



Здружение Македонски комитет за големи брани
Macedonian Committee on Large Dams

Зборник на трудови
Proceedings

5^{ти} КОНГРЕС ЗА БРАНИ

5th CONGRESS ON DAMS

30.9÷2.10. 2021 год.
30.9÷2.10. 2021

Струга, Република С. Македонија
Struga, Republic of 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

ЛЕКТУРА

Тања Стевановска-Цветковска

PROOFREADER

Tanja Stevanovska-Cvetkovska

ПЕЧАТЕЊЕ

Промедиа - Скопје

PRINTED BY

Promedia - Skopje

ТИРАЖ

100 примероци

PRINTING RUN

100 copies

ФОТОГРАФИЈА НА НАСЛОВНА СТРАНАБрана Конско во фаза на градба, поглед од
воздушна страна**COVER PHOTO**

Konsko dam in construction, aerial view

© 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

627.8.04/09(062)

621.311.21(062)

КОНГРЕС за брани (5 ; Струга ; 2021)

Зборник на трудови / 5-ти Конгрес за брани, 30.9-2.10.2021 год., Струга, Република С.

Македонија = Proceedings / 5th Congress on dams, 30.9-2.10.2021, Struga, Republic of N.

Macedonia. - Скопје : Здружение Македонски комитет за големи брани = Skopje : Macedonian
committee on large dams, 2021. - 341, [15] стр. : илустр. ; 30 см

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

ISBN 978-608-4953-00-5

1. Напор. ств. насл.

а) Брани -- Акумулации -- Хидроцентрали -- Собири

COBISS.MK-ID 55029765

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



АНАЛИЗА НА АЛТЕРНАТИВА ЗА ХИДРОЕНЕРГЕТСКИОТ СИСТЕМ НА ЦРНА РЕКА СО ПУМПНОАКУМУЛАЦИОНА ХИДРОЦЕНТРАЛА СО ПРИМЕНА НА СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ

Ана Тодорова¹, Стевчо Митовски², Фросина Пановска³, Љупчо Петковски⁴

Резиме

Со оглед на ограниченоста на природните ресурси во Република Македонија, искористувањето на хидропотенцијалот е од витално значење за развој на електроенергетскиот сектор и за развој на државата во целост. Денес, со постојната изграденост на хидроенергетските капацитети, се користи само 26,6 % од потенцијалот што технички може да се искористи. Затоа развојот на каскаден хидроенергетски систем на Црна Река е важна инвестиција не само за националната економија, туку и за регионалниот пазар на електрична енергија. Врз основа на досегашните истражувања и препораки за натамошни студии, извршена е симулација со софтверскиот пакет HEC-ResSim за пумпноакумулационен каскаден систем составен од четири акумулации, висока брана „Чебрен“, 333 MW со реверзибилни единици со браната „Орлов Камен“, „Галиште“ 194 MW со конвенционални единици и постојната „Тиквеш“. Симулацијата е спроведена за период од 1946 до 2005 година, со претпоставка дека тоа хидролошко однесување би се пресликало и во наредните години.

Клучни зборови: симулационен модел, пумпноакумулационен систем, слив на Црна Река

ANALYSIS OF ALTERNATIVE OF HYDRO POWER SYSTEM OF CRNA REKA WITH PUMP-STORAGE PLANT BY APPLICATION OF SIMULATION MODEL

Ana Todorova¹, Stevcho Mitovski², Frosina Panovska³, Ljupcho Petkovski⁴

Summary

Given the limited natural resources in the Republic of Macedonia, the utilization of hydropower potential is vital for the development of the electricity sector in the country. Today, with the existing construction of hydropower facilities, only 26.6% of the technically usable potential is used. Therefore, as an attractive idea is the development of cascading hydropower system on the river Crna as an important investment not only for the national economy, but also for the regional electricity market. Based on the current research and recommendations for further studies, is performed simulation with software package HEC-ResSim for a pumped storage system composed of four reservoirs, high dam Chebren, 333 MW with reversible units with the dam Orlov Kamen, Galishte 194MW with conventional units, and the existing Tikves. The simulation was conducted for the period from 1946 to 2005, with the assumption that this hydrological behavior would be replicated in the coming years.

Keywords: simulation model; pumped storage system; Crna Reka watershed.

¹ Дипл. град. инж., УКИМ, Градежен факултет - Скопје, atodorova@outlook.com

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

³ Ас. м-р, УКИМ, Градежен факултет - Скопје, fpanovska@gf.ukim.edu.mk

⁴ Проф. д-р, УКИМ Градежен факултет – Скопје, petkovski@gf.ukim.edu.mk

1. ВОВЕД

Нашава земја е дефицитарна во однос на производството на електрична енергија (увезува до 30 % од потребите) (Андонов И., 2015), а за делот кој се произведува стожер се термоелектраните, кои користат необновливи ресурси и произведуваат електрична енергија со значителни консеквенции во однос на животната средина. Од друга страна, земјава располага со навистина висок хидропотенцијал кој со години тапка на искористеност до 30 %. Затоа, електроенергетскиот систем во нашата земја има огромна потреба од нови хидроенергетски производствени капацитети, по можност од обновливи ресурси и од реверзибилен тип, за да можат да го прифатат непредвидливото стохастичко производство од ветерните електрани и да го редуцираат уделот на термоелектраните во вкупното производство на електрична енергија, како и да се влијае врз намалувањето на увозот на електрична енергија. Таков идеален систем кој е тема на дебати и студии уште од 60-тите години на минатиот век е хидросистемот на Црна Река, за којшто се разгледувани повеќе алтернативни решенија. Имено, во рамки на предметното истражување се продолжува кон следното скалило, т.е. со користење на моменталните технолошки достигнување во областа на софтверското инженерство да се креира симулационен модел со специфични оперативни политики, за разгледуваната алтернатива која вклучува и пумпноакумулациона хидроцентрала.

За потребите на студијата е изработен симулационен модел за решавање на задачата на анализа на комплексен повеќеакумулационен хидроенергетски систем, кој вклучува пумпноакумулациони хидроцентрали (ПАХЕЦ), со примена на софтверскиот пакет HEC ResSim. Суштината на симулацијата е да го репродуцира однесувањето на системот (Митовски, 2020). Според тоа, процесот на симулирање на оперативното работење на даден водостопански систем вклучува осознавање на сите веројатни одговори на системот на модел којшто во голема мера е алгебарски и аритметички по природа, но којшто вклучува и некои нематематички логички процеси. Контролата е следена преку оперативно управување во форма на задавање инструкции на пресметувачка машина, при што како цел е конверзијата на природните дотекувања во протечни количества кои се испуштаат од акумулацијата, а кои би генерирале соодветни излези во согласност со побарувачката на конзумот. (Simonovic', 2009)

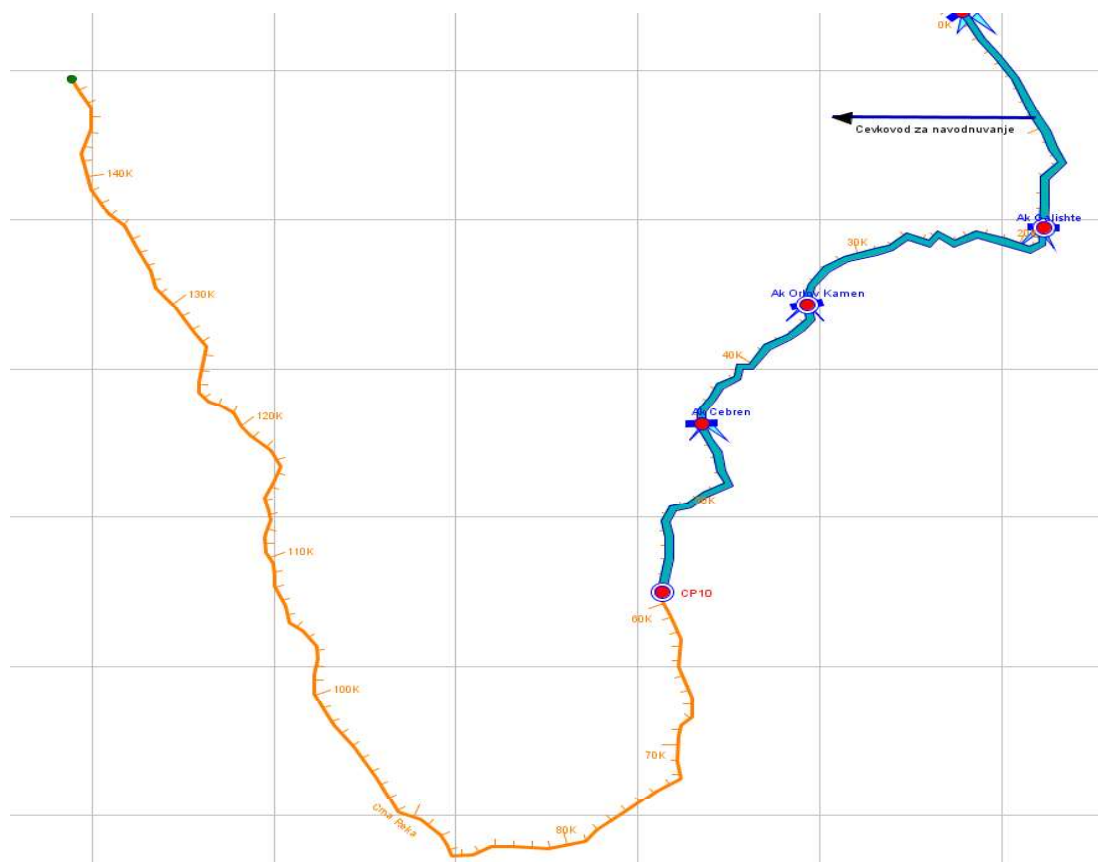
Задачата на оваа анализа се состои во определување оперативни политики за регулирање на протекувањата на корисниот простор на акумулациите. На тој начин ќе се добие детален увид во управувањето со акумулациониот простор на повеќето акумулации, кои е предвидено да работат како каскаден систем, притоа респектирајќи ги приоритетните водокорисници. Воедно, усвоениот концепт на хидроенергетскиот систем за алтернатива со пумпноакумулациона хидроцентрала е според критериумот на „максимизација на добивките од производство на електрична енергија“. Во разгледуваните алтернативи за повеќеакумулациониот систем ќе се изврши анализа во која ќе бидат предвидени соодветно и ПАХЕЦ.

Пумпноакумулационите хидроцентрали (се именуваат и како реверзибилни), како специфичен вид хидроцентрали, кои се предмет на анализа во овој реферат, имаат можност за временска прераспределба на електричната енергија по пат на двојна трансформација, и тоа: електрична енергија – потенцијална енергија на водата – електрична енергија. Ваквите објекти значително придонесуваат за рационално користење на енергетскиот потенцијал при производство на електрична енергија. Воедно, ваквите сложени хидроенергетски постројки се погодни за примена во земји каде што хидропотенцијалот не е искористен во голем степен (Jefferies, 1990).

2. ОПИС НА АНАЛИЗИРАНАТА АЛТЕРНАТИВА

Симулациониот модел за алтернатива 1 (сл. 1), кој е изработен со примена на софтверскиот пакет HECResSim, опфаќа анализа на работата на системот во услови на различни хидролошки оптоварувања и притоа е разгледана една оперативна политика. Оваа алтернатива вклучува каскадно решение за искористување на потенцијалот на Црна Река, во кое е вклучено следново:

- ПАХЕЦ „Чебрен“, предвидена со реверзибилни единици
- Мала брана, „Орлов Камен“, изградена низводно од браната „Чебрен“, како долна акумулација за реверзибилна работа на ПАХЕЦ „Чебрен“.
- ХЕЦ е „Галиште“, предвидена како конвенционална хидроцентрала
- ХЕЦ е постојната ХЕЦ „Тиквеш“.



Слика 1. Приказ на алтернатива 1 со ПАХЕЦ Чебрен

Алтернатива 1 е усвоена во согласност со алтернатива бр. 5 од техничката документација „Оптимизација на системот на Црна Река за производство на електрична енергија и подготовка на тендерски документи за концесија“, од страна на Ексергија (EXERGIA S.A., 2003), во која се вклучени висока брана „Чебрен“, 333 MW со реверзибилни единици со браната „Орлов Камен“, „Галиште“ 194 MW со конвенционални единици и постојната „Тиквеш“.

Влезните параметри за хидроцентралите во рамки на алтернатива 1 се преповикуваат на карактеристиките на варијанта 5 од технички извештај за „Оптимизација на системот на Црна Река за производство на електрична енергија и подготовка на тендерски документи за концесија“ (EXERGIA S.A., 2003), додека хидролошките влезни податоци се за период од 1946 до 2005 година, според податоците од Управата за хидрометеоролошки работи.

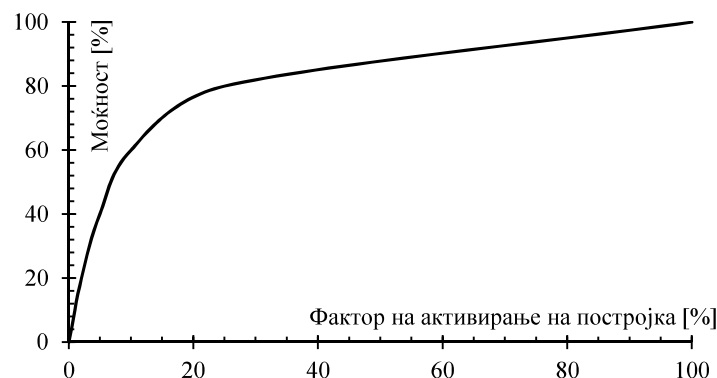
Табела 1 Технички податоци за алтернатива 1 (EXERGIA S.A., 2003)

Брана	Главни карактеристики
Чебрѐн	Кота на максимално работно ниво = 565,00 mnlv Кота на минимално работно ниво = 515,00 mnlv Тип на брана = лачна брана Висина на брана = 192,50 m Кота на прелевање = 567,50 mnlv Инсталирана моќност Турбински режим = $3 \times 110,95 = 332,84$ MW Пумпен режим = $3 \times 115,78 = 347,34$ MW Пумпноакумулационо построение
Орлов Камен	Кота на максимално работно ниво = 400,00 mnlv Кота на минимално работно ниво = 393,00 mnlv Зафатнина на акумулацијата = 14,9 милион m ³ Тип на брана = лачна брана Висина на брана = 55 m Кота на прелевање = 408,00 mnlv
Галиште	Кота на максимално работно ниво = 392,00 mnlv Кота на минимално работно ниво = 342,00 mnlv Зафатнина на акумулацијата = 256 милиони m ³ Тип на брана = насипна брана Висина на брана = 141,50 m Кота на прелевање = 398,00 mnlv Инсталирана моќност = $3 \times 64,50 = 193,50$ MW Конвенционален режим
Тиквеш	Кота на максимално работно ниво = 265,00 mnlv Кота на минимално работно ниво = 233,00 mnlv Зафатнина на акумулацијата = 310 милиони m ³ Тип на брана = насипна брана Висина на брана = 113,50 m Кота на прелевање = 269,00 mnlv Инсталирана моќност = $4 \times 23,00 = 92,00$ MW Конвенционален режим

За овој модел (алтернатива 1) оперативните политики за секој хидројазол се задаваат одделно, но респективно кон моментот дека станува збор за еден меѓусебно тесноповрзан хидросистем составен од четири акумулации.

Примарна цел на ПАХЕЦ „Чебрѐн“ е производство на електрична енергија. Како пумпноакумулационо построение, хидроцентралата е предвидена да функционира на тој начин што во машинската зграда се инсталирани агрегати кои можат да работат во двоен режим - турбински и пумпен режим. Со помош на овие агрегати е предвидено во ноќните часови водата да се пумпа од долната акумулација „Орлов Камен“ во горната акумулација „Чебрѐн“ (пумпен режим), додека во текот на денот да работи во турбински режим, т.е. да произведува електрична енергија во периодите кога е најпотребна, односно во пиковите на побарувачката. Во вкупниот биланс овие постројки се јавуваат како потрошувачи на енергија, односно трошат „јалова“ енергија кога таа не е потребна и произведуваат „квалитетна“ енергија во период на најголема побарувачка и највисока цена. Според тоа, правилото за турбински режим, всушност, е класичното управување со ПАХЕЦ во зависност од тоа колку е нивото на вода во акумулацијата, т.е. колку потенцијална енергија е акумулирана во самата акумулација. Имено, доколку исполнетоста на акумулацијата е 100 % (кота на нормално ниво), ПАХЕЦ ќе се вклучи целосно во производството на електрична енергија. Имено, оптовареноста на ПАХЕЦ во

зависност од исполнетоста на акумулацијата е оперативна политика (high non-linear) прикажана на сл. 2:



Слика 2. Приказ на оперативна политика за управување со ХЕЦ (high non linear)

Во оперативното правило за работа на пумпата е дефинирано во кој временски период да се вклучуваат пумпите, и тоа од 22 часот до 6 часот. Вообичаено, тоа е период кога цената на електричната енергија е најниска и тогаш се врши пумпање на водата од акумулацијата „Орлов Камен“ во акумулацијата „Чебрени“.

Со оглед на тоа што акумулацијата „Орлов Камен“ е предвидена како долна акумулација за функционирање на реверзибилниот систем, оперативните политики за „Орлов Камен“ се едноставни, т.е. зададена е наредба за активирање на преливниот орган (преливање), во случај кога нивото на водата во акумулацијата е повисоко од котата на нормално ниво. Исто така, се аплицира правилото за поврзана работа „Tandem“, со кое на моделот му се назначува дека предметната акумулација е во корелација со низводната акумулација „Галиште“.

Оперативноста на акумулацијата „Галиште“ е зададена со идентична оперативна политика како за акумулацијата „Чебрени“. Во однос на евакуацијата на водата во случај на надминување на нормалното ниво во акумулацијата, се активира преливникот како евакуационен објект, со капацитет на преливање $Q_{\max}=2452\text{m}^3/\text{s}$.

Во целната зона на моделот се внесуваат оперативни политики кои се активни во нивото ограничено со кота на нормално ниво и кота на минимално ниво. Главен акцент на предметната студија е капацитетот за производство на електрична енергија и затоа како прво правило е зададена оперативноста во турбински режим. За да му се даде до знаење на моделот за заедничка поврзаност на овие системи, исто така акумулацијата „Галиште“ се поврзува со акумулацијата „Тиквеш“ преку правилото за поврзана работа „Tandem“. Еколошки загарантираното протекување од $5\text{ m}^3/\text{s}$ во текот на целиот временски период на експлоатација на водостопанскиот систем е регулирано со правилото „IF“, т.е. во период кога би работела хидроцентралата, низводно ќе има испуштање што е поголемо од количеството за обезбедување еколошки загарантирано протекување и во тој случај нема потреба од испуштање на дополнителните $5\text{ m}^3/\text{s}$ за обезбедување на еколошки загарантираното протекување. Но, во случај кога нема да работи ХЕЦ, ќе треба да се активира испуштањето преку темелниот испуст со цел одржување на биодиверзитетот низводно од браната.

3. ИЗЛЕЗНИ ГОЛЕМИНИ

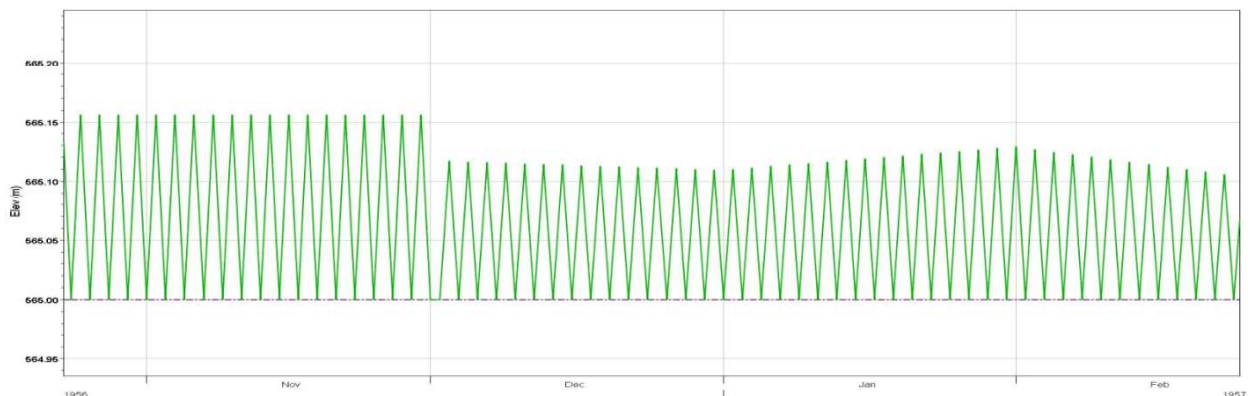
Со HEC ResSim може да се прикажат мноштво параметри како излезни резултати од анализите. Во предметниот труд како параметри од интерес, а кои воедно се прикажани

и интерпретирани во продолжение, се производството на електрична енергија (MWh/day) и флукуацијата на нивото на вода во акумулацијата (m.n.v.).

На слика 3 е прикажана флукуација на нивото на вода во акумулацијата „Чебрен“ и, според приказот, почетниот период се одликува со фаза на полнење на акумулацијата, а понатаму во текот на разгледуваниот период во рамки на моделот е задржано практично константно ниво на вода во акумулацијата, непосредно до котата на нормално ниво $K_{nn} = 565$ m.n.v. Интересен графикон за разгледување е прикажан на слика 4, за период од ноември до февруари (1956-1957), каде што има остри флукуации на нивото за релативно краток временски период, кои се должат на фактот дека станува збор за пумпноакумулационо построение.



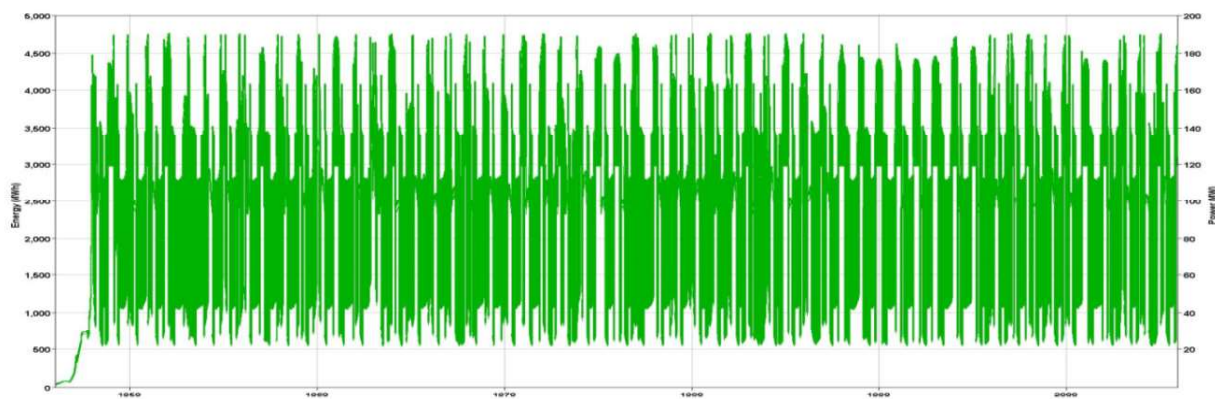
Слика 3 Флукуација на водно ниво во акумулацијата Чебрен за период 1945-2005 година



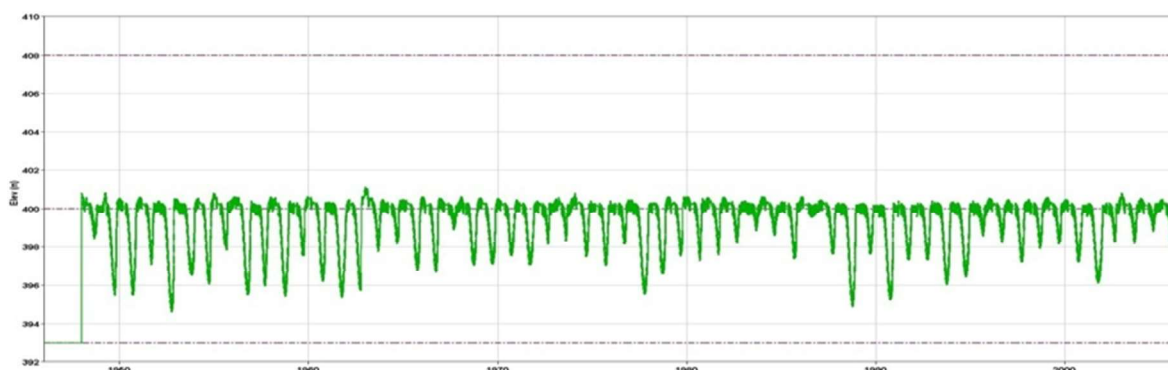
Слика 4 Флукуација на водно ниво во акумулацијата Чебрен од ноември до февруари (1956-1957 година)

Од графиконот за произведена енергија (слика 5) може да се согледа дека ПАХЕЦ во целиот разгледуван период се одликува со високо ниво на производствен капацитет. Имено, во текот на разгледуваниот период просечното производство на електрична енергија изнесува 2340 MWh, максималното производство на електрична енергија достигнува до 4573 MWh, додека минималната вредност на произведената електрична енергија не паѓа под 500 MWh.

Флукуацијата на нивото на вода во акумулацијата „Орлов Камен“ е прикажана на слика 6, каде што се забележува значително поголема варијација на нивото на вода во текот на разгледуваниот период, што делумно се должи на самата улога на акумулацијата како долна акумулација во рамки на ПАХЕЦ, но и поради нејзината помала зафатнина. Просечното ниво на акумулацијата за разгледуваниот период е 399.22 m.n.v., додека максималното ниво достигнува до 401.08 m.n.v.



Слика 5 Произведена енергија од ПАХЕЦ Чебрeн



Слика 6 Флукутација на ниво на вода во акумулацијата Орлов Камен 1945-2005 година

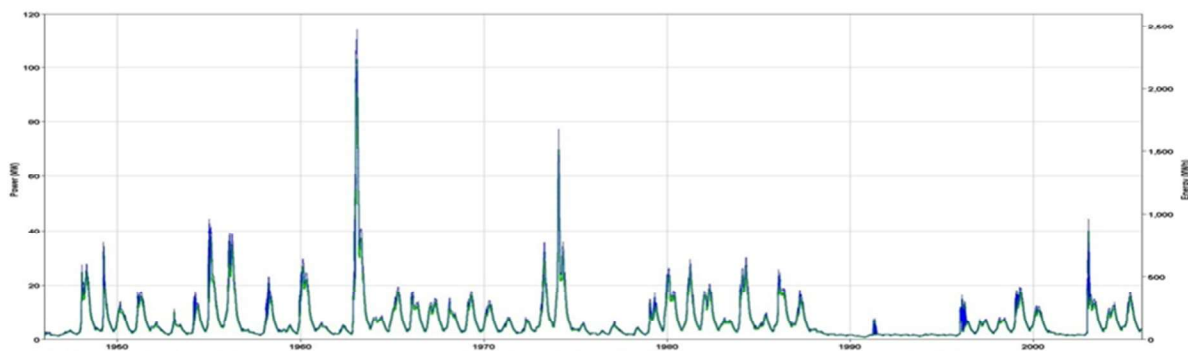
На слика 7 е прикажана флукутацијата на нивото на вода во акумулацијата „Галиште“, од каде што се забележува дека истата бележи значителни осцилации споредено со случаите кај акумулацијата „Чебрeн“ и акумулацијата „Орлов Камен“. Причина за тоа, секако, е тоа што ХЕЦ „Галиште“ е од конвенционален тип и зафатената вода преку доводниот орган потешко се надополнува со дотекувањето од меѓусливот и со преливната количина од акумулацијата „Орлов Камен“. Средна вредност во нивото на акумулацијата за разгледуваниот временски период е 373.39 m.n.v, додека максималната вредност изнесува 392.00 m.n.v, а како минимална кота по полнењето на акумулацијата е 350 m.n.v, регистрирана за периодот на маловодие во 1991 година.



Слика 7 Флукутација на водно ниво во акумулација Галиште за разгледуваниот период

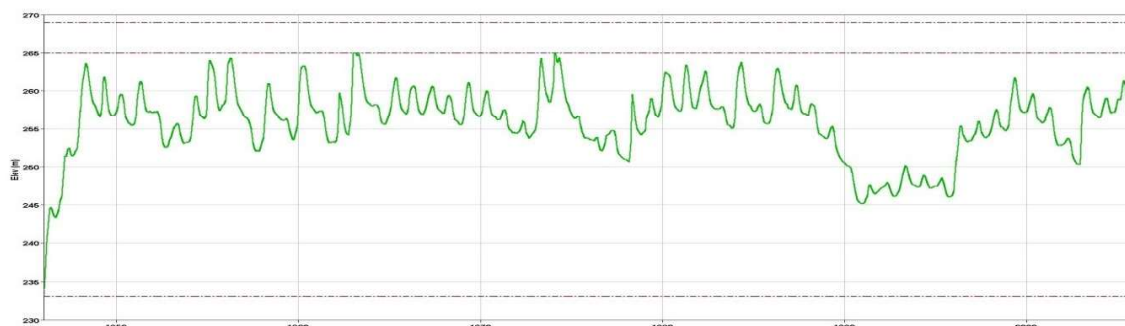
Хидроцентралата работи константно во целиот разгледуван период според назначеното правило „користи онолку вода во зависност од тоа колку има моментално акумулирано во акумулацијата“, така што просечното производство на електрична енергија изнесува

$E_{sr}=156.41$ MWh, максималното производство на електрична енергија $E_{max}=2469.26$ MWh, додека минималното производство е $E_{min}=15.53$ MWh (слика 8). Добиените резултати за функционирање на системот се согласно зададената оперативна политика, додека самото моделирање е извршено на ниво на хидроцентрала. Подетално моделирање подразбира да се изврши моделирање на ниво на турбина.



Слика 8 Произведена електрична енергија од ХЕЦ Галиште за разгледуваниот период

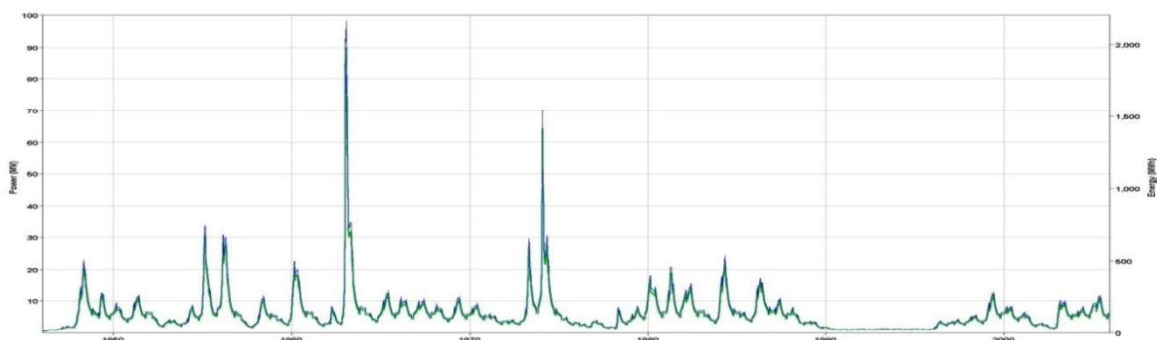
Флукуацијата на нивото на вода во акумулацијата „Тиквеш“ за алтернатива 1 е прикажана на слика 9 и таа е во рамки на назначениот работен простор од $K_{np}=265$ m.n.v. до $K_{min}=233$ m.n.v. Средна вредност во нивото на акумулацијата за разгледуваниот временски период е 255.88 m.n.v, додека максималната вредност изнесува 265 m.n.v, а како минимална кота по полнењето на акумулацијата е 245 m.n.v, регистрирана за периодот на маловодие во 1991 година.



Слика 9 Флукуација на водно ниво во акумулација Тиквеш за разгледуваниот период

Графиконот за производство на електрична енергија од ХЕЦ „Тиквеш“ (слика 10) имплицира дека хидроцентралата работи константно во целиот период според назначеното правило „користи онолку вода во зависност од тоа колку има моментално акумулирано во акумулацијата“, така што во разгледуваниот период просечното производство на електрична енергија изнесува $E_{sr}=140.55$ MWh, додека максималното производство на електрична енергија достигнува $E_{max}=2157.95$ MWh, а минималното производство изнесува $E_{min}=10.17$ MWh. Сепак, треба да се спомне дека моделирањето и тука се однесува на ниво на хидроцентрала, а не на ниво на турбина.

Во табела 2 е даден рекапитулар на производствените капацитети на алтернатива 1 за хидроенергетскиот систем на Црна Река, составен од ПАХЕЦ „Чебрѐн“ со „Орлов Камен“, ХЕЦ „Галиште“ и ХЕЦ „Тиквеш“. Просечното годишно производство на електрична енергија од ПАХЕЦ „Чебрѐн“ изнесува 854G Wh/год, од ХЕЦ „Галиште“ 57 GWh/год, додека од ХЕЦ „Тиквеш“ 51 GWh/год, додека потрошената енергија за пумпање на вода од „Орлов Камен“ во „Чебрѐн“ е 737GWh/год (табела 3).



Слика 10 Произведена енергија од ХЕЦ Тиквеш за разгледуваниот период

Табела бр. 2 Вкупно производство на електрична енергија од хидроелектричниот систем Црна Река, според алтернатива 1.

Рекапитулар	E [GWh]
Средно годишно производство од ПАП Чебрен	854
Средно годишно производство од Галиште	57
Средно годишно производство од Тиквеш	51
Вкупно	963

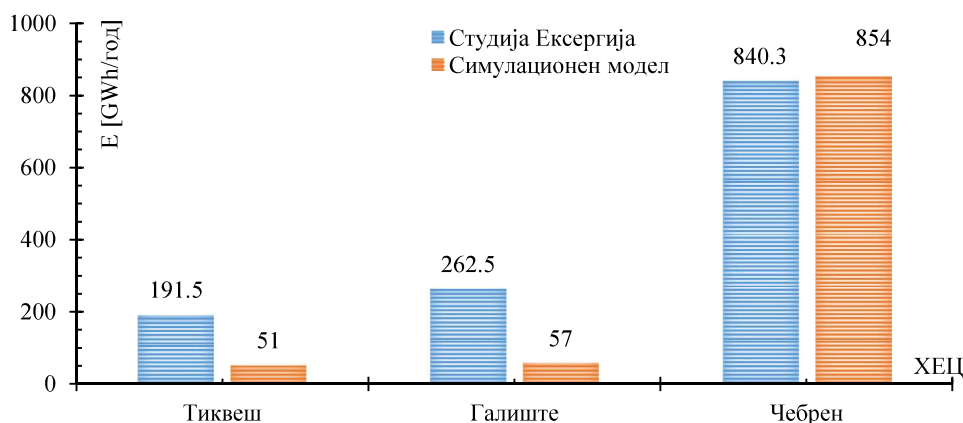
Табела бр. 3 Вкупно потрошена електрична енергија за пумпање од Орлов Камен во Чебрен

Рекапитулар	E [GWh]
Средногодишна потрошувачка за пумпање од Орлов Камен во Чебрен	737

Компаративно, во табела 4 е прикажано производството на електрична енергија според варијанта 5 од студијата (EXERGIA S.A., 2003), која е еквивалентна на алтернатива 1. Споредено со алтернатива 1, вредностите кои најмногу отстапуваат се производството за „Тиквеш“ и производството за „Галиште“, коешто се должи на фактот дека алтернатива 1 од оваа студија е симулирана како целосен систем од четири акумулации моделирани на ниво на хидроцентрали, додека производствените капацитети на варијанта 5 (EXERGIA S.A., 2003) се разгледувани засебно. Имено, кога е моделирана засебна ХЕЦ „Тиквеш“ (алтернатива 0), добиено е производство од 199 GW/h /годишно, речиси идентично до добиената вредност од варијанта 5 за производство од „Тиквеш“.

Табела бр. 4 Компарација за произведена енергија од студијата Ексергија и симулац. модел

Производствени капацитети	Студија од Ексергија од 2003 година		Симулационен модел	
	Енергија GW/h /годишно	Потрошено GW/h /годишно	Енергија GW/h /годишно	Потрошено GW/h /годишно
Тиквеш	191.5		51	
Галиште	262.5		57	
Чебрен	840.3	785.6	854	737
Вкупно	1294.3	785.6	962	737



Слика 11. Графички приказ на капацитет на производство на електрична енергија од студијата на Ексергија и од симулациониот модел

4. ЗАКЛУЧОЦИ

Според добиените излезни резултати од симулациониот модел за алтернатива 1 со примена на ОР1, може да се издвојат следниве согледувања и заклучоци:

- Флукуацијата на водното ниво во „Чебрен“ (слика 3), во текот на разгледуваниот период, практично е константна на котата на нормално ниво $K_{nn}=565 \text{ m.n.v.}$
- Произведена електрична енергија (слика 4) од ПАХЕЦ во целиот разгледуван период се одликува со високо ниво на производствен капацитет, со просечното производство од 2340 MWh.
- Просечната вредност на потрошената електрична енергија за периодот од 1946 до 2005 година за работата во турбински режим изнесува 737 GWh/год, која е пресметана прелиминарно.
- Флукуацијата на нивото на вода во акумулацијата „Орлов Камен“ (слика 6) се одликува со позначителна варијација на нивото на вода во текот на разгледуваниот период, поради тоа што е долна акумулација во рамки на ПАХЕЦ како и поради помалата зафатнина на истата. Просечното ниво на акумулацијата за разгледуваниот период е 399.22mnv.
- Флукуацијата на нивото на вода во акумулацијата „Галиште“ (слика 7) укажува на значителни осцилации на нивото поради типот на ХЕЦ „Галиште“ (конвенционален тип) при зафатената вода преку доводниот орган потешко се балансира со дотекувањето од меѓусливот и со преливната количина од акумулацијата „Орлов Камен“. Средна вредност во нивото на акумулацијата за разгледуваниот временски период е 373.39 m.n.v.
- Хидроцентралата работи константно во целиот разгледуван период при што просечното производство на електрична енергија изнесува $E_{sr}=156.41 \text{ MWh}$ (сл 8).
- Флукуацијата на нивото на вода во ак. Тиквеш (сл. 9) е во рамки на назначениот работен простор, со средна вредност на нивото на вода 255.88 m.n.v.
- Производството на електрична енергија од ХЕЦ „Тиквеш“ (слика 10) укажува дека хидроцентралата работи константно во целиот период според ОР1, со просечно производство на електрична енергија $E_{sr}=140.55 \text{ MWh}$.

Добиените големини во предметниот труд даваат дополнителен придонес кон осознавањето на одговорот на хидроенергетскиот систем на хидролошкиот влез и задоволувањето на потребите за вода за различните намени и се важен индикатор во однос на донесувањето на одлуката за избор на алтернатива за истиот. Предвидениот

хидроенергетски систем на Црна Река е предвиден да ги задоволува пиковите на побарувачка, со што значително би се намалиле потребите за увоз на енергија или би се располагало со поголем капацитет за продажба на електрична енергија. Компаративно, капацитетот на производство од овој систем е приближно еднаков до производството на еден блок од РЕК „Битола“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] EXERGIA S.A. 2003. Optimisation of the River Crna System for Electricity.
- [2] Jefferies, D. G. 1990. Pumped storage. London : Thomas Telford Ltd.
- [3] Simonovic', S. P. 2009. Managing Water Resources. London : United Nations Edu
- [4] Андонов, Илија. 2015. Скопје :, Енергија и енергетика.
- [5] Митовски, Стевчо (2019). Симулациони модели на хидросистеми, скрипта. УКИМ, Градежен факултет - Скопје