



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



СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ ЗА АНАЛИЗА НА ХИДРОЕНЕРГЕТСКИОТ СИСТЕМ НА ЦРНА РЕКА ЗА АЛТЕРНАТИВА СО ДВЕ ПУМПНОАКУМУЛАЦИОНИ ХИДРОЦЕНТРАЛИ

Фросина Пановска¹, Стевчо Митовски², Љупчо Петковски³

Резиме

Со Водостопанската основа на Република Македонија од 1973 година по течението на Црна Река, во нејзиниот долен тек, е предвидена изградба на три големи брани со акумулации: Чебрен, Галиште и Тиквеш – како најнизводна акумулација. Кај сите три хидросистеми, хидроенергетиката е во фокусот на водостопанските планирања. Од нив, денес е изградена браната Тиквеш со акумулација која примарно ги задоволува потребите за наводнување на Тиквешко Поле, а во склоп на системот функционира и прибранската хидроцентрала ХЕЦ Тиквеш. Чебрен и Галиште сè уште се предмет на инженерска расправа и нивната реализација е во исчекување. Во овој реферат се приложени резултати од анализа со симулационен модел на хидросистемот на Црна Река со две пумпноакумулациони хидроцентрали – Чебрен и Галиште, и Тиквеш, со постојните конвенционални турбини. Производството на електрична енергија е ставено во главен фокус во анализите. Симулационите модели се изработени со помош на софтверскиот пакет HEC ResSim 3.1.

Клучни зборови: водостопански системи, повеќенаменски системи, Црна Река, Чебрен, Галиште, Тиквеш, електрична енергија.

SIMULATION MODEL FOR ANALYSIS OF HYDROENERGY SYSTEM ON RIVER CRNA REKA FOR ALTERNATIVE WITH TWO PUMP-STORAGE HYDROPOWER PLANTS

Frosina Panovska¹, Stevcho Mitovski², Ljupcho Petkovski³

Summary

According to the Water Master Plan of Republic of Macedonia dating from 1973, along Crna Reka river, down its lower banks, a construction of three large dams with reservoirs is planned: Chebren, Galishte and Tikvesh – as its furthest reservoir. At all three systems, hydropower is the focus of water resources planning. From all three, today, only Tikvesh dam is built, with reservoir that primarily satisfies needs for irrigation of Tikvesh valley, however, an impounded hydropower plant Tikvesh is also in function. Chebren and Galishte are still a subject of engineering discussions, and their realization is long awaited. In this paper, results from simulation model analysis are shown for hydropower systems on Crna reka river, with two pump-storage power plants – Chebren and Galishte, and Tikvesh – with its existing conventional turbines. Electricity production is in focus of the analyses. The simulation models are conducted with the help of HEC ResSim 3.1 software.

Key words: water resources system, multipurpose systems, Crna Reka, Chebren, Galishte, Tikvesh, electricity.

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. ВОВЕД

Во време кога побарувачката за електрична енергија е постојано во пораст, а користењето на конвенционалните ресурси за производство на електрична енергија предизвикува еколошки проблеми, сè повеќе притисок се става на хидроенергетиката како една од најчистите извори на енергија [1]. Во Република Македонија, околу една третина од вкупното годишно производство на електрична енергија доаѓа од хидроенергија [2]. Но, ни половина од хидроенергетскиот потенцијал во земјава не е искористен досега.

Голем број хидросистеми во земјава се изградени во време кога водата ја имало во изобилие и потрошувачката била скромна, па истите се градени како еднонаменски системи (водоснабдителни системи, системи за наводнување, системи за заштита од поплави и др.). Денес, поради зголемениот притисок врз водните ресурси, потребно е да се најде алатка преку која ќе се направи анализа за пренамена на еднонаменските во повеќенаменски системи, а новопланираните ќе се планираат исклучиво како повеќенаменски системи. Во двата случаи – подобрување на ефикасноста на старите или изградба на сосема нови водостопански системи – е потребно да претходат силни анализи во однос на капацитетот за производство на електрична енергија.

Анализи од овој тип се прават со симулациони модели – математички модели кои го репродуцираат однесувањето на хидроцентралите под одреден хидролошки влез и физички параметри (капацитет на доводен орган на ХЕЦ, инсталираност на турбина, капацитет на преливен орган, темелен испуст, итн.) [3]. Симулационите модели почнуваат интензивно да се развиваат во средината на 90-тите години на минатиот век, а нивниот напредок го следи напредокот на сметачките машини и на технологијата. Голем број софтверски пакети се развиени за изработка на општи симулациони модели, како MITSIM, WEAP, RIBASIM, HEC ResSim.

Во овој реферат во детали е опишан симулациониот модел направен за хидропотенцијалот на Црна Река во нејзиниот долен тек, со примена на софтверскиот пакет HEC ResSim. Во моделот како влезни параметри се внесени мерни податоци за протоците на реката на три мерни места – Расимбегов мост, Галиште и Тиквеш - потоа во моделот се внесени физички параметри на системите онака како што се планирани во најновата техничка документација или како што се изведени, и последно – во моделот се внесени оперативни политики под кои треба да работи една хидроцентрала. Црна Река е една од најголемите притоки на реката Вардар, со средногодишен проток од $Q_{aver}=30 \text{ m}^3/\text{s}$ пред влез во Тиквешко Езеро, и базен со големина од 5890 km^2 кој се протега во југозападниот дел на земјава, претежно во Пелагониската Котлина и околните планини како вододелници. Во 1968 година е изградена првата хидроцентрала на Црна Река – ХЕЦ Тиквеш, со инсталирана моќност од $Q_{ins}=4 \times 36 \text{ m}^3/\text{s}$ и $P_{ins}=113 \text{ MW}$. Концептот за искористување на хидроенергијата од Црна Река датира уште од почетокот на XX век, а детални технички параметри за водостопанските системи вдоль реката се дадени во Водостопанската основа од 1973 година. Во неа е предвидено во долниот тек на Црна Река да се изградат три каскадни акумулации со брани и прибрански хидроцентрали – Чебрен, како најузводна, Галиште и Тиквеш [4]. Денешните технички решенија за долниот тек на Црна Река се изменети во однос на првичните поради промената на пазарот на електрична енергија, како и поради зголемената потрошувачка. Но, ниедно од предвидените технички решенија сè уште не е изведено, освен хидросистемот Тиквеш, кој е изведен како прв од предвидените каскади.

Целта на овој реферат е да го нагласи значењето на овие објекти со еден приказ на можното производство на електрична енергија на годишно ниво.

2. ПРИМЕНЕТИ МЕТОДИ

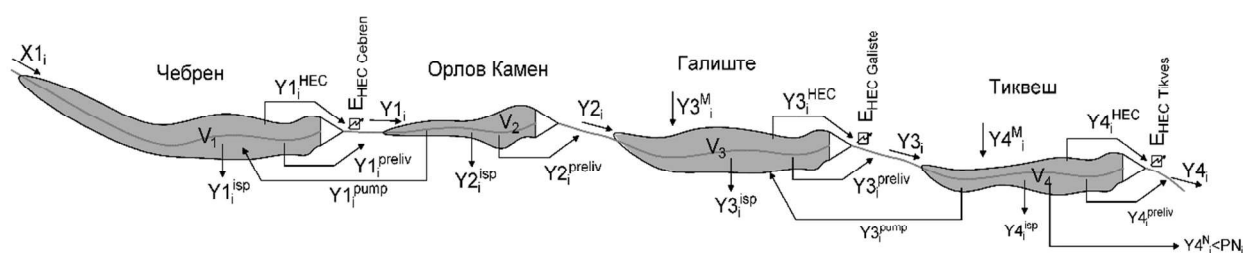
Применети се симулациони математички модели за анализите. Симулационен модел претставува математички модел на системот, во кој описот на системот е даден преку логички зависности и математички релации [3]. Симулационите модели во реалност претставуваат поедноставена верзија на прототипот или реалниот водостопански систем. Но, погодноста во користењето системи од овој тип е примената на различни влезни параметри, промена на физичките параметри или оперативните правила и согледување на одговорот на системот пред негово имплементирање во реалниот водостопански систем [3].

HEC ResSim е применет како софтвер за креирање на симулационите модели. Софтверот се состои од три основни модули: (1) Watershed Setup или генерална конфигурација на системот; (2) Reservoir Network, каде што се внесуваат сите физички параметри на системот, се создаваат оперативни политики; и (3) Simulation Module, каде што се повикуваат создадените модели со претходните два модули и се спроведува анализата и се согледуваат излезните резултати.

3. ОПИС НА МОДЕЛОТ

Во анализираниот симулационен модел на Црна Река се моделирани три брани со акумулации: ХС Чебрен, Орлов Камен како помошна акумулација за дневно регулирање на протекувањата низводно од Чебрен и подобрување на работата на пумпната станица кај Чебрен, ХС Галиште и ХС Тиквеш (прилог 1).

Бидејќи во фокусот на овој модел е анализа на енергетскиот капацитет на долниот тек на Црна Река со разгледуваната конфигурација на системот, хидросистемот Чебрен и хидросистемот Галиште се моделирани со пумпноакумулациони постројки, додека постојната Тиквеш е моделирана со физички параметри кои одговараат на изведената состојба, т.е. хидроцентралата е моделирана како конвенционална, а како примарен водокорисник кај ХС „Тиквеш“ се внесени потребите за наводнување на Тиквешко Поле (прилог 2).



Прилог 1. Шематски приказ на моделот

Билансните равенки за конфигурацијата на симулациониот модел се следниве:

$$V1_i = V1_{i-1} + X1_i + Y1_i^{pump} - [Y1_i + Y1_i^{isp}]$$

$$V2_i = V2_{i-1} - [Y2_i + Y2_i^{isp} + Y1_i^{pump}]$$

$$V3_i = V3_{i-1} + X3_i^M + Y3_i^{pump} - [Y3_i + Y3_i^{isp}]$$

$$V4_i = V4_{i-1} + X4_i^M - [Y4_i + Y4_i^N + Y4_i^{isp} + Y3_i^{pump}]$$

Излезот од акумулациите е еднаков на:

$$Y1_i = Y1_i^{preliv} + Y1_i^{HEC}$$

$$Y2_i = Y2_i^{preliv}$$

$$Y3_i = Y3_i^{preliv} + Y3_i^{HEC}$$

$$Y4_i = Y4_i^{preliv} + Y4_i^{HEC}$$

$$Y4_i^N \leq PN_i$$

$$Y1,2,3,4_i^{isp} = f(Z_{akum}, T)$$

каде што:

$X1_i$ хидролошки влез во акумулација Чебрени во i -тиот момент,

$X3,4M_i$ хидролошки влез од меѓуслив во акумулација Галиште и Тиквеш во i -тиот момент,

$Y1,2,3,4_i^{isp}$ губитоци на вода поради испарување од слободна водна површина во i -тиот момент за акумулација Чебрени, Орлов Камен, Галиште и Тиквеш,

$Y1,3,4_i^{HEC}$ количина на вода низ доведен орган за ХЕЦ Чебрени, Галиште и Тиквеш во i -тиот момент,

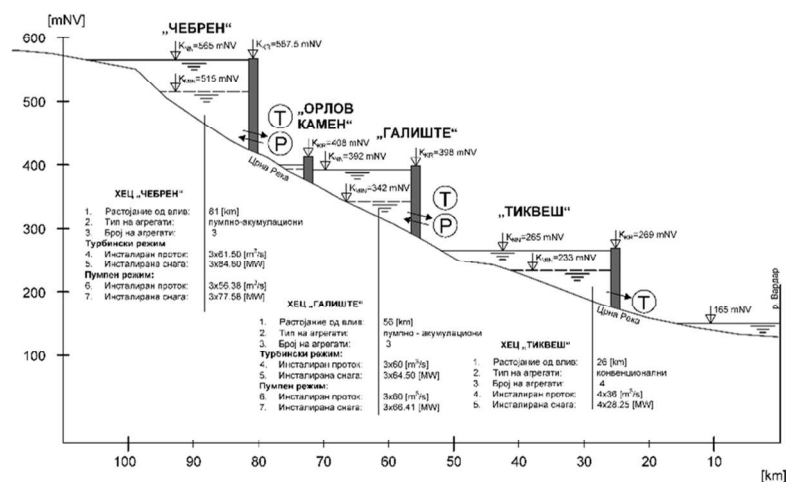
$Y1,2,3,4_i^{preliv}$ количина на вода која прелева низ преливниците на ХС Чебрени, Орлов Камен, Галиште и Тиквеш во i -тиот момент,

$Y4_i^N$ испорачани количини на вода за наводнување на ХМС Тиквешко Поле во i -тиот момент,

PN_i потребни количини на вода за наводнување на ХМС Тиквешко Поле во i -тиот момент,

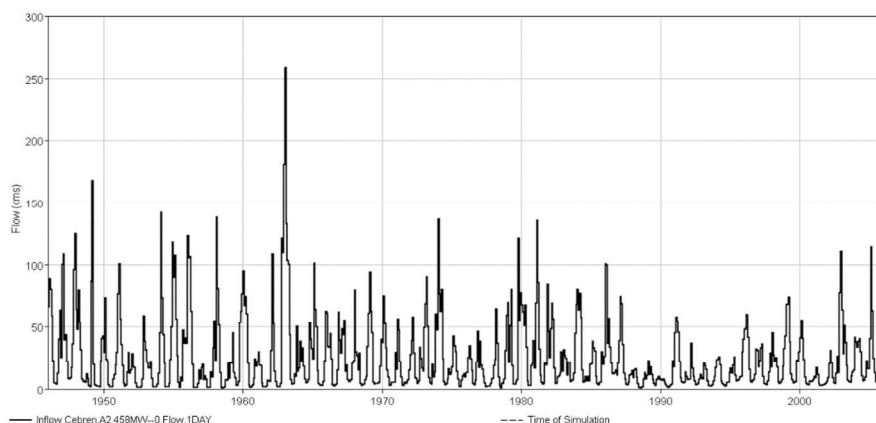
$Y1,2,3,4_i$ вкупни истекувања од акумулација Чебрени, Орлов Камен, Галиште и Тиквеш низводно од преградното место во i -тиот момент,

$V1,2,3,4_i$ заполнетост во акумулацијата Чебрени, Орлов Камен, Галиште и Тиквеш во i -тиот момент.



Прилог 2. Надолжен профил по течението на Црна Река со приказ на моделираните хидросистеми со хидроцентрали

Хидролошкиот влез во акумулацијата Чебрени е преземен од историска низа на мерени средномесечни протекувања за мерно место Расимбегов мост (прилог 3), за акумулација Галиште – податоци од мерно место Галиште и за акумулација Тиквеш – податоци од мерно место „Тиквеш“.

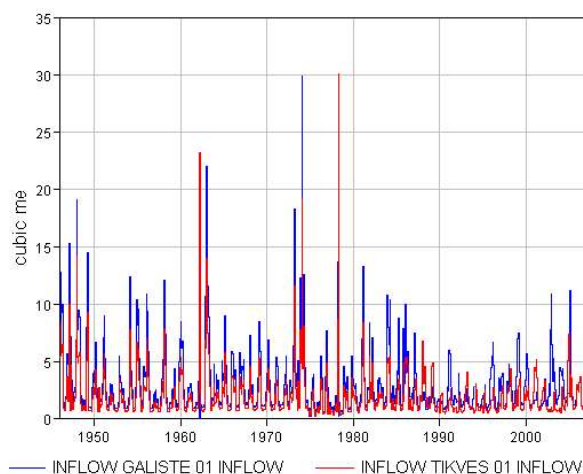


Прилог 3. Хидролошка низа на средномесечни дотекувања измерени на мерно место Расимбегов мост во периодот од 1946 до 2005 година

Дотекувањата во акумулација Галиште и Тиквеш од меѓуслив (пр. 4) се пресметани како:

$$Q_{GALISTE}^{MEGJUSLIV} = Q_{GALISTE}^{DOTEK} - Q_{CEBREN}^{DOTEK}$$

$$Q_{TIKVES}^{MEGJUSLIV} = Q_{TIKVES}^{DOTEK} - Q_{GALISTE}^{DOTEK}$$



Прилог 4. Хидролошка низа на средномесечни дотекувања за Галиште и Тиквеш од 1946 до 2005 година

Највозводно се наоѓа акумулацијата Чебрен, со волумен на корисен простор од $V_{kor}=555 \times 10^6 \text{ m}^3$ и кота на нормално ниво $K_{NN}=565 \text{ mNV}$. Веднаш по преградното место за брана Чебрен 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 $K_{NN}=400 \text{ mNV}$.

Браната Чебрен е висока $H=192.50 \text{ m}$, со кота на круна $K_{KR}=567.5 \text{ mNV}$, а акумулацијата Орлов Камен, која се наоѓа непосредно низводно од браната Чебрен, служи како долен базен за пумпноакумулациона постројка Чебрен. Кај ХС Чебрен во анализираната конфигурација се моделирани три пумпи со константен капацитет $Q_{pump}=3 \times 60 \text{ m}^3/\text{s}$, со минимална кота на долна вода од $K_{MIN}=393 \text{ mNV}$ и максимално работно водно ниво на пумпите од $H_{MAX}=172 \text{ m}$. Како низводно водно ниво, моделот ќе ја преземе висината на водно ниво од акумулацијата Орлов Камен во пумпен и турбински режим.

Браната Галиште е висока $H=141.50 \text{ m}$, со кота на круна $K_{KR}=398 \text{ mNV}$. Работниот простор на акумулацијата варира од максималното работно ниво од 392 mNV и минималното работно ниво од 372 mNV , со што вкупниот волумен на работниот простор

изнесува $132 \times 10^6 \text{ m}^3$. Моделираните инсталирани капацитети на ХЕЦ Галиште во пумпен и турбински режим се: (1) во турбински режим, 3 агрегати, секој со инсталиран проток од $Q = 3 \times 60 \text{ m}^3/\text{s}$ и инсталирана моќност од $P = 3 \times 64.50 \text{ MW}$, (2) во пумпен режим, 3 агрегати, секој со инсталиран проток од $Q = 3 \times 60 \text{ m}^3/\text{s}$ и инсталирана моќност од $P = 3 \times 66.41 \text{ MW}$.

Акумулацијата Тиквеш е најнизводната во каскадниот систем, со волумен на корисен простор $V_{\text{kor}} = 310 \times 10^6 \text{ m}^3$ и кота на нормално ниво $K_{\text{NN}} = 265 \text{ mNV}$. Инсталираноста на конвенционалните агрегати во ХЕЦ Тиквеш изнесува $P = 4 \times 23 \text{ MW}$.

Вкупната инсталираност на моделот во турбински режим изнесува $P_{\text{turbine}} = 539.30 \text{ MW}$, додека во пумпен режим $P_{\text{pump}} = 431.97 \text{ MW}$.

Систем	Физички параметри		
Тиквеш	Кота на нормално ниво	265	[mNV]
	Кота на минимално ниво	233	[mNV]
	Запремина на корисен простор	$310 \cdot 10^6$	[m ³]
	Кота на круна на брана	269	[mNV]
	Инсталираност на ХЕЦ	115.32	[MW]
		144	[m ³ /s]
Галиште	Кота на нормално ниво	392	[mNV]
	Кота на минимално ниво	342	[mNV]
	Запремина на корисен простор	$132 \cdot 10^6$	[m ³]
	Кота на круна на брана	398	[mNV]
	Инсталираност на турбини	3×64.50	[MW]
		3×60	[m ³ /s]
Чебрѐн	Инсталираност на пумпи	3×60	[m ³ /s]
	Кота на нормално ниво	565	[mNV]
	Кота на минимално ниво	515	[mNV]
	Запремина на корисен простор	$555 \cdot 10^6$	[m ³]
	Кота на круна на брана	567,5	[mNV]
	Инсталираност на турбини	3×84.60	[MW]
Орлов Камен		3×60	[m ³ /s]
	Инсталираност на пумпи	3×60	[m ³ /s]
	Кота на нормално ниво	400	[mNV]
	Кота на минимално ниво	393	[mNV]
	Запремина на корисен простор	$14,9 \cdot 10^6$	[m ³]
	Кота на круна на брана	408	[mNV]

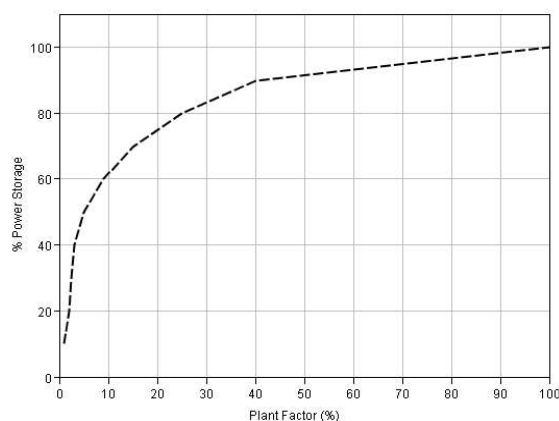
Прилог 5. Сумарна табела со физички параметри на моделираните хидросистеми

3. ОПЕРАТИВНИ ПОЛИТИКИ

Моделираните хидроцентрали ќе работат според т.н. сценарио High Non Linear - сценарио со фаворизирање на високите водни нивоа и заполнетости во акумулацијата, каде што зависноста помеѓу заполнетоста во акумулацијата и капацитетот на хидроцентралата се поставени на тој начин што ХЕЦ ќе работи со максимални капацитети само кога заполнетоста во акумулацијата е висока (прилог 6).

Пумпните построенија ќе работат 8 часа во текот на ноќта, во периодот од 22 часот до 6 часот наутро. Времето е дефинирано под претпоставка дека во ноќните часови во електроенергетскиот сектор се јавуваат вишоци на електрична енергија поради работата на термоцентралите, кои не се исклучуваат од работа поради инертноста на ставање во погон на гасните пумпи. Долен базен од кој пумпното построение ќе црпи вода кај ХС Чебрѐн е акумулацијата Орлов Камен, додека кај ХС Галиште долниот базен ќе претставува акумулацијата Тиквеш.

Кај акумулацијата Орлов Камен нема предвидено хидроцентрала – од неа, преку прелевање се полни акумулацијата Галиште, а оттаму – акумулацијата Тиквеш.



Прилог 6. Оперативни правила HIGH NON LIN за работата на ХЕЦ

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

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

Кај акумулацијата Орлов Камен зоната на ретензија на поплавен бран се наоѓа помеѓу котите $Z_{\text{flood}} = 400 - 408 \text{ mNV}$. Корисниот волумен е дефиниран помеѓу котите $Z_{\text{conservation}} = 400 - 393 \text{ mNV}$, а зоната на мртов простор се наоѓа под кота $Z_{\text{inactive}} = 393 \text{ mNV}$.

Кај акумулацијата Галиште, зоната за ретензија на поплавен бран се наоѓа помеѓу котите $Z_{\text{flood}} = 398 - 392 \text{ mNV}$, зоната на корисен простор се наоѓа помеѓу котите $Z_{\text{conservation}} = 392 - 342 \text{ mNV}$. Зоната на мртов простор се наоѓа под котата $Z_{\text{inactive}} = 342 \text{ mNV}$.

Кај акумулацијата Тиквеш, зоната за ретензија на поплавен бран се наоѓа помеѓу котите $Z_{\text{flood}} = 268 - 265 \text{ mNV}$, зоната на корисен простор се наоѓа помеѓу котите $Z_{\text{conservation}} = 265 - 233 \text{ mNV}$. Зоната на мртов простор се наоѓа под котата $Z_{\text{inactive}} = 233 \text{ mNV}$.

За работата на пумпите треба да се спомне дека:

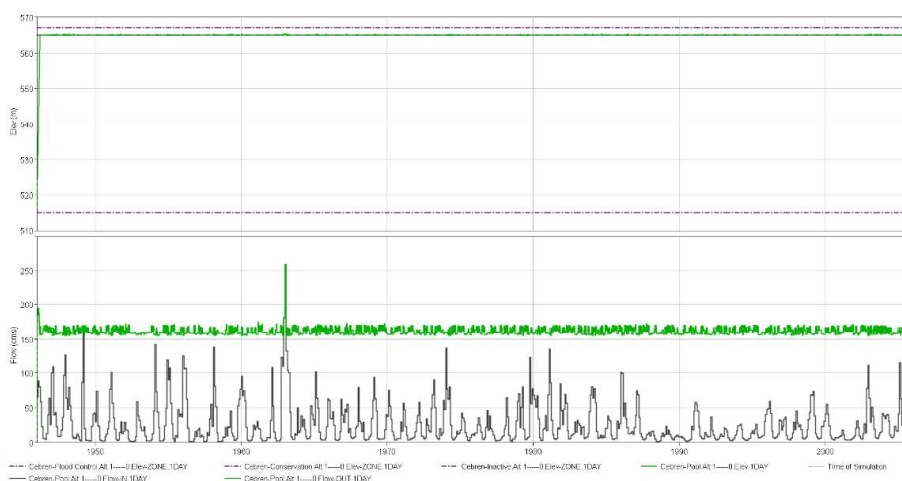
- пумпите ќе работат со полн капацитет во периодот од 22 часот навечер до 6 часот наутро за да ги достигнат нормалните работни нивоа во акумулациите Чебрен и Галиште, респективно;
- доколку работното ниво во возводната акумулација биде постигнато во периодот на работа, пумпите ќе престанат со работа;
- ако работното ниво во возводната акумулација не биде постигнато во периодот од 22 часот навечер до 6 часот наутро, пумпите ќе престанат со работа во 6 часот наутро;
- доколку нивото во долниот базен падне под котата на минимално ниво на низводните акумулации, пумпите ќе престанат со работа;
- максималниот капацитет на пумпите со кои се врши препумпување на вода од долен во горен базен е $Q_{\text{pump}} = 180 \text{ m}^3/\text{s}$.

4. ИЗЛЕЗНИ РЕЗУЛТАТИ

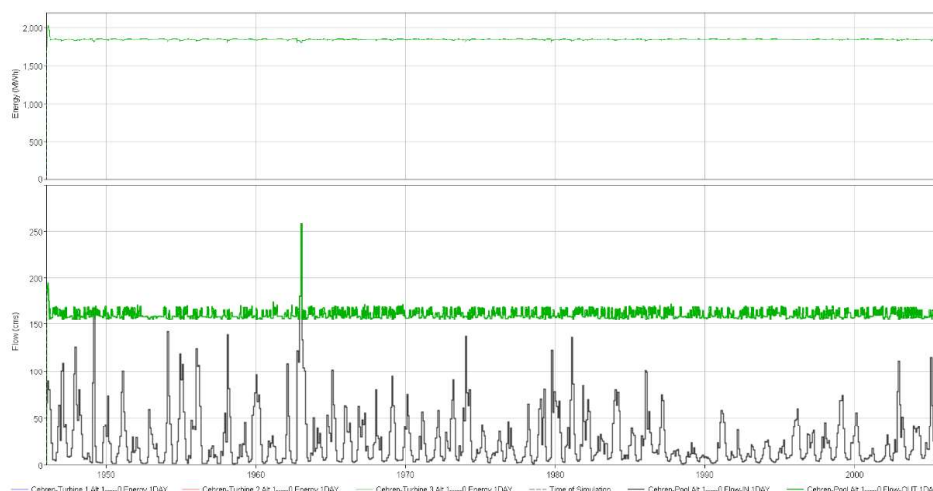
4.1. ХС Чебрен

Во согласност со применетите оперативни политики за работа на пумпите, како и оние за работа на турбините во производствен режим, за ХС Чебрен може да се заклучи следново:

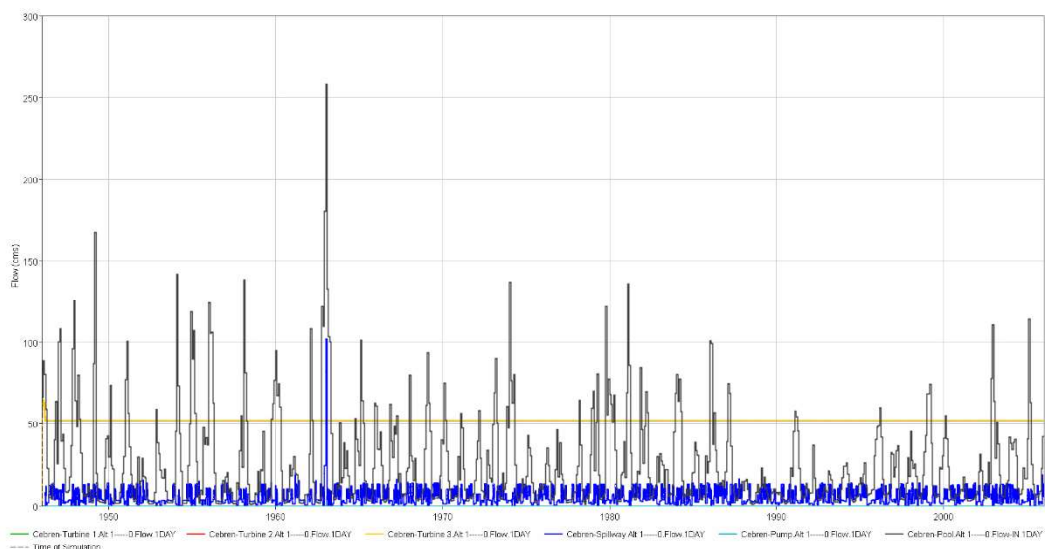
- Водното ниво во акумулацијата Чебрен, низ разгледуваниот период, варира во тесен обем и тоа блиску до котата на нормалното ниво во акумулацијата (прилог 7). Средното водно ниво во периодот од 60-тина години, за кои е направен моделот, изнесува 564.93 m.n.v. Ова се должи на големиот капацитет на пумпите, кои работат со полн капацитет во речиси целиот период на анализа и постојано го одржуваат водното ниво во Чебрен близу до нормалното ниво.
- Во просек, дневното производство на електрична енергија изнесува 1848.23 MWh по турбина (вкупно 3×1848.23 MWh на ден) или средногодишното просечно производство на електрична енергија ќе изнесува $3 \times 674.60 = 2023.80$ GWh/god.
- Ангажираната моќност по временски чекор, во просек, по турбина, изнесува 77.01 MW, а протокот низ турбина изнесува $51.97 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Коефициентот на корисно дејство на турбините изнесува 0.92.
- Просечната ангажираност на пумпите во текот на разгледуваниот период изнесува $136.54 \text{ m}^3/\text{s}$ на ден, а просечната разлика од максимално и минимално ниво кај ХС Чебрен изнесува 171.93 m.



Прилог 7. На горниот графикон е прикажана флукуацијата на водното ниво во акумулацијата Чебрен, додека на долниот графикон се прикажани дотеците и истекувањата низ турбините.



Прилог 8. На горниот графикон е прикажано производството на електрична енергија од ХЕЦ Чебрен, додека на долниот графикон се прикажани дотеците и истекувањата низ турбините од акумулација Чебрен.



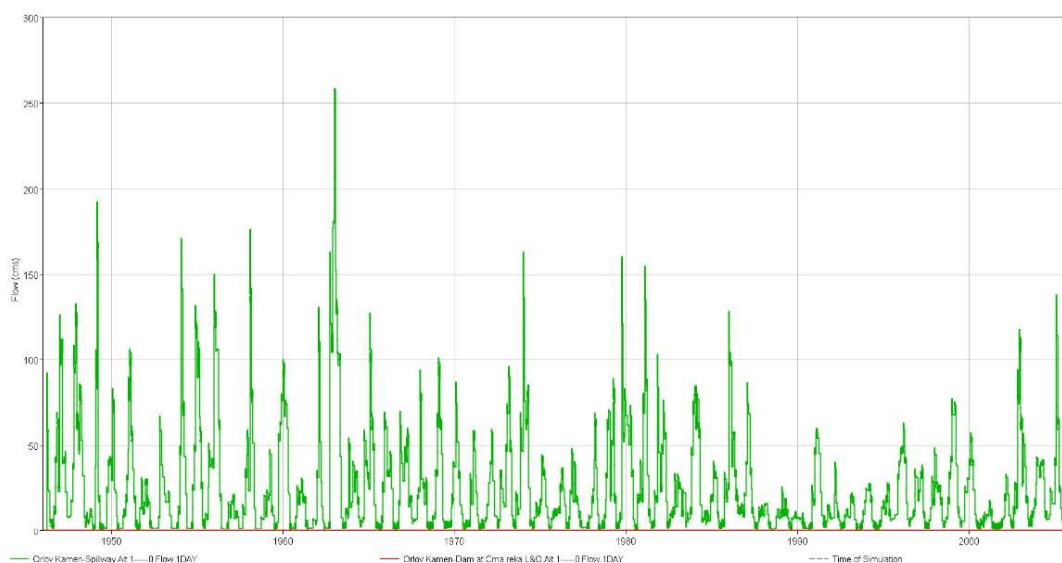
Прилог 9. Вкупни дотекувања и истекувања од акумулација Чебрен

4.2. Акумулација Орлов Камен

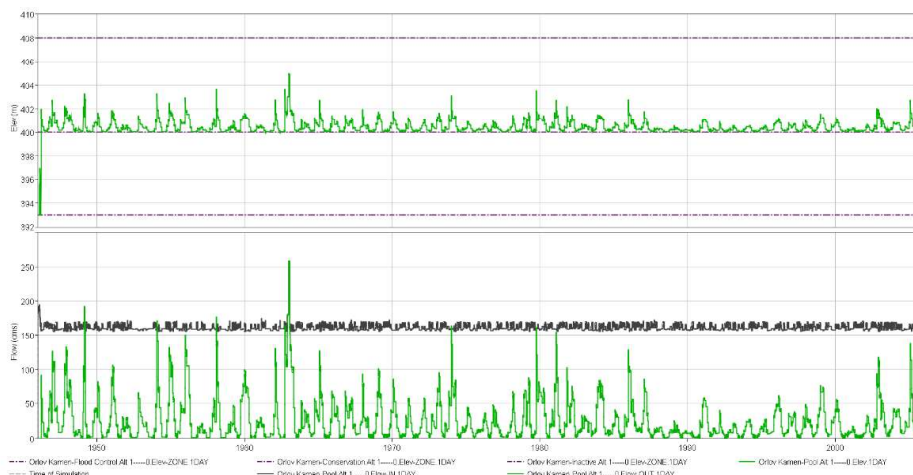
Акумулацијата служи како долен базен за хидроцентралата и пумпното построение кај ХС Чебрен. Кај Орлов Камен не е предвидена хидроцентрала, туку со прелевање водите од оваа акумулација се акумулираат во низводната акумулација Галиште.

Од излезните резултати од моделот, за акумулацијата Орлов Камен може да се донесат следниве заклучоци:

- Во акумулацијата се влеваат истекувањата од акумулацијата Чебрен: протоците од работата на турбините и прелевањата преку преливникот на акумулацијата Чебрен.
- Просечното водно ниво во акумулацијата изнесува 400.42 m.n.v.
- Во просек, од акумулацијата Орлов Камен кон акумулацијата Галиште на дневно ниво се излеваат 24.65 m³/s.



Прилог 10. Истекувања од Орлов Камен низ преливникот

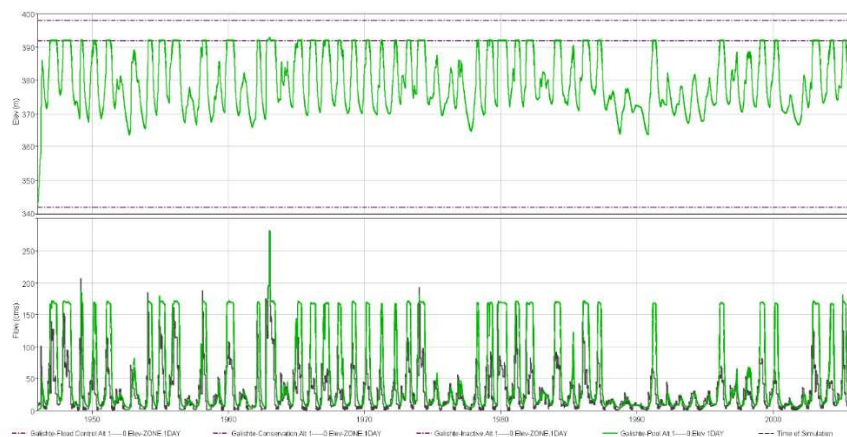


Прилог 11. Флукутација на водното ниво во акумулацијата Орлов Камен (графикон горе), и дотекувања и истекувања од акумулацијата (графикон долу).

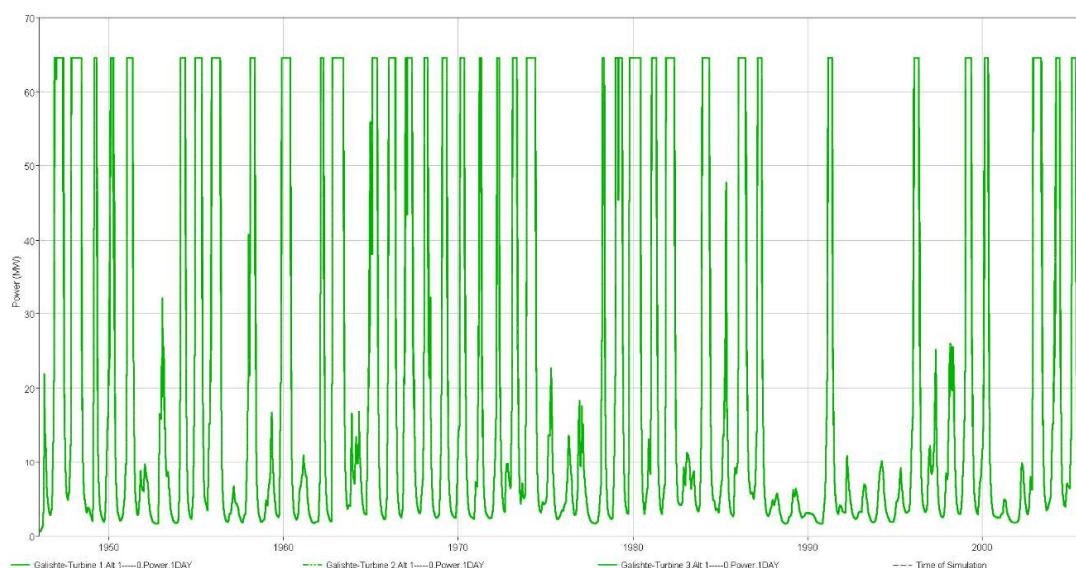
4.3. ХС Галиште

Во согласност со применетите оперативни политики за работа на пумпите, како и оние за работа на турбините во производствен режим, за ХС Галиште може да се заклучи следново:

- Водното ниво во акумулацијата Галиште, низ разгледуваниот период, варира од 392.85 m.n.v. до 342 m.n.v. Средното водно ниво во периодот од 60-тина години за кои е направен моделот изнесува 379.75 m.n.v.
- Во просек, дневното производство на електрична енергија изнесува 476.05 MWh по турбина (вкупно 3x476.05 MWh на ден) или средногодишното просечно производство на електрична енергија ќе изнесува 521.27 GWh/god.
- Ангажираната моќност по временски чекор, во просек, по турбина, изнесува 19.84 MW, а протокот низ турбина изнесува 17.42 m³/s.
- Коефициентот на корисно дејство на турбините изнесува 0.92.
- Просечната ангажираност на пумпите во текот на разгледуваниот период изнесува 25.17 m³/s на ден, а просечната разлика од максимално и минимално ниво кај ХС Галиште изнесува 118.75 m.



Прилог 12. На горниот графикон е прикажана флукутацијата на водното ниво во акумулацијата Галиште, додека на долниот графикон се прикажани дотеците и истекувањата низ турбините.

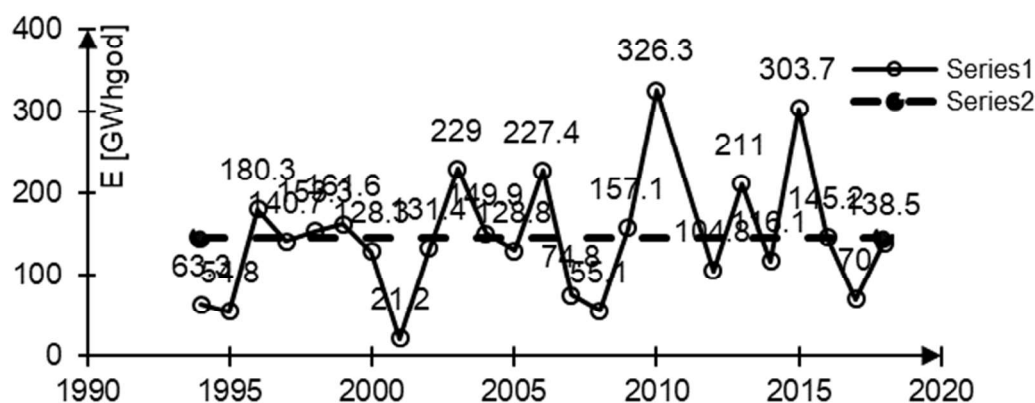


Прилог 13. Ангажирана моќност по турбина кај ХЕЦ Галиште

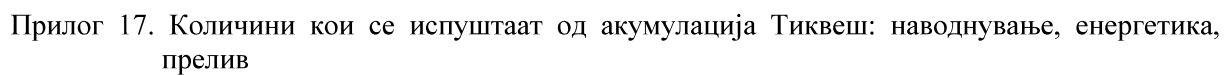
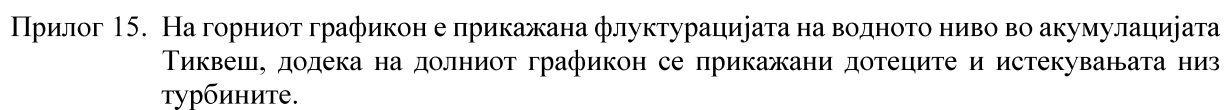
4.4. ХС Тиквеш

ХС Тиквеш во моделот е внесен со реалните физички карактеристики што ги поседува и денес. Во согласност со внесените оперативни политики, за ХС Тиквеш може да се заклучи следново:

- Во разгледуваниот период, просечното водно ниво во акумулацијата изнесува 258.17 m.n.v.
- Потребите за наводнување се во целост задоволени.
- Во просек, низ турбините, на дневно ниво енергетски се искористуваат $3 \times 6.61 \text{ m}^3/\text{s}$, со среднодневно производство на електрична енергија од $3 \times 136.52 \text{ MWh}/\text{den}$.
- На годишно ниво, во просек, производството на електрична енергија во моделот изнесува 149.49 GWh. Добиените вредности за средногодишното производство може да се споредат со податоци од годишното производство на електрична енергија во ХЕЦ Тиквеш во периодот од 1994 до 2016 година, кое во просек изнесува $E_{\text{aver}} = 148.37 \text{ GWh}/\text{god}$ (АД ЕЛЕМ - Скопје, 2017) (прилог 14).



Прилог 14. (1) Series 1 - Годишно производство на електрична енергија во ХЕЦ Тиквеш во периодот од 1994 до 2016 година, (2) Series 2 - Просечно годишно производство за овој период изнесува $E_{\text{aver}} = 148.37 \text{ GWh}/\text{god}$ (АД ЕЛЕМ - Скопје, 2017).



5. ЗАКЛУЧОЦИ

Во овој реферат е даден детален опис на симулационен модел применет за анализа на енергетскиот капацитет на долниот тек на Црна Река, со конфигурација со две пумпноакумулациони постројки. Симулациониот модел е направен со примена на софтверот HEC ResSim, кој е развиен од страна на Корпусот на инженери на американската армија (US Army Corps of Engineers).

Анализираната конфигурација ги опфаќа следниве хидросистеми: Чебрен со Орлов Камен, Галиште и Тиквеш.

Од анализираните, само ХС Тиквеш е систем кој денес е во функција и истиот е моделиран со неговите реални физички карактеристики.

Кај ХС Чебрен и ХС Галиште се моделирани пумпноакумулациони постројки со вкупен инсталиран капацитет од 180 m³/s кај Чебрен и 180 m³/s кај Галиште.

Оперативните политики применети кај пумпите предвидуваат нивна работа во период од 22 часот навечер до 6 часот наутро, или вкупно 8 часа во еден ден.

Оперативните политики за работа на турбините предвидува ангажман на турбините со висок степен на ангажираност само кога исполнетоста во акумулациите е висока.

Физичките параметри на системите се преземени од досега многубројните студии и подготвени проекти за енергетски развој на долниот тек на Црна Река.

Во согласност со усвоените физички параметри и оперативни политики, кај ПАХЕЦ Чебрен се очекува производство на електрична енергија од 2023.80 GWh/год, кај ПАХЕЦ Галиште се очекува 521.27 GWh/год, додека кај Тиквеш – 149.49 GWh/год. Вкупното средногодишно производство на електрична енергија од оваа конфигурација на системот изнесува 2649.60 GWh/год.

За споредба, добиените резултати за производство на електрична енергија кај ХЕЦ Тиквеш и податоците од производството на електрична енергија регистрирано во периодот од 1994 до 2016 година се речиси идентични – речиси 150 GWh/год.

Од работата на ПАХЕЦ Галиште може да се забележи дека просечниот ангажман на пумпата, кој изнесува 25.17 m³/s, е доста понизок од вкупната инсталираност на пумпите од 180 m³/s. Тоа значи дека дополнително треба да се разгледа економската исплатливост на инсталирање пумпноакумулационо построение кај Галиште. Овој низок ангажман на пумпите потекнува од водното ниво во Тиквешката акумулација, која често се наоѓа под минималното ниво за пумпање за ПАХЕЦ Галиште – 261 mnv.

Кај акумулацијата Орлов Камен не е моделирана хидроцентрала – таму водата со прелевање ќе истекува во Галиште, а со пумпање дел ќе се враќа во акумулацијата Чебрен.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] M. K. Jermar, Water resources and water management, Munich: ELSEVIER, 1987.
- [2] AD ELEM, “2016 Annual report on AD ELEM,” AD ELEM, Skopje, 2016.
- [3] L. Votruba, Analysis of water resources, Prague: Technical University of Prague, 1988.
- [4] ХЕП Скопје, Основен проект за енергетско искористување на Црна Река, Скопје, 1961.
- [5] F. Panovska, Simulation model of multi reservoir system for hydropower generation - master thesis, Skopje: Faculty of Civil Engineering in Skopje, 2019.
- [6] HEC Ressim 3.1, User's Manual, USACE, Hydrologic Engineering Center, 2013.