



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 ИЗДАВАЧОТ

Проф. 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 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

Ilija 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, Skopje, R.N. Macedonia

Даниел Цеков

АДИНГ АД Скопје, Р.С. Македонија

Daniel Cekov

ADING AD Skopje, R.N. Macedonia

Орце Мангаровски

ДГ ГРАНИТ АД Скопје, Р.С. Македонија

Orce Mangarovski

DG GRANIT AD Skopje, R.N. Macedonia

Илбер Мирта

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

Ilber Mirta

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

Борче Гоцевски

Рудник САСА, Македонска Каменица, Р.С. Македонија

Borche Goevski

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

Blashko Dimitrov

Chamber of certified engineers and architects, Skopje, 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 – Skopje, 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 Ќаевски

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
Pija Goranov, CEO
BULMAK Mine Radovich, 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
Pija 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 ЗА АНАЛИЗА НА ХИДРОСИСТЕМОТ „ЧЕБРЕН“ КАКО ПУМПНО - АКУМУЛАЦИОНА ПОСТРОЈКА

Фросина Пановска¹, Стевчо Митовски², Љупчо Петковски³

Резиме

За енергетскиот потенцијал на Црна Река се зборува од 1956 година сè до денес, најпрво во идејни проектни решенија, Водостопанската основа од 1973 година, Студијата за интегрален развој на сливот на река Вардар/Axios изработена во 1977 година, Физибилити студијата PHARE од 2003 година и последно – префизибилити студијата за ХЕ „Чебрено“ и ХЕ „Галиште“ од 2017 година. Во минатиот век е изведена ХЕ „Тиквеш“ како прибранска електрана, со изведба на браната и придружните објекти во периодот од 1961 до 1968 година. Речиси четири децении по изградбата на ХС „Тиквеш“, од 2006 до 2015 година се распишани 5 тендери за проектирање, градба и концесија на ХЕ „Чебрено“ и ХЕ „Галиште“, кои неславно завршуваа, за денес, во 2023 година, повторно да се актуализира изградбата на овие хидропотенцијали со склучување на концесиониот договор за изградба на пумпно-акумулациона ХЕ „Чебрено“ со грчката фирма ППЦ Архиродон. Во овој реферат се опишани резултатите од симулациониот модел изработен со параметрите за енергетското искористување на водите од Црна Река кај преградното место за ХЕ „Чебрено“ во согласност со склучениот договор, со цел увид на реалните енергетски можности на овој преграден профил.

Клучни зборови: Чебрено, симулационен модел, пумпно акумулациона хидроелектрана

SIMULATION MODEL FOR ANALYSIS OF THE HYDROSYSTEM ‘CHEBREN’ AS PUMPED STORAGE UNIT

Frosina Panovska¹, Stevcho Mitovski², Ljupcho Petkovski³

Summary

The energy potential of Crna Reka has been talked about since 1956 until today, firstly in conceptual project solutions, the Water master plan from 1973, the Study for the integral development of the Vardar River basin/Axios made in 1977, the PHARE Feasibility study from 2003, and finally – the pre-feasibility study for HPP Chebren and HPP Galishte from 2017. In the last century, HPP Tikvesh was constructed as a dam power plant, with construction of the dam and appurtenant structures in the period from 1961 to 1968. Almost four decades after the construction of HS Tikvesh, from 2006 to 2015, 5 tenders were announced for the design, construction and concession of HPP Chebren and HPP Galishte, which ended ingloriously, so that today, in 2023, the construction of these hydro potentials will be updated again by concluding a concession agreement for the construction of the Chebren pumped-storage HPP with the Greek company PPC Archirodon. In this paper, the results of a simulation model created with the parameters for the energy utilization of waters from Crna Reka at the dam profile for HPP Chebren are described, in accordance with the concluded concession agreement, with the aim of insight into the real energy possibilities of this barrier profile.

Key words: Chebren, simulation model, pumped storage power plant

¹ Assist. MSc, CEng, FCE, SCMU, Skopje, RN Macedonia, fpanovska@gf.ukim.edu.mk

² Assoc. Prof. PhD, CEng, FCE, SCMU, Skopje, RN Macedonia, smitovski@gf.ukim.edu.mk

³ Prof. PhD, CEng, FCE, SCMU, Skopje, RN Macedonia, petkovski@gf.ukim.edu.mk

1. ВОБЕД

За енергетскиот потенцијал на Црна Река и неговото искористување се подготвени голем број технички документации кои говорат за хидроенергетскиот капацитет на овој моќен водотек во нашата земја. Од 1956 година, па сè до денес се изработени околу 260 наслови на ниво на префизибили, физибили, студии, идејни решенија и основни проекти.

Во далечната 1956 година се направени првите истражни работи и геолошки елаборати за можни преградни места во долниот тек на Црна Река, а во 1961 година е изработен и првиот Основен проект за Црна Река од ХЕП „Скопје“ [1]. По овој Основен проект е пристапено кон реализација на ХЕ „Тиквеш“ со изведба на браната и придружните објекти, чијашто изведба е завршена во 1968 година. За натамошниот развој на енергетските капацитети во долниот тек на Црна Река во детали се зборува и во Водостопанската основа на РС Македонија од 1973 година, каде што, покрај постојната ХЕ „Тиквеш“, е предвидена изведба на уште две конвенционални хидроелектрани возводно од акумулацијата Тиквеш – Галиште и Чебрен.

За потврдување на усвоените инсталирани капацитети на планираните хидроелектрани во детали се зборува во Студијата за интегрален развој на сливот на река Вардар/Axios изработена во 1977 година, каде што за првпат преку математички модели се потврдува енергетскиот капацитет на водотеците, вклучувајќи ја и Црна Река.

Во периодот од 1988 до 1989 година е изработен иновиран Идеен проект за ХЕ „Чебрен“ и ХЕ „Галиште“. Понатаму, како важен документ кој сè уште е релевантен во дискусиите за можното хидроенергетско искористување на водите на Црна Река, во 2003 година е изработена Физибили студијата ‘Investment options in the Energy Sector’, Phare programme, Component 2: Optimisation of the River Crna System for Electricity Production and Preparation of Tender Documents for Concession, Exergia. Во овој документ се разработени 8 варијанти за можно искористување на потенцијалот, каде што покрај ХЕ „Чебрен“ и ХЕ „Галиште“ во математичките модели е вклучен и ХЕ „Тиквеш“, а во разгледувањето на варијантите е вклучена и можноста за изградба на низок Чебрен со Скочивир, како и ПАХЕ Чебрен со малата акумулација Орлов Камен [2].

Врз основа на изработената студија од 2003 година, распишани се пет тендери за проектирање и изведба на ХЕ „Чебрен“ и ХЕ „Галиште“ во периодот од 2006 до 2015 година [1]. Сите тендери беа неуспешни.

Денес, во 2023 година, повторно се зборува за ХЕ „Чебрен“ и негова можна реализација како пумпно-акумулациона постројка. По распишаниот јавен повик, а во согласност со донесена одлука за издавање концесија за користење на водите и производство на електрична енергија од страна на Владата на РС Македонија, како најповолен понудувач на тендерот е избрана фирмата „Public Power Corporation“ – компанија од Грција. Во согласност со очекувањата, изградбата на ПАХЕ „Чебрен“ треба да придонесе со околу 1000 GWh/годишно енергетско производство, што е блиску до $\frac{1}{4}$ од моменталното производство на енергија во државата (околу 4000 GWh/годишно, од кои околу 2000 GWh се производство на термоелектраните [3]).

Во продолжение е даден кус осврт на изработен математички модел за ПАХЕ „Чебрен“ со акумулацијата „Чебрен“ и низводната мала акумулација „Орлов Камен“. Целта на моделот е да се провери дали планираниот хидросистем со проектираните физички капацитети и хидрограм на дотеци од 67 години има капацитет да ги исполни очекуваните 1000 GWh/годишно производство на електрична енергија.

2. ОПИС НА МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ

За анализа на реалните енергетски можности на профилот на „Чебрен“ на Црна Река е изработен симулационен математички модел. Моделот е изработен во отворениот софтвер HEC ResSim, изработен од страна на USACE.

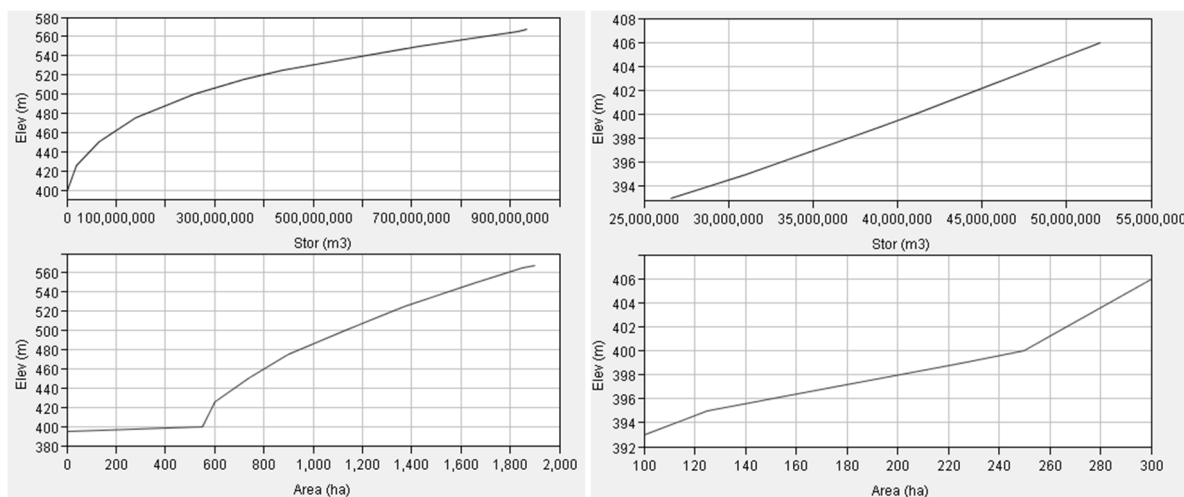
2.1 ВЛЕЗНИ ПОДАТОЦИ ВО МАТЕМАТИЧКИОТ МОДЕЛ

Влезните параметри за анализата се преземени од Варијанта 5 од Физибилити студијата 'Investment options in the Energy Sector', Phare programme, Component 2: Optimisation of the River Crna System for Electricity Production and Preparation of Tender Documents for Concession, Exergia. Во оваа варијанта, инсталираниот капацитет на ХЕ „Чебрѐн“ во турбински режим изнесува 333 MW, а во пумпен режим изнесува 347 MW.

Волумен на корисен простор кај акумулацијата „Чебрѐн“ изнесува $V_{kor}=555 \times 10^6 \text{ m}^3$, со кота на нормално ниво $K_{NN}=565 \text{ m.n.v}$ и кота на минимално ниво $K_{min}=515 \text{ m.n.v}$. Кота на круна на брана кај акумулацијата „Чебрѐн“ изнесува $K_{kr}=567,5 \text{ m.n.v}$.

Веднаш по преградното место за брана „Чебрѐн“ е предвидена акумулацијата „Орлов Камен“, со волумен на корисен простор од $V_{kor}=14.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ и кота на нормално ниво $K_{NN}=400 \text{ mNV}$. Кота на минимално ниво кај „Орлов Камен“ изнесува $K_{min}=393 \text{ m.n.v}$. Акумулацијата „Орлов Камен“ ќе служи како долен базен за пумпно-акумулационата постројка „Чебрѐн“.

Акумулациите се дефинирани преку линија на површини и волумени, за секоја акумулација засебно (прилог 1).



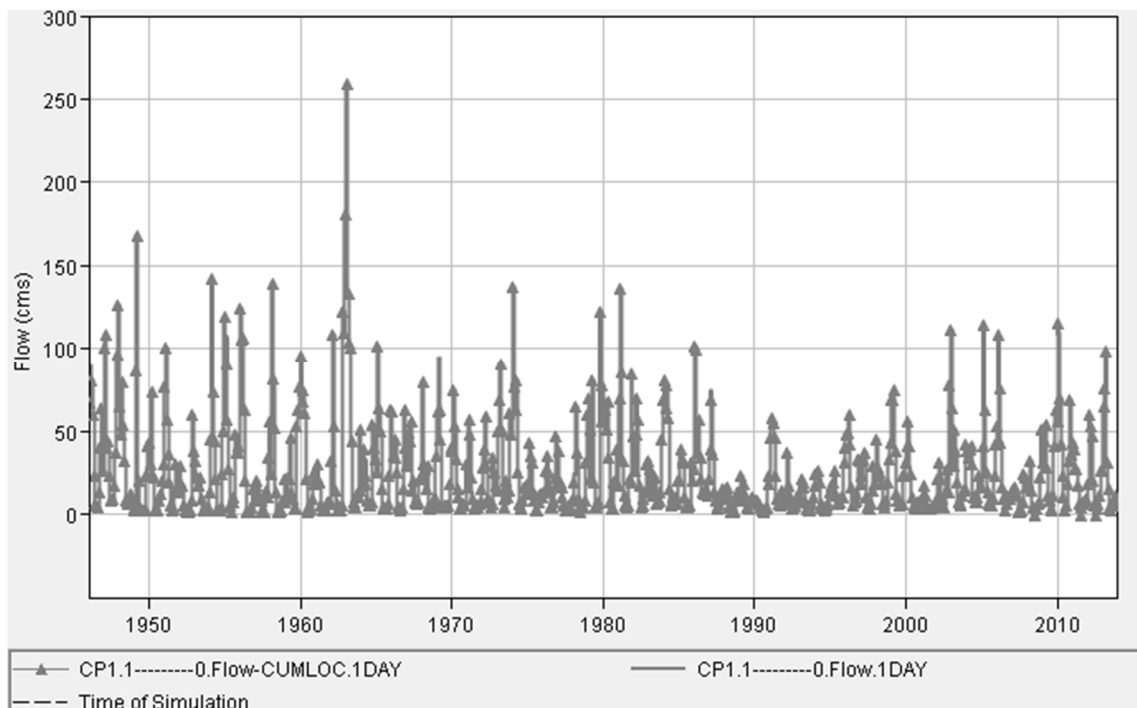
Прилог 1. Линии на волумени и површини за акумулација Чебрѐн (график лево) и акумулација Орлов камен (график десно).

Кај акумулациите „Чебрѐн“ и „Орлов Камен“ се дефинирани три зони за оперативни правила: зона на ретензија на поплавен бран, зона на корисен волумен и мртов простор.

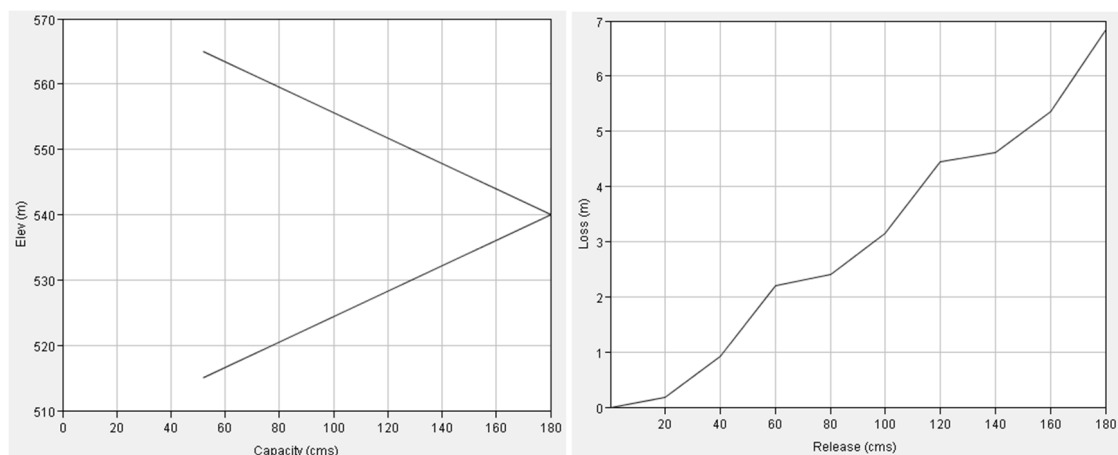
Во акумулацијата „Чебрѐн“, зоната за ретензија на поплавен бран се наоѓа помеѓу котите $Z_{flood}=567 - 565 \text{ m.n.v}$, зоната на корисен простор се наоѓа помеѓу котите $Z_{conservation}=565 - 515 \text{ m.n.v}$. Зоната на мртов простор се наоѓа под котата $Z_{inactive}=515 \text{ m.n.v}$.

Кај акумулацијата „Орлов Камен“ зоната на ретензија на поплавен бран се наоѓа помеѓу котите $Z_{flood}=400 - 408 \text{ m.n.v}$. Корисниот волумен е дефиниран помеѓу котите $Z_{conservation}=400 - 393 \text{ m.n.v}$, а зоната на мртов простор се наоѓа под кота $Z_{inactive}=393 \text{ m.n.v}$. Како главен влезен хидролошки податок во моделот е внесен хидрограм на дотечи во „Чебрѐн“ со средномесечни податоци за периодот од 1946 до 2013 година (прилог 2).

Капацитетот на доводниот орган кон ХЕ „Чебрѐн“ е дефиниран преку крива на зависност помеѓу протокот и кота на ниво во акумулација (прилог 3, график лево). Инсталираноста на постројката во турбински режим изнесува $P_{ins}=333 \text{ MW}$, со коефициент на корисно дејство од 90 % низ целиот симулационен период. Покрај инсталираниот капацитет и коефициентот на корисно дејство, за доводниот орган е дефинирана и крива на загуби на енергија (прилог 3, графикон десно).



Прилог 2. Хидрограм на дотеци во акумулација Чебрен за периодот од 1946 – 2013 година.



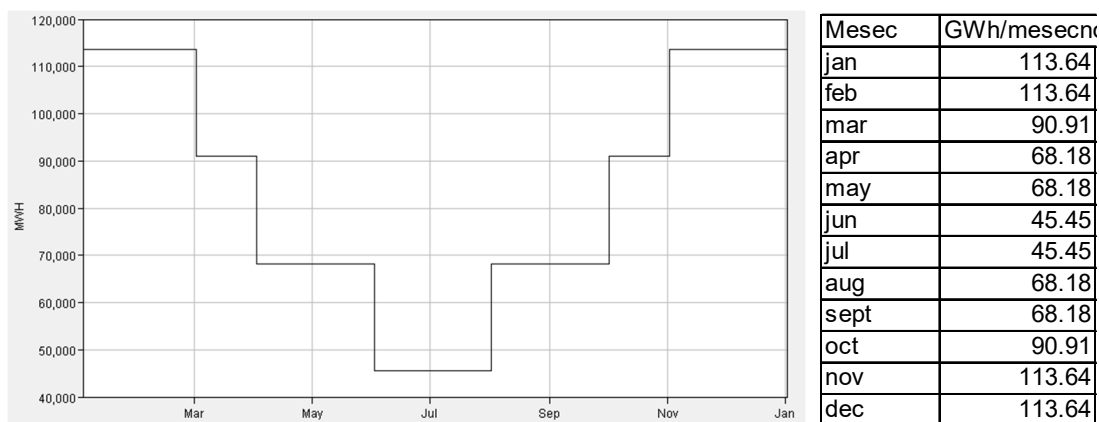
Прилог 3. Крива на капацитет на доводниот орган кон ХЕ Чебрен (график лево); крива на загуби на енергија на доводниот орган (график десно).

Кај акумулацијата „Чебрен“, во зоната на корисниот простор се зададени две главни оперативни правила – работа на хидроцентралата во турбински и пумпен режим. Во турбински режим е дефиниран график на посакувано производство на енергија на месечно ниво. Сумарно, за цела година, побарувачката за енергија е 1000 GWh, со пик во побарувачката во зимските месеци и пад на побарувачката во летните месеци (прилог 4).

За работата на пумпите, оперативното правило е следно:

- Пумпите ќе работат со полн капацитет во периодот од 22.00 часот навечер до 6.00 часот наутро за да го достигнат нивото од $K_{\text{CEBREN}} = 565 \text{ m.n.v.}$, кое претставува кота на нормално ниво во горниот базен од ПАХЕ.
- Доколку нивото од $K_{\text{CEBREN}} = 565 \text{ m.n.v.}$ биде постигнато во периодот на работа, пумпите ќе престанат со работа.
- Ако нивото од $K_{\text{CEBREN}} = 565 \text{ m.n.v.}$ не биде постигнато во периодот од 22.00 часот навечер до 6.00 часот наутро, пумпите ќе престанат со работа во 6.00 часот наутро.

- Доколку нивото во долниот базен падне под котата на минимално ниво $K_{\text{MIN}} = 393 \text{ m.n.v}$ пумпите ќе престанат со работа.
- Максималниот капацитет на пумпите со кои се врши препумпување на вода од долен во горен базен е $Q_{\text{pump}} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$.



Прилог 4. Побарувачка на енергија на месечно ниво во турбински режим за ПАХЕ Чебрен.

Кај акумулацијата „Чебрен“, над ката на нормално ниво $K_{\text{nn}} = 565 \text{ m.n.v}$, зададено е оперативно правило – прелевање преку преливникот до ката на круна на брана $K_{\text{kr}} = 567,5 \text{ m.n.v}$. Максимален капацитет на преливникот е $2000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Кај акумулацијата „Орлов Камен“ е зададено едно оперативно правило – прелевање преку преливникот над ката на нормално ниво од $K_{\text{nn}} = 400 \text{ m.n.v}$ до ката на круна на брана $K_{\text{kr}} = 406 \text{ m.n.v}$. Максимален капацитет на преливникот е $2000 \text{ m}^3/\text{s}$.

3. ИЗЛЕЗНИ РЕЗУЛТАТИ

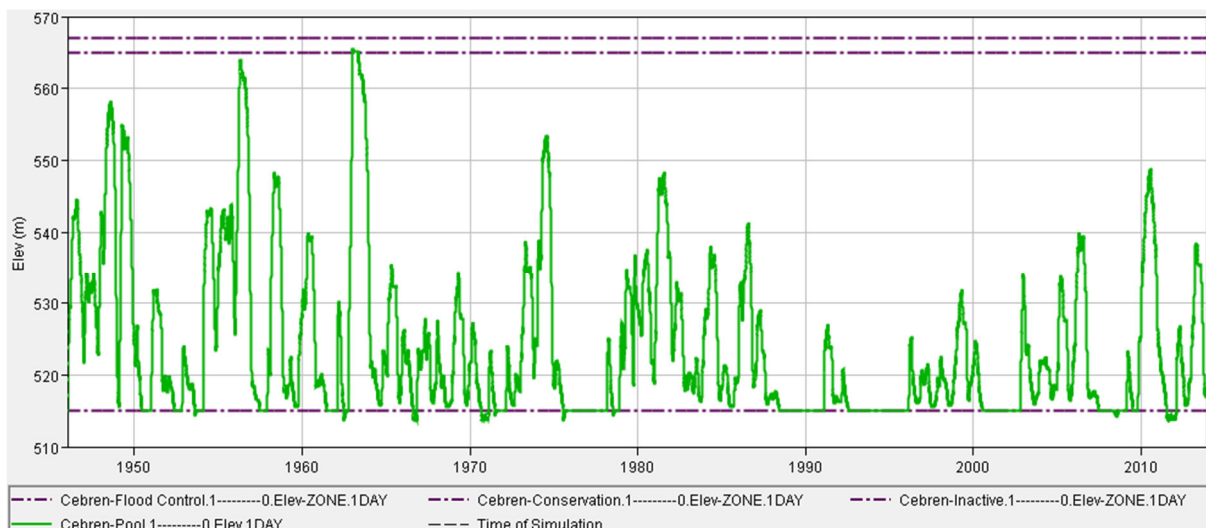
Пред да се изнесат коментари од излезните резултати, треба да се повтори дека инсталираниот капацитет на хидроцентралата со кој се направени анализите изнесува $P_{\text{ins}} = 333 \text{ MW}$ и $Q_{\text{ins}} = 180 \text{ m}^3/\text{s}$. Во најновата префизибилити студија од 2017 година, инсталираниот капацитет на ХЕ „Чебрен“ изнесува $P_{\text{ins}} = 458 \text{ MW}$, но оваа висока инсталираност на хидроцентралата се покажа како висока во споредба со добиените резултати. Воедно, во согласност со последно изнесените информации за јавниот повик на кој фирмата PPC има доставено најповолна понуда за проектирање и изградба на ПАХЕ „Чебрен“, инсталираноста на хидроцентралата треба да биде 333 MW во турбински режим, со очекувано годишно производство од околу 1000 GWh .

Симулациониот период трае 67 години – колку што е долга и низата на средномесечни протоци во влезниот хидрограм. Временскиот чекор во анализата е еден ден.

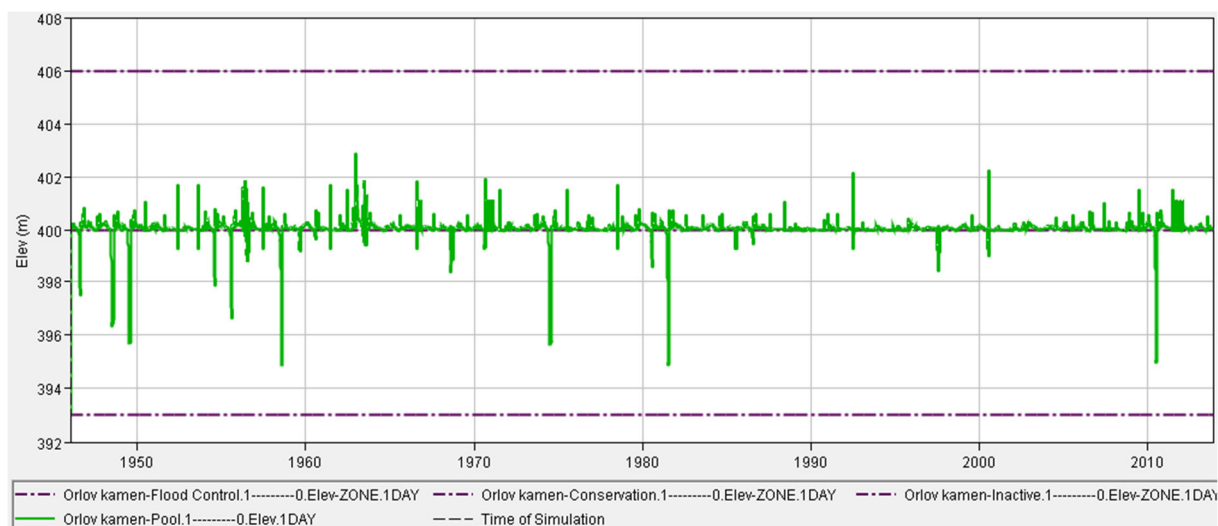
Во продолжение се дадени резултатите од анализата.

На графиконот во прилог 5 може да се забележи промената на водното ниво во акумулацијата „Чебрен“ низ целиот симулационен период. Главно акумулацијата е празна, со средно ниво на исполнетост од $Z = 529,95 \text{ m.n.v}$ и $V = 444\,328\,544 \text{ m}^3$. Во согласност со резултатите, прелевања не се јавуваат низ целиот симулационен период. Во просек, испуштањата низ доводниот орган кон хидроцентралата изнесуваат $Q_{\text{turbine}} = 61,18 \text{ m}^3/\text{s}$.

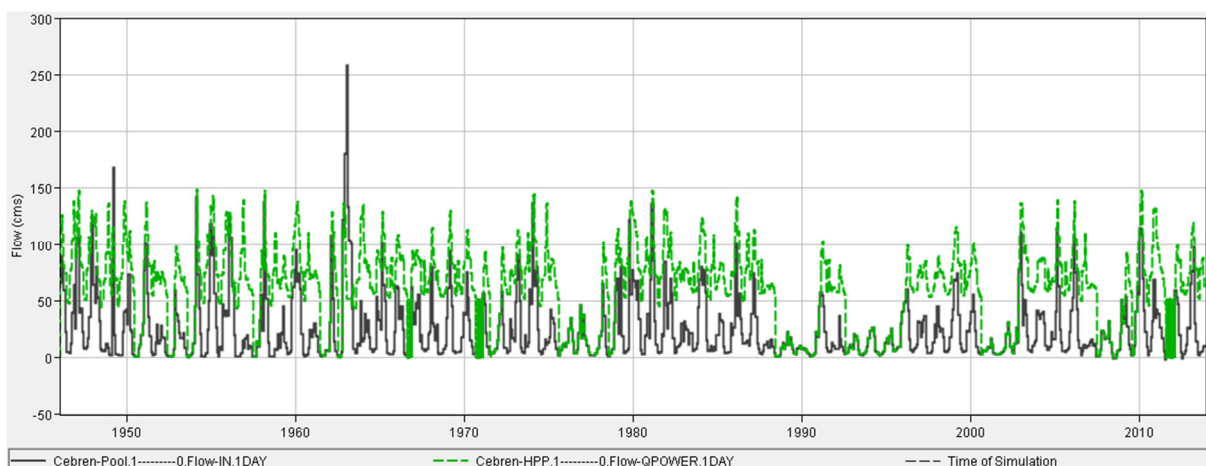
На графиконот во прилог 6 може да се забележи промената на водното ниво во акумулацијата „Орлов Камен“ низ целиот симулационен период. Овде може да се воочи дека, поради малиот акумулационен простор, се јавуваат чести прелевања, со средно ниво на исполнетост од $Z = 400,03 \text{ m.n.v}$ и $V = 41\,048\,491 \text{ m}^3$.



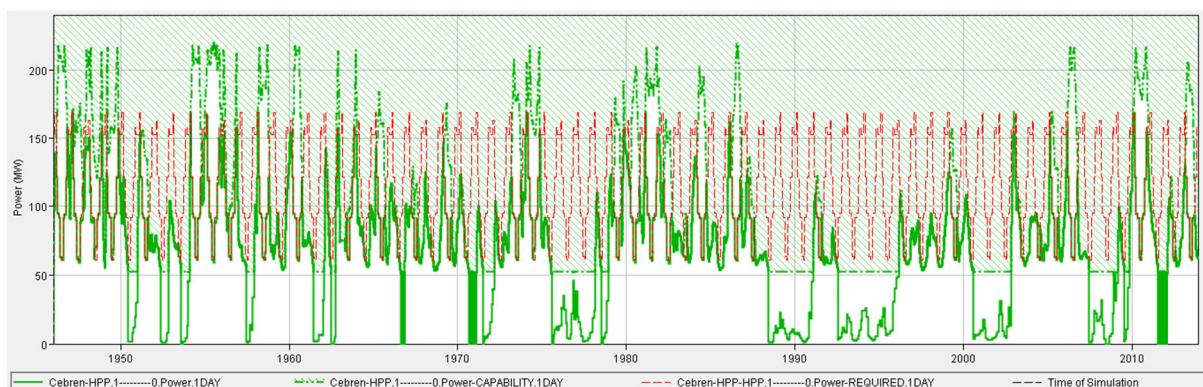
Прилог 5. Флукуација на водното ниво во акумулацијата Чебрен за целиот симулационен период.



Прилог 6. Флукуација на водното ниво во акумулацијата Чебрен за целиот симулационен период.



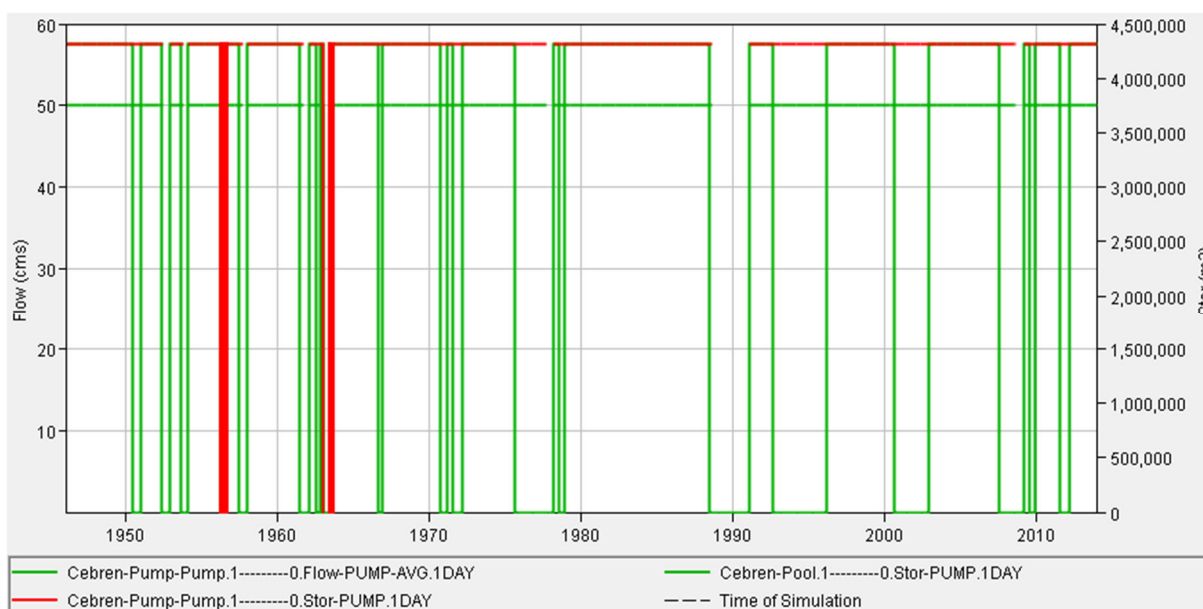
Прилог 7. График на дотекувања во акумулацијата Чебрен и график на истекувања низ доводниот орган кон хидроцентралата.



Прилог 8. График на побарувачка на ангажирана моќност и реализирана ангажирана моќност од хидроцентралата.

Во согласност со излезните резултати за работата на хидроцентралата, просечниот нето- пад изнесува $H = 121,98 \text{ m.n.v.}$ Загубите во доводниот орган изнесуваат $dH = 1,94 \text{ m}$ во просек, а средното производство на енергија по временски чекор изнесува $E = 1596,14 \text{ MWh}$. Ангажираната моќност испорачана во системот, во просек, изнесува $P = 66,51 \text{ MW}$. На годишно ниво, испорачаната енергија изнесува $1596,14 \times 365 / 1000 = 582,59 \text{ GWh}$ или во превод – 58 % од очекуваното годишно производство од ПАХЕ „Чебрeн“ од 1000 GWh/годишно.

Пумпната станица работи повремено во симулациониот период (прилог 9), со максимална ангажираност од $Q_p = 50 \text{ m}^3/\text{s}$, со 8-часовен период на работа, со просечен испумпан волумен на вода од $V = 3\,374\,846 \text{ m}^3$ во 8 часа работа или $421\,855,85 \text{ m}^3$ за 1 час. Просечниот нето-пад со кој работи пумпата изнесува $H = 129,92 \text{ m}$. Енергијата што ќе ја користи пумпата за работа изнесува $E = H \cdot V / 450 [\text{kWh}] \cdot 8 [\text{h}] = 129,92 \cdot 421\,855,85 / 450 \cdot 8 = 974\,355 \text{ kWh/den} = 974,36 \text{ MWh/den}$ или на годишно ниво $E = 974,36 \cdot 365 / 1000 = 355,64 \text{ GWh/годишно}$.



Прилог 9. График на испумпани протоци и волумени од Орлов Камен кон Чебрeн.

ЗАКЛУЧОК

За анализа на енергетскиот капацитет на идната ПАХЕ „Чебрeн“ е изработен симулационен модел во кој се внесени акумулацијата „Чебрeн“ и низводната „Орлов Камен“. Анализата е

направена со влезни хидролошки податоци – хидрограм на средномесечни дотекувања на Црна Река на преградно место Чебрѐн, мерени во периодот од 1946 до 2013 година.

Инсталираноста на ПАХЕ „Чебрѐн“ во турбински режим изнесува $P_{ins} = 333 \text{ MW}$ и $Q_{ins} = 180 \text{ m}^3/\text{s}$, додека во пумпен режим инсталираноста е $P_{ins} = 347 \text{ MW}$ и $Q_{ins} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$.

Како побарувачка на енергија во анализите, внесено е годишно побарување од 1000 GWh распоредено по месеци, нерамномерно, т.е. со поголемо оптоварување во зимските месеци, а помало во летните месеци.

Во согласност со излезните резултати за работата на хидроцентралата, просечниот нето- пад изнесува $H = 121,98 \text{ m.n.v.}$ Загубите во доводниот орган изнесуваат $dH = 1,94 \text{ m}$ во просек, а средното производство на енергија по временски чекор изнесува $E = 1596,14 \text{ MWh}$. Ангажираната моќност испорачана во системот, во просек, изнесува $P = 66,51 \text{ MW}$. На годишно ниво, испорачаната енергија изнесува $1596,14 \times 365 / 1000 = 582,59 \text{ GWh}$, или во превод – 58 % од очекуваното годишно производство од ПАХЕ „Чебрѐн“ од 1000 GWh/годишно.

Пумпната станица работи повремено во симулациониот период, со максимална ангажираност од $Q_p = 50 \text{ m}^3/\text{s}$, со 8-часовен период на работа, со просечен испумпан волумен на вода од $V = 3\,374\,846 \text{ m}^3$ во 8 часа работа, или $421\,855,85 \text{ m}^3$ за 1 час. Просечниот нето-пад со кој работи пумпата изнесува $H = 129,92 \text{ m}$. Енергијата што ќе ја користи пумпата за работа изнесува $E = H \cdot V / 450 [\text{kWh}] \cdot 8 [\text{h}] = 129,92 \cdot 421\,855,85 / 450 \cdot 8 = 974\,355 \text{ kWh/den} = 974,36 \text{ MWh/den}$ или на годишно ниво $E = 974,36 \cdot 365 / 1000 = 355,64 \text{ GWh/годишно}$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] „ХЕ Чебрѐн и ХЕ Галиште“, орална презентација на Годишно собрание на ЗМКГБ, 2019, Јасна И. Давидовиќ, ЕЛЕМ
- [2] EXERGIA S.A. (2003). MAIN REPORT on Optimisation of the river Crna System for Electricity Production and Preparation of Tender Documents for concession.
- [3] Годишен извештај за работата на ЕЛЕМ за 2021 година (web: <https://www.esm.com.mk/wp-content/uploads/2023/04/AD-ESM-GODISEN-IZVESTAJ-2021.pdf>)
- [4] Водостопанска основа на Р.С. Македонија, 1973, ВОДНИТЕ СНАГИ НА ЈУГОСЛАВИЈА (1956 год.)
- [5] ОСНОВЕН ПРОЕКТ ЗА СЛИВОТ НА ЦРНА РЕКА, (Хидроелектропроект - Скопје, 1961)
- [6] ИДЕЕН ПРОЕКТ ЗА ХЕ ЧЕБРЕН (Хидроелектропроект - Скопје, 1964)
- [7] КАТАСТАР НА ХИДРОЕЛЕКТРАНИТЕ ВО С.Ф.Р.Ј. (1966)
- [8] ХИДРОЛОШКА ОСНОВА ЗА ХИДРОЕНЕРГЕТСКИТЕ ОБЈЕКТИ (Хидроелектропроект - Скопје, 1967)
- [9] СТУДИЈА ЗА ОПТИМАЛНА ФОРМА НА ЛАЧНАТА БРАНА ЧЕБРЕН (Завод за студии и проектирање при Архитектонско-градежниот факултет - Скопје, 1971)
- [10] ОСНОВЕН ПРОЕКТ ЗА ПЕРСПЕКТИВНИОТ РАЗВОЈ НА ЕЛЕКТРОЕНЕР-ГЕТСКИОТ СИСТЕМ НА МАКЕДОНИЈА ВО ПЕРИОДОТ 1078 - 1985 ГОДИНА, (Институт за електропривреда - Загреб, 1973)
- [11] СТУДИЈА ЗА ИНТЕГРАЛНИОТ РАЗВОЈ НА СЛИВОТ НА РЕКАТА ВАРДАР - AXIOS (TAMS: TIRRETT-ABBETT-MCCARTHY-STRATON, New York, 1977)
- [12] СТУДИЈА ЗА РАЗВОЈ НА ЕНЕРГЕТИКАТА ВО С.Р.МАКЕДОНИЈА ВО ПЕРИОДОТ 1986 - 2000 ГОДИНА (ЕМО-Институт за енергетика -Скопје, 1986)
- [13] ИДЕЕН ПРОЕКТ ЗА ХЕ ЧЕБРЕН (ХЕГИ: Хидроелектропроект - ЕМО-Институт за енергетика - Градежен Факултет - ИЗИИС, Скопје, 1989)
- [14] СТУДИЈА ЗА МОЖНИ ПУМПНОАКУМУЛАЦИОНИ ХИДРОЕЛЕКТРАНИ ВО МАКЕДОНИЈА (ЕМО-Институт за енергетика -Скопје, 1989)
- [15] PROJECT NEPP CEBREN - Cash Flow Comparasion (Vervunplan, Revision March 2000)