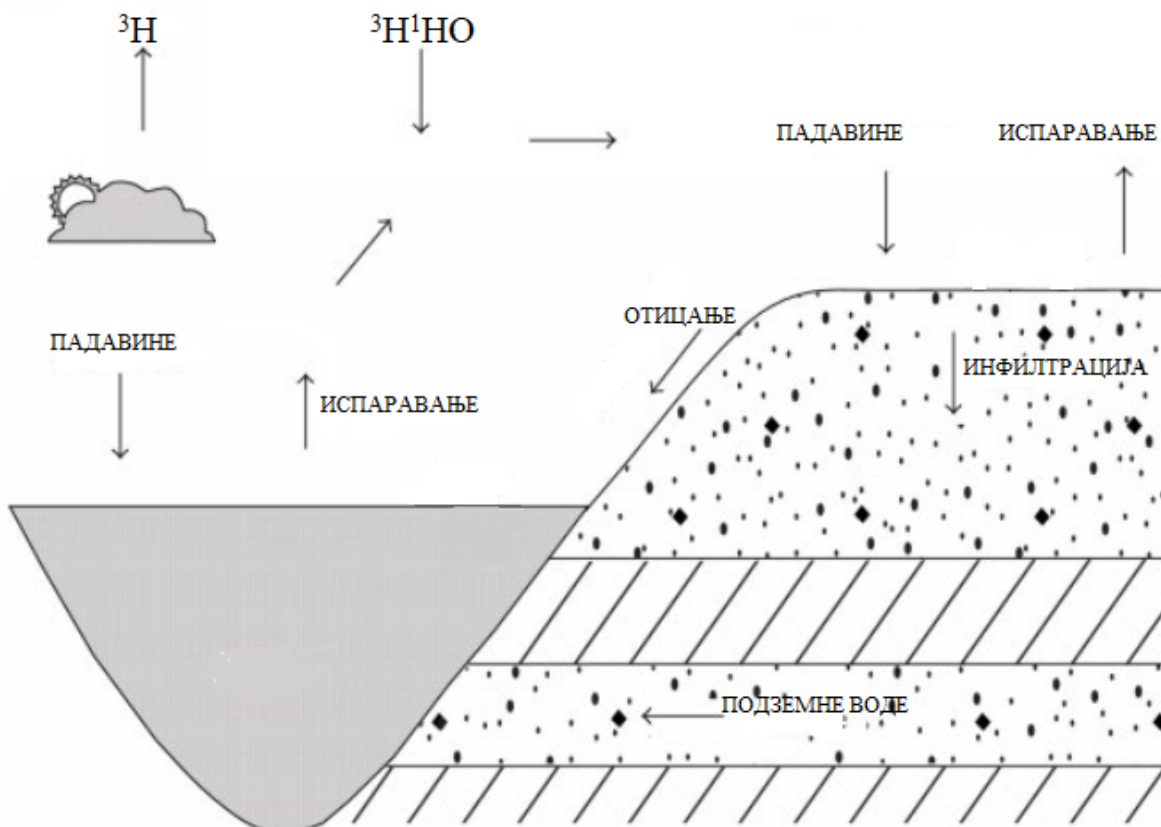
Најновија испитивања користе трицијум за одређивања повезаности подземних и површинских вода [38,39].

Уопштено гледано, у једном хидролошком систему кретање воде, а самим тим и трицијума, може бити претпостављено према шеми са слике 3.4.

Равнотежа једначина за сваку област ове шеме је:

$$Q_u T_u = Q_i T_i$$

где су Q_u и Q_i улазна и излазна компонента посматране средине, а T_u и T_i одговарајуће концентрације трицијума. Ова општа једначина се, наравно, упрошћава за конкретне системе. Што се тиче њене примене, она је једноставна, мерењем концентрације трицијума у свакој компоненти и познавањем Q_{n-1} компоненте можемо одредити непознату Q_n компоненту.



Слика 3.4. Кретање трицијума у хидролошком систему [40]

д) Одређивање старости подземне воде

Веома интересантна карактеристика подземне воде је њена старост. Под старошћу неке подземне воде подразумевамо време протекло од њеног уласка у подземље. Старост воде се може одредити методом радиоактивних изотопа и на основу детаљног познавања особина посматраног система [41–43].

Основна метода одређивања старости подземне воде помоћу радиоактивних изотопа лежи у снимању промене активности воде са временом. Треба нагласити да услед хетерогености подземних система није могуће користити закон експоненцијалног распадања будући да би његова примена захтевала строго изолован систем. Данас је најчешће у употреби такозвани експоненцијални модел, према коме можемо вршити следећу класификацију:

- Садржај трицијума између 3 и 20 TU значи да је присутна мала количина вештачког трицијума па је вода стара око 20 година.

- Садржај трицијума већи од 20 TU значи да је вода повећане концентрације трицијума из новијег периода.

У случају да одређујемо старост термалне воде, онда имамо нешто другачију поделу:

- Садржај трицијума мањи од 0,3% TU значи да се ради о веома старој води, старијој од 150 година.
- Садржај трицијума изнад 1 TU значи да се ради о термалној води која се меша са површинским водама и чија је просечна старост нижа од 20 година [44,45].

3.1.3. Одређивање садржаја трицијума у хидролошким популацијама

Трицијум се у течним или чврстим узорцима, не може сасвим лако квантитативно одредити неком од недеструктивних анализа, услед веома ниске енергије бета честица, од којих се највећи део апсорбује у самом узорку. Већина узорака, посебно оних који нису у воденом раствору, мора се хемијски или физички припремити да би били погодни за мерења. Тако се у процесу контроле трицијума разликују фазе узорковања, припреме узорка и самог мерења. Максимални домет β честица трицијума у материји је до те мере мали да практично искључује примену било каквих медијума који раздвајају узорак од радне материје мерног прибора. Последња околност одређује специфичност апаратуре за регистрацију зрачења трицијума. Сопствено зрачење трицијума убрзава формирање различитих хемијских једињења, изотопски измену, сорпцију трицијума, што такође уноси изобличења у мерења. Често је, такође, потребно у веома широком опсегу концентрација одредити укупан или појединачан садржај трицијума у гасовима различитог састава, води, органским и неорганским течностима, металима, биолошким материјалима и сл. Тако, на пример, у гасовитим смешама сложеног састава неопходна су мерења концентрације трицијума од реда 10^{-4} Вq/l до 10^{10} Вq/l, а у течностима, од 10^{-4} Вq/l до 10^{16} Вq/l. Упоредо с тим, важна је идентификација облика хемијског једињења које садржи трицијум, расподеле трицијума у танким слојевима и ткивима, одређивање садржаја трицијума у различитим срединама биосфере, као и у организму човека [46–48].

3.1.4. Узимање и припрема узорака

Скупљање репрезентативног узорка за анализу трицијума представља у суштини исти проблем као и при сваком другом узорковању било ког материјала. Три могућа извора грешке у овој фази при мерењу укупне активности или концентрације могу бити:

- принос атмосферске влаге у колектовани узорак апсорпцијом, адсорпцијом или кондензацијом;
- испаравање воде из узорка, што води до директне грешке уколико се одређује укупна активност, као и различита брзина испаравања НТО и Н₂О (скоро 10%);
- измена органски везаног водоника са водоником у атмосферској влази.

Број метода и начина узорковања може бити велики и веома разноврстан, у зависности од средине у којој се врши узорковање и очекиване специфичне активности [49–50].

3.1.5. Методе мерења активности трицијума у хидролошким популацијама

Одређивање садржаја трицијума у различитим срединама засновано је на мерењу његове активности јонизацијом или сцинтилационим методама, као и на коришћењу других физичко-хемијских својстава тог нуклида помоћу масено-спектрохемијских, калориметријских, фотографских и других метода. Мерењем активности у неким случајевима могуће је поуздано доказати присуство трицијума у узорку до 10^{-16} g, што одговара приближно 10^7 атома трицијума или активности од 0,037 Вq.

Радиометријске методе је могуће примењивати за мерење садржаја трицијума у материји која се налази у било ком агрегатном стању. На пример, за мерење трицијума у гасовитој средини најчешће се користе методе засноване на јонизационим ефектима зрачења (јонизационе коморе, пропорционални и гајгерови бројачи, полупроводнички детектори), али примену налазе и сцинтилационе методе.

У зависности од конструкције детектора, ове методе се могу примењивати како за мерење појединачних узорака тако и за континуалну контролу трицијума у гасовитој средини (проточни бројачи). Садржај трицијума у течним узорцима најчешће се одређује помоћу течних сцинтилационих бројача [51–53].

За мерење активности трицијума у чврстим узорцима, због малог домета β честица, неопходно је да детектор не буде удаљен од мереног узорка више од 0,1 mg/cm². То се постиже коришћењем бројача без прозора или мешањем мереног узорка унутар бројача. Ипак треба приметити да, независно од тога какав се бројач користи (с прозором или без њега), директно мерење трицијума у чврстим узорцима представља по себи врло тежак задатак.

У табелама 3.2. и 3.3. дат је преглед и област примењивости различитих мерних техника за мерење трицијума у појединим агрегатним стањима.

3.1.6. Критеријуми за избор метода

Избор најпогодније методе за конкретно мерење може зависити од неколико критеријума. Међу најважнијима су:

- осетљивост и прецизност мерења;
- време трајања мерења;
- степен специфичности конкретне методе за трицијум, односно његову конкретну физичко-хемијску форму;
- могућност комерцијалне набавке опреме;
- потреба мерења дискретних узорака, односно континуалног мониторинга у реалном времену.

Релативни значај појединог критеријума зависи од конкретне примене.

3.1.6.1. Осетљивост и прецизност

Осетљивост методе карактерише се минималном активношћу која се може детектовати (минималном детектабилном активношћу, концентрацијом, MDA/MDK), а која се често дефинише као мултипл стандардног одступања мерења фона. Широко се користи трострука, а у неким случајевима и двострука вредност стандардног одступања.

Статистички критеријум за избор најподесније методе зависи од одређивања MDK.

Разликују се области одређене доњим границама:

- граница одлучивања (decision limit), на којој је могуће одлучити о присутности радионуклида (јесте/није присутан);
- граница детекције (detection limit) је активност коју је могуће измерити са заданом поузданошћу;
- активност коју је могуће измерити са заданом тачношћу.

Најчешће се за поређење метода бира област одређена границом детекције, карактерисана у основи вероватноћом грешке замене лажног за реални сигнал и вероватноћом замене реалног за лажни сигнал. У принципу, ове вероватноће могу бити различите, али се најчешће усвајају истим и једнаким 5%.

Када је ниво фона „познат“ (тј. средњи ниво фона је процењен са варијансом малом у поређењу са нивоом фона у периоду мерења узорка), и када задовољава Поасонову расподелу, тада је граница детекције дата са: [54–56]

$$A_{GDP} = \frac{2.7 + 4.7\sqrt{N\phi T}}{\varepsilon T} \quad (3-1)$$

где су:

$N\phi$ – очекивани ниво фона у току периода T .

ε – ефикасност мерења – однос броја импулса у јединици времена према активности.

Када је фон „непознат“ (процењен у току времена једнаким оном у току којег се мери узорак), тада је:

$$A_{GDN} = \frac{2.7 + 3.3\sqrt{2N\phi T}}{\varepsilon T} \quad (3-2)$$

Први сабирак у бројиоцу израза (3-1) и (3-2) може се занемарити. Границе детекције, изражене као број импулса, су онда 3.3 односно 4.7 стандардних девијација броја импулса фона, када је фон познат, односно непознат.

У случајевима када је узорак неограничен, тј. када је потребно одредити границу детекције као концентрацију, а фон није познат, тада је:

$$C_N = \frac{2.7 + 4.7\sqrt{N\phi T}}{v\varepsilon T} \quad (3-3)$$

где је v запремина (или маса) мереног узорка.

Ако је, као што често јесте,

$$2.7 \ll 4.7\sqrt{N\phi T} \quad (3-4)$$

тада је:

$$C_N = \frac{4.7}{\sqrt{T}} \left(\frac{\sqrt{N\phi}}{\varepsilon v} \right) \quad (3-5)$$

Реципрочна вредност израза у загради у једначини (3-5) назива се мера квалитета („figure of merit“) бројача.

$$FM = \frac{\varepsilon v}{\sqrt{N\phi}} \quad (3-6)$$

Ако се импулси из детектора не воде у бројач, већ у рејтметар (rate meter), тада ће минимална детектабилна концентрација зависити од временске константе рејтметра. Ако је ова временска константа T_c , може се узети да је $2T_c$ ефективно време бројања при процени МДК за појединачно мерење, тј. претпостављајући да је фон „добро познат“ из претходних дуготрајних усредњавања, тада је:

$$C_P = \frac{2.7 + 3.3\sqrt{2N\phi T_c}}{v\varepsilon T} \quad (3-7)$$

У табелама 3.2. и 3.3. поређене су методе мерења трицијума, усвајајући да је $T=1$ мин. и сматрајући фон непознатим за дискретне узорке, а познатим за мерење у реалном времену. Коментари у табелама који се односе на време трајања мерења, подразумевају и време потребно за припрему узорка [57,58].

Мерење трицијума се компликује присуством других радионуклида у узорку, излагањем детектора у зрачењу, електричним шумом и нестабилношћу. Уколико се елиминишу прва два извора сметњи, и ако се претпостави да остали производе излазни сигнал шума N_{ϕ} са релативном стандардном девијацијом σ_i , тада је варијанса укупног фона N_{ϕ} дата са:

$$N_{\phi} = N_{\phi P} + (\sigma_i N_{\phi})^2 \quad (3-8)$$

где је:

$N_{\phi P}$ – излазни сигнал услед фона који задовољава Поасонову расподелу.

Израз (3-8) треба користити за израчунавање вредности N_{ϕ} у једначинама за границу детекције. Због ниске енергије β честица трицијума, хемијска форма узорка је од значаја за

ефикасну детекцију. Да би се β честица уопште уочила, детектор не сме „бити даље“ од $0,1 \text{ mg/cm}^2$ од извора.

Табела 3.2. Мерење трицијума у течностима и на површинама [59]

Минимална детектабилна концентрација (МДК) [Bq/cm^3]				Метода мерења	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
10^{-6}	10^{-3}	1								
100	10	100	10							
				Кондензација, смрзавање или сушење/течни сцинтилациони бројач	h	не	да	не	да	да
				Колекција производњом мехурова/течни сцинтилациони бројач	h	не	да	не	да	да
				Проточни пропорционални бројач (тритирани угљоводоници)	min	да	не	да	не	да
				Јонизациона комора	min	да	да	да	не	да
				Пропорционални проточни бројач	min	да	да	да	не	да
				Кондензација/антраценска проточна ћелија	min	да	да	не	да	не
				Антрацен или пластични сцинтилатор	min	да	да	да	не	да
				Континуална колекција мехурова/проточна ћелија са течним сцинт.	min	да	да	не	да	не
				Континуална колекција мехурова/проточна ћелија са пл. сцинт.	min	да	да	не	да	не
				Фотографски филм	d	не	да	да	не	не
				Детектор са лавинском диодом	min	да	да	да	не	не

Легенда:

- (1) Период од прикупљања узорка до резултата?
- (2) Могућност мерења у реалном времену?
- (3) Могућност мерења „неводених“ узорака?
- (4) Дискриминација у односу на друге радионуклиде?

- (5) Метод широко коришћен?
 (6) Опрема комерцијално доступна?

Табела 3.3. Мерење трицијума у гасовима [59]

Минимална детектабилна концентрација (МДК) [Bq/cm ³]				Метода мерења	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
10 ⁻⁶	10 ⁻³	1								
100	10	100	10							
				Кондензација, смрзавање или сушење/течни сцинтилациони бројач	h	не	да	не	да	да
				Колекција производњом мехурова/течни сцинтилациони бројач	h	не	да	не	да	да
				Проточни пропорционални бројач (тритирани угљоводоници)	min	да	не	да	не	да
				Јонизациона комора	min	да	да	да	не	да
				Пропорционални проточни бројач	min	да	да	да	не	да
				Кондензација/антраценска проточна ћелија	min	да	да	не	да	не
				Антрацен или пластични сцинтилатор	min	да	да	да	не	да
				Континуална колекција мехурова/проточна ћелија са течним сцинт.	min	да	да	не	да	не
				Континуална колекција мехурова/проточна ћелија са пл. сцинт.	min	да	да	не	да	не
				Фотографски филм	d	не	да	да	не	не
				Детектор са лавинском диодом	min	да	да	да	не	не

Легенда:

- (1) Период од прикупљања узорка до резултата?
 (2) Могућност мерења у реалном времену?
 (3) Могућност мерења „неводених“ узорака?
 (4) Дискриминација у односу на друге радионуклиде?
 (5) Метод широко коришћен?

(6) Опрема комерцијално доступна?

У води нпр. растојање од извора до осетљиве запремине детектора мора бити мање од 1 μm . За чврсте узорке биће мерена само активност до дубине од око 0.1 mg/cm^2 од површине. Осим ако активност није довољно висока да би се детектовало закочно зрачење [60].

3.1.6.2. Биодозиметријска контрола

Степен контаминације организмапроцењује се на основу процене садржаја радиоактивног материјала у телу. Ова процена се врши из резултата мерења биолошких узорака (урин, зној, брис из носа, крв и сл.) – биодозиметријске контроле и усвојених модела кинетике радиоактивног материјала у организму. Принципи које су усвојила међународна тела, изложени су у ICRP публикацији.

Програм индивидуалног мониторинга обухвата: рутински, операциони и специјални мониторинг.

Рутински мониторинг – под којим се подразумева редовна контрола појединих радника у унапред заданим временским интервалима у ситуацијама кад постоји континуални ризик контаминације радног места као резултат нормалног рада. У складу са законским границама излагања, дефинисани су и интервентни нивои, и то: ниво истраживања NI_R и ниво бележења, NB_R :

$$\text{NI}_R = \frac{3 \text{GGU}}{10 N}$$

$$\text{NB}_R = \frac{1 \text{GGU}}{10 N}$$

(3–9)

Где су:

GGU – годишња граница уношења,

NI_R – ниво испитивања за рутински мониторинг

NB_R – ниво бележења за рутински мониторинг и

N – број интервала у години.

Операциони мониторинг – намењен је претходној процени ризика конкретног посла или нове операције, а врши се наменски.

Специјални мониторинг – обавља се у ванредним условима, било када се реално установе или се посумња да су достигнути нивои:

$$NI_s = \frac{1}{10} \text{ GGU}$$

$$NB_s = \frac{1}{30} \text{ GGU}$$

(3–10)

Према ICRP публикацији, за излагање спољњем озрачавању, кад су дозе реда величине годишње границе, неодређеност мерења не би требало да пређе фактор 1.5 на нивоу поузданости од 95%, а за ниже вредности доза, мање од 10 mSv, фактор 2, за исти ниво поузданости [61,62].

Идеално би било да се при рутинском мониторингу интерне контаминације могу постићу неодређености прихваћене за спољње озрачавање. У пракси је, међутим, то немогуће постићи, па су ретко оствариве неодређености и од 50%. Ово се мора имати у виду при коришћењу резултата мерења, као и при информисању конкретног појединца о степену његовог озрачавања.

На бази усвојеног ICRP модела воденог биланса, концентрација НТО у организму се процењује на основу мерења концентрације НТО у урину.

Ако се задржавање трицијума у организму може представити као сума три експоненцијалне функције:

$$\sum_{i=1}^3 a_i \exp(-0.693 \frac{t}{T_i})$$

(3–11)

где су времена полуетиминације из и – тог простора:

T_1 – у опсегу 6 – 18 дана

T_2 – у опсегу 21 – 34 дана и

T_3 – у опсегу 250 – 550 дана, а

a_i – величине простора.

И како је

$$a_2 + a_3 \ll a_1$$

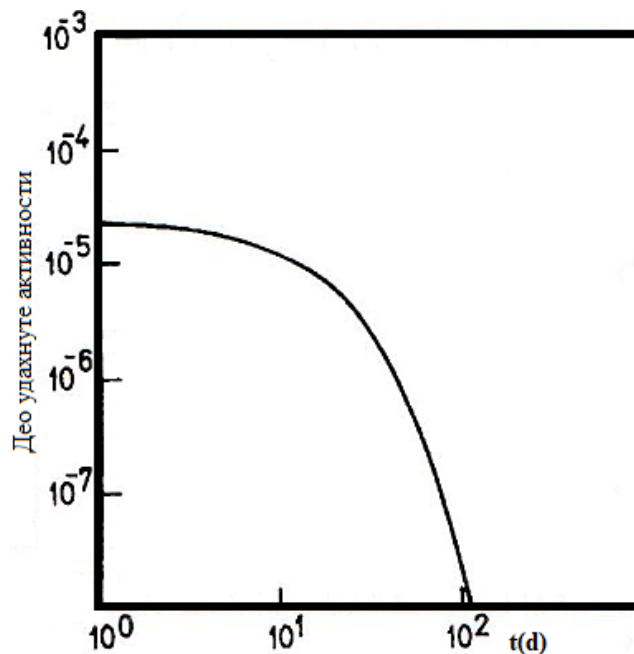
тј. допринос укупној дози од трицијума из простора a_2 и a_3 око 10 %, задржавање воде се може адекватно описати једном експоненцијалном функцијом са временом полуелиминације од 10 дана:

$$a_1 \exp\left(-0.693 \frac{t}{10}\right) \quad (3-12)$$

Како је запремина укупне телесне воде 42 000 ml, а према усвојеном моделу концентрација трицијума у урину је једнака концентрацији трицијума у телесној води, тада је концентрација трицијума дата са:

$$C_u(t) = \frac{1}{42000} \exp\left(-0.693 \frac{t}{10}\right) \quad (3-13)$$

На слици 3.5. приказана је крива елиминације трицијума према предложеном моделу ICRP (који представља званично прихваћен модел у заштити од зрачења).



Слика 3.5. Временска зависност концентрације трицијума у урину по јединичном уношењу тритиране водене паре инхалацијом [63]

Са становишта ових модела, и овог нивоа захтева, трицијум не представља проблем ни за детекцију ни за интерпретацију резултата мерења.

У ситуацијама акциденталне контаминације, у циљу процене дозе, најбоље би било проценити индивидуално биолошко време полуелиминације T_b , а у противном, према усвојеном моделу, користи се вредност од 10 дана.

За процену еквивалентне дозе, развијен је модел који је прецизнији и по коме је:

$$H(t) = 5,8 \cdot 10^{-11} C_u(t) \quad \left[\frac{Sv}{d}\right] \quad (3-14)$$

$$H(t) = 8,4 \cdot 10^{-10} C_u(t) \quad [Sv] \quad (3-15)$$

где је :

$C_u(t)$ – концентрација трицијума у урину [Bq/l] у тренутку t .

Табела 3.4. Дозиметријски подаци за контролу трицијума према ICRP [64]

Радиоизотопи	Хемијска форма	Време полураспада	γ – зрачења (MeV)
^{51}Cr	$^{51}\text{Cr-EDTA}$	27,8 дана	0,32 (9%)
^{82}Br	$\text{NH}_4^{82}\text{Br}$	35,6 сати	1,48 (17%) 0,78 (83%) 0,62 (41%) 0,55 (66%)
^{131}J	Na^{131}J	8,07 дана	0,72 (2%) 0,36 (82%)
^{198}Au	$^{198}\text{AuCl}_3$	2,7 дана	0,68 (1%) 0,41 (95%)

Оптимално би било да контрола почне 1–2 сата након уношења, када би се тај тренутак поуздано знао [65].

Поред ових општеприхваћених нивоа и модела, поједине земље су разрадиле и специфичне моделе и оперативне нивое за своје потребе. Тако је, на пример, Канада због широко примењиваних реактора са тешком водом, где је ризик контаминације висок, дефинисала и ниво престанка рада за појединца као концентрацију трицијума у урину од $1,8 \cdot 10^6$ Bq/l.

Из експеримената на хуманој популацији нађено је да је средњи однос концентрације трицијума у урину према укупном излагању гасу НТ једнак:

$$2.4 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Bq/l}}{\text{Bq/m}^3 \text{min}} \quad (3-16)$$

Па је онда за краткотрајна излагања, кад је време излагања Т много мање T_{eff} , доза у плућима од гаса трицијума:

$$H_{\text{плућа}} = 0.8 \cdot 10^{-8} C_u \quad [\text{Sv}] \quad (3-17)$$

Онтатрио Хајдро је дефинисао и релацију за прорачун дозе услед контакта коже и контаминиране површине:

$$H_k = 1 \cdot 10^{-6} C_{\text{ovt}} \quad [\text{Sv}] \quad (3-18)$$

где је:

H_k – кожна доза усредњена на 100 cm^2 коже;

C_{ovt} – концентрација органски везаног трицијума у урину у $[\text{Bq/l}]$ добијена 1 дан после контаминације коже контактом са контаминираном површином.

У Америчком стандарду за индивидуалну контролу контаминације трицијумом могу се наћи прописани поступци и захтеване тачности за различита сценарија озрачавања.

Закони расподеле органски везаног трицијума, по дубини коже и у времену, још нису довољно истражени.

3.2. Трасирање акваторијума Шар–планине кисеоником

У новије време се чине изузетни напори за развој контроле, заштите и повећања водених богатстава на глобалном и локалном нивоу. Примена изотопске технике у ове сврхе заузима све значајније место, поготово последњих педесет година у којима је нуклеарна инструментација достигла високи технолошки ниво.

Коришћење изотопа у хидрологији зависи од природе проблема, према којој се може извршити класификација: испитивања повезана са карактеристикама површинских водотокова (одређивање протока, цурења резервоара и канала), испитивање веза између подземних, површинских и падавинских вода, испитивање термалних вода, испитивања у седиментологији (одређивање брзине формирања седимената), испитивање у лимнологији (одређивање динамике мерења воде у акумулацији), испитивања у хидрометеорологији (одређивање зоне формирања влажних таласа) и испитивање у глациологији (код формирања и транспорта глечера).

Употреба изотопа у хидрологији може се поделити на: а) површинске и подземне воде могу бити обележене са вештачким радиоизотопима или супстанцама које касније могу бити активирани (применом активационе анализе) и б) воде у свом природном стању имају стабилне и радиоактивне изотопе који, такође, могу да служе за њено обележавање. Решење под б) је целисходније будући да се од трасера очекује да што потпуније прате испитивање воде, те због тога што се лако и у ниском саставу могу прецизно детектовати.

Убацивање радиоактивних трасера у подземне воде врши се помоћу специјалних бушотина или путем природних пукотина, а њихова детекција врши се на основу емитованог зрачења у тачкама које могу бити бушотине или извори. Основни недостатак ове методе је могућност губитка радиоактивних трасера адсорпцијом при струјању кроз подземне средине.

У циљу повећања ефикасности ових метода употребљава се више радиоактивних трасера заједно, нарочито ако се испитују различити подземни токови у делимично кохерентним подручјима под комбинованим условима.

Од свих изотопа који се јављају у природи, нарочито интересантни за хидролошка испитивања су: деутеријум, кисеоник ^{18}O , трицијум и угљеник ^{14}C [66–69]. Деутеријум и кисеоник ^{18}O су стабилни изотопи и налазе се у води према пропорционалности коју одређује њихова абунданција и одступање физичких особина према основним особинама водоника и кисеоника ^{16}O . Трећи интересантан изотоп, трицијум, ствара се у атмосфери космичким зрачењем. Будући да је он радиоактиван, његово стварање је доскоро било уравнотежено распадом. У новије време људске активности на пољу нуклеарне физике знатно су пореметиле ову равнотежу. Угљеник ^{14}C производи се такође космичким зрачењем у горњим слојевима атмосфере. Оксидацијом он остаје већим делом у атмосфери, а један део путем калцијум-карбоната прелази у хидролошки циклус.

Циљ је да се анализира кружење воде у акваторијуму планине Шаре (Србија), која обилује водом у иначе безводном окружењу. За постизање овог циља користиће се изотопи кисеоник ^{18}O и трицијум, а за квантизацију резултата примениће се методе статистичке математике.

3.2.1. Одређивање садржаја кисеоника ^{18}O у хидролошким популацијама

Деутеријум и кисеоник ^{18}O су стабилни изотопи и налазе се у води према пропорцији коју одређује њихова абунданција и одступање физичких особина према основним изотопима водоника и кисеоника ^{16}O .

Деутеријум и кисеоник ^{18}O обично се називају тешким изотопима воде. За њихову детекцију користе се методе масене спектрометрије.

Физичко-хемијска техника и инструментација потребна за мерења варијације природних изотопа са великом тачношћу биле су развијене још почетком педесетих година. Истраживања наредних година утврдила су генералну научну базу за интерпретацију варијације изотопских односау природним једињењима.

Изотопи кисеоника и водоника, као саставни делови молекула воде, представљају идеалан геохемијски трасер будући да њихова концентрација не може бити предмет измене интеракцијом воде са подземним материјалима [70–74].

3.3. Примена метода математичке статистике на обраду статистичких узорака трицијума и кисеоника ^{18}O у сврху хидролошких испитивања

Анализа повезаности падавинских и површинских вода у неком акваторијуму, какав је акваторијум планине Шаре (Србија), употребом трицијума и кисеоника ^{18}O подразумева примену метода статистичке математике. Будући да се ради о узимању узорака вода које имају различиту историју, и пошто је трицијум нестабилан нуклеон, статистичка обрада резултата мерења мора да се заснивана мешовитим расподелама и закону вероватноће пораста. Наиме, иако би резултантна расподела узорака насталих из падавинских вода, подземних вода и површинских вода требало да буде адитивног типа, нестабилност трицијума доводи до тога да ове расподеле могу бити и мултипликативног типа. То укључује примену модела који је описан Weibull-овом расподелом, и који се базира на изразу множења при израчунавању вероватноћа. Због тога се мултипликативне мешовите расподеле третирају као примена закона пораста вероватноће [75,76].

Адитивне и мултипликативне мешовите расподеле веома се тешко математички обрађују због великог броја параметара. Из тог разлога су потребне емпиријске методе које се могу применити уз помоћ рачунара, или једноставно графички, употребом одговарајућег папира вероватноће. Ове графичке методе су засноване на емпиријској функцији густине, које се одокативно деле на функције густине посебног типа расподеле тако да се почетне густине добијају суперпонирањем потоњих. Олакшавајућа околност је,

на пример, чињеница да када се користи папир вероватноће нормалне расподеле, графици емпиријских функција су скоро нормално распоређени уколико су саставне функције такође нормално распоређене. Ови прави графици треба да буду полазна тачка у графичкој апроксимацији [77–79].

Закон пораста вероватноће (што укључује и смањење) са статистичког становишта представља практичну примену закона множења независних вероватноћа, $P(A \cap B) = P(A)P(B)$. Наравно, при томе се независност појединачних вероватноћа које се паралелно догађају у односу на простор и време, или узастопно, подразумева.

За статистичку обраду увећања или смањења неког ентитета у односу на простор и време уводи се четвородимензионални фактор увећања n који представља однос између увећаног (V_n, T_n) и умањеног система (V_1, T_1) :

$$n = \frac{V_n T_n}{V_1 T_1} \quad (3-19)$$

Када се у некој запремини V_1 са вероватноћом p_1 постојања трасера увећа запремина за n пута, онда долази и до увећања вероватноће појаве трасера p_n која је одређена изразом:

$$1-p_n = (1-p_1)_1(1-p_1)_2 \dots (1-p_1)_n \quad (3-20)$$

при чему се узимају у обзир комплементарни догађаји. Ако се узме да су појединачне запремине идентичне, тада израз (3-20) прелази у:

$$p_n = 1 - (1-p_1)^n \quad (3-21)$$

Ако се уместо дискретних вероватноћа у обзир узму целокупне функције расподеле $F_1(x)$ и $F_n(x)$, тада је:

$$F_n(x) = 1 - (1-F_1(x))^n \quad (3-22)$$

Увећање се сада своди на претпостављање идентично расподељене променљиве за n елемената која се разматра бројем трасера по јединици узорка [80,81].

У том случају израз (3-22) прелази у израз (3-23):

$$F_n(x) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_{1i}(x)) \quad (3-23)$$

Израз (3–23) представља општи израз независан од статистичке расподеле стохастичког узорка случајних променљивих, будући да за групу посматраних случајних променљивих важе друге статистичке расподеле које дају друге изразе вероватноће пораста на основу општег израза (3–23). Припадност случајне променљиве некој конкретној статистичкој расподели проистиче из њене природе, коју је могуће одредити једино експериментално. Наравно, експериментални резултати треба да буду тестирани на припадност оним расподелама које проистичу из посматраног проблема. За посматрање расподеле природних нуклеида компонената воде као трасера намећу се расподеле типа минималне вредности и, као увек, нормална расподела. Из тог разлога у овом раду ћемо разматрати експоненцијалну расподелу, двопараметарску и тропараметарску расподелу и нормалну расподелу [82,83].

3.4. Испитивање контиминираности акваторијума и земљишта Шар- планине радиоактивним изотопима

Са еколошког аспекта, а и са научног аспекта, најинтересантнији резултати који су добијени током испитивања акваторијума планине Шаре су испитивања у контаминацији земљишта у близини места на којима је долазило до гађања муницијом са осиромашеним уранијумом и која су била близу водотокова. Ова испитивања су интересантна и из тог разлога што нема објављених релевантних резултата истраживања ових појава. Разлог за то је једноставан. Наиме, поред уранијума, ова се муниција ударом у неки чврсти објекат, (стена, метал...) распадне у више фрагмената који могу да уђу у ланац исхране и изазову све оне последице које изазива нуклеарна и радиоактивна контаминација [84,85]. Имајући то у виду, у лабораторији ЈП „Нуклеарни објекти Србије“ је извршено мерење узорака са истражног терена.

Научно и еколошко значење ових истраживања је значајно из више разлога:

- Истраживање контаминације земљишта: Испитивања у контексту контаминације земљишта близу места гађања муницијом са осиромашеним уранијумом имају значајно еколошко значење. Ова истраживања могу омогућити прецизну процену нивоа радиоактивне контаминације у окружењу и проучавање потенцијалних последица на животну средину и здравље људи.
- Здравствене последице: Мерења истраживања могу проучити потенцијалне здравствене последице на људе и животиње који су изложени радиоактивној

контаминацији. Ово је важно за доношење мера заштите и управљање потенцијалним ризицима за људско здравље.

- Радиоактивна безбедност: Истраживања о контаминацији земљишта и утврђивање нивоа радиоактивности имају значај за радиоактивну безбедност и примену одговарајућих мера заштите и управљања радиоактивним материјалима.

3.4.1. Узимање и припрема узорака

Узимање узорака земље и воде за утврђивање присуства радионуклида и мерење њихове активности спровођено је према упутству за узорковање Јавног предузећа „Нуклеарни објекти Србије“, као једне од акредитованих лабораторија за гамаспектрометријска испитивања земљишта и вода. Према упутству, поступак узимања узорка земље са изабране дубине d врши се без било какве физичке и хемијске радње како не би дошло да нарушавања постојеће равнотеже међу радионуклидима.

3.5. Истраживање оптималних решења за одрживо коришћење водних ресурса на испитиваном терену

Оптимално коришћење водних ресурса и одрживост играју виталну улогу у управљању водним системима. Истраживање оптималних решења за одрживо коришћење водних ресурса на испитиваном терену захтева комплексан приступ многих параметара.

Неки од важних параметара које треба размотрити укључују:

- Водни биланс: анализа водног биланса, која укључује прикупљање података о примању и отицању воде, важна је за разумевање доступности водних ресурса и њихову расподелу.
- Квалитет воде: проучавање квалитета воде за пиће и других критичних параметара као што су контаминација, загађење хемикалијама, утицај индустрије и локалног становништва. Важно је анализирати и мониторисати квалитет воде и усвојити мере за његову заштиту.
- Економска оцена: провођење економске оцене привредних сектора који користе воду, као и студија трошкова и користи укључених у управљање водним ресурсима. Овај приступ помаже у идентификацији најефикаснијих и најодрживијих решења.

- Заштита екосистема: проучавање утицаја коришћења воде на водне екосистеме, као и мере за њихову заштиту. Ово може укључивати усмеравање протока воде, одржавање биолошке разноврсности и услуга екосистема.
- Климатске промене: разумевање утицаја климатских промена на доступност водних ресурса, што укључује прогнозирање промена у протоцима вода, интензитету суша и поплава и других екстремних временских појава.

Истраживање оптималних решења за одрживо коришћење водних ресурса захтева сарадњу између стручњака из области водопривреде, заштите животне средине, инжењерства, економије и друштвених наука. Важно је применити мултидисциплинарни приступ и укључити све релевантне интересне групе у процес одлучивања, укључујући заједницу и локално становништво.

Како се не може тачно прогнозирати будући квалитет воде, поступак пречишћавања мора се дефинисати на основу свих параметара који се могу јавити, односно, које очекујемо у каснијој фази експлоатације. Ти параметри су: варијабилна замућеност и боја воде, органске материје, планктон, гвожђе, манган, соли амонијака и друго.

Досадашњим испитивањима квалитета воде дефинисани су параметри који морају бити узети у обзир при поставци технолошког решења.

Изменом начина захвата воде сваки од ових параметара мењаће своју тежину са аспекта кондиционирања воде. Тако ће мутноћа која у условима захвата воде из карстних врела имати доминантан значај за поставку процеса третмана воде.

Разматрајући овакав приступ, могу се израдити основни оквири технолошког процеса и према потреби додатно унапредити у даљем развоју. У овој фази су већ изнесени изазови у вези са сигурношћу и квалитетом пића у окружењу где постоји изобиље квалитетних изворишта, што захтева значајно повећање ефикасности и поузданости процеса пречишћавања сирове воде. Побољшања у области пречишћавања, посебно у фази коагулације, могу се спровести у складу са техничким критеријумима предвиђеним за ову технологију.

Иако сирове воде, посебно мутне воде, не садрже детектоване органске загађиваче, оне имају повећано органско оптерећење, стога је неопходно унапредити процес пречишћавања. Специфични захтеви у овој области могу се задовољити унапређеном коагулацијом. Унапређена коагулација, која укључује неорганске полимере алуминијума и силиката, осигурава ефикасно уклањање мутноће, природних органских материја и јона вишевалентних метала.

Важно је истаћи да сирове воде на овом локалитету не садрже материје које би изазвале непријатан мирис и укус воде, нити антропогена загађења, укључујући опасне материје. Стога је имплементација ефикасне и унапређене коагулације од кључног значаја за поуздано уклањање мутноће, растворених органских материја и јона вишевалентних метала.

Сирова вода која се користи за водоснабдевање, узета преко водоводних система, никада није потпуно чиста. Она садржи различите материје у раствореном и суспендованом стању, које су унесене из околине кроз коју пролази, попут литосфере, хидрогеолошких медија, атмосфере итд. Вода може такође садржавати различите врсте загађења. Да би се утврдило присуство појединих супстанци у сировој води, неопходно је узети узорке и извршити одговарајуће анализе, чији се резултати упоређују са важећим стандардима воде за пиће. Резултати поређења говоре да ли и у којој мери треба вршити кондиционирање воде.

Правилно и редовно анализирање сирове воде је од великог значаја за оцењивање њеног квалитета и присуства загађивача. То нам омогућава да утврдимо да ли је вода безбедна за употребу или да ли је потребно да се обаве одређени процеси пречишћавања пре конзумирања.

Стандарди за квалитет воде за пиће у различитим земљама се разликују, али уопштено гледано, вода која је прихватљива за пиће треба да буде чиста, без штетних загађивача и безбедна за здравље људи.

3.5.1. Методе оптимизације технолошког процеса пречишћавања воде

Да би се извршила оптимизација технолошког процеса пречишћавања воде, размотриће се неколико кључних фактора како би се идентификовало могуће побољшање у ефикасности, безбедности и одрживости процеса. Ево прегледа могућих оптимизација:

Анализа процеса и оптимизација технолошког тока: детаљна анализа сваке фазе процеса пречишћавања воде омогућава идентификацију потенцијалних тачака за оптимизацију. На пример, преглед учесталости прања филтера, дужине циклуса дезинфекције и брзине филтрације може открити могућности за смањење потрошње воде и хемикалија.

Имплементација аутоматизације и управљање системима: увођење аутоматских система контроле, као што су PLC (Programmable Logic Controller) уређај, омогућава прецизно праћење процеса и аутоматско прилагођавање параметара према променама у сировој води. На пример, аутоматско дозирање хемикалија у складу са сензорима за квалитет воде може обезбедити константан ниво дезинфекције без прекомерног или недовољног дозирања.

Оптимизација дозирања хемикалија: проучавање оптималних доза хемикалија за коагулацију, флокулацију и дезинфекцију у складу са карактеристикама сирове воде може резултирати смањењем потрошње хемикалија и побољшањем ефикасности процеса. На пример, коришћење напредних алгоритама за дозирање може узети у обзир варијабилности у квалитету сирове воде и променама у процесу како би се минимизирала потрошња хемикалија.

Примена напредних технологија филтрације: разматрање увођења напредних технологија филтрације, попут мембранских филтрационих система или активних материјала за адсорпцију, може побољшати ефикасност уклањања нечистоћа из воде и смањити потрошњу хемикалија. На пример, употреба мембранских филтара може омогућити бољу ретенцију микроорганизама и нечистоћа, смањујући потребу за додатном дезинфекцијом.

Оптимизација енергетске ефикасности: проучавање енергетске ефикасности процеса, укључујући оптимизацију рада пумпи, вентилатора и других уређаја, може смањити потрошњу енергије и трошкове оперативног рада. На пример, употреба високо ефикасних пумпи и вентилатора, као и имплементација система за поврат енергије, може смањити укупну потрошњу енергије.

Побољшање одрживости: разматрање одрживости процеса укључује смањење отпада, употребу обновљивих извора енергије и смањење емисија гасова са ефектом стаклене баште. На пример, рециклирање отпадних материјала као што су муљ или филтрациони медији може смањити потребу за депоновањем отпада и смањити негативне утицаје на животну средину.

Имплементација ових конкретних предлога оптимизације може резултирати побољшањем ефикасности, смањењем трошкова и повећањем одрживости технолошког процеса пречишћавања воде. Ови предлози су усмерени на постизање највиших стандарда квалитета воде и задовољства корисника, уз истовремено поштовање свих релевантних прописа и стандарда.

3.5.2. Употреба технолошке шеме у оптимизацији процеса пречишћавања воде

Технолошка шема је кључни алат у оптимизацији процеса пречишћавања воде јер пружа визуелни приказ свих фаза и операција у процесу. Укључује детаљне информације о опреми, току материјала, параметрима процеса и контролним тачкама. Анализа технолошке шеме може бити веома корисна за идентификацију потенцијалних побољшања и оптимизацију процеса на основу различитих фактора:

- Идентификација критичних тачака: анализом технолошке шеме може се идентификовати кључне фазе процеса где се могу појавити проблеми или

где постоји простор за побољшање. На пример, могу се идентификовати тачке где долази до губитка ефикасности или где је потребно оптимизовати употребу ресурса као што су вода, енергија или хемикалије.

- Праћење тока материјала: технолошка шема омогућава праћење тока материјала кроз цео процес, што омогућава да се идентификују евентуалне блокаде или прекиде у процесу. На основу тога можете размотрити могућности за оптимизацију протока материјала како би се побољшали ефикасност и смањило време обраде.
- Оптимизација опреме: преглед технолошке шеме омогућава идентификацију опреме која можда захтева побољшање или замену ради повећања ефикасности и смањења трошкова. На пример, може се размотрити увођење напредније опреме или технологија које могу побољшати перформансе процеса.
- Анализа контролних тачака: технолошка шема обично укључује контролне тачке или параметре процеса који се прате како би се осигурало да процес функционише у складу са спецификацијама. Анализа ових контролних тачака може открити потенцијалне недостатке или области за оптимизацију како би се осигурало да процес задовољава потребне стандарде квалитета.
- Планирање будућих промена: помоћу технолошке шеме могу се планирати будуће промене или надоградње процеса како би се унапредиле перформансе или прилагодио процес новим захтевима или технологијама.

Технолошка шема ће бити коришћена као алат за оптимизацију процес апречишћавања воде јер пружа целовит преглед процеса и омогућава идентификацију потенцијалних побољшања и оптимизацијских могућности. Интеграција анализе технолошке шеме са другим методама оптимизације може пружити свеобухватан приступ унапређењу ефикасности и перформанси процеса.

3.5.3. Оптимизација процеса коришћењем софтвера SuperPro Design

SuperPro Design је софтвер који се користи за симулирање, дизајнирање и оптимизацију процеса у индустрији, посебно у хемијском, фармацеутском, прехранбеним и сродним индустријама. Овај софтвер омогућава да се креирају детаљне технолошке шеме које описују ток процеса, укључујући различите кораке, операције и јединице опреме које су потребне за производњу.

Повезивање SuperPro Design софтвера са технолошким шемом је кључно јер софтвер омогућава да се креирају дигиталне моделе процеса који рефлектују стварне оперативне услове и параметре. Ови дигитални модели омогућавају анализу перформанси процеса и идентификацију потенцијалних побољшања. Кроз симулацију различитих сценарија и експерименталних поставки, инжењери могу да оптимизују процес пречишћавања воде

како би постигли боље перформансе, смањили трошкове или побољшали квалитет производа.

Оптимизационе методе се користе унутар SuperPro Design софтвера како би се аутоматски или итеративно идентификовали најбољи параметри процеса. Интеграција метода оптимизације омогућава инжењерима да брзо истраже широк спектар параметара процеса и пронађу оптимално решење у складу са задатим циљевима, као што су максимизација ефикасности, минимизација трошкова или оптимизација квалитета производа.

У оптимизацији процеса користи се комбинација SuperPro Design-а и технолошке шеме:

- Интеграција података: SuperPro Design омогућава детаљно моделирање процеса, симулацију различитих сценарија и анализу перформанси. Комбинација ових аналитичких алата са технолошком шемом омогућава боље разумевање тока материјала и операција у процесу, што олакшава идентификацију потенцијалних побољшања.
- Верификација модела: коришћење SuperPro Design-а омогућава верификацију и валидацију технолошке шеме кроз симулацију процеса. Може се користити софтвер да се тестирају различите конфигурације процеса и параметре како би се уочило како се понаша процес у различитим сценаријима.
- Оптимизација параметара: SuperPro Design омогућава оптимизацију параметара процеса како би се постигле жељене перформансе. Комбинација софтвера са технолошком шемом омогућава идентификацију кључних параметара за оптимизацију и тестирање различитих вредности тих параметара ради проналажења оптималних решења.
- Визуализација резултата: комбинација SuperPro Design-а и технолошке шеме омогућава визуализацију резултата оптимизације, што олакшава интерпретацију и доношење одлука. Може се користити софтвер да се прикажу промене у перформансама процеса и идентификују најбоље стратегије за оптимизацију.
- SuperPro Design софтвер ће се користити за праћење промена у перформансам апроцеса и идентификацији најбоље стратегије за оптимизацију.
- Континуирана анализа и побољшање: комбинација SuperPro Design-а и технолошке шеме омогућава континуирану анализу и побољшање процеса. Може се користити софтвер за праћење перформанси процеса током времена и идентификацију нових могућности за оптимизацију како се мењају захтеви или технологије.

Једна од кључних оптимизација је оптимизација дозирања хемикалија, као што су коагуланти и дезинфицијенси, како би се постигла максимална ефикасност процеса пречишћавања воде. Ова оптимизација укључује прилагођавање дозирања хемикалија у складу са променама у карактеристикама сирове воде или условима процеса како би се

постигла оптимална коагулација, таложeње честица и дезинфекција воде. Коришћење SuperPro Design софтвера омогућава симулацију ефеката различитих дозирања хемикалија на перформансе процеса и идентификацију оптималних вредности параметара дозирања за постизање жељених резултата.

4. ЕКСПЕРИМЕНТ

Током израде студије одрживости експлоатације водних ресурса Шар-планине, значајан део посла односио се на експериментална истраживања, која су обезбеђивала податке за даљу математичко-статистичку обраду и доношење закључака усмерених ка постизању постављеног циља. Мада је сама студија обимна и у једном свом делу садржи примену најсофистициранијих, нуклеарних метода испитивања у хидрологији, све примењене експерименталне методе се могу поделити у две групе.

У прву групу спада узимање репрезентативних узорака на пажљиво одабраним локалитетима Шар-планине. Ти локалитети су бирани на основу њиховог положаја важности и поузданог познавања њихове прошлости.

Други део експеримента вршен је у лабораторијама које су опремљене савременом опремом за дијагностику хидролошких узорака. Лабораторије у којима је вршено највише испитивања су биле лабораторије ПМФ-а у Београду.

И први и други део експерименталног поступка, тј. узимање узорака за даља испитивања и сама лабораторијска испитивања узорака, вршена су у складу са одговарајућим стандардима у циљу добијања примењивих узорака на терену и поузданих експерименталних резултата у лабораторијама [87,88].

Сва лабораторијска испитивања вршена су под добро контролисаним условима уз примену атестиране инструментације са одговарајућим важећим дозволама издатих од АТС-а. Претходни податак подразумева да је за сву примењивану опрему била одређена (од произвођача или у самој лабораторији) мерна несигурност типа Б. Исто тако, мерна несигурност типа А одређена је на бази самих мерења адекватним статистичким методама.

За свако мерење које је вршено приликом израде студија одрживости експлоатација водних ресурса Шар-планине, изражавана је комбинована мерна несигурност и у случају да је била двоцифрен број, то мерење, односно добијени резултат, није узиман у даље разматрање.

4.1. Испитивање физичко-хемијских параметара воде

Испитивање физичко-хемијских параметара воде је рађено по „Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће“ („Сл. лист СРЈ“, бр. 42/98 и 44/99 и „Сл. гласник РС“, бр. 28/2019). Овим правилником се прописује хигијенска исправност воде за пиће која служи за јавно снабдевање становништва или за производњу намирница намењених продаји.

Процес испитивања квалитета и квантитета обавља се коришћењем истовремено класичних физичко-хемијских метода и напредних инструменталних техника које су интегрисане у опрему за припрему узорка и анализу. Ова опрема укључује микроталасну пећ и вакуум манифолд, који су намењени за ефикасну припрему узорка како би се обезбедила прецизна анализа.

У току физичко-хемијских испитивања, лабораторија користи различите уређаје и апарате за анализу. Ови уређаји укључују: термометре са подеоцима од 0,1 степен, органолептички на собној температури 298,16 К (25 °С) и температури од 313,16 К (40 °С), турбидиметријски са силикатном земљом, колориметријски помоћу Pt-Co скале, електрохемијски и колориметријски, гравиметријски, титриметријски, кондуктометријски, атомски апсорпциони спектрофотометар, електронску микроскопију, гаснохроматографски, течнихроматографски, меркуриметријску титрацију, аргентометријску титрацију, поларографски, инфрацрвено спектрофотометријски, пламенофотометријски, поларографски, флуоресцентно-спектроскопијски.

Микробиолошка испитивања воде за пиће се фокусирају на присуство и концентрацију микроорганизама који могу представљати потенцијални ризик по здравље људи. Неке од најчешће коришћених метода микробиолошког испитивања воде за пиће укључују: методе култивације и бројања колонија да се одреди концентрација бактерија у узорку воде, методе која примењује култивацију на селективним срединама за откривање присуства бактерија фекалног порекла, култивација и микроскопија, MF техника, MPN техника.

При избору метода, важно је узети у обзир стандарде и прописе који регулишу квалитет воде за пиће.

4.2. Одређивање комуникације вода акваторијума према пореклу

У тексту који следи биће приказан експериментални поступак за добијање узорака и података за одређивање комуникације вода акваторијума Шар-планине према пореклу (атмосферске, подземне и површинске воде) применом радиоактивног изотопа водоника трицијума, експериментални поступак за добијање узорака и података за одређивање старости подземних вода акваторијума Шар-планине методом применом стабилног изотопа кисеоника ^{18}O и нестабилног изотопа водоника трицијума и коначно, биће приказан експериментални поступак за добијање узорака атмосферских подземних и површинских вода и земљишта у њиховој близини, у циљу одређивања последица употребе муниције од осиромашеног уранијума током агресије 1999. године.

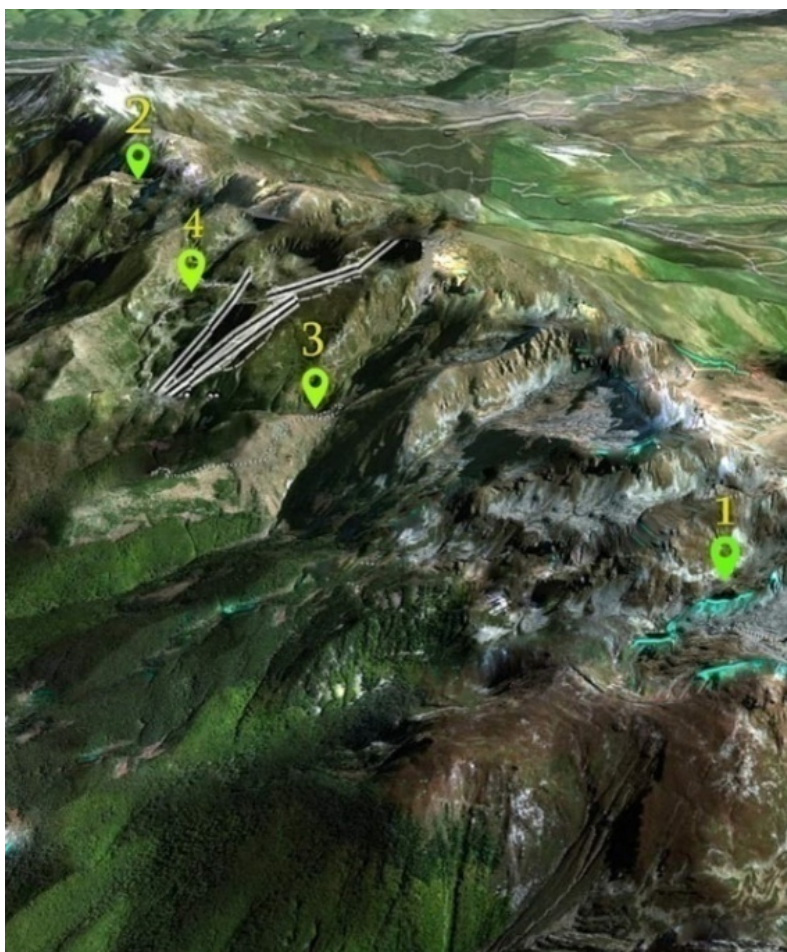
Одабир места за узимање узорака одређен је разматрањем структуре акваторијума планине Шаре и историје тих места, нарочито током агресије 1999. године.

Први корак за одређивање комуникације вода акваторијума Шар-планине методом примене радиоактивног изотопа водоника трицијума, састоји се од правилног узимања узорка са изабраног места и његовог, стандардом одређеног, транспорта у лабораторију.

Приликом узимања узорка, посвећена је посебна пажња томе да он буде веран репрезент анализирание воде. Строго је вођено рачуна о томе да узорак након узимања не сме бити у контакту са атмосферском влагом. Из тог разлога се узорци одмах након узимања шаљу у једнолитарским, до врха напуњеним, добро затвореним, полиетиленским боцама на даљи поступак.

Узорци су узимани у делу акваторијума планина Шаре, слика 4.1, из: 1 – Јажиначког језера (слика 4.2.); 2 – Штрбачког језера (слика 4.3.); 3 – Дурловог потока (слика 4.4) и (слика 4.5) 4 – Беревачког потока.

Узимање узорака је вршено пет пута у једној календарској години. Тако добијени узорци су означени хронолошки према месецу узимања: 1 – јануар; 2 – април; 3 – јул; 4 – септембар и 5 – децембар. У исто време са узорцима узимани су и узорци падавина (кише или снега).



Слика 4.1. Акваторијум планине Шаре: 1 – Јажиначко језеро; 2 – Штрбачко језеро;

3 – Дурлов поток; 4 – Беревачки поток



Слика 4.2. Жажиначко језеро



Слика 4.3. Штрбачко језеро



Слика 4.4. Дурлов поток



Слика 4.5. Беревачки поток

Као што је наведено, код одређивања концентрације трицијума у узорку следећи корак је обогаћење узорка. Наравно, линеарно повећање концентрације трицијума у циљу

могућности мерења потребноје ако је у самом узорку његова концентрација недовољна. Наиме, за мерење активности трицијума могу се, у принципу, користити све стандардне методе које се примењују код мерења јонизујућих зрачења, а код којих се као детектор користи гасни бројач, нуклеарна емулзија итд. Основни проблем мерења активности трицијума применом стандардних метода је то што трицијум емитује нискоенергетске бета честице, па се мора уводити директно у активну зону детектора (у радну запремину бројача, у течни сцинтилатор, у јонизациону комору). У највећем броју случајева активност трицијума природних вода се мери сцинтилационим бројачем. Сцинтилатором у течној фази може се из узорка од око 10ml воде, без икаквих претходних припрема и уз стандардну мерну опрему, одредити активност воде веће од 40TU. То је сасвим задовољавајуће за детекцију трицијума који је убачен као трасер, међутим за природни трицијум чија је концентрација до 20TU, у просеку, такав поступак је недовољно прецизан, па је нужно извршити обогаћење узорка, што значи да су сви узорци скупљени са акваторијума Шар- планине требали бити обогаћени [89,90].

Обогаћивање узорка је најважнији део процеса одређивања концентрације привидног трицијума. Обично се врши обогаћење фактором од 10 до 100. Могу се применити све методе које се иначе користе за изотопско обогаћење (дестилација, хроматографија, дифузија, електролиза и центрифуга).

Електролиза се као метод за обогаћивање најчешће користи (па је била коришћена и у овом раду). Обогаћивање на основу електролизе се заснива на напуштању водоника у гасној фази из раствора након електролизе воде. Брзина издвајања водоника знатно надмашује брзину издвајања деутеријума и трицијума. Самим тим је фактор сепарације већи за трицијум него за деутеријум, а за деутеријум већи него за водоник. Као резултат овог феномена у току електролизе концентрација трицијума у остатку електролита прогресивно расте. Комбинована мерна несигурност укупног мерења активности трицијума је била мања од 10% [91].

4.3. Одређивање садржаја природног деутеријума и кисеоника у хидролошким популацијама

Флукуација садржаја изотопа кисеоника ^{18}O може се прецизно мерити једино употребом масеног спектрометра. Да би се избегао меморијски ефекат масеног спектрометра, потребно је узорак уводити у гасном стању.

Постоје разне технике превођења водених узорка у гасно стање. У овом раду примењиван је поступак довођења узорка у равнотежу са стандардним CO_2 .

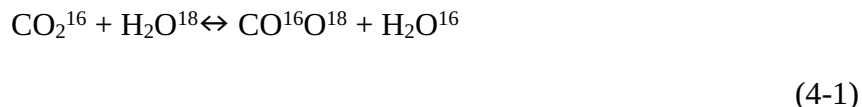
4.3.1. Узимање и припрема узорака

Узорци воде се узимају са места где је потребно мерити садржај деутеријума и кисеоника ^{18}O у води (речне воде, падавине, подземне воде). При узимању узорака за ова мерења обично се користе пластичне боце које се до врха пуне водом и добро затварају да би се избегла изотопска измена са атмосферском влагом.

Пластичне боце се користе под претпоставком да се убрзо након узимања узорака приступа мерењу. Ако би требало чувати узорак дуже времена (више од месец дана), пластичне боце не би се користиле будући да пластични зид пропушта водену пару. У том случају користе се стаклене боце.

Флукутација садржаја изотопа деутеријума и кисеоника ^{18}O може се прецизно мерити једино употребом масеног спектрометра. Да би се избегао „memory efekat“ у масеном спектрометру, потребно је узорак уводити у гасном стању. Постоје разне технике превођења водених узорака у гасне узорке.

У лабораторији се узорак воде доводи у равнотежу са стандардним гасом CO_2 према релацији:



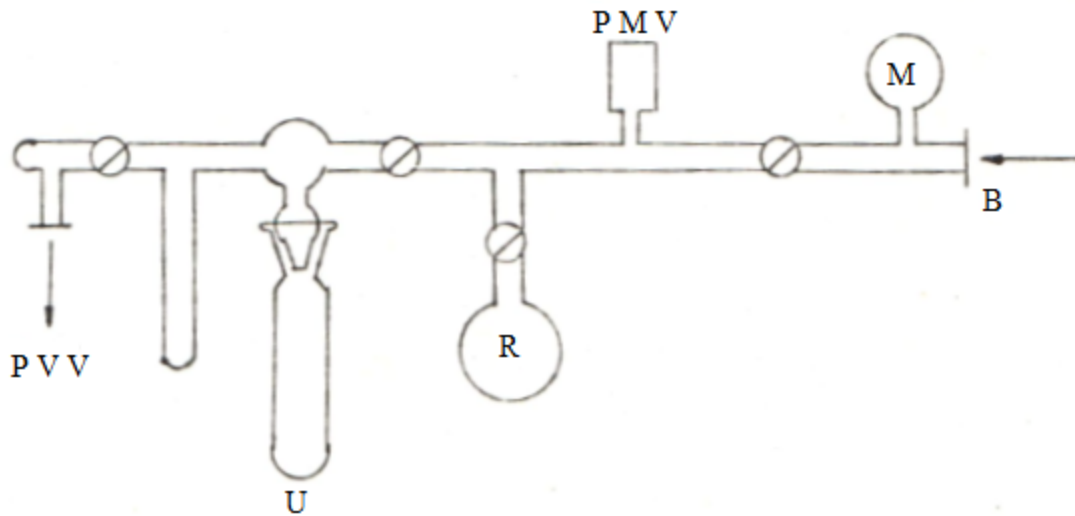
па се након успостављања равнотеже мери флукутација кисеоника ^{18}O у $\text{CO}^{16}\text{O}^{18}$ према стандардном CO_2 .

За одређивање флукутације деутеријума, у истој лабораторији, узорак воде се редукује преко уранијума до водоника који се даље мери.

Шематски приказ примењених стаклених апаратура за ове сврхе дат је на сликама 4.6 и 4.7.

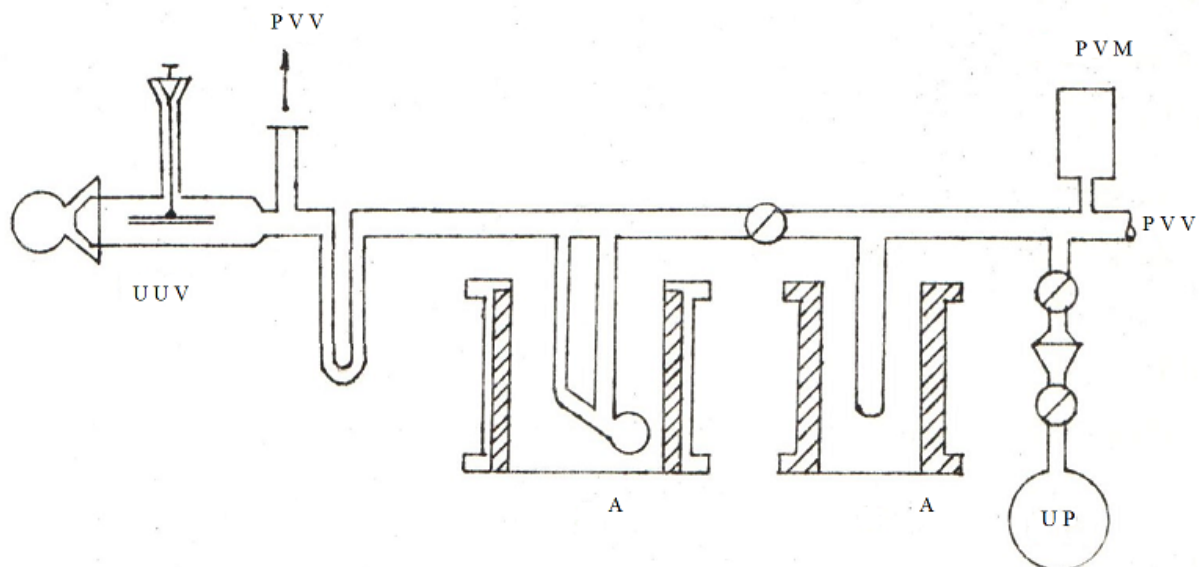
Масени спектрометар, марке WG-MICROMASS, намењен је искључиво овој врсти мерења и даје директно тражене изотопске флукутације у односу на примењене стандарде.

У случају да се траже флукутације у односу на SMOW, потребно је знати одступање примењених стандарда од SMOW па извршити прерачун.



- B – Боца за CO_2
- M – Манометар
- PVV – Пумпа високог вакума
- PMV – Пирани метар вакум
- R – Резервоар за CO_2
- U – Узорак воде

Слика 4.6. Апаратура за одређивање флукуације деутеријума и кисеоника ^{18}O



A – Уранијумове пећи
 PVV – Пумпа високог вакуума
 PVM – Пирани вакум метар
 UP – Узимање пробе
 UUV – Упаравање узорака воде

Слика 4.7. Шематски приказ флукутација деутеријума

Сличном логиком и поступком узимани су узорци вода акваторијума планине Шаре за одређивање концентрације кисеоника¹⁸O (речне воде, падавине, подземне воде). Приликом узимања ових узорака се водило рачуна да боце које се пуне буду напуњене до врха водом и добро затваране. То се радило да би се избегла изотопска измена са атмосферском влагом.

Примењени експериментални поступак узимања узорака се састојао од узимања два истоветна узорка по 50 пута у пластичним флашама од 0.5 dl, 1 dl, 2 dl, 5 dl, 7 dl и 10 dl. Пластичне флаше су биле очишћене од сваке могућности меморијског ефекта. Узимање узорака је трајало годину дана у размацима од око 25 дана (што је зависило од појаве падавина).

4.4. Узимање и припрема узорака за испитивање присуства радионуклида

Узимање узорака земље и воде за утврђивање присуства радионуклида и мерење њихове активности спровођено је према упутству за узорковање Јавног предузећа „Нуклеарни објекти Србије“ као једне од акредитованих лабораторија за гамаспектрометријска испитивања земљишта и вода. Према упутству, поступак узимања узорка земље са изабране дубине врши се без било какве физичке и хемијске радње како не би дошло да нарушавања постојеће равнотеже међу радионуклидима.

Експериментална метода „Мерење специфичне активности гама активних радионуклида (гамаспектрометрија)“ је поступак који се користи за одређивање специфичне активности гама активних радионуклида у просторијама ЈП „Нуклеарни објекти Србије“, конкретно у Лабораторији СРПНТ, соба бр. 16. Ова метода користи гамаспектрометаре за детекцију и анализу спектра гама зрачења. Анализом спектра гама фотона, могуће је идентификовати и квантификовати присуство одређених радионуклида и одредити њихову специфичну активност. Ова метода пружа информације о структури и композицији материјала, као и о нивоу радиоактивности узорака. Ова опрема укључује гама-детекторе и софтвер за обраду и анализу добијених података.

Опрема за испитивање укључује полупроводнички референтни Ge детектор Canberra GX5020 са серијским бројем b03191. Овај тип детектора, произведен од стране компаније Canberra, представља врсту гама-детектора који се користе у гамаспектрометријским мерењима. МДА (Минимална откривена активност) вредности су вредности које означавају најмању радиоактивну активност коју детектор може успешно детектовати и измерити. Ове вредности су значајне у прецизности и ограничењима мерења гамаспектрометрије. У резултатима се налазе детаљније информације о резултатима испитивања, укључујући и МДА вредности, што пружа тачне информације о специфичним подацима који су добијени приликом испитивања.

Обрада резултата испитивања укључује нумеричку обраду, која има за циљ анализу и интерпретацију сакупљених података. Нумеричка обрада укључује примену различитих математичких метода и алгоритама ради добијања релевантних информација и статистичких параметара измерених величина.

Током експеримента коришћене су нормативне и друге референце које се користе у контексту испитивања специфичне активности радионуклида и гамаспектрометрије. Евидентирање и употреба ових извора обезбеђује правилно извођење мерења, обраду резултата и процену мерне несигурности. Неки од норматива су:

- „Процедура за испитивање специфичне активности радионуклида у земљишту и укупним падавинама гама спектрометријом" – стандардизована процедура која описује методе и поступке за испитивање специфичне активности радионуклида у земљишту и укупним падавинама коришћењем гамаспектрометрије.
- „Упутство за узимање и означавање узорака за недеструктивна мерења активности - Упутство које дефинише правила и процедуре за узимање и означавање узорака који се користе у недеструктивним мерењима активности радионуклида.
- „Упутство за одређивање мерне несигурности за мерне методе Сектора за развој и примену нуклеарних технологија“ – упутство које пружа смернице и препоруке за процену мерне несигурности у мерењима коришћеним у сектору за развој и примену нуклеарних технологија.
- Model S574 LabSOCS V4.1 Calibration Software, User's Manual" – кориснички приручник за калибрациони софтвер LabSOCS V4.1 компаније Канбера који се користи у процесу калибрације.

Ови извори служе као нормативи у области заштите од јонизућег зрачења, безбедности извора зрачења и ефектима јонизућег зрачења. Они пружају научну и стручну основу за израду стандарда и примену мера за заштиту од јонизућег зрачења у различитим околностима и окружењима.

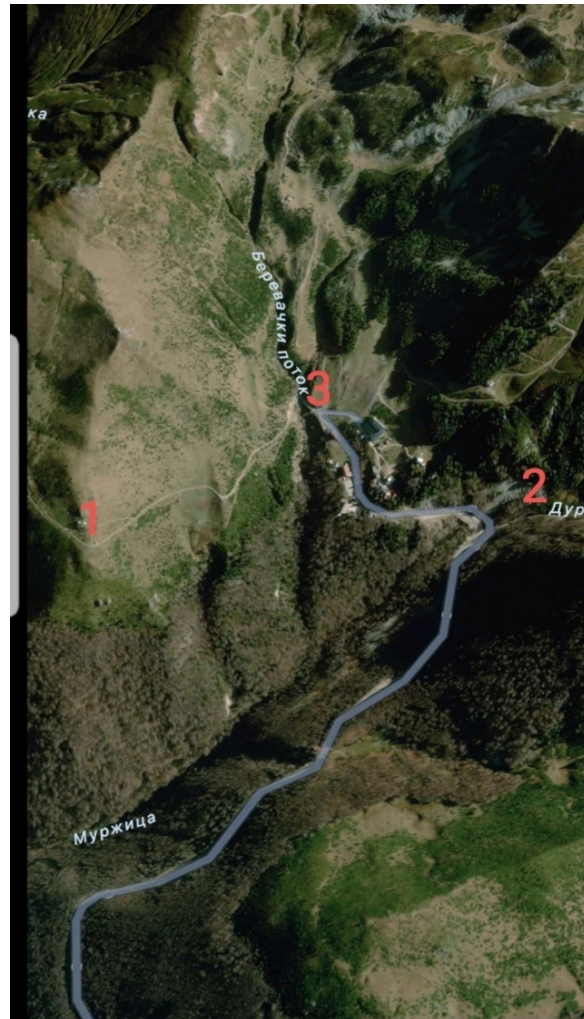
Будући да је током агресије 1999.године агресорска авијација дејствовала муницијом са осиромашеним уранијумом у близини локалитета Перебес, Дурлов поток и Беревачки поток на Шар-планини, узимани су узорци који су приказани на слици 4.8, било је логично одредити се да се узорци за спектрометријску анализу узму са тих локалитета. Сви узорци земље и воде узете са ових локалитета су били упаковани у стандардне пластичне боце правилне геометрије цилиндричног облика (као на примеру на слици 4.9). Запремина узорака воде износила је 500 ml, а за узорке земље вредности су биле различите, одређене преко израчунате запремине и измерене нето масе, и дате су у табели 4.1. Узорци земље узимани су са дубине од 5 cm, а на локацији Перебес су узети и са дубина 30 cm и 60 cm.

Начин узимања узорака земље вршен је према прописаном стандарду са дубине d, што је приказано на слици 4.10.

Одређивање активности радионуклида у узорцима спроведено је према процедури. Узорци су припремљени за недеструктивно мерење и означени према упутству. Мерна несигурност резултата је одређена поступком према упутству.

За мерења активности радионуклида у испитиваном узорку воде коришћен је полупроводнички Ge детектор GX5020, нумерички калибрисан помоћу постојећег калибрационог софтвера LabSOCS (фирме Canberra).

Узорак воде упакован је у стандардну пластичну посуду правилне геометрије цилиндричног облика, запремина воде износила је 500 ml. Мерење узорка је заустављено након протеклог времена од 240.000 s, будући да на енергетском спектру гама зрачења није примећено присуство пикова на енергетским линијама које припадају вештачким и NORM радионуклидима.



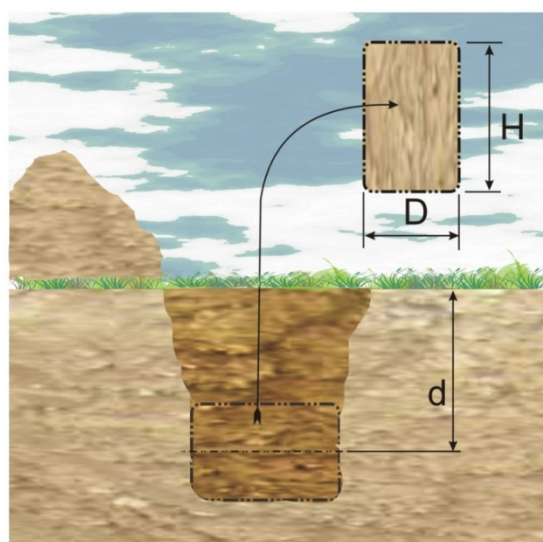
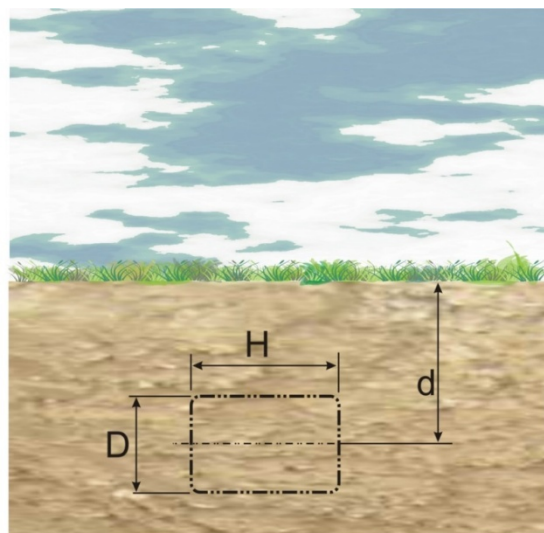
Слика 4.8. Приказ положаја локација Перебес, Дурлов поток и Беревачки поток на Шар-планини



Слика 4.9. Пластична боца са узорком земље

Табела 4.1. Подаци о узорцима земље узетим на локацијама на Шар-планини

Радиоизотопи	Хемијска форма	Време полураспада	γ – зрачења (MeV)
^{51}Cr	$^{51}\text{Cr-EDTA}$	27,8 дана	0,32 (9%)
^{82}Br	$\text{NH}_4^{82}\text{Br}$	35,6 сати	1,48 (17%) 0,78 (83%) 0,62 (41%) 0,55 (66%)
^{131}J	Na^{131}J	8,07 дана	0,72 (2%) 0,36 (82%)
^{198}Au	$^{198}\text{AuCl}_3$	2,7 дана	0,68 (1%) 0,41 (95%)



Слика 4.10. Илустрација поступка узимања узорка земље са дубине d .

5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У табелама (5.1, 5.2, 5.3 и 5.4) дати су резултати физичко-хемијских испитивања квалитета воде Шар-планине са места: Јажиначко језеро, Штрбачко језеро, Беревачки поток и Дурлов поток.

Табела 5.1. Узорак Јажиначко језеро

Табела (5.1) : узорак Јажиначко језеро				
Параметар	Вредност			
<i>Физичка својства</i>				
Боја	без			
Мутноћа	брстро			
Мирис	без			
Температура	18,3 °C			
<i>Хемијски састав</i>				
pH	6.78			
Eh	210.9 mV			
rH	20.83			
Специфична проводљивост	24.2 µS/cm			
<i>ЈОНИ</i>				
Ca ²⁺	10.00 mg/dm ³	0.250 mmol/dm ³	0.50 mekv/dm ³	53 %ekv.
Mg ²⁺	1.20 mg/dm ³	0.050 mmol/dm ³	0.10 mekv/dm ³	43 %ekv.
Na ⁺ + K ⁺	0.83 mg/dm ³	0.036 mmol/dm ³	0.04 mekv/dm ³	4 %ekv.
Cl ⁻	107.06 mg/dm ³	3.020 mmol/dm ³	3.02 mekv/dm ³	85 %ekv.
HCO ₃ ⁻	30.50 mg/dm ³	0.50 mmol/dm ³	0.50 mekv/dm ³	14 %ekv.
CO ₃ ²⁻	0.00 mg/dm ³	0.00 mmol/dm ³	0.00 mekv/dm ³	0 %ekv.
SO ₄ ²⁻	0.00 mg/dm ³	0.00 mmol/dm ³	0.00 mekv/dm ³	0 %ekv.
NO ₃ ⁻	1.20 mg/dm ³	0.019 mmol/dm ³	0.02 mekv/dm ³	1 %ekv.
Растворени угљендиоксид (CO ₂)	0.44 mg/dm ³			
Потрошња KMnO ₄	0.83 mg/dm ³			
<i>ЈОНИ</i>				
NH ₄ ⁺			139.67 µg/dm ³	
NO ₂ ⁻			74.70 µg/dm ³	
As			1.4596 µg/dm ³	
Fe			0.00 µg/dm ³	
Mn			0.00 µg/dm ³	
Al			2.10 µg/dm ³	
Cd			0.082 µg/dm ³	
Co			0.00 µg/dm ³	
Cr			1.54 µg/dm ³	
Cu			75.59 µg/dm ³	
Ni			34.05 µg/dm ³	
Pb			10.82 µg/dm ³	
Zn			0.00 µg/dm ³	
Ba			6.55 µg/dm ³	
Hg			0.20 µg/dm ³	
Sn			0.00 µg/dm ³	
Sr			8.92 µg/dm ³	
Укупна минерализација			134.08 mg/dm ³	
Општа тврдоћа			4.2 °dH	
Суви остатак			mg/dm ³	
Губитак жарењем			mg/dm ³	
Пролазна тврдоћа			1.4°dH	
Стална тврдоћа			2.8°dH	
<i>Микробиолошка својства</i>				
Укупне колиформне бактерије у 100cm ³	/			
Укупне аеробне мезофилне бакт. у 100cm ³	/			
<i>Хидрохемијска класификација</i>				
ФОРМУЛА ХЕМИЈСКОГ САСТАВА ВОДЕ (формула KURLOV-а)	HCO ₃ ⁻ ₁₄ Cl ₈₅ CO ₃ ²⁻ ₀ SO ₄ ²⁻ ₀ NO ₃ ⁻ ₁ M _{0.13} ----- рН _{6.78} 18.3 Na ⁺ K ₄ Mg ₄₃ Ca ₅₃			
Класификација воде према хемијском саставу				
по О.А. Алектин-у (индекс Алекина)	C ₁ Ca _{III}			
по А.М. Овчиников-у	Хладна вода			

Мека вода	
по „Правилнику о хигијенској исправности вода за пиће“ (Службени лист СР Југославије бр.42 и 44 од 28.08.98. и 25.06.99.) испитивана вода према:	
Физичким својствима	ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ
Хемијским својствима	НЕ ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ
Микробиолошким својствима	ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ
ОПШТА ОЦЕНА КВАЛИТЕТА ЈЕ	НЕ ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ

По „Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће“ (Службени лист СР Југославије бр.42 и 44 од 28.08.98. и 25.06.99.), испитана вода према хемијским својствима не одговара за пиће због концентрација нитрита, никла и олова које прекорачују максималне дозвољене вредности у пијаћој води.

Табела 5.2. Узорак Штрбачкојезеро

Табела (5.2) : узорак Штрбачко језеро				
Параметар	Вредност			
<i>Физичка својства</i>				
Боја	без			
Мутноћа	брзо			
Мирис	без			
Температура	18,2 °C			
<i>Хемијски састав</i>				
pH	6,67			
Eh	218,5 mV			
rH	20,87			
Специфична проводљивост	27,9 µS/cm			
<i>ЈОНИ</i>				
Ca ²⁺	12,00 mg/dm ³	0,300 mmol/dm ³	0,60 mekv/dm ³	53 %ekv.
Mg ²⁺	4,80 mg/dm ³	0,200 mmol/dm ³	0,40 mekv/dm ³	35 %ekv.
Na ⁺ + K ⁺	3,30 mg/dm ³	0,143 mmol/dm ³	0,14 mekv/dm ³	12 %ekv.
Cl ⁻	106,70 mg/dm ³	3,01 mmol/dm ³	3,01 mekv/dm ³	85 %ekv.
HCO ₃ ⁻	30,50 mg/dm ³	0,500 mmol/dm ³	0,50 mekv/dm ³	14 %ekv.
CO ₃ ²⁻	0,00 mg/dm ³	0,00 mmol/dm ³	0,00 mekv/dm ³	0 %ekv.
SO ₄ ²⁻	0,00 mg/dm ³	0,00 mmol/dm ³	0,00 mekv/dm ³	0 %ekv.
NO ₃ ⁻	1,05 mg/dm ³	0,017 mmol/dm ³	0,02 mekv/dm ³	1 %ekv.
Растворени угљендиоксид (CO ₂)	0,44 mg/dm ³			
Потрошња KMnO ₄	0,40 mg/O/dm ³			
<i>ЈОНИ</i>				
NH ₄ ⁺	329,30 µg/dm ³			
NO ₂ ⁻	147,67 µg/dm ³			
As	i-1588 µg/dm ³			
Fe	0,00 µg/dm ³			
Mn	0,00 µg/dm ³			
Al	7,47 µg/dm ³			
Cd	0,13 µg/dm ³			
Co	0,00 µg/dm ³			
Cr	2,11 µg/dm ³			
Cu	70,63 µg/dm ³			
Ni	43,73 µg/dm ³			
Pb	13,37 µg/dm ³			
Zn	2,68 µg/dm ³			
Va	9,39 µg/dm ³			
Hg	0,01 µg/dm ³			
Sn	0,00 µg/dm ³			
Sr	8,36 µg/dm ³			
Укупна минерализација	131,78 mg/dm ³			
Општа тврдоћа	2,8 °dH			
Суви остатак	mg/dm ³			
Губитак жарењем	mg/dm ³			
Пролазна тврдоћа	1,4°dH			

Стална тврдоћа	1.4°dH
Микробиолошка својства	
Укупне колиформне бактерије у 100cm ³	/
Укупне аеробнемезофилне бакт. у 100cm ³	/
Хидрохемијска класификација	
ФОРМУЛА ХЕМИЈСКОГ САСТАВА ВОДЕ (формула KURLOV-а)	$\text{HCO}_3^{14} \text{Cl}_{85} \text{CO}_3^0 \text{SO}_4^0 \text{NO}_3^1$ $\text{M}_{0.13} \text{Na}+\text{K}_{12} \text{Mg}_{35} \text{Ca}_{53}$ рН _{6,67} 18.2
Класификација воде према хемијском саставу	
по О.А. Алектин-у (индекс Алекина)	С ^{Ca} _{III}
по А.М. Овчиников-у	Хладна вода
по Клуцк-и (тврдоћа)	Врло мека вода
по „Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће“ (Службени лист СР Југославије бр.42 и 44 од 28.08.98. и 25.06.99) испитивана вода према:	
Физичким својствима	ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ
Хемијским својствима	НЕ ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ
Микробиолошким својствима	ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ
ОПШТА ОЦЕНА КВАЛИТЕТА ЈЕ	НЕ ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ

По „Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће“ (Службени лист СР Југославије бр.42 и 44 од 28.08.98. и 25.06.99), испитивана вода према хемијским својствима не одговара за пиће због концентрација нитрита, никла и олова које прекорачују максималне дозвољене вредности у пијаћој води.

Табела 5.3. Узорак Беревачки поток

Табела (5.3) : узорак Беревачки поток				
Параметар	Вредност			
<i>Физичка својства</i>				
Боја	без			
Мутноћа	брзо			
Мирис	без			
Температура	18.3 °C			
<i>Хемијски састав</i>				
рН	7.36			
Ен	175.4 mV			
гН	20.76			
Специфична проводљивост	59.6 µS/cm			
<i>ЈОНИ</i>				
Ca ²⁺	24.00 mg/dm ³	0.600 mmol/dm ³	1.20 mekv/dm ³	59 %ekv.
Mg ²⁺	9.60 mg/dm ³	0.400 mmol/dm ³	0.80 mekv/dm ³	39 %ekv.
Na ⁺ + K ⁺	1.06 mg/dm ³	0.046 mmol/dm ³	0.05 mekv/dm ³	2 %ekv.
Cl ⁻	102.10 mg/dm ³	2.88 mmol/dm ³	2.88 mekv/dm ³	74 %ekv.
HCO ₃ ⁻	62.23 mg/dm ³	1.02 mmol/dm ³	1.02 mekv/dm ³	26 %ekv.
CO ₃ ²⁻	0.00 mg/dm ³	0.00 mmol/dm ³	0.00 mekv/dm ³	0 %ekv.
SO ₄ ²⁻	0.00 mg/dm ³	0.00 mmol/dm ³	0.00 mekv/dm ³	0 %ekv.
NO ₃ ⁻	0.58 mg/dm ³	0.009 mmol/dm ³	0.009 mekv/dm ³	<1 %ekv.
Растворени угљендиоксид (CO ₂)	0.44 mg/dm ³			
Потрошња КМпО ₄	0.32 mg/O/dm ³			
<i>ЈОНИ</i>				
NH ₄ ⁺	176.38 µg/dm ³			

NO ₂	53.88 µg/dm ³
As	1.3701 µg/dm ³
Fe	0.00 µg/dm ³
Mn	0.00 µg/dm ³
Al	5.06 µg/dm ³
Cd	0.007 µg/dm ³
Co	0.00 µg/dm ³
Cr	0.00 µg/dm ³
Cu	51.28 µg/dm ³
Ni	51.13 µg/dm ³
Pb	19.54 µg/dm ³
Zn	0.00 µg/dm ³
Ba	6.55 µg/dm ³
Hg	0.12 µg/dm ³
Sn	0.00 µg/dm ³
Sr	7.88 µg/dm ³
Укупна минерализација	147.36 mg/dm ³
Општа тврдоћа	5.6 °dH
Суви остатак	mg/dm ³
Губитак жарењем	mg/dm ³
Пролазна тврдоћа	2.86 °dH
Стална тврдоћа	2.74 °dH
<i>Микробиолошка својства</i>	
Укупне колиформне бактерије у 100cm ³	/
Укупне аеробне мезофилне бакт. У 100cm ³	/
<i>Хидрохемијска класификација</i>	
ФОРМУЛА ХЕМИЈСКОГ САСТАВА ВОДЕ (формула KURLOV-а)	HCO ₃ ⁻ ₂₆ Cl ₇₄ CO ₃ ⁰ SO ₄ ⁰ NO ₃ ⁻ ₄₁ M _{0,14} ----- pH _{7,36} 18.3 Na+K ₂ Mg ₃₉ Ca ₅₉
<i>Класификација воде према хемијском саставу</i>	
по О.А. Алекп-у (индекс Алекина)	С ^{Ca} _{III}
по А.М. Овсипков-у	Хладна вода
по Клуцк-и (тврдоћа)	Мека вода
по „Правилнику о хигијенској исправности вода за пиће“ (Службени лист СР Југославије бр.42 и 44 од 28.08.98. и 25.06.99) испитивана вода према:	
Физичким својствима	ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ
Хемијским својствима	НЕ ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ
Микробиолошким својствима	ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ
ОПШТА ОЦЕНА КВАЛИТЕТА ЈЕ	НЕ ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ

По „Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће“ (Службени лист СР Југославије бр.42 и 44 од 28.08.98. и 25.06.99), испитана вода према хемијским својствима не одговара за пиће због концентрација нитрита, никла и олова које прекорачују максималне дозвољене вредности у пијаћој води.

Табела 5.4. Узорак Дурлов поток

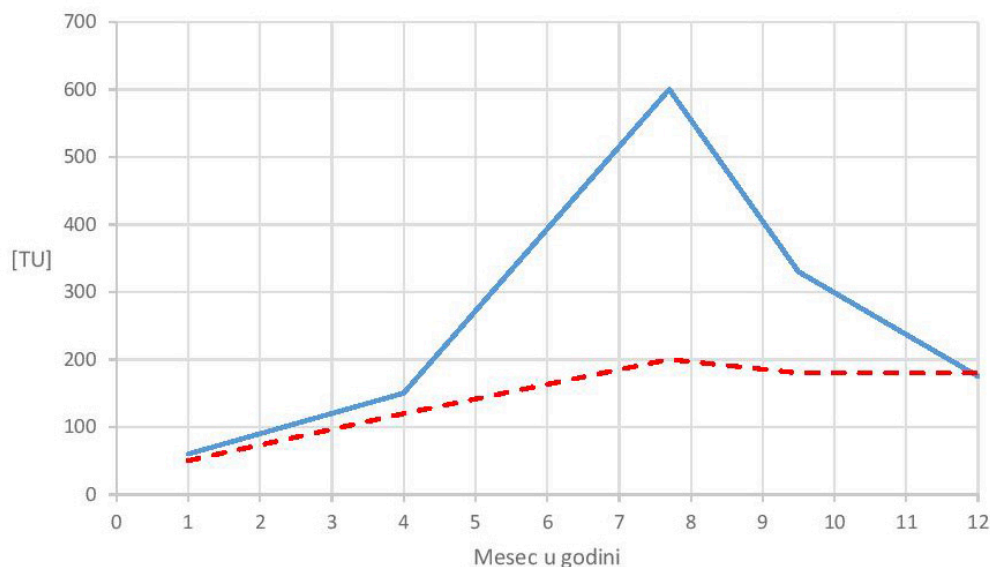
Табела (5.4) : узорак Дурлов поток	
Параметар	Вредност
<i>Физичка својства</i>	
Боја	без
Мутноћа	брзо
Мириш	без

Температура	18.6 °C			
<i>Хемијски састав</i>				
pH	7.38			
Eh	177.9 mV			
rH	20.89			
Специфична проводљивост	68.9 µS/cm			
<i>ЈОНИ</i>				
Ca ²⁺	30.00 mg/dm ³	0.750 mmol/dm ³	1.50 mekv/dm ³	91 %ekv.
Mg ²⁺	1.20 mg/dm ³	0.050 mmol/dm ³	0.10 mekv/dm ³	6 %ekv.
Na ⁺ + K ⁺	1.00 mg/dm ³	0.44 mmol/dm ³	0.04 mekv/dm ³	3 %ekv.
Cl ⁻	106.42 mg/dm ³	3.0,20 mmol/dm ³	3.00 mekv/dm ³	74 %ekv.
HCO ₃ ⁻	63.45 mg/dm ³	1.040 mmol/dm ³	1.04 mekv/dm ³	26 %ekv.
CO ₃ ²⁻	0.00 mg/dm ³	0.00 mmol/dm ³	0.00 mekv/dm ³	0 %ekv.
SO ₄ ²⁻	0.00 mg/dm ³	0.00 mmol/dm ³	0.00 mekv/dm ³	0 %ekv.
NO ₃ ⁻	0.58 mg/dm ³	0.009 mmol/dm ³	0.09 mekv/dm ³	<1 %ekv.
Растворени угљендиоксид (CO ₂)	0.88 mg/dm ³			
Потрошња KMnO ₄	0.32 mg/0/dm ³			
<i>ЈОНИ</i>				
NH ₄ ⁺	154.78 µg/dm ³			
NO ₂ ⁻	60.97 µg/dm ³			
As	i.1211 µg/dm ³			
Fe	0.00 µg/dm ³			
Mn	0.00 µg/dm ³			
Al	7.36 µg/dm ³			
Cd	0.00 µg/dm ³			
Co	0.00 µg/dm ³			
Cr	0.00 µg/dm ³			
Cu	88.39 µg/dm ³			
Ni	62.62 µg/dm ³			
Pb	8.12 µg/dm ³			
Zn	0.12 µg/dm ³			
Ba	54.66 µg/dm ³			
Hg	0.05 µg/dm ³			
Sn	0.00 µg/dm ³			
Sr	15.49 µg/dm ³			
Укупна минерализација	169.82 mg/dm ³			
Општа тврдоћа	4.48 °dH			
Суви остатак	mg/dm ³			
Губитак жарењем	mg/dm ³			
Пролазна тврдоћа	2.91 °dH			
Стална тврдоћа	1.57 °dH			
Микробиолошка својства				
Укупне колиформне бактерије у 100cm ³	/			
Укупне аеробне мезофилне бкт. У 100cm ²	/			
Хидрохемијска класификација				
ФОРМУЛА ХЕМИЈСКОГ САСТАВА ВОДЕ (формула KURLOV-а)	HCO ₃ ⁷⁴ Cl ₂₆ CO ₃ ⁰ SO ₄ ⁰ NO ₃ ⁻¹ pH _{7,38} 18.6 M _{0,17} ----- Na ⁺ K ₃ Mg ₆ Ca ₉₁			
Класификација воде према хемијском саставу				
по О.А. Алекин-у (индекс Алекина)	Cl ^{Ca} _{II}			
по А.М. Овчиников-у	Хладна вода			
по Kluti-и (тврдоћа)	Мека вода			
по „Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће“ (Службени лист СР Југославије бр.42 и 44 од 28.08.98. и 25.06.99) испитивана вода према:				
Физичким својствима	ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ			
Хемијским својствима	НЕ ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ			
Микробиолошким својствима	ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ			
ОПШТА ОЦЕНА КВАЛИТЕТА ЈЕ	НЕ ОДГОВАРА ЗА ПИЋЕ			

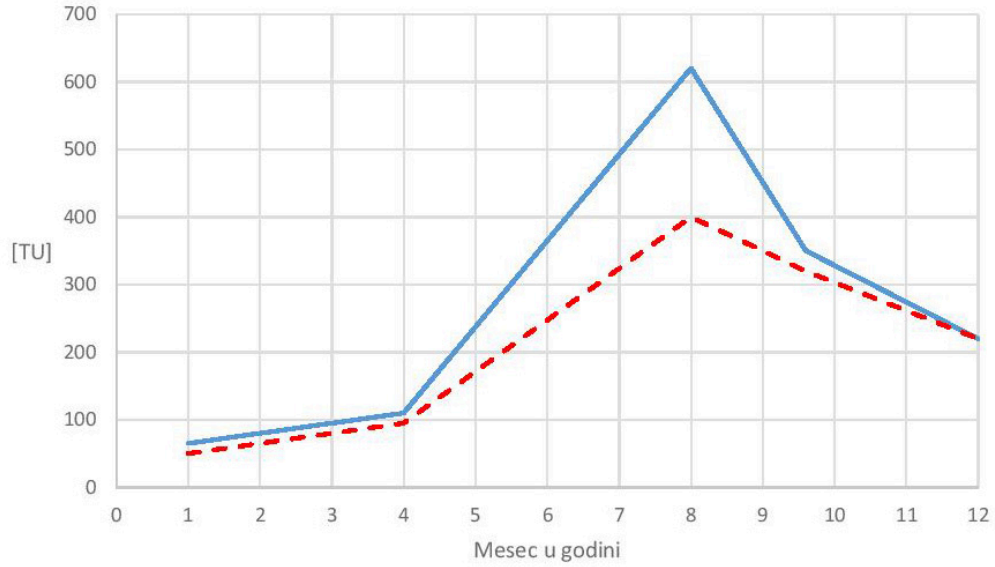
О

По „Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће” (Службени лист СР Југославије бр.42 и 44 од 28.08.98. и 25.06.99.), испитана вода према хемијским својствима не одговара за пиће због концентрација нитрита и никла које прекорачују максималне дозвољене вредности у пијаћој води.

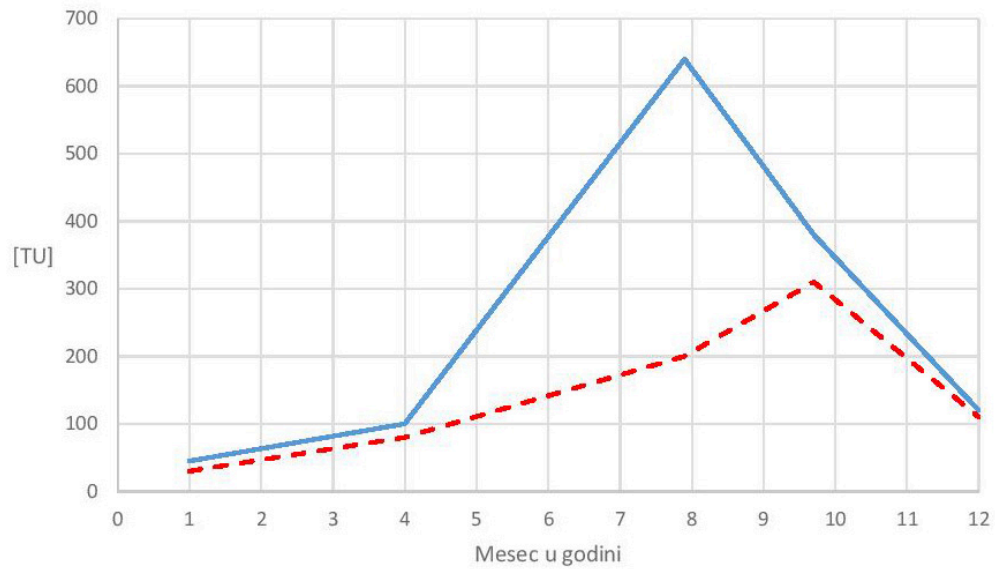
На слици 5.1 приказан је измерен садржај трицијума у падавинама у Јажиначком језеру. На слици 5.2 приказан је измерени садржај трицијума у падавинама у Штрбачком језеру, а на сликама 5.3 и 5.4 приказани су садржаји трицијума у падавинама у Дурловом и Беревачком потоку, респективно.



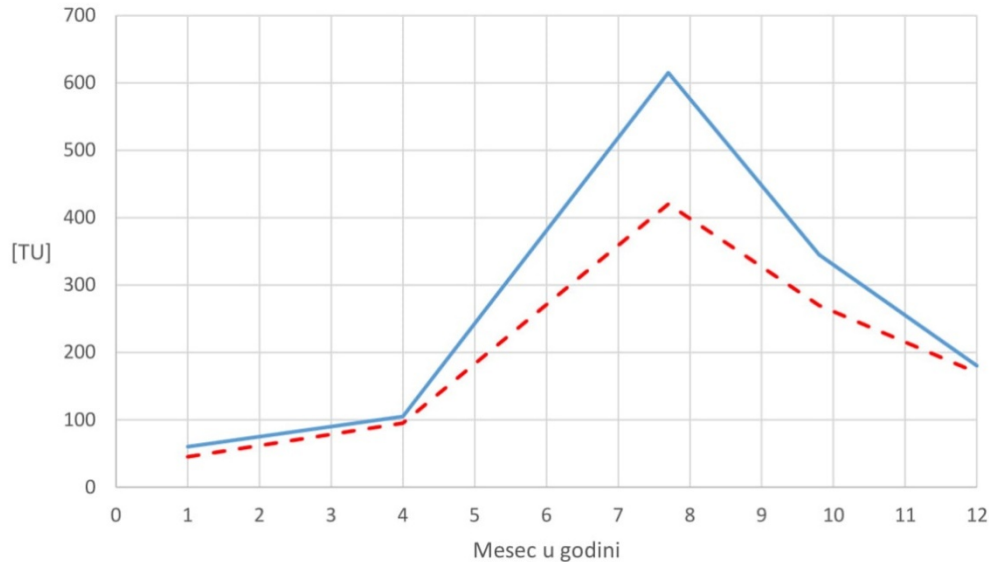
Слика 5.1. Садржај трицијума на локалитету Јажиначког језера; пуна линија – падавине; испрекидана линија – језерска вода



Слика 5.2. Садржај трицијума на локалитету Штрбачког језера; пуна линија – падавине; испрекидана линија – језерска вода



Слика 5.3. Садржај трицијума у падавинама и у Дурловом потоку; пуна линија – падавине; испрекидана линија – вода потока



Слика 5.4. Садржај трицијума у падавинама и у Беревачком потоку; пуна линија – падавине; испрекидана линија – вода потока

На основу слика 5.1 – 5.4 може се, без сумње, закључити да су све воде посматраног акваторијума атмосферског порекла. Уочљиве разлике између слика 5.1 – 5.4 последице су односа падавинских запремина воде и воде у језерима, односно бујицама. Са слика је уочљиво и смањење концентрације трицијума како у зимским тако и у летњим месецима. Наиме, у зимским месецима, када је највише падавина, долази до претходно објашњеног пада концентрације трицијума. Исти ефекат се, у нешто блажој форми, осећа и током летњих месеци, будући да су се вршила испитивања вода на великим висинама, што је умањивало концентрацију трицијума у падавинама. За разлику од проточне воде, језерска вода је вода старијег порекла, што се одражава у њеном споријим праћењем сезонског (летњег) максимума у водама падавина. Разлика која се може уочити између односа концентрације трицијума у падавинској води и води из Дурловог и Беревачког потока је последица конфигурације терена. Наиме, падавинска вода у Дурловом потоку, на већем делу његовог тока, пролази до потока кроз земљу (што се види приликом испитивања трицијумског профила земљишта који се у потпуности слаже са уоченим кашњењем концентрације трицијума у води потока и у падавинској води). Током испитивања није било могуће уочити било какво постојање већег џепа са подземном водом који није повезан са падавинама.

Одређивање старости вода, посебно подземних, у акваторијуму планине Шаре вршено је испитивањем садржаја стабилног изотопа кисеоника ^{18}O и нестабилног изотопа водоника трицијума у узорцима узетим на претходно описан начин. Међутим, да би се добили веродостојни подаци, било је потребно преузети и обрадити статистичке методе закона пораста, који у основи потиче из закона множења независних вероватноћа. Та метода, развијена у овом раду за процену старости подземних вода, подразумева

одређивање статистичке расподеле експериментално добијених вредности случајне променљиве у статистичком узорку добијеном експериментално.

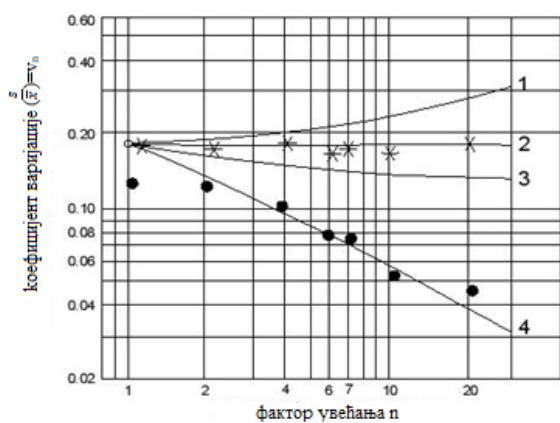
На основу саме природе посматране случајне променљиве, било је за очекивати да она припада некој од расподела минималних вредности, или нормалној расподели.

У табели 5.5. приказана је зависност коефицијента варијације од фактора увећања за експоненцијалну расподелу, двопараметарску Вејбулову расподелу, тропараметарску Вејбулову расподелу и за нормалну расподелу.

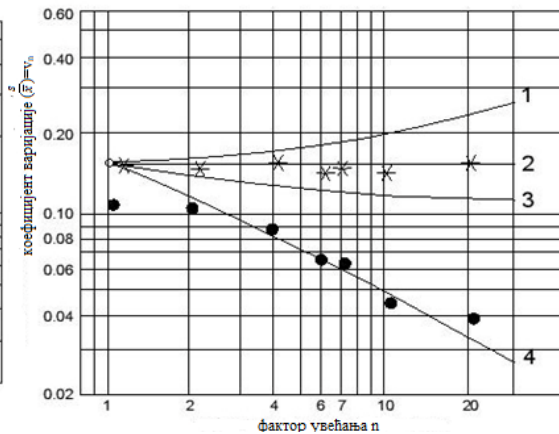
Табела 5.5. Зависност коефицијента варијације од фактора увећања.

Расподела	Конверзија	Напомене
	$\frac{\sigma}{\mu} = \frac{\sigma}{\mu} \frac{\sigma}{\sigma} \frac{\mu}{\mu}$	
(1) Weibull расподела (2 параметра); $x_0 = 0$	$\frac{\sigma}{\mu} = \frac{\sigma}{\mu}$	Коефицијент варијације не зависи од фактора увећања
(2) Weibull расподела (3 параметра)	$\frac{\sigma}{\mu} = \frac{\sigma}{\mu} \frac{1}{1 + \frac{x_0}{x} (\sqrt[n]{n} - 1)}$	Случај (1) односи се $x_0 = 0$, x_0, d параметри Weibull-ове расподеле
(3) Двострука експоненцијална расподела	$\frac{\sigma}{\mu} = \frac{\sigma}{\mu} \frac{1}{1 - \frac{\sigma}{\mu} \frac{\sqrt{6}}{\rho} \ln n}$	
(4) Нормална расподела	$\frac{\sigma}{\mu} = \frac{\sigma}{\mu} \frac{k_{1n}}{1 - \frac{\sigma}{\mu} k_{2n}}$	$k_{1n} = \frac{1}{2} \left(\sqrt[n]{0,84} - \sqrt[n]{0,16} \right)$ $k_{2n} = \frac{1}{2} \left(\sqrt[n]{0,84} + \sqrt[n]{0,16} \right)$ $\sqrt[n]{0,84} \text{ и } \sqrt[n]{0,16}$ <p>Су кванти реда $\sqrt[n]{0,84}$ и $\sqrt[n]{0,16}$ за $N(0;1)$</p>

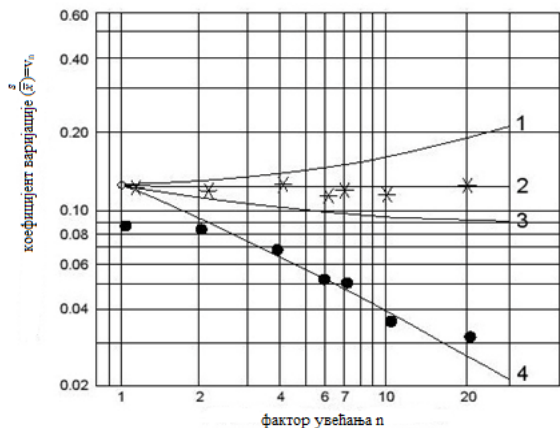
На слици 5.5 приказана је зависност коефицијента варијације од табеле 5.5 заједно са експериментално добијеним тачкама.



а)



б)



ц)

Слика 5.5. Зависност коефицијента варијације за факторе повећања запремине за трицијум (*) и кисеоник ^{18}O (•): а) подземне воде; б) површинске воде; ц) падавине; 1) експоненцијална расподела, 2) двопараметарска Вејбулова расподела, 3) нормална расподела, 4) тропараметарска Вејбулова расподела.

Са слике 5.5 се види да концентрација трицијума у свим дистрибуцијама припада двопараметарској Вејбуловој расподели мултипликативног типа, а концентрација кисеоника ^{18}O у свим дистрибуцијама припада тропараметарској расподели тропараметарског типа. Такође је уочено да концентрација трицијума у узорцима подземне воде припада двопараметарској Вејбуловој расподели адитива.

На основу резултата приказаних на слици 5.5 било је могуће изразити једначине за зависност функција расподеле кисеоника ^{18}O и трицијума у испитиваним узорцима.

У случају кисеоника ^{18}O , показало се да крива зависности припада тропараметарској Вејбуловој расподели. Ако се Вејбулова расподела узме за идентичне почетне расподеле:

$$F_1(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - x_0}{h_1}\right)^d\right] \quad (5-1)$$

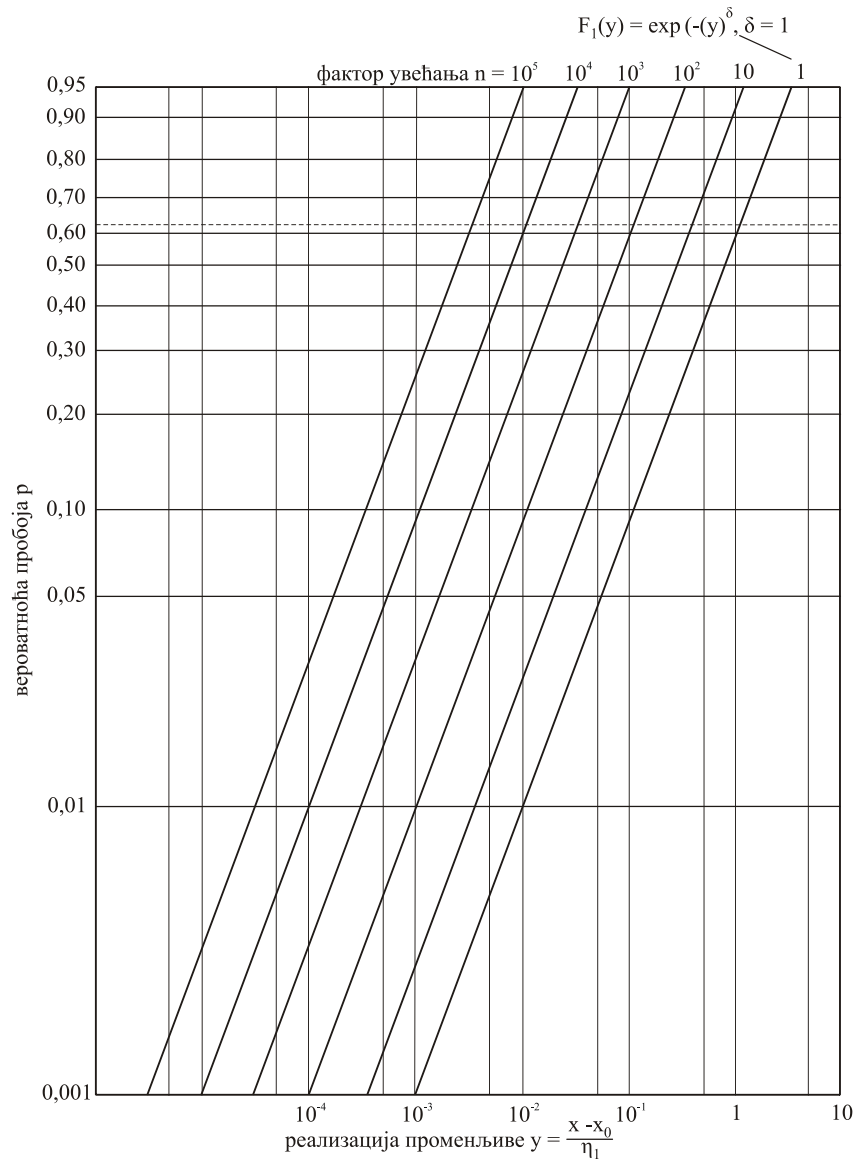
и замени у основној једначини закон растуће вероватноће следи да:

$$F_n(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - x_0}{h_1}\right)^d n\right] \quad (5-2)$$

где су h_1 , x_0 и d параметри почетне расподеле. У случају повећања за фактор n , само се 63%-ни квантил мења на:

$$h_n = (x_{nm} - x_0)_{63} = h_1 n^{-1/d} = (x_{1m} - x_0)_{63} n^{-1/d} \quad (5-3)$$

Док почетна вредност x_0 и Вејбулов експонент d остају исти. На папиру вероватноће, функције расподеле које су добијене из редуковане Вејбулове расподеле ($h_1 = 1$, $x_0 = 0$), паралелне су са почетном расподелом $F_1(x)$ (Слика 5.6). Промена у моду када постоји увећање (једн. 5-3) је на слици 5.7 приказана у релативном облику.



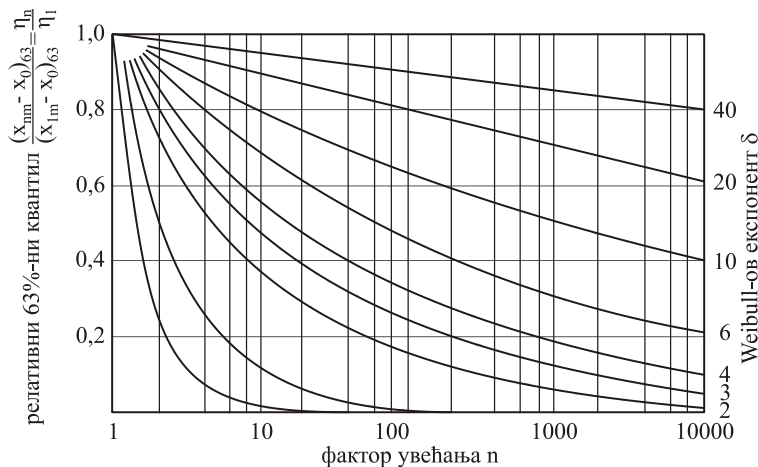
Слика 5.6. Закон увећања за Вејбулову расподелу, представљен на папиру вероватноће (Weibull-ов папир)

У случају паралелне везелемената са променљивом која подлеже Вејбуловој расподели, али са различитим параметрима h_{1i} , x_{0i} и d_i , онда уопштени закон увећања даје:

$$F_n(x) = 1 - \exp\left(-\sum_{i=1}^n \left(\frac{x - x_{0i}}{g_{1i}}\right)^{d_i}\right)$$

(5-4)

У овом случају, као и у случају дупло-експоненцијалне расподеле, тип расподеле се губи.



Слика 5.7. Параметар $h_n = (x_{nm} - x_0)_{63}$ Weibull-ове расподеле као функција увећања фактора n,

На основу претходног, могуће је извести једноставније изразе за стандардно одступање:

$$\sigma_n = \sigma_1 / n^k \tag{5-5}$$

и средњу вредност густине кисеоника ^{18}O у зависности од n пута увећаног основног узорка:

$$n_n = n_1 - L(k) | 1 - 1/n^k | \sigma_1$$

$$L(k) = | \Gamma(1+2k) - \Gamma^2(1+k) |^{-1/2} \Gamma(1+k)$$

$$\tag{5-6}$$

где је $\Gamma(k)$ гама функција.

На основу израза (5-5) и (5-6) се може израчунати пораст концентрације трицијума без узимања у обзир радиоактивног распада. Ако се узме у обзир радиоактивни распад трицијума (што посебно важи за старе узорке подземних вода), и решење ($d^{1/2}$):

$$F_n(E_d) = 1 - \exp\left\{ - \frac{2\pi r_i^2 C_a \lambda^{2-d}}{(2-d)V_1} \left(\frac{E_d}{E_{d63}} \right)^{2-d} \right\}$$

$$\tag{5-7}$$

где је n:

$$n = \frac{2pV_i^2 \left(\frac{V_{i1}}{V_i} \right)^{2-d} - 1}{V_i(2-d)} \quad (5-8)$$

Узимајући двопараметарску Вејбулову расподелу, очувава се тип расподеле и 63%-ни квантил се мења према:

$$n_{d63N} = n_{d63} \frac{V_i(2-d)}{2pV_i^2 \left(\frac{V_{i1}}{V_i} \right)^{2-d} - 1} \quad (5-9)$$

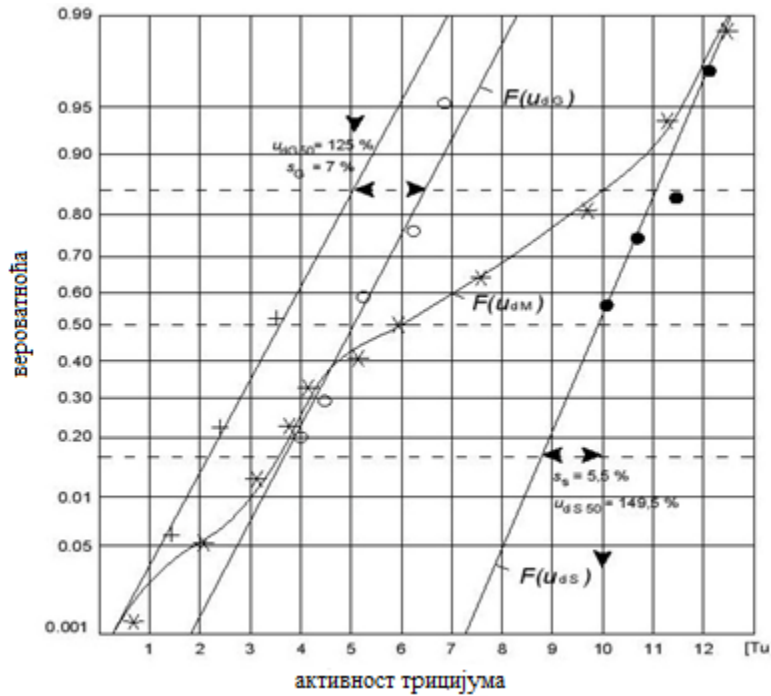
У циљу провере изведених израза узет је значајно повећан узорак (100 l) воде из нижих делова Шар-планине, где су све испитиване воде (падавине, подземне и површинске воде) измешане и анализиране према очекиваним резултатима. На основу мерења и израза воде.

$$\frac{n_{d63_1}}{n_{d63_2}} = \frac{\ln \frac{V_{a1}}{V_{i1}} \left(\frac{V_{i2}}{V_{i1}} \right)^{(2/d)-1}}{\ln \frac{V_{a2}}{V_{i2}}} \frac{2pV_{i2}^2 \left(\frac{V_{i1}}{V_{i2}} \right)^{2-d} - 1}{2pV_{i1}^2 \left(\frac{V_{i1}}{V_{i1}} \right)^{2-d} - 1} \quad (5-10)$$

Што се тиче математичке процедуре, такође треба напоменути да се ефекат запремине мора израчунати коришћењем физички одговарајуће одабране варијабле. Резултат се може трансформисати у било ком тренутку да би се изразила жељена варијабла, користећи познате везе са другим варијаблама.

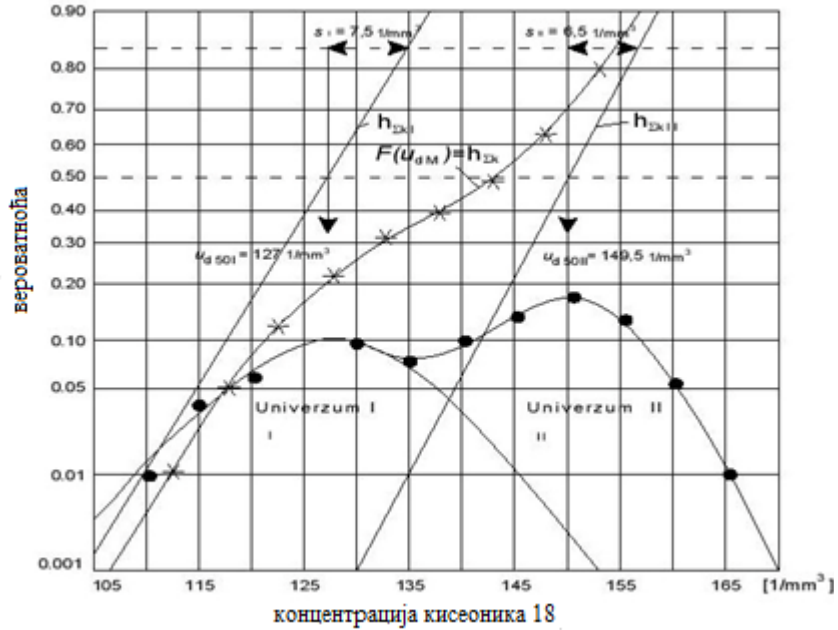
На слици 5.8. приказане су концентрације трицијума у Јажиначком језеру. Статистичком анализом коришћењем U-теста откривено је постојање 3 статистичка узорка који се јасно могу поделити на подземне воде настале пре нуклеарних активности, тј. пре стварања нуклеарних реактора, атомских бомби итд. У групу случајних варијабли спадају падавинске воде и грубо се може проценити да је највећи део падавина био у летњем

периоду, када су процеси нуклеосинтезе у атмосфери знатно активнији, тј. доживљавају врхунац.



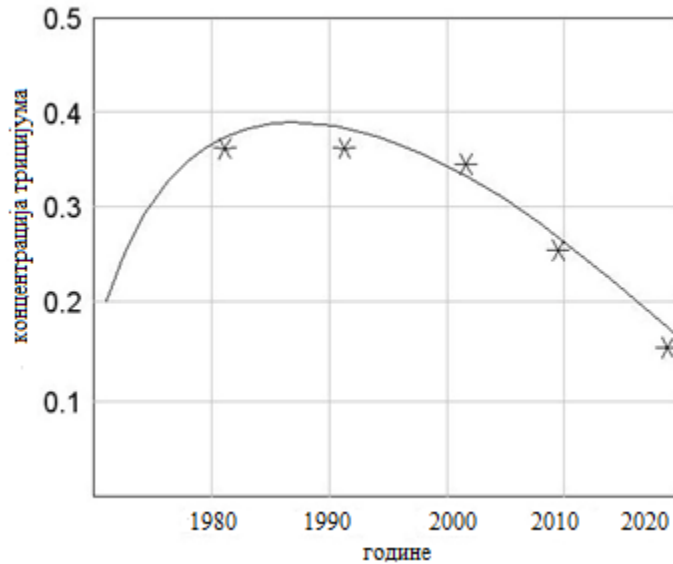
Слика 5.8. Активност трицијума у мешавини подземних вода (+), површинских (O) и падавина (•); резултујућа активност (*)

Слика 5.9 приказује концентрацију кисеоника ^{18}O у Дурлов цирку, са јасно одвојеним двама областима (универзумима). Универзум 1 припада старим подземним водама, у којима је проценат кисеоника ^{18}O приближно једнак његовом природном обиљу. Универзум 2 спада у падавинске воде са повећаном концентрацијом кисеоника ^{18}O услед научних истраживања људске делатности.



Слика 5.9. Концентрација кисеоника ^{18}O у мешавини подземне и површинске воде (•)

Слика 5.10. приказује активност трицијума у подземним водама које имају мали или никакав контакт са површинским водама. Дијаграм показује ниску активност трицијума, види се постојање благог врха, који се тумачи као контакт са површинском водом. Теоријска крива се савршено слаже са једначином (5-10), што потврђује теоријску анализу.



Слика 5.10. Концентрација трицијума подземних вода у узорцима и одговарајућа крива према једн. (5-10)

Због математичких потешкоћа повезаних са мешовитим дистрибуцијама, оне би требало да се користе само када су физички неопходне, тј. када физички модел случајног процеса који се истражује производи мешовиту дистрибуцију. Ни у ком случају не треба тумачити емпиријски утврђен однос од самог почетка као мешовиту дистрибуцију без таквог модела. Нема сумње да многи односи у природи и технологији суштински прате мешовите дистрибуције, али на крају, у областима које су битне, обично доминирају индивидуални утицаји, тако да се мешане компоненте могу занемарити. На пример, када се примењује закон повећања вероватноће на мешовиту дистрибуцију, било би довољно само размотрити нормалну дистрибуцију повезану са универзумом 1.

Са еколошког аспекта, најинтересантнији резултати су резултати добијени спектроскопском анализом узорка воде и земљишта узетих са места на којима је потврђено дејствовање агресорске авијације муницијом са осиромашеним уранијумом.

Приказани су резултати добијени за специфичну активност идентификованих радионуклида у једном узорку воде и три узорка земље са локације на Шар-планини.

Идентификовани су пикови на линијама 139.9 keV и 198.3 keV, који потичу од активације Ge у детектору неутронима из природе. Ge је веома подложен активацији, и то радионуклиди ^{74}Ge од ког настаје $^{75\text{m}}\text{Ge}$ и ^{70}Ge од ког настаје $^{71\text{m}}\text{Ge}$. Такође су примећени пикови на линијама 351.93 keV од ^{214}Pb и 609.32 keV од ^{214}Bi . Како није идентификован пик на линији 186.211 keV од ^{226}Ra , може да се закључи да су линије од ^{214}Pb и ^{214}Bi последица њиховог присуства на спољашњој страни посуде. С обзиром на кратко време полураспада $T_{1/2} = 26.8 \text{ m}$ за ^{214}Pb и $T_{1/2} = 19.9 \text{ m}$ за ^{214}Bi , пикови на линијама за ова два радионуклида су формирану на почетку мерења у првих пола сата, када је допринос од распада био највећи. Нису идентификовани пикови на линијама које одговарају вештачким и НОРМ (U и Th) радионуклидима што не значи да они нису присутни у узорку, већ да су вредности њихових активности мање од вредности за минималну детектибилна активност (МДА).

Табела 5.6. МДА вредности за *NORM*и вештачке радионуклиде у узорцима воде за време мерења $t = 325000 \text{ s}$

Радионуклид	МДА вредност [Bq·l ⁻¹]
^{238}U	0.3
^{226}R	0.3
^{232}Th	0.5
^{40}K	0.9
^{137}Cs	0.1

Узорци земље број 1, 2 и 3 узети на локацији са дубина 5 cm, 30 cm и 60 cm респективно, упаковани су у пластичне полиетиленске посуде правилне геометрије цилиндричног облика пречника основе 8 cm, напуњене до врха висине око 10 cm. На основу израчунате запремине и нето масе измерене на ваги, одређене су густине за ова три узорка и дате у табели 5.7.

Табела 5.7. Подаци о узорцима земље број 1, 2 и 3

Узорак	Нето маса узорка (g)	Висина узорка у посуду (cm)	Густина узорка (g·cm ⁻³)
1	445.44	10.0	0.886
2	680.18	10.0	1.353
3	495.43	9.5	1.038

Густине нису исте за сва три узорка будући да је земља била прилично сува, али добијене вредности одговарају за типичан састав земљине коре.

Сви узорци узети у ову сврху (на претходно описан начин) су, без икаквог додатног третмана, анализирани 30 дана након преузимања. За мерење узорака коришћен је полупроводнички Ge детектор типа GX5020 произвођача Canberra, као и софтвери за одређивање ефикасности LabSOCS (Canberra), EFFTRAN за добијање фактора COI за ефекте каскадног сумирања и преузимања броја и импулса у Ge детектору, и ANGES за одређивање површине пикова идентификованих радионуклида. Подаци о запремини и густини узорака земље дати у табели 5.7. коришћени су за нумеричке калибрације Ge детектора помоћу софтвера LabSOCS.

За коришћено време мерења узорака одређене су минималне детектибилне вредности (MDA) за радионуклиде који се најчешће могу наћи у животној средини из групе NORM (радионуклиди из уранијумског и торијумског распада) и групе вештачких (¹³⁷Cs) радионуклида.

Код сва три узорка воде уочени су пикови на линијама 139.9 keV и 198.3 keV, који потичу од активације нуклида Ge у детектору неутронима из природе. Нуклиди Ge су веома подложна активацији. Такође су примећени пикови ²¹⁴Pb и ²¹⁴Bi. Како није идентификован пик на линији ²²⁶Ra од 186,2 keV, линије ²¹⁴Pb и ²¹⁴Bi су очигледна последица њиховог присуства на спољашњој страни посуде.

Анализом енергетских спектра гама зрачења из узорака земље, утврђено је присуство следећих радионуклида ²³⁸U и ²³⁵U (са потомцима из ланца распада уранијума ²³⁴Th, ^{234m}Pa, ²²⁶Ra, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi и ²¹⁰Pb), ²³²Th (са потомцима из ланца распада ²²⁸Ac, ²¹²Pb и ²⁰⁸Tl), ⁴⁰K и ¹³⁷Cs).

С обзиром на то да су спектри из анализираних узорака земље слични, за илустрацију на слици 5.11 приказан је енергетски спектар гама зрачења из испитиваног узорка воде и земље Шар-планине.

Активност(A) присутних радионуклида је одређена на стандардни начин преко релације:

$$A = \frac{C}{\varepsilon \cdot Y \cdot COI}, \quad (5-11)$$

где су:

C – измерена површина пика за изабрану линију гама зрачења,

Y – принос са изабрану линију гама зрачења,

ε – ефикасност детектора (нумерички одређена)

COI – фактор за ефекте каскадног сумирања и одузимања броја и импулса у Ge детектору (нумерички одређеног).

Услед међусобне интеракције линија ^{226}Ra и ^{235}U , и интеракције торијумових линија са линијама које се користе за одређивање активности ^{238}U и ^{235}U , прво је одређена активност ^{232}Th будући да утицај других радионуклида на одређивање линија ^{232}Th није присутан. Активност ^{232}Th одговара активности ^{228}Ac уколико се добије иста активност за радионуклид ^{212}Pb (потомак из торијумовог ланца распада), што је показатељ да је испред био ^{232}Th . За одређивање ^{228}Ac користе се линије гама зрачења на 338.32 keV, 911.23 keV и 969.97 keV уз услов да се за све три линије добија иста активност, у супротном, састав земље није добро одређен. У случају узорака број 1, 2 и 3 за све три линије добијене су исте вредности. Активност ^{212}Pb одређена је преко линије на 238.632 keV.

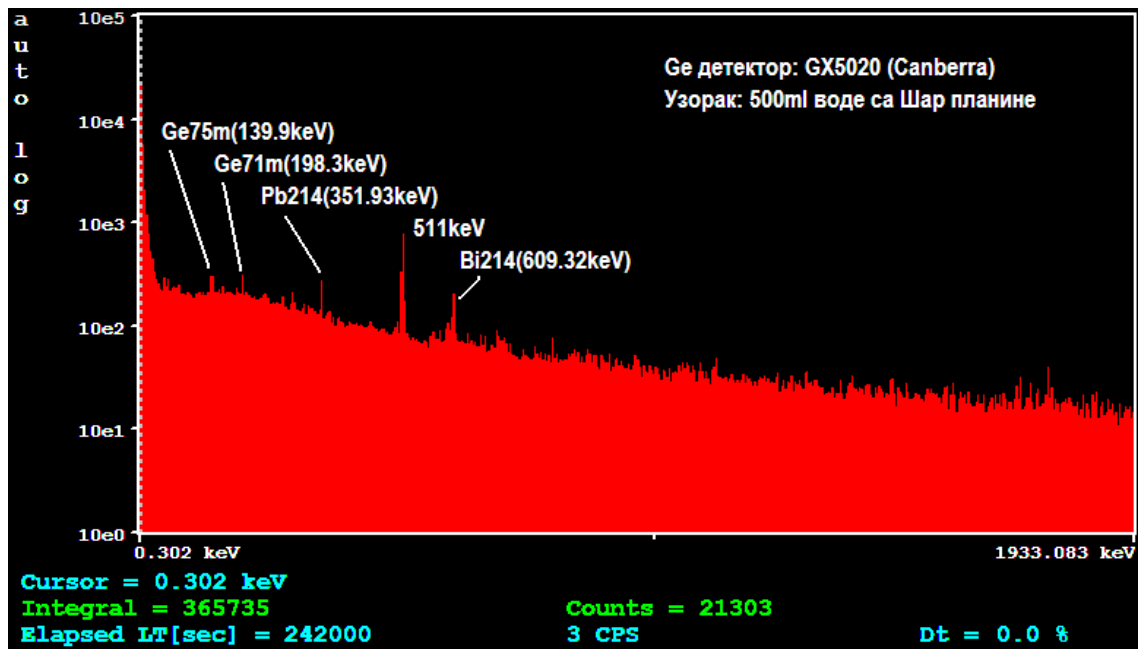
Одређивање активности ^{235}U и ^{238}U врши се итеративним поступком. У почетној итерацији, полази се од претпоставки да се ради о природном обогаћењу присутног уранијума и да је активност ^{226}Ra једнака активности ^{238}U која је одређена преко пика на линији 1001.03 keV. Даље се одреди активност ^{235}U и преко добијене активности за ^{235}U одређује се активност ^{226}Ra . Нова итерација започиње са добијеном активности ^{226}Ra и понови се неколико пута док се не дође до конвергенције ка стабилним вредностима добијених активности ^{235}U и ^{238}U у итеративном поступку.

За одређивање активности ^{238}U коришћене су три линије на 63.29 keV, 92.59 keV и 1001.03 keV. Приликом одређивања површине пика на линији 63.29 keV, вршена је

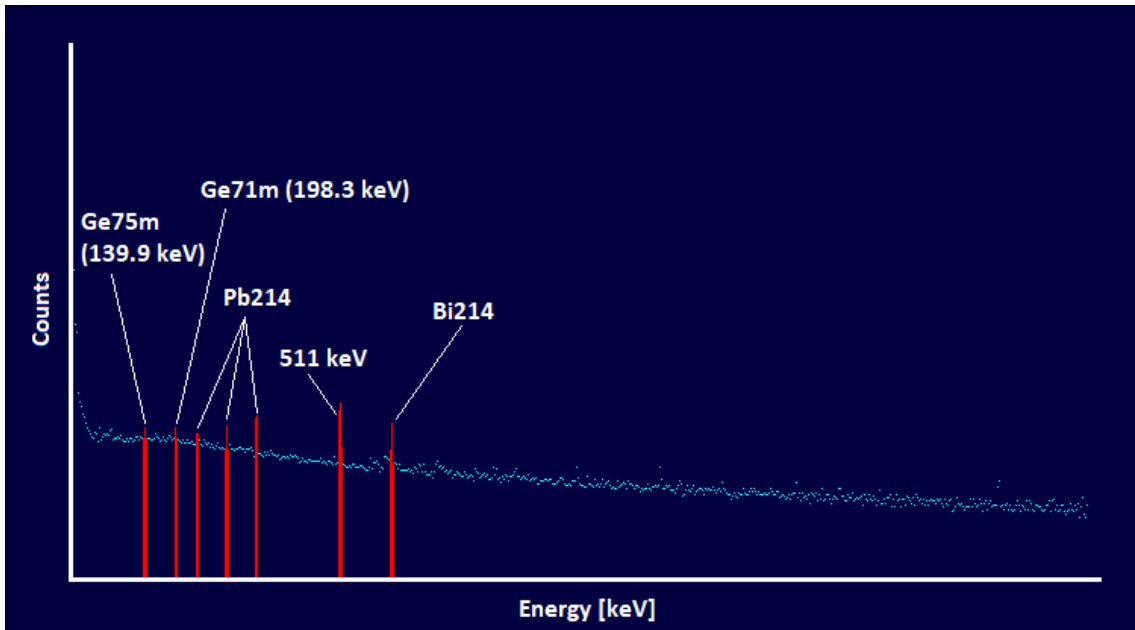
корекција за допринос од линије ^{231}Th (који је у равнотежи са ^{235}U) на 63.86 keV . Док је за одређивање површине пика на линији 92.59 keV вршена корекција за допринос од $^{235}\text{U}/^{231}\text{Th}$ преко линије са врло блиском енергијом од 92.28 keV , и од веома јаког утицаја линије $^{232}\text{Th}/^{228}\text{Ac}$ на 93.35 keV . Корекција за утицај дискретне линије закочног зрачења (изазваног бета зрачењем ^{234}Th и ^{234}Pa) од 94 keV на линију ^{238}U од 92.59 keV тзв. флуо ефекат је занемарен због тога што на енергетском спектру код сва три узорка земље није идентификовано присуство пика на линији 94 keV . Површина пика на линији 1001.03 keV коригована је за допринос линије $^{232}\text{Th}/^{228}\text{Ac}$ на 1000.69 keV .

За одређивање активности ^{235}U коришћене су три линије на 143.76 keV , 163.33 keV и 185.715 keV . Површина пика на линији 143.76 keV коригована је за следеће доприносе: линије $^{238}\text{U}/^{234}\text{Pa}$ на 143.78 keV , линије $^{235}\text{U}/^{223}\text{Ra}$ на 144.235 keV , и линије $^{235}\text{U}/^{231}\text{Pa}$ на 144.4 keV . С обзиром на мали допринос линије 164.94 keV распада ^{234m}Pa на пик на линији 163.33 keV , овај допринос је занемарен. Површина пика на линији 185.715 keV коригована је за следеће доприносе: линије $^{238}\text{U}/^{234}\text{Pa}$ на 186.15 keV , линије ^{230}Th на 186.053 keV , линије ^{226}Ra на 186.211 keV и линије $^{232}\text{Th}/^{228}\text{Ac}$ на 184.54 keV .

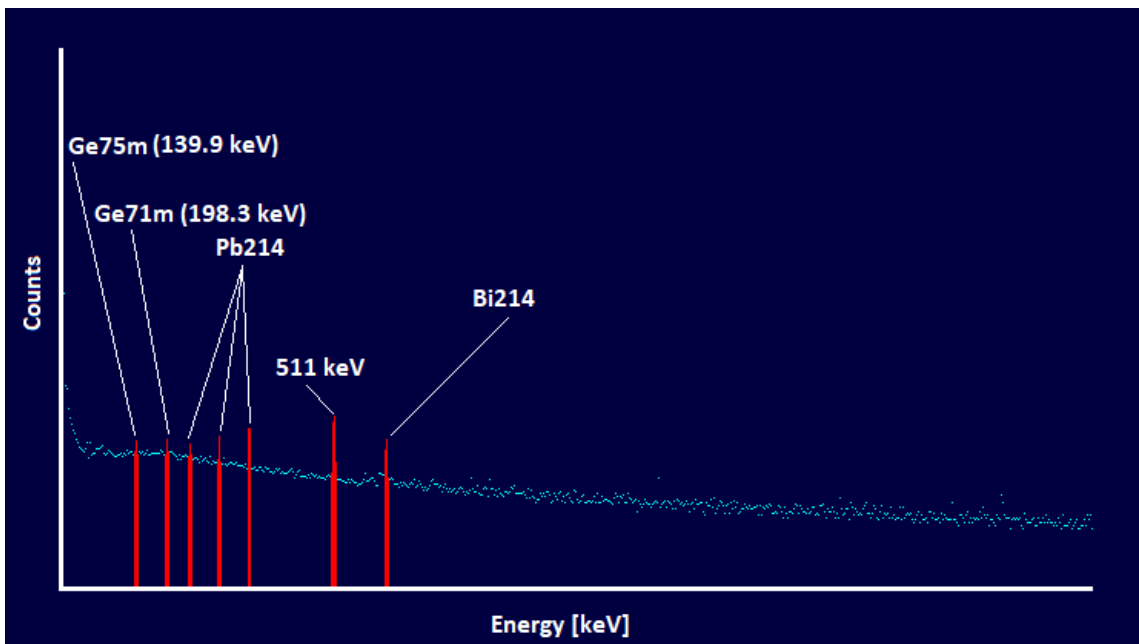
За одређивање активности ^{226}Ra коришћена је линија на 186.211 keV и узета је у обзир корекција од доприноса $^{232}\text{Th}/^{228}\text{Ac}$ на 184.54 keV и ^{235}U на 185.715 keV . Проблем различитих вредности активности за три линије у ланцу распада ^{238}U (63.29 keV , 92.59 keV и 1001.033 keV) је решен увођењем корекционих фактора COI, који укључују ефекте умањења или увећања броја импулса у коришћеном Ge детектору услед истовременог стварања парова електрон-шупљина при каскадно емитованим гама линијама. У сврху решавања овог проблема припремљена је процедура одређивања корекционих фактора COI, заснована на раду Колетова.



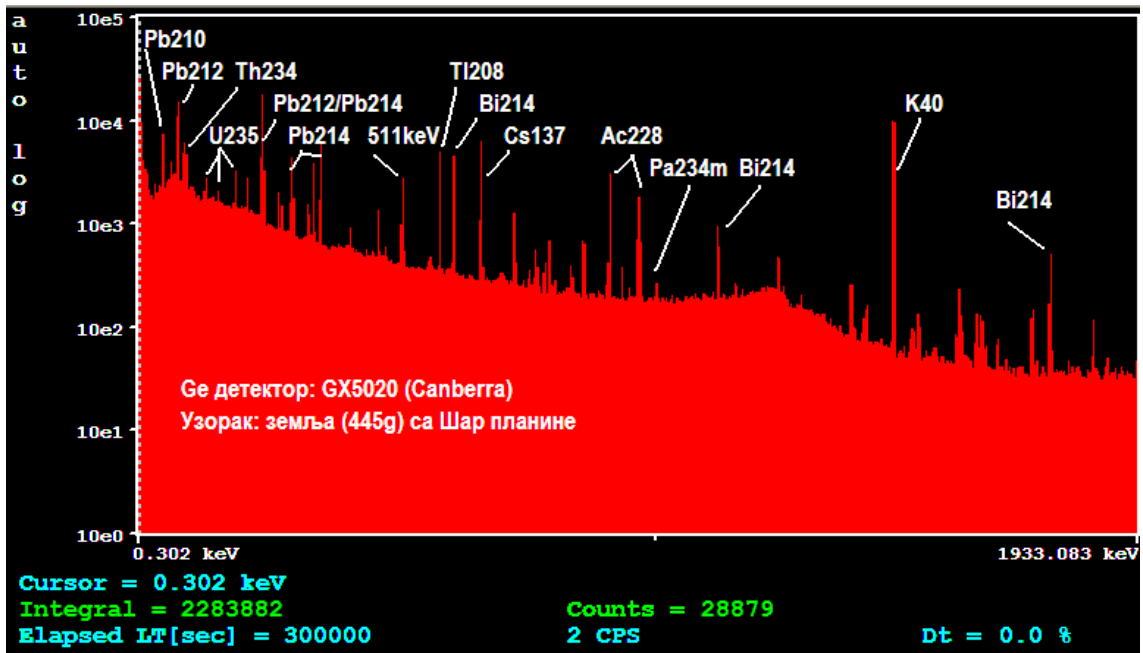
a)



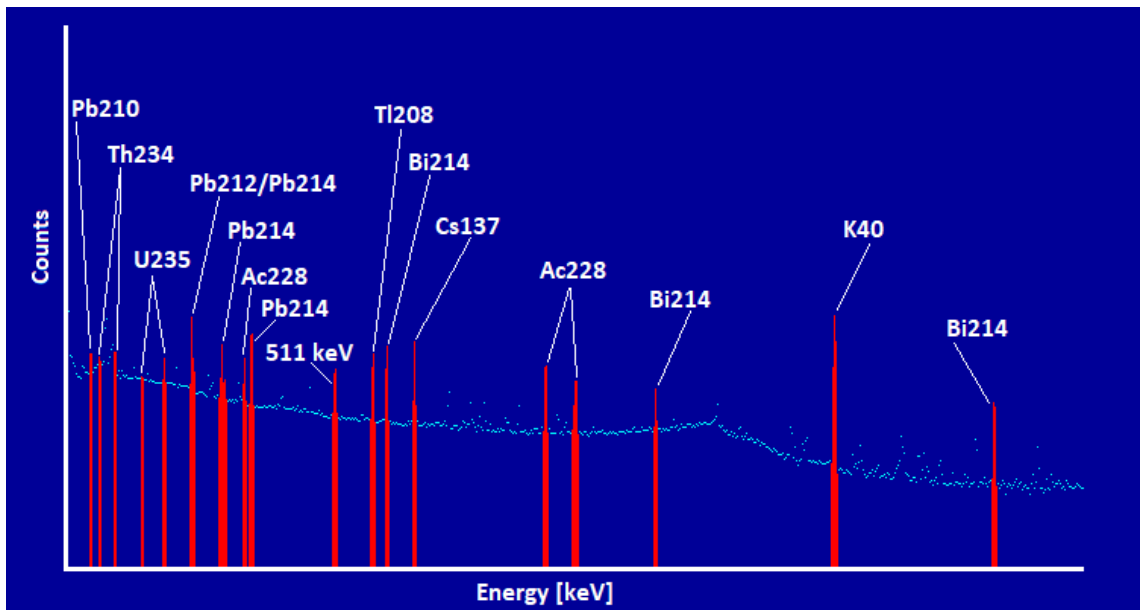
b)



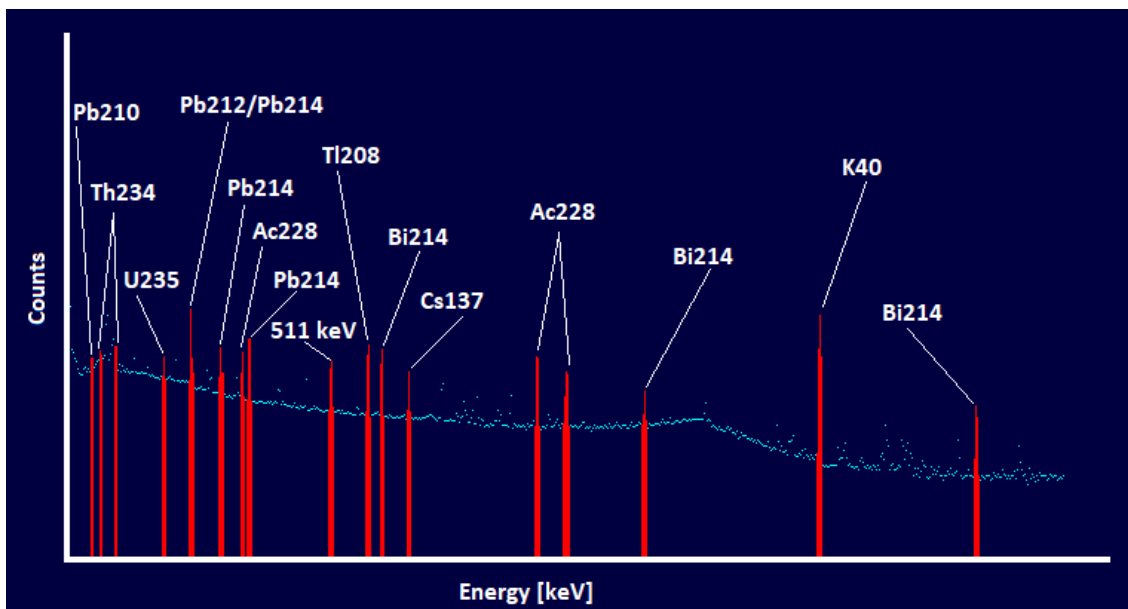
B)



г)



д)



ђ)

Слика 5.11. Енергетски спектар гама зрачења из испитиваног узорка воде и земље Шар-планине. а) узорак воде локација Перебес, б) узорак воде локација Дурлов поток, в) узорак воде локација Беревачки поток, г) узорак земље локација Перебес, д) узорак земље локација Дурлов поток, ђ) узорак земље локација Беревачки поток.

Методологија одређивања активности идентификованих радионуклида је заснована на карактеристичним линијама гама зрачења са подацима у табели 5.8.

На основу одређених вредности активности, познатих вредности атомских маса и константи распада за ^{235}U и ^{238}U , израчунавају се масе m_5 и m_8 за ^{235}U и ^{238}U у узорцима земље, и из релације $m_5 / (m_5 + m_8)$ израчунава се обогаћење присутног уранијума у узорцима земље.

Добијени резултати за идентификоване радионуклиде, вредности MDA и ниво за ослобађање од регулаторне контроле (clearance level – CL) у узорцима земље са локације Перебес, Дурлов поток и Беревачки поток на Шар-планини, приказани су у табелама 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 и 5.13.

Нивои за ослобађање од регулаторне контроле (CL) представљају граничне вредности за појединачне радионуклиде, утврђене тако да ни под којим условима годишња доза за једну особу од појединачног радионуклида не пређе дозу од 10 Sv, што је 10 пута мање од годишње дозе јонизујућих зрачења дозвољене за становништво. CL вредности су преузете из међународног стандарда IAEA BSS 2014.

Табела 5.8. Подаци о карактеристичним линијама коришћеним за одређивање А радионуклида

Радионуклид	Емитер гама зрачења	Енергија [keV]	Принос [%]
²³⁵ U	²³⁵ U	143.760	10.96
	²³⁵ U	163.330	5.08
	²³⁵ U	185.715	57.20
²³⁸ U	²³⁴ Th	63.290	3.72
	^{234m} Pa	1001.033	0.842
²³² Th	²²⁸ Ac	911.204	25.80
	²²⁸ Ac	968.971	15.80
²²⁶ Ra	²²⁶ Ra	186.211	3.64
²⁴¹ Am	²⁴¹ Am	59.537	35.90
¹³⁷ Cs	^{137m} Ba	661.660	85.10
⁶⁰ Co	⁶⁰ Co	1173.237	99.85
	⁶⁰ Co	1332.501	99.983
¹⁵² Eu	¹⁵² Eu	344.279	26.60
¹⁵⁴ Eu	¹⁵⁴ Eu	591.755	4.95
¹³³ Ba	¹³³ Ba	356.013	62.05

Табела 5.9. Активности радионуклида присутних у узорку земље Перебес, $d = 5$ cm

Радионуклид	Активност [Bq·g ⁻¹]	MDA вредност [Bq·g ⁻¹]	CL [Bq·g ⁻¹]
²³⁵ U	0.0012 ± 0.0001	0.0001	1
²³⁸ U	0.0258 ± 0.0020	0.0010	1
²²⁶ Ra	0.0215 ± 0.0013	0.0012	1
²¹⁴ Pb	0.0236 ± 0.0007	0.0002	1
²¹⁴ Bi	0.0236 ± 0.0007	0.0002	1
²¹⁰ Pb	0.1090 ± 0.0060	0.0013	1
²³² Th	0.0379 ± 0.0011	0.0003	1
²¹² Pb	0.0380 ± 0.0019	0.0001	1
⁴⁰ K	0.5285 ± 0.0084	0.0009	10
¹³⁷ Cs	0.0176 ± 0.0084	0.0001	0.1

Обогаћење уранијума $\left(\frac{m_5}{m_5 + m_8}\right)$ [%]	0.7084
--	--------

Табела 5.10. Активности радионуклида присутних у узорку земље Перебес,
 $d = 30$ cm

Радионуклид	Активност [Bq·g ⁻¹]	MDA вредност [Bq·g ⁻¹]	CL [Bq·g ⁻¹]
²³⁵ U	0.0012 ± 0.0002	0.0001	1
²³⁸ U	0.0271 ± 0.0016	0.0010	1
²²⁶ Ra	0.0249 ± 0.0014	0.0010	1
²¹⁴ Pb	0.0260 ± 0.0007	0.0001	1
²¹⁴ Bi	0.0260 ± 0.0007	0.0001	1
²¹⁰ Pb	0.0283 ± 0.0021	0.0011	1
²³² Th	0.0454 ± 0.0013	0.0002	1
²¹² Pb	0.0453 ± 0.0018	0.0001	1
⁴⁰ K	0.7851 ± 0.0124	0.0006	10
¹³⁷ Cs	0.0017 ± 0.0001	0.0001	0.1
Обогаћење уранијума $\left(\frac{m_5}{m_5 + m_8}\right)$ [%]	0.7083		

Табела 5.11. Активност радионуклида присутних у узорку земље Перебес,
 $d = 60$ cm

Радионуклид	Активност [Bq·g ⁻¹]	MDA вредност [Bq·g ⁻¹]	CL [Bq·g ⁻¹]
²³⁵ U	0.0013 ± 0.0002	0.0001	1
²³⁸ U	0.0282 ± 0.0016	0.0010	1
²²⁶ Ra	0.0382 ± 0.0023	0.0011	1
²¹⁴ Pb	0.0330 ± 0.0009	0.0002	1
²¹⁴ Bi	0.0330 ± 0.0009	0.0002	1
²¹⁰ Pb	0.0282 ± 0.0030	0.0012	1
²³² Th	0.0569 ± 0.0016	0.0003	1

^{212}Pb	0.0553 ± 0.0022	0.0001	1
^{40}K	1.0592 ± 0.0168	0.0008	10
^{137}Cs	0.0014 ± 0.0001	0.0001	0.1
Обогаћење уранијума $\left(\frac{m_5}{m_5 + m_8}\right)$ [%]	0.7114		

Табела 5.12. Активност радионуклида присутних у узорку земље Дурлов поток

Радионуклид	Активност [Bq·g ⁻¹]	MDA вредност [Bq·g ⁻¹]	CL [Bq·g ⁻¹]
^{235}U	0.0010 ± 0.0004	0.0003	1
^{238}U	0.0212 ± 0.0008	0.0003	1
^{226}Ra	0.0381 ± 0.0014	0.0003	1
^{214}Pb	0.0316 ± 0.0010	0.0003	1
^{214}Bi	0.0316 ± 0.0010	0.0003	1
^{210}Pb	0.0400 ± 0.0016	0.0003	1
^{232}Th	0.0336 ± 0.0010	0.0003	1
^{212}Pb	0.0336 ± 0.0010	0.0003	1
^{40}K	0.9338 ± 0.0282	0.0009	10
^{137}Cs	0.0197 ± 0.0006	0.0001	0.1
Обогаћење уранијума $\left(\frac{m_5}{m_5 + m_8}\right)$ [%]	0.7103		

Табела 5.13. Активност радионуклида присутних у узорку земље Беревачки поток

Радионуклид	Активност [Bq·g ⁻¹]	MDA вредност [Bq·g ⁻¹]	CL [Bq·g ⁻¹]
^{235}U	0.0017 ± 0.0004	0.0003	1
^{238}U	0.0219 ± 0.0007	0.0003	1
^{226}Ra	0.0237 ± 0.0009	0.0003	1
^{214}Pb	0.0206 ± 0.0006	0.0003	1
^{214}Bi	0.0206 ± 0.0006	0.0003	1

^{210}Pb	0.0238 ± 0.0013	0.0003	1
^{232}Th	0.0349 ± 0.0011	0.0003	1
^{212}Pb	0.0349 ± 0.0011	0.0003	1
^{40}K	0.7213 ± 0.0218	0.0008	10
^{137}Cs	0.0041 ± 0.0001	0.0001	0.1
Обогаћење уранијума $\left(\frac{m_5}{m_5 + m_8} \right)$ [%]	0.7110		

На основу добијених резултата анализе узорка воде и три узорка земље са локације на Шар-планини, може да се закључи:

- У узорку воде нису нађени НОРМ и вештачки радионуклиди, односно њихове активности су испод вредности за МДА које су знатно ниже од СЛ нивоа за ове радионуклиде.
- Код сва три узорка земље са дубине 5 cm, 30 cm и 60 cm, активности радионуклида из ланца распада ^{238}U су у равнотежи и добијене вредности одговарају средњој вредности активности ових радионуклида у земљиној кори, која за ^{238}U износи $0.0330 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$
- Такође је код сва три узорка земље нађено да обогаћење износи око 0.711%, што значи да се ради о уранијуму природног обогаћења.
- Мале разлике између ^{238}U и ^{226}Ra су последица различитости у хемијским особинама (пре свега, са апекта растворљивости у води) ових радионуклида у условима где је изражено присуство падавина.
- Вредности активности уранијума у сва три узорка земље су униформне, односно нема разлике са које је дубине на локацији узорак узет. Једини изузетак је радионуклид ^{210}Pb ($T_{1/2} = 22.2$ године) у узорку број 1 (узорак земље са површине), где није у равнотежи са осталим радионуклидима из ланца распада ^{238}U , док у узорцима 2 и 3 са дубине од 30 и 60 cm јесте. Ово може да се објасни различитим хемијским особинама олова (Pb) у односу на радијум (^{226}Ra) и торијум (^{234}Th) у погледу растворљивости и везивања за тло, што је вероватно довело до увећаног присуства ^{210}Pb у узорку узетом са површине земље.
- Код сва три узорка радионуклиди из ланца распада ^{232}Th су у равнотежи, равномерно су распоређени без обзира на то што су узорци земље са различитих дубина, и добијене вредности одговарају средњој вредности активности за присуство ^{232}Th у земљиној кори која износи $0.045 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$.
- Од природних радионуклида идентификован је још и ^{40}K , за који су вредности у границама његовог присуства у земљиној кори, с тим што може да се примети да активност ^{40}K расте са дубином са које су узорци узети.

- Од вештачких радионуклида идентификован је само радионуклид ^{137}Cs за који активност опада са дужином са које су узорци узети. Добијена вредност активности у узроку земље број 1 (узорак узет са површине земље) је на нивоу типичних вредности активности ^{137}Cs у земљишту на територији Републике Србије која износи у опсегу $(10-20) \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Постројења за пречишћавање воде за водоснабдевање насеља и индустрије, изграђена пре 20–30 година, пројектована су у складу са нормама квалитета воде за пиће тог времена. Тада су минимално дозвољене концентрације мутноће, боје и утрошка KMnO_4 биле више од тренутних стандарда. У складу са тим нормама, постигнут је стандард квалитета воде за пиће путем решења које је обухватало фазе коагулације са таложењем и филтрацију, праћено накнадном дезинфекцијом. Са еволуцијом стандарда у последњим годинама, повећане су захтеви у вези са уклањањем органске материје, посебно хуминских материја. Како би постројења за пречишћавање воде испунила нове стандарде квалитета воде за пиће, потребно је вршити одговарајуће модификације и оптимизацију процеса. Такође, неопходно је редовно праћење и контрола квалитета воде током целокупног процеса пречишћавања како би се осигурало да испуњава нове захтеве и норме.

На основу анализе потенцијалног коришћења водних ресурса се може закључити:

- Након детаљног разматрања квалитета сирове воде и процеса пречишћавања, може се закључити да је оптималан приступ коришћење стандардног (класичног) поступка пречишћавања. С обзиром на очекивани релативно добар квалитет сирове воде, предлаже се примена класичног третмана сирове воде са додатком полиелектролита, укључујући флокулацију, таложење, филтрирање воде и завршну дезинфекцију.
- Уколико је мутноћа воде између 1 и 10 NTU, сирове вода се директно шаље на филтрирање и дезинфекцију. За мутноће испод 1,0 NTU, вода се само хлорише. Овај процес се спроводи аутоматски, уз стално праћење квалитета сирове воде.
- Да би се одржао оптималан рад постројења за пречишћавање воде, важно је редовно мерити и евидентирати квалитет сирове воде. Ако садржај мутноће сирове воде пређе 100 NTU, садржај редуцирајуће материје пређе 1000, или утрошак KMnO_4 пређе 20 mg/l, улазни регулаторни затварач се аутоматски затвара, а постројење се искључује из погона. О томе се обавештава дежурни оператер путем звучних и светлосних сигнала у командно-контролном центру.
- У случају да је мутноћа сирове воде мања од 5 NTU, процес флокулације и коагулације се искључује из система пречишћавања, као и дозирање коагуланата. Сирове вода се тада директно шаље на филтрирање и дезинфекцију.

- Потребно је свакодневно ручно контролисати одређене компоненте квалитета сирове воде, попут утрешка $KMnO_4$, гвожђа, мангана и других параметара који се покажу потребним током експлоатације.
- Сам процес пречишћавања воде има два правца, у зависности од мутноће сирове воде – ако је мутноћа преко 5 NTU и ако је мутноћа мања.
- Препоручује се аутоматско дозирање полиелектролита уз ручну корекцију у зависности од NTU. Одмуљивање насталог муља у контакт резервоару се у почетку обавља ручно, а касније може бити аутоматизовано. Прање филтера се врши преко програматора, уз основу разлике притиска на излазу и улазу из филтера. Доток сирове воде се регулише преко нивоа воде у постојећем резервоару. Хлорисање воде се врши на основу протока воде, уз ручну корекцију у зависности од садржаја резидуалног хлора.

У следећој табели су дати резултати бактериолошке и физичко-хемијске анализе сирове воде реке Болованке. (табела 5.14. и 5.15)

Табела 5.14. Бактериолошке анализе реке Болованке

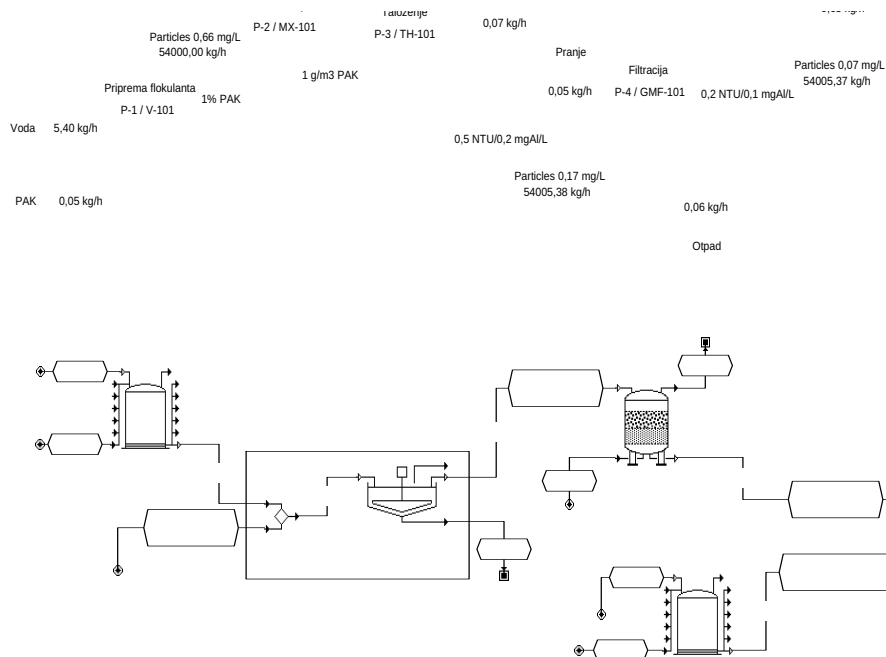
Анализа	Резултат	Норматив
Укупан број колиформних бактерија у 100 ml узорка одређена као највероватнији број MPN или мембран филтер метода	0	Пречишћена-0 Затворени извор-10 или 5 Отворени извор-100 или 10
Изоловање и идентификација колиформних бактерија фекалног порекла у 100 ml узорка	0	Све пијаће воде 0
Стрептококе фекалног порекла у 100 ml узорка	0	Све пијаће воде 0
Протеус врсте у 100 ml узорка	0	Све пијаће воде 0
Број сулфиторедукујућих спорогених бактерија у 100 ml узорка	0	Пречишћена-0 Затворени извор-1 Отворени извор-10
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> у 100 ml узорка	0	Све пијаће воде 0
Укупан број живих бактерија у 1 ml узорка на 37°C после 48 сати	<1	Пречишћена-10 Затворени извор-100 Отворени извор-300
Налаз: Према бактериолошком налазу, узорак воде одговара нормама Правилника обактериолошкој исправности воде за пиће (Сл.лист СРЈ, бр. 42/98).		

Табела 5.15. Физичко-хемијске анализе реке Болованке

Испитивано према:			Правилнику о параметрима еколошког и хемијског статуса површинских вода и параметрима хемијског и квантитативног статуса подземних вода	
Сензорна својства:			Изглед:	
			Мирис:	Без
			Укус:	Без
Редни број:	Параметар испитивања:	Јединица мере	Резултат	Напомена
1	Температура	°C	/	
2	Боја	°Co-Pt	0,4	
3	Мутноћа	NTU	0,44	
4	Конц. јона водоника (pH)	pH	7,1	
5	Оксидабилност (KmnO ₄)	mg/L	2,6	
6	Хлориди (Cl)	mg/L	6,7	
7	Амонијак (NH ₃)	mg/L	<0,02	
8	Нитрити (NO ₂)	mg/L	0,05	
9	Нитрати (NO ₃)	mg/L	0,25	
10	Остатак испарења	mg/L	87,5	
11	Електропроводљивост 20°C	µS/cm	125	
12	Сулфати	mg/L	17,3	
13	Ортофосфати	mg/L	0,004	
14	Феноли	mg/L	<0,001	
15	Цијаниди	mg/L	0,005	
16	Тврдоћа (укупна)	°dH	3,8	
17	Калцијум	mg/L	20	
18	Магнезијум	mg/L	8,5	
19	Алкалитет		M=1,1	
20	Кисеоник (одмах)	mg/L	9,4	
21	Биолошка потрошња кисеоника	mg/L	1,8	
22	Укупни фосфор	mg/L	0.096	

Налаз: Према физичко-хемијском налазу, узорак воде **одговара** условима наведеног Правилника (Сл.гласник РС, бр.28/2019).

У циљу моделовања и оптимизације процеса у SuperPro Design софтверском пакету направљена је технолошка шема процеса. Технолошка шема је користан алат за оптимизацију процеса пречишћавања воде јер пружа целовит преглед процеса и омогућава идентификацију потенцијалних побољшања и оптимизацијских могућности. Интеграција анализе технолошке шеме са другим методама оптимизације може пружити свеобухватан приступ унапређењу ефикасности и перформанси процеса. Технолошка шема је приказана на Слици 5.12. Детаљнији приказ је дат у Анексу 1.



Слика 5.12. Технолошка шема процеса пречишћавања воде

Повезивање SuperPro Design софтвера са технолошком шемом је кључно јер софтвер омогућава да се креирају дигитални модели процеса који рефлектују стварне оперативне услове и параметре. Ови дигитални модели омогућавају анализу перформанси процеса и идентификацију потенцијалних побољшања. Кроз симулацију различитих сценарија и експерименталних поставки, оптимизиран је процес пречишћавања воде да би се постигле боље перформансе, смањили трошкови или побољшао квалитет производа.

SuperPro Design софтвер користи методе оптимизације како би се аутоматски или итеративно идентификовали најбољи параметри процеса. Интеграција метода оптимизације дала је резултат који представља максимизацију ефикасности, минимизацију трошкова и оптимизацију квалитета пречишћене воде.

Једна од кључних оптимизација која је примењена је оптимизација дозирања хемикалија, као што су коагуланти и дезинфицијенси, како би се постигла максимална ефикасност процеса пречишћавања воде. Ова оптимизација укључује прилагођавање дозирања хемикалија у складу са променама у карактеристикама сирове воде или условима процеса како би се постигла оптимална коагулација, таложeње честица и дезинфекција воде.

Резултати моделовања и симулације процеса у SuperPro Design-у су приказани су на технолошкој шеми, на Слици 5.12., као и у Табели 5.16 и 5.17. Детаљнији приказ технолошке шеме је дат у Анексу 1.

Урађен је прорачун материјалног биланса и протока материјала, на основу предложеног поступка пречишћавања. За прорачун су узети следећи почетни подаци: Време операција 7920 сати годишње, односно 330 дана годишње. Остали дани су предвиђени за редовно и ванредно одржавање постројења. Полазни подаци се односе на количине и врсте материјала који учествују у укупном процесу, дати су у табели 5.16 и 5.17.

Табела 5.16. Извештај о материјалима и токовима

Ставка	Вредност
Годишње радно реме	7,920.00 h
Радни дани у години	330.00
МР (Процена)	Недефинисано
2.1 ПОТРЕБЕ ПОЧЕТНИХ МАТЕРИЈАЛА (по секцији)	
Секција	Почетни материјал
Главни Одељак	(ниједан)
2.2 ГРУБЕ МАТЕРИЈЕ (цео процес)	
Материјал	kg/god
РАК	427,728,771
Честице	285
Натријум хипохлорит	515
Вода	427,727,544
УКУПНО	427,728,771
2.3 ГРУБЕ МАТЕРИЈЕ (по секцији)	
СЕКЦИЈЕ У: Главна секција	
Секција	Материјал
Главни Одељак	РАК
	Честице
	Натријум хипохлорит
	Вода
	УКУПНО
2.4 ГРУБЕ МАТЕРИЈЕ: УКУПНЕ КОЛИЧИНЕ (kg/h)	
Сировина	Главни одељак
РАК	0.05
Честице	0.04
Натријум хипохлорит	0.07
Вода	54,006.00

Ставка	Вредност
УКУПНО	54,006.16
2.5 ГРУБЕ МАТЕРИЈЕ: УКУПНЕ КОЛИЧИНЕ (kg/god)	
Сировина	Главни одељак
РАК	428
Честице	285
Натријум хипохлорит	515
Вода	427,727,544
УКУПНО	427,728,771
2.6 ГРУБЕ МАТЕРИЈЕ (по материјалу)	
Материјал	РАК
Материјал	РАК
РАК % Укупно	100.00
Главни Одељак	Главна грана
Р-1	100.00
УКУПНО	100.00
Материјал	Честице
Материјал	Честице
Честице % Укупно	100.00
Главни Одељак	Главна Грана
Р-2	100.00
УКУПНО	100.00
Материјал	Натријум хипохлорит
Материјал	Натријум хипохлорит
Натријум хипохлорит % Укупно	100.00
Главни Одељак	Главна грана
Р-5	100.00
УКУПНО	100.00
Материјал	Вода
Материјал	Вода
Вода % Укупно	99.99
Главни одељак	Главна грана
Р-2	99.99
Р-4	0.00
Р-1	0.01

Ставка	Вредност
P-5	0.00
УКУПНО	100.00
3. ДЕТАЉИ ТОКА	
Име тока	NaOCl
Извор	УЛАЗ
Одредиште	P-5
Својство	NaOCl
Активност (U/ml)	0.00
Температура (°C)	25.00
Притисак (бар)	1.01
Густина (g/L)	994.70
Укупна Енталпија (kW-h)	0.00
Специфична Енталпија (kcal/kg)	25.11
Капацитет Топлоте (kcal/kg-°C)	1.00
Количина компоненти (kg/h)	NaOCl
РАК	0.00
Натријум хипохлорит	0.07
Вода	0.00
УКУПНО (kg/h)	0.07
УКУПНО (L/h)	NaOCl
	0.07
Име тока	Вода
Извор	УЛАЗ
Одредиште	P-1
Својства	Вода
Активност (U/ml)	0.00
Температура (°C)	25.00
Притисак (bar)	1.01
Густина (g/L)	994.70
Укупна енталпија (kW-h)	0.16
Специфична енталпија (kcal/kg)	25.11
Капацитет топлоте (kcal/kg-°C)	1.00
Количина компоненти (kg/h)	Вода
РАК	0.00
Честице	0.00

Ставка	Вредност
Вода	5.40
УКУПНО (kg/h)	5.40
УКУПНО (L/h)	Вода
	5.43
Име тока	0,5 NTU/0,2 mgAl/L
Извор	P-3
Одредиште	P-4
	ИЗЛАЗ
Својства	0,5 NTU/0,2 mgAl/L
Активност (U/ml)	0.00
Температура (°C)	25.00
Притисак (bar)	1.01
Густина (g/L)	994.70
Укупна енталпија (kW-h)	1,575.99
Специфична енталпија (kcal/kg)	25.11
Капацитет топлоте (kcal/kg-°C)	1.00
Количина компоненти (kg/h)	0,5 NTU/0,2 mgAl/L
РАК	0.01
Честице	0.01
Вода	54,005.36
УКУПНО (kg/h)	54,005.38
УКУПНО (L/h)	0,5 NTU/0,2 mgAl/L
	54,292.90
Име тока	0,2 NTU/0,1 mgAl/L
Извор	P-4
Одредиште	P-6
Својства	0,2 NTU/0,1 mgAl/L
Активност (U/ml)	0.00
Температура (°C)	25.00
Притисак (bar)	1.01
Густина (g/L)	994.70
Укупна енталпија (kW-h)	1,575.99
Специфична енталпија (kcal/kg)	25.11
Капацитет топлоте (kcal/kg-°C)	1.00
Количина компоненти (kg/h)	0,2 NTU/0,1 mgAl/L

Ставка	Вредност
РАК	0.01
Честице	0.00
Натријум хипохлорит	0.00
Вода	54,005.36
УКУПНО (kg/h)	54,005.37
УКУПНО (L/h)	0,2 NTU/0,1 mgAl/L
	54,292.89
4. БАЛАНС КОМПОНЕНТИ (кг/god)	
Компонента	Улаз (кг/год)
РАК	428
Честице	285
Натријум хипохлорит	515
Вода	427,727,544
Укупно	427,728,771
5. САДРЖАЈ ОПРЕМЕ	
Одељење	Опрема
Цео процес је континуалан	-

Табела 5.17. Извештај о опреми

Име	Тип	Јединице	Припремно/Наизменично	Величина (Капацитет)	Цена по јединици (\$/Јединици)	Укупна цена (\$)
V-103	Танк са равним дном	1	0/0	30.00 m ³	57,000	57,000
V-101	Танк са равним дном	1	0/0	500.00 L	38,000	38,000
V-102	Танк са равним дном	1	0/0	500.00 L	38,000	38,000
GMF-101	Филтер са гранулираним медијумом	1	0/0	0.00 m ³	192,000	192,000
MX-101	Мешалица	1	0/0	54,005.45 kg/h	0	0
ТН-101	Згушњивач	1	0/0	3.00 m ²	23,000	23,000
Ставка				Вредност		
Опрема				V-103 (Танк са равним дном)		
Величина опреме				Постављено од корисника		
Број јединица				1.00		
Број резервних јединица				0.00		
Број јединица наизменично				0.00		
Фактор инсталације				0.50		
Фактор одржавања				0.10		
Фактор алокације трошкова				1.00		
Стопа коришћења				100.00 \$/h опреме		
Стопа доступности				100.00 \$/h		
Материјал конструкције				SS316		
Трошак куповине				57,000.00 \$/јединица		
Максимални обим				200.00 m ³		
Минимални радни/обим суда				0.00 %		
Максимални радни/обим суда				99.00 %		
Запремина				30.00 m ³		
Висина				7.01 m		
Дизајн притисак				1.52 bar		
Стандарди конструкције				ASME		
Пречник				2.34m		
Ставка				Вредност		

Ставка	Вредност
Опрема	V-101 (Танк са равним дном)
Величина опреме	Поставља корисник
Број јединица	1.00
Број резервних јединица	0.00
Број јединица наизменично	0.00
Фактор инсталације	0.50
Фактор одржавања	0.10
Фактор алокације трошкова	1.00
Стопа коришћења	100.00 \$/h опреме
Стопа доступности	100.00 \$/h
Материјал конструкције	SS316
Цена куповине	38,000.00 \$/јединица
Максимални обим	200,000.00 L
Минимални радни/обим суда	0.00 %
Максимални радни/обим суда	99.00 %
Обим	500.00 L
Висина	1.79 m
Дизајн притисак	1.52 bar
Стандард изградње	ASME
Пречник	0.60m
Ставка	Вредност
Опрема	V-102 (Танк са равним дном)
Величина опреме	Поставља корисник
Број јединица	1.00
Број резервних јединица	0.00
Број јединица наизменично	0.00
Фактор инсталације	0.50
Фактор одржавања	0.10
Фактор алокације трошкова	1.00
Стопа коришћења	100.00 \$/h опреме
Стопа доступности	100.00 \$/h
Материјал конструкције	SS316
Цена куповине	38,000.00 \$/јединица
Максимални обим	200,000.00 L
Минимални радни/обим суда	0.00 %

Ставка	Вредност
Максимални радни/обим суда	99.00 %
Обим	500.00 L
Висина	1.79 m
Дизајн притисак	1.52 bar
Стандард изградње	ASME
Пречник	0.60m
Ставка	Вредност
Опрема	GMF-101 (Филтер грануларног медијума)
Величина опреме	Израчунато
Број јединица	1.00
Број резервних јединица	0.00
Број јединица наизменично	0.00
Фактор инсталације	0.20
Фактор одржавања	0.10
Фактор алокације трошкова	1.00
Стопа коришћења	100.00 \$/h опреме
Стопа доступности	100.00 \$/h
Материјал конструкције	Бетон
Цена куповине	192,000.00 \$/јединица
Дубина слоја	0.00 m
Пречник слоја	0.00
Ставка	Вредност
Опрема	MX-101 (Мешалица)
Величина опреме	Израчунато
Број јединица	1.00
Број резервних јединица	0.00
Број јединица наизменично	0.00
Фактор инсталације	0.50
Фактор одржавања	0.10
Фактор алокације трошкова	1.00
Стопа коришћења	100.00 \$/h опреме
Стопа доступности	100.00 \$/h
Материјал конструкције	CS (Челик)
Цена куповине	0.00 \$/јединица
Процењени капацитет	54,005.45 kg/h

Ставка	Вредност
Опрема	ТН-101 (Згушњивач)
Величина опреме	Постављено од корисника
Број јединица	1.00
Број резервних јединица	0.00
Број јединица наизменично	0.00
Фактор инсталације	0.20
Фактор одржавања	0.15
Фактор алокације трошкова	1.00
Стопа коришћења	100.00 \$/h опреме
Стопа доступности	100.00 \$/h
Материјал конструкције	Бетон
Цена куповине	23,000.00 \$/јединица
Конфигурација резервоара	Кружна
Површина	3.00 m ²
Дубина резервоара	5.60 m
Пречник резервоара	1.95 m
Обим резервоара	16.80 m ³
ПОТРОШНИ МАТЕРИЈАЛИ ОПРЕМЕ	
Не постоје потрошни материјали у процесу	
АУКСИЛИЈАРНА ОПРЕМА	
У процесу се не користи аукселијарна опрема	

Након детаљне анализе и разматрања технолошког процеса пречишћавања воде, долази се до следећих закључака:

Ефикасност процеса: Технолошки процес пречишћавања воде који је описан има солидну основу и покрива кључне кораке у обезбеђивању висококвалитетне воде за пиће. Процес користи класичне методе пречишћавања попут коагулације, филтрације и дезинфекције, што је у складу са стандардним праксама у индустрији.

Квалитет пречишћене воде: Анализом процеса уочавамо да се посебна пажња посвећује обезбеђивању квалитета пречишћене воде, што је од суштинског значаја за задовољавање потреба корисника и регулаторних захтева. Коришћење коагуланата, филтрационих система и дезинфекционих средстава као што је NaOCl омогућава ефикасно уклањање загађивача и микроорганизама из воде.

Потенцијал за оптимизацију: Иако процес функционише ефикасно, увек постоји простор за оптимизацију ради побољшања перформанси, смањења трошкова и повећања одрживости. Једна од кључних области за оптимизацију је дозирање хемикалија, као што су коагуланти и дезинфицијенси, како би се постигла оптимална ефикасност процеса уз минималну потрошњу ресурса.

Континуирана анализа и унапређење: Важно је нагласити да оптимизација процеса није једнократни процес, већ захтева континуирану анализу, надгледање и унапређење. Редовно праћење перформанси процеса, праћење промена у карактеристикама сирове воде и имплементација најбољих пракси и технолошких иновација кључни су за одржавање ефикасног и поузданог процеса пречишћавања воде.

Технолошки процес пречишћавања воде који је развијен представља основу за обезбеђивање висококвалитетне воде за пиће, али постоји простор за даљу оптимизацију ради постизања још бољих перформанси и одржавања високог стандарда квалитета воде. Важно је да се настави са анализом, иновацијама и имплементацијом најбољих пракси како би се осигурало да процес буде ефикасан, одржив и способан да испуни све захтеве и очекивања корисника и регулаторних тела.

Осим онога што је већ речено, може се додати неколико додатних тачака:

Контрола квалитета: важно је истаћи значај система за контролу квалитета у процесу пречишћавања воде. Редовно узорковање и анализа воде током процеса кључни су за откривање евентуалних проблема и осигурање да вода задовољава све стандарде квалитета и безбедности пре него што буде пуштена у дистрибуцију.

Обука особља: едукација и обука особља које ради на постројењу за пречишћавање воде од виталног је значаја за ефикасно управљање процесом. Особље треба бити упознато са свим фазама процеса, опремом и процедурама како би могли правилно да рукују опремом и реагују на евентуалне проблеме или ванредне ситуације.

Одржавање опреме: редовно одржавање опреме је кључно за очување њене функционалности и спречавање кварова. Планирано одржавање треба бити интегрисано у оперативне процедуре како би се минимализирало време неактивности опреме и осигурало непрекидно функционисање процеса.

Употреба одрживих приступа: разматрање одрживих приступа у процесу пречишћавања воде може допринети смањењу утицаја на животну средину и трошкова. То може укључивати коришћење обновљивих извора енергије, смањење потрошње хемикалија и воде, као и рециклирање и поновну употребу отпадних материјала.

Додавање ових аспеката може допринети комплетнијем и свеобухватнијем прегледу технолошког процеса пречишћавања воде и нагласити значај одговорног управљања, одрживости и континуираног унапређења.

Интеграција одговорног управљања, одрживости и континуираног унапређења у технолошки процес пречишћавања воде има директну и позитивну везу са заштитом животне средине.

Одговорно управљање: имплементација стандарда и прописа који се односе на заштиту животне средине осигурава да се процеси пречишћавања воде изводе на начин који минимизира потенцијалне негативне утицаје на околину. Ово укључује правилно одлагање отпадних материјала, контролу емисија штетних гасова и течности, као и праћење и управљање потенцијалним ризицима за животну средину.

Одрживост: фокус на одрживост подразумева оптимизацију процеса пречишћавања воде како би се смањила потрошња ресурса као што су вода, енергија и хемикалије. Смањење потрошње ресурса не само да доприноси смањењу трошкова пословања, већ и смањује негативне утицаје на животну средину, смањујући еколошки отисак постројења за пречишћавање воде.

Континуирано унапређење: непрестано тражење нових начина за побољшање перформанси процеса пречишћавања воде, уз смањење утицаја на животну средину, кључно је за одржавање дугорочне одрживости. Кроз континуирано унапређење, могу се идентификовати и имплементирати иновативне технологије и праксе које смањују негативне утицаје на животну средину, док истовремено побољшавају ефикасност и економичност процеса.

Укратко, одговорно управљање, одрживост и континуирано унапређење у технолошком процесу пречишћавања воде не само да доприносе заштити животне средине већ и осигуравају дугорочну одрживост индустрије пречишћавања воде и очување природних ресурса за будуће генерације.

6. АНАЛИЗА ПОТЕНЦИЈАЛНОГ КОРИШЋЕЊА ВОДНИХ РЕСУРСА ЗА ПРОИЗВОДЊУ ВОДЕ ЗА ПИЋЕ

Општина Штрпце, која има око 4000 – 4500 становника, добија воду за пиће из извора који се налази непосредно испод ушћа реке Болованке у реку Калуђерку. Капацитет извора износи 6 – 8 l/s, али је директно повезан са речним током, што доводи до замућења извора када се мути речна вода. Сирова вода са извора се директно убацује у постојећи нови резервоар запремине 300 m³, где се најпре хлорише „Жавеловом водом”. Пре неколико година изграђена је нова водоводна мрежа, која је везана за наведени резервоар.

Због повременог замућења воде на извору, често се довод воде затвара и вода искључује из система водоснабдевања. Други проблем који се јавља у последње време јесте и појава бактериолошког загађења.

Из наведених разлога, потребно је пронаћи други извор водоснабдевања и становништву обезбедити здраву воду за пиће. Решење је да се вода узима из тока реке Болованке узводно од насеља и рудника, да се доведе гравитационо до близу постојећег резервоара, пречисти до захтеваног степена, хлорише и улије у постојећи резервоар.

Река Калуђерка, која има значајно више воде, није погодна за водоснабдевање због значајног загађења. Узводни слив реке Болованке је ненасељен и нема могућности загађења. Процењена минимална количина воде износи од 30 до 40 l/s, што омогућава узимање дела воде за водоснабдевање.

6.1. Концепција решења водоснабдевања

На удаљености од око 1350 m од ушћа у реку Калуђерку терен је погодан за прикупљање речне воде. Прикупљена сирова вода гравитацијом се одводи до будуће локације постројења за пречишћавање воде. На око 50 m од постојећег резервоара постоји место за смештај објекта за третман речне воде.

Након пречишћавања вода се излива у постојећи резервоар. Довод сирове воде долази шумским путем све до насеља. Решење за пречишћавање воде капацитета 15 l/s је довољно за садашњи број становника, уз могућност проширења за додатних 15 l/s у будућности.

На основу анализе долази се до закључка да се:

- Захват воде се на 30 l/s са формирањем зона санитарне заштите
- Довод сирове воде се такође димензионише на 30 l/s

- Постројење за пречишћавање биће 15 l/s у првој фази уз остављање простора за евентуалну доградњу још једне јединице.
- У склопу постројења биће резервоар од прохромазапремине 29 m³, који ће служити за хлорисање воде, тј. за обезбеђење контактнoг времена хлора и воде.
- У склопу постројења биће и посебне пумпе за другу висинску зону. Потисни цевовод ће се прикључити на постојећи гравитациони цевовод истог пречника и воду потискивати у постојећи резервоар II зоне, запремине око 70 m³.

6.2. Анализа водног ресурса

Слив Болованске реке, који се налази код Штрпца, има денаритичну дренажну мрежу. Ова мрежа има неравномерну пропусност воде кроз стене у сливу. Хипсометријска анализа показује да је слив Болованске реке склоњен ка бујицама.

Слив реке представља територију на којој се прикупља вода и отиче преко једног главног потока. Слив Болованске реке се налази код општине Штрпца.

Денаритична дренажна мрежа је врста дренажне мреже која се карактерише тиме да вода отиче кроз водоносни слој према неколико претходно формираних главних потока. То значи да су воде у сливу релативно концентрисане у неколико главних канала, што може довести до неравномерног пропуштања воде кроз стене. Овај феномен је познат као анизотропија водоносности стена.

Хипсометријска анализа је метода којом се анализира висински профил терена у сливу. Овај метод може да нам пружи информације о склоности слива ка бујицама, што значи да је склоњен ка великим количинама воде у кратком временском периоду. Ово је важно због проблема са поплавама и потенцијалне штете за инфраструктуру и становништво у близини слива.

Основни биланс вода Болованске реке одређен је на основу следећих елемената:

- P – падавине на годишњем нивоу (P=1150 mm)
- F – површина слива Болованске реке до преградног места (F=10 km²)
- E + T + I – евапорација, транспирација и инфилтрација је 30% од падавина (E+T+I=90%P)
- Q – површински отицај је 10% од падавина (Q=10%P)

Средњи проток Болованске реке на годишњем нивоу на преградном месту јужно од Штрпца је:

$$Q=36 \text{ l/s}$$

односно, средњи проток Болованске реке на преградном месту је 10% од количине падавина за површину слива од $F=10 \text{ km}^2$.

Овде се описује основни биланс вода Болованске реке, који описује количину воде која улази и излази из система за одређену површину слива. У овом случају, површина слива је 10 km^2 , а падавине на годишњем нивоу су 1150 mm . Постоје три начина на које се ова количина воде може изгубити:

Евапорација, која се односи на количину воде која испарава са површине и не успева да достигне у реку. У овом случају, евапорација је 30% од падавина, што значи да од 1150 mm падавина, 30% (345 mm) се губи кроз евапорацију.

Евапорација је процес у којем вода прелази из течног у гасовито стање. Овај процес се одвија када се вода загреје и претвори у паре које се подижу у ваздух. Евапорација се одвија на површини водених тела као што су језера, реке, океани и други водени резервоари, али и на површинама тла. У контексту Болованске реке, евапорација представља део водног биланса који рачуна количину воде која се враћа у атмосферу кроз процесе евапорације и транспирације.

Транспирација, која се односи на количину воде која се узима из земљишта и испушта у ваздух кроз биљне структуре. Транспирација такође чини 30% од падавина, што значи да од 1150 mm падавина, још 30% (345 mm) се губи кроз транспирацију.

Транспирација је процес испаравања воде из листова, стабла и корена биљака у околину. У сушним условима, када постоји више потреба за водом него што је доступно у земљишту, биљке могу апсорбовати воду из дубљих слојева земљишта и испуштати је кроз своје стомате, где се онда испарава у атмосферу. Транспирација игра важну улогу у водном циклусу и помаже у одржавању влажности ваздуха и земљишта, што је од великог значаја за биљке и животиње које живе у тим окружењима. У контексту Болованске реке, транспирација је један од елемената водног биланса који укључује и евапорацију и инфилтрацију.

Инфилтрација, која се односи на количину воде која улази у земљиште и не излази одмах кроз површински отицај или евапорацију/транспирацију. Инфилтрација чини 30% од падавина, што значи да од 1150 mm падавина, још 30% (345 mm) пролази кроз инфилтрацију.

Инфилтрација је процес у којем вода улази у тло и у природне рупе у земљи. Када падну кише, вода може отећи по површини земље као површински отицај, или се може улити у земљу кроз отворе и поре у тлу. Инфилтрација игра важну улогу у хидролошком циклусу јер се вода која се инфилтрује може задржати у тлу као водени резервоар и кроз

различите процесе путем којих ће повратити у атмосферу, или се спустити до подземних вода

Остављених 10% од падавина (115 mm) представља површински отицај (Q), што значи да та количина воде стиже до реке кроз површински отицај.

Средњи проток Болованске реке на преградном месту је измерен на 36 l/s, а овај проток представља 10% од количине падавина за површину слива од 10 km². Ово значи да је у просеку 360 l/s.

Површински отицај (Q) је количина воде која отиче с површине земље на основу падавина (P) које су пале на ту површину. Каже се да је Q једнак 10% P, што значи да је 10% падавина отекло са површине земље у реку, поток или друге водотокове који се налазе у сливу Болованске реке. Овај параметар је важан за одређивање количине воде која се укупно улива у реку из њеног слива, али и за одређивање количине воде која може бити доступна за различите кориснике, као што су биљке, животиње и људи, у зависности од расподеле воде у оквиру слива.

Средњи проток реке представља количину воде која протече кроз реку у јединичном временском периоду (на пример, l/s). У овом случају, средњи проток Болованске реке на преградном месту јужно од Штрпца износи 36 l/s.

Такође је наведено да је површински отицај (Q) на овом месту 10% од количине падавина (P) за површину слива од 10 km² (F). Ово значи да се 10% од укупне количине падавина које падну на ову површину (1150 mm годишње) одводи кроз реку.

Уколико знамо површину слива и количину падавина, можемо приближно проценити количину воде која протиче кроз реку у одређеном временском периоду. Ова информација је корисна за планирање и управљање водним ресурсима, као и за процену ризика од поплава.

Терен слива Болованске реке изграђен је од геолошко-хидрогеолошких формација:

- F_{gl} – глацио-флувијалних елемената. Они припадају водоносној средини.
- J – дијабаз-рожна формација са пукотинском структуром порозности. Они припадају слабоводоносним срединама.
- T_{2,3} – масивни и мермерисани кречњаци са диолуционом порозношћу и припадају водоносним стенама.
- σ – ултрабазичне стене са пукотинском структуром порозности који припадају слабоводоносним срединама.
- Se – серпентинити са пукотинском структуром порозности и малом водоносношћу.
- A – амфиболити са пукотинском структуром порозности и незнатном водоносношћу.

- P, T – антинолитски шкриљци и филити, практично водонепропусне стене.
- S_{ab} – албитски и биотитски шкриљци, практично водонепропусна средина.

Река Болованска налази се на месту јужно од Штрпца, на коме јој је средњи проток 36 l/s. Ова река протиче кроз терен са различитим геолошко-хидрогеолошким формацијама, укључујући водоносне средине, као што су глацио-флувијални елементи, масивни кречњаци, и ултрабазичне стене, као и слабоводоносне средине, као што су дијабаз-рожна формација и серпентинити. Највећи део терена слива Болованске реке карактерише се пукотинским изданима, који имају отворену хидрогеолошку структуру. Режим пукотинских издани је вододелични и приобалног типа, са режимом храђења водама у већој мери повезаним са вадозним водама (атмосферским водама). Пукотински издани дренирају се преко површинских токова, где постоји хидрауличка веза са подземним водама. Речни биланс у овом сливу зависи од протока површинских и подземних вода, који је директно повезан са вадозним водама. Режим падавина има значајан утицај на проток реке, а слив Болованске реке има низак режим падавина. Важно је имати у виду да речна мрежа у овом сливу није развијена, што додатно утиче на биланс вода.

Највећи део храђења водотока Болованске реке произлази из атмосферских вода, односно вадозних вода. Када падну кише, вода протиче по површинама земљишта и отиче у реку, при чему се део те воде упија у земљу. Вода у подземном делу речног слива је повезана са водом на површини, што значи да када се река напуни, део воде ће исто тако отећи и кроз земљу. То значи да је биланс вода у реци зависан од количине атмосферских вода, односно количине воде која доспе у земљу и доприноси подземним водама у току сувих периода.

Дакле, вода у Болованској реци добија своје изворе пре свега из вадозних вода (атмосферских вода) које протичу по површинама земљишта и на тај начин доприносе подземним водама. Ово има важне последице за креирање биланса вода у реци, који је директно зависан од количине атмосферских вода које падну у речном сливу.

На основу геолошке грађе терена, спроведених шљицовања и бушења, констатовано је да на дубини од 2,0 m до 3,0 m од површине терена постоји водопрпусна подина која се састоји од албитских и биотетских шкриља.

На основу ове анализе се може закључити да се на дубини од 2,0 m до 3,0 m од површине терена налази водопрпусна подина која може служити као извор воде. Ова подина се може користити за снабдевање водом за потребе животне средине или за водоснабдевање становништва. Ова информација је значајна за планирање и израду пројеката за водоснабдевање и управљање водним ресурсима на овом подручју.

6.3. Избор технолошког решења за пречишћавање воде

Када се разматрају могућа решења за процесе пречишћавања воде, од кључног значаја су подаци о квалитету сирове воде.

Када се разматрају могућа технолошка решења за процесе пречишћавања воде, од кључног значаја су подаци о квалитету сирове воде, укључујући њену хемијску композицију, контаминације, биолошке параметре и физичка својства. Ови подаци пружају информације о специфичним загађивачима и представљају основу за одабир адекватног технолошког решења за ефикасно пречишћавање воде. Важно је анализирати различите могућности и предности различитих технологија, као што су филтрација, хемијско пречишћавање, ултравиолетно дезинфицирање, како би се осигурао оптималан квалитет воде и задовољавање стандарда за питку воду или друге специфичне потребе. Критеријуми које треба разматрати укључују ефикасност пречишћавања, трошкове операције и одржавања, лоцираност система, заштиту животне средине и способност адаптације на различите услове сирове воде

6.3.1. Квалитет сирове воде

Извршена је анализа параметара у сировој води и упоредба њихових вредности са прописаним максималним дозвољеним концентрацијама (МДК вредности). На основу тога, можемо издвојити следеће карактеристичне групе података:

А. Параметри чије се вредности налазе изнад максимално дозвољених су:

1. Боја: Сви узорци сирове воде измерени су да не садрже боју (0°Pt-Co), међутим, с обзиром на то да су узорци узети из речног тока и да нису измерене повећане вредности мутноће, уклањање евентуалне боје у сировој води захтева уклањање мутноће (јер исте материје које условљавају појаву мутноће такође утичу на појаву боје).
2. Мутноћа (T_u): У већини узорака, мутноћа воде је између 0,2 и 2 NTU, што је више од максимално дозвољених 1 NTU. Међутим, ови нивои мутноће су и даље далеко испод нормалних нивоа мутноће за воду, који обично варирају између 50 и 100 NTU.
3. Електропроводљивост: Измерене вредности електричне проводљивости воде су у опсегу од 100,0 до 300,0 mg/l, што је много мање од прописаних ограничења. С обзиром на то да су ове вредности унутар прописаних граница, овај параметар не захтева додатно пречишћавање.
4. Мирис и укус: Ниједан узорак воде није показао присуство овог параметра, што значи да није значајан за процес пречишћавања воде.

5. Гвожђе и манган: Ни у једном узорку воде нису примећене вредности гвожђа и мангана изнад дозвољених граница, тако да ови параметри нису битни за процес пречишћавања воде.

6. У већини узорака воде примећено је повећање концентрације аеробних мезофилних бактерија, са вредностима између 10 и 35 ml⁻¹, што је значајно више од прописаних МДК вредности од 10 ml⁻¹.

7. Укупне колиформне бактерије: У највећем броју узорака нису нађене колиформне бактерије (0/100 ml),

8. Колиформне бактерије фекалног порекла: Нису пронађене.

9. Стрептококе фекалног порекла: Нису пронађене.

Б. Параметри чије се вредности налазе близу МДК вредности или су значајно ниже од МДК вредности, али су исто тако карактеристичне:

1. Потрошња $KmnO_4$: Измерене вредности потрошње $KmnO_4$ су у распону од 1,80 до 6,60 mg/l, што је значајно испод максимално дозвољених вредности (МДК) од 8 mg/l. То указује на то да је ниво органских материја у води веома низак, што омогућава безбедно коришћење хлора за процес дезинфекције воде.

Међутим, када је сирова вода мутна, повећава се параметар $KmnO_4$. Измерене вредности иду и до 20 mg/l. После пречишћавања садржај $KmnO_4$ пада испод 8 mg/l.

Потрошња $KmnO_4$ се узима у обзир током процеса пречишћавања воде, али њено смањење је повезано са поступком бистрења воде. Остали параметри су показали стабилне вредности које су у свим узорцима биле испод прописаних МДК вредности, али нису одређивали значајно квалитет сирове воде.

Узимајући у обзир да се претходно саопштени квалитет сирове воде може сматрати коначним за усвајање процеса пречишћавања, сирова вода се може окарактерисати на следећи начин:

- повремено се појављују повишене вредности мутноће (и преко 100 NTU) и релативно мале повишене вредности боје, у највећем броју узорака њихове вредности су испод одговарајућих МДК;
- сирова вода је нискоминерална (према вредностима електропроводљивост и сувог остатка) и релативно мека (укупна тврдоћа);
- вредности потрошње калијум-перманганата ($KMnO_4$) су веома ниске, као и вредност укупног органског угљеника, UOU (ТОС), што значи да је садржај органских материја веома низак

- садржаји гвожђа, мангана и амонијака су у целини веома ниски и није их потребно уклањати;
- сирова вода повремено поседује микробиолошко загађење, због чега је неопходно у склопу процеса пречишћавања применити и дезинфекцију (која је уосталом и законска обавеза).

Табела 6.1. Мередавни квалитет сирове воде

Број	Параметар	Мередавне вредности	МДК вредности
1	Боја	<7,5 °Pt-Co	5 °Pt-Co
2	Мутноћа	<100 NTU	1,0 NTU
3	Потрошња $KmnO_4$	< 8 mg/l	8,0 mg/l
4	pH	-	6,8 – 8,5
5	Укупне аеробне мезофилне бактерије	300 ml ⁻¹	300 ⁻¹

6.3.2. Избор технолошког решења

Као критеријуми за избор технолошког решења могу се прихватити:

- Ефекат пречишћавања
- Флексибилност рада при погоршању квалитета сирове воде
- Могућност инвестиционих улагања.

6.3.3. Потенцијална технолошка решења

Имајући у виду квалитет сирове воде који је претходно дефинисан, постоји више опција за процесе пречишћавања који се могу користити у техничкој пракси за уклањање привремено повећаних вредности мутноће (и боје), као и повећаног броја микроорганизама у води за пиће. Како је раније наведено, амонијак и органске материје (које су присутне у облику колоидних материја) не захтевају уклањање, мада постоје технологије које могу да уклоне ове супстанце у случају привременог повећања ових вредности изнад одговарајућих МДК вредности. Постоје две основне технологије које се користе:

1. Један од начина пречишћавања сирове воде који се може применити у пракси укључује додавање коагуланата и флокуланата, таложење и филтрацију на брзим гравитационим филтерима. Коагулант дестабилизује колоидне материје чије присуство изазива појаву мутноће и боје у води. Након дестабилизације, честице се укрупњавају

додавањем флокуланата, што олакшава њихово издвајање из воде филтрацијом или таложењем, и

2. У овом технолошком решењу, такође се користе коагуланти и флокуланти за дестабилизацију колоидних материја и укрупњавање честица, али се уместо брзих гравитационих филтера користе филтери под притиском. Филтери под притиском омогућавају бржу филтрацију, често до 20 m/h, у поређењу са 7–8 m/h код гравитационих филтера. Хемикалије се дозирају у цевоводима испред филтрационих јединица, а класично таложење није потребно.

Коагулација, флокулација, таложење и филтрација на брзим гравитационим филтерима и дозирање коагуланата, флокуланата и филтрација на филтерима под притиском су оба поступка који се користе у третману воде за пиће. Сваки од ових поступака има своје предности и недостатке. Прва метода је једноставнија и јефтинија за реализацију, али захтева дуже време за филтрацију и мању брзину, што значи да је потребно више филтера и више процеса да би се постигао исти квалитет воде. С друге стране, друга метода је бржа, захтева мање филтера и мање времена за филтрацију, али је скупља и комплекснија за реализацију. Обе методе су ефикасне у уклањању загађивача из воде, али је важно одабрати методу која најбоље одговара конкретној ситуацији и условима.

Примена првог технолошког решења је у пракси дуготрајна, па се често назива класичном технологијом за уклањање мутноће и колоидних материја из воде. Основна идеја дестабилизације је да се наелектрисање на површини колоидних честица уклони неутрализацијом, што чини честице ненасељеним у води. Коагулациони агенси (Al_3^+ или Fe_3^+ јони) се користе за остваривање ове неутрализације, која је припремљена за позитивно наелектрисане јоне. Флокулациони агенси доводе до формирања флокула, које су довољно велике да се таложењем и/или филтрацијом лако уклоне из воде.

Први корак у процесу обухвата дозирање коагуланата и/или флокуланта у воду, уз интензивно мешање, како би се постигао максималан ефекат коагулације и/или флокулације. Након тога, припремљена вода се гравитационо одводи на таложење (путем ламеларног сепаратора) и филтрацију (помоћу класичних брзих гравитационих филтера са испуна од кварцног песка). Након процеса филтрације, вода се гравитационо сакупља у резервоару чисте воде, где се врши хлорисање. Коначно, пречишћена и дезинфикована вода се гравитационо транспортује у дистрибутивну мрежу.

Процес је врло ефикасан у уклањању мутноће, што је резултат уклањања стабилованих колоидних материја које изазивају мутноћу и/или боју воде. Параметри процеса су регулисани на релативно ниским вредностима у поређењу са одговарајућим меродавним квалитетним стандардима, што доприноси високој ефикасности процеса. Због тога је предвиђено прање филтера нехлорисаном водом, како се микробиолошке културе

које су одговорне за уклањање амонијака не би уклониле (у случају када је уклањање амонијака неопходно).

Ово технолошко решење има две основне ограничености. Прва се односи на потребу за великом површином филтрације, због ниског оптималног темпа филтрације од 7 до 7,5 m/h. Ова ограниченост може повећати потребу за простором и ресурсима. Друга ограниченост се односи на чишћење филтера, што захтева коришћење чисте воде и може резултовати губитком дела кварцног песка. Међутим, већи део песка може бити враћен у процес после таложења и уклањања суспендованих честица.

Постоји друго технолошко решење, односно алтернатива претходном решењу, које може да замени претходно описано решење, а то је процес коагулације и филтрације под притиском на затвореним филтерима. Овај процес има исти ефекат у уклањању мутноће, боје и амонијака у сировој води, али захтева значајно већу потрошњу енергије јер је неопходан притисак од најмање 2 бара да би филтери оптимално функционисали. Овај процес је аутоматизован, са PLC уређајем који управља процесом прање филтера на самој филтер јединици. Додатна предност овог решења је што се прање филтер јединица обавља филтрираном водом. Међутим, ниво инвестиционих улагања у опрему је већи него код првог решења.

Према наведеним критеријума, повољније је варијантно решење са затвореним филтерима јер је количина воде мала.

6.3.4. Избор локације

За избор локације је потребно да су испуњени следећи услови:

- повољни природни услови за формирање захвата;
- повољни висински положај;
- лако формирање зона санитарне заштите;
- узводни слив је незагађен и није потенцијално угрожен од будућих загађивача.

На основу геолошке грађе терена, спроведених шљицовања и бушења, констатовано је да на дубини од 2,0 m до 3,0 m од површине терена постоји водопропусна подина која се састоји од албитских и биотетских шкриља.

Албитски шкриљци су седиментарна стена која се састоји од албита, каолинита и кварца. Ова стена је обично водонепропусна, међутим, у неким случајевима може бити пропусна за воду када су налазишта пропусних материјала између слојева.

Биотетски шкриљци су такође седиментарна стена, али се састоје од органских материјала, глине и калцијум-карбоната. За ову стену је карактеристична висока пропусност за воду.

Основно значење овога је да је на дубини од 2,0 m до 3,0 m од површине терена пронађена водопрпусна подина која може служити као извор воде. Могуће је да ће ова подина бити корисна за снабдевање водом за потребе животне средине или за водоснабдевање становништва.

Ово је важна информација за планирање и израду инфраструктуре за водоснабдевање и управљање водним ресурсима на том подручју.

6.4. Димензионисање технолошког процеса пречишћавања за услове одређене избором локације и водног ресурса

Процес пречишћавања сирове воде дефинисан је класичном технологијом: контактом, коагулацијом, филтрацијом и дезинфекцијом. Ова технологија се данас углавном користи код ППВ мањег капацитета, па је зато била логичан избор за дате услове.

6.4.1. Флокулација и таложење

Коагулација

Коагулација има различите функције, као што су: издвајање суспендованих честица (бистрења), везивање растворених органских материја (РОМ) у флок и њихово уклањање из суспензија, везивање јона метала и металоида у флок и истовремено уклањање из водене фазе приликом таложења и филтрације. Ефикасност извршавања ових задатака коагулацијом зависи од коагулационих средстава и услова коагулације и сепарације флока, који се дефинишу.

Јединице за коагулацију (контактни резервоар)

У складу са природним процесом коагулације, примењен је поступак који се састоји из фаза: дестабилизације постојећих флокула у сировој води уз истовремено ефикасно мешање коагуланата, затим смањења интензитета мешања да би се формирале мицеле и створио флок који је пригодан за сепарацију из водене масе.

Коагулација се обавља у јединици за коагулацију, коју чине следеће јединице:

- механички реактор, брзи мешач,
- први степен спорог мешања,

- други степен спорог мешања.

Потребан унос механичке енергије за неутрализације набоја и интиман контакт честица у раствору са коагулационим средствима дефинисан је средњим градијентом брзине:

$$G_{sr} = \left(\frac{P}{\mu V} \right)^{1/2} \quad (6.2)$$

P – дисипациона енергија

V – запремина реактора

μ – вискозитет воде.

Према искуственим подацима, код примене коагулационих средстава најбоље ефекте дају вредности G_{sr} од 500 до 1000 s^{-1} , са временом од 10 до 30s. Ал полимер захтева нешто нижи интензитет мешања уз продужено време, реда 30 до 45s. Међутим, приликом примене механичких мешача, време може да буде 3 до 10s.

Критеријуми за меродавни проток воде од 15 l/s

Брзо мешање:

Број комора – 1

Проток воде кроз једну комору – 15 l/s

Димензије коморе:

Кружни пресек – $0,22 \times 3,14/4 = 0,03 \text{ m}^2$

Дужина – 1,20 m + 2,80 m

Запремина коморе – 0,12 m^3

Време задржавања у комори (15 l/s) – 7–8 s.

Први степен флокулације:

Број комора – 1

Проток воде кроз комору – 15 l/s

Димензије коморе:

Кружни пресек – $0,03 - 0,50 \text{ m}^2$

Дубина – 3,0 m

Запремина коморе – око 150 m^3

Време задржавања у комори – око 3,4 – 4,0 min



Слика 6.1. Први степен флокулације

Градијент брзине, s^{-1}

Мах. – 120

Мин. – 80

Други степен флокулације:

Број комора – 1

Проток воде кроз једну комору 15 l/s

Димензије коморе:

Кружни пресек – ($d=1,4m$) – $1,54 m^2$

Дубина – 4,0 m

Запремина коморе – $6,16 m^3$

Време задржавања у комори (15 l/s) 6 – 7 min.

Градијент брзине, s^{-1}

Мах. – 60

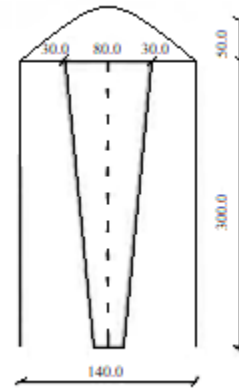
Мин. – 40

Таложење

На основу података, у овом случају потребан је гравитациони таложник као систем за одвајање флокова. Кључно је осигурати да флокулисана вода протиче у зону таложења без оштећења флокова. То се постиже коришћењем правилно димензионираних транспортних канала који практично задржавају режим тока из последње коагулационе јединице у зони таложења. Након што се издвоје, таложене честице заједно са већ формираним крупнијим флоковима падају у конус за муљ који се налази непосредно испод таложника.

Након процеса ефикасне флокулације и одговарајуће сепарације флока, постижу се значајни ефекти уклањања суспендованих материја из воде, при чему се ниво замућења смањује на мање од 1 NTU, а концентрација резидуалног алуминијума се одржава испод 0.200 mg/l. Исталожене честице, заједно са већ формираним крупнијим флокулама, гравитирају према конусу за муљ који се налази директно испод уређаја за таложење.

Смањење дужине пута таложења флокуле у вертикалној таложници, време уклањања честице (S_0') у односу на класичну таложницу (S_0) даје елементе за дефинисање новог површинског оптерећења, односно таложнице (слика 6.3).



Слика 6.2. Други степен флокулације

За усвојене димензије и нагиб од 55° , добија се за време 95%-ног уклањања честица, које је потребно, и даје следеће брзине таложења:

$$S_o = 3,0 - 6,0 \times 10^{-3} \text{ m/s, тј. } 10,8 - 21,6 \text{ m/h.}$$

(6.3)

Површина контактнoг резервоара:

$$A = \frac{Q}{S_o} = \frac{15 \text{ l/s}}{(3-5) \times 10^{-3} \text{ m/s}} = 3,0 - 5,0 \text{ m}^2$$

(6.4)

Површина спољног цилиндра:

$$F(2,4 \text{ m}) = 4,50 \text{ m}^2$$

$$F(1,4 \text{ m}) = 1,50 \text{ m}^2$$

$$F_{tal} = 3,00 \text{ m}^2$$

Вертикална брзина:

$$V = \frac{54,0 \text{ m}^3 / \text{h}}{3,0 \text{ m}^2} = 18 \text{ m/h}$$

$$\text{тј. } 0,005 \text{ m/s} = 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Запремина таложника:

$$V_T = 3,0 \text{ m}^2 \times 5,6 \text{ m} = 16,80 \text{ m}^3$$

Запремина изнад филтера:

$$V_F = 3 \times 1,50 \times 2,30 \text{ m} = 10,35 \text{ m}^3$$

Укупна запремина:

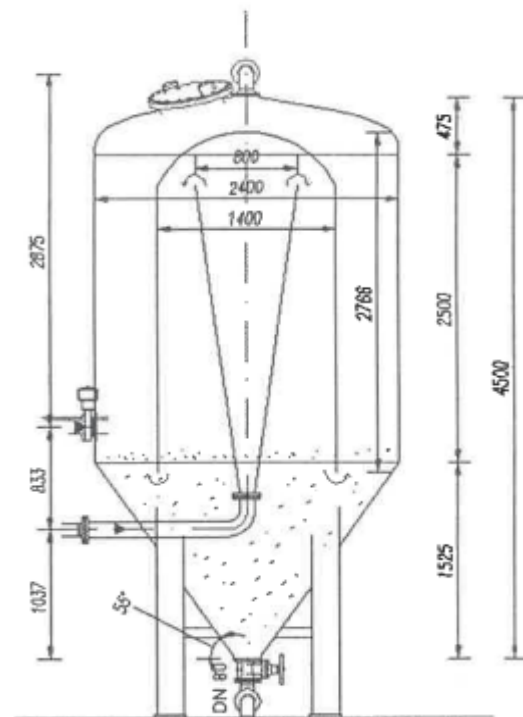
$$V = 27,15 \text{ m}^3$$

Време задржавања:

$$T = 30 \text{ min.}$$

Запремина згушњивача:

$$V_{zg} = 4,50 \text{ m}^2 \times 2,0 \times 1/3 = 3,0 \text{ m}^3.$$



Слика 6.3. Графички приказ таложника

Одмуљивање преко временског тајмера на сваких 2 до 6 сати. Време одмуљивања је 2 до 10 минута. Циклуси и време одмуљивања се одређују на основу искуства у току експлоатације.

Овај приступ се користи како би се уклонило нагомилани муљ и отпадни материјал из система. Примена циклуса и времена одмуљивања се прецизира и промишљено одређује на основу досадашњих искуства и посматрања реалних услова експлоатације. Овакав приступ утиче на оптимизацију рада система и осигурава да систем остаје ефикасан и функционалан у дугорочној употреби.

Процес одмуљивања има важну улогу у одржавању ефикасности система пречишћавања. Одмуљивање помаже у уклањању нагомиланог муља, отпадних материјала и других загађивача који се могу накопити у систему током рада. Овај процес спречава застоје, заштићује филтере и друге делове система од претераног замуљивања и утиче на продужење њиховог радног века.

6.4.2. Филтрација

За уклањање преостале мутноће воде након фазе таложења користе се брзи филтери са песком под притиском, уз редовно прање филтрацијског медија система воде–ваздух како би се осигурала потребна хомогеност медија и равномерно оптерећење, које гарантује високу ефикасност уклањања преостале мутноће.

Да би се постигли услови ефикасне коагулације са полимером, уз обавезну контролу рН вредности и ефикасне сепарације флока у ламелној таложници на филтеру, потребно је обезбедити стандард за NTU у распону од 0,2 до 0,5 NTU и садржај преосталог Al испод 0,2 mg/l.

Уклањањем заосталог флока на брзом пешчаном филтеру, код примене унапређене коагулације, обавезно се постижу ефекти уклањања суспендованих материја на нивоу од 0.2 NTU јединице и резидуалног Al испод 0.100 mg/l.

Будући да се на филтеру не захтева биолошка оксидација NH_4 , потребне су стандардне брзине филтрације у опсегу 10– 15 m/h.

У овом случају, брзи пешчани филтери су брзином филтрације 12 m/h. За коначни капацитет од 15 l/s потребна су три поља површине од по 1,5 m² тј. 4,5 m² укупно.

За коагулисану воду са уклоњеним флокулама у таложници усваја се једнослојни филтер са испуном од песка гранулације 0,6– 1,2 mm, висине 1,25 – 1,30 m са слојем шљунка гранулације 4 – 8 mm, висине 20 cm на дну.

Према технологији, на свако филтерско поље се распоређује количина воде $Q = 5,0$ l/s.

Филтерско поље: $F=1,50 \text{ m}^2$ ($D=1,40 \text{ m}$)

Активна површина Z : $4,50 \text{ m}^2$

Број филтерских јединица: 3 јединице.

Брзина филтрирања:

$$V = \frac{15 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times 3,6}{4,5 \text{ m}^2} = 3,33 \text{ mm/s.}$$

(6.6)

Подразумева се једнослојна филтерска испуна од филтрационог материјала пречника $0,6 - 1,0 \text{ mm}$.

У филтереће бити уграђен носећи слој висине $20 - 25 \text{ cm}$ у фракцијама $1,3 - 1,6 \text{ mm}$, и кварцни песак фракције од $0,6 - 1,0 \text{ mm}$ висине $1,25 - 1,30 \text{ m}$ са коефицијентом униформности зрна $1,35$.

Дубина воде над филтером је $1,15 - 1,20 \text{ m}$, док се преливна ивица канала за одвођење воде од прања налази на $0,60 \text{ m}$ од филтерског песка.

Потребан је рад филтера с константном брзином филтрације и нивоом воде изнад филтера који се одржава помоћу опреме за регулацију рада филтерних јединица и улазног и излазног притиска.

Коришћењем израза за одређивање потребне висине филтрационог материјала у табели 6.2. представљене су минималне висине филтрационог материјала за различите пречнике зрна песка и брзине филтрације.

$$L = \frac{1}{\lambda_0} \cdot \ln\left(1 + \left(\frac{C_0}{C_e} - 1\right) \cdot e^{\alpha T q}\right)$$

(6.7)

$$\lambda_0 = \frac{9 \cdot 10^{-18}}{\nu \cdot V \cdot d_0^3}, \quad \alpha = 9 \cdot 10^{-18} \cdot \frac{C_0}{n \cdot \rho_d \cdot p_0 \cdot d_0^3}$$

(6.8)

Уз услов да је:

$$n=0,67$$

$$\rho_d=50\text{kg/m}^3 \text{ (густина са 98\% воде)}$$

$$\rho_o=0,38$$

$$v=1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ при температури } t=10^\circ\text{C}$$

$$c_o=0,5\text{gr/m}^3$$

$$T_q=10^5 \text{ s}$$

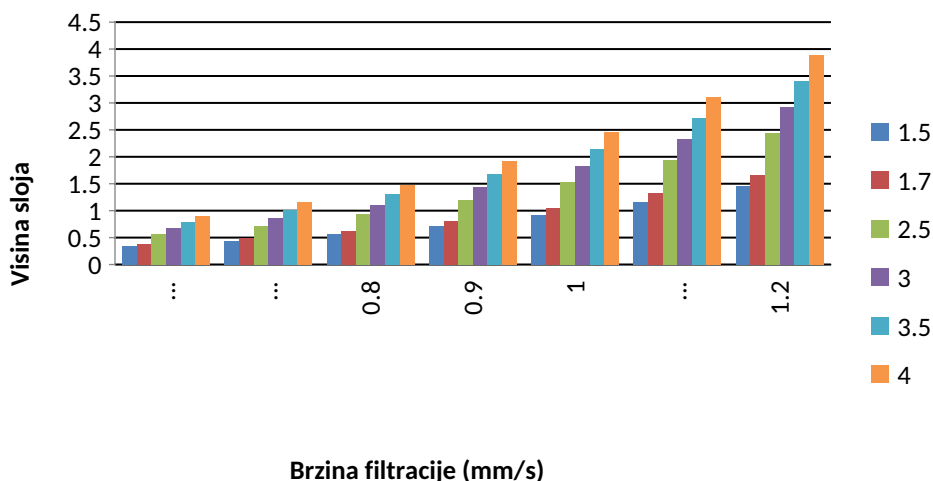
И коришћењем горњих израза за λ_o и α , добија се једначина помоћу које се може добити потребна висина филтерске испуне.

Табела 6.2. Висина филтерске испуне (m)

Пречник зрна d_0 (mm)	Брзина филтрације воде V (mm/s)					
	1,50	1,70	2,50	3,00	3,50	4,00
0,60	0,34	0,38	0,56	0,67	0,79	0,90
0,70	0,43	0,49	0,72	0,86	1,01	1,15
0,80	0,56	0,63	0,93	1,11	1,30	1,48
0,90	0,72	0,81	1,19	1,43	1,67	1,91
1,00	0,92	1,04	1,53	1,83	2,14	2,45
1,10	1,16	1,32	1,94	2,33	2,71	3,10
1,20	1,46	1,65	2,43	2,91	3,40	3,88

Добијени резултати о потребној минималној висини филтерске испуне за различите пречнике зрна филтерског материјала и различите брзине филтрације воде приказане су и графички на дијаграму.

Visina filterske ispune



Дијаграм 6.4. Потребна висина филтерске испуне.

У овом случају ефективни пречник је $d_{ef} = 0,8$ mm са гранулацијом песка од 0,60 до 1,00 mm и коефицијентом униформности од 1,35. На основу дијаграма број 6.1. и података у табели бр. 6.1, при брзини филтрације од 3,33 mm/s потребна минимална висина филтерског слоја је 1,25 m.

Филтрирање воде се обавља кроз пластичне перфориране дизне следећих карактеристика.

Број перфорација: 20

Дужина отвора: 12 mm

Ширина отвора: 0,4 mm

По једном филтерском пољу има око 75 комада дизни.

Помоћу математичког модела филтрације воде срачунат је пад притиска за чист и запрљан филтерски материјал:

$$H = \frac{l_0}{\lambda_0} \cdot \left(\frac{\lambda_0 \cdot L}{(1-n)} - \frac{n^2 \cdot (e^{\lambda_0 \cdot L} - 1) \cdot (e^{\alpha \cdot t} - 1)}{(1-n) \cdot (e^{\lambda_0 \cdot L} + (1-n) \cdot (e^{\alpha \cdot t} - 1)) \cdot ((1-n) \cdot e^{\alpha \cdot t} + n)} - \frac{n \cdot (2-n)}{(1-n)^2} \cdot \ln \frac{e^{\lambda_0 \cdot L} + (1-n) \cdot (e^{\alpha \cdot t} - 1)}{(1-n) \cdot e^{\alpha \cdot t} + n} \right) \quad (6.9)$$

У табели број 6.2. дат је прорачун притиска кроз филтерску испуну за различите брзине филтрације воде, користећи математички израз за прорачун хидрауличких губитака кроз филтерску испуну. Прорачун је извршен за пречник зрна филтерске испуне

$d_0 = 80$ mm и за исте улазне податке помоћу којих је срачуната висина филтерске испуне у табели бр. 6.3.

Табела 6.3. Пад притиска кроз чисту филтерску испуну

V (m/s)	0,0014	0,0020	0,0025	0,0030	0,0030
α	9,69	6,73	5,38	4,48	4,48
λ	$1,585 \cdot 10^{-5}$	$1,585 \cdot 10^{-5}$	$1,585 \cdot 10^{-5}$	$1,585 \cdot 10^{-5}$	$1,585 \cdot 10^{-5}$
I_0 (m/m)	0,36	0,52	0,66	0,79	0,79

Резултати прорачуна показују да је пад притиска кроз чисту филтерску испуну релативно мали и износи за брзину филтрације 0,0015 m/s и ефективни пречник зрна $d_0 = 0,80$ mm око 0,80m.

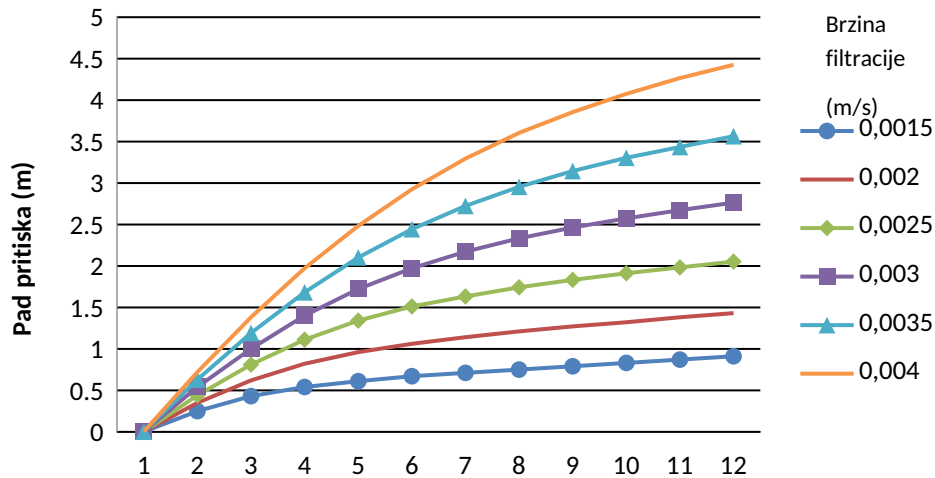
У табели број 6.4. дат је приказ пада притиска по дубини филтерске испуне за ефективни пречник зрна $d_0 = 0,80$ а за различите брзине филтрације воде. На основу добијених резултата може се видети да се пројектовани филтери могу оптеретити са брзином филтрације до око 7,2 m/h.

Табела 6.4. Пад притиска после 72 часа филтрације

Дубина (m)	Брзина филтрације воде V (m/s)					
	0,0015	0,0020	0,0025	0,0030	0,0035	0,0040
0,10	0,25	0,35	0,44	0,54	0,63	0,72
0,20	0,43	0,62	0,81	1,00	1,19	1,38
0,30	0,54	0,82	1,11	1,40	1,68	1,97
0,40	0,61	0,96	1,34	1,72	2,10	2,48
0,50	0,67	1,06	1,51	1,97	2,44	2,92
0,60	0,71	1,14	1,63	2,17	2,72	3,29
0,70	0,75	1,21	1,74	2,33	2,95	3,60
0,80	0,79	1,27	1,83	2,46	3,14	3,85
0,90	0,83	1,32	1,91	2,57	3,30	4,07
1,00	0,87	1,38	1,98	2,67	3,43	4,26
1,10	0,91	1,43	2,05	2,76	3,56	4,42

На дијаграму број 6.5. приказан је пад притиска по висини филтерске испуне за различите брзине филтрације воде и усвојен пречник зрна филтерске испуне од $d_0 = 0,8$ mm за рад филтера од 72 часа. Укупан пад притиска после 72 часа филтрације износи 0,80 m.

Pad pritiska po dubini filterske ispune



Дијаграм 6.5. Пад притиска по дубини филтерске испуне

На основу података дошло се до закључка да:

- За филтере под притиском потребна је брзина филтрације 12 m/h.
- Губитак кроз филтерску испуну од 0,80 до 4,0 m;
- Гранулације испуне од 0,60 до 1,0 (средње 0,80 mm) дебљине 1,25 m;
- Прање филтера водом и ваздухом.

6.4.3. Дозирање, критеријуми и прорачуни:

а) Дозирање ПЕ, помоћни коагулант –полиелектролит

За помоћ при коагулацији се користи 0,2% раствор полиалуминијум-хлорида (ПАК) као додаток у води која се филтрира, а за обезбеђивање стабилности састава воде која улази у филтер потребно је успоставити континуирани рад постројења уз подешавање дозирања коагуланта у складу са променама у сировој води. Додавање полиелектролита у фази коагулације побољшава особине флока и обезбеђује боље таложене. Како се немају искуствени подаци о оптималној потреби помоћног коагуланта, користе се литературни подаци зависности дозе коагуланата и садржаја суспендованих материја, те се усвајају вредности: за максимално оптерећење сирове воде 0,8 – 1,0 mg/l а за просечни садржај суспензија 0,2 mg/l полиелектролита. 0,2% раствор полиелектролита справља се у посудама од 250 литара. За дозирање се користи пумпа капацитета 0 – 10 l/h.

Функција и опис рада:

Као помоћно средство за постизање крупнијих (а тиме и лакше таложних флокула) користи се раствор флокуланта. Као коагулант користи се неки од доступних анјонских полиелектролита. Набавља се и складишти на постројењу у облику ситних гранула, пакованих у врећи. Сува супстанца се ручно убацује у јединицу за припрему и дозирање раствора полиелектролита. Концентрација припремљеног раствора може да се креће у широком опсегу од 0,05 – 0,5%, а најчешће се користи 0,3%-ни раствор. Припремљени раствор се примењује уз накнадно разблажење (обично на 0,2%-ни раствор, чија је мешљивост са водом добра а примена ефикасна, тј. дозе су минималне за ефекат флокулације које пружају). Комора у јединици за припрему је опремљена сопственом мешалицом са електропогоном, како би растварање и зрење били максимално ефикасни. Јединица је израђена од пластике, тако да није потребно додатно је антикорозионо штитити.

Припремљени раствор се после накнадног мешања дозир пумпом транспортује до прве флокулационе коморе у којој се врши дозирање и његово умешавање са водом. Комора је опремљена механичким мешачем који обезбеђује довољну турбуленцију за ефикасно и брзо мешање флокуланта и воде. Ова фаза пречишћавања је такође од кључног значаја, јер ефикасна флокулација (уз ефикасну коагулацију) значи и ефикасно уклањање мутноће из воде.

У овом случају усваја се минимална доза ($D_{\min,PE}$) од $0,1g/m^3$, средња ($D_{sr,PE}$) од $0,3g/m^3$ и максимална доза ($D_{\max,PE}$) од $1,0g/m^3$. Очекује се да средња доза буде довољна за уклањање мутноће до 30 NTU јединица, док се за екстремно високе мутноће (које се мере у 100 NTU јединица) примењује максимална доза.

Предвиђена резерва суве супстанце коју треба користити на постројењу је она која би се потрошила за 60 дана рада, коришћењем средње дозе, односно:

$$M_{R,PE} = D_{sr,PE} \cdot 24 \frac{h}{d} \cdot R_{PE}$$
$$M_{R,PE} = 0,3 \frac{g}{m^3} \cdot 54 \frac{m^3}{h} \cdot 24 \frac{h}{d} \cdot 60 d \cdot 10^{-3} \frac{kg}{g} = 139,9 \text{ kg} = 25 \text{kg}$$

(6.10)

где су:

$M_{R,PE}$ – минимална потребан количина сувог полиелектролита у складишту, kg

R_{PE} – минимална препоручена резерва сувог полиелектролита, d

Резерве су од 50 килограма или приближно 2 вреће од по 25 килограма.

За припрему 1%-тног раствора, максимална потребна количина сувог полиелектролита износи:

$$G_{\max,PE} = Q_{sv,\max} \cdot D_{\max,PE} \cdot 10^{-3} \frac{kg}{g} = 54 \frac{m^3}{h} \cdot 1,0 \frac{g}{m^3} \cdot 10^{-3} \frac{kg}{g} = 54 \frac{g}{h}$$
(6.11)

Где су:

$G_{\max,PE}$ – максимални масени проток сувог полиелектролита, g/h

Капацитет дозир пумпе се рачуна на следећи начин:

$$Q_{p,PE} = \frac{Q_{sv,\max} \cdot D_{\max,PE}}{\frac{10g}{l}} = \frac{54 \frac{m^3}{h} \cdot 1,0 \frac{g}{m^3}}{\frac{10g}{l}} = 5,4 \frac{l}{h}$$
(6.12)

где су:

$Q_{p,PE}$ – минимални потребни капацитет дозир пумпе, l/h

Потребне су две дозир пумпе, које раду у режиму 1 радна и 1 резервна, свака капацитета по 10 l/h.

Запремина базена за припрему и складиштење, усвојена јединица за припрему раствора има запремину од 0,2 m³, што даје довољно дуго време задржавања да би се обавило зрење полиелектролита (за већину комерцијалних типова полиелектролита довољно је 45–60 минута).

Дозир пумпе раде пропорционално сигналу са мерача протока сирове воде Q, док се подешавање жељене дозе хемикалије може обављати и непосредно на самој пумпи.

Потреба за раствором:

Максимална потреба за раствором полиелектролита јавља се када постројење ради максималним капацитетом (54m³/h) и при максималној мутноћи сирове воде, када је потребно применити максималну дозу коагуланата (1g/m³) и она износи:

$$M_{PE,\max} = Q_{s,vode} \cdot D_{PE,\max} = 54 \frac{m^3}{h} \cdot 1,0 \frac{g}{m^3} = 54 \frac{g}{h} = 0,054 \frac{kg}{h}$$
(6.13)

Средње интензивна потреба за раствором се може очекивати при мањим мутноћама, када се примењује доза од $0,7 \text{ g/m}^3$ за исти номинални капацитет постројења од $54 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$M_{PE,sr.} = Q_{s.vode} \cdot D_{PE,sr.} = 54 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 0,7 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 40,0 \frac{\text{g}}{\text{h}} = 0,04 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$
(6.14)

Минимална потреба за припремљеним раствором полиелектролита може се очекивати при примењеној минималној дози од $0,5 \text{ g/m}^3$ и за номинални капацитет од $54 \text{ m}^3/\text{h}$:

$$M_{PE,min} = Q_{s.vode} \cdot D_{PE,min} = 54 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 0,3 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 15 \frac{\text{g}}{\text{h}} = 0,015 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$
(6.15)

За усвојену концентрацију припремљеног раствора од $0,5\%$ и густину раствора од приближно $1,000 \text{ kg/l}$ (раствор је веома разблажен), садржај полиелектролита у припремљеном раствору износи приближно 1 g/l .

При минималној примењеној дози полиелектролита резерва припремљеног раствора после зрења од 1h износи:

$$m_{PE,sarza} = C_{PE, 0,5\%} \cdot V_{sarza} = 1 \frac{\text{g}}{\text{l}} \cdot 1,000 \text{ l} = 1,000 \text{ g} = 1,0 \text{ kg}$$
(6.16)

$$\tau_{max} = \frac{m_{PE,sarza}}{M_{PE,min}} = \frac{1,0 \text{ kg}}{0,015 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 67 \text{ h.}$$
(6.17)

Најнеповољнији случај се јавља при примени максимално усвојене дозе полиелектролита (1 g/m^3), а када постројење пречишћава $54 \text{ m}^3/\text{h}$ сирове воде. Временска аутономија једне припремљене шарже је онда:

$$\tau_{min} = \frac{m_{PE,sarza}}{M_{PE,max}} = \frac{1,0 \text{ kg}}{0,054 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 18,5 \text{ h.}$$
(6.18)

б) Дезинфекција (хлорисање) раствором NaOCl

Вода која је прошла третман, подвргава се дезинфекцији хлорисањем у циљу спречавања секундарне контаминације у резервоару чисте воде. Хлорисање воде ће се

вршити континуалним додавањем раствора NaOCl на улазу у резервоар чисте воде, у концентрацији која ће обезбедити резидуал Cl₂ на крајевима мреже од 0,2 до 0,5 mg/L.

Да би се могла употребити вода за пиће, вода мора бити хигијенски исправна. То значи да по својим физичко-хемијским и микробиолошким особинама мора задовољити норме прописане Правилником о хигијенској исправности воде за пиће. По питању садржаја микроорганизама у њој, мора да се смањи испод дозвољеног броја и да се међу њима не налазе узрочници заразних болести. Регулисање микробиолошке исправности воде за пиће, врши се поступцима дезинфекције.

Дезинфекција ће се вршити раствором NaOCl („Жавелова вода“). Хлорисање ће бити аутоматски регулисано по сигналу укупног протока пречишћене воде са постројења.

Натријум-хипохлорит је 10–20% водени раствор хлора. Иако по бактерицидности хлорних препарата на претпоследњем месту, изузетно је погодан за водовodne системе мањих капацитета. У случају удесне ситуације (изливања), ефекти по околинду су локалног карактера и краткотрајног дејства. Натријум-хипохлорит се може довозити на постројење као готов раствор у оригиналном паковању или производити на лицу места.

6.4.3.1. Прорачун потребне запремине базена за хлорисање

Да би се процес хлорисања одиграо у највећој могућој мери, потребно је обезбедити време контакта са средством за хлорисање од минимално тридесет минута у резервоару, пре него што вода оде ка потрошачима.

Потребна запремина воде за хлорисање је:

$$I \text{ фаза: } V = 15 \text{ l/s} \times 15 \text{ min} \times 60 \text{ s} = 13,5 \text{ m}^3$$

(6.19)

Овако припремљена вода одлази у постојећи резервоар, који је удаљен око 50–60 метара, где одлежава још око 15–125 минута, што је време задржавања и дуже од потребног.

6.4.3.2. Прорачун потребне количине хлора

Да би се након аерације у дистрибутивној мрежи (15l/s = 54 m³/h) постигао резидуал од 0,5 mg/L Cl₂ код првог потрошача, предвиђена је сигурносна доза од 1,2 mg Cl₂/L. Зависно од дужине мреже, односно удаљености до првог потрошача, овај садржај може бити већи или мањи.

На дневном нивоу потребна количина хлора износи:

$$Q = 54 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,2 \text{ g}/\text{m}^3 \times 24 = 1555,2 \text{ g Cl}_2/\text{d} = 1,56 \text{ kg Cl}_2/\text{d}.$$

(6.20)

Пошто се користи 10% раствор натријум-хипохлорита, биће потребно:

$$1560 \text{ g}/\text{d} / 100 \text{ g}/\text{L} = 15,6 \text{ L}/\text{d}.$$

Дневно је потребно 15,6 литара 10%-ог раствора натријум-хипохлорита.

Потребан капацитет дозир пумпе је:

$$15,6 \text{ l}/\text{d} / 24 \text{ h} = 0,65 \text{ l}/\text{h}, \text{ при контрапритиску од максимално 3 бара.}$$

Према прорачуну, усваја се мембранска дозир пумпа са карактеристикама $Q = 1 \text{ l}/\text{h}$ и $p = 3$ бара. Резервоар је капацитета 250 литара.

6.5. Контрола процеса пречишћавања и приручна лабораторија

За вођење процеса пречишћавања и обезбеђење стандарда квалитета воде за пиће реализују се два степена контроле:

- лабораторијска контрола са дефинисаном фреквенцом и
- аутоматска контрола са записом и без записа и алармом, са иновирањем и набавком ситне лабораторијске опреме:
- Јар – тест,
- набавка рН метра и турбидиметра
- Благовременим попуњавањем залиха хемикалија, хемијска лабораторија је у могућности да контролише квалитет сирове и пречишћене воде и даје податке о контроли процеса пречишћавања.

У циљу поузданог вођења процеса и обезбеђења података о стабилности пречишћавања, уводи се аутоматска контрола са записом.

Аутоматски се контролишу:

- рН вредност (улазна вода, вода у коагулатору, вода на улазу у филтар и пречишћена вода),
- мутноћа (сирова вода, улаз у филтар и пречишћена вода) и
- хлор (контрола садржаја у пречишћеној води).

Са континуалним записом су следеће вредности:

- рН и мутноћа сирове и у пречишћене воде и
- концентрација хлора у пречишћеној води.

Звучним сигналом се упозорава у случају прекорачења задатих вредности за рН вредност, мутноћу и садржај хлора у пречишћеној води, као и редокс потенцијала.

Подешавање доза хемикалија са задатком обезбеђења оптималних услова пречишћавања врши се регулацијом доза на бази искуствених података, односно лабораторијских експеримената са детекцијом испитиваних ефеката.

У процесу пречишћавања сирове воде користе се одређене хемикалије за коагулацију и флокулацију, како је објашњено у претходном тексту. Како се овде ради о филтрирању сирове воде кроз филтер под притиском, предвиђена је употреба само полиалуминијум-хлорида (ПАК) у дозама које су претходно израчунате.

7. ЗАКЉУЧАК

На основу добијених резултата мерења узорака и података за воде и земљиште акваторијума Шар-планине према пореклу применом радиоактивног изотопа водоника трицијума, експерименталног поступака за одређивање старости подземних вода акваторијума Шар-планине методом примене стабилног изотопа кисеоника ^{18}O и нестабилног изотопа водоника трицијума, и резултата спектроскопске анализе узорака воде и земљишта у близини локалитета на којем је употребљена муниција од осиромашеног уранијума током агресије 1999. године, као и анализе потенцијалног коришћења водних ресурса за производњу воде за пиће, може се закључити следеће:

- Анализом концентрације трицијума у водама Штрбачког језера, Јажиначког језера, Дурловог потока и Беревачког потока (који чине окосницу акваторијума посматраног дела планине Шаре) недвосмислено је установљено да је сва вода овог акваторијума атмосферског порекла. Одређене разлике у временском позиционирању сезонског максимума су последице старења воде у језеру и различитог морфолошког састава земљишта, што условљава различите трицијумске профиле (који су током експеримента такође снимљени, али из разлога рационалности нису приказани). Из претходног се може закључити да воде акваторијума планине Шаре не треба комерцијализовати јер су као извор енергије непредвидиве, а њихова комерцијализација би могла произвести промене и у екосистему и у биосистему планине.
- Анализом природних трагова у саставу површинских, подземних и оборинских вода може се у потпуности утврдити прошлост, садашњост и будућност акваторијума. Велика предност ове методе је у хронолошки тачном предвиђању појаве у посматраном акваторију. Такође је могуће предвидети количине воде сваког порекла и на тај начин предвидети могућност њене примене у индустрији и водоснабдевању становништва. Посебно треба истаћи да су природни изотопи хелијума и водоника састојци воде (са прецизно утврђеном бројношћу) и самим тим на њихову хидродинамику ништа не утиче.
- Приказана мерења, заснована на ограниченом броју узорака, показују да у узорцима воде и земље на локацијама Перебес, Дурлов поток и Беревачки поток на Шар-планини није утврђено присуство уранијума из производње, односно нема уранијума из муниције са осиромашеним уранијумом. У узорцима воде су активности радионуклида уранијума испод минималних детектибилних вредности, које су знатно ниже од граничних вредности СЛ

за ове радионуклиде. Присутни радионуклиди из ланца распада уранијума код свих узорака у земљи су у равнотежи и добијене вредности активности одговарају средњој вредности за ове радионуклиде у земљиној кори, која за уранијум ^{238}U износи око $0.0330 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$. Мале разлике између ^{238}U и ^{226}Ra су последица различитости у хемијским особинама ових радионуклида у условима где је изражено присуство падавина (пре свега са аспекта растворљивости у води). Такође су у узорцима земље радионуклиди из торијумског ланца распада у равнотежи, и добијене вредности одговарају средњој вредности активности за присуство ^{232}Th у земљиној кори, која износи око $0.045 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$. Од вештачких радионуклида утврђено је присуство само радионуклида ^{137}Cs на нивоу типичних вредности активности овог радионуклида у земљишту на територији Републике Србије, која износи у опсегу $10\text{-}20 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$.

- Општина Штрпце, са популацијом од око 4000 до 4500 становника, тренутно се суочава са замућењем и бактериолошким загађењем воде коју добија из извора који је директно повезан са речним током. Због тога је било неопходно пронаћи други извор водоснабдевања. Предложено решење је узимање воде из реке Болованке низводно од насеља, пречишћавање те воде и уливање у постојећи резервоар. Река Калуђерка није погодна за водоснабдевање због загађења. Процењена минимална количина воде реке Болованке која је доступна износи од 30 до 40 литара у секунди. Према изведеним анализама, повољније је варијантно решење са затвореним филтерима јер је количина воде мала. Решење са затвореним брзим пешчаним филтерима захтева изградњу инфраструктуре за пречишћавање и дистрибуцију воде из новог извора, као и редовно праћење квалитета воде ради обезбеђивања сигурне воде за пиће становништва општине Штрпце. На основу података, може се закључити да за филтере под притиском оптимална брзина филтрације треба да буде 12 m/h . Губитак кроз филтерску испуну варира у опсегу од $0,80$ до $4,0 \text{ m}$, што указује на различите степене загађења и заузетости филтерске испуне. Гранулација испуне има широк распон, од $0,60$ до $1,0 \text{ mm}$, са средњом дебљином од $0,80 \text{ mm}$ и дебљином испуне од $1,25 \text{ m}$. За прање филтера се користе и вода и ваздух. На основу анализе потенцијалног коришћења водних ресурса, предлаже се оптималан приступ пречишћавања сирове воде са стандардним поступком, уз филтрирање и дезинфекцију, а пратећи параметре мутноће и квалитета воде у циљу осигурања ефикасног и безбедног рада постројења.
- Комбинација SuperPro Design-а и технолошке шеме пружа снажан алат за оптимизацију процеса пречишћавања воде који омогућава интеграцију

аналитичких алата са визуелном репрезентацијом процеса ради идентификације и имплементације побољшања. Овај приступ омогућава детаљно моделирање процеса, симулацију различитих сценарија, анализу перформанси и оптимизацију параметара како би се постигли жељени циљеви. Оптимизација дозирања хемикалија уз помоћ SuperPro Design софтвера и технолошке шеме је у овом случају кључна стратегија за унапређење процеса пречишћавања воде, пружајући свеобухватан приступ који интегрише анализу, симулацију и оптимизацију ради постизања оптималних перформанси и испуњења регулативних захтева. Овај приступ омогућава детаљно моделирање процеса, симулацију различитих сценарија и анализу перформанси са циљем постизања оптималних резултата. Оптимизација дозирања хемикалија кроз овај интегрисани приступ кључна је стратегија за унапређење ефикасности процеса пречишћавања воде и испуњење регулативних стандарда. Овај приступ представља важан алат за постројења која се баве обрадом воде, пружајући комплексно решење које обухвата анализу, симулацију и оптимизацију ради постизања најбољих перформанси и заштите животне средине.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Opština Štrpce, Odlike prirodne sredine, Geografski institut „Jovan Cvijić“ SANU, Beograd, 1990.
- [2] C. Varlam, I. Stefanescu, I. Faurescu, I. Popescu, Establishing routine procedure for environmental tritium concentration at ICIT, Institute for Cryogenics and Isotope Technologies – ICIT, Valcea, Romania, IAEA-CN-145/125P
- [3] M. Jose Madruga, M. Manuela Sequeria, A. Rita Gomes, Determination of Tritium in waters by Liquid Scintillation Counting, LSC 2008, Advances in Liquid Scintillation Spectrometry, edited by J. Eikenberg, M. Jaggi, H. Beer, H. Baehrle, p. 353–359
- [4] Miljević, N., Šipka, V., Žujić, A., Golobočanin, D. (2000). Tritium around the Vinča Institute of Nuclear Sciences. *J. Environ. Radioact.*, 48, 303–315.
- [5] J.E. Noakes, S.De Filippis, in 2 nd International Seminar for LSA, Packard Japan K.K, Tokyo, 1988, p.123
- [6] Cameron, J.F., et al., Estimation of trace water content in a halogenated oil by means of tritiated water, *British Journal of Applied Physics*, 10(1959),10, pp. 463–465
- [7] Peck, A.J., Allison, G.B., Groundwater and salinity response to climate change, *Greenhouse: planning for climate change*, (1988), pp. 238–251
- [8] Grosse, A.V., et al., The natural tritium content of atmospheric hydrogen, *Physical Review*, 93(1954),1, pp. 250–251
- [9] Schell, W.R., et al., Measurement of fission product gases in the atmosphere, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 385(1997),2, pp. 277–284
- [10] Allison, G.B., Hughes, M.W., Environmental tritium in the unsaturated zone: estimation of recharge to an unconfined aquifer, *Isot Tech in Groundwater Hydrol, Symp, Proc, Pap and Discuss; Vienna, Austria; 11 March 1974 through 15 March 1974*, pp. 57–72
- [11] Handbook of Radioactivity analysis, Edited by Michale F. L’Annunziata, Academic Press, 2003 Elsevier, USA
- [12] ASTM International, Standard test Method for Tritium in Drinking Water, D 4107-08
- [13] Grosse, A.V., et al., Tritium in nature, *Science*, 113(1951),2923, pp. 1-2
- [14] Leaney, F.W.J., et al., The age and hydrological history of Blue Lake, South Australia, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 118(1995),1-2, pp. 111–130
- [15] Allison, G.B., et al., Vadose-zone techniques for estimating groundwater recharge in arid and semiarid regions, *Soil Science Society of America Journal*, 58(1994),1, pp. 6–14
- [16] Schell, W.R., et al., World distribution of environmental tritium, (2017), pp. 375–400
- [17] Walker, C.D., et al., The influence of transpiration on the equilibration of leaf water with atmospheric water vapour, *Plant, Cell & Environment*, 12(1989),3, pp. 221–234
- [18] Fontes, J.Ch., et al., Estimation of long-term, diffuse groundwater discharge in the northern Sahara using stable isotope profiles in soil water, *Journal of Hydrology*, 86(1986), 3–4, pp. 315–327
- [19] Peck, A.J., Allison, G.B., Groundwater and salinity response to climate change, *Greenhouse: planning for climate change*, (1988), pp. 238–251
- [20] NCRP (1959) NCRP Report No. 22, Maximum permissible body burdens and maximum permissible concentrations of radionuclides in air and in water for occupational exposure,

- Recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP USA
- [21] Pavlović, R.S. i Ninković, M. M. (1988) Radionuklidi i njihova ispuštanja iz fuzionih energetskih postrojenja, Zbornik sa 15. og jugoslovenskog simpozijuma o zaštiti od zračenja, Priština
- [22] ICRP (1978) ICRP Publication 29, Radionuclide release into the environment: Assessment of doses to man, Annals of the ICRP, Vol. 2, No. 1, Pergamon Press, Oxford, UK.
- [23] Wylie, K.F., Letter: Tritium., Health Physics, 24(1973),6, p. 683
- [24] Wylie, K.F., et al., Biological half-life of tritium, Health Physics, 9(1963),9, pp. 911–914
- [25] Kannuna, M.M., Cameron, J.F., The use of tritium bremsstrahlung for the determination of Sulphur in hydrocarbons, The International Journal of Applied Radiation and Isotopes, 2(1957),1, pp. 76–79
- [26] Cook, P.G., et al., Unsaturated zone tritium and chlorine 36 profiles from southern Australia: Their use as tracers of soil water movement, Water Resources Research, 30(1994),6, pp. 1709–1719
- [27] Wylie, K.F., et al., Biological half-life of tritium, Health Physics, 9 (1963), 9, pp. 911–914
- [28] Cameron, J.F., Measurement of tritium in water samples, Nature, 176 (1955), 4496, p. 1264
- [29] "Radiation Information Network's Tritium Information Section". Idaho State University.
- [30] "Tritium in drinking water". Canadian Nuclear Safety Commission. 3 February 2014. Retrieved 23 February 2017.
- [31] The WSRC Team, Health Effects of Tritium, Washington Savannah River Company USA, in press. (2005.)
- [32] Atkins P., de Paula J (2006). Atkins' Physical Chemistry (8th ed.). Oxford University Press. pp. 286–288, 816–818. ISBN 978-0-19-870072-2.
- [33] David Keith Todd, Larry W. Mays (2005), Groundwater Hydrology, Wiley
- [34] K. Subramanya (1984), Engineering Hydrology, Mc Graw – Hill, International edition, third edition
- [35] A.E. Ingham, V.J. Abbott (1992), Hydrography for the Surveyor and Engineer, Third edition, Wiley-Blackwell
- [36] Alvarez, W., et al., The end of the Cretaceous: Sharp boundary or gradual transition?, Science, 223(1984),4641, pp. 1186–1189
- [37] Cameron, J. F., Measurement of tritium in water samples, Nature, 176(1955),4496, p. 1264
- [38] Guidance on the measurement of tritium in environmental samples; ENVIRONMENT AGENCY HEAD OFFICE – Rio House, Waterside Drive, Aztec West, Almondsbury, Bristol BS32 4UD; Published: 2005.
- [39] Optimizacija tačnog scintilacionog spektrometra za ispitivanja alfa i beta emitera u vodama/ Doktorska disertacija Ivana Stojković, Novi Sad 2015.
- [40] Takeshi Muranaka; Electrolytic Enrichment of Tritium in Water Using SPE Film; <https://www.intechopen.com/books/electrolysis/electrolytic-enrichment-of-tritium-in-water-using-spe-film>
- [41] John A. Cherry, R. Allan Freeze, Groundwater, Prentice Hall, (1979)

- [42] Fontes, J.Ch., et al., Estimation of long-term, diffuse groundwater discharge in the northern Sahara using stable isotope profiles in soil water, *Journal of Hydrology*, 86 (1986), 3–4, pp. 315–327
- [43] Sublette, Carey (17 May 2006). "Nuclear Weapons FAQ Section 12.0 Useful Tables". Nuclear Weapons Archive. Retrieved 19 September 2010.
- [44] L'Annunziata, M.F. "Handbook of Radioactivity Analysis", Academic Press, 2012, 3rd edition. ISBN: 9780123848741 Monitoring tricijuma u površinskim vodama u JP „Nuklearni objekti Srbije” Miloš Garabandić, master rad 47
- [45] Nuklearne analitičke tehnike tečne scintilacione spektroskopije [Elektronski izvor] / Nataša Todorović, Jovana Nikolov, Ivana Stojković. - Novi Sad : Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, 2018.
- [46] <https://en.wikipedia.org/wiki/Tritium>
- [47] Walker, C.D., et al., The influence of transpiration on the equilibration of leaf water with atmospheric water vapour, *Plant, Cell & Environment*, 12 (1989), 3, pp. 221 – 234
- [48] Alvarez, W., et al., The end of the cretaceous: Sharp boundary or gradual transition?, *Science*, 223 (1984), 4641, pp. 1186–1189
- [49] Zerriffi, Hisham (January 1996). "Tritium: The environmental, health, budgetary, and strategic effects of the Department of Energy's decision to produce tritium". Institute for Energy and Environmental Research. Retrieved 15 September 2010.
- [50] Oxidizer Application Note, Comparison of Sample Oxidation and Solubilization Techniques by Jock Thomson, PerkinElmer Life Sciences, Inc.
- [51] Lj. Pujol, J.A. Sanchez-Cabeza, Optimization of liquid scintillation counting conditions for rapid tritium determination in aqueous samples, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol.242, No.2 (1999), 391–398
- [52] Merenje koncentracije aktivnosti tricijuma u vodi tečnim scintilacionim detektorom MASTER RAD, Anja Begović.
- [53] http://www.nuklearniobjekti.rs/?page_id=35
- [54] P. Osmokrović, Onovi nuklearne fizike, Akademska misao, Beograd (2012)
- [55] Vulević, B., Osmokrović, P., Evaluation of uncertainty in the measurement of environmental electromagnetic fields, *Radiation Protection Dosimetry*, 141(2010),2, pp. 173–177
- [56] P. Osmokrović, K. Stanković, M. Vujisić, Merna nesigurnost, Akademska misao, Beograd (2010).
- [57] Vujisic, M., et al., Simulated effects of proton and ion beam irradiation on titanium dioxide memristors, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 57(2010),4 part 1, pp. 1798–1804
- [58] NCRP (1976) NCRP Report No. 47, Tritium measurement techniques, Recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP USA.
- [59] IAEA (1983) International Atomic Energy Agency, Technical Report Series No. 226, Environmental isotope data No 7: World survey of isotope concentration in precipitation (1976 – 1979) STI/DOC/10/226
- [60] IAEA (1984) International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series No. 234, Management of tritium at nuclear facilities, STI/DOC/10/293
- [61] IAEA (1981) International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series No. 207, Tritium in some typical Ecosystems, STI/DOC/10/207

- [62] ICRP (1996) ICRP Publication 9, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford, UK
- [63] ICRP (1969) International Commission on Radiological Protection, News and comment, (Progress Report of the ICRP, Dunster, H. J. Ed.) Health Physics, Vol. 17, pp 389.
- [64] ICRP (1991a) ICRP Publication 60, 1990 Recommendations of the ICRP, Annals of the ICRP Vol. 21, No 1–3
- [65] ICRP (1991b) ICRP Publications 61, Annual limits on intake of radionuclides by workers based on the 1990 Recommendations
- [66] ICRP (1982) ICRP Publication 35, General principles of monitoring for radiation protection of workers, Annals of ICRP, Vol. 9, No. Pergamon Press, UK
- [67] Watt, D. E. and Kadiri, L. A. (1990) Physical Quantification of the Biological effectiveness of ionizing radiations, International Journal of Quantum Chemistry, Vol. XXXVIII, 501-520
- [68] Watt, D. E. and Glodić, S. (1991) Biophysical Quantification of Radiation effectiveness, paper presented at the 9th International Congress of Radiation Research, ADIATION RESEARCH – A TWENTIEHT- CENTURY PERSPECTIVE, 2 – 12 July, Toronto
- [69] Watt, D.E, Kadiri, L. A, Glodić, S. (1991) Observed cellular effects lead to a track “core” model of radiation action, Presented at the Workshop on “Biophysical modeling of radiation effects” held in Padua, Italy, Chapter 7, pp. 201-209, IOP Publishing Ltd (1992)
- [70] Watt, D. E, Younis, A-R S. and Glodić, S (1992) Inactivation of dehydroorotate dehydrogenase X-rays: Assessment of indirect effects of ionizing radiations for biophysical modeling
- [71] Jones, Greg (2008). “Tritium Issues in Commercial Pressurized Water Reactors”. Fusion Science and Technology. 54 (2): 329–332. doi:10.13182/FST08-A1824
- [72] Enthalt D., Deuterium – Gehalt in Hydrosphäre und Atmosphäre, Dissertation Univ. Heidelberg (1963)
- [73] Eriksson E., Deuterium and oxygen 18 in precipitation and other natural waters, tellus 17 (1965)
- [74] Zimmermann U. , Zolt J. , Deuterium und Sauerstoff 18 – Gehalt von Gasteiner Thermal und Kaltwassern – Steirische Beiträge zur Hydrologie 23 (1971)
- [75] Jaemoon Yang, Discovery and Applications in Organic Chemistry, Chapter 2, Deuterium, 2016, Pages 5–18
- [76] W. Hauschild, W. Mosch, Statistical Techniques for High-Voltage Engineering, Institution of Engineering and Technology (Verlag), ISBN: 978-0-86341-205-9, 1992.
- [77] N. R. Mann, R. E. Schafer, N. D. Singpurwalla, Methods for statistical analysis of reliability and life data, New York, John Wiley & Sons, 1974
- [78] K. Stanković, et al., Statistical analysis of the characteristics of some basic mass-produced passive electrical circuits used in measurements, (2011) Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 44 (9), pp. 1713–1722.
- [79] W. Hauschild, R. Köppe, Statistische Auswertung hochspannungstechnischer Messungen am Digitalrechner, ELTRA-Fortschrittsbericht, IPH Berlin, 1973.
- [80] F. Zec, N. Kartalović, T. Stojić, Prediction of high-voltage asynchronous machines stators insulation status applying law on increasing probability, (2020) International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 116, art. no. 105524.
- [81] Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement,

- https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6
- [82] T. H. Sie, O. Wohlfahrt, Transference of test results from experiments on small models to larger test objects with insulation under oil., (1962) AIEE Trans., Part. III 81(12), pp. 601–608.
- [83] Osmokrovic P.; Dolicanin C.; Vujisic M.; Vasic A., Time enlargement law for gas pulse breakdown, Plasma Sources Science and Technology, vol. 18, no. 2, Article number 025028, 2009.
- [84] K. Stankovic, P. Osmokrovic, The Model for Calculating the Type A Measurement Uncertainty of GM Counters from the Aspect of Device Miniaturization, IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 61, issue 3, pp. 1316–1325, June 2014.
- [85] Depleted Uranium in Kosovo, Post-Conflict Environmental Assessment, United Nations Environment Programme 2001. (online). (accessed 2022 October 15). <https://postconflict.unep.ch/publications/uranium.pdf>.
- [86] Durante, M., Pugliese, M. (2003). Depleted uranium residual radiological risk assessment for Kosovo sites. Journal of Environmental Radioactivity, 64(2-3), 237-245. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(02\)00052-8](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(02)00052-8)
- [87] Distribution System Water Quality Monitoring: Sensor Technology Evaluation Methodology and Results (Report). EPA. October 2009. EPA 600/R-09/076.
- [88] Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth edition incorporating the first addendum (Report). Geneva: World Health Organization (WHO). 2017. hdl:10665/254637. ISBN 9789241549950.
- [89] "Soil Sampling for Precision Agriculture". CropWatch. 2015-09-17. Retrieved 2019-05-22.
- [90] Cossairt, J. Donald (September 2012). Background Levels of Tritium. Fermilab Environmental Safety & Health Section (Report). Environmental Protection Note. Batavia, Illinois: Fermi National Accelerator Laboratory. pp. 2–3. No. 28.
- [91] Stonestrom, David A.; et al. (2013). "On the conversion of tritium units to mass fractions for hydrologic applications". Isotopes Environ Health Stud. 9 (2): 250–256. doi:10.1080/10256016.2013.766610.
- [92] Elwood, J. W.(1971) Ecological aspect of tritium behavior in the environment, Nuclear safety, Vol 12, pp 326-337
- [93] Sahoo, S.K., Fujimoto, K., Čeliković, I., Ujić, P., Žunić, Z.S. (2004). Distribution of uranium, thorium, and isotopic composition of uranium in soil samples of south Serbia: Evidence of depleted uranium. Nucl Technol Radiat. 19(1), 26–30. <https://doi.org/10.2298/NTRP0401026S>
- [94] Kartalovic, N.M., Djekic, S.D., Djekic, S.B., Nikezic, D.P., Ramadani, U.R. (2021). Possibility of application nuclear magnetic resonance for measurement of fluid-flow. Nucl Technol Radiat. 36(2), 168-173. <https://doi.org/10.2298/NTRP210614017K>

ЛИСТА СКРАЋЕНИЦА И СИМБОЛА

m^2 - метар квадратни

m^3 – метар кубни

km – километар

m – метар дужни

°C – степен Целзијуса

km^2 - километар квадратни

mnm – метара над морем

F – површина слива

S – обим слива

L – дужина реке

B – просечна дужина слива

ΣL_{sum} – дужина речне мреже

D – густина речне мреже

H_{max} - максимална висина на извору реке

H_{min} –минимална висина у сливу реке

J_t –просечан пад водотока

H_{sr} –средња надморска висина слива

T_s –средња температура ваздуха

P_s –средње падавине у сливу

E –температурни фактор

R (Lang.)–отицање по методу *Langbein*

R(Osm) – осмотрени подаци

K –коефицијент редукције

E – температурни фактор

L_1 – стационажа Лепенца у односу на ушће

L_2 – дужина реке

P – средње падавине у сливу

Q – просечан проток

C_m – коефицијент отицања

q – специфични отицај

W – запремина отицања у mm^3

mm^3 – милиметар кубни

l/s/km^2 - литара у секунди по километру квадратном

l/s – литара у секунди

t – температура

N_Φ – очекивани ниво фона у току периода T

ε – ефикасност мерења – однос броја импулса у јединици времена према активности

V - запремина (или маса) мереног узорка

$N_{\Phi\Phi}$ – излазни сигнал услед фона који задовољава Поасонову расподелу

GGU – годишња граница уношења,

NI_R – ниво испитивања за рутински мониторинг

NB_R – ниво бележења за рутински мониторинг и

N – број интервала у години

$C_u(t)$ – концентрација трицијума у урину [Bq/l] у тренутку t

H_k – кожна доза усредњена на 100 cm^2 коже

B – боца за CO_2

M – манометар

PVV – пумпа високог вакуума

PMV – пирани метар вакуум

R –резервоар за CO₂

U – узорак воде

A – уранијумове пећи

PVV – пумпа високог вакума

PVM – пирани вакум метар

UP – узимање пробе

UUV – упаравање узорака воде

mg/dm³ – милиграма по кубном дециметру

C – измерена површина пика за изабрану линију гама зрачења,

Y –принос са изабрану линију гама зрачења,

ε–ефикасност детектора (нумерички одређена)

COI –фактор за ефекте каскадног сумирања и одузимања броја и импулса у Ge детектору (нумерички одређеног)

mg/l – милиграма по литру

bar – притисак

g/L – густина

kW-h – укупна Енталпија

kcal/kg – калорија по килограму

kg/h – килограма по часу

\$/h опреме – долата по сату рада опреме

\$/јединица – долара по јединици

P – дисипациона енергија

V – запремина

μ – вискозитет

$M_{R,PE}$ – минимална потребан количина сувог полиелектролита у складишту, kg

R_{PE} – минимална препоручена резерва сувог полиелектролита, d

$G_{max,PE}$ – максимални масени проток сувог полиелектролита, g/h

$Q_{p,PE}$ – минимални потребни капацитет дозир пумпе, l/h