



Здружение Македонски комитет за големи брани
Macedonian Committee on Large Dams

Зборник на трудови
Proceedings

13-ТО СОВЕТУВАЊЕ ЗА ВОДОСТОПАНСТВО И ХИДРОТЕХНИКА

13TH CONFERENCE ON WATER ECONOMY AND HYDROTECHNICS

6.10÷7.10. 2023 год.

6.10÷7.10. 2023

Скопје, Р.С. Македонија

Skopje, R.N. Macedonia

ОРГАНИЗАТОР

Здружение Македонски комитет за големи брани

ORGANIZED BY

Macedonian Committee on Large Dams

ИЗДАВАЧ

Здружение Македонски комитет за големи брани

PUBLISHED BY

Macedonian Committee on Large Dams

ЗА ИЗДАВАЧОТПроф. д-р Љупчо Петковски
Претседател на Здружение Македонски комитет
за големи брани**FOR THE PUBLISHER**Prof. Ljupcho Petkovski, PhD
President of Macedonian Committee on
Large Dams**ТЕХНИЧКА ОБРАБОТКА**

Стевчо Митовски, Фросина Пановска

TECHNICAL PREPARATION BY

Stevcho Mitovski, Frosina Panovska

УРЕДНИК

Проф. Д-р Љупчо Петковски

EDITOR

Prof. Ljupcho Petkovski, PhD

ЛЕКТУРА

Тања Стевановска-Цветковска

PROOFREADER

Tanja Stevanovska-Cvetkovska

ПЕЧАТЕЊЕ

Промедиа - Скопје

PRINTED BY

Promedia - Skopje

ТИРАЖ

50 примероци

PRINTING RUN

50 copies

ФОТОГРАФИЈА НА НАСЛОВНА СТРАНА

Преливник на брана „Мавровица“

COVER PHOTO

Spillway of Mavrovica dam

© Сите права се заштитени. Публикацијата не смее да биде преведувана или копирана во целина или во делови без писмена дозвола на издавачот.

© All rights reserved. The publication can not be translated or copied at full or any part of it without written permission from the publisher.

CIP - Каталогизација во публикација

Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

626/628(062)

СОВЕТУВАЊЕ за водостопанство и хидротехника (13 ; Скопје ; 2023)

Зборник на трудови / 13-то Советување за водостопанство и хидротехника, 6.10-7.10. 2023 год, Скопје ; [уредник Љупчо Петковски] = Proceedings / 13th Conference on water economy and hydrotechnics, 6.10-7.10. 2023, Skopje ; [editor Ljupcho Petkovski]. - Скопје :

Здружение Македонски комитет за големи брани = Skopje : Macedonian committee on large dams, 2023. - 119, [28] стр. : илустр. ; 30 см

Фусноти кон текстот. - Текст на мак. и англ. јазик. - Библиографија кон трудовите

ISBN 978-608-4953-02-9

а) Хидротехника -- Собири б) Водостопанство -- Собири

COBISS.MK-ID 61794565

ОРГАНИЗАЦИОНЕН ОДБОР / ORGANIZING BOARD

Проф. д-р Љупчо Петковски

Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј” во Скопје, Р.С. Македонија

Prof. Ljupcho Petkovski, PhD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R. N. Macedonia

М-р Славко Милевски

АД Електрани на Република Северна Македонија, ХЕС Црн Дрим

Slavko Milevski, MSc

AD Power Plants of Republic of North Macedonia, HES Crn Drim

Вонр. проф. д-р Стевчо Митовски

Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј” во Скопје, Р.С. Македонија

Assoc. prof. Stevcho Mitovski, PhD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Проф. д-р Драги Дојчиновски

Институт за земјотресно инженерство и инженерска сеизмологија, Универзитет “Св. Кирил и Методиј” во Скопје, Р.С. Македонија

Prof. Dragi Dojchinovski, PhD

Institute for Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R. N. Macedonia

Игор Николоски

Градежен Институт Македонија АД Скопје, Р.С. Македонија

Igor Nikoloski

Civil Engineering Institute Macedonia AD Skopje, R.N. Macedonia

Д-р Драган Димитриевиќ

ГЕИНГ Кребс унд Кифер Инт., Скопје, Р.С. Македонија

Dragan Dimitrievski, PhD

GEING Krebs und Kiefer Int., Skopje, R.N. Macedonia

Ѓорѓи Чакаровски

Чакар&Партнерс, Скопје, Р.С. Македонија

Gjorgji Chakarovski

Chakar&Partners, Skopje, R.N. Macedonia

Лидија Зафировска

Државен инспекторат за животна средина на Р.С. Македонија

Lidija Zafirovska

State Inspectorate for Environment of R.N. Macedonia

Шпресим Ибраими

Институт за земјотресно инженерство и климатски промени, Скопје

Shpresim Ibraimi

Institute for earthquake engineering and climate changes, Skopje

Илија Кондински

ЈП Стрежево – Битола, Р.С. Македонија

Pija Kondinski

JSC Strezhevo – Bitola, R.N. Macedonia

Вонр. проф. д-р Игор Пешевски

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Assoc. prof. Igor Peshevski, PhD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Здравко Јаковлевски

МГМ Инженеринг, Скопје, Р.С. Македонија

Zdravko Jakovlevski

MGM Inzenering, Skorje, R.N. Macedonia

Даниел Цекон

АДИНГ АД Скопје, Р.С. Македонија

Daniel Cekov

ADING AD Skorje, R.N. Macedonia

Орце Мангаровски

ДГ ГРАНИТ АД Скопје, Р.С. Македонија

Orce Mangarovski

DG GRANIT AD Skorje, R.N. Macedonia

Илбер Мирта

Министерство за животна средина и просторно планирање на Р.С. Македонија

Iber Mirta

Ministry of Environment and Physical Planning of R.N. Macedonia

Борче Гоцевски

Рудник САСА, Македонска Каменица, Р.С. Македонија

Borche Gocovski

SASA Mine, Makedonska Kamenica, R.N. Macedonia

Никола Горгиев

Рудник БУЧИМ Радовиш, Р.С. Македонија

Nikola Gorgiev

BUCHIM Mine Radovish, R.N. Macedonia

Љупчо Георгиевски

Рудник БУЛМАК Радовиш, Р.С. Македонија

Nikola Gorgiev

BULMAK Mine Radovish, R.N. Macedonia

Блашко Димитров

Комора на овластени архитекти и инженери, Скопје, Р.С. Македонија

Vlashko Dimitrov

Chamber of certified engineers and architects, Skorje, R.N. Macedonia

Љупчо Благоевски

ЈП Злетовица, Пробиштип, Р.С. Македонија

Ljupcho Blagovski

PE Zletovica, Probishtip, R.N. Macedonia

Методија Граматковски

ЈП Стрежево – Битола, Р.С. Македонија

Methodija Gramatkovski

PE Strezhevo – Bitola, R.N. Macedonia

Панче Иванов

ЈП Лисиче, Р.С. Македонија

Panche Ivanov

PE Lisiche, R.N. Macedonia

Ванчо Ангелов

Геохидро консалтинг – Скопје, Р.С. Македонија

Vancho Angelov

Geohidro konsalting – Skorje, R.N. Macedonia

Добре Тасевски

СИНТЕК Специфик, Р.С. Македонија

Dobre Tasevski

SINTEK Specifik, R.N. Macedonia

Теодор Цоневски

ГТИ, Скопје, Р.С. Македонија

Teodor Conevski

GTI, Skopje, R.N. Macedonia

Снежана Мартулкова

Министерство за животна средина и просторно планирање на Р.С. Македонија

Snezhana Martulkova

Ministry of Environment and Physical Planning of R.N. Macedonia

Александар Сапунџиовски

Министерство за земјоделство, шумарство и водостопанство на Р.С. Македонија

Aleksandar Sapundziovski

Ministry of Agriculture, Forestry and Water Economy of R.N. Macedonia

Јосиф Каевски

ХЕИ Скопје, Р.С. Македонија

Josif Kjaevski

HEI Skopje, R.N. Macedonia

Д-р Станислава Додева

Швајцарска амбасада во Скопје, Р.С. Македонија

Stanislava Dodeva, PhD

Swiss Cooperation Office, R.N. Macedonia

Вонр. проф. д-р Маријана Лазаревска

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Assoc. prof. Marijana Lazarevska, PhD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Проф. д-р Грозде Алексовски

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Prof. Grozde Aleksovski, PhD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Вонр. проф. д-р Јован Б. Папиќ

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Assoc. prof. Jovan B. Papic, PhD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Вонр. проф. д-р Гоце Тасески

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Assoc. prof. Goce Taseski, PhD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Фросина Пановска

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Frosina Panovska

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

ПОЧЕСЕН ОДБОР / HONORARY BOARD

Љупчо Николовски, Министер

Министерство за земјоделство, шумарство и водостопанство на Р.С. Македонија

Ljupcho Nikolovski, Minister

Ministry of Agriculture, Forestry and Water Economy of R.N. Macedonia

Благоја Бочварски, Министер

Министерство за транспорт и врски на Р.С. Македонија

Blagoja Bochvarski, Minister

Ministry of transport and connections of R.N. Macedonia

Каја Шукова, Министер

Министерство за животна средина и просторно планирање на Р.С. Македонија

Kaja Shukova, Minister

Ministry of Environment and Physical Planning of R.N. Macedonia

Љокман Лимани, Главен извршен директор

АД Водостопанство на Р. С. Македонија

Llokman Limani, CEO

AD Vodostopanstvo R.N. Macedonia

Васко Стефанов, Генерален директор

АД ЕСМ, Р.С. Македонија

Vasko Stefanov, CEO

AD ESM, R.N. Macedonia

Проф. д-р Дејан Мираковски, Ректор

Универзитет Гоце Делчев, Штип, Р.С. Македонија

Prof. Dejan Mirakovski, PhD, Rector

Goce Delechev University, Shtip R.N. Macedonia

Проф. д-р Горан Марковски, Декан

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Prof. Goran Markovski, PhD, Dean

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Проф. д-р Влатко Шешов, Директор

Институт за земјотресно инженерство и инженерска сеизмологија, Универзитет “Св. Кирил и Методиј” во Скопје, Р.С. Македонија

Prof. Vlatko Sheshov, PhD, Director

Institute for Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R. N. Macedonia

Крис Колбурн, Генерален директор

Рудник САСА, Македонска Каменица, Р.С. Македонија

Chris Colburn, CEO

SASA Mine, Makedonska Kamenica, R.N. Macedonia

Александар Раков, Генерален директор

Рудник Бучим, Радовип, Р.С. Македонија

Aleksandr Rakov, CEO

Buchim Mine, Radovish, R.N. Macedonia

Влатко Иванов, Генерален директор

Градежен Институт “Македонија” - ГИМ, Скопје, Р.С. Македонија

Vlatko Ivanov, CEO

Civil Engineering Institute “Macedonia” - CEIM, Skopje, R.N. Macedonia

Илија Горанов, Генерален директор
Рудник БУЛМАК Радовиш, Р.С. Македонија
Илија Goranov, CEO
BULMAK Mine Radovish, R.N. Macedonia

Проф. д-р Љубомир Танчев
Почесен претседател на ЗМКГБ
Prof. Ljubomir Tanchev, PhD
Honorary president of MACOLD

Илија Андонов - Ченто
Заслужен член на ЗМКГБ
Илија Andonov – Chento
Honorary member of MACOL

Нестор Ангеловски
Заслужен член на ЗМКГБ
Nestor Angelovski
Honorary member of MACOLD

Проф. Наум Гапковски
Заслужен член на ЗМКГБ
Prof. Naum Gapkovski
Honorary member of MACOLD

Проф. Станислав Миловановиќ
Заслужен член на ЗМКГБ
Prof. Stanislav Milovanovic
Honorary member of MACOLD

Проф. Коста Талаганов
Заслужен член на ЗМКГБ
Prof. Kosta Talaganov
Honorary member of MACOLD

Славчо Михајловски
Заслужен член на ЗМКГБ
Slavcho Mihajlovski
Honorary member of MACOLD

РЕДАКЦИСКИ ОДБОР / EDITORIAL BOARD

Проф. д-р Љупчо Петковски, Претседател на ЗМКГБ

Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С. Македонија

Prof. Ljupcho Petkovski, PhD, President of MACOLD

Civil Engineering Faculty, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N. Macedonia

Проф. д-р Емилија Беднарова, Претседател на Словачкиот комитет за големи брани

Технички Универзитет во Братислава, Словачка

Prof. Emilia Bednarova, PhD, President on Slovak Committee on Large Dams

Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Проф. д-р Хасан Тосун

Факултет за инженерство и архитектура, Универзитет во Османгази, Ескисехир, Турција

Prof. Hasan Tosun, PhD

Faculty of Engineering and Architecture, Osmangazi University, Eskisehir, Turkey

Проф. д-р Алтан Абдуламит, Претседател на Романскиот комитет за големи брани

Технички Универзитет во Букурешт, Романија

Prof. Altan Abdulamit, PhD, President on Romanian Committee on Large Dams

Technical University in Bucharest, Romania

Проф. д-р Џорџ Дуњас, Претседател за Здружението за големи брани во Грција

Имperiјал Колеџ Лондон, Англија; Здружение за големи брани во Грција

Prof. George Dounias, PhD, President on Greek Committee of Large Dams

Imperial College of Science and Technology, London, UK; Greek Committee of Large Dams

Доц. д-р Андреј Крижановски

Факултет за градежништво и геодезија, Универзитет во Љубљана, Словенија

Assoc. prof. Andrej Kryžanowski, PhD

Faculty of engineering and geodesy, University in Ljubljana, Slovenia

Проф. д-р Тина Дашиќ

Градежен факултет, Универзитет во Белград, Србија

Prof. Tina Dasic, PhD

Civil Engineering Faculty, University of Belgrade, Serbia

Проф. д-р Димитар Кислиаков, Претседател на Бугарскиот комитет за големи брани

Универзитет по архитектура, градежништво и геодезија, Бугарија

Prof. Dimitar Kisliakov, PhD, President on Bulgarian Committee of Large Dams

University of Architecture, Civil engineering and Geodesy, Bulgaria

Проф. д-р Зекирија Идризи

Универзитет Мајка Тереза, Р.С. Македонија

Prof. Zekirija Idrizi, PhD

Mother Teresa University, R.N. Macedonia

Проф. д-р Благоја Голомеов

Факултет за технички и природни науки, Универзитет Гоце Делчев, Штип, Р.С. Македонија

Prof. Blagoja Golomeov, PhD

Faculty of technical and natural sciences, University Goce Delchev, Shtip, R.N. Macedonia

Проф. д-р Вилос Илиос

Технички факултет, Универзитет Св. Климент Охридски во Битола, Р.С. Македонија

Prof. Vilos Ilios, PhD

Technical faculty, University Ss Clement of Ohrid, R.N. Macedonia

Проф. д-р Марија Вукелиќ

Факултет за земјоделски науки и храна, Универзитет Св. Кирил и Методиј во Скопје, Р.С.

Македонија

Prof. Marija Vukelic, PhD

Faculty for agricultural science and food, Ss Cyril and Methodius University in Skopje, R.N.

Macedonia



СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ЕДНО – АКУМУЛАЦИОНЕН ХИДРОСИСТЕМ

Петар Георгиев¹, Стевчо Митовски², Фросина Пановска³

Резиме

Клучот за успех на секое развиено општество е одржувањето и планското користење на водата како природно богатство и ресурс. Оттука, од големо значење е формирањето стратегии преку кои на одржлив и оптимален начин ќе се користи водата за постигнување на целите за економски развој, а воедно ќе се води и грижа за зачувување и заштита на самиот ресурс. Во истражувањето е анализирана стратегија за користење на водата како природен ресурс преку анализа на случајот на ХС „Слупчанка“, во близина на општина Куманово, РС Македонија, каде што водата е наменета за задоволување на потребите за водоснабдување и за наводнување, а при тоа се запазува и еколошкиот аспект, т.е. испуштање на еколошко загарантирано протекување во водотекот за зачувување на биолошкиот екосистем.

Најважен аспект кај ХС „Слупчанка“ е изнаоѓање оперативна политика на управување за да се задоволат потребите за вода на секој водокорисник.

Клучни зборови: управување, симулационен модел, оперативна политика

SIMULATION MODEL OF SINGLE RESERVOIR HYDROSYSTEM

Petar Georgiev¹, Stevcho Mitovski², Frosina Panovska³

Summary

The key to the success of any developed society is the maintenance and planned use of water as a natural resource. Therefore, it is of great importance to form strategies through which water is used in a sustainable and optimal way to achieve economic development, while at the same time care should be taken to preserve the resource itself. The research paper analyzes the strategy of using water as a natural resource through the case study of HS Slupchanka, near the municipality of Kumanovo, RS. Macedonia, where the water is intended for the needs of water supply and irrigation, while preserving the ecological aspect, ie. Discharge of ecologically guaranteed leakage into the watercourse in order to preserve the biological ecosystem.

The most important aspect of this HS Slupchanka is finding the optimal management policy, where the needs of each water user is used as much as possible.

Key words: management, simulation model, operating policy

¹М-р, д.град.и., Жикол Струмица

²Д-р, Вонр. проф., д.г.и., УКИМ, Градежен факултет – Скопје, smitovski@gf.ukim.edu.mk

³М-р, асистент, д.г.и., УКИМ, Градежен факултет – Скопје, fpanovska@gf.ukim.edu.mk

1. ВОВЕД

Да се биде човек значи да се преживее. Основните инстинкти кои ја карактеризираат човечката раса осигуруваат дека ние ќе преживееме – низ големи суши, поплави, земјотреси, војни, падови и растови на економијата – и дека ќе го продолжиме нашето постоење на оваа планета на најдобриот начин којшто го познаваме. Менаџментот со водни ресурси е основна потреба за нашето преживување. Околу 83 проценти од нашата крв е направена од вода. Водата ни е потребна за пиење и за извршување на најбазичните хигиенски задачи. Водата ни е потребна за да ја растеме нашата храна и истата да ја приготвуваме. Водата не е подеднакво распределена во времето и во просторот, но менаџментот со водни ресурси ни овозможува една редистрибуција на водните ресурси во времето и во просторот. (Simonovic, 2009)

Управувањето со водостопанските системи е итеративен процес на интегрирано донесување одлуки поврзани со користењето и реалокацијата на водните ресурси и поврзаните земјени површини во рамки на еден географски регион [1, 2, 4, 5]. Овој процес им дава можност на корисниците да ги задоволат разните потреби за вода како еколошки ресурс и да се разгледа како кумулативните акции може да имаат долгорочен ефект врз одржливоста на водата и поврзаните земјени ресурси. Водечките принципи на процесот се: систематичен пристап, партнерство (соработка), неизвесности, географски фокус и потпирање на строго научни и потврдени податоци. Ова ни дава една дефиниција за тоа што значи управување со системи за водни ресурси, која вклучува и традиционални активности како инженерството со водни ресурси: планирање, проектирање, одржување и функционирање на инфраструктурата поврзана со вода. Дефиницијата е сеопфатна и ги интегрира сите овие активности во еден пристап кој го поддржува процесот на донесување одлуки и се базира на инженерски, природни, општествени и други науки.

2. ПРЕДМЕТ И ЦЕЛ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Предмет на истражувањето е креирање симулационен модел на едноакумулационен водостопански систем (ВСС), со кој ќе се изврши димензионирање на големината на акумулациониот простор од аспект на определување на волуменот и определување на оперативните правила за управување со системот, со намена за дополнување на количините на вода во рамки на постоен хидросистем. Моделот ќе се изработи со примена на софтверот HES ResSim, наменет за симулационо моделирање на комплексни ВСС. Имено, излезните големини од разгледуваната оперативна политика ќе се споредат со специфицираната потреба за вода, при што критериум за оцена на големината на акумулацијата и оперативноста на хидросистемот ќе биде степенот на задоволување на потребите на вода и минимизирање на преливните количини на вода. Со цел да се изврши предметната анализа треба да се систематизираат влезни податоци за преградното место и соодветно да се проценат очекуваните ефекти. Предвидената симулациона постапка ќе се спроведе респектирајќи ги притоа следните приоритетни корисници:

- обезбедување еколошко загарантирано протекување
- обезбедување потребни количини на вода за дополна на постоен ХС за потребите за водоснабдување и наводнување.

Практично, со претходно наведеното ќе се изврши анализа на потребната големина на акумулацијата и работните перформанси на планиран едноакумулационен ВСС, каде што како влезни големини во симулациониот модел ќе бидат искористени хидролошки серии на дотекувања во акумулацијата, потреби од вода, метеоролошки податоци потребни за определување на испарувањето од акумулацијата, податоци за еколошко загарантираното протекување и др. За претходно дефинираните приоритетни корисници, како проектни критериуми, односно гранични услови ќе бидат усвоени следните параметри:

- 100 % обезбеденост на еколошко загарантирано протекување;
- 90 % обезбеденост на потребите за вода.

Примарната цел на развојот на водостопанските системи најчесто се дефинира како максимизација на националната благосостојба. Целта со примената на симулационен модел во рамките на истражувањето е да се димензионира акумулацијата и да се определи оперативна

политика за управување со акумулациониот простор на планиран ХС, притоа задоволувајќи ги побарувачките за снабдување со вода на различните намени/водокорисници и да се усвои оперативна политика за управување со хидросистемот врз база на зададениот критериум - степен на исполнување на специфицираните цели, т.е. потреби за вода.

3. ТЕХНИЧКИ ОПИС НА ХИДРОСИСТЕМОТ „СЛУПЧАНКА“

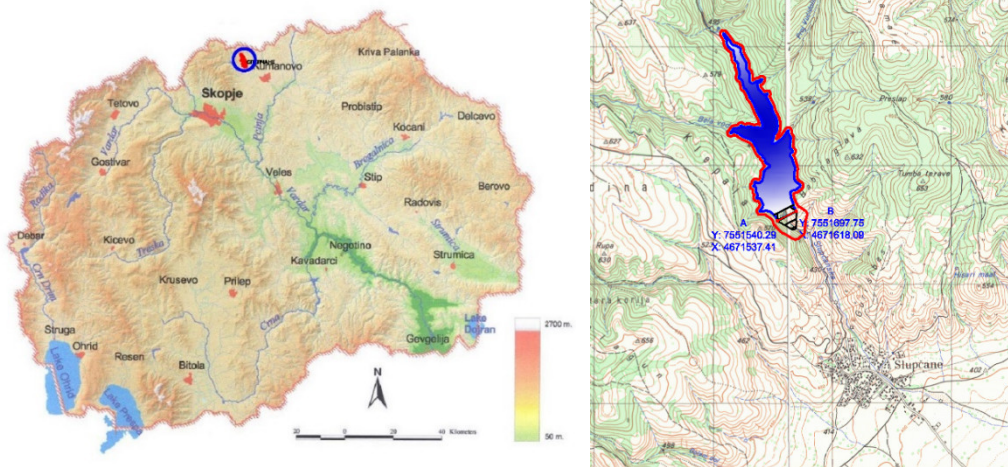
Идејата за изградба на браната „Слупчанка“ е стара повеќе од десетици години и датира некаде од 70-тите години на минатиот век. Основна и примарна намена на браната „Слупчанка“ заедно со придружните објекти е задоволување на потребите од вода за пиење на Куманово, како дополна на постојниот ХС „Липково“.

Профилот „Брана“ на р. Слупчанка е лоциран апроксимативно 2 km возводно од с. Слупчане, општина Слупчанка (слика 3.1). Координатите на профилот се $42^{\circ}10'58''$ северна географска ширина и $21^{\circ}37'24''$ источна географска должина. Географската сливна површина на р. Слупчанка заклучно со профилот на браната изнесува $F=31 \text{ km}^2$, додека до вливот во река Слупчанка површината на сливот изнесува $44,2 \text{ km}^2$. Сливното подрачје на реката се протега од највисоката точка на сливот на кота 1223 mnnv (врвот Црн Врв) близу до српската граница, сè до најниската кота при вливот во Липковска Река на кота 350 mnnv. Должината на реката до профилот на браната изнесува $L_{sr} = 8,6 \text{ km}$. Сообраќајните врски до самото преградно место се релативно добри. Од магистралниот пат Е-75 се преминува кај Куманово и преку селата Лопате, Опате и Слупчане по асфалтен пат од околу 8,5 km се стигнува до преградното место. До преградното место, доколку се тргне од главниот град Скопје, може да се стигне преку стариот пат Скопје – Куманово кој поминува преку Арачиново и Никуштак. До тука патот е со асфалтна конструкција за лесни и тешки возила, реновиран пред околу 1 година, долг $L = 15 \text{ km}$. Од таму се минува низ Матејче и Оризари и се пристигнува во с. Слупчане. Патот е со асфалтна конструкција и е за лесни и тешки возила со должина од $L = 12 \text{ km}$. На сликата 3.1 е прикажана локацијата на ХС „Слупчанка“.

Сливното подрачје на р. Слупчанка се наоѓа во северниот дел на Р Македонија и е отворено кон север, што овозможува непречено продирање на воздушните маси од поголемите географски широчини, кои во зимски месеци влијаат на снижување на температурата на воздухот. Просечната годишна температура изнесува $11,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, но во поедини години се движи од $10,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $13 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Просечното годишно температурно колебање изнесува $29,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$, што означува дека подрачјето е под умерено континентално климатско влијание. Тоа се манифестира и преку големата вредност на апсолутното температурно колебање, т.е. високи вредности на апсолутна максимална и апсолутна минимална температура. Апсолутната минимална температура изнесува $-24 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а апсолутната максимална температура изнесува $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Во изминатите 50 години како највлажни години се 2010 г. со просечно паднати 743,39 mm и 1962 г. со паднати 687,90 mm дожд, додека најсушна е 2010 г. со паднати 285,70 mm дожд.

На Слупчанска Река нема воспоставено хидролошка станица од главниот државен хидролошки набљудувачки систем. Хидролошка станица на Слупчанска Река е формирана 1975-1985 година и работела како дел од дополнителна мрежа на станици при Управата за хидрометеоролошки работи. Таа работела наменски за потребите за изработка на хидролошка студија за водотеци од регионот Скопска Црна Гора. Со завршување на „Студијата за водотеците од регионот Скопска Црна Гора“ престанува работењето на хидролошката станица и се прекинуваат дотогашните активности и хидролошки истражувања и мерења на протекот. Во студијата бил предвиден просечен протек од $Q=270 \text{ l/s}$, меѓутоа тој е преценет и не може да одговори на потребите за дефинирање на расположливите количини вода во р. Слупчанка. Од Управата за хидрометеоролошки работи, Скопје, во текот на 2014 година е изработена „Студија за хидрометеоролошки карактеристики на река Слупчанка – профил брана“. При недостиг на расположливи сопствени податоци, за определување на карактеристичните протечи на профилот на браната за целите на студијата се употребени корелативни врски со аналогните сливови на р. Коњарка, која е со соседен слив и граничи со сливот на р. Слупчанка и сливот на Крива Река до хидролошката станица „Трновец“, а воедно тоа се и податоци што се користени во предметниот труд. Според оваа студија, просечниот протек е $Q_{sr}=0,170 \text{ m}^3/\text{s}$, според кој акумулираната вода

во акумулацијата во текот на една просечна година би изнесувал $V=5,36 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Највлажна година во тој период е 2010 година со средногодишен протек $Q_{sr}=0,362 \text{ m}^3/\text{s}$, додека најсушна година е 1994 со $Q_{sr}=0,054 \text{ m}^3/\text{s}$.



Слика 1. Локација на ХС „Слупчанка“

За оптимален тип на брана за одбраното преградно место на р. Слупчанка е усвоена каменонасипна брана со армиранобетонски екран. За одбраниот тип, како главен материјал ќе се користи камен од дефинирано позајмиште, кое се наоѓа на 500 m возводно од преградниот профил. Телото на браната е со симетрични косини 1:1,4 и со ширина на круната од 8 m. Техничкото решение на оваа брана се планира да се реализира преку изработка на потпорното тело од нафрлан камен зонирани во 3 различни зони, и тоа:

- Зона 3В, нафрлан камен со $D_{max} = 60 \text{ cm}$
- Зона 3С, нафрлан камен со $D_{max} = 80 \text{ cm}$
- Зона 3Д, нафрлан камен со $D_{min} = 100 \text{ cm}$

Фундирањето на зоните 3В и 3С се планира да се изврши на здрава карпеста основа со претходно чистење на хумусниот слој и површински распадатниот карпест слој. Армиранобетонскиот екран би се извел по довршено насипување на браната, механизирани во ленти со ширина 15 m. Во дното, армиранобетонскиот екран се планира да се потпре на темелна пета кој оди по ободот на возводната косина на браната. Фугите на армиранобетонските плочи, со ширина 15m, како и периметарскиот контакт со темелната пета, се решени да може да дилатираат и да бидат водонепропусни. Водонепропусноста на темелната подлога ќе се реши со предвидената инјекциона завеса која ќе се простира под темелната пета. На возводната страна од круната на браната е планиран бранобран кој ќе има улога да ја обезбеди слободната резервна висина од 2,0 m над максималното ниво во акумулацијата. На низводната страна од круната на браната е предвидена метална заштитна ограда со висина од 75 cm.

За свртување на река Слупчанка, за време на градење на браната се предвидува узводен загат кој ќе остане надвор од телото на браната и ќе ја насочи водата во опточниот тунел, кој е позициониран во десниот бок. По градба на браната, опточниот тунел ќе се адаптира во темелен испуст.

За безбедно преливање на поплавните големи води е планиран бочен преливник, на левата страна на профилот. Преливниот објект е димензиониран за евакуација на поплавен бран со повратен период $T=10.000$ години за меродавно протекување $Q_{max}= 260 \text{ m}^3/\text{s}$. Бочниот преливник се состои од собирен канал, преоден дел, брзотек и ски-отскок.

4. ОСВРТ НА ПОТРЕБИ ЗА ВОДА

Потребите за вода се усвоени во согласност со техничката документација [7]. Имено, усвоена е потреба за вода $Q=0.2 \text{ m}^3/\text{s}$, од аспект на запазување на повеќегодишна обезбеденост со вода во

акумулацијата со цел да не се генерира состојба со дефицит на вода во истата, а воедно и преливањето на водата од акумулацијата да се сведе на минимум.

5. СИМУЛАЦИОНО МОДЕЛИРАЊЕ НА ЕДНОАКУМУЛАЦИОНЕН ХИДРОСИСТЕМ

5.1 ВЛЕЗНИ ПОДАТОЦИ

За анализа на работата на водостопанскиот систем во услови на различни хидролошки оптоварувања е изработен симулационен модел на системот со примена на софтверскиот пакет HES ResSim за оперативна политика V1 со побарувачка на вода $Q_p=0.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Симулациониот модел е изработен со временски чекор од 1 ден. При изработката на симулациониот модел се користени следните влезни податоци:

- (a) Карактеристични коти за акумулацијата и браната:
 - Кота на нормално ниво (максимално работно ниво) $K_{NN}=491.0 \text{ mnv}$
 - Кота на оптимално минимално ниво (минимално работно ниво) $K_{OMN}=468.0 \text{ mnv}$
- (b) Низа на мерени протекувања на влив во акумулацијата, во период од 50 години;
- (c) Криви на волумени и површини на акумулациониот простор;
- (d) Крива на пропусна способност на преливен орган;
- (e) Крива на пропусна способност на темелен испуст;
- (f) Месечни испарувања во mm;

За зачувување на екосистемите и биоценозата низводно од браната е предвидено испуштање на еколошки загарантирано протекување Q_{ek} низ темелниот испуст на браната. Еколошки загарантираното протекување се испушта секогаш кога низводните истекувања од браната се помали од $Q_{ek}=0.03 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.2 ОПЕРАТИВНА ПОЛИТИКА V1

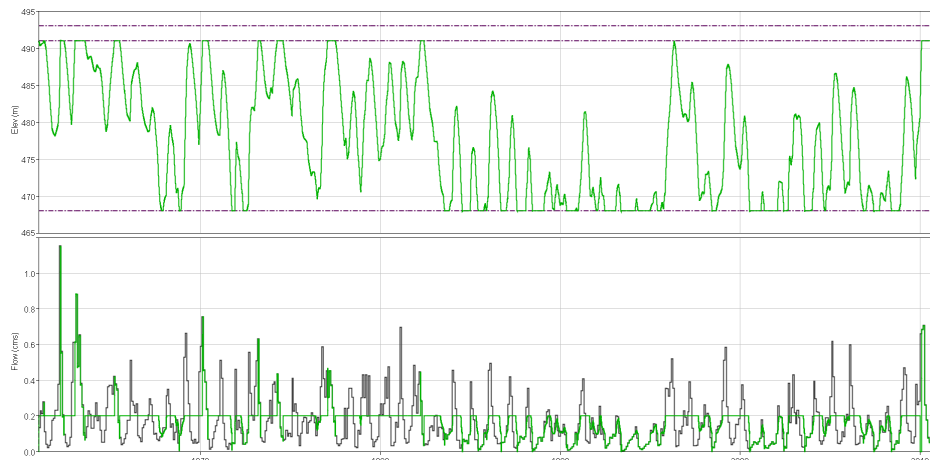
На слика 2 е дадена флукуацијата на водното ниво (горе) и хидрограм на дотекувања и истекувања (долу) од акумулацијата „Слупчанка“ за разгледуваната оперативна политика. Водното ниво во акумулацијата „Слупчанка“ во тек на целиот разгледуван период се карактеризира со значителни осцилации во зоната на корисниот простор помеѓу котата на нормалното и минималното ниво, кои корелираат со хидролошкото дотекување и излезно протекување од акумулацијата (слика 2).

На слика 3 е дадена кривата на протекување на преливник (жолта боја) од акумулација „Слупчанка“ за разгледуваниот интервал од 1960 до 2010 година. Во разгледуваниот период во одредени интервали има појава на преливање на водата од акумулацијата „Слупчанка“, која е значително пониска од капацитетот на преливниот орган, т.е. е од занемарлив карактер.

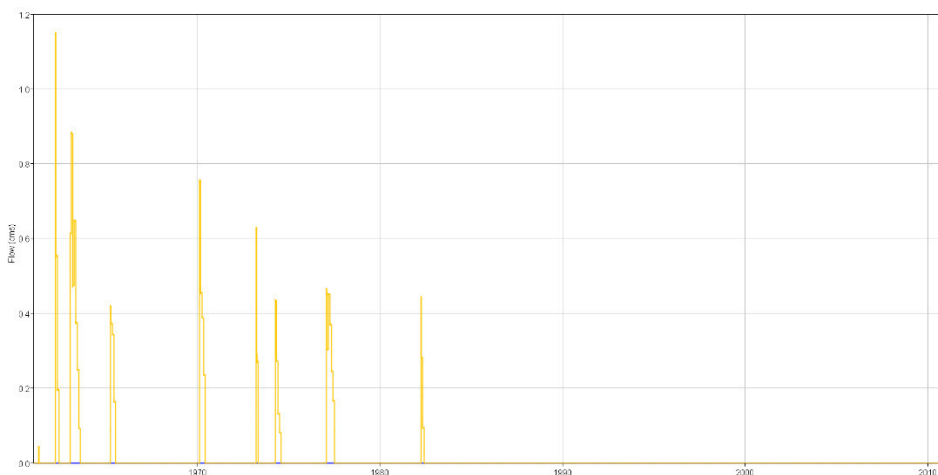
На слика 4 е дадена кривата на протекување на темелен испуст од акумулацијата „Слупчанка“ за разгледуваниот интервал од 1960 до 2010 година. Во разгледуваниот период имаме константно испуштање вода, но истото е нестабилно и варира од 0.0 до 0.06, која нестабилност ни покажува дека поставениот критериум од еколошки аспект со вредност од $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ не е исполнет.

Клучната големина во симулационата анализа е излезното протекување од зафатот на брана „Слупчанка“ за разгледуваниот период од 1960 до 2010 година, прикажано графички на слика 5. Со анализа на излезните големина од акумулацијата „Слупчанка“ се согледува дека преку зафатот за водоснабдување се испорачува вода периодично, со што се задоволени специфицираните потреби за вода во најголем обем. Сепак, треба да се има предвид дека во оперативната политика за V1 е зададено константно зафаќање на вода за потребите за водоснабдување, што во практиката не е случај. Во однос на исполнување на критериумот за еколошки загарантирано протекување, констатацијата е дека има осцилации на излезното

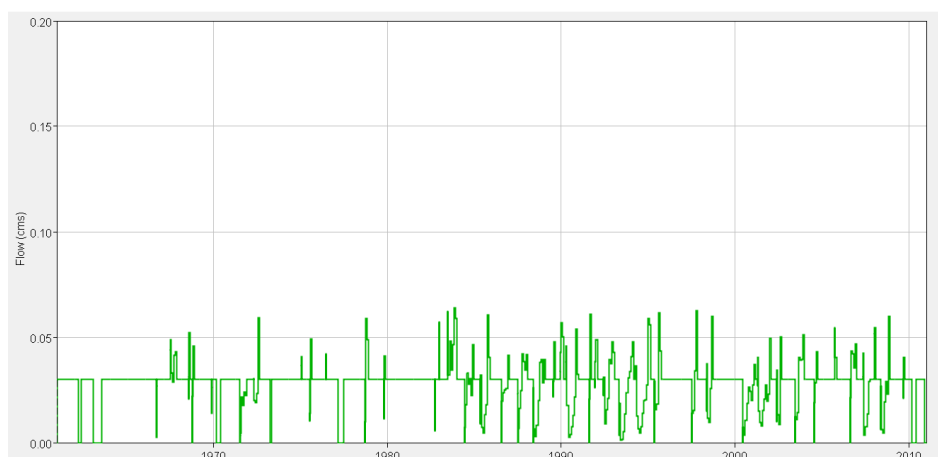
протекување преку темелниот испуст и во одреден период не е исполнет зададениот критериум за еколошко протекување.



Слика 2. Флукуација на водното ниво (горе) и хидрограм на дотекувања и истекувања (долу) од акумулација „Слупчанка“ за V1.

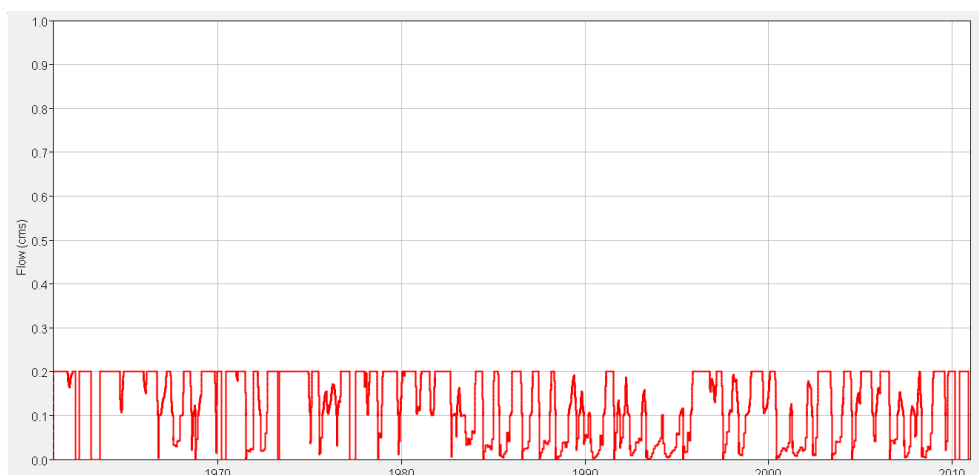


Слика 3. Криви на протекување на преливник (жолта боја) од акумулација „Слупчанка“ за V1.



Слика 4. Криви на протекување на темелен испуст (зелена боја) од акумулација „Слупчанка“ за V1.

На слика 5 е дадена кривата на протекување од зафатот од акумулацијата „Слупчанка“ за разгледуваниот интервал од 1960 до 2010 година за V1. Во поголем дел од разгледуваниот период, со прекини, се испушта вода од акумулацијата „Слупчанка“ во согласност со специфицираната вредност за потребите за вода од $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Сепак, забележливо е дека во одредени периоди излезната големина од зафатот е пониска од специфицираната вредност од $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$, со што не е задоволен критериумот во однос на потребите за вода во целост.



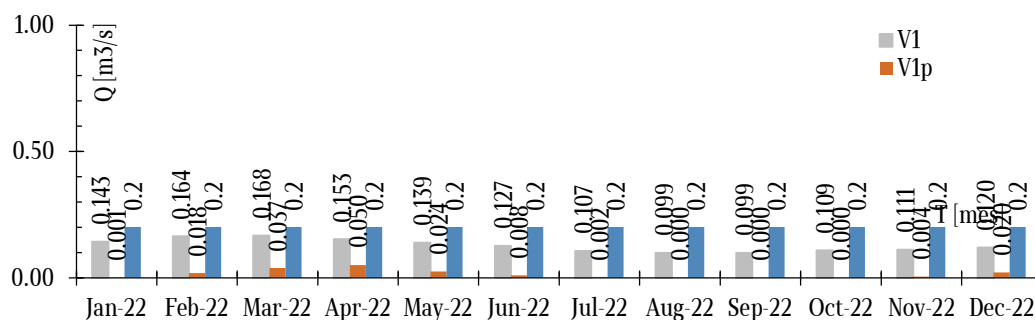
Слика 5. Криви на протекување на зафат за водоснабдување од акумулација „Слупчанка“ за V1.

5.3 АНАЛИЗА НА ИЗЛЕЗНИТЕ РЕЗУЛТАТИ ОД V1 ЗА ДОЛГОРОЧНО УПРАВУВАЊЕ СО ХС „СЛУПЧАНКА“

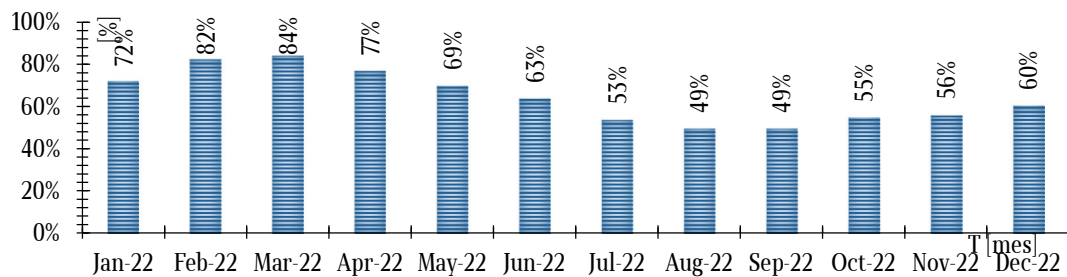
Излезните големини за водоснабдување за повеќегодишен период на управување (земено за целиот разгледуван период 1961 - 2010 година) за разгледуваната оперативна политика V1 се анализирани на месечно ниво, преку пресметка на средна вредност засебно за секој месец.

На слика 6 е прикажана соодветно споредбена анализа на потребите за вода и испорачаната количина на вода од ХС „Слупчанка“ (средномесечна вредност за разгледуваниот период). Процентот на задоволување на потребите за V1 е прикажан на слика 7, која варира во интервал од 49 % до 84 %, во текот на разгледуваниот период.

Со управување на хидросистемот во практика, дефицитот и суфицитот на вода во определени месеци може да се редуцира преку реалокација, и со тоа да се ублажат дополнително периодите со дефицит на вода со цел системот во целост да ги исполни потребите за вода на населението. Со оперативната политика V1 е зададено константно зафаќање вода во текот на 24 h, што во практика не е случај. При задавање на оперативните политики за управување, подетална анализа би се извршила со специфицирање на конкретни временски периоди во текот на денот во кои би се зафаќале потребните количини на вода.



Слика 6. Споредбен приказ на потреби на вода и испорачана вода од ХС „Слупчанка“ за оперативна политика V1.



Слика 7. Степен на исполнување на потребите за вода за повеќегодишно управување со ХС „Слупчанка“, за оперативна политика V1 [%].

6. ЗАКЛУЧОЦИ И ПРЕПОРАКИ ЗА НАТАМОШНО ИСТРАЖУВАЊЕ

Врз основа на проучување на теоретските поставки за процесот на симулација и спроведената анализа со примена на симулационен модел, изработен со примена на програмскиот пакет HECResSim, за управување со едноакумулационен хидросистем, се изведуваат следните согледувања и заклучоци:

1. Предмет на истражување во овој труд е креирање симулационен модел за определување најповолна политика на управување со едноакумулациониот хидросистем (ХС) „Слупчанка“, чијашто главна намена е задоволување на потребите за вода на градот Куманово и околниот регион.
2. Целната функција на моделот е дефинирана во однос на потребите за вода во разгледуваното подрачје, специфицирани во вид на средномесечни потреби за вода.
3. Решавањето на задачата на анализа на системот (определување оперативна политика за управување со ХС во фаза на експлоатација) е извршена со примена на симулационен модел, креиран со примена на софтверскиот програм HEC ResSim, при што се моделирани физичките и оперативните карактеристики на објектите (брана со акумулација „Слупчанка“ и придружни објекти) во рамки на ХС. Поконкретно, зададени се параметри за топографските криви на акумулацијата, податоци за евапорација од слободна водна површина, податоци за корисен простор на акумулацијата, крива на протекување за темелен испуст и преливник и соодветни оперативни правила за управување со ХС.
4. Спроведена е анализа за оперативна политика за управување со системот за константен волумен на акумулацијата, со специфицирање на константно зафаќање на количина на вода преку темелниот испуст од браната „Слупчанка“, ред големина $Q=0,2 \text{ m}^3/\text{s}$
5. Симулациониот модел е изработен со временски чекор од еден ден, при што излезните резултати се анализираат и споредуваат со специфицираните потреби за вода, т.е. критериумот за избор на најповолна оперативна политика е степенот на задоволување на специфицираните потреби за вода.
6. Со симулационата анализа за оперативна политика V1 може да се констатира дека флукуацијата на водното ниво во акумулацијата во текот на целиот разгледуван период се карактеризира со значителни осцилации во зоната на корисниот простор, кои се во корелација со хидролошкото дотекнување и излезното протекување од акумулацијата, со појави на преливање во многу кратки периоди. Еколошки загарантираното протекување е во дијапазон од $(0,0\pm 0,06) \text{ m}^3/\text{s}$, со осцилации и во одреден период не е исполнет зададениот критериум за еколошко протекување. Во поголем дел од разгледуваниот период, со прекини, се испушта вода од акумулацијата „Слупчанка“ во согласност со специфицираната вредност за потребите за вода од $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, со што не е задоволен критериумот во однос на потребите за вода во одредени периоди во целост. Интегрално гледано, со симулација на оперативната политика за оперативна политика V1 се задоволуваат специфицираните потреби за вода во најголем обем.
7. Во согласност со споредбената анализа на потребите за вода и испорачаната количина на вода од ХС „Слупчанка“ (средномесечна вредност за разгледуваниот период), оперативната политика V1 во најголем обем ги задоволува потребите за вода во однос на останатите

варијанти. Процентот на задоволување на потребите варира во интервал (49÷84)% во тек на разгледуваниот период, сведен на репрезентативна година.

8. Потребно е да се истражи ефектот на вклучување на ХС „Слупчанка“ во постојниот ХС „Липково“, од аспект на задоволување на потребите за вода по време и количина, со креирање симулационен модел.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Jermar, M. K. (1987). *Water resources and water management*. Munich: ELSEVIER.
- [2] Joan D. Klipsch, T. A. (н.д.). *RESERVOIR OPERATIONS MODELING WITH HEC-RESSIM*. Davis.
- [3] Simonovic, S. P. (2009). *Managing Water Resources*. Paris: UNESCO Publishing.
- [4] Votruba, L. (1988). *ANALYSIS OF WATER RESOURCE SYSTEMS*. Prague: SNTL - Publishers of Technical Literature.
- [5] Wurbs, A. R. (1994). *Computer models for water resources planing and management*. Virginia: USACE.
- [6] Митовски, С. (2021). *Симулациони модели за анализа на хидросистеми*. Скопје.
- [7] Михајловски, С. (2017). *Идеен проект за брана и акумулација на река Слупчанска, Книга А1: Опит дел - Општи податоци, подлоги, рекапитулација на инвестиционите трошоци, анализа на избор на оптимален тип на брана со придружни објекти, приказ на усвоеното техничко решение*.