

Hidroelektrana Peruća

Vukorepa, Eva

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:456049>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-28**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD
HIDROELEKTRANA PERUĆA

Eva Vukorepa

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD
HIDROELEKTRANA PERUĆA

Mentor:

prof. dr. sc. Eva Ocvirk

Student:

Eva Vukorepa

Zagreb, 2023.

IZJAVA O IZVORNOSTI

Izjavljujem da je moj završni rad izvorni rezultat mog rada i da sam se pri izradi koristila samo izvorima navedenim u literaturi i podacima prikupljenim za vrijeme posjeta akumulaciji, brani i hidroelektrani Peruća.

PODACI ZA DIGITALNI REPOZITORIJ

Naslov:	Hidroelektrana Peruća
Title:	Hidro Power Plant Peruća
Fakultet:	Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Zavod:	Zavod za hidrotehniku
Vrsta objave:	Završni rad
Kolegij:	Hidrotehničke građevine
Autor:	Eva Vukorepa
Mentor(i):	Prof.dr.sc. Eva Ocvirk
Komentor:	
Godina objave:	2023.
Datum obrane:	26.9
Broj stranica:	22
Sažetak:	<p>U ovome završnom radu opisana je hidroelektrana Peruća sa svim elementima sustava: brana, akumulacija i sama strojarnica.</p> <p>U uvodnom dijelu rada opisan je sliv i tok rijeke Cetine te je objašnjen hidroenergetski sustav rijeke. U idućim poglavljima pobliže je objašnjen značaj i funkcija akumulacijskog jezera, te njegova gradnja. Opisan je tijek gradnje i karakteristike brane, te oštećenja nakon miniranja. Naveden je tijek obnove i sanacije brane. Opisan je rad same hidroelektrane Peruća.</p>
Abstract:	<p>In this final paper, the hydroelectric power plant Peruća is described with all of its system elements: the dam, reservoir and the engine room itself. In the introductory part of this paper, the basin and flow of river Cetina is described along with its hydropower. In the following chapters the importance and the function of the reservoir lake as well as its construction are described in more detail. The construction process and characteristics of the dam are described as well as the damage occurred after mining. The course of reconstruction and sanation is named as well as the work of the hydroelectric power plant Peruća.</p>
Ključne riječi:	Hidroenergetski sustav rijeke Cetine, hidroelektrana Peruća, brana Peruća, akumulacija Peruća, oštećenja, obnova
Keywords:	Hydro power plants on river Cetina, HPP Peruća, Peruća dam

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici prof. dr. sc. Evi Ocvirk na uputama o izradi završnog rada i savjetima vezanim za isti. Zahvaljujem djelatnicima HEP Proizvodnja d.o.o. na obilasku brane, jezera i HE Peruća te objašnjenju rada čitavog sustava.



TEMA ZAVRŠNOG ISPITA

Ime i prezime studenta:

JMBAG:

Završni ispit iz predmeta:

Naslov teme
završnog ispita:

HR	
ENG	

Opis teme završnog ispita:

Datum:

Komentor:

(Ime i prezime komentora)

Mentor:

(Ime i prezime mentora)

(Potpis mentora)

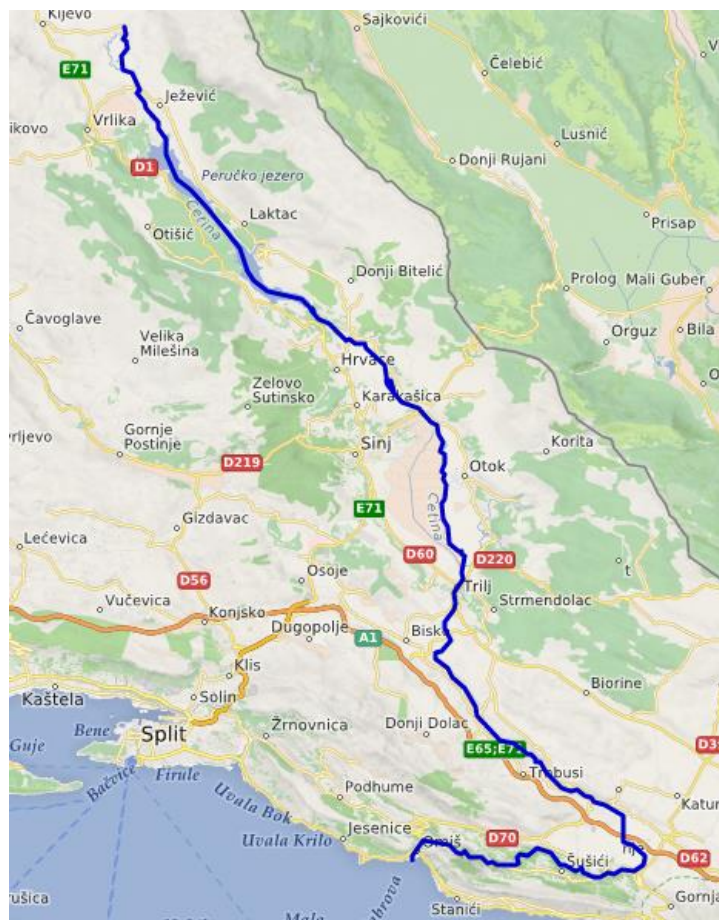
Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. Rijeka Cetina.....	1
1.2. Hidroelektrane na Cetini.....	2
2. AKUMULACIJA PERUĆA	4
2.1. Značaj akumulacije Peruća	4
2.2. Gradnja akumulacije Peruća	6
3. BRANA PERUĆA	7
3.1. Gradnja brane Peruća i njezine karakteristike	7
3.2 Oštećenje brane Peruća	10
3.3 Sanacija brane Peruća	11
4. HIDROELEKTRANA PERUĆA	15
4.1 Opći podatci o HE Peruća	15
4.2 Postrojenje HE Peruća	17
4.3 Obilazak hidroelektrane, brane i akumulacijskog jezera	19
5. ZAKLJUČAK	21
6. LITERATURA	22

1. UVOD

1.1. Rijeka Cetina

Rijeka Cetina nalazi se u Splitsko-dalmatinskoj županiji i pripada slivu Jadranskog mora. Izvori rijeke su na sjeverozapadnim obroncima Dinare, kod sela Cetina, sjeverno od grada Vrljike (slika 1) na nadmorskoj visini od 385 m, a ukupno ih je pet. Ušće rijeke nalazi se kod grada Omiša. Ukupan pad rijeke od izvora do ušća iznosi 380m, a gotovo trećina te visine otpada na slapove Gubavica. Cetina je najduža i vodom najbogatija rijeka u Dalmaciji. Njezina duljina iznosi 100,5 km, a površina sliva iznosi 4119 km². Iako je rijeka Cetina cijelom dužinom nalazi u Hrvatskoj, 2656 km² njezina sliva nalazi se u Bosni i Hercegovini, a 1463 km² u Hrvatskoj (slika 2). Sliv Cetine sa svojim srednjim protokom na ušću od 102 m³/s najvažniji je i najznačajniji energetska sliv u Hrvatskoj u svim vremenskim razdobljima. Cetina je bujičnog karaktera, a za krško područje u kojem se nalazi karakteristično je postojanje razgranatog podzemnog toka i retencija [1].



Slika 1 - Prikaz toka rijeke Cetine [2].



Slika 2 - Hidrogeološko područje Cetine [3].

1.2. Hidroelektrane na Cetini

Hidroelektrane su hidrotehničke građevine za proizvodnju električne energije. One su značajan, obnovljiv i siguran izvor električne energije. Pružaju mogućnost točnog predviđanja buduće proizvodnje što omogućuje dobro planiranje, organizaciju i optimizaciju u kombinaciji s drugim izvorima. Prema tipovima hidroelektrane mogu biti protočne (bez ili s malom satnom/dnevnom akumulacijom) ili akumulacijske (s akumulacijom, branom, vodenom komorom, zahvatom, gravitacijskim dovodom, zasunskom komorom, tlačnim cjevovodom, strojnarnicom i sustavom odvodnje vode) [4].

Snaga rijeke Cetine je vrlo dobro iskorištena te su na njoj nalazi pet hidroelektrana: HE Kraljevac, HE Peruća, HE Zakućac, HE Orlovac i HE Đale. Prva hidroelektrana na rijeci Cetini je HE Kraljevac. Izgrađena je 1912.godine. Ona iskorištava pad slapa Gubavice, najvećeg koncentriranog potencijala Cetine, a nalazi se u donjem dijelu toka. To je protočna visokotlačna derivacijska hidroelektrana. Njezina snaga je 46,4 MW, a prosječna godišnja proizvodnja električne energije iznosi 40 GWh. Prilikom projektiranja i dimenzioniranja koristio se srednji protok od $80 \text{ m}^3/\text{s}$. Nakon izgradnje HE Zakućac na ušću i HE Orlovac 1973.godine na rijeci Rudi, dotok vode prema HE Kraljevac je znatno smanjen te je danas srednji protok vode približno $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Među hidroelektranama na Cetini najjača je HE Zakućac koje je i najveća HE u Hrvatskoj. To je visokotlačna derivacijska hidroelektrana. Predstavlja najveće postrojenje na rijeci Cetini. Njezina snaga iznosi 486 MW, a prosječna godišnja proizvodnja 1448 GWh. Slijedi je HE Orlovac čija snaga iznosi 237 MW, a prosječna godišnja proizvodnja 440 GWh. Ona je također visokotlačna derivacijska hidroelektrana. Tehnološki je spojena s hidroenergetskim sustavom akumulacija i retencije Buško blato u Bosni i Hercegovini, a koristi vode šireg sliva rijeke Cetine. Elektrane Đala i Peruća znatno su slabije. HE Đala ima snagu od 40,6 MW, a HE Peruća od 60 MW dok im je prosječna godišnja proizvodnja 128 i 120 GWh. To je protočna niskotlačna pribranska hidroelektrana. HE Peruća je akumulacijska pribranska hidroelektrana prvotne snage 41.6 MW [1].

2. AKUMULACIJA PERUĆA

2.1. Značaj akumulacije Peruća

Akumulacije su hidrotehničke građevine koje služe za prikupljanje odnosno skladištenje vode kada je ima u izobilju da bi se koristila u vrijeme nedostatka iste.

Perućko jezero treće je po veličini jezero u Hrvatskoj, odmah nakon Vranskog i također umjetnog Dubravačkog jezera na rijeci Dravi u Međimurju (slika 3). Njegova površina iznosi 20 km². Pri usporu od 60 m ostvaruje akumulaciju od 541mil m³. Smješteno je u gornjem dijelu toka rijeke Cetine, uzvodno od Hrvatačkog polja. Korisni volumen jezera iznosi oko 36 posto srednjeg godišnjeg volumena dotoka te tako znatno utječe na poravnanje protoka Cetine na nizvodnom potezu od Sinjskog polja do Jadranskog mora. Smještaj brane Peruća i Perućkog jezera u gornjem dijelu toka rijeke Cetine bio je s ciljem reguliranja njezina protoka. Zajedno s jezerom Buško blato usklađuje protok čitavog sliva kako bi se postigla što veća proizvodnja električne energije u HE Zakućac. Osim u proizvodnji električne energije, doprinosi u zaštiti od poplava područja od 15000 ha. Gradnjom akumulacije Peruća započelo je formiranje današnjeg hidroenergetskog sustava rijeke Cetine [1].



Slika 3 - Perućko jezero [4].

Sada već davne 2003.godine dogodilo se zadnje presušivanje akumulacijskog jezera Peruća. Sušno razdoblje bez kiše zahvatilo je područje Cetinskog kraja i susjedne Bosne i Hercegovine. Tada su na dnu akumulacije bili vidljivi ostatci nekadašnje najstarije cetinske hidroelektrane „Vice Buljan“ koja je izgrađena nakon Drugog svjetskog rata za potrebe stanovništva područja Vrlike. Bili su vidljivi ostatci starih naselja koji su već desetljećima i do trideset metara pod vodom (slika 4) [5].



Slika 4 – Potopljeni ostatci starih naselja [5].

2.2. Gradnja akumulacije Peruća

Akumulacija Peruća prvo je akumulacijsko jezero u krškom terenu. U vrijeme samog planiranja projekta bili su rijetki koji su vjerovali u njegov uspjeh. Vladalo je mišljenje da se gradnjom akumulacije u krškom terenu voda ne može usporiti. Dotadašnji neuspjesi sličnih projekata čija su rješenja donošena bez odgovarajućih i nužnih geotehničkih i geoloških podloga bili su razlogom takvih stavova. Na kreatorima ovog projekta bio je i zadatak uvjeriti kolege u stručnim krugovima u uspješnost samih istražnih radova u takvom krškom podzemlju. Izradi projekta i gradnji prethodili su temeljiti istražni radovi, istraživanja vodopropusnosti i vodostaja podzemnih voda. Planiranjem i realizacijom akumulacije Peruća postavljen je temelj geoloških i hidrogeoloških istraživanja u krškom području. Projekt brane i akumulacije Peruća potakle su nekadašnje *Dalmatinske hidroelektrane* iz Splita čiji je današnji pravni sljednik *HEP d.d.* Na prostoru današnjeg jezera nekada je bilo naseljeno područje. Gradnjom brane i akumulacije potopljeno je područje nekada bogato oranicama, šumama i vinogradima. Prostor je nacionaliziran, a stanovništvu su oduzete parcele bez naknade za izgublenu vrijednost. Dio stanovnika je preselio na više dijelove Svilaje, Dinare i Bijelog brda, dok je dio trajno napustio taj kraj [6].

3. BRANA PERUĆA

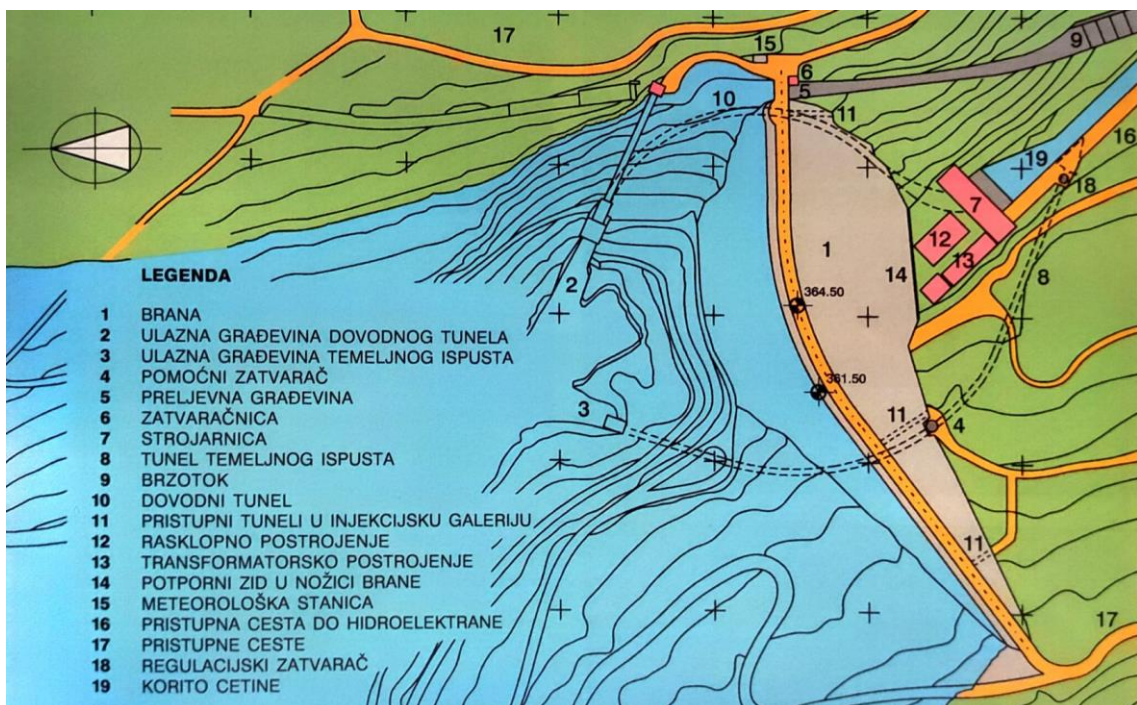
3.1. Gradnja brane Peruća i njezine karakteristike

Gradnja brane Peruća počela je 1956.godine na suženom dijelu kanjona rijeke Cetine, 25 km od izvora. Građena je po projektu tvrtki *Elektroprojekt* i *Geoistraživanja* iz Zagreba, a glavni projektanti bili su Boris Pavlin, dipl. ing. građ. i prof. dr. sc. Ervin Nonveiller te Krunoslav Begović, dipl. ing. el. Izvođači radova su bili tvrtke *Geotehnika* i *Konstruktor* [1]. Gradnja je trajala dvije godine. Konačna duljina u kruni nakon gradnje bila je 450 metara, visina u profilu Cetine 63 metara, a u dnu do 220 m. Brana je građena većinom od vodonepropusnih prirodnih materijala kao što je glina. Kredni vapnenci u brani na nekim mjestima prelaze debljinu od tisuću metara, a korišteni su i vododrživi dolomiti na nepropusnoj podlozi verfenskih škriljavaca iz donjeg trijesa. Uzvodna kosina je nagiba 1:1,45 i nasuta je krupnim kamenim blokovima zbog zaštite od djelovanja valova. Nizvodna kosina nasuta je sitnijim kamenim materijalom i uređena brnistrom, što se pokazalo kao izdržljiva i kvalitetna zaštita (slika 5). Volumen brane je 874 097 m³. Volumen kamenog nasipa iznosi 709,559 m³, filtarskih slojeva 46,976 m³, glinene jezgre 105,023 m³, a betone galerije 12,539 m³. Po vrsti brana Peruća je nasuta, s betonskom oblogom koja sprječava osipanje materijala. Na lijevoj strani su najveći problem bili jaki krški izvori koji se probijaju uzduž poprečnih tektonskih lomova. Nepropusna vododijelnica na dolomitskim naslagama s visokim razinama podzemnih voda koji ukazuju na vrlo malu mogućnost gubitka vode. Ispitivanjem bojom utvrđeno je da se gubici mogu zanemariti jer su vodostaji podzemnih voda viši od predviđenog uspora akumulacijskog jezera. Na desnoj strani sinklinala prelazi u antiklinalu Svilaje s nepropusnim krednim dolomitima [6].

Na brani se nalaze tri ispusta vode. Glavni ispust je u najnižoj točki brane u samom koritu rijeke, a reguliran je zaklopkom na hidraulički pogon. Pomoćni ispust je na desnoj strani brane, a sigurnosni ispust koji se koristi za preljev vode u vrijeme velikih vodostaja nalazi se u samoj kruni brane (slika 6). Kapacitet preljeva iznosi 120 m³/s [2].



Slika 5 – Prikaz brane, akumulacije i postrojenja [8].



Slika 6 – Situacija brane i čvora strojarnice [7].

Ispitivanja su pokazala da je na pregradnom profilu brane smještenom na uzvodnom kraju uskog kanjona vodopropusnost velika. Iz tog razloga napravljena je injekcijska zavjesa čija se dubina prema krajevima smanjuje. Na lijevom kraju iznosi 150 m, desnom 100 m, a po sredini doseže 200 m. U dijelovima najveće propusnosti izvedeno je troredno injektiranje, a prema krajevima dvoredno. Suha tvar korištena pri injektiranju je suspenzija gline i cementa. Po potrebi je umjesto gline korišten bentonit. Smjesi su dodavani kalcinirana soda i fini dolomitni pijesak. Utrošeno je 51 393 tone injekcijske smjese, od čega 14 493 tone cementa, 35 144 tone gline, 1260 tona bentonita, 282 tone sode i 216 tona dolomitnog pijeska. Za jedan metar injekcijske bušotine potrošeno je 368 kg suhe tvari. Izbušeno je 153 300 m injekcijskih bušotina na duljini zavjese od oko 1600 m. Nakon injektiranja utvrđeni gubitci na pregradnom profilu brane iznosili su 0,5 do 1 m³/s što je manje od predviđenih. Dio gubitaka se vraća u Cetinu u njenim nižim dijelovima i sudjeluju u proizvodnji energije u hidroelektranama na donjem toku Cetine [6].

3.2 Oštećenje brane Peruća

Dana 17. rujna 1991. godine pripadnici bivše JNA i srpske paravojske okupirali su područje akumulacijskog jezera, brane i HE Peruće. U preljevnoj građevini i kontrolnoj galeriji brane postavili su između 20 i 30 tona eksploziva koji su i aktivirali u noći s 27. na 28. siječnja. Prve vijesti nakon eksplozije nisu govorile ništa o veličini razaranja, ali snimke snimljene amaterskom kamerom iz daljine svjedočile su jačini eksplozije. Prvi uvid u stanje brane omogućile su snimke tadašnjeg *HTV Split* čiji se snimatelj uspio probiti do brane. O jačini eksplozije svjedoče i zabilježeni potresi magnitude 2,4 po Richteru na obližnjim seizmološkim stanicama u Trilju, Hvaru i Puntijarki [6].

Eksploziv je ošteti preljevnu građevinu izazvavši potpuno rušenje bočnog zida preljeva i dijela nasipa sve do zapornice. Uočeno je puzanje kamene zaštite na nizvodnom pokosu koji je zahtijevao hitno nasipavanje. Na kruni brane nastali su krateri promjera 25 do 30 metara i dubine 10 metara kroz koje je voda istjecala do injekcijske galerije. Na kruni brane nastala je pukotina u asfaltu dužine 77 metara. Zbog prodora vode kroz pukotine, došlo je do erozije brane. Poplavljeni su rasklopno postrojenje i strojarnica, a zbog obima oštećenja postojala je velika opasnost od samourušavanja brane [9]. Bočni zid preljeva je bio toliko pomaknut da je onemogućio zatvaranje zapornice, a na brani su bila vidljiva velika ulegnuća. Hitno je otvoren temeljni ispušni kanal te se pražnjenjem akumulacije rasteretila brana. Za brane nasutog tipa poznato je da su fleksibilnije i izdržljivije na potencijalna oštećenja nego one betonskog tipa, a upravo to je jedan od razloga zašto je brana Peruća izdržala tako velika oštećenja [6].

3.3 Sanacija brane Peruća

Odmah po smirenju situacije oko brane, mobilizirani su svi strojevi i kamioni za hitne intervencije okolnih područja. Angažirali su se svi kamioni *Poduzeća za ceste* iz Splita, strojevi poduzeća *Pomgrad* i okolnih privatnika. Vojska je dopustila pristup brani idućeg dana u 8 sati ujutro. Kretanje vozila po brani bilo je moguće samo po točno određenom pravcu zbog opasnosti od mina, a sama obnova bila je rizična. Materijal za zatrpavanje kratera i pukotina dovezio se kamionima iz 25 km udaljenog kamenoloma. Zatrpavanje se obavljalo buldožerom *D8 Caterpillar* s utovarivačem. Najvažnije je bilo zatrpati krater na lijevoj strani (slika 7), preko kojeg je bio jedini put do najoštećenijeg dijela brane na desnoj strani (slika 8). Zatrpavanje se obavilo guranjem materijala brane s obje strane buldožerom i nasipavanjem sitnim materijalom iz okoline. Za sanaciju kratera bilo je potrebno čak 1000 metara kubnih materijala, što bi značilo oko 150 punih kamiona. Kako je kretanje po brani bilo strogo ograničeno, kamioni su morali voziti unatraske, a za to bi svakom trebalo po 5 minuta. Zbog nedostatka vremena trebalo je napraviti reorganizaciju radova. Odlučeno je da se zatrpavanje lijevog kratera obavlja tako što se guranjem materijala s viših dijelova prema bočnom zidu preljeva osigura nasip te se potom zatrpava krater. Prva faza hitne sanacije oštećenja završena je istog dana u 11 sati i 10 minuta. Oko 12 sati istog dana počela je protjecati voda kroz desni pristupni tunel. Odmah je započelo mjerenje protoka i mutnoće vode, a tog dana istjecalo je 320 do najviše 570 m³/s. Takvo stanje je trajalo od 3. veljače sve do 12. veljače kada je tečenje u potpunosti prestalo. Za potrebe sanacije brane dovezeno je oko 3000 metara kubnih materijala. Nakon izvršenih zahvata, brana se svakodnevno temeljito pregledavala zbog opasnosti od novih pukotina ili pronalaska skrivenog eksploziva. Obavljena su prva geotehnička istraživanja i postavljeno 19 profila za mjerenje slijeganja na kruni brane. Naknadno je 31. siječnja 1993. nastao novi krater na nasutom dijelu brane, promjera 5 metara i dubine 4 metra, ali je brзом intervencijom saniran. 16. veljače 1993. nastala je kaverna na središnjem nizvodnom dijelu, promjera 5 metara i dubine 10 metara. Iako se ona s vremenom širila, zbog pogodnog vodostaja nije bilo potrebe za njenim zatrpavanjem. Projekt sanacije brane trebao je imati više varijanti temeljenih na opsežnim istražnim radovima, ali zbog konstantne opasnosti od neprijateljskih snaga i nedostatka vremena, od planiranog provedena su samo opažanja slijeganja. Tako je prva faza sanacija bila zasnovana samo na vizualnim promatranjima ponašanja brane nekoliko dana nakon miniranja. O izboru varijante sanacije odlučivao

je dvanaestočlani Stručni kolegij na čelu s Marinom Vilovićem, diplomiranim inženjerom građevinarstva.



Slika 7 – Krater na lijevom boku brane [7].

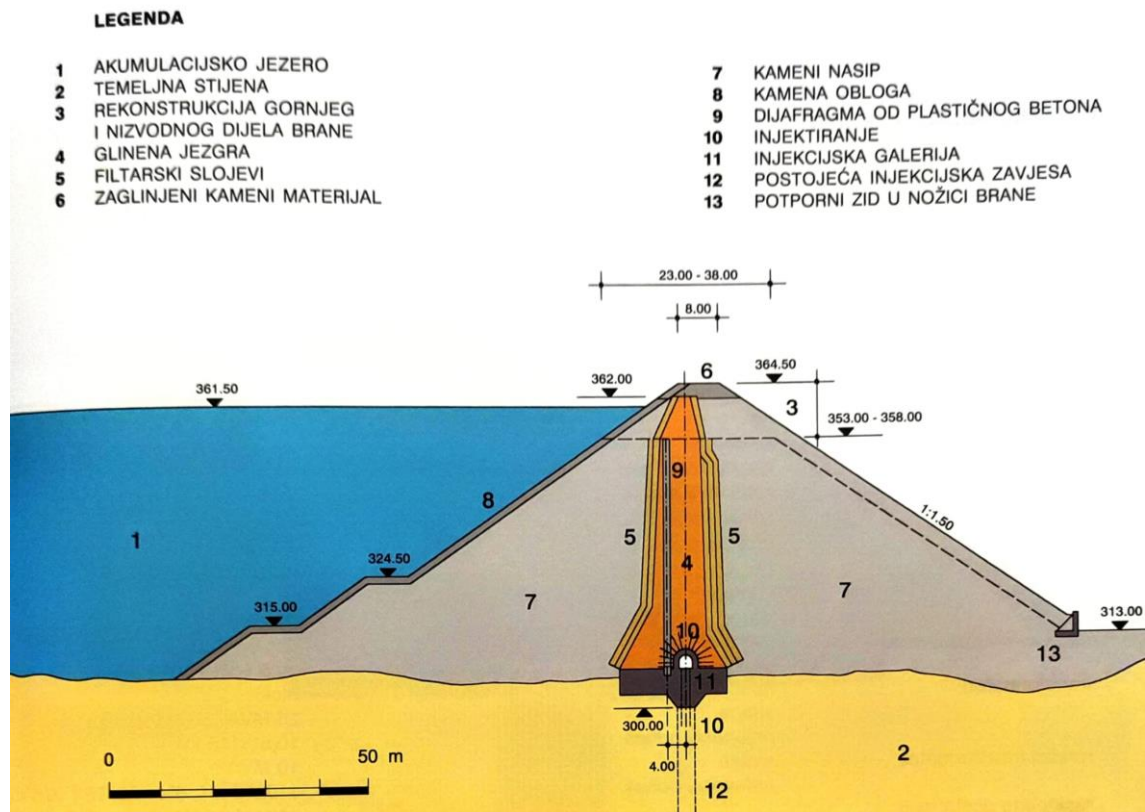


Slika 8 - Radovi na sanaciji desnog boka brane [7].

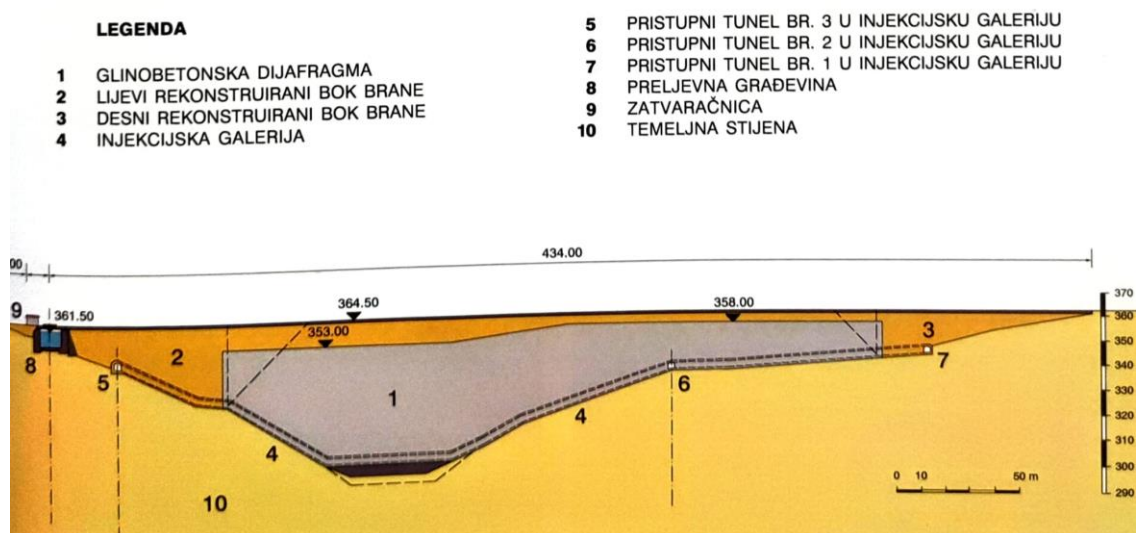
Poduzeće *Moho* iz Zagreba, za primijenjenu geofiziku, izvršilo je stroga geofizička istraživanja kojima su se utvrdila mjesta i razmjeri oštećenja. Pomoću brzine uzdužnih seizmičkih valova određeni su dijelovi brane s najvećim oštećenjima. Donji dijelovi u visini 5 do 10 metara, krajnji lijevi i desni dijelovi i središnji najviši dio. Mjerenjem protoka i mutnoće vode i brzine strujanja vode na uzvodnom pokosu, utvrđeno je da nije došlo do snažnije unutrašnje erozije. Mjerenja brzine strujanja obavio je *IGH* iz Splita, a protok i mutnoću *Institut za oceanografiju i ribarstvo* iz Splita. Ranije spomenuta opažanja slijeganja na 19 profila provodio je *Zavod za izmjeru zemljišta* iz Splita u razdoblju od 29. siječnja 1993. do 10. veljače 1994. godine. Sveukupno 377 dana. Zapažena su tri specifična razdoblja slijeganja. Prvo razdoblje s najvećim slijeganjem bilo je do 12. ožujka 1993. godine koje je bilo uzrokovano pražnjenjem akumulacijskog jezera. Drugo je razdoblje do 15. travnja 1993. Tad je slijeganje znatno usporilo i iznosilo svega 25 cm na godinu nakon čega u zadnjem razdoblju dolazi do iznosa 3 cm na godinu. Glinena jezgra bila je toliko uništena da više nije bila vododrživi element brane. Na lijevom kraju imala je oštećenje dugo 45 metara, središnjem dijelu 30 metara, a desnom 25 metara. Zahtijevala je sanaciju [6]. Brana je sanirana ugrađivanjem 256 metara duge glineno-betonske dijafragme, a akumulacijsko jezero je nakon toga moglo pohraniti 8% više vode. Obnova je potpuno dovršena krajem svibnja 1996. godine, a o cijelom pothvatu pričalo se na brojnim svjetskim konferencijama i seminarima [9]. Poprečni i uzdužni presjek brane nakon sanacije prikazani su na slici 10 i slici 11. Današnji izgled brane prikazan je na slici 9.



Slika 9 – Poprečni pogled na branu [8].



Slika 10 – Poprečni presjek brane nakon sanacije [7].



Slika 11 – Uzdužni presjek brane nakon sanacije [7].

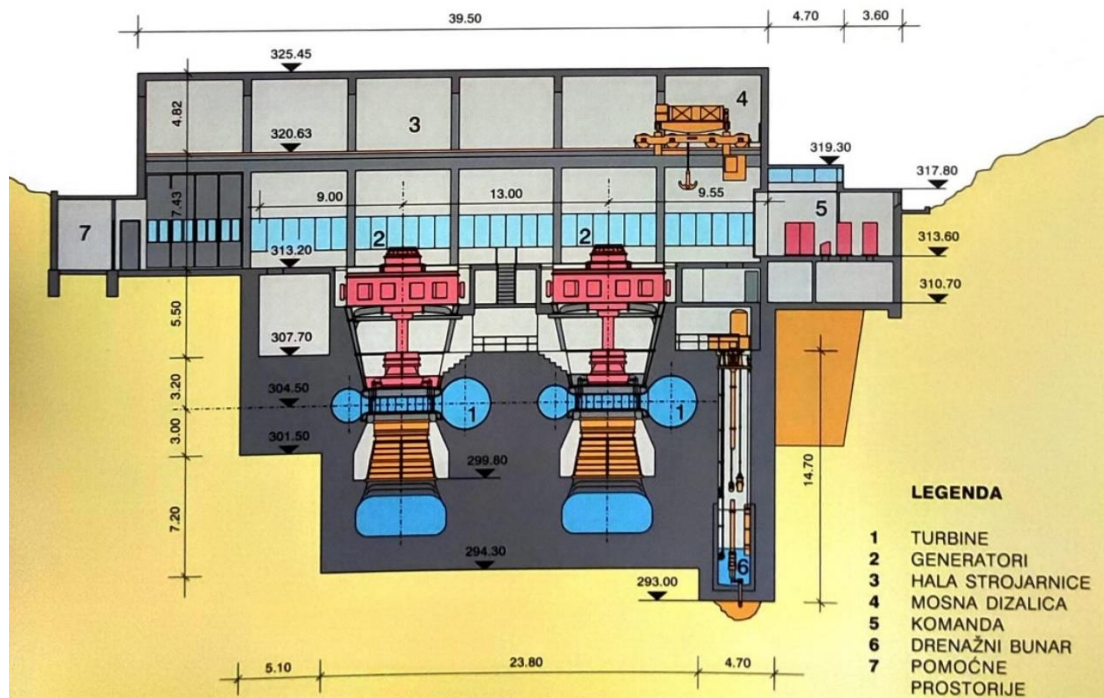
4. HIDROELEKTRANA PERUĆA

4.1 Opći podatci o HE Peruća

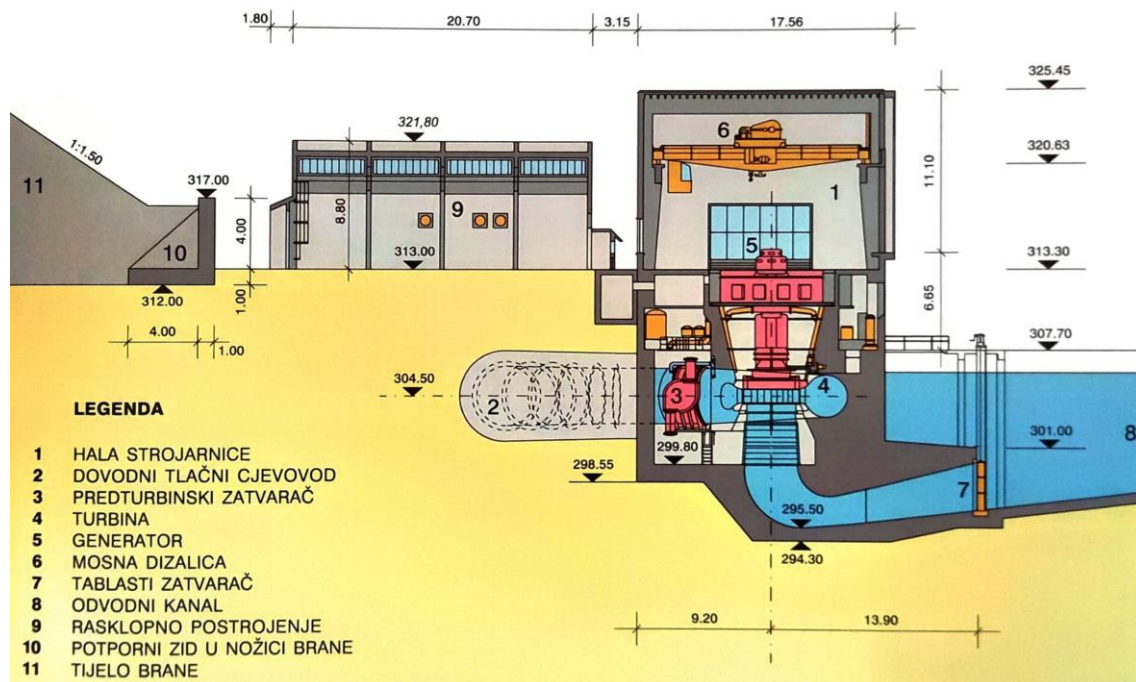
Hidroelektrana Peruća puštena je u rad 1960.godine. To je akumulacijska pribranska hidroelektrana smještena uz branu Peruću na rijeci Cetini. Nalazi se 16 km uzvodno od grada Sinja. U vrijeme početka rada, električna energija proizvodila se s dva agregata s dvije Francis turbine i sinkronim generatorima. Svaki je imao snagu 20,8 MW. Voda se do turbina dovodila tunelom u brani dužine 300 metara i promjera 6,7 metara s čeličnim račvama. Na nizvodnoj strani ispod brane smještena je strojarnica s agregatima i rasklopno postrojenje. Hidroelektrana je uspješno funkcionirala sve do rujna 1991. godine kada je bila okupirana, te je u siječnju 1993. miniranjem teško oštećena brana i u cijelosti potopljeno cijelo postrojenje. 1995. godine sanacijom brane i njezinim povišenjem za 1,5 metar, povećao se volumen akumulacije i dozvoljena radna razina. Snaga hidroelektrane povećana je na 61,2 MW u razdoblju od 2004. do 2008. godine zamjenom oba agregata, sustav upravljanja, zaštite i signalizacije te pomoćni pogon. Zamijenjeni su svi dotrajali dijelovi [10].

Današnja oprema HE Peruća su dvije Francis turbine, dva trofazna sinkrona generatora snage 26 MVA, transformatori tipa blok, snage također 26 MVA, mrežni transformator i rasklopno postrojenje. Turbine su konstruktivnog pada 41 metar i instaliranog protoka $60 \text{ m}^3/\text{s}$. Snaga svake turbine iznosi 21,3 MW. Turbina u jednoj minuti napravi 187,5 okreta [7]. Na slici 12 i slici 13 prikazani su uzdužni i poprečni presjek strojarnice.

Dvije Francis turbine pokreću rotore generatora koji su spojeni na mrežu napona 220 kV. Prosječna godišnja proizvodnja HE Peruća je 203 milijuna kWh [7].



Slika 12 – Uzdužni presjek strojarnice [7].



Slika 13 – Poprečni presjek strojarnice [7].

4.2 Postrojenje HE Peruća

Elektrostrojarsko postrojenje sastoji se od :

1. turbine s pomoćnim uređajima;
2. generatori sa blok-transformatorima;
3. regulacioni transformator;
4. razvodno 110 i 35 kV postrojenje i
5. pomoćni pogoni [11].



Slika 14 – Postrojenje hidroelektrane [8].

Strojarnica hidroelektrane smještena je okomito na tok rijeke. U njoj se nalaze dvije proizvodne grupe s pomoćnim uređajima, uklopnicama, montažni prostori, pomoćne prostorije i radionice. Sama strojarnica je nedovoljne površine za današnje uvjete. Pri izgradnji se štedjelo na prostoru zbog smanjenja troškova investicije. To je uzrokovalo otežano održavanje opreme. U donjem dijelu strojarnice nalazi se čelična račva s pogonskim uređajem leptirastog zatvarača, vertikalni dio sifona i prostor za njegovu montažu koji je toliko uzak da se kod demontaže vertikalnog dijela sifona, sifon mora rastaviti na više dijelova. Na podu strojarnice smješteni su uzbudni strojevi generatora, montažni prostor, montažni otvor, prostor mehaničke radionice i priručno skladište. Tu se nalazi i cestovni pristup strojarnici. Pristup se tračnicama produžava do transformatorskih boksova razvodnog postrojenja. U strojarnici se nalazi mosna dizalica koja služi kod remonta transformatora i rashladnih radijatora.

Na turbinskom katu smještena je turbinska regulacija, nosači i donji ležaj turbine, pult strojeva, rezervoari komprimiranog zraka, kompresori, hladnjaci ulja i filteri rashladne vode.

Na generatorskom katu nalaze se dva betonska bunkera s generatorima, zvjezdište generatora, regulacija generatora, kabelski tunel i prostorije s akumulatorskom baterijom.

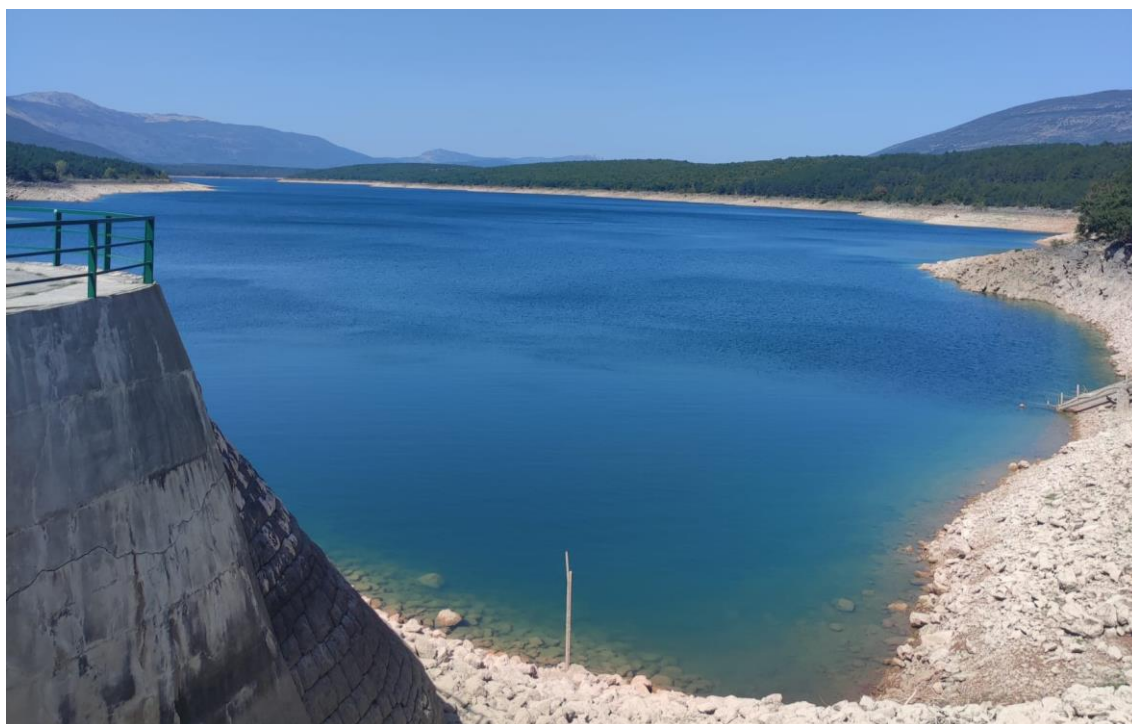
Sve radne i montažne prostorije vrlo su malih dimenzija što govori o tome koliko se u vrijeme izgradnje štedjelo na investiciji na štetu budućeg rada i održavanja postrojenja [11].

4.3 Obilazak hidroelektrane, brane i akumulacijskog jezera

Hidroelektrana i brana Peruća nalaze se 16 km uzvodno od grada Sinja. Prostor u neposrednoj blizini postrojenja ograničenog je pristupa, te se na dijelu ceste prema hidroelektrani nalazi rampa. Cesta dalje vodi direktno do prostora pogona i strojarnice ili prema brani i samom akumulacijskom jezeru.

Postrojenje je na dvije etaže. U vanjskom prostoru nalaze se tri generatora ispod kojih su filtarski slojevi i bazeni koji sprječavaju moguće curenje ulja iz generatora i prodiranje do vode. Iz dvorišnog djela kod generatora, vidljiv je prvi stup dalekovoda koji strujom opskrbljuje Sinjsko područje. Osim Sinja, vrši se opskrba područja Vrljike i jedan dalekovod ide put susjedne Bosne i Hercegovine. Na donjoj etaži strojarnice se nalaze dvije turbine do kojih voda dolazi armiranobetonskim tunelom s čeličnom račvom. Cijeli prostor postrojenja je jako bučan, a tu se nalaze i komande za upravljanje. Tu je smješteno i rasklopno i transformatorsko postrojenje. Iz strojarnice može se izaći prema glavnom ispustu koji je reguliran zaklopkama i temeljnom ispustu na dnu kojeg je regulacijski zatvarač.

Preko krune brane proteže se cesta do zatvaračnice. Pruža se pogled na akumulacijsko jezero s jedne strane i strojarnicu u dnu nizvodnog pokosa prekrivenog brnistrom s druge strane. Na desnom dijelu nizvodnog pokosa nalaze se stepenice kojima se spuštamo do ulaza u galeriju brane. Već s vrata se osjeti hladnoća iz tijela brane. U vrijeme velikih voda, koriste se pomoćni ispust na desnoj strani i sigurnosni na kruni brane. Pored brane nalazi se i meteorološka stanica.



Slika 14 – Pogled s brane na akumulacijsko jezero [8.9.2023.].

5. ZAKLJUČAK

Cetina je rijeka Jadranskog sliva. Izvire na sjeverozapadnim obroncima Dinare, kod sela Cetin, a ušće joj je kod grada Omiša. Cetina je najduža i vodom najbogatija rijeka Dalmacije. Snaga njezinog toka iskorištena je u vidu proizvodnje električne energije na čak pet hidroelektrana: Kraljevac, Peruća, Zakućac, Orlovac i Đale. Akumulacijsko jezero Peruća treće je po veličini jezero u Hrvatskoj. Akumulacija je pregrađena branom ispod koje se smjestilo postrojenje hidroelektrane. Brana Peruća je nasuta brana s kamenom oblogom.

U noći s 27. na 28. siječnja 1991. godine brana je pretrpjela velika oštećenja miniranjem uslijed ratnih događanja. Pristupilo se hitnim sanacijama zbog velike opasnosti poplavlivanja nizvodnog područja. Nakon obnove i sanacije brane, akumulacijsko jezero može prihvatiti 8% više vode. Razlog izgradnje akumulacije je bio da regulira protoke rijeke Cetine do brane Peruća, a s akumulacijskim jezerom Buško Blato regulirati vode Cetine na čitavom njezinom slivu tako da se u najvećoj hidroelektrani - HE Zakućac postigne maksimalna proizvodnja električne energije.

Hidroelektrana Peruća pribranska je hidroelektrana s dvije Francis turbine. Uspješno je funkcionirala od njezina puštanja u rad sve do razaranja brane. Nakon sanacija brane, snaga hidroelektrane je povećana. Tijekom godina mijenjani su svi radni dijelovi. Iako je njezin značaj za hidroenergetski sustav Cetine velik, Peruća je mala hidroelektrana i njeni kapaciteti i proizvodnja nisu veliki. Jedna je od poznatijih upravo po akumulacijskom jezeru kao i znatnim oštećenjima koje je pretrpjela.

6. LITERATURA

- [1] Građevinar, 3 (2019.), *Uloga Elektroprojekta u korištenju vodnih snaga u Hrvatskoj*, 218.-233. [29.7.2023.]
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Cetina> [29.7.2023.]
- [3] Jaguš, I. (2019). Hidrogeografska obilježja rijeke Cetine (Završni rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet.
Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:187761>
- [4] Hrvatska elektroprivreda, Hidroelektrane, Hep proizvodnja d.o.o
<https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/1528>, [29.7.2023.]
- [5] <https://apolitici.hr/akumulacija-peruca-zadnji-put-presusila-2003/> [9.9.2023.]
- [6] Građevinar, 65 (2013.), *Dramatično spašavanje i uspješna obrana*, 45.-59. [29.7.2023.]
- [7] Elektroprojekt d.d. , *HIDROELEKTRANE U HRVATSKOJ*, Zagreb, veljača 2000.godine
- [8] https://www.youtube.com/watch?v=FsiawLPnnTQ&ab_channel=HrvatskiVojnik [13.9.2023.]
- [9] Hrvatska elektroprivreda, Hidroelektrana Peruća, Hep proizvodnja d.o.o
<https://www.hep.hr/proizvodnja/obljetnica-oslobodjenja-he-peruca/1792> , [20.8.2023.]
- [10] Hrvatska elektroprivreda, Hidroelektrana Peruća, Hep proizvodnja d.o.o
<https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-jug/he-peruca/1551>, [29.7.2023.]
- [11] I. Anić-Čolo dipl. ing. Dvadesetpeti obljetnica HE Peruća – Sinj, OOUR HE PERUĆA SINJ