



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

ПРЕДГОВОР

Во периодот од 1994 до 2003 година беа успешно организирани девет советувања за водостопанството во Р. Македонија, со што беше создадена една благородна традиција, која, за жал, во следниот десетгодишен период беше запоставена. Со цел да се обнови оваа традиција, во 2014 година беше одржано 10. советување за водостопанство и хидротехника (ВСХТ), организирано од ЗМКГБ. Одржувањето на традицијата продолжи со две советувања за ВСХТ, 11. во 2016 и 12. во 2019 година. Значајноста на советувањата за ВСХТ произлегува од фактот дека тие обезбедуваат на едно место да се состане водостопанската и хидротехничката фела и во сериозни презентации и дискусии на сесиите, но и во неформална порелаксирана атмосфера, да ги идентификува и разреши проблемите од административен и технички карактер.

Потребата од одржување на 13-то Советување за ВСХТ е заради исполнување на следните цели, кои во моментот го привлекуваат вниманието на сите инволвирани во овие области. Најголемиот дел од водостопанската инфраструктура во РС Македонија е од постар датум и се наметнува проблемот за подобрување на сигурноста и функционалноста на старите брани. Подобрувањето се однесува во иновирањето на техничката документација и навремена санација на оштетените хидротехнички објекти. Водостопанството е една од стопанските гранки, есенцијални за развојот и напредокот на државата, која, за жал, неуспешно беше трансформирана во долгиот транзициски период, започнат од 1990 година. Во моментот повторно се актуализира реструктурирањето на водостопанските претпријатија, обединети во АД ВС на РСМ, Предуслов за успешно реформирање на водостопанството е да се согледаат сите позитивни и негативни страни од досегашното администрирање со водите и да се идентификуваат можностите за подобрување на организационата поставеност на водостопанството.

Хидроенергетиката е една од најзначајните гранки во областа на користењето на водите. Во последната деценија има драматични промени во инсталираната моќност на централите за производство на електрична енергија од обновливи и еколошки чисти извори на енергија. На глобално ниво во 2021 година, инсталираноста на соларните централи изнесуваше 942 GW, а на хидроцентралите (заедно со пумпно акумулационите) беше 1,330 GW. Инсталираната моќност на соларните централи (фотоволтаиците) се зголемува со геометриска прогресија. На годишно ниво се очекува пораст на инсталираната моќност на хидроцентралите за околу 30 GW, додека за соларните централи во 2022 се инсталирани 268 GW, а за 2023 се предвидува дека ќе бидат додадени 315 GW. Не е тешко предвидливо дека во 2023 година инсталираната моќност на соларните централи, кои станаа позначајни само во последната деценија, ќе ја надмине инсталираната моќност на хидроцентралите, кои се градат повеќе од стотина години. Овој глобален тренд најверојатно ќе се преслика и во енергетскиот сектор во Македонија. Притоа треба да се имаат предвид локалните особености. Имено, во РС Македонија е изграден само 30% од хидроенергетскиот технички искористливиот потенцијал (ТИП), кој со најновите поскапувања на електричната енергија, практично е преминат во категоријата на економски искористив потенцијал. Доколку на глобално ниво, за регуларно оперирање со мешовит електроенергетски систем, односот соларни/хидро според годишниот прираст е околу 10, што варира од 20 до 5, зависно од степенот на изграденост на ТИП, од 90% до 20%, тогаш во РС Македонија тој однос не би требало да биде поголем од 5. Во оваа етапа од развојот на енергетиката во РС Македонија, не треба соларните централи да се третираат како конкуренција на хидроцентралите. Напротив, инсталирањето на соларните централи е поттик за градба на нови хидроцентрали. Треба да се истакне дека во оваа фаза инвестирањето во мали и проточни хидроцентрали е целосно неприфатливо, зашто покрај што беа неоправдани од еколошки, социолошки и економски аспект, сега станаа и енергетски нелогични. Во овој момент се неопходни големи акумулациони хидроцентрали и, пред се, реверзибилни хидроцентрали, за покривање на дневната нерамномерност и непредвидливост на соларните централи. Имајќи предвид дека водните акумулации со голем корисен волумен се единствените активни мерки за ублажување на негативните влијанија од климатските промени, логично е дека развојот на хидроенергетиката во идниот период треба да биде со двократно користење на повеќеенаменските акумулации, со навремено инволвирање на приоритетните водокорисници (водоснабдување и наводнување), еколошки гарантираното протекување и одбраната од поплави.

Здружението МКГБ е стручна, невладина и непрофитабилна инженерска организација и е член на Меѓународната комисија за големи брани (ICOLD) во континуитет од 1950 година. Процената дека Здружението ќе биде успешен организатор на ова советување беше поткрепена со фактот дека во минатиот период ЗМКГБ се докажа со реализацијата на поголем број научни собири: Советување на тема: Проектирање и изградба на браната Козјак (1999); Прв конгрес за брани (2004); Советување на тема: Браната Козјак – искуство од изградбата, првото полнење и почетната експлоатација (2005); Втор конгрес за брани (2008); International Workshop "Advanced methods and materials for dam construction", with lecturers from Greece, Switzerland and R. Macedonia (2009); International Symposium "Dams - recent experiences on research, design, construction and service", organized by MACOLD and SLOCOLD (2011); Конференција на тема: Хидројаловиштата во Р. Македонија (2012); Трет конгрес за брани (2013); 10. советување за ВСХТ (2014), Конференција на тема: Состојбата со водостопанската инфраструктура (2015), 11. Советување за ВСХТ (2016), Четврт конгрес за брани (2017), Трибина на тема: 80 години на инженерството за брани во Р. Македонија (2018), 12. Советување за ВСХТ (2019), Second International Symposium "Water reservoirs – an Active Measure in Adapting to Climate Change", organized by MACOLD and SLOCOLD (2020), 5-ти Конгрес за брани (2021) и Втора конференција за хидројаловишта (2022).

За 13. советување за ВСХТ пристигнаа поголем број реферати, а Редакцискиот одбор прифати 12 да бидат отпечатени во Зборникот посветен на советувањето. Рефератите се на македонски јазик (8) и на англиски јазик (4), а се подготвени од експерти од Македонија, Словенија, Србија и Хрватска. Распоредот на рефератите во зборникот е приспособен на широкиот спектар на проблеми што се третираани во трудовите, без да бидат систематизирани во конкретни тематски поглавја. На 13. советување за ВСХТ очекуваме да има успешни презентации и дискусии по рефератите, како и трансфер на знаење меѓу учесниците од водостопанската и хидротехничката фела, кои припаѓаат на различни сектори - од практиката до научноистражувачките центри, односно од проектантски и изведувачки компании до оператори со хидросистеми. Очекуваме манифестацијата, која се одржува во Комората за овластени архитекти и инженери (КОАИ) во Скопје, да биде собир за пријатно дружење, нови познанства и неформални разговори.

Ја користам оваа пригода да им се заблагодарам на авторите на рефератите, за нивниот вложен труд и придонес во развојот на водостопанството и хидротехниката во Северна Македонија; на членовите на Редакцискиот одбор, кои ги евалуираа рефератите; на членовите на Организациониот одбор за нивната пожртвувана работа; на спонзорите и на учесниците на советувањето.

Скопје,
октомври 2023 година

Претседател на ЗМКГБ,
проф. д-р Љупчо Петковски

Preface

From 1994 to 2003, nine Conferences on water economy in Republic of N. Macedonia were successfully organized, which created a noble tradition that unfortunately, in the following ten year period was abandoned. In order to renew this tradition, in September 2014 was held 10th Conference on water economy and hydrotechnics, organized by MACOLD. The tradition continued by two Conferences, the 11th in 2016 and 12th in 2019. The importance of the Conferences on water economy and hydrotechnics comes out from the fact that they provide meeting of the water economy and hydrotechnical experts at one place and by detailed presentations and discussions within the sessions, but also in unformal relaxed atmosphere, to identify and resolve the problems from administrative and technical point of view.

The need of having the 12th Conference of water economy and hydrotechnics is due to fulfillment of the following goals, that in the moment are occupying the attention of all involved in this field. The main portion of the water economy infrastructure in RN Macedonia is of older date and the problem arises for maintenance and improvement of the safety and functionality of the aged dams. The improvement implies to innovation of the technical documentation and timely restoration of the damaged hydraulic structures. The water economy is one of the economy branches that is essential for the state development and progress, that unfortunately was unsuccessfully transformed in the long transition period, dated back in 1990. IN the moment again is resurfaced restructuring of the water economy enterprises, united in AD Water Economy of RNM. The precondition for successful reform of the water economy is to realize all positive and negative aspects from the water management till now and to identify possibilities for improvement of the organizational setup of the water economy.

The hydropower is one of the most important branches in the filed of water utilization. In the last decade there are dramatic changes in the installed power of the plants for electric energy production from renewable and ecological sources of energy. On global scale in 2021 the installation of the solar plants was 942 GW, and on hydro power plants (including pump storage plants) was 1,330 GW. The installed power of the solar plants (photovoltaics) increases by geometric progression. On annual scale is expected increase of the installed power of the HPP for approximately 30 GW, while in the case of the solar plants in 2022 are installed 268 GW, and in 2023 are planned another 315 GW. It is not hard to predict that in 2023 the installed power of the solar plants, that became more important in the last decade will overcome the installed power of the HPP, that are constructed more than one century. Such global trend will most likely reflect in the energy sector in Macedonia. Therefore the local characteristics should be taken in to account. Namely, in RN Macedonia is built only 30% of the hydro power technically usable potential (TUP), that by the latest price increase of the electric power, practically is passed in the category of economical usable potential. If on global scale, for regular operating in the mix electro-power system the ratio solar/hydro according to the annual increase is approximately 10, that varies from 20 to 5, in dependence of the degree of utilization of the TUP, from 90% to 20%, then in RN Macedonia such ratio should be less than 5. In this stage of energy development in RN Macedonia, the solar plants should not be treated as competition of the HPP. On the contrary, the installation of the solar plants is incentive for construction of new HPP. It should be emphasized that at this stage investing in small and run-of-river hydropower plants is completely unacceptable, because in addition to being unjustified from an environmental, sociological and economic point of view, they have now also become energetically illogical. At this moment, large storage hydropower plants and, above all, reversible hydropower plants are necessary to cover the daily unevenness and unpredictability of solar power plants. Taking into account that water reservoirs with a large active volume are the only active measures to mitigate the negative impacts of climate change, it is logical that the development of hydropower in the future period should be with the dual use of multi-purpose reservoirs, with the timely involvement of priority water users (water supply and irrigation), environmentally guaranteed discharge and flood protection.

MACOLD is expert, non-government and non-profit engineering organization and it is a member of the International Committee on Large Dams – ICOLD in continuity since 1950. The estimate that the Committee will successfully organize this conference is due to the fact that MACOLD has organized a large number of scientific gatherings in the past period: Conference on topic Designing and construction of dam “Kozyak” (1999); First Congress on Dams (2004); Conference on topic Dam Kozyak – experiences from construction, first filling and initial service (2005); Second Congress on Dams (2009); International workshop with participation of lecturers from Greece and Switzerland

(2009), International symposium organized in cooperation with Slovenian committee on large dams (2011); Conference on tailings dams in Republic of Macedonia (2012); Third Congress on Dams (2013); 10th Conference on Water Economy and Hydraulics (2014); Conference on topic: State of the water economy infrastructure (2015); 11th Conference on Water Economy and Hydraulics (2016); 4th Congress on Dams (2017); and Tribune on topic: 80 years of dam engineering in R. Macedonia (2018), 12th Conference of water economy and hydraulics (2019), Second International Symposium "Water reservoirs – an Active Measure in Adapting to Climate Change", organized by MACOLD and SLOCOLD (2020), 5th Congress on dams (2021) and Second conference on tailings dams (2022).

For the 132th Conference on water economy and hydraulics a large amount of papers were submitted and the Editorial Board accepted 12 to be printed in the conference Proceedings. Papers are on Macedonian language (8) and on English (4), and are prepared by experts from Macedonia, Slovenia, Serbia and Croatia. One can notice that papers in the Proceedings are not in order to the topics for the Conference. Namely, the order of the papers is adapted to a larger spectrum of problems elaborated in the papers, without being systematized in specific topics' headings.

On the 13th Conference on water economy and hydraulics we expect successful presentation and discussions on papers, as well as knowledge transfer among participants from water economy and hydraulic engineering professions working in different sectors – from practical application - to scientific research units, i.e. from design and construction companies, to hydro systems operators. We expect that the event, that is being held in the Chamber of certified architects and engineers in Skopje, to be a gathering of comfortable hang out, new acquaintances and informal conversations.

In this occasion I would like to express my gratitude to the papers' authors for their effort as well and for the expert and scientific contribution to the development of the water economy and hydraulic engineering in Republic of N. Macedonia, to the members of the Editorial Board for review of the papers, to the members of the Organizing Board for their enormous efforts, as well and to the conference sponsors and participants.

Skopje,
October 2023

President of MACOLD,
Prof. Ljupcho Petkovski, PhD

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 Димитриевски

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 Blagoevski

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

Империјал 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



КОРИСТЕЊЕ НА ЕПАНЕТ ЗА ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА ХИДРАУЛИЧКИ КАПАЦИТЕТ НА СИФОН КАЈ СИСТЕМ ЗА НАВОДНУВАЊЕ

Гоце Тасески¹, Никола Крстовски²

Резиме

Со оглед на просторната поставеност на системите за наводнување, често на главните доводни цевководи составни елементи се сифоните. Тие претставуваат објекти што најчесто се користат за премин на цевководот под река, пат, железница, суводолица и слично и истите хидраулички функционираат како системи под притисок.

Целта на овој труд е да се прикаже употребата на софтверот за хидрауличка анализа на системи под притисок ЕПАНЕТ за определување на хидрауличкиот капацитет на сифон од систем за наводнување. Односно, во овој труд е анализирана студија на случај постоен сифон „Макарија“, којшто е дел од системот за наводнување „Тиквеш“, при што на дел од сифонот се случува голема хаварија.

Примената на ЕПАНЕТ во решавање на конкретниот предизвик е клучна во брзиот и во точниот избор на оптимален дијаметар на цевководот бидејќи постојниот сифон е со дијаметар 1.620 mm, а во моментот на хаварија нема можност да се вгради цевковод со исти таков дијаметар бидејќи за негово производство е потребно подолго време кое во овој случај е клучен фактор затоа што потребите од вода се итни.

Според тоа, со користењето на ЕПАНЕТ се направени хидраулички пресметки за повеќе варијанти со примена на различни цевководи од каде што е направен избор на оптимален дијаметар на цевковод, а соодветно на тоа и избор на материјал за цевководот со основен критериум за да се обезбеди максимално можна проточна количина на вода низ целиот сифон.

Клучни зборови: Сифон, Хидрауличка анализа, Максимален проток, ЕПАНЕТ

USING EPANET FOR DETERMINING THE HYDRAULIC CAPACITY OF A SIPHON IN AN IRRIGATION SYSTEM

Goce Taseski¹, Nikola Krstovski²

Summary

Considering the spatial arrangement of the irrigation systems, siphons are often part of the main supply pipelines, which represent objects that are used most often for the passage of the pipeline under a river, road, railway, waterway, etc., and the same hydraulically function as water pipeline pressure systems.

The purpose of this paper is to demonstrate the use of the software for hydraulic analysis of pipeline pressure systems (EPANET) to determine the hydraulic capacity of a siphon from an irrigation system. Namely, this paper analyzes a case study of an existing siphon "Makaria" which is part of the Tikvesh irrigation system, where a major accident occurs on part of the siphon.

The application of EPANET in solving the specific challenge is crucial in the quick and accurate selection of the optimal diameter of the pipeline, because the existing siphon has a diameter of 1620 mm and at the time of the accident there is no possibility to install a pipeline with the same diameter because its production requires longer time which in this case is a key factor because the water needs are urgent. Accordingly, by using EPANET, hydraulic calculations were made for several variants with the application of different pipelines, from which the selection of the optimal diameter of the pipeline was made and, accordingly, the selection of the material for the pipeline with the basic criterion of ensuring the maximum possible flow of water throughout the siphon.

Key words: Siphon, Hydraulic analysis, Maximum flow, EPANET

¹ Assoc. prof. PhD., Faculty of Civil Engineering Skopje, taseski@gf.ukim.edu.mk

² MSc., Faculty of Civil Engineering Skopje

1. ВОВЕД

Системите за наводнување се системи коишто се составени од канали или цевководи под притисок и нивната основна намена е обезбедување доволно количество вода, особено во периодот кога се врши наводнување на растенијата - вегетациониот период кој кај нас, генерално, почнува на 1 април и завршува на 31 септември. Практично, во периодот на наводнување се смета дека системот задоволително функционира ако има обезбеденост од минимални 70 %, што претставува висока обезбеденост и самото тоа покажува дека системите за наводнување се системи кај кои функционалноста е особено важна.

Според изнесеното, јасно е дека за еден систем за наводнување се смета дека добро функционира ако има обезбедено доволна количина на вода за наводнување и во зависност од типот на наводнување може да се бара да се обезбеди и доволно притисок во системот. Во денешно време со примена на современи софтверски алатки, како што е ЕПАНЕТ за анализа на системи под притисок, може да се определат протокот и притисокот во секоја точка/цевка од еден систем за наводнување, односно да се добијат сите хидраулички карактеристики на системот за релативно краток период и да може да се донесат правилни одлуки во изборот на геометриските карактеристики на системите.

Во овој труд е прикажана примената на ЕПАНЕТ за хидрауличка анализа на сифон од главен цевковод на системот за наводнување „Тиквеш“, каде што се случува хаварија на дел од постојниот сифон и со примена на ЕПАНЕТ е направен оптимален избор на цевковод за санација на хаваријата, при тоа е запазен основниот услов за обезбедување на максималната количина на вода што ќе протекнува низ сифонот.

1.1 СОФТВЕР ЕПАНЕТ

ЕПАНЕТ (EPANET) е слободен софтвер за моделирање на водоснабдителни системи под притисок, развиен од Агенцијата за заштита на животната средина (EPA) и од Одделението за водни ресурси на Соединетите Американски Држави [1,5].

Софтверот ЕПАНЕТ може да се користи за моделирање единечен цевковод или мрежа од цевки и со него може да се направи временска симулација на течењето на водата во анализираниот систем. Со ЕПАНЕТ може да се анализираат системи без ограничувања на бројот на потези, при што со истиот може да се следат хидрауличките карактеристики на системот во секој јазол, потег, резервоар односно во целиот систем.

Работи под оперативен систем Виндоус и обезбедува интегрирана средина за моделирање на системот и едноставен влез на податоци. Освен хидраулички, може да се прават и симулации за квалитет на вода, а, исто така, обезбедува приказ на излезните резултат во различни формати, како што се ситуации со кодирани бои, табели со податоци, графикони со временски серии и др. [1,2,5].

Со EPANET хидраулички се моделира систем за дистрибуција на вода кој претставува збир од поврзани јазли. Врските на јазлите може да се цевки, пумпи или разни контролни вентили, додека јазлите може да се и резервоари или извори на вода (акумулации, канали, подземни зафати и сл.) [3,5].

2. ЦЕЛИ

Основна цел на овој труд е да се прикаже примената на современ софтверски пакет за хидрауличка анализа – ЕПАНЕТ на конкретен реален дистрибутивен систем за вода – сифон од постоен систем за наводнување за кој освен максималната хидрауличка пропусна способност на сифонот ќе се определат притисоките во секоја јазолна точка, како и хидрауличките губитоци кои се основно влијание на максималниот капацитет на сифонот.

Како студија на случај, која е предмет на анализа во овој труд, е сифонот „Макарија“, кој е дел од системот за наводнување „Тиквеш“.

3. СТУДИЈА НА СЛУЧАЈ - СИФОН „МАКАРИЈА“

ХМС „Тиквеш“ по своите карактеристики е еден од најголемите и најзначајни хидромелиоративни системи во Р Македонија. Тој ги опфаќа површините и корисниците од општините Кавадарци, Росоман, Градско, Неготино и Демир Капија. Вкупната проектирана бруто-површина за наводнување во ХМС „Тиквеш“ била 17.760.0 ha, а вкупната можна наводнувана бруто-површина изнесува 13.258.0 ha. Изведен е во периодот 1969 - 1971 година, а пуштен во функција при крајот на далечната 1971 година. При што од можната бруто-површина за наводнување во просек годишно се наводнуваат од 5.000,0 - 8.000,0 хектари [6].

ХМС „Тиквеш“ се состои од зафат на вода од вештачката акумулација Тиквешко Езеро и со главен доведен канал водата се доведува до земјоделските површини од ХМС „Тиквеш“. Главниот канал понатаму се дели на два магистрални канали, лев и десен. При што со десниот канал се наводнува поголем дел од земјоделските површини од ХМС „Тиквеш“, додека со левиот магистрален канал се наводнува помал дел од земјоделските површини или околу 4.000 ha можна бруто-површина за наводнување [6].

Левиот магистрален канал започнува од разделната точка со десниот магистрален канал во отворен бетонски канал сè до почетокот на сифонот „Макарија“. Сифонот „Макарија“ е изграден за поминување преку Црна Река со основна намена да обезбеди доволна количина за наводнување на земјоделските површини на левата страна од Тиквешко Поле. Според основниот проект изработен во 1965 година, максималниот капацитет на цевководот – сифонот изнесува 3,8 m³/s и истиот се протега на вкупна должина од 2,15 km со висинска разлика помеѓу влезната и излезната глава од само 4.0 m (слика 1) [6].



Слика 1. Локација на сифон „Макарија“ (Извор Google Earth)

Сифонската цевка е изведена од два типа на материјал [6], и тоа:

- Во делот каде што притисокот е помал од 3,5 бари се применети армиранобетонски цевки, кои од внатрешната страна се обложени со челична ламарина со дебелина од 4 mm и дијаметар од 1640 mm.
- За деловите каде што притисокот во цевката е поголем од 3,5 бари се применети челични цевки со дијаметар од 1640 mm, со променлива дебелина на цевката од 6, 8 и 9 mm во зависност од притисокот во цевката.

На 27.05.2023 година на преминот на сифонот над Црна Река се случи голема хаварија со што настана оштетување на цевководот на вкупна должина од околу 400 m (слика 2). Имено, според увидот на терен, се констатираше дека причината за хаваријата е пукање на цевководот на делот на мостот каде што е направен отвор со подолжна должина од околу 2 m (слика 1), при што се појавило нагло празнење на цевководот што продуцирало појава на нестационарен тек со појава

на голем вакуум, кој, впрочем, самиот цевковод и неговата инсталирана опрема не биле во можност да го издржат и настанало целосно оштетување на цевководот на должина од 400 m.



Слика 2. Состојба на цевководот после хаваријата

3. ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН ЦЕВКОВОД ЗА САНАЦИЈА НА СИФОНОТ

Со оглед на тоа дека дефектот е настанат во период на наводнување, основен критериум за санација на сифонот „Макарија“ е тој да се санира за максимално краток период и да се обезбеди максимално можна количина на вода со која би се намалиле предизвиканите штети на земјоделските култури, при што треба да се користат цевки што ги има на пазарот. По испитување на пазарот се констатираше дека на располагање ги има следниве типови цевки:

- HDPE PE 100 PN 10/16 цевки со OD 500, 560, 630, 710, 800
- Ductile iron DN1000 класа C30
- Челични цевки OD 1320 mm, d=7.14 mm и челик класа 275.

3.1 ХИДРАУЛИЧКА АНАЛИЗА НА СИФОНОТ

За определување на пропусната способност на сифонот е направен математичко хидраулички модел со користење на софтверскиот пакет EPANET.

Хидрауличните равенки што ги користи EPANET при хидрауличката анализа на цевководи под притисок се следните:

- равенката на Darcy-Weisbach или
- равенката на Hazen-Williams.

Во овој труд, хидрауличката анализа е направена со користење на равенката на Hazen-Вилијамс. Оваа равенка е конвенционално прифатлива равенка за проектирање цевководи под притисок, каков што е и сифонот „Макарија“, и истата е едноставна за употреба. Равенката на Hazen-Williams со хидраулички радиус, пад на хидродинамичката линија и брзината на водата се дадени со равенката (1).

$$V = 0.852 C_H R^{0.63} S^{0.54} \quad (1)$$

Каде:

C_H – Коефициент на хидраулички отпор во цевката според Hazen-Williams

S – пад на хидродинамичката линија (m/m)

R – хидраулички радиус (m)

Ако се воведи замена за $V = 4Q/\pi D^2$, $R = D/4$, $S = h_f/L$ и со примена на алгебарски операции се добива:

$$h_f = \frac{10.68LQ^{1.852}}{C_H^{1.852}D^{4.87}} \quad (2)$$

$$h_f = KQ^{1.852} \quad (3)$$

$$K = \frac{10.68L}{C_H^{1.852}D^{4.87}} \quad (4)$$

Каде:

K – Коэффициент на отпор во цевката

Формулата на Hazen-Williams изразена во форма на горенаведените равенки може да се користи за пресметување на падот на хидродинамичка линија во цевки под притисок, односно пресметување на ефективните притисоци во секоја точка. Во табела 1 се дадени вредностите на коэффициентот на хидрауличкиот отпор по Hazen-Williams.

Табела 1. Вредност на коэффициентот на хидраулички отпор според Hazen-Williams

Тип на цевка	Препорачани вредности на СН коэффициентот
ХДПЕ	140 – 150
Лиено железни	130 – 140
Челични	140 – 150

Хидрауличките загуби, освен загубите поради триење (линиски загуби), се составени и од локални загуби, оттука следува:

$$\Delta H = h_f + h_m \quad (5)$$

$$h_m = K(V^2/2g) \quad (3)$$

Каде:

ΔH – Вкупни хидраулички загуби на текот, (m)

h_f – Линиски загуби, (m)

h_m – Локални загуби, (m)

K – коэффициент на локален отпор

v – брзина на текот, (m/s)

g – земјино забрзување, (m/s²)

Во хидрауличката анализа на долги цевководи вообичаено не влегуваат локалните загуби, меѓутоа ако се знае фактот дека висинската разлика на влезниот дел во сифонот во однос на излезниот е само 4 m, неизбежно е во хидрауличката анализа да се пресметуваат и локалните загуби. Софтверскиот пакет EPANET, во зависност од применетиот фитинг, има можност за автоматско пресметување на овие локални загуби.

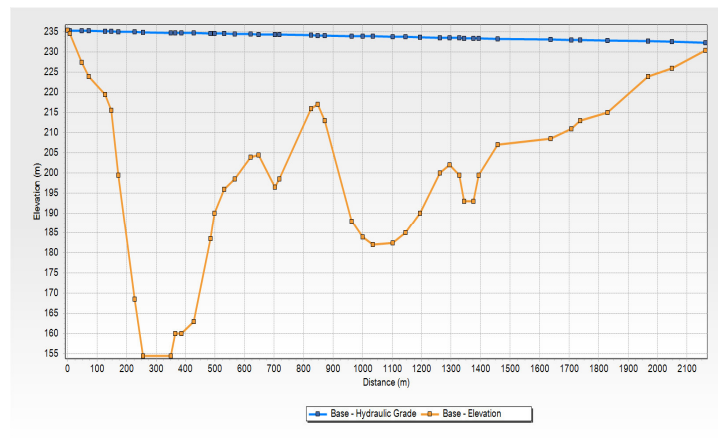
Како што веќе беше наведено, во анализата се користени следниве типови цевки:

- три паралелно поставени цевки со HDPE PE100 PN10/16 OD710 (3x710);
- три паралелно поставени цевки со HDPE PE100 PN10/16 OD630 (3x630);
- четири паралелно поставени цевки со HDPE PE100 PN10/16 OD560 (4x560);
- Ductile iron DN1000 класа C30;
- челични цевки OD 1320 mm, d=7.14 mm и челик класа 275.

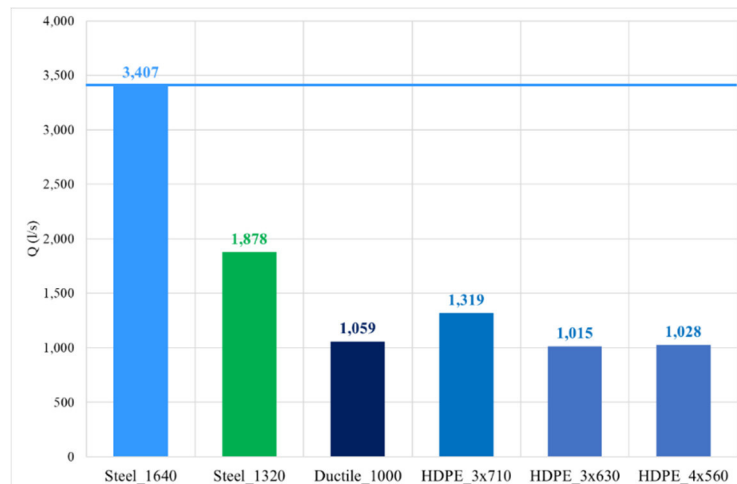
Ваквиот концепт на анализа со паралелно поставување цевки се должи на фактот да се обезбеди што е можно поголема пропусна способност на сифонот „Макарија“ и да се обезбеди можност за побрза изведба.

4. РЕЗУЛТАТИ ОД ХИДРАУЛИЧКАТА АНАЛИЗА

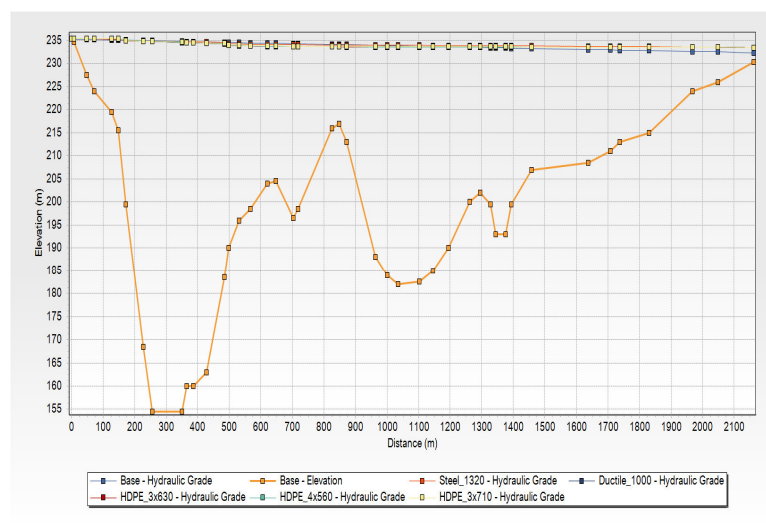
Резултатите од направениот хидраулички модел се дадени во продолжение, при што истите се споредувани и со максималната пропусна способност на сифонот пред да се случи хаваријата.



Слика 3. Хидраулички профил на сифонот пред појава на хаваријата



Слика 4. Излезни резултати од хидрауличкиот модел за различни типови на цевки



Слика 5. Хидраулички профил на сифонот за различни типови на цевки

5. ЗАКЛУЧОК

Со овој труд, практично, се покажува како на едноставен начин со користење на современиот софтвер за анализа на цевководи под притисок EPANET може да се добијат релевантни податоци и на постојни системи, и тоа во релативно краток период, при што се добиваат резултати за протокот на вода и за притисокот во секој дел од целиот анализиран систем. Па, така самата примена на ваквиот софтвер многу ја олеснува работата на инженерите во донесување значајни одлуки во изборот на идните технички решенија со значително висока сигурност.

Од анализираната студија на случај може да се констатира дека максималната пропустливост на системот пред да се случи хаваријата изнесувала 3.400 l/s, додека од сите расположливи типови цевки најголема пропустливост на сифонот се обезбедува со челичниот цевковод со OD 1320 mm, d=7.14 mm и челик класа 275 од 1.878 l/s.

Ако се спореди обезбедената количина на вода со претходно потребната, може да се заклучи дека новопредвидениот цевковод ќе задоволи само 55 % од вкупните потреби на вода, што, исто така, е далеку од минималните 70 %. Но, со оглед на тоа дека настаната хаварија е во период на наводнување и со вака обезбедената количина на вода ќе се обезбеди спас на културите што се наводнуваат.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Rossmann, L A (2000) “EPANET 2.0 User’s manual,” Water supply and water resources division, national risk management research laboratory, Cinchinnati. D. P. Coduto: „Geotechnical Engineering: Principles and Practices“, Prentice-Hall, New Jersey, 1999, 759p (стил References)
- [2] Ramana, G. V., Sudheer, V. S. S., and Rajasekhar, B. (2015) “Network analysis of water distribution system in rural areas using EPANET”. 13th Computer Control for Water Industry Conference, CCWI.
- [3] Lungariya, P., Katharotia, N., Mehta, D., and Waikhom, S. (2016) “Analysis of Continuous Water Distribution in Surat City using EPANET: A Case Study”. GRD Journals | Global Research and Development Journal for Engineering | Recent Advances in Civil Engineering for Global Sustainability | e-ISSN: 2455-5703.
- [4] A Saminu, Abubakar, Nasiru, L Sagir (2013). “Design of NDA Water Distribution Network Using EPANET ”. International Journal of Emerging Science and Engineering (IJESE) ISSN: 2319–6378, Volume-1, Issue- 9, July 2013 R. R. Proctor: „Fundamental Principles of Soil Compaction“, Engineering News Record, Vol. 111, No. 9, 1933, pp.245-248
- [5] EPANET 2.0 user manual.
- [6] Основен проект за сифон „Макарија“.
- [7] Техничко решение за санација на сифон „Макарија“, Градежен факултет – Скопје, јуни 2023