



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika
Modul: Elektroenergetska učinkovitost in elektroinštalacije
**MERITVE ENERGETSKIH IZKORISTKOV V
MALI HIDROELEKTRARNI MRZLA RUPA**

Mentor: doc. dr. Drago Papler, mag. gosp. inž.
Somentor: dr. Tine Cencič, dr. strojništva
Lektor/ica: Aleksandra Repe, univ. dipl. slov.

Kandidat: Davor Velikanje

Idrija, november 2024

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorjema doc. dr. Dragu Paplerju, mag. gosp. inž. in dr. Tinetu Cencič-u dr. strojništva za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi družbi Soške elektrarne Nova Gorica d. o. o. za ponujeno priložnost in izvedbo študija.

Posebna zahvala gre moji družini za vso potrpežljivost in podporo med pisanjem diplomske naloge.

IZJAVA

Študent Davor Velikanje izjavljam, da sem avtor/ica tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom doc. dr. Draga Paplerja in somentorja dr. Tineta Cencič.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

V diplomskem delu smo obravnavali izvedbo meritev in analizo izkoristkov obstoječe opreme z namenom določitve obsega predvidene rekonstrukcije male hidroelektrarne Mrzla Rupa, ki obratuje od leta 1989. Zaradi iztrošenosti opreme in zastarele tehnologije prihaja do okvar, hkrati obstoječi agregat ne dosega primerljivih izkoristkov kot sodobnejši agregati, kar vpliva na zanesljivost in proizvodnjo električne energije.

V okviru meritev smo določili izkoristke turbine in generatorja ter analizirali izgube v cevovodu. Meritve smo izvedli v celotnem delovnem območju agregata, pri čemer smo merili ključne parametre, kot so pretok, tlak, energijske višine in odprtost igel. Pridobljeni podatki omogočajo natančno primerjavo izkoristkov obstoječe opreme s sodobnejšimi rešitvami, kar bo podlaga za izbiro nove, optimalne opreme, ki bo prilagojena dejanskim obratovalnim razmeram elektrarne.

Delo prav tako vključuje izračun hidroenergetskega potenciala reke Idrijce na obravnavanem odseku ter finančno analizo, ki potrjuje ekonomsko smiselnost rekonstrukcije. Rekonstrukcija bo omogočila povečanje energetske učinkovitosti, zanesljivosti ter dolgoročno izboljšanje delovanja hidroelektrarne.

KLJUČNE BESEDE

- mala hidroelektrarna
- izkoristek turbine
- hidroenergetski potencial
- energijske višine
- srednji letni pretok
- cevovod

ABSTRACT

This thesis presents the measurements and analysis of the efficiency of the existing equipment to determine the scope of the planned reconstruction of the Mrzla Rupa small hydroelectric power plant, which has been in operation since 1989. Its worn-out equipment and obsolete technology lead to frequent malfunctions, while the current generator is not as efficient as more modern generators, affecting both reliability and electricity generation.

Measurements were made to determine the efficiency of the turbine and the generator, and to analyse losses in the penstock. These measurements included the entire operating range of the generator, measuring key parameters such as flow, pressure, hydraulic head, and needle opening. The data obtained enable a detailed comparison between the efficiency of the existing equipment and modern solutions, which will form the basis for the selection of new, optimal equipment adapted to the actual operating conditions of the hydropower plant.

The study also includes a calculation of the hydropower potential of the Idrijca river for the considered section, as well as a financial analysis confirming the economic feasibility of the reconstruction. The reconstruction is expected to enhance energy efficiency, increase reliability, and achieve long-term improvement in the operation of the hydroelectric power plant.

KEYWORDS

- small hydroelectric power plant
- turbine efficiency
- hydropower potential
- hydraulic head
- mean annual flow
- penstock

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji, predpostavke in omejitve.....	2
1.3	Metode dela.....	2
2	SOŠKE ELEKTRARNE NOVA GORICA D.O.O. IN MALA HIDROELEKTRARNA MRZLA RUPA.....	3
2.1	Elektrarne družbe Soške elektrarne Nova Gorica d.o.o.	3
2.2	Vrste hidroelektrarn.....	4
2.3	Tehnični opis opreme in naprav	8
3	MERITVE ENERGETSKIH IZKORISTKOV	15
3.1	Potrebne veličine za izračun karakteristik	15
3.2	Načini merjenja in merilna mesta	17
3.3	Meritev moči agregata	19
3.4	Meritev pretoka	20
3.5	Meritev tlaka na cevovodu	22
3.6	Meritev števila vrtljajev.....	23
3.7	Meritev zgornje vode	24
3.8	Meritev spodnje vode	24
3.9	Meritev odprtja igel in odrezala.....	25
4	IZRAČUNI IZKORISTKOV AGREGATA.....	26
4.1	Izračun energijskih višin	26
4.2	Izračun bruto in neto padca	29
4.3	Izkoristek agregata	30
4.3.1	Izkoristek generatorja.....	30
4.3.2	Izkoristek turbine.....	33
4.3.3	Izkoristek agregata.....	34
4.4	Izgube cevovoda	36
4.5	Merilna negotovost rezultatov:	38
5	IZRAČUN ENERGETSKEGA POTENCIALA	40
5.1	Izračun energetskega potenciala	41
6	FINANČNA ANALIZA INVESTICIJE	45
6.1	Ocena vrednosti investicije.....	47
6.2	Sredstva	48
6.3	Predvideni viri financiranja	48
6.4	Dinamika vlaganj.....	48
6.6	Koristi in stroški investicije	49
6.7	Izračun upravičenosti investicije	51
6.7.1	Doba vračanja investicijskih sredstev.....	52
6.7.2	Neto sedanja vrednost in interna stopnja donosnosti	52
6.7.3	Kazalnik gospodarnosti.....	53
6.8	Analiza občutljivosti	53

7	ZAKLJUČKI.....	55
8	LITERATURA IN VIRI.....	56
	PRILOGE.....	59

KAZALO SLIK

Slika 1: Ključni sestavni deli mHE.....	5
Slika 2: Strojnica mHE Mrzla Rupa.....	7
Slika 3: Predturbinski zaporni organ	9
Slika 4: Hidravlično upravljalni del turbinskega regulatorja	10
Slika 5: Čistilni stroj na vtoku	13
Slika 6: Enočrtna shema mHe Mrzla Rupa	14
Slika 7: Geodetska posnetka strojnice in strojnice	16
Slika 8: Postavitev merilnika pretoka na cevovod	21
Slika 9: Energijske višine mHE Mrzla Rupa	27
Slika 10: Z aproksimacijo pridobljena funkcija za izračun izkoristkov	32
Slika 11: Grafični prikaz izkoristkov pri različnih močeh generatorja	35
Slika 12: Izgube v cevovodu	37
Slika 13: Točnost merilnika pri različnih hitrostih	38
Slika 14: Grafični prikaz nihanja veličin.....	39
Slika 15: Zajem vode za mHE Mrzla Rupa tik pod klavžami	40
Slika 16: Vodonosno področje odseka Idrijce pri zajemu vode za mHE	41
Slika 17: Srednji letni pretoki za obdobje 1993–2022	42
Slika 18: Hidrogram reke Idrijce pri hid. postaji Podroteja 1 za obdobje 1993–2022.....	42
Slika 19: Krivulja trajanja in pogostost pretokov pri hidrološki postaji Podroteja 1... ..	43
Slika 20: Grafikon povprečna dnevna moč za obdobje 2013–2022	44
Slika 21: Grafikon srednjih dnevni pretokov za obdobje 2013–2022.....	44
Slika 22: Struktura investicijskih stroškov	47
Slika 23: Realni tok denarja in doba vračanja investicijskih sredstev	52
Slika 24: Kazalnik NSV glede na spremembo kritičnih spremenljivk	54
Slika 25: Kazalnik IRR glede na spremembo kritičnih spremenljivk	54

KAZALO TABEL

Tabela 1: Osnovni podatki Pelton turbine	8
Tabela 2: Osnovni podatki trifaznega asinhronskega generatorja.....	11
Tabela 3: Podatki mrežnega transformatorja	12
Tabela 4: Osnovni podatki napetostnega modula NI-9205	18
Tabela 5: Osnovni podatki tokovnega modula NI-9203	18
Tabela 6: Osnovni podatki merilnika moči	19
Tabela 7: Zbrani podatki meritve moči agregata.....	19
Tabela 8: Osnovni podatki merilnika pretoka	20
Tabela 9: Osnovni podatki cevovoda mHE Mrzla Rupa	20
Tabela 10: Zbrani podatki pretokov pri različnih močeh agregata	21
Tabela 11: Osnovni podatki merilnika tlaka	22
Tabela 12: Zbrani podatki tlaka vode v cevovodu.....	22

Tabela 13: Osnovni podatki merilnika obratov	23
Tabela 14: Zbrani podatki kote zgornje vode	24
Tabela 15 Osnovni podatki žičnega dajalnika.....	25
Tabela 16: Zbrani podatki meritev odprtja igel 1 in 2	25
Tabela 17: Izračunane energetske višine	28
Tabela 18: Izračun neto in bruto padca mHE Mrzla Rupa.....	29
Tabela 19: Osnovni podatki primerljivega generatorja	30
Tabela 20: Izkoristki generatorja pri različnih močeh	31
Tabela 21: Izkoristek generatorja v mHE Mrzla Rupa.....	32
Tabela 22: Izračuni izkoristkov in moči	35
Tabela 23: Izgube v cevovodu.....	36
Tabela 24: Ocena vrednosti investicijskih stroškov.....	47
Tabela 25: Predvidena letna dinamika investicijskih stroškov za celotno investicijo	48
Tabela 26: Primerjava proizvodnje električne energije mHE med variantami z ali brez investicije	49
Tabela 27: Upoštevani stroški med obratovalno dobo mHE	50
Tabela 28: Izračun letne amortizacije za obdobje 40 let	50
Tabela 29: Finančni kazalniki investicije	52
Tabela 30: Kazalnik gospodarnosti.....	53
Tabela 31: NSV in IRR v odvisnosti od spremembe vrednosti investicije in spremembe cene električne energije	53

KRATICE IN AKRONIMI

MHE:	Mala hidroelektrarna
HE:	Hidroelektrarna
OVE:	Obnovljivi viri energije
EES:	Elektro energetska sistem
SENG:	Soške elektrarne Nova Gorica
HSE:	Holding slovenske elektrarne
NEPN:	Nacionalni energetska in podnebni načrt republike Slovenije
MER:	Elektronski regulator za vodne turbine
SCADA:	Supervisory Control and data acquisition
SN:	Srednje napetostni nivo
NN:	Nizko napetostni nivo
DC:	Enosmerna napetost
IEC:	International electrotechnical commission
NSV:	Neto sedanja vrednost
IRR:	Interna diskontna stopnja

SEZNAM SIMBOLOV

P:	Delovna moč, enote: W, kW, MW
Q_{es} :	Minimalni ekološko sprejemljiv pretok, enote: m ³ /s
∇ :	Nadmorska višina, enote: m.n.v.
ρ :	Zemljepisna širina, enote: °
k_v :	Konstanta stisljivosti vode; enote: bar ⁻¹
H:	Energijska višina, enote: mVS
F:	Vodonosno področje, enote: km ²

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

Naraščajoče emisije toplogrednih plinov povzročajo resne podnebne spremembe, ki so postale eden največjih izzivov sodobne družbe. Posledice segrevanja ozračja, kot so vse pogostejši ekstremni vremenski pojavi, dvig morske gladine in degradacija ekosistemov, zahtevajo nujne ukrepe na svetovni ravni. Evropska unija si je v okviru Evropskega zelenega dogovora zastavila ambiciozna cilja postopnega zmanjševanja emisij toplogrednih plinov ter postati ogljično nevtralna do leta 2050. Prehod na obnovljive vire energije (OVE) je ključen za doseganje teh ciljev, pri čemer ima hidroenergija, vključno z malimi hidroelektrarnami (mHE), pomembno vlogo pri zmanjševanju emisij pri proizvodnji električne energije.

Slovenija se je v svojem nacionalnem energetske in podnebnem načrtu NEPN zavezala, da bo do leta 2030 delež OVE v bruto rabi električne energije 43 %, v pripravi pa je osnutek NEPN, kjer se predvideva vsaj 55 % delež OVE pri proizvodnji električne energije. Po projekcijah NEPN naj bi se obstoječe kapacitete mHE do leta 2030 povečale s trenutnih 155 MW na 159 MW, do leta 2040 pa na 177 MW, kar bi prineslo povečanje proizvodnje električne energije na približno 440 GWh letno. (Energetika-portal 5.9., 2024)

Vendar pa se pri umeščanju novih objektov vse pogosteje pojavljajo omejitve z vidika varstva narave, še posebej na območjih Natura 2000, kjer je treba upoštevati naravne vrednote in zavarovana območja. Zato slovenski nacionalni energetski in podnebni načrt (NEPN) izpostavlja prioriteto posodabljanja in nadgradnje obstoječih mHE pred gradnjo novih objektov.

V diplomskem delu smo obravnavali rekonstrukcijo male hidroelektrarne Mrzla Rupa, ki obratuje od leta 1989. Zaradi iztrošene opreme in zastarele tehnologije hidroelektrarna ne dosega izkoristkov modernejših agregatov, kar zmanjšuje njeno energetske učinkovitost.

1.2 Cilji, predpostavke in omejitve

Cilji diplomske naloge so izvedba meritev izkoristkov trenutno vgrajenih turbine in generatorja, analiza izgub v cevovodu ter določitev potencialnih izboljšav z rekonstrukcijo. Z izvedenimi meritvami želimo pridobiti natančne podatke, ki bodo služili kot podlaga za načrtovanje rekonstrukcije, katere cilj je izboljšati energetske učinkovitost in podaljšati življenjsko dobo hidroelektrarne.

Pridobljeni podatki bodo omogočili primerjavo med obstoječo in sodobno opremo ter pripomogli k izbiri optimalne tehnologije za rekonstrukcijo, ki bo prilagojena specifičnim obratovalnim pogojem hidroelektrarne. S pomočjo rezultatov bo lažje določiti tehnične zahteve za novo opremo, ki bo prispevala k boljšemu izkoriščanju vodnega potenciala reke Idrijce.

Omejitve pri izvedbi diplomskega dela vključujejo pomanjkanje podatkov o izkoristkih obstoječega generatorja, zaradi česar smo uporabili podatke primerljivega generatorja podobnih moči. Prav tako smo pri finančni analizi upoštevali projekcijo prodajnih cen električne energije za obdobje 40 let, kar vključuje določeno stopnjo negotovosti.

1.3 Metode dela

V teoretičnem delu naloge smo za prikaz obstoječega stanja uporabili opisno metodo in metodo združevanja teoretičnih virov, ki obravnavajo problematiko izkoriščanja vodne energije v malih hidroelektrarnah.

V praktičnem delu smo uporabili analitično metodo, s katero smo izmerili ključne obratovalne parametre obstoječe opreme in analizirali finančno upravičenost rekonstrukcije. Meritve smo izvedli na terenu, dobljeni podatki pa so bili kasneje obdelani in analizirani, kar je omogočilo sintezo rezultatov in pripravo smernic za nadaljnjo rekonstrukcijo hidroelektrarne Mrzla Rupa.

V zaključku naloge smo s pomočjo sintezne metode združili glavne ugotovitve in jih povezali s teoretičnimi izhodišči, s čimer smo podali celovit vpogled v potrebo po rekonstrukciji ter njene pričakovane učinke na obratovanje in energetske učinkovitost male hidroelektrarne Mrzla Rupa.

2 SOŠKE ELEKTRARNE NOVA GORICA D.O.O. IN MALA HIDROELEKTRARNA MRZLA RUPA

2.1 Elektrarne družbe Soške elektrarne Nova Gorica d.o.o.

Zgodovina družbe Soške elektrarne Nova Gorica d.o.o. (SENG) sega v leto 1947, ko so jugoslovanske oblasti po priključitvi primorske od italijanskih elektro družb v upravljanje prevzele dve veliki in osem malih hidroelektrarne na Primorskem.

Primarna dejavnost družbe Soške elektrarne Nova Gorica d. o. o. je proizvodnja električne energije iz obnovljivih virov (OVE) v hidroelektrarnah na povodju reke Soče, od leta 2020 pa tudi izraba sončne energije. Danes SENG upravlja črpalno hidroelektrarno, pet velikih in 22 malih hidroelektrarn ter eno sončno elektrarno SE Hubelj.

Velike elektrarne, katerih instalirana moč je večja od 10 MW, obratujejo na reki Soči in na leto proizvedejo 450 GWh električne energije. To so elektrarne HE Doblar 1 (1939), HE Plave 1 (1940), HE Solkan (1984), HE Doblar 2 in HE Plave 2 (obe 2002). V HE Doblar 1 je bila izvedena rekonstrukcija agregatov in opreme ob zaključku leta 2014, v HE Plave1 pa leta 2017.

Črpalna hidroelektrarna Avče obratuje od leta 2009 in je prva ter za zdaj edina črpalna hidroelektrarna v Sloveniji. Strojnica je 80 m globok jašek, premera 18 m. V njem je nameščen reverzibilni agregat (črpalna/turbina in motor/generator) z varspeed tehnologijo, kar omogoča določeno mero regulacije moči črpanja. To omogoča večje prilagajanje razmeram v EES in razpoložljivi količini vode. Moč črpalke/turbine znaša 185 MW v generatorskem režimu in 180 MW v črpalnem režimu.

Družba SENG d.o.o. ima 22 malih hidroelektrarn, ki v energetske namene izkoriščajo vodne potenciale rek Soče, Idrijce, Tolminke, Vipave ter številnih manjših vodotokov. Tri so umeščene v Triglavski narodni park, in sicer mHE Zadlaščica, mHE Log ter mHE Plužna. Največja med njimi je mHE Zadlaščica (8 MW), najmanjša mHE Jelenk (70 kW), najstarejša mHE Mesto (1909), najnovejša pa mHE Podselo (2022), ki za proizvodnjo električne energije izkorišča pretok vode, potreben za zagotavljanje bilološkega minimuma na pregradi sistemskih hidroelektrarn Doblar 1 in Doblar 2. (Seng 3.8., 2023)

2.2 Vrste hidroelektrarn

Hidroelektrarne za proizvodnjo električne energije izkoriščajo energijo vode. Princip pretvorbe energije vode v električno energijo je ne glede na vgrajeno opremo in vrsto HE povsod enak. S postavitvijo pregrade na vodotoku se ustvari zajem vode, ki se jo po cevovodu ali kanalu dovaja do turbine. V turbini se tlačna energija vode spremeni v mehansko energijo v obliki vrtilne energije na gredi turbine, ki poganja generator, ta pa oddaja električno energijo. Odvisno od geografskih značilnosti, stalnosti in količine pretoka vodotokov ter režima obratovanja se za čim večji izkoristek hidroenergetskega potenciala vodotoka hidroelektrarne različno umeščajo v prostor. Delimo jih glede na način izkoriščanja pretoka vode, skupni inštalirani moči generatorjev ter glede na padce.

Način izkoriščanja pretoka vode

Pretočne, ki izkoriščajo stalen pretok vodotoka. Ker se pretok vodotoka skozi leto spreminja, so turbine pri pretočnih elektrarnah prilagojene srednjim letnim pretokom vodotoka. Pri pretoku, večjem od inštaliranega pretoka turbine, se voda preliva čez pregrado. Obratujejo neprekinjeno, v nivojskem režimu, zato je proizvodnja električne energije odvisna od trenutnega pretoka. Hidroelektrarne pretočnega tipa so primernejše za vodotoke s stalnimi pretoki vode oziroma kjer ni mogoča akumulacija vode.

Akumulacijske, za pregradami akumulirajo večjo količino. Akumulacija se polni, kadar je naravni pritok reke večji, kot je odtok skozi turbine. Akumulirana energija vode jim omogoča hitro prilagajanje proizvodnje električne energije glede na trenutne potrebe v elektro energetskega sistem (EES), zato imajo ključno vlogo pri regulaciji EES.

Glede na velikost akumulacije jih delimo na:

- elektrarne z dnevno akumulacijo,
- elektrarne s tedensko akumulacijo,
- elektrarne z letno akumulacijo,
- elektrarne s sezonsko akumulacijo,
- elektrarne s pretočno akumulacijo, kjer je na vodotoku v verigi več HE. (Orel, 1992)

Črpalne, pri nižjih cenah električne energije na trgu črpajo vodo do višje ležečih akumulacij, pri visokih cenah pa vodo iz akumulacije porabljajo za proizvodnjo tako imenovane vršne električne energije. Zaradi neprilagodljivosti proizvodnje električne energije iz OVE so črpalne hidroelektrarne postale pomemben člen v EES v obliki hranilnika energije oziroma baterije. Prav tako kot akumulacijske se jih zaradi hitrega odziva uporablja za regulacijo frekvence in napetosti elektro energetskega sistema.

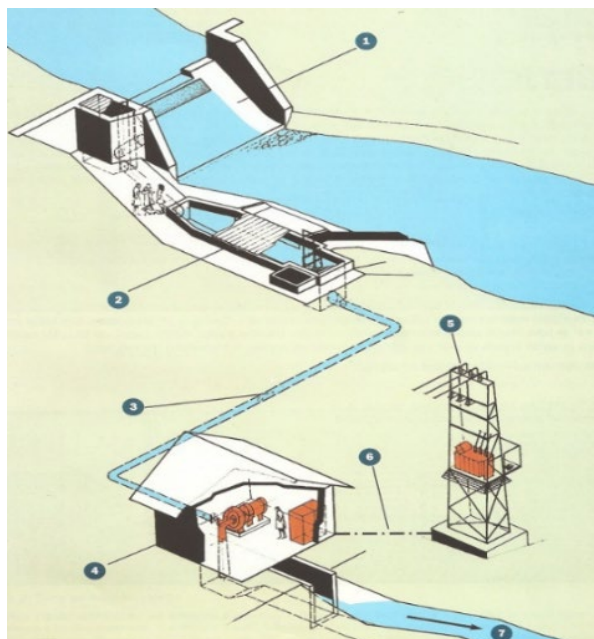
Glede na inštalirano moč generatorjev:

- mikro HE: do vključno 36 kW,
- male HE: nad 36 kW do vključno 1 MW,
- srednje HE: nad 1 MW do vključno 10 MW,
- velike HE: nad 10 MW (Uradni list RS, 2024).

Glede na padce:

- nizekotlačne HE: padec do 20 m,
- srednjetačne HE: padec od 20 m do 200 m,
- visokotlačne HE: padec nad 200 m

Na Sliki 1 je prikazan princip izkoriščanja energije vode za proizvodnjo električne energije v mHE.



*Slika 1: Ključni sestavni deli mHE
(Vir: Orel, 1992)*

- 1 – jez z zajemom vode
- 2 – peskolov s čistilnim strojem
- 3 – dovodni kanal ali cevovod
- 4 – strojnica z opremo
- 5 – priključek na električno omrežje
- 6 – priključni kablovod
- 7 – iztočni kanal

2.3 Mala hidroelektrarna Mrzla Rupa

Mala hidroelektrarna Mrzla Rupa (tajna vojaška oznaka mHE 924) je bila zgrajena leta 1989 v sklopu državnega programa izgradnje 100 malih hidroelektrarn za potrebe splošnega ljudskega odpora. Izkorišča energetskega potencial reke Idrijce na istem delu, kjer so že v preteklosti reko Idrijco izrabljali v energetske namene. Leta 1772 so po načrtih geodeta Jožefa Mraka postavili kamnito pregrado Klavže, za katero je nastalo osemsto metrov dolgo jezero, ki je akumuliralo približno 200.000 m³ vode. Jezero so po potrebi spraznil za plavljenje lesa po strugi vse do 20 km oddaljene Idrije.

Gre za elektrarno derivacijskega tipa, ki jo sestavljajo ločna pregrada z vtokom, tlačni cevovod in strojnica. Ob izgradnji mHE Mrzla Rupa so zajetje v izvedbi betonske ločne pregrade postavili tik pod že obstoječo kamnito pregrado Klavže brez možnosti izrabe uporabne akumulacije vode. Začetna kota preliva 714,90 m je bila kasneje zaradi bojazni, da bo prišlo spodjedanja temeljev Klavž, znižana na koto 713,90 m.

Zajetje je sestavljeno iz dveh delov, preliva in vtoka s podestom. Pregrada je do preliva visoka 4,9 m. Na desnem delu pregrade je preliv z odpeskovalno tablasto jekleno zapornico, ki se jo uporablja tudi za zagotavljanje minimalnega ekološko sprejemljivega pretoka (Qes). Na levem delu pregrade je fina vtočna jeklena rešetka ter podest, na katerem je nameščen čistilni stroj za čiščenje rešetke.

Za vtočnim lijakom je na začetku tlačnega cevovoda nameščen vtočni zasun za potrebe počasnega polnjenja cevovoda ter odzračevalni ventil.

Jekleni tlačni cevovod, dolžine 3548 m in dimenzije DN 450, je v večjem delu trase vkopan v cestišče gozdne ceste. Cevovod je pred korozijo zaščiten z bitumenskim premazom. V strojnici je pred kroglastim zasunom nameščen ventil za praznjenje cevovoda. Leta 2013 se na trasi cevovoda vdrla cestišče. Jeklen cevovod je prosto obvisel na dolžini 18 m. Zaradi varnosti se je elektrarna zaustavilo, izpraznilo cevovod ter izvedlo sanacijo cevovoda.

Strojnica s turbinskim jaškom in iztokom je zgrajena kot samostojni objekt z dvokapno streho in ločenim zamreženim prostorom za mrežni transformator. Agregat v strojnici je ločeno temeljen na masivnem betonskem bloku. Na stropu strojnice je nameščen I profil z nosilnostjo 30 kN za montažo opreme. Agregat je sestavljen iz horizontalne dvošobe Pelton turbine, ki je z elastično sklopko na gredi povezana s sinhronskim generatorjem. Turbina je na cevovod vezana preko vodnega razdelilnika in predturbinsko opremo. To sestavljata predturbinski kroglasti zasun in obvod, ki sta povezana s tlačnim cevovodom.

MHE Mrzla Rupa normalno obratuje paralelno z omrežjem z regulacijo po nivoju vode v samodejnem režimu brez posadke, vgrajena oprema pa omogoča tudi otočno obratovanje hidroelektrarne na izolirani mreži v frekvenčni regulaciji ob stalni prisotnosti upravljavca. Obratovanje se daljinsko nadzoruje v centru vodenja podjetja Seng d.o.o.



*Slika 2: Strojnica mHE Mrzla Rupa
(Lastni vir)*

Osnovni podatki mHE Mrzla Rupa:

- Lokacija: Čekovnik
- Vodotok: Idrijca
- Srednji letni pretok sQ_s : $0,320 \text{ m}^3/\text{s}$
- Instalirani pretok sQ_i : $0,400 \text{ m}^3/\text{s}$
- Ekološko sprejemljiv pretok Q_{es} : $0,040 \text{ m}^3/\text{s}$
- Neto padec H_n : 200 m
- Dolžina cevovoda: 3548 m
- Premer cevovoda: 500 mm
- Turbina: Pelton
- Generator: trofazni sinhroni samovzbudni¹
- Nazivni vrtljaji n_n : 1000 min^{-1}
- Instalirana moč P_i : 648 kW
- Srednja letna proizvodnja: 1600 MWh
- Prikluček na mrežo: 20 kV DV Zadlog - Čekovnik

¹ Samovzbudni generator je vrsta generatorja, ki uporablja del lastno proizvedene električne energije za vzbujanje svojega magnetnega polja.

2.3 Tehnični opis opreme in naprav

Turbina

Dvošobna Pelton turbina s horizontalno gredjo je turbina opremljena z dvema krogličnima ležajema, ki poganja generator prek elastične sklopke. V sklopu elastične sklopke je vztrajnik, ki povečuje vztrajnostno maso agregata in na ta način omogoča stabilno obratovanje agregata v otočnem režimu.

Turbinski okrov varjene izvedbe ima priključke za dve vtočni koleni s šobami, servomotor odrezala curkov in turbinski pokrov. Servomotorja igel sta izvedena za odpiranje s tlačnim oljem in zapiranjem z vzmetjo.

Za zaščito pred prevelikim porastom tlaka v cevovodu ob hitrih razbremenitvah ter kot zaščita pred pobegom turbine sta igli opremljeni z odrezalom curka. Servomotor odrezal je dvostransko krmiljen s tlačnim oljem. Na gredi turbine je pritrjen mehanski varnostni hitrostnik z napravo za merjenje vrtilne hitrosti agregata. Mehanski varnostni hitrostnik ob nenadni razbremenitvi agregata sproži zapiranje igel in takojšnjo preusmeritev vodnih curkov z odrezalom.

Peltonov gonilnik je v enem kosu odlit iz nerjaveče litine.

Odpiranje in zapiranje igel ter odrezala opravlja mehansko hidravlični krmilni del turbinskega regulatorja, ki za medij uporablja olje iz oljetlačne naprave, ki signale upravljanja prejema iz elektronskega dela turbinskega regulatorja.

V Tabeli 1 so zbrani osnovni podatki dvošobne Pelton turbine.

Tip:	TP 2-0, 530/82
Proizvajalec:	Litostroj
Leto izdelave:	1988
Imenski neto padeč:	200 m
Imenski pretok:	400 l/s
Imenska moč turbine:	660 kW
Vrtilna frekvenca:	1000 vrt/min
Število gon. lopatic:	16
Premer šobe:	82 mm
Premer curka (max.):	66 mm
Imenski premer gonilnika:	530 mm

*Tabela 1: Osnovni podatki Pelton turbine
(Vir: Seng d.o.o.)*

Predturbinski zaporni organ

Predturbinski zaporni organ je krmiljen kroglasti zasun premera $\Phi = 400$ mm. Pogon kroglastega zasuna je olje vodnega tipa. Na ohišju je prigraden pogonski servomotor z dvema cilindroma. Zapiralni cilinder je vedno pod vodnim tlakom in drži zasun v zaprti legi. Kroglasti zasun je opremljen z obvodnim vodom, ki omogoča izenačitev vodnih tlakov, pred in za kroglastim zasunom. Izenačitev tlakov je pogoj za odprtje zasuna. Obvodni vod ima iglasti zasun, ki ga krmili tlačno olje prek elektromagnetnega ventila. Zasun se zapira normalno pri zaprtih iglah v primeru sproženja zaščite, ki zahteva hitro zaustavitev pa tudi pri maksimalnem pretoku. Pri normalni zaustavitvi se najprej zapreta igli turbine, nato kroglasti zasun in na koncu obtočni vod. Zaradi nevarnosti povratnega vodnega udara v cevovodu je čas zapiranja upočasnjeno na 120 sekund.

Odpiranje se izvaja s tlačnim oljem iz oljetlačne naprave, ki je skupna za kroglasti zasun in turbinski regulator.



*Slika 3: Predturbinski zaporni organ
(Lastni vir)*

Vztrajnik z elastično sklopko

Da se poveča naravni vztrajnostni moment agregata, je na desni strani turbinske gredi vgrajen vztrajnik. S tem se ob nenadnih razbremenitvah generatorja zmanjšajo ubežni vrtljaji turbine, hkrati pa nam omogoča lažjo frekvenčno regulacijo pri otočnem obratovanju agregata. Skupni vztrajnostni moment znaša cca $1,56 \text{ tm}^2$.

Proti generatorju je vztrajnik povezan z elastično sklopko, ki blaži obratovalne sunke.

Turbinski regulator

Turbinski regulator sestavljajo:

- elektronski regulator MER,
- upravljalna enota z elektrohidravličnim krmilnikom, razvodnimi ventili igel in odrezal, mehanskimi kulisami, elektromagnetnim ventilom za hitro zaporo,
- oljetlačna naprava z oljnim rezervoarjem, nivojskimi stikali, filtri, elektromotorno gnano vijačno črpalko, olje – zračni akumulator z jeklenkami za zrak.

Oljetlačna naprava ima prigraven oljno-zračni batni akumulator z dvema jeklenkama za tlačni zrak s tlakom 40 barov, ki v vsakem primeru omogoča varno zaustavitev turbine, zagotavlja stalen tlak olja ter zmanjša število vklopov oljne črpalke in s tem preprečuje pregrevanje olja.

Regulacijski sistem omogoča obratovanje agregata v dveh režimih upravljanja:

- nivojska regulacija po dotoku pri obratovanju agregata paralelno z mrežo,
- frekvenčno regulacijo pri otočnem obratovanju na izolirani mreži, kjer merimo obrate turbine.

Vrtilna hitrost oz. nastavitev moči se regulira s pomočjo igel. Odrezali sodelujeta v regulaciji le pri nenadnih razbremenitvah generatorja kot zaščita proti pobegu turbine.

Turbinski regulator omogoča:

- zagon agregata,
- sinhronizacijo,
- nastavljanje moči agregata (odprtje igel),
- normalno zaustavitev,
- zaustavitev v sili.



*Slika 4: Hidravlično upravljalni del turbinskega regulatorja
(Lastni vir)*

Generator

Trifazni sinhronski generator brez ščetk z vzbujanjem v brezkontaktni tehniki z rotirajočimi diodami in regulatorjem napetosti. Zaradi zastarele tehnologije in nezmožnosti prilagajanja sistemskim obratovalnim navodilom za distribucijska električna omrežja, ki jih izdaja Javna agencija za energijo republike Slovenije, je bil leta 2017 regulator napetosti zamenjan z digitalnim vzbujačnim sistemom NES -230-20-400-5 proizvajalca EIMV – Elektroinštitut Milan Vidmar.

Navitja generatorja so izdelana iz elektrolitskega bakra in izolirana s termostabilnimi materiali kvalificirani v razred F. Rotor je uležajen z dvema krogličnima ležajema. Hlajenje generatorja je prisilno zračno s pomočjo ventilatorskih krilc na rotorju.

Imenska moč:	810 kVA
Imenska napetost:	3 x 230/400 V
Frekvenca:	50 Hz
Imenski $\cos \varphi$:	0,8
Imenski vrtljaji n_n :	1000 min^{-1}
Ubežni vrtljaji n_p :	1800 min^{-1}
Masa:	3050 kg
Izkoristek: ($\cos \varphi = 0,8$)	92,7 %

*Tabela 2: Osnovni podatki trifaznega asinhronskega generatorja
(Vir: Seng d.o.o.)*

Nizko napetostno upravljalna omara sestavljena iz treh delov

Generatorsko polje vsebuje:

- priključne sponke za generator,
- tokovni tr. T8-T10; 1500/5 A z inštrumenti za meritev toka in delovne moči,
- meritev frekvence generatorja in mreže,
- sinhronizacijske svetilke (temni stik),
- generatorsko stikalo s podnapetostno tuljavo,
- varovalke izmenične lastne rabe,
- varovalke enosmerne lastne rabe,
- števec vklopov generatorskega stikala,
- števec obratovalnih ur generatorja,
- naprave za samodejno sinhronizacijo,
- digitalni merilnik delovne, jalove energije, napetosti in tokov generatorja,
- stikalo za vklop zasilne razsvetljave.

Odvodno polje vsebuje:

- priključne bakrene zbiranke za povezavo NN-strani mrežnega transformatorja
- močnostno ločilno stikalo Q (1600 A),
- odvodnike prenapetosti Z1-3 500 V, 2,5 kA,
- kontaktor za vklop generatorskega zvezdišča,
- števec za meritve energije na sponkah generatorja in oddajo v omrežje.

Upravljalno polje zajema:

- skupne naprave za zagon in zaustavitev agregata s pomožnimi releji in signalizacijo,
- prikaz nivoja, vrtljajev in odprtja igel,
- tipke in preklopke za zagon in zaustavitev agregata ter izbiro obratovanja,
- elektronski del turbinskega regulatorja MER,
- elektronski zaščitni rele generatorja, ki zajema: pretokovno in kratkostično zaščito generatorja, zaščito proti povratni moči generatorja, prenapetostno in podnapetostno zaščito,
- elektronski zaščitni rele mreže, ki zajema zemljostično, frekvenčno zaščito in kontrolo napetosti.

Mrežni transformator

Za transformacijo z generatorske napetosti je uporabljen trifazni prevezljiv² oljni transformator, ki ima možnost ročne regulacije napetosti. Transformator je na visokonapetostni strani varovan z visokonapetostnimi varovalkami 20 kV 125 A. Opremljen je z Bucholz relejem in temperaturnim relejem, ki ob napaki sprožita izklop generatorskega stikala ter odklopnega ločilnika. Transformator ima konzervator olja s kazalom nivoja olja in silikagelom za absorbiranje vlage. Nameščen je izven objekta v ograjenem prostoru.

Tip:	2TBN 1000-24X R. Končar
Imenska moč:	1000 kVA
VN stran:	20 kV \pm 2 x 2,5 %
NN stran:	0,4 kV
Uk:	6 %
Vezava:	Dyn 5
Hlajenje:	ONAN

*Tabela 3: Podatki mrežnega transformatorja
(Vir: Seng d.o.o.)*

² Prevezljiv transformator ima možnost prilagajanja izhodne napetosti s spreminjanjem razmerja med navitjema na primarni in sekundarni strani.

Priključek na omrežje

Elektrarna je priključena na SN distribucijsko omrežje, in sicer 20 kV DV Čekovnik – Črni vrh. Priključek na omrežje je v kabelski izvedbi XHP 48-A 3 x (1 x 70 mm²) v dolžini 300 metrov med SN odvodno celico v strojnici in odcepnim drogom distribucijskega omrežja.

SN odvodna celica z vgrajeno opremo:

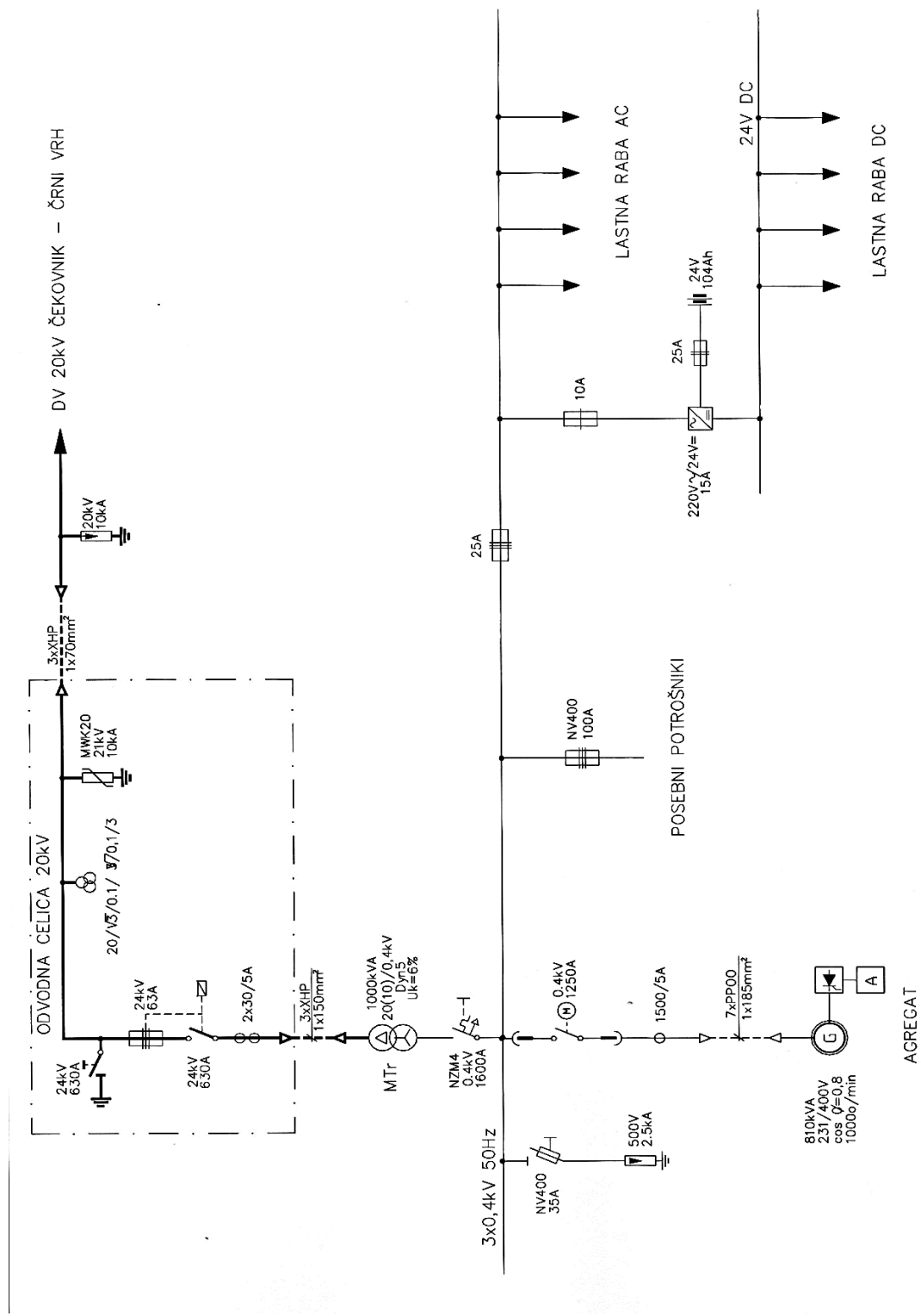
- močnostnim odklopnikom 24 kV, 630 A,
- ozemljitveni noži,
- nosilec varovalk z udarno iglo,
- tokovni merilni transformatorji 2 x 25/5 A,
- napetostni merilni transformatorji $\frac{10}{\sqrt{3}} / \frac{10}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$ kV,
- indikator napetosti.

Čistilni stroj

Na vtoku v tlačni cevovod je vgrajen čistilni stroj, namenjen čiščenju listja in manjšega plavja na finih rešetkah. Sestavljen je iz grabelj, jeklenih vodil, pogona in krmilne omare. Grablje so prek reduktorja gnane s trifaznim motorjem. Krmiljen je avtomatsko s pomočjo merilnika tlaka vode za vtočnimi rešetkami. Zamašenost rešetk povzroči padec tlaka vode za rešetkami, kar sproži zagon čistilnega stroja. Zaradi neustrezne konstrukcije čistilnega stroja prihaja ob visokih vodah do mašenja vtočnih rešetk, kar povzroči praznjenje cevovoda ter zaustavitev hidroelektrarne.



*Slika 5: Čistilni stroj na vtoku
(Lastni vir)*



Slika 6: Enočrtna shema mHe Mrzla Rupa
(Vir: Seng d.o.o.)

3 MERITVE ENERGETSKIH IZKORISTKOV

Strojna in elektro oprema v mHE Mrzla Rupa sta že skoraj prekoračili predvideno obratovalno dobo. Iztrošenost je tudi eden izmed poglobitnejših razlogov za porast števila okvar, ki povzročajo zaustavitve mHE in s tem izpad proizvodnje električne energije. Za večino opreme rezervni deli niso več dobavljivi, kar vzdrževanje in servisiranje še dodatno oteži.

Okvare opreme in težave z mašenjem vtoka ob visokih vodah povzročajo zmanjšanje letne proizvodnje električne energije. Vse to je privedlo do odločitve o rekonstrukciji mHE Mrzla Rupa. Za določitev obsegu in smotrnosti rekonstrukcije potrebujemo podatke o izkoristkih trenutno vgrajene strojne in elektro opreme.

Ker za mHE Mrzla Rupa ne poznamo izkoristka agregata, smo se odločili, da z meritvami na terenu in kasnejšo analizo pridobljenih rezultatov izračunamo manjkajoče izkoristke. Že pred izvedbo meritev smo predvidevali, da trenutno vgrajena oprema ne dosega izkoristkov modernejših agregatov.

Na podlagi pridobljenih podatkov o izkoristkih obstoječe opreme in s primerjavo izkoristkov primerljive opreme na trgu bo investitor lažje določil obseg rekonstrukcije in izbral optimalno opremo.

3.1 Potrebne veličine za izračun karakteristik

Meritve energetskih izkoristkov smo izvedli z namenom pridobitve ocene, kako učinkovito se v mHE Mrzla Rupa z obstoječo opremo potencialno energijo vode pretvarja v mehansko, ta pa nato v električno energijo. Med vsemi pretvorbami energij prihaja do izgub. Ker je količina potencialna energija odvisna od višine, mase ter gravitacijskega pospeška in smo želeli, da bodo rezultati čim bolj natančni, smo gostoto vode in težnostni pospešek preračunali na lokacijo mHE, kjer smo izvajali meritve.

Gravitacijski pospešek

Gravitacijski pospešek je odvisen tudi od geografske širine in nadmorske višine stojišča. (Klemen, 2008) Na širino vpliva oblika zemlje (ker ni popolnoma sferična, ampak rahlo sploščena na polih), medtem ko na višino vpliva oddaljenost od središča zemlje. Za natančnejši izračun gravitacijskega pospeška smo uporabili enačbo (1), ki vključuje oba vpliva. (Turboinštitut, 2014)

$$g = 9,7803(1 + 0.0053 \cdot \sin^2\rho) - 3 \frac{V}{10^6} [\text{m/s}^2] \quad (1)$$

Kjer je:

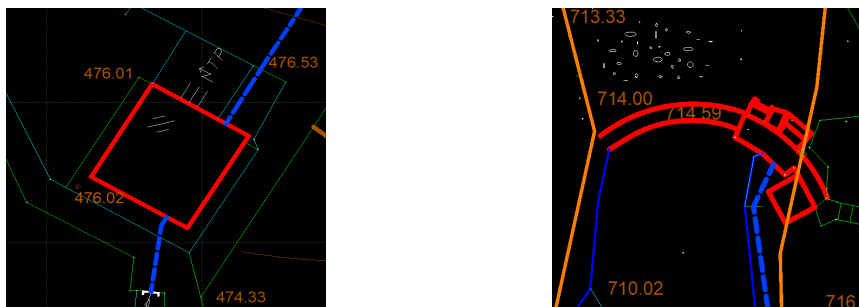
g – gravitacijski pospešek

ρ – zemljepisna širina

V – nadmorska višina

Za natančni izračun gravitacijskega pospeška potrebne podatke zemljepisne širine in nadmorske višine strojnice mHE Mrzla Rupa smo uporabili izmere podjetja Geo-biro d.o.o., ki je za naročnika SENG d.o.o. opravilo geodetske meritve.

Strojnica mHE Mrzla Rupa leži na zemljepisni širini: ($\rho = 45,985343$) in nadmorski višini: ($V = 476,02$ m.n.v.). (Geo-biro d.o.o., 2023)



Slika 7: Geodetska posnetka strojnice in strojnice
(Vir: Seng d.o.o.)

$$g = 9,7803 (1 + 0,0053 \cdot \sin^2 45,985343) - 3 \frac{476,02}{10^6} \quad (1)$$

$$g = 9,805 \text{ m/s}^2$$

Gostota vode:

Pri izračunu smo upoštevali vpliv temperature in tlaka na gostoto vode.

Uporabili smo enačbo (2). (Turboinštitut, 2014)

$$\rho_v = 999,972 \left[1 - \frac{(T-4,6846)^2}{510113,5} \cdot \frac{T + 289,7791}{T + 58,11615} \right] \cdot \frac{1}{1 - k_v \cdot p} \text{ [kg/m}^3] \quad (2)$$

Kjer je:

ρ – gostota vode

k_v – konstanta stisljivosti vode, ki znaša $47,1 \cdot 10^{-6} \text{ bar}^{-1}$

p – tlak vode nad atmosferskim tlakom

T – temperatura vode

Temperaturo vode smo izmerili na iztoku iz turbine in je znašala 9° C .

Vrednosti tlaka vode pred vstopom v turbino je znašal 19 barov.

$$\rho_v = 999,972 \left[1 - \frac{(9-4,6846)^2}{510113,5} * \frac{9 + 289,7791}{9 + 58,11615} \right] * \frac{1}{1-47,1 \cdot 10^{-6} \cdot 19} \quad (2)$$

$$\rho_v = 1000,705 \text{ [kg/m}^3]$$

Izračunani vrednosti gostote vode in težnostnega pospeška smo uporabljali pri vseh nadaljnjih izračunih.

3.2 Načini merjenja in merilna mesta

Meritve smo izvajali na naslednjih mestih:

- meritev pretoka,
- meritev tlaka v cevovodu,
- meritev zgornje vode,
- meritev moči agregata,
- meritev števila vrtljajev,
- odprtje obeh igel,
- odprtje odrezala.

Vse meritve smo opravili pri različnih močeh agregata, vrednosti pa hkrati odčitavali šele, ko je v sistemu prišlo do umiritve merjenih veličin. Začeli smo pri maksimalni moči, nato pa moč postopoma zmanjševali.

Za kasnejše izračune energijskih višin smo s cevno vodno tehtnico koto strojnice prenesli na turbino in do manometra, s katerim smo merili tlak v cevovodu. Cevna vodna tehtnica je preprosta merilna priprava za hidrostatično merjenje višine na isti vodoravni ravnini. Sestavljena je iz dolge gibljive cevi, napolnjene z vodo, in merilnimi nastavki na začetku in koncu cevi. (Tovarna meril kovine d.d, 2024)

Kota strojnice: 476,02 m. n. v. – pridobljena z geodetskimi meritvami.

Kota manometra: 477,1 m. n. v. – prenesena kota strojnice.

Kota nivoja vode na zajetju: 714,38 m. n. v. – geodetska kota preliva z upoštevano meritvijo nivoja na vtoku.

Višinska razlika med nivojem vode na vtoku in manometrom na cevovodu v strojnici: 237,28 m.

Z enačbo (3) smo preverili točnost prenesenih višin kote strojnice do manometra.

$$h = \frac{p}{\rho_v \cdot g} [\text{m}] \quad (3)$$

Kjer je

h – višinska razlika med koto nivoja vode na zajetju in koto strojnice (m)

p – tlak vode (pa)

ρ_v – gostota vode (kg/m^3)

g – gravitacijski pospešek (m/s^2)

$$h = \frac{23,273 \cdot 10^5}{1000,705 \cdot 9,805} (3)$$

$$h = 237,20 \text{ m}$$

Razlika med izmerjeno višino in izračunano znaša: 0,08 m oziroma 0,03 %.

Merilna oprema

Vse meritve razen meritve pretoka smo shranjevali s pomočjo merilne opreme National Instruments. Uporabili smo napetostni NI-9205 in tokovni NI-9203 modul. Modula izhodne analogne signale merilnikov veličin pretvorita v digitalni signal s pomočjo 16-bitnega analogno digitalnega pretvornika. Frekvenca vzorčenja je 1Hz. S programsko opremo LabVIEW smo za vsak priključen merilnik nastavili parametre vhodov modulov NI-9205 in NI-9203. Pri nastavitvah vhodov smo upoštevali območja izhodnih signalov ter merilnih območij uporabljenih merilnikov.

Napetostni modul NI-9205:

NI-9205 je zmogljiv in prilagodljiv napetostni modul, ki ponuja veliko hitrost vzorčenja, 32 vhodnih kanalov ter širok razpon vhodnih napetosti. Zasnovan je za zajem podatkov v industrijski avtomatizaciji, nadzoru procesov, merjenju in testiranju, saj omogoča zajem hitrih prehodnih pojavov in zagotavlja natančne meritve v realnem času. (National Instruments, 2024)

Uporabili smo ga za zajem podatkov pri meritvah odprtja igel, odrezala in števila vrtljajev agregata.

Število vhodnih kanalov:	32 analognih vhodov
Območje vhodne napetosti:	± 200 mV, ± 1 V in ± 10 V
Resolucija:	16-bitna ločljivost
Hitrost vzorčenja:	do 250 kS/s

*Tabela 4: Osnovni podatki napetostnega modula NI-9205
(Vir: National Instruments)*

Tokovni modul NI-9203:

NI-9203 je tokovni modul, ki omogoča visoko hitrost vzorčenja, veliko število vhodnih kanalov ter širok razpon vhodnih tokov. Uporablja se ga za zajem podatkov v različnih aplikacijah, kot so industrijsko avtomatizacijo, nadzor procesov, merjenje in testiranje. (National Instruments, 2024)

Pri meritvah smo izhod merilnika tlaka prek D-Sub konektorja priključili na vhod tokovnega modula NI-9203 in zajemali tokovni signali merilnika tlaka pri meritvah tlaka vode v cevovodu.

Število vhodnih kanalov:	16 analognih vhodov
Območje vhodnega toka:	± 20 mA
Resolucija:	16-bitna ločljivost
Hitrost vzorčenja:	500 kS/s

*Tabela 5: Osnovni podatki tokovnega modula NI-9203
(Vir: National Instruments)*

3.3 Meritev moči agregata

Delovno moč agregata smo odčitavali na programabilnem merilnem instrumentu Cirkutor CVM-144. (Circutor, 2024)

Obratovali smo pri nastavljenem $\cos \varphi = 0,99$.

Proizvajalec:	Circutor
Tip:	CVM-144
Napajanje:	230 V AC
Merilna območja	
Napetost:	520 V
Tok:	In/5 A
Točnost	
Napetost:	0,5 % ± 1 digit
Tok:	0,5 % ± 1 digit
Moč:	1 % ± 1 digit

*Tabela 6: Osnovni podatki merilnika moči
(Vir: Circutor)*

Št. meritev	Čas merjenja	Moč agregata P (kW)
1.	13:29	580
2.	13:32	555
3.	13:36	525
4.	13:40	495
5.	13:43	470
6.	13:45	436
7.	13:49	398
8.	13:51	374
9.	13:52	333
10.	13:54	296
11.	13:56	261
12.	13:57	222
13.	13:59	181
14.	14:01	114
15.	14:04	60
16.	14:06	27

*Tabela 7: Zbrani podatki meritve moči agregata
(Lastni vir)*

3.4 Meritev pretoka

Za meritve pretoka smo uporabili prenosni merilnik pretoka tekočin Proline Prosonic Flow 93T, proizvajalca Endress + Houser. Deluje po principu uporabe ultrazvočnih valov za merjenje hitrosti pretoka tekočine skozi cev. Merilnik je sestavljen iz dveh ultrazvočnih senzorjev, ki ju namestimo na zunanjo stran cevi in oddajnika. Oba senzorja oddajata in sprejemata ultrazvočni signal, oddajnik pa krmili senzorje, obdeluje in shranjuje merjene signale. Merilnik pretoka beleži čas, ki ga ultrazvočni valovi potrebujejo, da skozi tekočino prepotujejo razdaljo med senzorjema. Čas se meri v obeh smereh potovanja signala. Senzorji so primerni za brezkontaktno merjenje čistih ali rahlo onesnaženih tekočin, ne glede na tlak ali električno prevodnost, kjer je potrebna natančna meritev. Deluje neodvisno od električnega omrežja s pomočjo baterije. (Endress+Hauser AG, 2024)

Proizvajalec:	Endress+Houser
Tip merilnika:	ProlineProsonic Flow 93 T
Uporabljen tip senzorjev:	P – CL - F – L – B
Merilna negotovost meritev:	$\pm 2 \%$

*Tabela 8: Osnovni podatki merilnika pretoka
(Vir: Endres + Houser)*

Merilnik ProlineProsonic Flow 93 T izračuna pretok na podlagi razlike v času (Δt), ki ga ultrazvočni valovi potrebujejo, da skozi tekočino prepotujejo razdaljo med senzorjema.

Razlika v času prehoda (Δt) med obema smerema je proporcionalna hitrosti pretoka tekočine.

- Če tekočina miruje, je čas prehoda enak v obeh smereh.
- Če tekočina teče, bo čas prehoda hitrejši v smeri toka in počasnejši v nasprotni smeri.

Namestitev senzorjev merilnika je odvisna od premera cevovoda, debeline sten cevovoda ter debeline nanosa barve. (Endress+Hauser AG, 2024)

Premer cevovoda:	457 mm – DN 500
Debelina sten cevovoda:	6 mm
Dolžina:	3548 m

*Tabela 9: Osnovni podatki cevovoda mHE Mrzla Rupa
(Vir: Seng d.o.o.)*

V programski vmesnik merilnika smo vnesli parametre cevovoda v mME Mrzla Rupa, na podlagi katerih je vmesnik določil razdaljo med senzorjema. (glej Priloga 1)

Ker je cevovod po celotni trasi vkopan, je bilo edino ustrezno mesto za postavitve merilnika pretoka na območju vdora cestišča. Da smo zagotovili beleženje vseh meritev pri istih močeh agregata, smo uporabili radijsko komunikacijo med izvajalci meritev.

V Tabeli 10 so zbrani podatki meritev pretoka pri različnih močeh agregata.

Št. meritev	Čas merjenja	Moč agregata P (kW)	Pretok Q(l/s)	Hitrost vode v (m/s)
1.	13:29	580	447	2,88
2.	13:32	555	382	2,46
3.	13:36	525	341	2,20
4.	13:40	495	313	2,02
5.	13:43	470	294	1,90
6.	13:45	436	270	1,74
7.	13:49	398	243	1,57
8.	13:51	374	225	1,45
9.	13:52	333	197	1,27
10.	13:54	296	175	1,13
11.	13:56	261	154	0,99
12.	13:57	222	130	0,84
13.	13:59	181	107	0,69
14.	14:01	114	70	0,45
15.	14:04	60	43	0,28
16.	14:06	27	26	0,17

Tabela 10: Zbrani podatki pretokov pri različnih močeh agregata (Lastni vir)



Slika 8: Postavitev merilnika pretoka na cevovod (Lastni vir)

3.5 Meritev tlaka na cevovodu

Za meritve tlaka smo uporabili merilnik PPI 110 proizvajalca Eltratec, ki pretvarja tlak medijev v tok 4...20 mA. Ohišje in membrana merilnika sta iz nerjavečega jekla, elektronika v ohišju pa je zalita s posebno smolo, kar povečuje robustnost in zanesljivost merilnika. Napajanje merilnika je daljinsko po tokovni zanki.

Merilnik se odlikuje z malo merilno napako (< 0,2 %), zato se uporablja za natančne meritve. (Eltratec d.o.o, 2024)

Merilnik tlaka na cevovodu smo postavili na koti 477,1 m. n. v. na mestu obstoječega mehanskega manometra ob tlačnem stikalu za proženje zaščite cevovoda – prenizek tlak v cevovodu. Podatki meritev tlaka vode v cevovodu so zbrani v Tabeli 12.

Proizvajalec:	Eltratec
Tip merilnika:	PPI 110
Merilno območje:	0–25 bar
Izhod:	4–20 mA
Napajanje:	10–30 V DC
Merilna napaka:	< 0,2 %

*Tabela 11: Osnovni podatki merilnika tlaka
(Vir: Eltratec d.o.o.)*

Št. meritev	Čas merjenja	Moč agregata P (kW)	Tlak cevovoda p (bar)
1.	13:29	580	18,23
2.	13:32	555	19,61
3.	13:36	525	20,56
4.	13:40	495	20,68
5.	13:43	470	21,00
6.	13:45	436	21,36
7.	13:49	398	21,55
8.	13:51	374	21,89
9.	13:52	333	22,16
10.	13:54	296	22,44
11.	13:56	261	22,63
12.	13:57	222	22,80
13.	13:59	181	22,93
14.	14:01	114	23,11
15.	14:04	60	23,20
16.	14:06	27	23,29

*Tabela 12: Zbrani podatki tlaka vode v cevovodu
(Lastni vir)*

3.6 Meritev števila vrtljajev

Število vrtljajev smo merili na gredi agregata z difuznim optoelektronskim senzorjem BKT 18KF-001-P-S4, proizvajalca Balluff. Senzor oddaja svetlobni žarek, s prigradenim detektorjem svetlobe pa meri količino odbite svetlobe. (Balluff Inc, 2024)

Obrate agregata smo merili na gredi med turbino in generatorjem, tako da smo s pomočjo magnetnih držal senzor čim bolj približali gredi. Razdalja senzora od grede je omejena na $10 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$. Na gred smo prilepili temnejšo oznako, zaradi katere je senzor ob vsakem prehodu črne oznake zaznal spremembo količine svetlobe ter oddal impulz.

Proizvajalec	Balluff
Tip senzora	BKT 18KF-001-P-S4
Deluje na razdalji	$10 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$
Napajanje	12–30 V DC
Izhod	0–10 V
Čas odziva:	$100 \mu\text{S}$

*Tabela 13: Osnovni podatki merilnika obratov
(Vir: Balluff)*

Meritve smo začeli ob zaustavljenem agregatu. Po aktiviranju sekvence zagona je turbinski regulator odprl iglo 1 do začetnega odprtja. Ko je turbina dosegla 95 % nazivnih obratov, je regulacijo prevzel sinhronizator ter agregat sinhroniziral z omrežjem. Agregat se v sinhronizaciji z omrežjem ves čas vrti z istimi obrati. Ker smo imeli podatke o številu polov generatorja, smo lahko število obratov tudi izračunali ter tako preverili dobljene rezultate s pomočjo enačbe (4). (Šolc, 1983)

$$f = \frac{p \cdot n}{120} (\text{min}^{-1}) \quad (4)$$

Kjer je:

f – frekvenca omrežja (Hz)

p – število polov

n – število obratov (min^{-1})

120 – konstanta

$$n = \frac{f \cdot 120}{p} = \frac{50 \cdot 120}{6} = 1000 \text{ min}^{-1} \quad (4)$$

3.7 Meritev zgornje vode

Mala hidroelektrarna Mrzla Rupa v normalnih obratovalnih pogojih obratuje v nivojskem režimu. Na zajetju je montiran hidrostatični merilnik nivoja, ki prek radijske zveze zajetje – strojnica turbinskemu regulatorju vsakih 15 minut pošilja podatke nivoja. Regulator prilagaja odprtje igel tako, da vzdržuje stalni nivo.

S tračnim metrom smo natančno izmerili razdaljo med prelivom ločne pregrade in delovnim nivojem. Nivo vode je 20 cm pod prelivom.

Nivojska sonda je bila nameščena 0,49 m pod nivojem vode. Meritev na webSCADI je kazala potopitev 0,47 m. (merilna membrana je v notranjosti ohišja sonde).

Na podlagi geodetskih meritev poznamo koto preliva 714,58 m. n. v., zato smo dokaj preprosto dobili višino merilne sonde: 713,91 m. n. v. Z znano koto merilne sonde in podatki nivojev vode odčitanih na webSCADI smo lahko izračunali koto nivoja vode pri izvajanju meritev.

Št. meritev	Čas merjenja	Moč agregata P (kW)	Meritev zg. vode sonda (m)	Kota zg. vode H0 (n.m.v.)
1.	13:29	580	0,76	714,67
2.	13:32	555	0,68	714,59
3.	13:36	525	0,68	714,59
4.	13:40	495	0,67	714,58
5.	13:43	470	0,68	714,59
6.	13:45	436	0,57	714,48
7.	13:49	398	0,70	714,61
8.	13:51	374	0,70	714,61
9.	13:52	333	0,70	714,61
10.	13:54	296	0,70	714,61
11.	13:56	261	0,71	714,62
12.	13:57	222	0,72	714,63
13.	13:59	181	0,73	714,64
14.	14:01	114	0,74	714,65
15.	14:04	60	0,74	714,65
16.	14:06	27	0,74	714,65

*Tabela 14: Zbrani podatki kote zgornje vode
(Lastni vir)*

3.8 Meritev spodnje vode

Meritve spodnje vode se je izvedla le pri minimalni moči, saj so pri večjih močeh v iztočnem kanalu nastale prevelike turbulence.

Kota spodnje vode: 474,02 m. n. v.

3.9 Meritev odprtja igel in odrezala

Za meritve odprtja igel in odrezala smo uporabili dajalnike na potezno žico. Dajalnik uporablja žični mehanizem za pretvorbo linearnega gibanja v električni signal.

V mirnem stanju agregata smo žične dajalnike namestili na kulise turbinskega regulatorja ter nato ročno odprli in zaprli igli ter odrezalo. S tem smo določili minimalno in maksimalno vrednost pomika. Na podlagi meritve se je pretvorilo izmere v odstotke. Odprtje v odstotkih prikazuje odpiranje igel glede na največje mehansko odprtje.

(glej Priloga 2)

Odrezalo ima samo dve skrajni legi, zato meritve niso prikazane.

Proizvajalec:	Kübler
Oznaka merilnika:	D8.3A1.0125.A221.003
Maximalni pomik:	1,25 m
Izhod:	0–10 V
Napajanje:	12–30 V DC
Občutljivost:	8,002 mV/mm
Linearnost:	0,1 %

*Tabela 15 Osnovni podatki žičnega dajalnika
(Vir: KÜbler)*

Št. meritev	Čas merjenja	Moč agregata P (kW)	Odprtje igla 1 (%)	Odprtje igla 2 (%)
1.	13:29	580	72	73
2.	13:32	555	63	46
3.	13:36	525	61	35
4.	13:40	495	58	27
5.	13:43	470	56	22
6.	13:45	436	54	17
7.	13:49	398	50	12
8.	13:51	374	48	9
9.	13:52	333	46	4
10.	13:54	296	40	1
11.	13:56	261	34	0
12.	13:57	222	28	0
13.	13:59	181	23	0
14.	14:01	114	15	0
15.	14:04	60	8	0
16.	14:06	27	5	0

*Tabela 16: Zbrani podatki meritev odprtja igel 1 in 2
(Lastni vir)*

4 IZRAČUNI IZKORISTKOV AGREGATA

Turbino v hidroelektrarni poganja energija vode, ta pa je odvisna od pretoka in razpoložljivega vodnega padca. Voda ima na vtoku potencialno energijo, ki se v tlačnem cevovodu spremeni v tlačno energijo. Pri Pelton turbinah voda ob izstopu skozi šobo zaradi manjšega preseka pospeši in ob stiku z lopaticami gonilnika preda kinetično energijo na gonilnik, ki poganjanja gred agregata. Hitrost vode ob iztoku iz šobe je odvisna od tlaka vode, zato pri Pelton turbinah večje nihanje nivoja zgornje vode na vtoku ni zaželeno. Voda se ob stiku z lopatico skoraj popolnoma zaustavi, zato je izkoristek energijske pretvorbe velik. Obodna hitrost gonilnika pa je približno enaka polovici hitrosti curka. (Dular-Hočevar, 2015)

Specifična hidravlična energija je spremenljivka, ki pove, koliko specifične energije ima voda na voljo, da jo preda vodni turbini. (IEC , 1999)

4.1 Izračun energijskih višin

Pri določanju specifične hidravlične energije je pomembno, da natančno določimo, na kateri višini se merijo tlačni odjemi glede na izbrano referenčno točko.

(Dular-Hočevar, 2015)

Pri izračunih energijskih višin smo izhajali iz osnovne enačbe, ki temelji na Bernoullijevi enačbi (5). (IEC , 1999)

$$E = \bar{g} \cdot H = \frac{p_{abs1} - p_{abs2}}{\bar{\rho}} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} + \bar{g} \cdot (z'_1 - z_2) \quad (5)$$

Kjer je:

H – energijska višina

p_{abs1} – absolutni tlak na merilnem mestu 1, visokotlačni del

p_{abs2} – absolutni tlak na merilnem mestu 2, nizkotlačni del

c_1 – hitrost vode na merilnem mestu 1

c_2 – hitrost vode na merilnem mestu 2

\bar{g} – povprečni gravitacijski pospešek

$(z'_1 - z_2)$ – razlika geodetskih višin med merilnima mestoma

$\bar{\rho}$ – povprečna gostota vode

Za določitev specifične hidravlične energije je treba oceniti specifično energijo vode na visokotlačnem in nizekotlačnem referenčnem delu.

Pri enakotlačnih Pelton turbinah tlak v notranjosti ohišja ostaja enak atmosferskemu.

Zato velja

$$p_{\text{abs}2} = p_{\text{amb}}$$

Ker velja za turbine s srednjim in velikim padcem, da ima višinska razlika pri namestitvi merilnikov tlaka majhen vpliv na specifično hidravlično energijo, smo pri izračunih upoštevali, da je $Z_1 = Z_2$

Hitrost vode ob stiku z lopatico je enaka nič, zato tudi velja, da je $c_2 = 0$.

Enačbo (5) smo preuredili in izračunali energijske višine v merilnih točkah 0, 1 in 2.

$$H = \frac{p_1}{\rho \cdot g} + (Z_1 - Z_2) + \frac{c_1^2}{2g} \quad [\text{mVS}]$$

Kjer je:

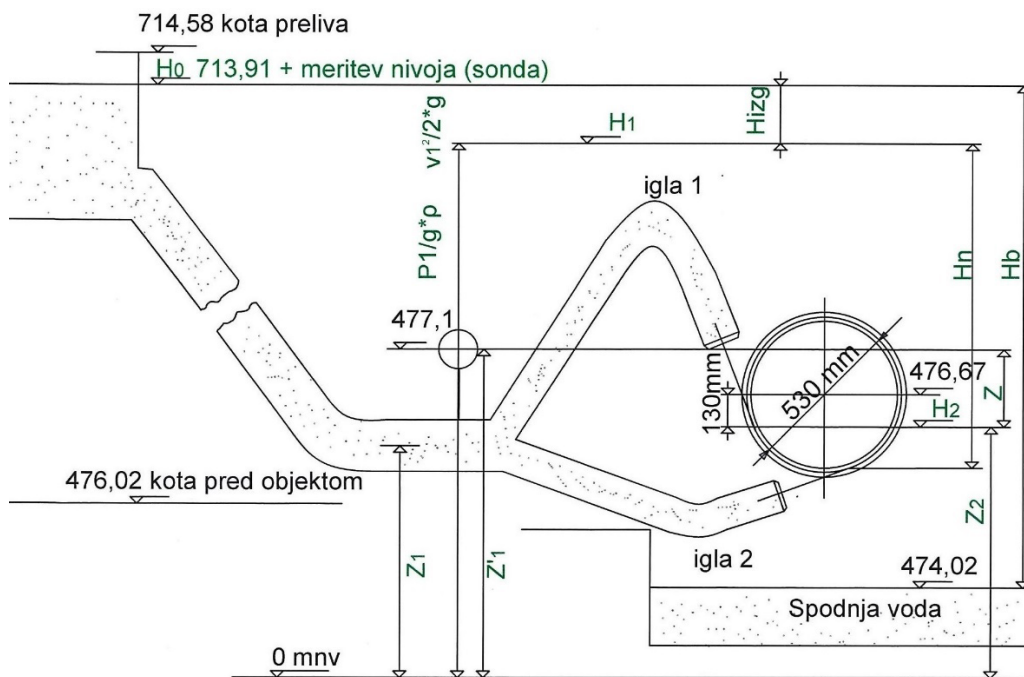
H – energijska višina (mVS)

Z_1 – geodetska višina manometra na cevovodu (m)

Z_2 – geodetska višina sredinske točke dotikov lopatic obeh curkov (m)

C_2 – hitrost vode v cevovodu (m/s)

Energijske višine mHE Mrzla Rupa so grafično prikazane na sliki 9.



Slika 9: Energijske višine mHE Mrzla Rupa
(Lastni vir)

H₀ - Merilna točka na geodetski koti nivoja vode na zajetju:

Ker sta tlak vode in hitrost vode na zajetju enaka 0 velja:

$$H_0 = \frac{p_1}{\rho \cdot g} + Z + \frac{c_1^2}{2g} = 0 + (\text{meritev nivoja} + \text{kota sonde}) + 0 \text{ (mVS)}$$

H₁ - Merilna točka na geodetski koti cevovoda pred vstopom v turbino:

$$H_1 = \frac{p_1}{\rho \cdot g} + Z + \frac{c_1^2}{2g} \text{ (mVS)}$$

H₂ - Merilna točka na geodetski koti sredine dotikov obeh lopatic:

Ker je v turbini ob izstopu curka tlak enak tlaku ambienta in hitrost vode ob dotiku lopatic enaka 0 velja:

$$H_2 = \frac{p_1}{\rho \cdot g} + Z + \frac{c_1^2}{2g} = 0 + (476,67 - 0,130) + 0 = 476,54 \text{ (mVS)}$$

V Tabeli 17 so prikazani rezultati izračunov energijskih višin pri različnih močeh agregata.

Št. meritev	Čas merjenja	Moč agregata P (kW)	Hitrost vode (m/s)	H0 (mnv)	H1 (mVs)	H2 (mVS)
1.	13:29	580	2,88	714,67	663,41	476,54
2.	13:32	555	2,46	714,59	677,37	476,54
3.	13:36	525	2,20	714,59	687,00	476,54
4.	13:40	495	2,02	714,67	688,18	476,54
5.	13:43	470	1,90	714,59	691,42	476,54
6.	13:45	436	1,74	714,48	695,06	476,54
7.	13:49	398	1,57	714,61	696,97	476,54
8.	13:51	374	1,45	714,61	700,42	476,54
9.	13:52	333	1,27	714,61	703,15	476,54
10.	13:54	296	1,13	714,61	705,98	476,54
11.	13:56	261	0,99	714,62	707,91	476,54
12.	13:57	222	0,84	714,63	709,63	476,54
13.	13:59	181	0,69	714,64	710,94	476,54
14.	14:01	114	0,45	714,65	712,76	476,54
15.	14:04	60	0,28	714,65	713,67	476,54
16.	14:06	27	0,17	714,65	714,59	476,54

*Tabela 17: Izračunane energetske višine
(Lastni vir)*

4.2 Izračun bruto in neto padca

Bruto padec je višinska razlika med višino gladine vode na zajetju in višino gladine vode na iztoku. Bruto padca energetske ne moremo v celoti izkoristiti, saj ne upošteva izgub začetne potencialne energije vode pri prenosu do turbine. Bruto padec je pomemben za določitev potencialnega energetskega izkoristka lokacije in začetno oceno projekta. Merimo ga v metrih, označimo pa ga s H_b .

Neto padec je dejanska višina padca vode, ki je na voljo za proizvodnjo energije po upoštevanju vseh izgub v sistemu. Definiran je kot razlika energijskih višin na vtoku v turbino in iztoku iz turbine. (7). (IEC 60041, 1991)

Pri Pelton turbinah je višina od gonilnika do spodnje vode neizkoriščena, zato se ta višina odšteje.

$$H_n = H_1 - \left[H_2 - \left(\frac{0,530}{2} - 0,130 \right) \right] \text{ [m]} \quad (7)$$

Kjer je

H_n – neto višina

H_1 – energijska višina na geodetski koti cevovoda pred vstopom v turbino

H_2 – energijska višina na geodetski koti sredine dotikov obeh lopatic

$\left(\frac{0,530}{2} - 0,130 \right)$ – višina od gonilnika do spodnje vode

Št. meritev	Čas merjenja	Moč agregata P (kW)	Kota zg. vode H0 (m _{nv})	H1 (mVs)	H2 (mVS)	Hn (m)	Hb (m)
1.	13:29	580	714,67	663,41	476,54	187,01	240,65
2.	13:32	555	714,59	677,37	476,54	200,97	240,57
3.	13:36	525	714,59	687,00	476,54	210,59	240,57
4.	13:40	495	714,67	688,18	476,54	211,77	240,65
5.	13:43	470	714,59	691,42	476,54	215,01	240,57
6.	13:45	436	714,48	695,06	476,54	218,66	240,46
7.	13:49	398	714,61	696,97	476,54	220,56	240,59
8.	13:51	374	714,61	700,42	476,54	224,01	240,59
9.	13:52	333	714,61	703,15	476,54	226,74	240,59
10.	13:54	296	714,61	705,98	476,54	229,58	240,59
11.	13:56	261	714,62	707,91	476,54	231,50	240,60
12.	13:57	222	714,63	709,63	476,54	233,22	240,61
13.	13:59	181	714,64	710,94	476,54	234,53	240,62
14.	14:01	114	714,65	712,76	476,54	236,36	240,63
15.	14:04	60	714,65	713,67	476,54	237,27	240,63
16.	14:06	27	714,65	714,59	476,54	238,18	240,63

Tabela 18: Izračun neto in bruto padca mHE Mrzla Rupa
(Lastni vir)

4.3 Izkoristek agregata

Agregat v hidroelektrarni je elektromehanski postroj, sestavljen iz turbine in generatorja. Turbina spreminja hidravlično moč vode v mehansko energijo in z njo poganja generator. (Šolc, Zgradimo majhno elektrarno 3.del, 1983) Generator pa na sponkah oddaja električno energijo. Izkoristek agregata je zmnožek izkoristka turbine in generatorja. Izkoristek agregata v hidroelektrarni nam pove, koliko vhodne energije vode se pretvori v uporabno električno energijo. Za izračun izkoristka agregata velja enačba (8).

$$\eta = \frac{P_g}{P_h} \quad (8)$$

Kjer je:

η – izkoristek agregata

P_g – moč na sponkah generatorja

P_h – hidravlična moč vode

Ker je hidravlična moč odvisna od padca in pretoka, pomeni, da z višjim izkoristkom agregata pri istem pretoku in padcu proizvedemo več električne energije. S tem se poveča ekonomičnost elektrarne, hkrati pa dosežemo učinkovitejšo rabo vodnih virov, kar prispeva k bolj trajnostni izrabi OVE.

4.3.1 Izkoristek generatorja

Podatkov o izkoristkih generatorja v mHE Mrzla Rupa nismo poznali. Pridobili pa smo izkoristke primerljivega generatorja iz mHE Bača. (Priloga 3) Generatorja imata istega proizvajalca, sta enakega tipa S7, ter podobno moč.

	mHE Mrzla Rupa	mHE Bača
Proizvajalec:	Uljanik	Uljanik
Tip:	S7 12 6 K4 297	S7 12 6 K6 437
Nazivna moč:	810 kVA	690 kVA
Nazivna napetost:	3 x 230/400 V	3 x 230/400 V
Frekvenca:	50 Hz	50 Hz
Nazivni $\cos \varphi$:	0,8	0,8
Nazivni vrtljaji n_n :	1000 min^{-1}	1000 min^{-1}
Ubežni vrtljaji n_p :	1800 min^{-1}	1800 min^{-1}
Masa:	3050 kg	2600 kg
Izkoristek: ($\cos \varphi = 0,8$)		92,7 %

Tabela 19: Osnovni podatki primerljivega generatorja
(Vir: Seng d.o.o.)

V Tabeli 20 so prikazani izkoristki primerljivega generatorja v mHE Bača. Izkoristek generatorja je bil merjen pri nastavljenem faktorju moči 1.

P (kW)	P (%)	η_g
580	100	0,927
435	75	0,933
290	50	0,931
145	25	0,899

*Tabela 20: Izkoristki generatorja pri različnih močeh
(Vir: Seng d.o.o.)*

Da smo lahko iz izkoristkov, navedenih v tabeli 20, izračunali izkoristke na celotnem obsegu naših meritev moči generatorja, smo v programu Microsoft Excel naredili aproksimacijo s polinomom druge stopnje. Z aproksimaciji funkcije smo iskali preprostejšo zamenjavo za funkcijo, ki je ne poznamo v popolni obliki. Kot nadomestek želimo uporabiti funkcijo, ki je bolj preprosta za predstavitev, analizo in izračun. Hkrati pa moramo paziti, da se funkcija čim manj razlikuje od prvotne in ohranja čim več njenih lastnosti. (Grošelj, 2024)

Z aproksimacijo s polinomom druge stopnje osnovnih podatkov smo dobili funkcijo kvadratne oblike (9).

$$y = ax^2 + bx + c \quad (9)$$

Kjer je

a,b,c – koeficienti pridobljeni z aproksimacijo

x – vrednost moči generatorja, pri kateri smo računali izkoristek generatorja

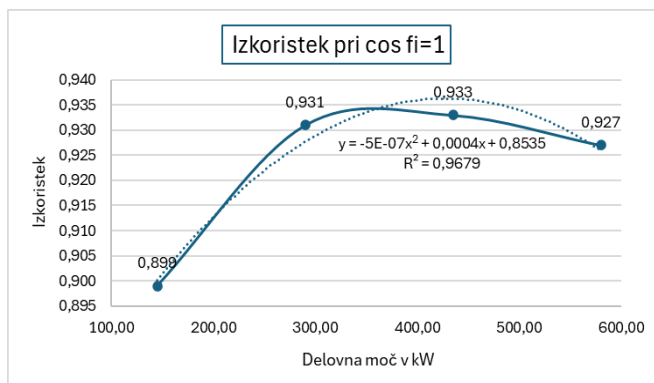
Po aproksimaciji s polinomom druge stopnje smo dobili funkcijo (10).

$$y = -5 * 10^{-7} * x^2 + 0,0004 * x + 0,8532 \quad (10)$$

$$R^2 = 0,9679$$

R^2 – kazalnik, ki nam pove ujemanje izračunanih podatkov.

Modra krivulja na Sliki 10 prikazuje izkoristke na podlagi tovarniško podanih podatkov. Prekinjena krivulja prikazuje z aproksimacijo izračunane izkoristke.



Slika 10: Z aproksimacijo pridobljena funkcija za izračun izkoristkov
(Lastni vir)

S funkcijo, pridobljeno z aproksimacijo tovarniških podatkov primerljivega generatorja iz mHE Bača, smo izračunali izkoristke generatorja mHE Mrzla Rupa. Meritve smo izvajali pri nastavljenem faktorju moči 1. Izračunani izkoristki so prikazani v Tabeli 21.

Št. meritev	Čas merjenja	Moč agregata P (kW)	Izkoristek gen. η_g
1.	13:29	580	0,917
2.	13:32	555	0,921
3.	13:36	525	0,926
4.	13:40	495	0,929
5.	13:43	470	0,931
6.	13:45	436	0,933
7.	13:49	398	0,933
8.	13:51	374	0,933
9.	13:52	333	0,931
10.	13:54	296	0,928
11.	13:56	261	0,924
12.	13:57	222	0,918
13.	13:59	181	0,910
14.	14:01	114	0,893
15.	14:04	60	0,876
16.	14:06	27	0,864

Tabela 21: Izkoristek generatorja v mHE Mrzla Rupa
(Lastni vir)

Maksimalen izkoristek generatorja je znašal 93 %, medtem ko primerljivi novejši generatorji dosegajo izkoristke do 95 %.

4.3.2 Izkoristek turbine

Pri prehodu vode skozi turbino se del hidravlične energije vode izgubi, zato ne moremo vsega pretvoriti v uporabno mehansko energijo. Da bi čim bolj izkoristili to energijo, si prizadevamo te izgube zmanjšati na minimum. Izkoristek turbine nam pove, kolikšen del razpoložljive energije vode turbina dejansko spremeni v mehansko energijo. (Dular-Hočevar, 2015)

Izkoristek turbine je sestavljen iz:

- hidravličnega izkoristka,
- volumetričnega izkoristka,
- mehanskega izkoristka.

Hidravlični izkoristki so odvisni od vstopnih kotov, lastnosti vodnega toka in pretvorbe tlakov. Gibljejo se do 0,95.

Volumetrični izkoristki so posledica volumetričnih izgub, ki so posledica netesnosti pretočnega trakta vodne turbine. Volumetrični izkoristki znašajo do 0,97. Pri Pelton turbinah volumetričnih izgub ni.

Mehanski izkoristki so odvisni predvsem od trenja v ležajih. Gibljejo se do 0,98. (Dular-Hočevar, 2015)

Najprej smo iz moči generatorja na sponkah in izkoristka generatorja izračunali moč turbine (11).

$$P_t = \frac{P_g}{\eta_g} \quad [W] \quad (11)$$

Kjer je

P_t – moč turbine (W)

P_g – moč generatorja na sponkah (W)

η_g – izkoristek generatorja

Izkoristek turbine je enak razmerju med močjo turbine in hidravlično močjo vode (12).

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_h} \quad (12)$$

Kjer je

η_t – izkoristek turbine

P_t – moč turbine (W)

P_h – hidravlična moč vode (W)

Hidravlično moč vode pri različnih pretokih smo izračunali s pomočjo enačbe (13).

$$P_h = \rho_v * g * H_n * Q \text{ [W]} \quad (13)$$

Kjer je

P_h – moč vode (W)

ρ_v – gostota vode (kg/m^3)

g – gravitacijski pospešek (m/s^2)

H_n – neto padec (m)

Q – pretok

Pri analizi dobljenih izkoristkov turbine pri različnih pretokih smo ugotovili, da je maksimalen izkoristek turbine 82 %, medtem ko sodobne Pelton turbine dosegajo izkoristke do 90 %.

Izračunani izkoristki turbine pri različnih močeh agregata so prikazani v Tabeli 22.

4.3.3 Izkoristek agregata

Izkoristek agregata lahko izrazimo z razmerjem moči na sponkah generatorja in močjo vode P_h (14), lahko pa tudi kot zmnožek izkoristkov turbine in generatorja (15).

$$\eta = \frac{P_g}{P_h} \quad (14)$$

ali

$$\eta = \eta_g * \eta_t \quad (15)$$

Kjer je

η – izkoristek agregata

η_g – izkoristek generatorja

η_t – izkoristek turbine

Izkoristek agregata je odvisen od izkoristka turbine in generatorja. Ker oba ne dosegata izkoristkov, kot jih sodobnejše turbine in generatorji, agregat kot celota prav tako ne more doseči optimalne učinkovitosti.

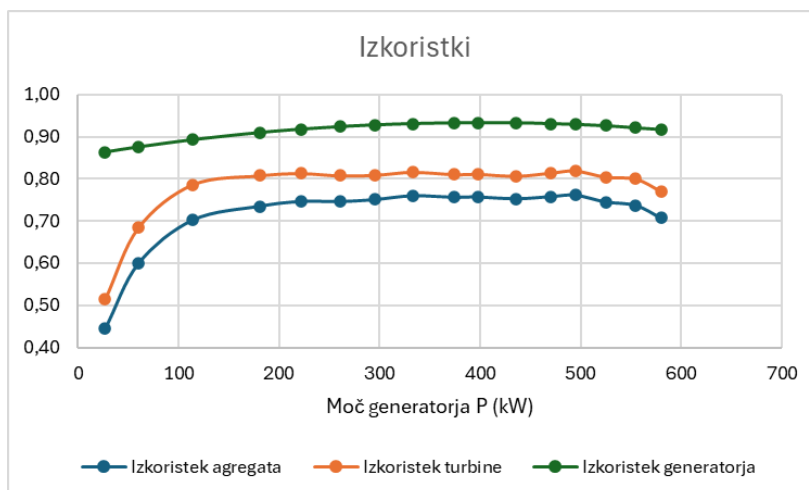
Z zamenjavo turbine in generatorja bi lahko izboljšali izkoristek ter tako povečali energetske učinkovitost celotnega sistema.

Izračunani izkoristki agregata pri različnih močeh generatorja so prikazani v Tabeli 22.

Št. meritev	Čas merjenja	Moč agregata P (kW)	η_g	P_t	P_h	η_t	η
1.	13:29	580	0,917	632,50	820,20	0,771	0,707
2.	13:32	555	0,921	602,61	753,25	0,800	0,737
3.	13:36	525	0,926	566,96	704,61	0,805	0,745
4.	13:40	495	0,929	532,83	650,39	0,819	0,761
5.	13:43	470	0,931	504,83	620,25	0,814	0,758
6.	13:45	436	0,933	467,31	579,26	0,807	0,753
7.	13:49	398	0,933	426,58	525,89	0,811	0,757
8.	13:51	374	0,933	400,86	494,55	0,811	0,756
9.	13:52	333	0,931	357,68	438,28	0,816	0,760
10.	13:54	296	0,928	318,97	394,21	0,809	0,751
11.	13:56	261	0,924	282,47	349,81	0,807	0,746
12.	13:57	222	0,918	241,83	297,48	0,813	0,746
13.	13:59	181	0,910	198,90	246,23	0,808	0,735
14.	14:01	114	0,893	127,66	162,34	0,786	0,702
15.	14:04	60	0,876	68,49	100,11	0,684	0,599
16.	14:06	27	0,864	31,25	60,76	0,514	0,444

Tabela 22: Izračuni izkoristkov in moči
(Lastni vir)

Na Sliki 11 so prikazani izkoristki pri različnih močeh generatorja.



Slika 11: Grafični prikaz izkoristkov pri različnih močeh generatorja
(Lastni vir)

4.4 Izgube cevododa

V mHE Mrzla Rupa dovod predstavlja jeklen tlačni cevovod, dolžine 3548 m. Izgube v cevovodu zaradi trenja in zavojev predstavljajo izgubo energijo vode. Izgube cevododa H_{izg} so enake razliki energijskih višin na vtoku H_0 in pred turbino H_1 .

Energijske višine na vtoku in merilnem mestu na koncu cevododa pred turbino smo že izračunali. Izračuni so prikazani v Poglavju 4.1.

S poznanimi vrednostmi energijskih višin na začetku in koncu cevododa smo lahko izračunali izgube v cevovodu (16).

$$H_{izg} = H_0 - H_1 \text{ [mVS]} \quad (16)$$

Kjer je

H_{izg} – izgube v cevovodu

H_0 – energijska višina nivoja vode na zajetju (mVS)

H_1 – energijska višina na koncu cevododa (mVS)

Izračunane izgube v cevovodu so prikazane v Tabeli 23.

Št. meritev	Moč agregata P (kW)	Pretok Q (l/s)	H_0 (m.n.v.)	H_1 (m.n.v.)	H_n (m)	H_b (m)	H_{izg} (mVS)
1.	580	447,87	714,67	663,41	187,01	240,65	51,26
2.	555	382,77	714,59	677,37	200,97	240,57	37,22
3.	525	341,68	714,59	687,00	210,59	240,57	27,60
4.	495	313,61	714,67	688,18	211,77	240,65	26,49
5.	470	294,59	714,59	691,42	215,01	240,57	23,17
6.	436	270,51	714,48	695,06	218,66	240,46	19,42
7.	398	243,50	714,61	696,97	220,56	240,59	17,64
8.	374	225,44	714,61	700,42	224,01	240,59	14,19
9.	333	197,43	714,61	703,15	226,74	240,59	11,47
10.	296	175,34	714,61	705,98	229,58	240,59	8,63
11.	261	154,29	714,62	707,91	231,50	240,60	6,71
12.	222	130,31	714,63	709,63	233,22	240,61	5,01
13.	181	107,19	714,64	710,94	234,53	240,62	3,70
14.	114	70,01	714,65	712,76	236,36	240,63	1,89
15.	60	42,93	714,65	713,67	237,27	240,63	0,98
16.	27	25,82	714,65	714,59	238,18	240,63	0,06

Tabela 23: Izgube v cevovodu
(Lastni vir)

Energijske izgube zaradi trenja vzdolž toka naraščajo sorazmerno z dolžino. Imenujemo jih trenjske ali linijske izgube, označujemo pa jih z ΔE_t . V ceveh, okroglega preseka, se te izgube običajno izračunavajo z Darcy-Weissbachovo enačbo (17). (Uršič, 2024)

$$\Delta E_t = \lambda * \frac{\Delta L}{D} * \frac{v^2}{2 * g} \quad (17)$$

Kjer je

ΔE_t – linijske izgube energije

λ – koeficient linijski izgube

L – dolžina cevovoda

D – premer cevovoda

v – hitrost vode

Enačbo (17) smo uredili tako, da smo hitrost vode izrazili s pretokom in dobili enačbo (18):

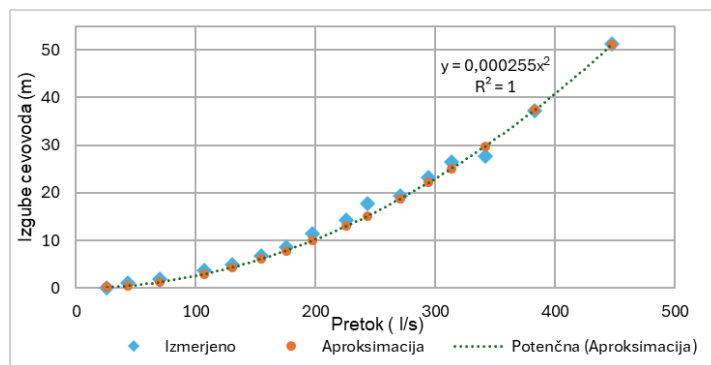
$$H_{izg} = (f * \frac{8 * L}{\pi^2 * g * D^5}) * Q^2 \text{ (m)} \quad (18)$$

Koeficient linijskih izgub, dolžina cevovoda in premer cevovoda se ne spreminjajo. Pri spremembi moči agregata se spremeni samo pretok vode v cevovodu, zato velja, da so izgube v cevovodu odvisne od kvadrata pretoka (19).

$$H_i = k * Q^2 \text{ (m)} \quad (19)$$

Konstanta k v enačbi (19) vsebuje vse parametre, ki vplivajo na izgube, hrapavost cevi, premer, krivine, dolžina cevi. Vrednost konstante k temelji na dejanskih podatkih, pridobljenih z merjenjem v realnih pogojih.

Konstanto k za cevovod v mHE Mrzla Rupa smo izračunali s potenčno aproksimacijo rezultatov izgub v cevovodu, ki so prikazani v Tabeli 23, in znaša 0,000255. Vrednost k je relativno majhna, kar nakazuje, da je cevovod v dobrem stanju.



Slika 12: Izgube v cevovodu
(Lastni vir)

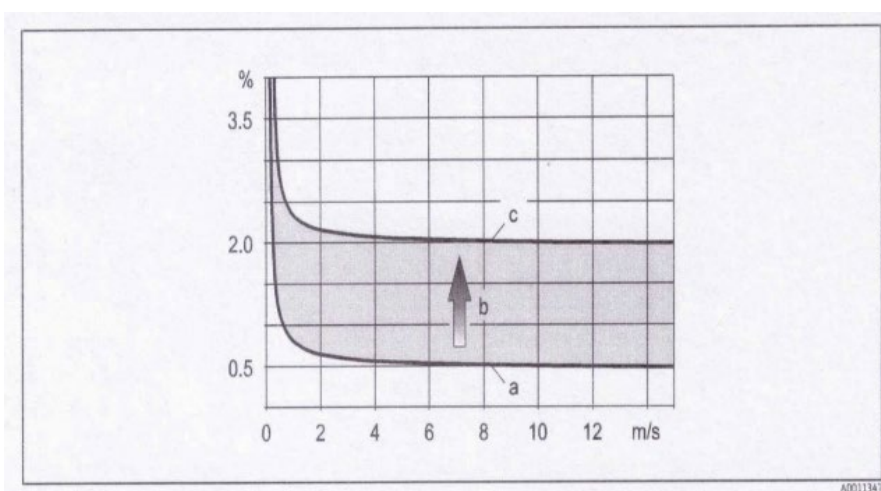
4.5 Merilna negotovost rezultatov:

Meritve pretoka, tlaka, nivoja in moči so bile opravljene z uporabo merilnih naprav, katerih točnost je bila upoštevana pri oceni merilne negotovosti. Meritve smo opravili le enkrat, zato smo merilno negotovost ocenili na podlagi točnosti naprav negotovost, tipa B.

Merilna negotovost pri meritvah pretoka:

Deklarirana merilna negotovost: $\Delta Q/Q = \pm 2,5 \%$

Pri hitrostih medija manjših od 2 m/s se merilna napaka zaradi višje merilne negotovosti merilnika pretoka povečuje. (Endress+Hauser AG, 2024)



Slika 13: Točnost merilnika pri različnih hitrostih
(Vir: Endress+Hauser AG)

Merilna negotovost pri meritvah energijskih višin:

Energijske višine smo izračunali s pomočjo meritev nivoja vode na zajetju in merilnika tlaka v strojnici.

Deklarirana merilna negotovost merilnika nivoja: $\pm 0,1 \%$ (Matern.si, 2024)

Deklarirana merilna negotovost merilnika tlaka: $\pm 0,2 \%$ (Eltratec d.o.o, 2024)

Merilna negotovost merjenja padca:

$$\frac{\Delta H}{H} = \sqrt{0,1^2 + 0,2^2} = \pm 0,22$$

Merilna negotovost meritve moči generatorja:

Moči generatorja smo odčitavali na merilniku delovne moči Cirkutor CVM 144 točnosti: 1,01 %. Merilna negotovost meritve moči je odvisna še od napetostnih in tokovnih merilnih transformatorjev točnosti 0,5 %

Merilna negotovost merjenja moči:

$$\frac{\Delta P}{P} = \sqrt{1,01^2 + 0,5^2 + 0,5^2} = \pm 1,51 \%$$

Vsa vrednosti merjenih veličin smo zabeležili v stacionarnem stanju.



Slika 14: Grafični prikaz nihanja veličin
(Lastni vir)

Skupna merilna negotovost znaša:

$$u_b = \sqrt{2,5^2 + 0,14^2 + 1,51^2} = \pm 2,92$$

Napaka rezultatov meritev, ki smo jih izvajali in ne vsebujejo absolutne meritve pretoka, je v največji meri odvisna od napake meritve pretoka.

5 IZRAČUN ENERGETSKEGA POTENCIALA

Z izračunom energetskega potenciala vodotoka pridobimo podatek o količini energije vode na določenem odseku vodotoka, ki je na razpolago za pretvorbo v mehansko energijo za proizvodnjo električne energije. Energija vode je odvisna predvsem od pretoka in višinske razlike med zajemom vode in turbino.

Za proizvodnjo električne energije v mHE Mrzla Rupa se izkorišča hidroenergetski potencial reke Idrijce v njenem zgornjem toku.

Idrijca je 60 km dolga reka, ki izvira na obrobju Vojskarske planote v idrijsko-cerkljanskem hribovju. Po nekaj kilometrih se združi z reko Belco, teče naprej proti severu mimo Idrije, Spodnje Idrije in Cerknega ter se pri Mostu na Soči izlije v reko Sočo. Zgornji tok reke Idrijce leži v krajinskem parku zgornja Idrijca ter območju Nature 2000.

Področje reke Idrijce spada med ene izmed najbolj namočenih predelov Slovenije. Obsega 598 km² vodonosne površine ter ima dežno-snežni režim.

(Limnos, 2008)

Energetski potencial Idrijce so že v preteklosti izrabljali pri spravilu lesa za potrebe rudnika živega srebra v Idriji. Za zajezev vodotokov so na Idrijci in njenih pritokih v okolici Idrije zgradili sprva lesene, kasneje pa kamnite pregrade, tako imenovane klavže. Pod klavžami, zgrajenimi na Idrijci, se nahaja zajem vode za mHE Mrzla Rupa.



*Slika 15: Zajem vode za mHE Mrzla Rupa tik pod klavžami
(Lastni vir)*

5.1 Izračun energetskega potenciala

Vse veličine, razen dolgoletnega srednjega pretoka Idrijce pri zajemu vode za mHE, potrebne za izračun energetskega potenciala smo že pridobili in izračunali pri meritvah energetskih izkoristkov.

Za določitev dolgoletnega srednjega pretoka na obravnavanem odseku Idrijce smo uporabili podatke dnevnih srednjih pretokov hidrološke postaje Podroteja 1.

Hidrološka postaja Podroteja 1 beleži podatke dnevnih srednjih pretokov približno 10 km nižje od obravnavanega odseka, zato smo vrednosti pretokov preračunali z enačbo (20), ki za pretvorbo pretokov upošteva razmerje med vodonosnimi površinami Idrijce pred hidrološko postajo Podroteja1 in vodonosno površino Idrijce pred zajemom vode za mHE Mrzla Rupa.

$$Q_{sr-z} = \frac{F_z}{F_p} * Q_{sr-p} \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (20)$$

Kjer je:

Q_{sr-z} – povprečni večletni srednji pretok Idrijce pri zajemu vode (m^3/s)

F_z – vodonosno področje do zajema vode (km^2)

F_p – vodonosno področje do hidrološke postaje Podroteja1 (km^2)

Q_{sr-p} – povprečni večletni srednji pretok Idrijce pri hidrološki postaji podroteja1 (m^3/s)

Vodonosno področje odseka Idrijce pri hidrološki postaji Podroteja 1 smo povzeli iz poročila, Določitve ekološko sprejemljivega pretoka za reko Idrijco na področju zajema vode za mHE Mrzla Rupa. (Limnos, 2008)

Za določitev vodonosnega področja odseka Idrijce pri zajemu vode smo uporabili Atlas okolja agencije za okolje. (Atlas okolja, 2024)

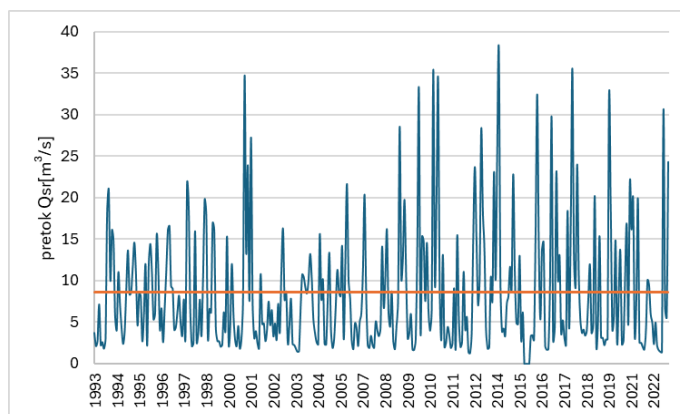
Na Sliki 16 je prikazano vodonosno področje v zgornjem toku Idrijce do zajema vode za mHE Mrzla Rupa ki obsega $4,32 \text{ km}^2$.



Slika 16: Vodonosno področje odseka Idrijce pri zajemu vode za mHE
(Atlas okolja, 2024)

Povprečni večletni srednji pretok smo pridobili iz podatkovne baze večletnih dnevni meritev srednjega pretoka hidrološke postaje Podroteja 1. Podatki so javno dostopni na spletni strani agencije za okolje ARSO. (Arso, 2024) Izmerjene srednje dnevne pretoke za obdobje od leta 1993 do leta 2022 smo primerno uredili in izrisali krivulje srednjih letnih pretokov, hidrogram ter krivuljo trajanja pretokov reke Idrijce pri hidrološki postaji Podroteja 1. Z oranžno barvo je na vseh grafikonih označen dolgoletni povprečni srednji mesečni pretok.

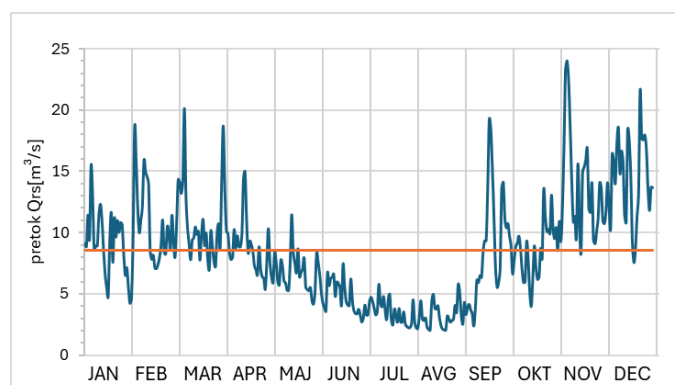
Krivulja srednjih letnih pretokov reke Idrijce pri hidrološki postaji Podroteja 1:



Slika 17: Srednji letni pretoki za obdobje 1993–2022
(Vir: Arso)

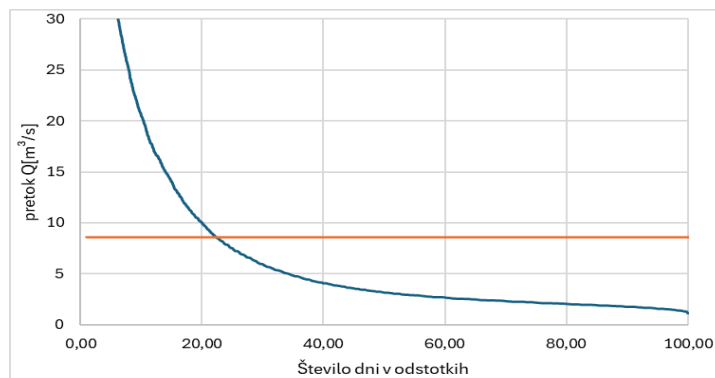
Zaradi dežno-snežnega režima ima reka Idrijca povečan pretok pomladi zaradi taljenja snega, poleti nizek pretok, jeseni se pretok zaradi jesenskih deževij poveča pozimi pa pretok znova upade.

Hidrogram reke Idrijce pri hidrološki postaji Podroteja 1:



Slika 18: Hidrogram reke Idrijce pri hid. postaji Podroteja 1 za obdobje 1993–2022
(Vir: Arso)

Krivulja trajanja pretokov Idrijce pri hidrološki postaji Podroteja 1 za obdobje 1993–2022:



Slika 19: Krivulja trajanja in pogostost pretokov pri hidrološki postaji Podroteja 1 (Vir: Arso)

Izračun srednjega pretoka Idrijce pri zajemu vode za mHE Mrzla Rupa:

$$Q_{sr-z} = \frac{F_z}{F_p} * Q_{sr-p} \quad [m^3/s] \quad (20)$$

$$Q_{sr-z} = \frac{4,32 \text{ km}^2}{117,7 \text{ km}^2} * 8,59 \text{ m}^3/s = 0,315 \text{ m}^3/s$$

Dobljeni srednji pretok pa ni v celoti na voljo za energetska izkoriščanje, saj moramo upoštevati še biološki sprejemljivi pretok Q_{es} , ki zagotavlja ustrezen pretok vode pod zajemom vode in s tem ohranitev ekološkega ravnotežja v vodotoku.

Q_{es} za mHE Mrzla Rupa znaša $0,040 \text{ (m}^3/\text{s)}$. (Limnos, 2008)

$$Q_{sr} = Q_{sr-z} - Q_{es}$$

$$Q_{sr} = 0,315 \text{ m}^3/s - 0,040 \text{ m}^3/s = 0,275 \text{ m}^3/s$$

Moč vode:

$$P_h = \rho * Q_{sr} * g * (H_b - k * Q^2) \quad [kW] \quad (21)$$

Kjer je:

P_h – moč vode

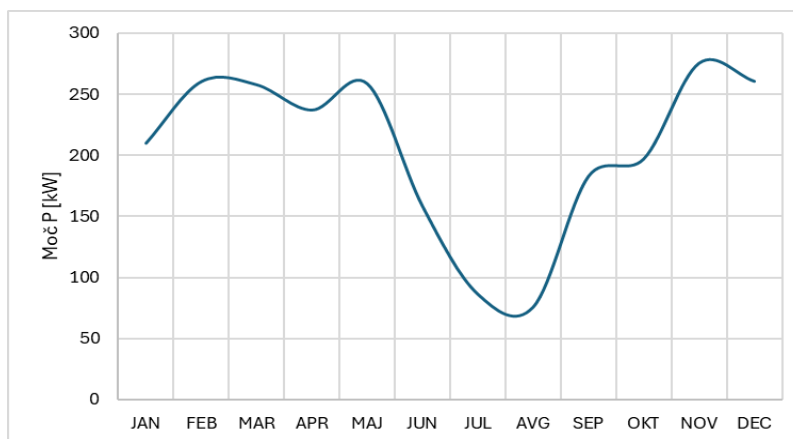
ρ – specifična gostota vode

Q_{sr} – srednji pretok vode pri zajemu vode

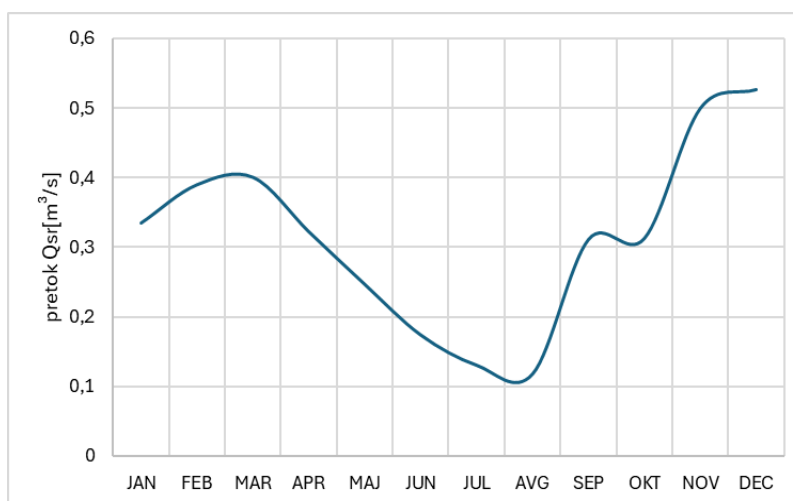
$k * Q^2$ – izgube v cevovodu

$$P = 1000,705 \text{ kg/m}^3 * 9,805 \text{ m/s}^2 * 0,275 \text{ m}^3/s * 222,24 \text{ m} = 600 \text{ kW}$$

MHE Mrzla Rupa je hidroelektrarna pretočnega tipa, za katere je značilno, da za proizvodnjo električne energije izrabljajo trenutne pretoke brez akumulacije vodne energije. Za prikaz odvisnosti proizvodnje električne energije od pretoka smo od SENG d.o.o. pridobili podatke proizvodnje elektrarne za obdobje od leta 2013–2022 ter izrisali grafikon gibanja povprečne proizvodnje skozi leto. Na Slikah 20 in 21 se vidi korelacija med preračunanimi povprečnimi srednjimi dnevnimi pretoki reke Idrijce pri zajemu vode in povprečno dnevno moč mHE Mrzla Rupa v obdobju 2013–2022.



Slika 20: Grafikon povprečna dnevna moč za obdobje 2013–2022
(Lastni vir)



Slika 21: Grafikon srednjih dnevnih pretokov za obdobje 2013–2022
(Vir: Arso)

6 FINANČNA ANALIZA INVESTICIJE

MHE Mrzla Rupa je v obratovanju od leta 1989. Elektrarna obratuje po dotoku tako, da praviloma obratuje vse dni v letu. Zaustavitev se zgodi le ob okvarah vgrajene opreme in ob visokih vodah. Tehnične okvare so največkrat posledica iztrošenosti opreme, težavo predstavljajo tudi težko dobavljivi nadomestni deli. Zaustavitve ob visokih vodah pa so posledice nepravilne izvedbe samega vtoka ter iztrošenosti čistilnega stroja. Zaradi naštetih razlogov se bo rekonstrukcija mHE Mrzla Rupa izvajala na:

Vtok v tlačni cevovod

Na vtoku v cevovod si pri višjih pretokih mašijo vtočne rešetke z listjem in plavjem. Z zmanjšanjem moči agregata na polovico se mašenje vtočnih rešetk odpravi, zato se bo z rekonstrukcijo preuredilo vtok na način, da bo dimenzija vtočne rešetke večja, kar bo zmanjšalo hitrost vode na vtočnih rešetkah. Ob enem se bo montiral nov čistilni stroj s pripadajočo opremo, ki bo primerno očistil rešetko plavja.

Strojna oprema

V sklopu rekonstrukcije se bo v strojnici obstoječo opremo demontiralo in zamenjalo z novo, ki se jo bo navezalo na obstoječi jekleni cevovod, dimenzij DN 450.

Predturbinski krogelni ventil z obvodom

Prirobični krogelni zasun DN 400, skupaj z obvodom za izenačevanje tlaka. Odpiranje ventila bo izvedeno s servomotorjem, zapiranje s pomočjo uteži. Odpiranje bo mogoče samo pri izenačenem pritisku na strani turbine in tlačnega cevovoda.

Horizontalna dvošobna Pelton turbina

Predvidena je vgradnja horizontalne dvošobe Pelton turbine z ustrezno dimenzioniranimi in oblikovanimi lopaticami gonilnika za najboljši izkoristek, brez kavitacije na celotnem obratovalnem območju. Horizontalna gred z gonilnikom, ki povezuje turbino in gred, bo vležajena z dvema kotalnima ležajema in bo omogočalo po potrebi kasnejšo vgradnjo vztrajnika. Premikanje igel in odrezačev se bo vršilo prek zunanjih servomotorjev, ki se jih bo odpiralo in zapiralo s tlačnim oljem.

Hidravlična tlačna enota

Hidravlična tlačna upravljalna enota bo zagotavljala prek servomotorjev vse gibe, potrebne za upravljanje predturbinskega krogelnega zasuna in pripadajočega obvoda, igel in odrezačev. Oljetlačna naprava bo vsebovala tudi zračni akumulator, ki zagotavlja stalni tlak v sistemu hidravlike in omogoča varno zaustavitev agregata

Elektro oprema

Priključek na omrežje

Mrežni transformator 20/04 kV se bo zamenjal z novim, saj rezultati električnih meritev obstoječega transformatorja kažejo nizko izolacijsko upornost.

Obstoječa SN-celica se bo nadomestila s tipskim kompaktnim SN-blokom, sestavljenim iz vhodne, merilne in transformatorske celice.

Energetski del

Energetski del obsega omaro, v kateri bosta nameščena izvlačljivo generatorsko stikalo in bremensko ločilno stikalo, ter omaro, v kateri bo razvod lastne rabe, vzbujalni sistem generatorja in številne meritve.

Generator

Generator bo nov, brez vztrajnika, z možnostjo naknadne montaže vztrajnika. Hlajenje generatorja bo prisilno s pomočjo venca ventilatorskih krilc na rotorju. Izgubna toplota se bo odvajala s pomočjo ventilacijskega kanala, ki bo opremljen z loputo za preusmeritev toplega zraka v strojnico v zimskem času.

Za preprečitev kondenzacije vlage v mirovanju bodo vgrajeni grelci s termostatom, ki vzdržuje temperaturo znotraj generatorskega ohišja cca 5 K nad zunanjo temperaturo. Napajalna napetost grelcev je 230 V, 50 Hz.

Oprema vodenja

Oprema vodenja bo omogočala avtomatsko in lokalno (ročno) obratovanje.

Električne zaščite

Predvidena je tudi zamenjava terminala zaščite generatorja in terminala zaščite ločilnega mesta.

Delna sanacija plazišča cevovoda

V sklopu rekonstrukcije se bo izvedla delna sanacija dela jeklenega cevovoda, ki je bil poškodovan pri plazenju.

Cilji investicije v rekonstrukcijo mHE Mrzla Rupa:

- povečanje zanesljivosti in varnosti elektrarne,
- podaljšanje življenjske dobe elektrarne,
- boljši izkoristki opreme,
- nemoteno obratovanje ob visokih vodah,
- zmanjšanje vplivov na okolje z izkoriščanjem vode,
- ohranjanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov energije.

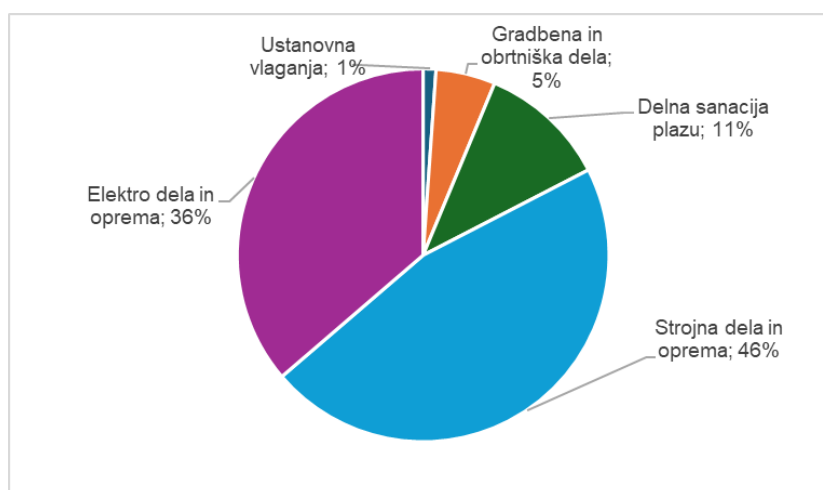
6.1 Ocena vrednosti investicije

Okvirno vrednost celotne investicije se je določilo v idejni študiji za rekonstrukcijo mHE Mrzla Rupa, ki jo je izdelal SENG d.o.o. Ocenjene stroške investicije smo predstavili v Tabeli 24.

Zap. št.	Ocena investicije	Vrednost v EUR	Delež v %
1	Ustanovna vlaganja	15.000	1,11
2	Gradbena in obrtniška dela	69.820	5,18
	Delna sanacija plazišča	150.000	11,14
3	Strojna dela in oprema	623.975	46,30
4	Elektro dela in oprema	488.785	36,27
	Skupaj ocena investicije brez DDV	1.347.580	100,00
	Davek na dodano vrednost (DDV 22 %)	296.468	
	Skupaj investicija	1.644.048	

Tabela 24: Ocena vrednosti investicijskih stroškov
(Vir: Seng d.o.o.)

Na Sliki 22 smo predstavili strukturo investicijskih stroškov, kjer največji delež predstavljajo strojna dela in oprema (46,30 %), sledijo jim elektro dela in oprema (36,27 %) ter nato gradbena in obrtniška dela vključno z delno sanacijo plazišča na cevovodu (16,32 %).



Slika 22: Struktura investicijskih stroškov
(Vir: Seng d.o.o.)

6.2 Sredstva

Za nameravano investicijo smo predvideli varianto z investicijo, saj bi varianta brez investicije pomenila ohranjanje sedanjega stanja, ki je neustrezno in bi pomenilo:

- opustitev temeljnih strateških usmeritev SENG d.o.o. in HSE d.o.o.,
- zaprtje elektrarne, kar bi imelo za posledico izpad proizvodnje električne energije,
- neizkoriščenost obstoječe vodne infrastrukture,
- ekonomsko škodo,
- nespoštovanje zakonodaje.

Iz zgoraj navedenega smo ugotovili, da bi varianta »brez« investicije pomenila bistveno poslabšanje stanja, kar pa bi imelo negativne posledice. Zato je varianta brez investicije nesprejemljiva.

6.3 Predvideni viri financiranja

Finančno konstrukcijo smo pripravili ob predpostavki, da se bo investicija financirala z lastnimi sredstvi investitorja SENG d.o.o.

6.4 Dinamika vlaganj

Na podlagi terminskega plana investicije smo izdelali dinamiko investicijskih stroškov, ki je prikazana v Tabeli 25.

Zap. št.	Ocena investicijske vrednosti	Predvidena dinamika investicije v EUR			
		2023	2024	2025	Skupaj
1	Ustanovna vlaganja	10.000	0	5.000	15.000
2	Gradbena in obrtniška dela	0	0	69.820	69.820
	Delna sanacija plazišča	0	56.250	93.750	150.000
3	Strojna dela in oprema	0	436.783	187.193	623.975
4	Elektro dela in oprema	20.000	91.968	376.818	488.785
	Skupaj vrednosti brez DDV	30.000	585.000	732.580	1.347.580
	Davek na dodano vrednost	6.600	128.700	161.168	296.468
	Skupaj vrednost z DDV	36.600	713.700	893.748	1.644.048

Tabela 25: Predvidena letna dinamika investicijskih stroškov za celotno investicijo (Vir: Seng d.o.o.)

6.6 Koristi in stroški investicije

Koristi investicije:

Koristi investicije so vezane na proizvodnjo električne energije. Prihodki od prodaje električne energije so odvisni od količine proizvedene električne energije in prodajne cene električne energije. Pri izračunih prihodkov smo upoštevali dolgoročne projekcije prodajnih cen električne energije, ki smo jih pridobili od Seng d.o.o. (Priloga 4)

Primerjava letne proizvodnje električne energije za mHE Mrzla Rupa v obdobju od 2023 do 2062 kot razlika med varianto brez investicije in varianto z investicijo smo prikazali v Tabeli 26. V letu 2025 je pri varianti z investicijo predvidena zaustavitev mHE od meseca junija do decembra zaradi demontaže in montaže opreme. V tem obdobju ni proizvodnje električne energije, zato je takrat razlika v korist varianti brez investicije. Če se projekt rekonstrukcije elektrarne ne izvede, se od leta 2034 predvideva prenehanje obratovanja mHE Mrzla Rupa in s tem izpad proizvodnje. Po izvedbi rekonstrukcije je predvideno povečanje proizvodnje električne energije za 20 %, na 2160 MWh.

Leto	Varianta z investicijo MWh	Varianta brez investicije MWh	Razlika MWh
2023	1.800	1.800	0
2024	1.800	1.800	0
2025	750	1.800	-1.050
2026	2.160	1.800	360
2027	2.160	1.800	360
2028	2.160	1.800	360
2029	2.160	1.800	360
2030	2.160	1.800	360
2031	2.160	1.800	360
2032	2.160	1.800	360
2033	2.160	1.800	360
2034	2.160	0	2.160
2035	2.160	0	2.160
2036	2.160	0	2.160
2037	2.160	0	2.160
2040	2.160	0	2.160
2050	2.160	0	2.160
2060	2.160	0	2.160
2062	2.160	0	2.160

*Tabela 26: Primerjava proizvodnje električne energije mHE med variantami z ali brez investicije
(Vir: Seng d.o.o.)*

Stroški investicije:

V času obratovanja mHE smo v izračunu upoštevali naslednje stroške:

Stroški	Brez investicije v EUR	Z investicijo v EUR
Stroški vzdrževanja opreme	9.000,00	5.000,00
Stroški zavarovanja, zakupov, upravljanja	3.600,00	5.040,00
Drugi obratovalni stroški (energija, material, storitve)	5.000,00	2.000,00
Koncesija	5.760,00	6.912,00
Vodno povračilo	378,00	378,00
Stroški dela	16.000,00	8.000,00
Skupaj	39.738,00	27.330,00

*Tabela 27: Upoštevani stroški med obratovalno dobo mHE
(Vir: Seng d.o.o.)*

Med stroške smo upoštevali vodno povračilo za rabo vode. Vodno povračilo za elektrarne moči manjše od 10MW je določeno v višini 0,2361 EUR na MWh potencialne energije. (Energetika , 2024)

Amortizacija investicije:

Pri izračunu amortizacije smo upoštevali linearno metodo amortiziranja za amortizacijsko dobo 40 let.

Osnovno sredstvo	Vrednost osnovnega sredstva v EUR	Letna amortizacijska stopnja	Letna amortizacija v EUR
Ustanovna vlaganja	15.000,00	1,5 %	225,00
Gradbena in obrtniška dela	219.820,00	1,5 %	3.297,30
Strojna dela in oprema	623.975,00	2,5 %	15.599,38
Elektro dela in oprema	488.785,00	3,3 %	16.276,54
SKUPAJ	1.347.580,00		35.398,00

*Tabela 28: Izračun letne amortizacije za obdobje 40 let
(Vir: Seng d.o.o.)*

6.7 Izračun upravičenosti investicije

Zahtevana donosnost investicije

V skladu z Uredbo o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ smo kot merilo zahtevane donosnosti upoštevali diskontno stopnjo 4 %. (Uradni list št. 1079, 2024)

Ekonomska doba investicije

Ekonomska doba investicije zajema investicijsko obdobje in dobo obratovanja. Investicijsko obdobje je predvideno od julija 2023 do decembra 2025. Preizkusno obratovanje v mesecu januarju leta 2026. Doba obratovanja je enaka amortizacijskemu obdobju opreme 40 let.

Kazalniki upravičenosti investicije

Pri izvedbi finančne analize smo upoštevali:

- ekonomska doba investicije je 43 let,
- prihodki investicije so predvideni prihodki od prodaje el. energije,
- odhodki v investiciji so stroški vzdrževanja opreme, stroški zavarovanja, upravljanje, stroški dela, stroški vodnega povračila, koncesija in davek na dohodek pravnih oseb,
- osnovno finančno diskontno stopnjo v višini 4 %, kot je določena v Uredbi o enotni metodologiji za pripravo investicijske dokumentacije na področju javnih financ,
- v izračunih prihodkov in odhodkov ni upoštevan DDV,
- finančna analiza je izdelana na podlagi podatkov, ki smo jih pridobili od investitorja,
- v finančni analizi smo uporabili stalne cene.

Glavni namen finančne analize je izračun kazalnikov finančnih vplivov investicije v rekonstrukcijo mHE Mrzla Rupa.

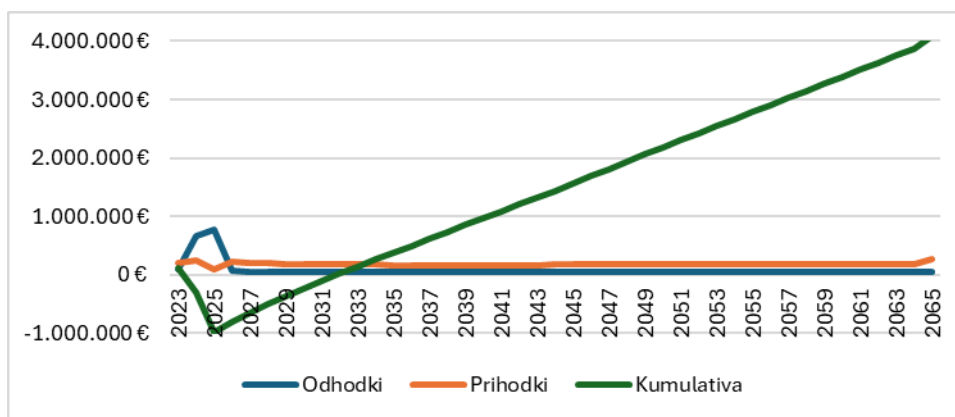
Ocenjevali smo:

- dobo vračanja investicijskih sredstev,
- neto sedanjo vrednost NSV,
- interno stopnjo donosnosti IRR,
- količnik koristnosti.

6.7.1 Doba vračanja investicijskih sredstev

Doba vračanja investicijskih sredstev nam pove, v kolikšnem času kumulativa neto prilivov doseže vsoto investicijskih stroškov. Ta metoda nam pove le, v kolikšnem času se nam bodo povrnila vložena sredstva.

Doba vračanja v investicijo vloženi sredstev je krajša od ekonomske dobe in znaša 9,4 leta.



Slika 23: Realni tok denarja in doba vračanja investicijskih sredstev
(Lastni vir)

6.7.2 Neto sedanja vrednost in interna stopnja donosnosti

Neto sedanja vrednost NSV je razlika med diskontiranim denarnim tokom vseh prilivov in diskontiranim tokom vseh odlivov, se pravi ocenjujemo razmerje med prihodnjim donosom in sedanjim vložkom v investicijo. Pozitivna NSV nam pove, da bo investicija ustvarila večji donos, kot je strošek investicije.

Interna diskontna stopnja IRR predstavlja diskontno stopnjo, pri kateri je neto sedanja vrednost NSV enaka nič. Investicija se smatra za sprejemljivo, če je stopnja IRR višja kot diskontna. (Radek, 2019) Kazalniki NSV je v primeru investicije v rekonstrukcijo mHE pozitiven, prav tako je IRR nad zahtevano stopnjo donosnosti.

Zahtevana stopnja donosnosti	4 %
Neto sedanja vrednost NSV	1.431.988 EUR
Interna stopnja donosnosti IRR	13,37 %

Tabela 29: Finančni kazalniki investicije
(Lastni vir)

6.7.3 Kazalnik gospodarnosti

Kazalnik gospodarnosti E je razmerje med skupnimi donosi in skupnimi odhodki investicije. Za sprejemljivo investicijo mora biti kazalnik učinkovitosti večja od 1, da so koristi večji od stroškov investicije.

Zahtevana stopnja donosnosti	4 %
Količnik gospodarnosti E	1,6

Tabela 30: Kazalnik gospodarnosti
(Lastni vir)

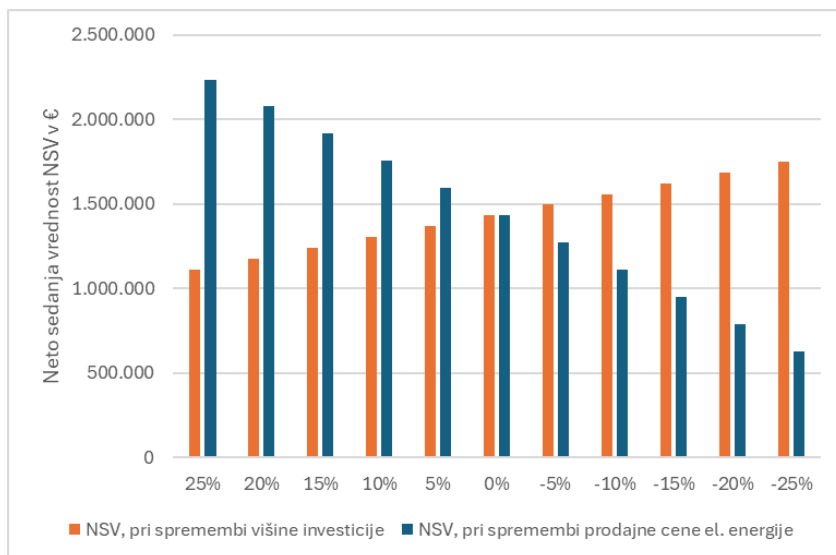
6.8 Analiza občutljivosti

Namen analize občutljivosti je določiti tiste spremenljivke, zaradi katerih se NSV in IRR najbolj spremenita. Analizo občutljivosti investicije smo pripravili ob predpostavki, da se spremenijo višina investicije, cena električne energije ter proizvedena letna električna energija. (glej Prilogi 4 in 5) Analiza občutljivosti je pokazala, da je za kazalnika NSV ter IRR najbolj kritična spremenljivka višina investicijske vrednosti, medtem ko imata sprememba proizvodnje električne energije in sprememba prodajne cene električne energije skoraj enak vpliv.

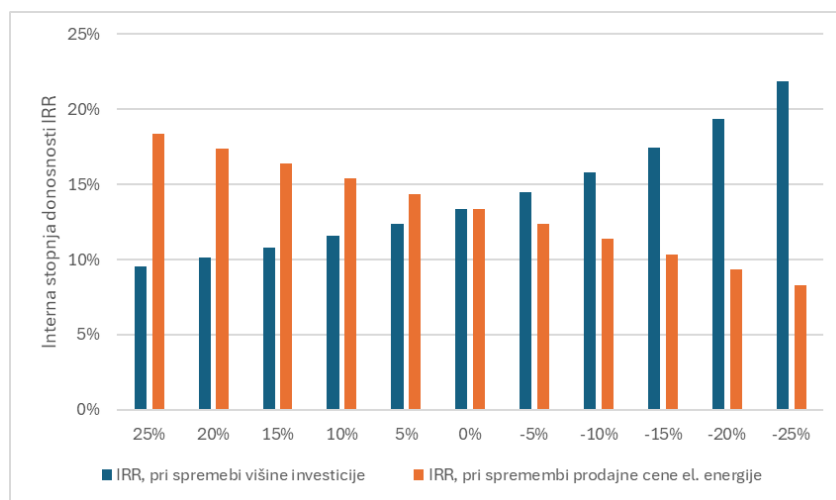
Sprememba	Sprememba višine investicije			Sprememba prodajne cene električne energije		
	Interna diskontna stopnja IRR	Neto sedanja vrednost NSV	Doba vračanja	Interna diskontna stopnja IRR	Neto sedanja vrednost NSV	Doba vračanja
25%	9,54%	1.114.536	12	18,37%	2.236.324	7,43
20%	10,14%	1.178.026	11,6	17,37%	2.075.457	7,74
15%	10,80%	1.241.517	11	16,37%	1.914.590	8,08
10%	11,55%	1.305.007	10,5	15,37%	1.753.723	8,90
5%	12,40%	1.368.498	10	14,38%	1.592.856	8,90
0%	13,37%	1.431.988	9,4	13,37%	1.431.988	9,39
-5%	14,50%	1.495.479	8,9	12,37%	1.271.121	9,97
-10%	15,83%	1.558.970	8,3	11,37%	1.110.254	10,64
-15%	17,42%	1.622.460	7,78	10,35%	949.387	10,64
-20%	19,37%	1.685.951	7,2	9,33%	788.520	12,39
-25%	21,84%	1.749.441	6,7	8,30%	627.653	13,55

Tabela 31: NSV in IRR v odvisnosti od spremembe vrednosti investicije in spremembe cene električne energije
(Lastni vir)

Na Slikah 24 in 25 sta prikazana kazalnika NSV in IRR v odvisnosti od spremembe investicije in spremembe cene električne energije.



Slika 24: Kazalnik NSV glede na spremembo kritičnih spremenljivk (Lastni vir)



Slika 25: Kazalnik IRR glede na spremembo kritičnih spremenljivk (Lastni vir)

7 ZAKLJUČKI

Mala hidroelektrarna Mrzla Rupa, ki obratuje že od leta 1989, zaradi iztrošenosti opreme in zastarelih tehničnih rešitev ne dosega optimalnih izkoristkov, prihaja do pogostih nepredvidenih zaustavitev, izpadov proizvodnje ter slabše izkoriščenosti hidroenergetskega potenciala zgornjega toka reke Idrijce. Vse to je privedlo lastnika do razmišljanja o rekonstrukciji mHE.

Meritve energetskih izkoristkov male hidroelektrarne Mrzla Rupa so bile ključne za natančno oceno stanja opreme in načrtovanje obsega rekonstrukcije. Najpomembnejši izsledki teh meritev so pokazali, da je izkoristek turbine le 82 %, kar je bistveno pod izkoristkom sodobnih turbin, ki dosegajo izkoristke do 90 %. Z izmerjenimi izkoristki turbine in generatorja pri različnih pretokih in močeh smo pridobili pomembne parametre, ki bodo služili kot podlaga za izbiro nove opreme. Ti podatki omogočajo, da se bo izbira nove turbine in generatorja prilagodila glede na specifične obratovalne pogoje elektrarne, kar omogoča optimalno delovanje v celotnem razponu pretokov. Na ta način lahko nova oprema doseže največjo učinkovitost pri dejanskih obratovalnih razmerah, kar bo še dodatno izboljšalo zanesljivost in energetsko učinkovitost elektrarne po prenovi. Na podlagi teh meritev se bo lahko izbrala strojno in elektro oprema, ki bo omogočala optimalno izrabo hidroenergetskega potenciala reke Idrijce v zgornjem toku, ter skladno z današnjimi veljavnimi standardi. Z izbiro opreme, ki ustreza sodobnim standardom, se predvideva povečanje skupne moči turbine in generatorja za približno 9 %.

Izračuni izgub v cevovodu so pokazali, da je cevovod v dobrem stanju, zato se lahko investicijo v obnovo mHE Mrzla Rupa omeji na zamenjavo elektro in strojne opreme v strojnici ter rekonstrukcijo vtoka na zajetju.

Poleg tehničnih in ekonomskih koristi projekt rekonstrukcije male hidroelektrarne nosi tudi širši pomen v okviru nacionalnega energetskega in podnebnega načrta Republike Slovenije, ki si prizadeva za zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov ter postopno opuščanje fosilnih goriv. Ta projekt podpira cilje EU, ki vključujejo povečano uporabo obnovljivih virov energije in dosego ogljične nevtralnosti do leta 2050.

Hidroenergija kot stabilen in okolju prijazen obnovljiv vir igra veliko vlogo pri tem prehodu. Prenova mHE Mrzla Rupa bo prispevala k zmanjšanju izpustov toplogrednih plinov in k večji učinkovitosti rabe naravnih virov. Poleg tehničnih izboljšav je pomembno tudi ekološko ohranjanje naravnega okolja, saj rekonstrukcija omogoča trajnostno in okolju prijazno izkoriščanje reke Idrijce.

8 LITERATURA IN VIRI

Agencija Republike Slovenije (2024). *Zadnji podatki samodejnih hidroloških postaj*. Pridobljeno 12.8. 2024 z naslova https://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php?p_vodotok=ldrijca&p_postaja=8350&p_let=2014&b_arhiv=Prika%C5%BEi

Agencija Republike Slovenije (2024). *Atlas okolja* Pridobljeno 9.8.2024 z naslova https://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso

Balluff Inc. (b. d.). *BKT000H*. Pridobljeno 15. 8. 2024 z naslova <https://www.balluff.com/en-us/products/BKT000H>

Circutor (b. d.). *CVM - 144*. Pridobljeno 16. 8 2024 z naslova <https://circutor.com/en/advanced-search/?search=CVM-144>

Čaplo, R. (2005). *Računovodski vidik zakon o davku od odhodkov pravnih oseb in njegova uporaba pri davčnem poslovanju podjetij*. Magistrska naloga, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta. Pridobljeno 22. 8. 2024 z naslova <https://repozitorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=8585>

Dular, M, Hočevar, M. (2015). *Uvod v hidroenergetske sisteme*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.

Eltratec d.o.o. (12. 8. 2024). *Merilnik nivoja ali tlaka PPI 110*. Pridobljeno 12.8.2024 z naslova <https://www.eltratec.com/tlak-nivo/merilnik-nivoja-ali-tlaka-ppi-110/>

Endress+Hauser AG. (2024). *Proline Prosonic Flow 93T ultrasonic flowmeter*. Pridobljeno z naslova <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/ultrasonic-flowmeter-prosonic-flow-93t?t.tabId=product-overview>

Ministrstvo za okolje in prostor. (2024). *Določitev višine vodnega povračila za osnovne vodnih povračil za rabo vode, naplavin in vod*. Pridobljeno 15. 10 2024, z naslova <https://www.energetika-portal.si/nc/novica/n/dolocitev-visine-vodnega-povracila-za-osnove-vodnih-povracil-za-rabo-vode-naplavin-in-vod-2157/>

Ministrstvo za okolje in prostor. (2024). *Nacionalni energetske podnebni načrt Republike Slovenije*. Pridobljeno 5. 9. 2024, z naslova <https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/nepn/dokumenti/>

Grošelj, J. (2024). *Štiri poglavja iz numerične analize. Gradivo za študente praktične matematike*, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko.

International Electrotechnical Commission. (1991). *Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines*. Pridobljeno 10.9.2024 z naslova <https://webstore.iec.ch/en/publication/154>

International Electrotechnical Commission. (1999). *Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Model acceptance tests*. Pridobljeno 10.9.2024 z naslova www.saiglobal.com/PDFTemp/Previews/OSH/iec/iec60000/60100/iec60193%7Bed2.0%7Den_d.pdf

Klemen, M. (2008). *Osnovna gravimetrična mreža Republike Slovenije*. Magistrska naloga, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za grabeništvo in geodezijo. Pridobljeno 12. 8. 2024 z naslova <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?lang=slv&id=27849>

Kübler Group. (2024). *Draw-wire encoders*. Pridobljeno 19. 8. 2024 z naslova <https://www.kuebler.com/en/products/measurement/linear-measuring-systems/product-finder/product-details/A50>

Limnos. (2008). *Določitev ekološko sprejemljivega pretoka za reko Idrijco na področju odvzema vode za mHe Mrzla Rupa*. Ljubljana.

Matern.si. (2019). *Hidrostatični merilniki nivoja*. Pridobljeno 18. 9. 2024 z naslova https://www.matern.si/Prodajni_program/Merilniki_nivoja_izdelki/314

National Instruments. (2024). *NI-9205*. Pridobljeno 12.8.2024 z naslova <https://www.ni.com/sl-si/shop/model/ni-9205.html>

National Instruments (2024). *NI-9203*. Pridobljeno 12. 8. 2024 z naslova <https://www.ni.com/sl-si/shop/model/ni-9203.html>

Orel, B. (1992). *Energetski pretvorniki 1*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo.

Radek, Z. (2014). *Finančna ocena naložbene priložnosti z uporabo dinamičnih metod neto sedanje vrednosti in interne stopnje donosnosti na primeru vlaganja v komunalno infrastrukturo*. Journal of Innovative Business and Management 6. Pridobljeno 13.9.2024 z naslova <https://journal.doba.si/OJS/index.php/jimb/article/view/126/140>

Soške elektrarne Nova Gorica d.o.o. (2023). *Obratovalna navodila mHE Mrzla Rupa (interni vir)*. Nova Gorica: Soške elektrarne Nova

Soške elektrarne Nova Gorica. (2024). *Velike hidroelektrarne*. Pridobljeno 3. 8. 2024 z naslova <https://www.seng.si/hidroelektrarne/>

Soške elektrarne Nova Gorica. (2022). *rekonstrukcija mHE Mrzla Rupa*. Nova Gorica

Šolc, L. (1981). *Zgradimo majhno elektrarno 1. , 2. del*. Ljubljana: Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije.

Šolc, L. (1981). *Zgradimo majhno elektrarno 1.,2. del*. Ljubljana: Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije.

Šolc, L. (1983). *Zgradimo majhno elektrarno 3.del*. Ljubljana: Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije.

Tovarna meril kovine d.d. (2024). Cevna libela - Model LC s PVC cevjo.

Pridobljeno 10. 8. 2024 z naslova <https://www.tm-kovine.si/Izdelki/Vodne-tehtnice-libele/category/vodne-tehtnice-libele/cevna-libela-model-lc-s-pvc-cevjo>

Turboinštitut. (2014). *HE DOBLAR 1 Meritve maksimalne moči agregata št. 2*. Ljubljana: Turboinštitut.

Uradni list Republike Slovenije. (2024). *Uredba o spremembah in dopolnitvah uredbe o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ (UL RS, št. 1079/2024)*. Pridobljeno 15. 10 2024, z naslova <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2016-01-1079/uredba-o-spremembah-in-dopolnitvah-uredbe-o-enotni-metodologiji-za-pripravo-in-obravnavo-investicijske-dokumentacije-na-podrocju-javnih-financ>

Uršič, M. (2009). *Prispevek k analizi hidravličnih trenjskih izgub za tok pod tlakom v ceveh krožnega prereza*. Doktorska disertacija, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Pridobljena 18. 9. 2024 z naslova <https://repositorij.uni-lj.si/Dokument.php?id=83417>

PRILOGE

Priloga 1: Nastavitve merilnika pretoka.

Priloga 2: Kulisa odpiranja igel.

Priloga 3: Izkoristki primerljivega generatorja.

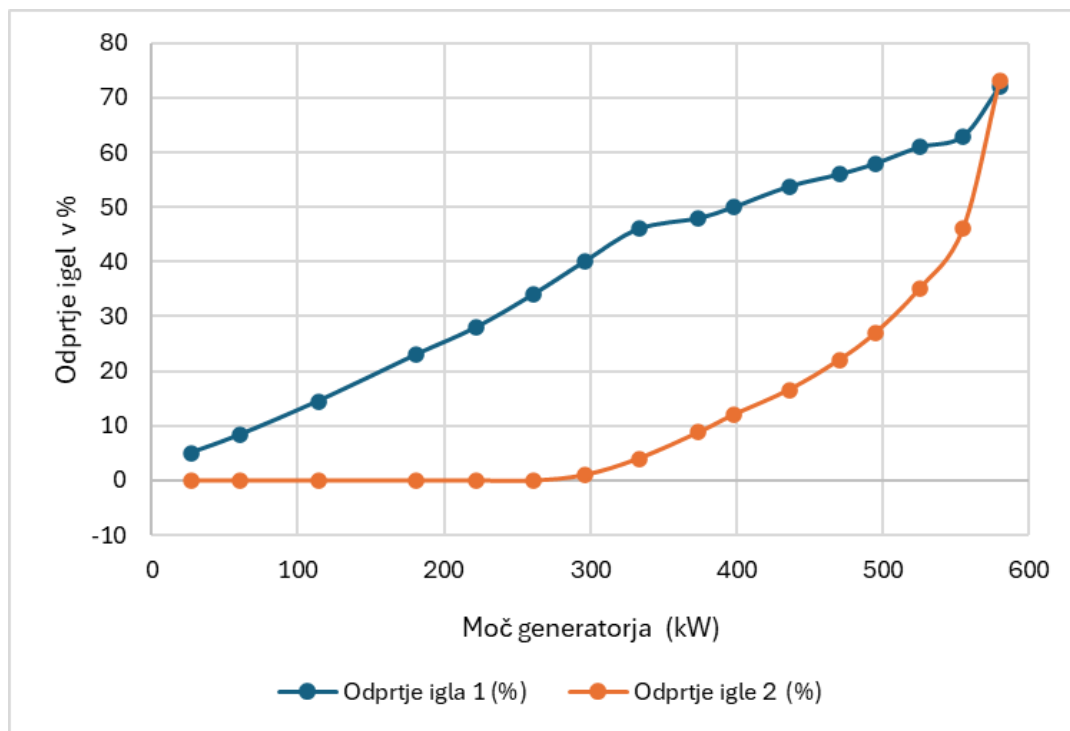
Priloga 4: NSV in IRR pri spremembah kritičnih spremenljivk.

Priloga 5: Prihodki od prodaje električne energije.

Priloga 1: Nastavitve merilnika pretoka

WALL THICKNESS	6,3 mm				
LINER THICKNESS	0,1 mm				
PIPE DIAMETER	457,2 mm				
CIRCUMFERENCE	1436 mm				
SOUND VEL. PIPE	3230 m/s				
SOUND VEL. LIQ.	1449 m/s				
SOUND VEL. LINER	2000 m/s				
TEMPERATURE	9 °C				
SENSOR DISTANCE	492,4 mm				
SENSOR CONFIG.		2			
WIRE LENGTH	-				
SERIAL NUMBER	LC03AA02000				
LOG NAME	NMR1A				
SYSTEM DATE/TIME	VOLUME FLOW CH1 [l/s]	SOUND VELOC. CH1 [m/s]	FLOW VELOC. CH1 [m/s]	SIG.STRENGTH CH1 [dB]	
7.12.2022 11:54	442,938	1454,36	2,85552	82,7833	
7.12.2022 11:54	443,976	1454,35	2,86284	82,646	
7.12.2022 11:54	444,15	1454,36	2,86368	82,7453	
7.12.2022 11:54	443,212	1454,38	2,85651	82,658	
7.12.2022 11:55	436,283	1454,35	2,81294	82,6312	

Priloga 2: Kulisa odpiranja igel

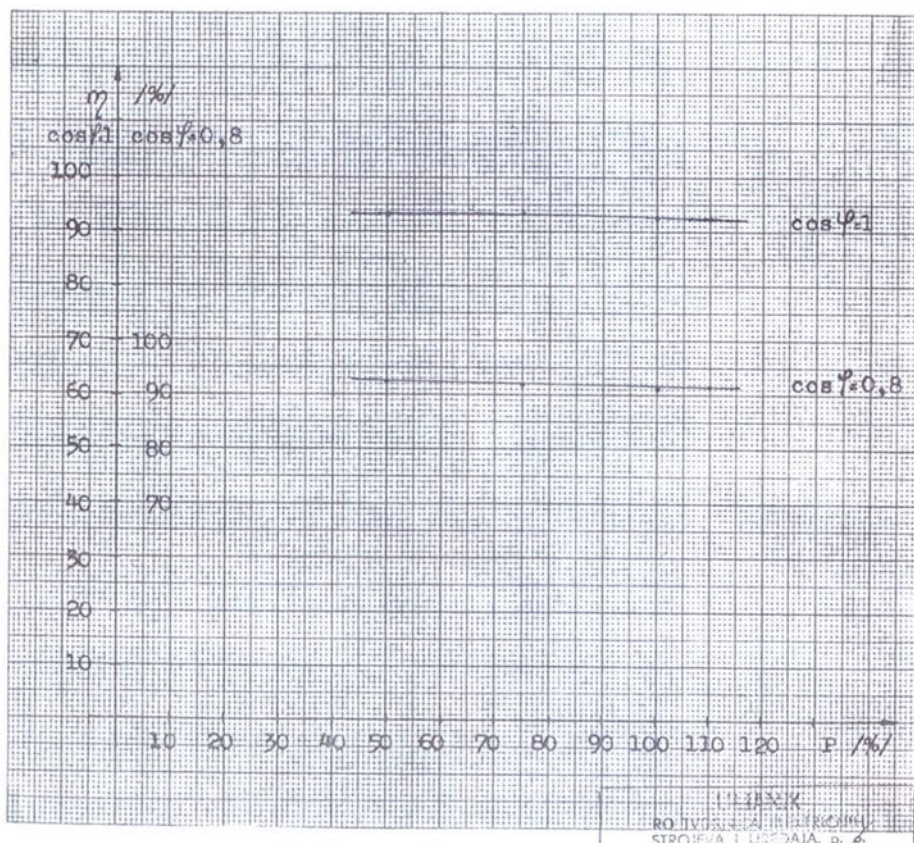


Priloga 3: Merilni list izkoristkov primerljivega generatorja

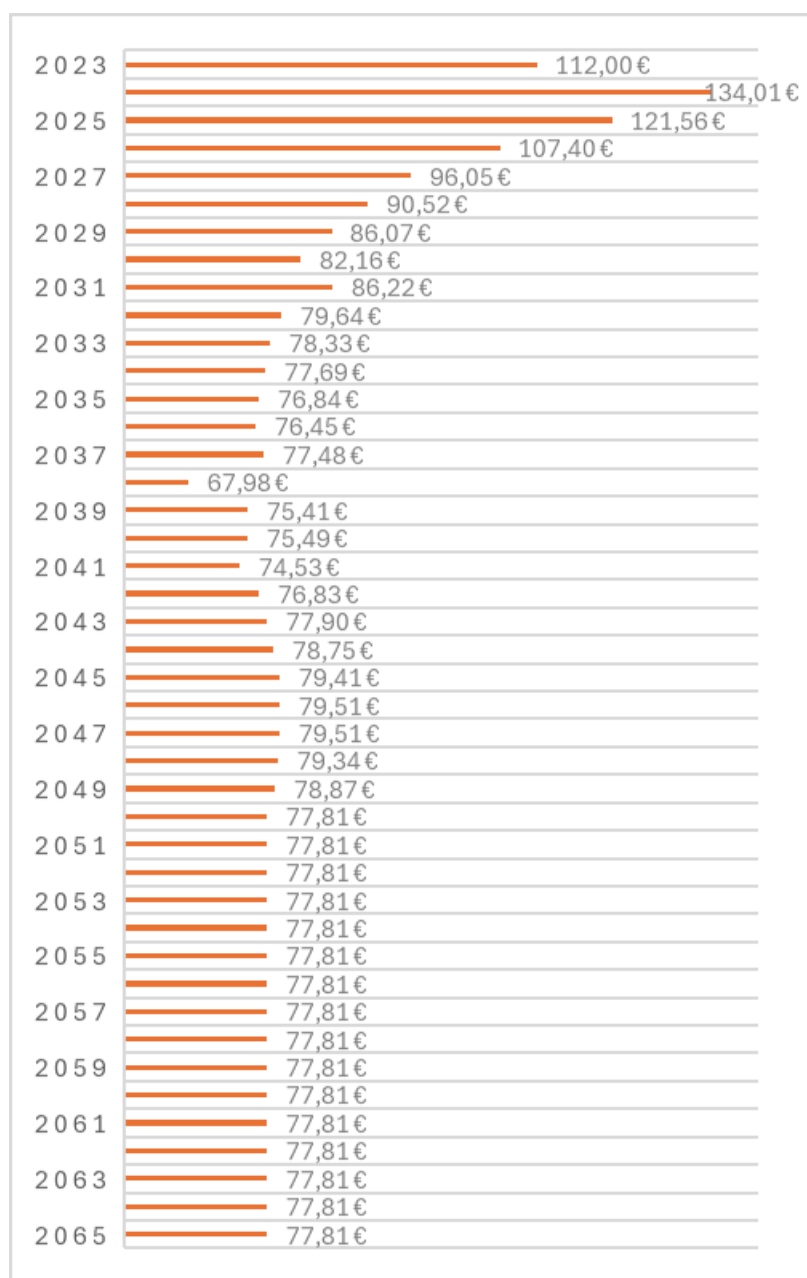
JLJANIK RO TESU	ISFITIVANJE GENERATORA TIF S7 12 6 tv.br.901020.1	Prilog: 3	
		List: 1	
		Ukupno listov:	

KRIVULJA KORISNOSTI

Snaga P(%)	faktor korisnosti η (%)	
	COS PHI = 1	COS PHI = 0,8
50	0,931	0,9288
75	0,933	0,921
100	0,927	0,912
110	0,925	0,914



Priloga 4: Dolgoročna projekcija prodajnih cen električne energije



Priloga 5: Prihodki od prodaje električne energije. Cena el. energije je temelji na osnovi dolgoročne projekcije prodajnih cen električne energije, ki smo jih pridobili od Seng d.o.o.

Prihodki brez investicije				Prihodki z investicijo			
Leto	Cena MWh	Letna proizvodnja el. Energije MWh	Prihodek v €	Leto	Cena MWh	Letna proizvodnja el. Energije MWh	Prihodek v €
2023	112,00	1.800	201.600	2023	112,00	1.800	201.600
2024	134,01	1.800	241.218	2024	134,01	1.800	241.218
2025	121,56	1.800	218.808	2025	121,56	750	91.170
2026	107,40	1.800	193.320	2026	107,40	2.160	231.984
2027	96,05	1.800	172.890	2027	96,05	2.160	207.468
2028	90,52	1.800	162.936	2028	90,52	2.160	195.523
2029	86,07	1.800	154.926	2029	86,07	2.160	185.911
2030	82,16	1.800	147.888	2030	82,16	2.160	177.466
2031	86,22	1.800	155.196	2031	86,22	2.160	186.235
2032	79,64	1.800	143.352	2032	79,64	2.160	172.022
2033	78,33	1.800	140.994	2033	78,33	2.160	169.193
2034	77,69	0	0	2034	77,69	2.160	167.810
2035	76,84	0	0	2035	76,84	2.160	165.974
2036	76,45	0	0	2036	76,45	2.160	165.132
2037	77,48	0	0	2037	77,48	2.160	167.357
2038	76,98	0	0	2038	76,98	2.160	166.277
2039	76,86	0	0	2039	76,86	2.160	166.018
2040	75,41	0	0	2040	75,41	2.160	162.886
2041	75,49	0	0	2041	75,49	2.160	163.058
2042	74,53	0	0	2042	74,53	2.160	160.985
2043	76,83	0	0	2043	76,83	2.160	165.953
2044	77,90	0	0	2044	77,90	2.160	168.264
2045	78,75	0	0	2045	78,75	2.160	170.100
2046	79,41	0	0	2046	79,41	2.160	171.526
2047	79,51	0	0	2047	79,51	2.160	171.742
2048	79,34	0	0	2048	79,34	2.160	171.374
2049	78,87	0	0	2049	78,87	2.160	170.359
2050	77,81	0	0	2050	77,81	2.160	168.070
2051	77,81	0	0	2051	77,81	2.160	168.070
2052	77,81	0	0	2052	77,81	2.160	168.070
2053	77,81	0	0	2053	77,81	2.160	168.070
2054	77,81	0	0	2054	77,81	2.160	168.070
2055	77,81	0	0	2055	77,81	2.160	168.070
2056	77,81	0	0	2056	77,81	2.160	168.070
2057	77,81	0	0	2057	77,81	2.160	168.070
2058	77,81	0	0	2058	77,81	2.160	168.070
2059	77,81	0	0	2059	77,81	2.160	168.070
2060	77,81	0	0	2060	77,81	2.160	168.070
2061	77,81	0	0	2061	77,81	2.160	168.070
2062	77,81	0	0	2062	77,81	2.160	168.070
2063	77,81	0	0	2063	77,81	2.160	168.070
2064	77,81	0	0	2064	77,81	2.160	168.070
2065	77,81	0	0	2065	77,81	2.160	168.070