

Vodni sustav rijeke Karašice s obzirom na zaštitu od poplava i hidroenergetski potencijal

Horvat, Mihael

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:930352>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-21**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište
Sjever**

DIPLOMSKI RAD br. 84/GRD/2023

**Vodni sustav rijeke Karašice s obzirom na zaštitu od
poplava i hidroenergetski potencijal**

Mihael Horvat

Varaždin, rujan 2023. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za Graditeljstvo

DIPLOMSKI RAD br. 84/GRD/2023

Vodni sustav rijeke Karašice s obzirom na zaštitu od poplava i hidroenergetski potencijal

Student:
Mihael Horvat, 0149202393

Mentor:
izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin

Varaždin, rujan 2023. godine

Sadržaj:

| | |
|--|-----------|
| 1. Uvod | 1 |
| 2. Općenito o poplavama | 2 |
| 3. Potencijal vodotoka za proizvodnju električne energije iz malih hidroelektrana | 12 |
| 3.1. Podjela hidroelektrana: | 13 |
| 3.2. Općenito o malim hidroelektranama: | 14 |
| 4. Primjer lokacija na rijeci Karašici | 22 |
| 4.1. Općenito o rijeci Karašici: | 22 |
| 4.2. Lokacija Kapelna, rijeka Karašica | 23 |
| 4.3 Lokacija Belišće, rijeka Karašica..... | 29 |
| 4.4. Lokacija Miholjački Poreč, rijeka Karašica..... | 33 |
| 5. Procjena djelovanja poplava na razmatrano područje..... | 38 |
| 6. Proračun snage malih hidroelektrana | 46 |
| 7. Analiza dobivenih rezultata | 49 |
| 8. Ekonomska analiza isplativosti izgradnje male hidroelektrane..... | 50 |
| 9. Zaključak..... | 53 |
| 10. Literatura | 54 |
| 11. Popis slika | 57 |
| 12. Popis tablica..... | 59 |

PRIJAVNICA

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, 144-42000 Varaždin



Prijava diplomskog rada

Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Mihael Horvat

JMBAG 0149202393

DATUM 01.09.2023.

KOLEGIJ Vodni sustavi

NASLOV RADA Vodni sustav rijeke Karašice s obzirom na zaštitu od poplava i hidroenergetski potencijal

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Water system of the river Karasica concerning flood protection and hydroenergetic potential

MENTOR dr.sc. Bojan Đurin

ZVANJE Izvanredni profesor

ČLANOVI POVJERENSTVA

- doc.dr.sc. Domagoj Nakić
- izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin
- doc.dr.sc. Željko Kos
- prof.dr.sc. Ivanka Netinger Grubeša-zamjenski član
-

Zadatak diplomskog rada

BRČJ 84/GRD/2023

OPIS

Rad će prikazati uvid u opasnost i rizik od poplava rijeke Karašice, uz analizu mogućnosti proizvodnje električne energije iz malih hidroelektrana. Analiziraju se lokacije uz raspoložive mjerne hidrološke postaje: Belišće, Kapelnu i Miholjački Poreč.

Okviri sadržaj rada podrazumijeva uvodno poglavlje, dio o poplavama, teoretske postavke o malim hidroelektranama, primjer proračuna, analizu dobivenih rezultata i zaključak.

ZADATAK URUČEN 01.09.2023.



SUGLASNOST



Sveučilište
Sjever



SVEUČILIŠTE
SJEVER



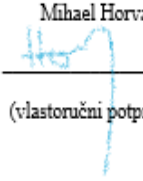
IZJAVA O AUTORSTVU I SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim privajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Mihael Horvat pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor diplomskog rada pod naslovom Vodni sustav rijeke Kavačica s obzirom na zaštitu od poplava i hidroenergetski potencijal te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

Mihael Horvat



(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Mihael Horvat neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom Vodni sustav rijeke Kavačica s obzirom na zaštitu od poplava i hidroenergetski potencijal čiji sam autor.

Student:

Mihael Horvat


(vlastoručni potpis)

Sažetak

U ovom diplomskom radu će biti prikazan vodni sustav rijeke Karašice s obzirom na zaštitu od poplava i hidroenergetski potencijal. Vezano za zaštitu od poplava rad će obuhvatiti tri lokacije na rijeci Karašici lokaciju u gradu Belišću te naseljima Kapelna i Miholjački Poreč. Drugi dio diplomskog rada će se odnositi na proizvodnju električne energije iz malih hidroelektrana te će se za dvije lokacije na rijeci Karašici provesti proračun snage male hidroelektrane kao i količine proizvedene električne energije kod korištenja potencijalne energije vode. Proračun će se provesti za mjernu postaju u naseljima Kapelna i Miholjački Poreč. Uz teoretski i analitički dio, rad sadrži i ekonomsku analizu.

Ključne riječi: poplava, rijeka Karašica, potencijalna energija, mala hidroelektrana.

Summary

This graduate thesis presents the water system of the Karasica River according to flood protection and hydropower potential. Regarding flood protection, the graduate thesis will cover three locations of the Karasica River: a location in the town of Belisce and the settlements of Kapelna and Miholjacki Porec. The second part of the thesis will refer to electricity production from small hydropower plants. For two locations of the Karasica River, the calculation of a small hydropower plants and the amount of the produced electric energy will be carried out when using the potential energy of water. The calculation will be carried out for the measuring station in the settlements of Kapelna and Miholjacki Porec. The thesis consists of an economic analysis within the theoretical and analytical parts.

Keywords: flood, River Karasica, potential energy, small hydropower plants.

Popis korištenih kratica

| | |
|--------|---------------------------------|
| m | Metar |
| OIE | Obnovljivi izvori energije |
| MW | Megavat |
| kW | Kilovat |
| W | Vat |
| kg | Kilogram |
| P | Snaga |
| g | Gravitacijsko ubrzanje |
| v | Brzina |
| Q | Protok |
| η | Koeficijent učinkovitosti |
| ρ | Gustoća fluida |
| DHMZ | Državni hidrometeorološki zavod |
| DGU | Državna geodetska uprava |

1. Uvod

Poplava odnosno izlivanje vodotoka iz svog korita je jedno od najčešćih onečišćenja koje spada u prirodna onečišćenja kao što su potresi, erupcije, incidenti i dr.. Osim prirodnih, na onečišćenja rijeka i vodotoka utječu i antropogeni utjecaji koji su izazvani djelatnošću čovjeka (loša projektna rješenja, izvedba i nadzor nad regulacijskim građevinama, ratna razaranja i sl.) [1].

Također na vodna tijela štetno utječu i klimatske promjene. U budućnosti se očekuje da će se utjecaj klimatskih promjena na vodna tijela povećavati. Oborinski režim se mijenja na način da suha područja postaju suša, a vlažna vlažnija čime dolazi do poplava koje postaju učestalije. Poplave često rezultiraju gubitkom ljudskog života te ekološkim i materijalnim štetama. U skladu s navedenim potrebno je pronaći i primijeniti odgovarajuća rješenja kako bi se ublažili učinci poplava te veće količine vode pametnije upotrijebile.

Jedan od korisnih načina upotrebe je korištenje energije vode za proizvodnju električne energije. Hidroenergija odnosno energija vode je ekološki čist izvor energije bez štetnih utjecaja na čovjeka i prirodu. Korištenjem hidroenergije smanjuje se potreba za korištenjem fosilnih izvora energije čime se smanjuje emisija štetnih tvari u atmosferu.

U ovom radu uz zaštitu od poplava, prikazati će se hidroenergetski potencijal rijeke Karašice, odnosno obradit će se mogućnost proizvodnje električne energije putem male hidroelektrane koja će koristiti energiju rijeke Karašice. Za analizu hidroenergetskog potencijala rijeke Karašice korištene su tri lokacije na kojima su smještene mjerne hidrološke postaje. Lokacije se nalaze u naseljima Kapelna i Miholjački Poreč te gradu Belišću.

2. Općenito o poplavama

Poplava je pojava neočekivano velike količine vode na nekom području koje je inače suho. Poplava nastaje izlivanjem rijeka, vodotoka, bujica, jezera i sličnih vodnih tijela [2]. Na slikama 2.1., 2.2., 2.3. prikazane su poplave u naseljenim područjima.

Prema uzrocima nastanka poplave mogu nastati zbog [2]:

- jakih oborina,
- nagomilavanja leda u vodotocima
- klizanja tla ili potresa,
- rušenja brane ili ratnih razaranja.

Prema vremenu formiranja vodnog vala poplave se mogu podijeliti na [2]:

- mirne poplave – nastale na velikim rijekama kod kojih je potrebno deset i više sati za formiranje velikog vodnog vala. Najčešće se javljaju uslijed dugotrajnih oborina. Kod navedenih poplava najčešće ne dolazi do ljudskih žrtava.
- bujične poplave – poplave nastale na brdskim vodotocima kod kojih se formira veliki vodni val za manje od deset sati. Nastaju zbog kiša visokog intenziteta. Kod bujičnih poplava postoji velika vjerojatnost ljudskih žrtava.
- akcidentne poplave – poplave kod kojih se trenutno formira veliki vodni val rušenjem vodoprivrednih ili hidroenergetskih objekata.



Slika 2.1. Poplava na našičkom području [3]



Slika 2.2. Poplava u Osijeku 1965 godine [4]



Slika 2.3. Potopljene kuće u Gunji 2014. godine [5]

Voda se na poplavljenom području može zadržati dulje ili kraće vrijeme. Voda se često izljeva iz korita iz razloga premalenog presjeka korita te može poplaviti manja ili veća područja uz vodotok.

Kako bi se smanjili rizici od poplava vodotoke je potrebno vratiti u prirodno stanje na način da se oko močvarnih i poplavnih područja izgrađuju nasipi. Nasipe je potrebno graditi na dovoljnim udaljenostima od vodotoka kako bi isti mogli prirodno meandrirati.

Nasipi su regulacijske građevine koje se nalaze izvan korita vodotoka.

Prije izrade nasipa potrebno je definirati:

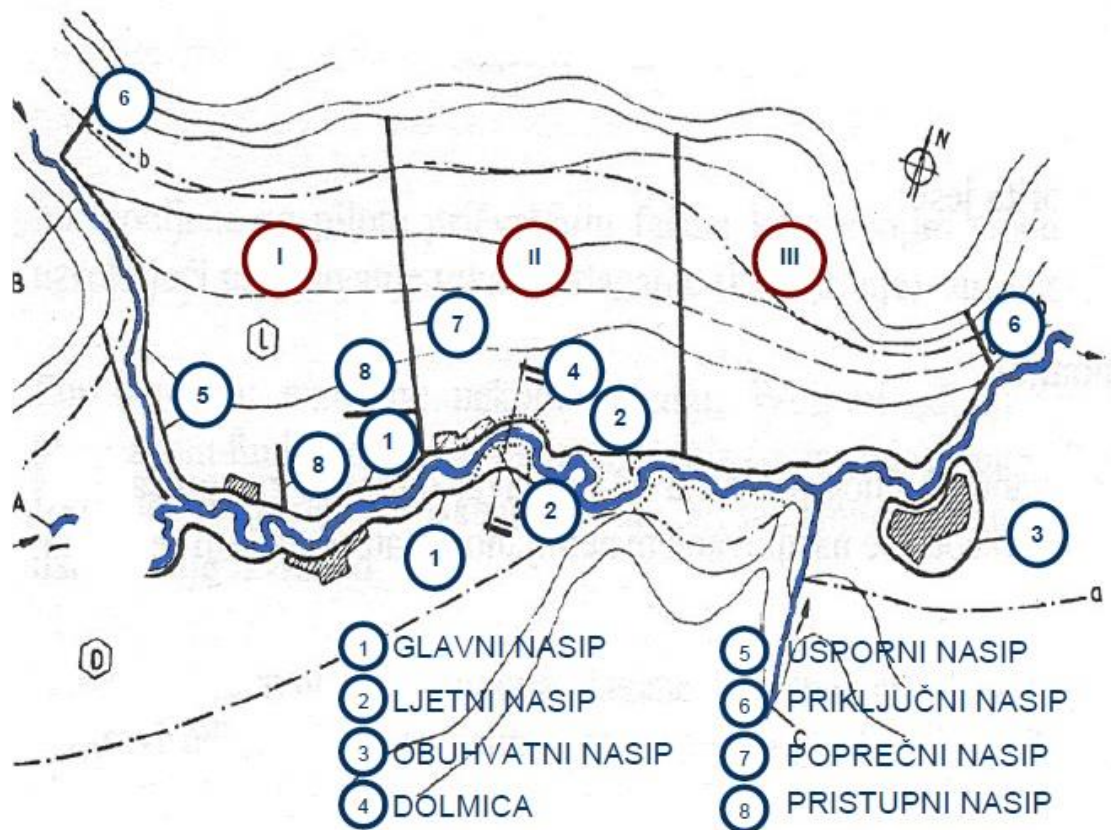
- Trasu
- Presjek (materijal, slojevi, debljine)
- Profil (širina i visina krune, položaj i širina berme, nagibi pokosa).

Trasa nasipa:

Odabir trase nasipa se može svrstati u tehničku kategoriju (hidrološko hidraulički, geološki i geodetski uvjeti te namjena nasipa), ekonomsku kategoriju (cijena izgradnje, vrijednosti zemljišta koje se žrtvuje ili brani, cijena održavanja...) i prostorno plansku kategoriju (zauzeće prostora za razne namjene) [6]. Na slici 2.4. prikazana je podjela nasipa s obzirom na trasu.

Podjela nasipa s obzirom na trasu [6]:

- glavni nasip,
- ljetni nasip,
- dolmica,
- obuhvatni nasip,
- priključni nasip,
- usporni nasip,
- pristupni nasip i
- poprečni nasip.



Slika 2.4. Podjela nasipa s obzirom na trasu [6].

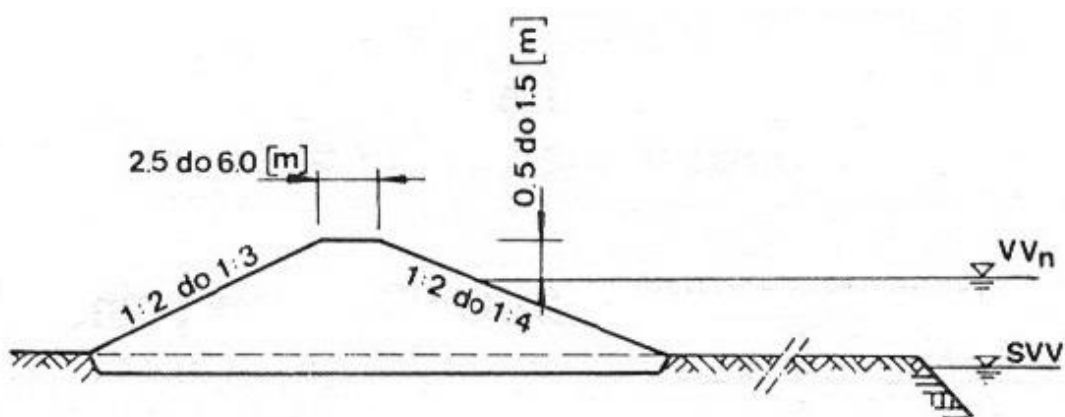
Važno je napomenuti da se pri odabiru trase nasipa ne smije zanemariti činjenica da se izgradnjom nasipa smanjuju prirodne inundacije. Poplavna voda će se kraće vrijeme zadržavati u gornjim dijelovima sliva te će doći do pojave većeg maksimalnog protoka u odnosu na stanje bez izgrađenih nasipa [6].

Presjek nasipa:

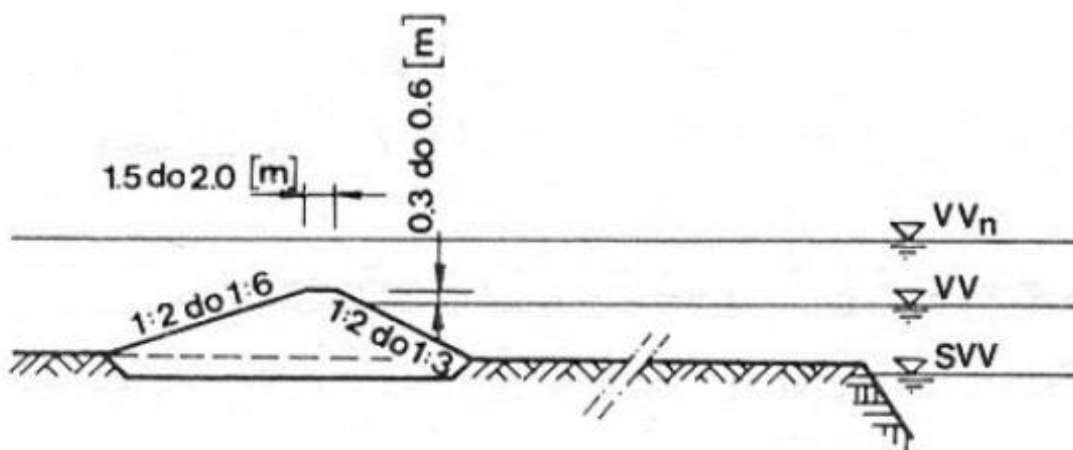
Presjek nasipa ima zadaću da konstrukcijom odolijeva hidrodinamičkom i hidrostatičkom djelovanju voda. Navedena djelovanja mogu uzrokovati slijeganje nasipa, nastajanje kliznih ploha, procjeđivanje vode kroz tijelo nasipa, uzdizanje i pucanje nasipa, eroziju, oštećenje uslijed prelijevanja, djelovanja leda...

Profil nasipa:

Profilom nasipa je određena njegova visina, vanjske konture, nagibi pokosa, širina krune te položaj i širina bermi. Profil nasipa ovisi o vrsti materijala za izradu nasipa, hidrauličkom proračunu, za veliku vodu, geomehaničkom proračunu, proračunu procjeđivanja, proračunu stabilnosti pokosa nasipa, pojavi valova, trajanju visokih vodostaja i ostalim zahtjevima. Na slikama 2.5. i 2.6. prikazani su profili glavnog i ljetnog nasipa.



Slika 2.5. Profil glavnog nasipa [6]



Slika 2.6. Profil ljetnog nasipa [6]

Principi zaštite od poplava kod bujičnih vodotoka:

Iako je poplave nemoguće spriječiti, potrebno je poduzeti odgovarajuće mjere kojima bi se smanjili rizici od štetnih posljedica koje su povezane s poplavama.

Mjere koje se poduzimaju trebaju biti usklađene na cijelom slivu vodotoka.

Često se ljudskim djelovanjem u okolišu povećava rizik odnosno intenzitet i učestalost poplava zbog promjene u korištenju zemljišta, krčenjem šuma, uklanjanjem močvara, promjenom toka plovnih puteva...

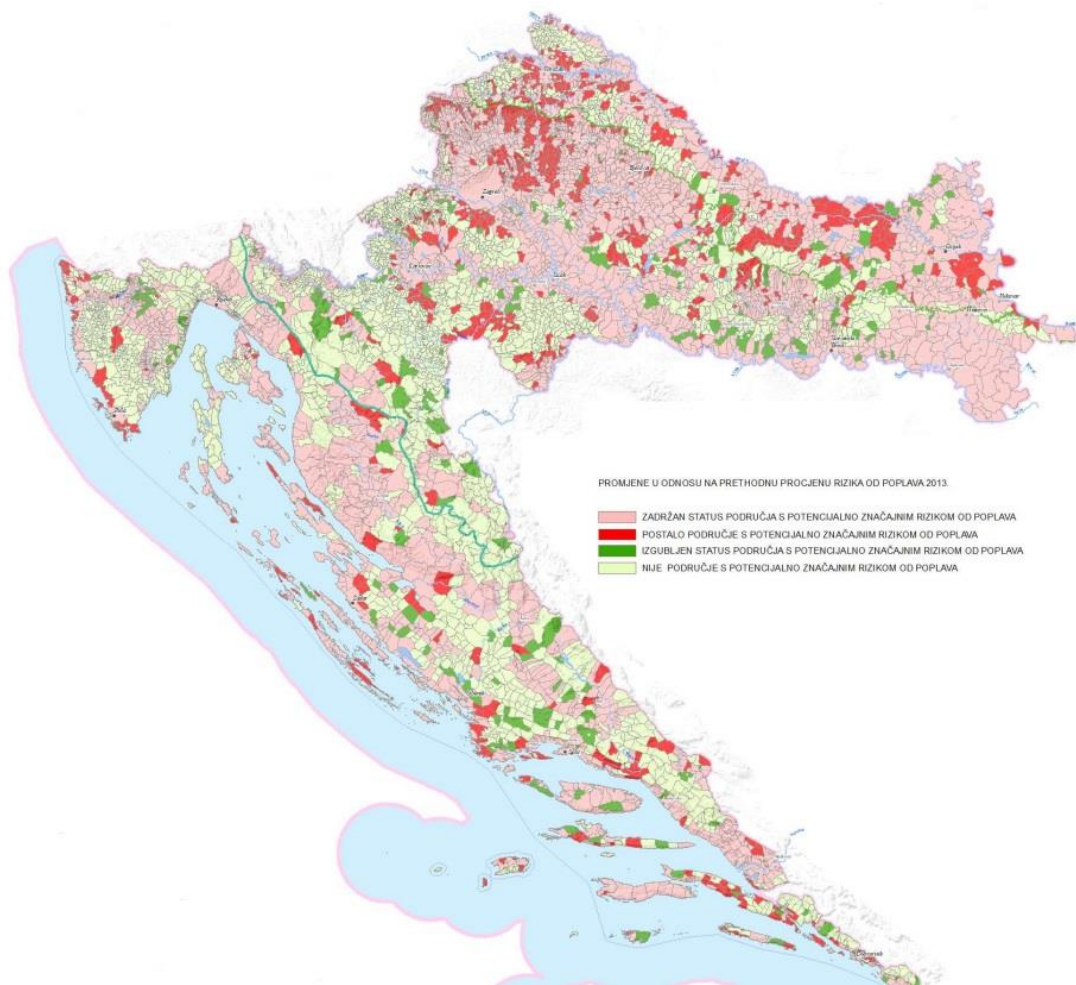
Kako bi se smanjile štetne posljedice poplava Europski parlament i Vijeće EU je 23. listopada 2007. godina izradilo Direktivu 2007/60/EZ o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima.

Svrha ove direktive je uspostaviti okvir za procjenu i upravljanje poplavnim rizicima s ciljem smanjenja štetnih posljedica u Zajednici za zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarsku aktivnost [7].

Koraci za izradu dokumentacije o procjeni i upravljanjem poplavnim rizicima:

- Preliminarna procjena poplavnih rizika
- Karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava
- Planovi upravljanja poplavnim rizicima

Na slici 2.7. prikazan je primjer karte procjene rizika od poplava.



Slika 2.7. Primjer karte procjene rizika od poplava [8].

Vlada Republike Hrvatske je 28. lipnja 2023. donijela Odluku o donošenju Plana upravljanja vodnim područjima do 2027.godine. Plan upravljanja vodnim područjima (2022. – 2027.) izrađen je na temelju Zakona o vodama (»Narodne novine«, br. 66/19., 84/21. i 47/23.) kojima su propisani: Planski dokumenti upravljanja vodama (članak 37.), Plan upravljanja vodnim područjima (članak 39.) i Plan upravljanja rizicima od poplava (članak 127.). Dokument je novelacija drugog Plana upravljanja vodnim područjima (»Narodne novine«, broj 66/16.) kojeg je Vlada Republike Hrvatske donijela 6. lipnja 2016. za plansko razdoblje od 2016. do 2021. godine.

Kako je tema iz naslova vezana za rijeku Karašicu, rad se više dotiče bujičnih poplava, koje nastaju u kratkom roku, najčešće od kiša visokog intenziteta.

Bujičnim vodotocima se smatraju stalni i privremeni vodotoci u kojima dolazi do nagle promjene u protoku vode zbog topljenja snijega i djelovanja kiša. Navedena promjena može ugroziti život ljudi, zdravlje ljudi, imovinu te poremetiti vodni režim.

Zbog sprečavanja štetnih posljedica koje mogu nastati djelovanjem bujica na vodotocima se grade zaštitne i regulacijske vodne građevine te se provode radovi i mjere zaštite.

Na promjenu vodnog režima djeluje se na sljedeće načine:

- Uređenjem sliva
- Uređenjem korita vodotoka
- Izgradnjom akumulacija
- Izgradnjom retencija
- Izgradnjom oteretnih kanala.

Uređenje sliva:

Uređenje sliva podrazumijeva radove na pošumljavanju, vegetaciji, krčenju raslinja, izgradnji konturnih građevina, čišćenju i uređenju korita bujica i sl. [6].

Pozitivni učinci navedenih zahvata se mogu očekivati nakon dužeg vremenskog perioda.

Uređenje korita vodotoka:

Pod navedenim pojmom misli se na izgradnju regulacijskih građevina kako bi se regulirao vodotok. Građevine imaju negativan utjecaj na vodni režim vodotoka jer se njima povećava propusna moć korita, povećavaju maksimalni protoci, smanjuju minimalni protoci nizvodno od zahvata te smanjuje trajanje vodnih valova. Uređenjem korita djeluje se na neujednačavanje vodnog režima vodotoka.

Retencije:

Retencije (umjetne i prirodne) su područja predviđena za zadržavanje vodnog vala kako bi se zaštitio nizinski dio sliva. Retencije smanjuju maksimalni protok na nizvodnom području i produljuju trajanje vodnog vala na način da isti volumen vode kroz vodotok propušta dulje vrijeme.

Osnovni dijelovi retencije [9]:

- Poplavni prostor
- Pregrada ili brana
- Evakuacijske građevine (ispust, preljev).

Podjela retencija prema tipu [9]:

- Čeone retencije
- Bočne retencije

Primjer bočne retencije prikazan je na slici 2.8.



Slika 2.8. Kopački rit – prirodna – bočna retencija [10].

Akumulacije:

Akumulacije su građevine koje za razliku od retencija dulje zadržavaju vodu u predviđenom prostoru. Učinak akumulacije na promjenu vodnog režima za zaštitu od poplava jednak je retencijama.

Podjela akumulacija [9]:

- Prema vrsti izravnavanja protoka (višegodišnje, godišnje, tjedne, dnevne, kompenzacijski bazeni)
- Prema namjeni (jednonamjenske i višenamjenske)
- Prema dubini (duboke i plitke)
- Prema nastanku (prirodna jezera i umjetna jezera)

Osim za zaštitu od poplava akumulacije se koriste za vodoopskrbu, navodnjavanje, skladištenje vode, dobivanje električne energije putem hidroelektrana, turizam...

Oteretni kanali:

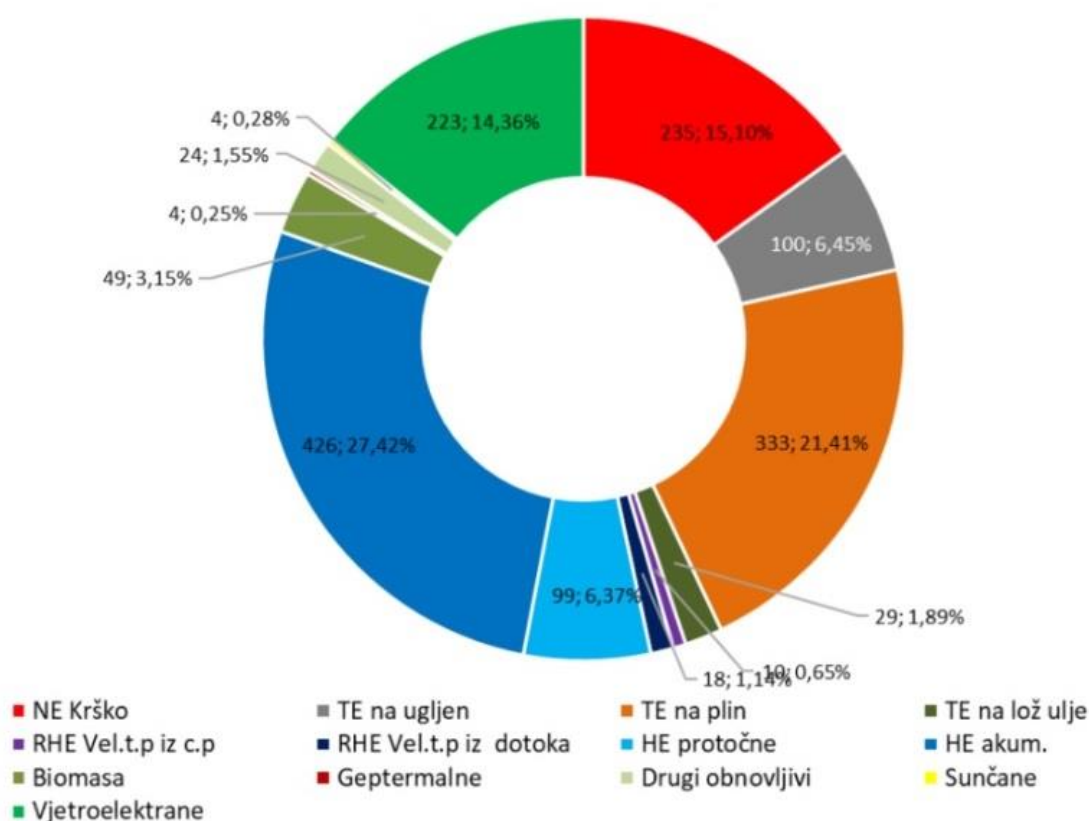
Oteretni kanali štite nizvodno područje od velikih voda na način da kroz nizvodno korito propušta manju količinu vode. Dijele se na paralelne i poprečne oteretne kanale.

Osim gore navedenih zaštitnih i regulacijskih građevina potrebno je provoditi i mjere za zaštitu od štetnog utjecaja velikih voda, a to su: ograničavanje i zabrana vađenja šljunka, kamena i pijeska, ograničavanje i zabrana sječe drveća i grmlja, zabrana deponiranja otpada, odgovarajući način korištenja okolnog zemljišta i dr.

Veliku ulogu u zaštiti od poplava imaju mjere zaštite koje se odnose na sustave obavještavanja, prognoziranje, upozorenja, prostorno planiranje, informiranje, osiguranje imovine te educiranje stanovništva o opasnostima od poplava [11].

3. Potencijal vodotoka za proizvodnju električne energije iz malih hidroelektrana

Kako su količine konvencionalnih izvora energije ograničene i kako se iskorištavanjem fosilnih goriva zagađuje okoliš, a čemu u velikoj mjeri pridonosi energetski sektor, u svijetu se ubrzano razvijaju tehnologije za iskorištavanje obnovljivih izvora energije.



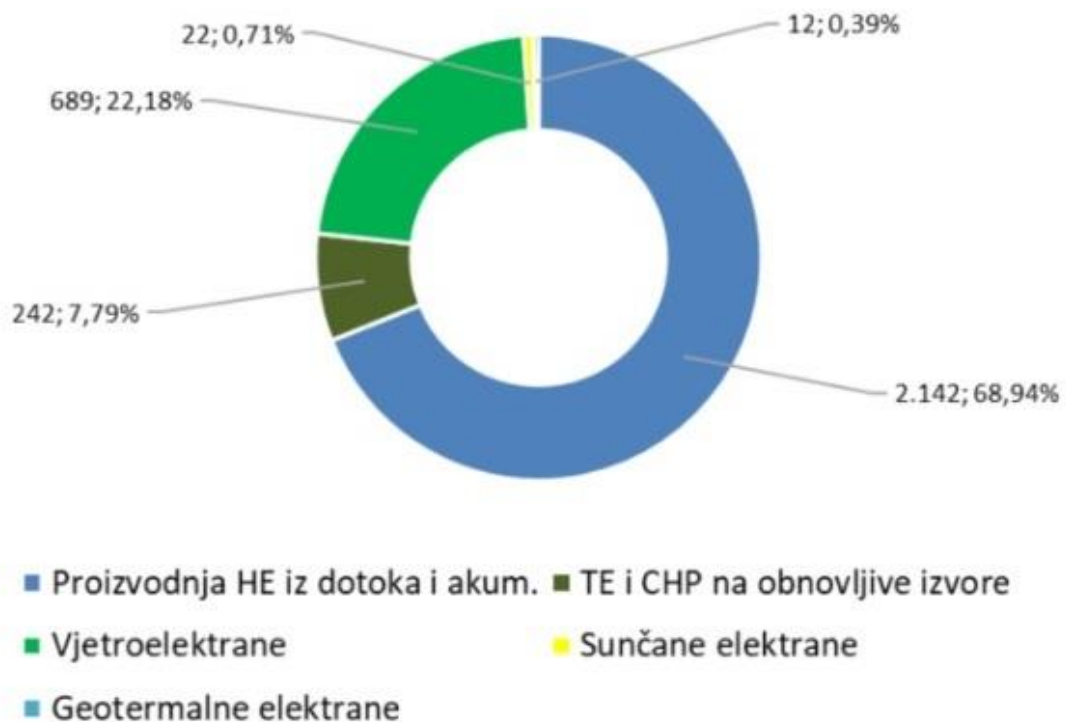
Slika 3.1. Raspoloživa električna energija i struktura u RH u veljači 2023. godine [12]

Prema slici 3.1. vidljivo je da se potreba za električnom energijom u Hrvatskoj preko 50% zadovoljava iz obnovljivih izvora energije.

Jedan od najznačajnijih i najrasprostranjenijih obnovljivih izvora energije je energija vode koja je ekološki čisti izvor bez štetnih utjecaja na ljude i prirodu te bez velikih emisija stakleničkih plinova.

Osim povoljnih utjecaja na okoliš obnovljivi izvori energije imaju bitan ekonomski učinak jer je energija dobivena hidroelektranama jeftinija od energije dobivene iz nuklearne energije i energije iz fosilnih goriva.

Hidroelektrane su energetska postrojenja u kojima se potencijalna energija vode pretvara u kinetičku energiju, koja se potom u rotoru turbine pretvara u mehaničku energiju. Mehanička se energija naposljetku u generatoru pretvara u električnu energiju. Prema podacima za siječanj – ožujak 2023. godine, vidljivo je da su u Hrvatskoj najviše električne energije iz OIE proizvele hidroelektrane, što je prikazano na slici 3.2.



Slika 3.2. Ostvarenje i struktura proizvodnje električne energije OIE za razdoblje siječanj – ožujak 2023. godine [13]

3.1. Podjela hidroelektrana:

Prema načinu korištenja vode [14]:

- protočne
- akumulacijske

- reverzibilne ili crpno-akumulacijske

Prema instaliranoj snazi [14]:

- velike - veće od 10 MW
- male - od 500 kW do 10 MW
- mini - od 100 kW do 500 Kw
- mikro - od 5 kW do 100 kW
- piko – manje od 5 kW

Prema smještaju strojarnice [14]:

- pribranske
- derivacijske

Prema visini pada vodotoka [14]:

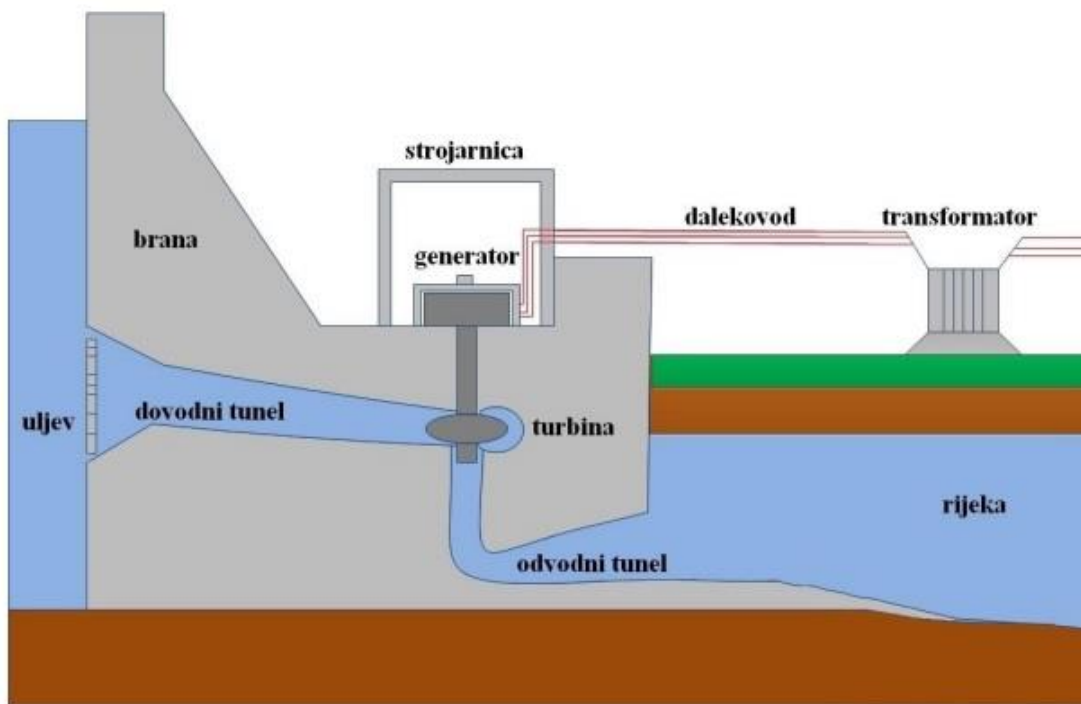
- niskotlačne: do 25 m
- srednje tlačne: od 25 m do 200 m
- visokotlačne: preko 200 m

3.2. Općenito o malim hidroelektranama:

Karakteristike malih hidroelektrana [14]:

- u principu imaju iste karakteristike kao i velike hidroelektrane,
- pogodne su za napajanje udaljenijih i izoliranih područja,
- manji je negativan utjecaj na okoliš za razliku od velikih hidroelektrana,
- jeftino održavanje,
- mali pogonski troškovi,
- dug životni vijek,
- sigurnost povrata investicije te
- najčešće iskorištavaju samu snagu riječnog toka i koriste uglavnom malu ili nikakvu akumulaciju te zbog varijacije u protoku dolazi i do varijacije u proizvodnji električne energije.

Na slici 3.3. prikazana je opća shema male hidroelektrane.



Slika 3.3. Opća shema male hidroelektrane [15]

Potencijal malih hidroelektrana je veći u gornjim dijelovima vodotoka, uglavnom u slabo naseljenim i nepristupačnim mjestima, gdje nije izveden kvalitetan razvod energetske mreže ili je potrošnja električne energije zanemariva.

Male hidroelektrane se mogu projektirati na mali pad najčešće na riječnim segmentima s manjim gradijentom ili na veliki pad kod rijeka s velikim gradijentom. Ovakve građevine (zahvati) mogu koristiti dio protoka rijeke i istovremeno imati vrlo mali, odnosno zanemarivi okolišni utjecaj [16].

Pri projektiranju malih hidroelektrana potrebno je poznavati stanje na terenu, geološke karakteristike tla, meteorološke i hidrološke uvjete i bruto energetski potencijal kako bi se odabrala optimalna veličina male hidroelektrane.

Osnove proračuna:

Ovisno o položaju energija se može prikazati kao [16]:

Potencijalna energija [16]:

$$E_{pot} = m * g * H \text{ (J)} \quad (1)$$

gdje je:

m = masa (kg)

g = gravitacijsko ubrzanje (m/sec^2)

H = visina stupca vode (m)

Kinetička energija [16]:

$$E_{kin} = m * \frac{v^2}{2} \text{ (J)} \quad (2)$$

gdje je:

m = masa (kg)

v = brzina (m/s)

Ovisno o protoku vode, neto padu, gravitacijskom ubrzanju i gustoći vode snagu hidroelektrane možemo odrediti kao [16]:

Proračun snage hidroelektrane kod korištenja potencijalne energije vode [16]:

$$P_{izlazna} = \rho * g * Q * H * \eta_{totalna} \text{ (W)} \quad (3)$$

Proračun snage hidroelektrane kod korištenja kinetičke energije vode [16]:

$$P_{izlazna} = \rho/2 * A * v^3 * \eta_{totalna} \text{ (W)} \quad (4)$$

P = snaga (W)

g = gravitacijsko ubrzanje ($9,81 m/s^2$)

η = učinkovitost turbina – generator – transformator

Q = protok (m^3/s)

H = neto pad (m)

Dijelovi malih hidroelektrana [16]:

- Brana i li pregrada, nasip, preljevni prag
- Zahvat
- Cjevovod, dovodni kanal ili tunel
- Vodna komora ili vodostan
- Tlačni cjevovod
- Strojarnica (turbina, generator...)
- Odvodni kanal

Strojarnica je objekt koji štiti elektro i strojarsku opremu od vremenskih nepogoda, te osigurava pristup za održavanje iste. Najčešće je betonska ili od drugog dostupnog materijala. Strojarnica može biti izvedena uz granu ili kao dio brane te može biti podzemna ili nadzemna.

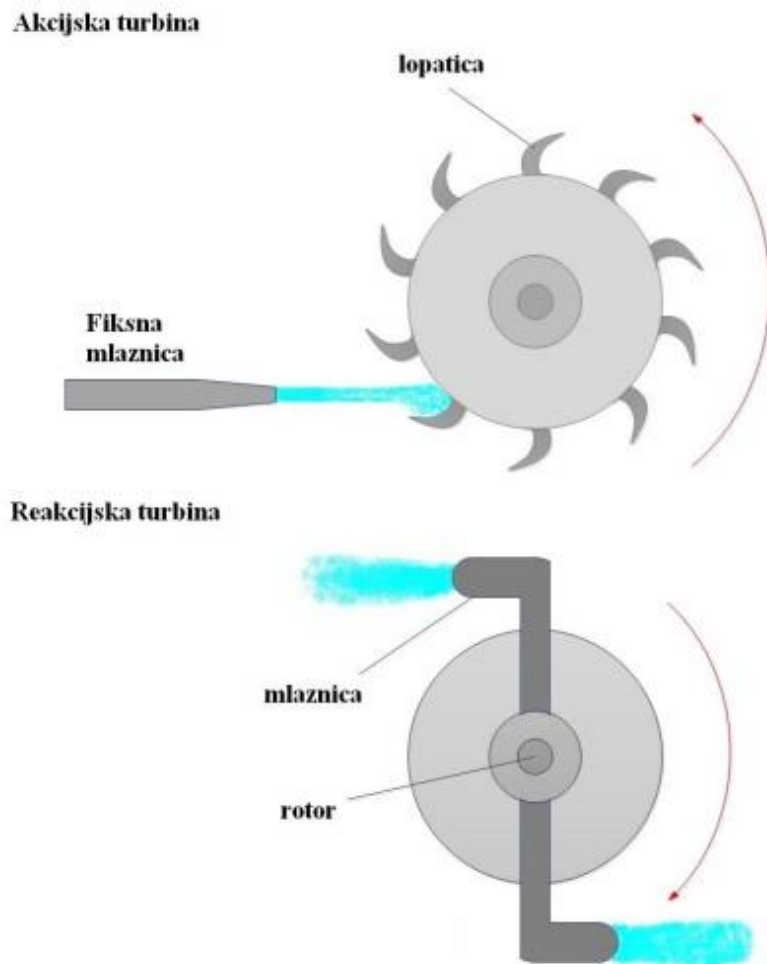
Jedan od najvažnijih dijelova strojarske opreme je turbina koja kinetičku energiju vode transformira u mehaničku putem rotirajućih dijelova turbine.

Podjela turbina [16]:

Izbor tipa turbine ovisi o:

- Projektiranom protoku
- Neto padu
- Instaliranom(projektiranom) protoku
- Brzini vrtnje, koja određuje tip i osnovni oblik rotora turbine i ostalih dijelova
- Brzini pobjega: najveća brzina koja se može postići bez priključenog električnog opterećenja
- Troškovima izgradnje male hidroelektrane

Turbine se dijele na reakcijske i akcijske te na turbine koje koriste kinetičku energiju i energiju položaja [16]. Na slici 3.4. prikazan je princip vrtnje akcijske i reakcijske turbine.



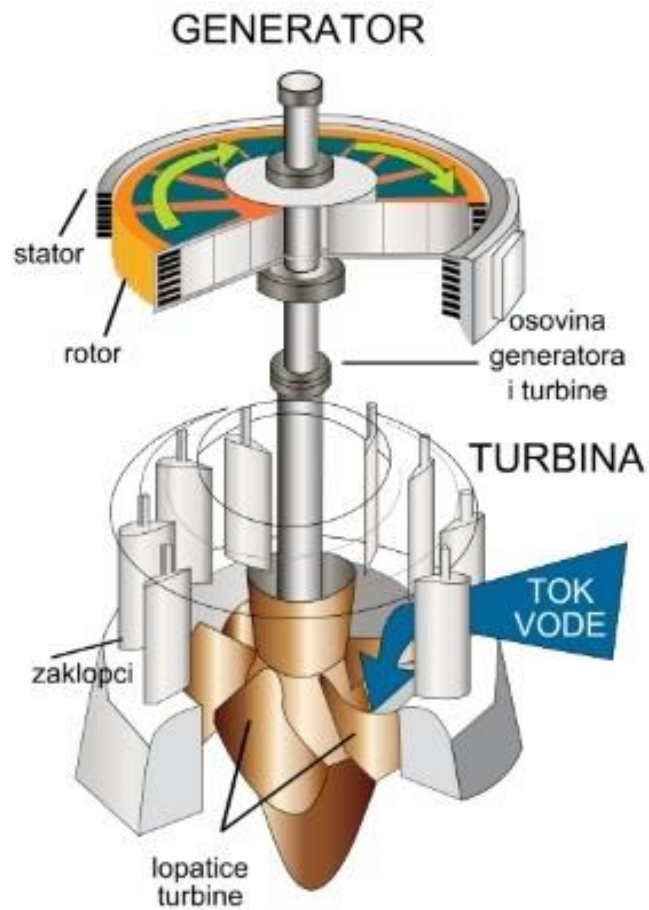
Slika 3.4. princip vrtnje akcijske i reakcijske turbine [17]

Kod reakcijskih turbina snaga proizlazi iz pada zraka u turbini. Obodna brzina se pretvara u snagu vratila. Reakcijske turbine su potpuno uronjene u vodu i najčešće se koriste kod velikih padova (preko 10 metara) i velikih tlakova [16].

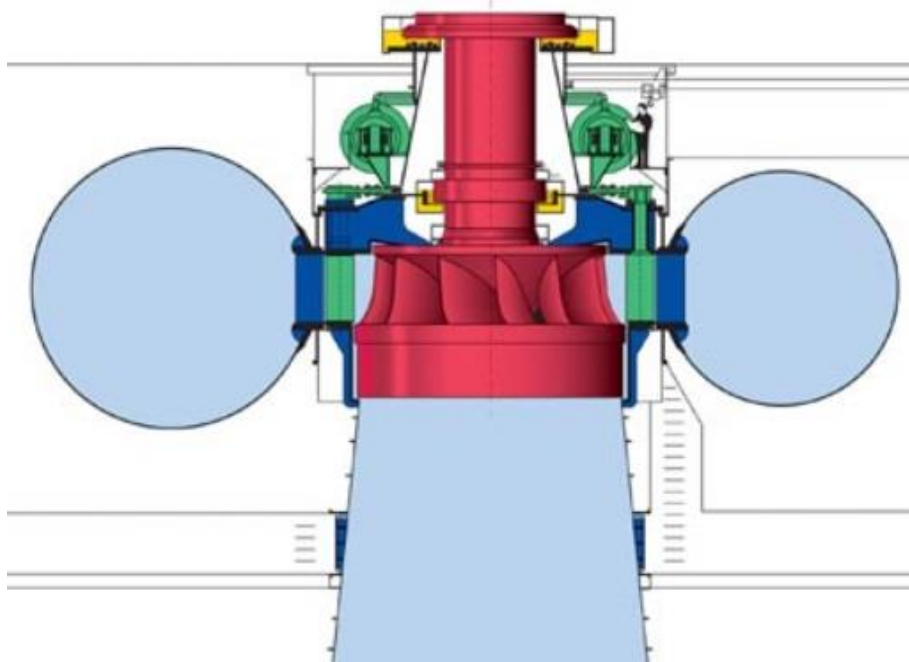
Reakcijske turbine [16]:

- Francisova turbina
- Kaplanova turbina
- Propelerna turbina

Na slikama 3.5. i 3.6. prikazane su Kaplanova i Francisova turbina.



Slika 3.5. Kaplanova turbina i električni generator u presjeku [18]



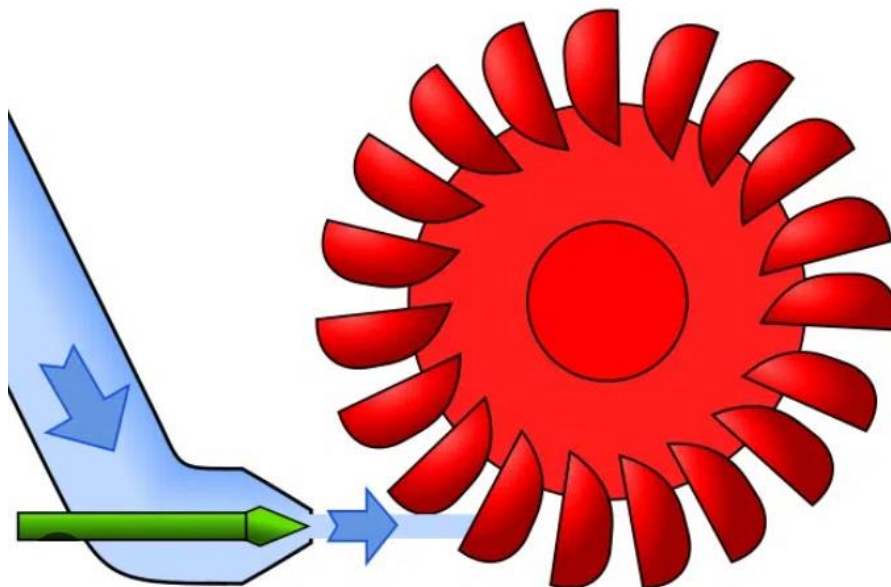
Slika 3.6. Francisova turbina [19]

Impulsne ili akcijske turbine pretvaraju kinetičku energiju vode tako da mlaznice pogađaju lopatice turbine. U turbini ne dolazi do pada tlaka kao kod reakcijskih turbina. Najčešće se koriste za male padove i mali tlak.

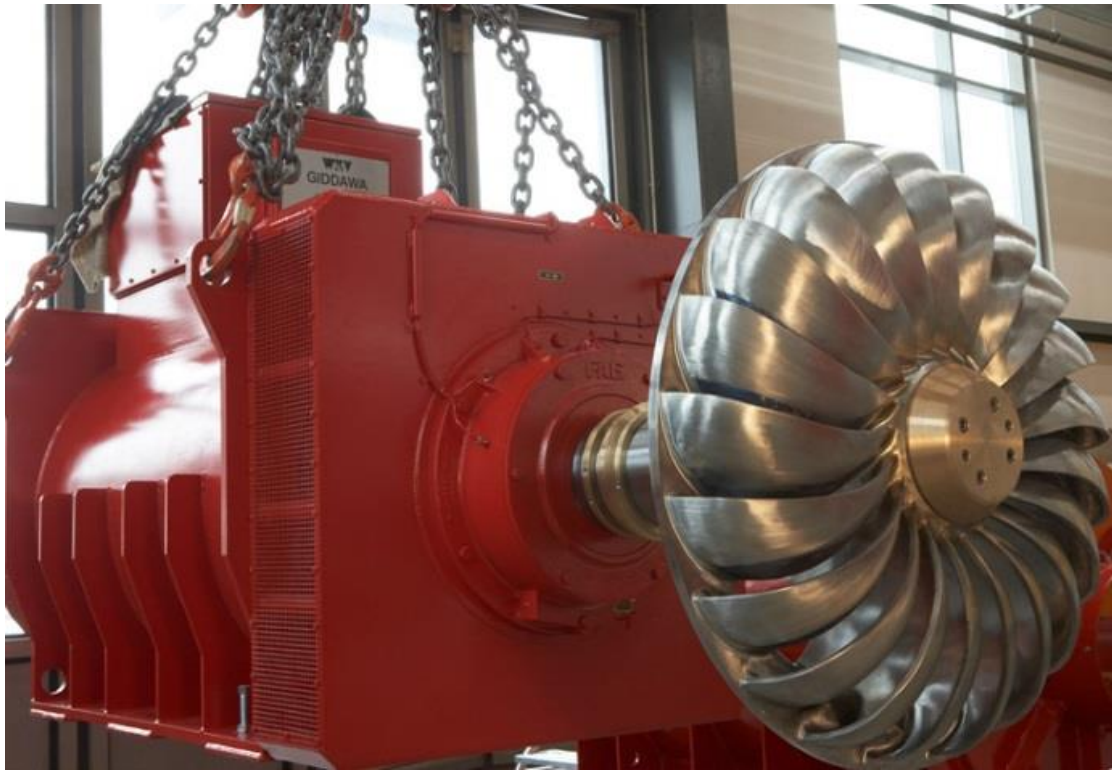
Impulsne ili akcijske turbine [16]:

- Peltonova turbina
- Turgo turbina
- Crossflow turbina
- Banki-Michell turbina

Na slikama 3.7. i 3.8. prikazane su Peltonova i Turgo turbina.



Slika 3.7. Peltonova turbina [20]



Slika 3.8. Turgo turbina [21]

4. Primjer lokacija na rijeci Karašici

4.1. Općenito o rijeci Karašici:

Rijeka Karašica duga je 91 kilometar i desni je pritok rijeke Drave. Porječje joj obuhvaća 936 km^2 .

Nastaje od Vojlovice i Voćinske rijeke i jugoistočno od naselja Čađavica u Virovitičko – podravskoj županiji. Njezin najveći pritok je rijeka Vučica s kojom se spaja nedaleko od naselja Ladimirevac. Na slici 4.1. prikazan je tok rijeke Karašice.



Slika 4.1. Prikaz toka rijeke Karašice [22]

Veći dio toka rijeke Karašice je usporedan s rijekom Dravom u koju se ulijeva sjeverno od naselja Josipovac. Najviši vodostaj Karašice je u kasno proljeće i jesen.

Zbog problema s poplavama potreba za vodoprivrednim zahvatima na slivu rijeka Karašice i Vučice javila se krajem 18. stoljeća. Na pojavu poplave utječe topljenje snijega i leda u Alpama te kiše u proljeće i jesen kada se vodotoci s Krndije i Papuka pretvaraju u bujice te povećavaju razinu vode u pritocima Karašice i Vučice. U prošlosti su na česte poplave utjecali neregulirani tokovi Karašice i Vučice te njihovi pritoci. Poplavama su pridonosili i mali proticajni otvori mostova, nanosima zakrčena korita te mali padovi u ravničarskom dijelu. Rijeke su se svake godine

izlijevale i nakon pada vodostaja ostajale po livadama, poljima i šumama tvoreći močvare i bare [23].

Zbog učestalih poplava na rijeci Karašici su uz brojne male kanale izvedeni glavni rasteretni kanali koji veliku količinu bujičnih voda najkraćim putem odvede u rijeku Dravu, i to:

Gatski kanal – izveden 1879. godine

Viljevački kanal – izveden 1906. godine

Kanal Vojlovica – Voćinska – Drava – izveden 1913. godine

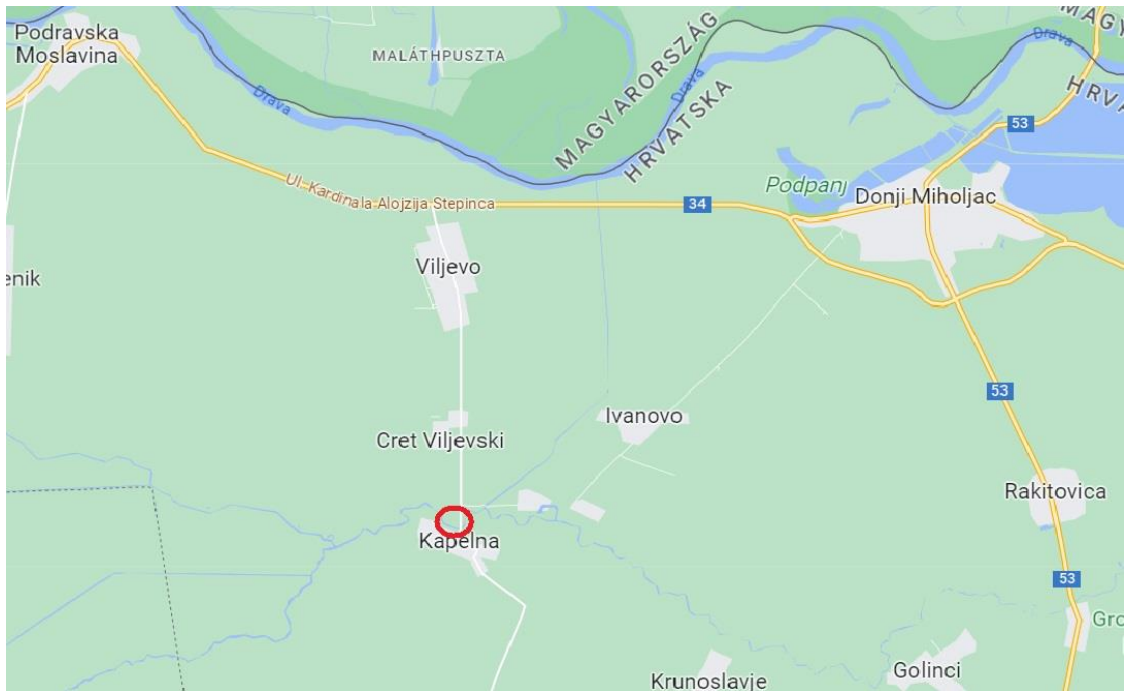
Rekonstrukcija korita Karašice od Gatskog kanala do rijeke Donje Voćinske (dužina 43 km) započeta je 1952. godine. U šezdesetim i sedamdesetim godinama 19. st. Provedena je cijevna i linijska drenaža. Godine 1993. godinama završena je gradnja prve akumulacije Lapovac II na vodotoku u gorskom području iznad grada Našice

Navedeni zahvati u 19. i 20. stoljeću bitno su utjecali na tok rijeke Karašice i Vučice. Ponajviše navedena tri spoja Karašice s rijekom Dravom. Kanal Vojlovica – Voćinska – Drava (VVD) je bujične vode izravno odveo u rijeku Dravu.

Kanali VVD i Viljevački kanal opremljeni su ustavama koje imaju zadaću kontroliranja količine ispuštene vode. Na daljnji tok Karašice najviše je utjecao Gatski kanal dužine 2 km kojim je cijeli tok Karašice odveden u Dravu [23].

4.2. Lokacija Kapelna, rijeka Karašica

Naselje Kapelna nalazi se u Općini Viljevo u Osječko–baranjskoj županiji. Na navedenoj lokaciji nalazi se mjerna hidrološka postaja za očitavanje vodostaja rijeke Karašice, odnosno za određivanje protoka. Slika 4.2., 4.3. i 4.4. prikazuju lokaciju mjerne postaje u naselju Kapelna.



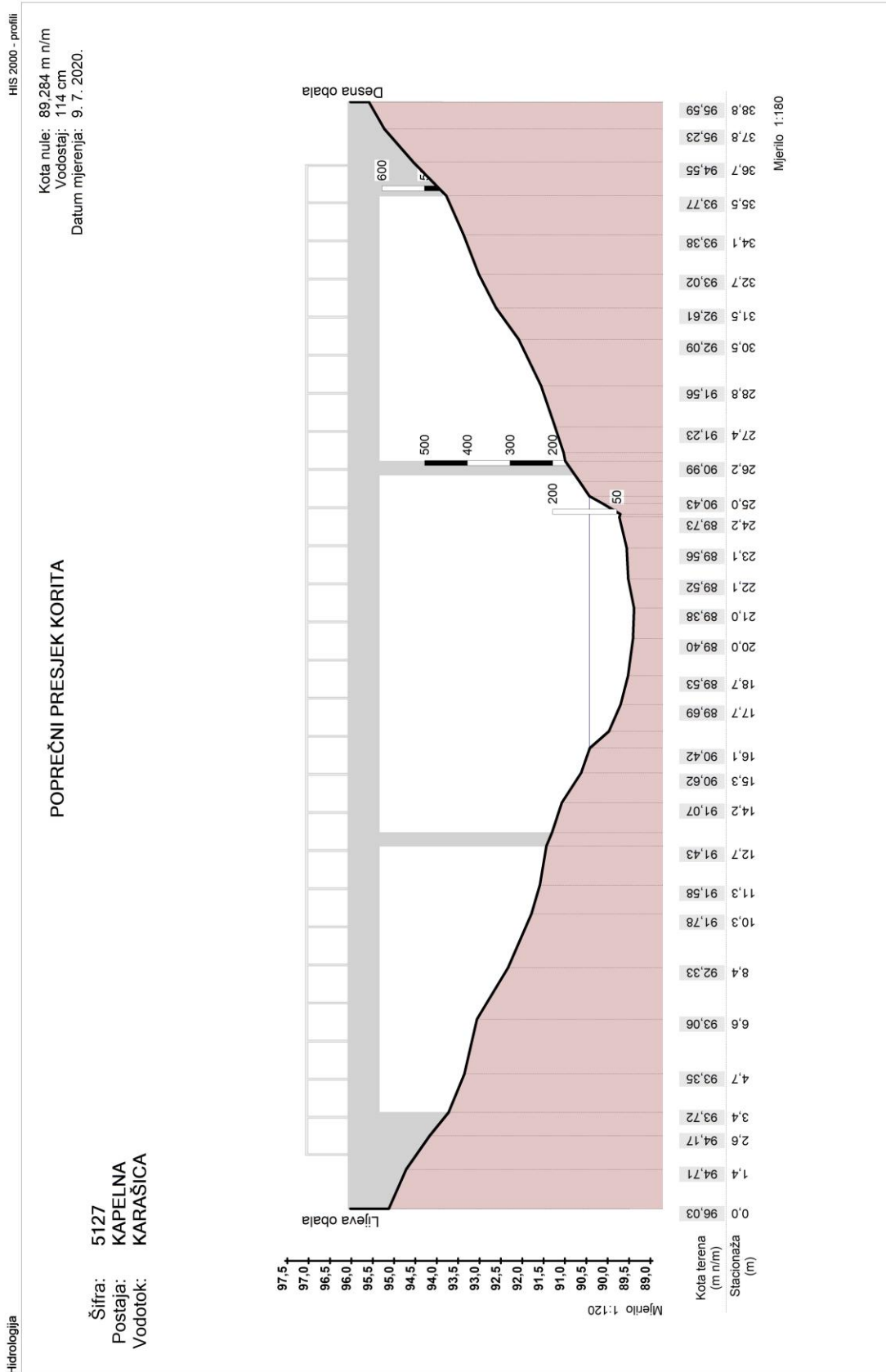
Slika 4.2. Prikaz lokacije mjerne postaje u naselju Kapelna [24]



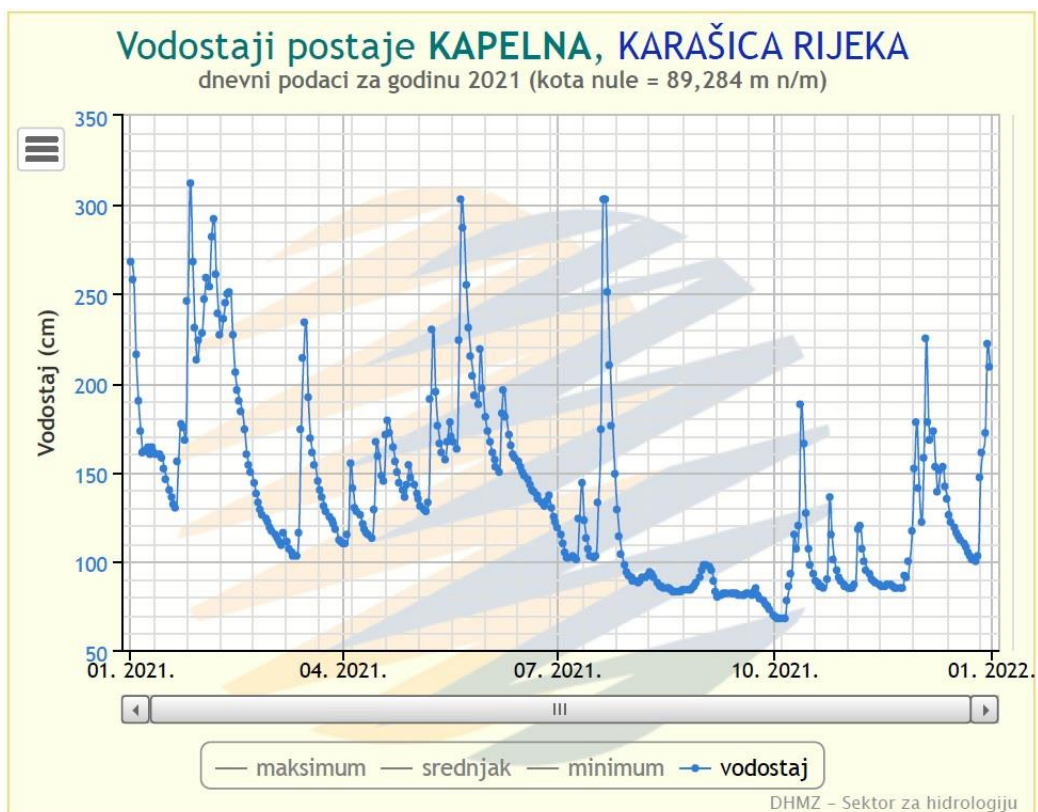
Slika 4.3. Rijeka Karašica na lokaciji u Kapelni [25]



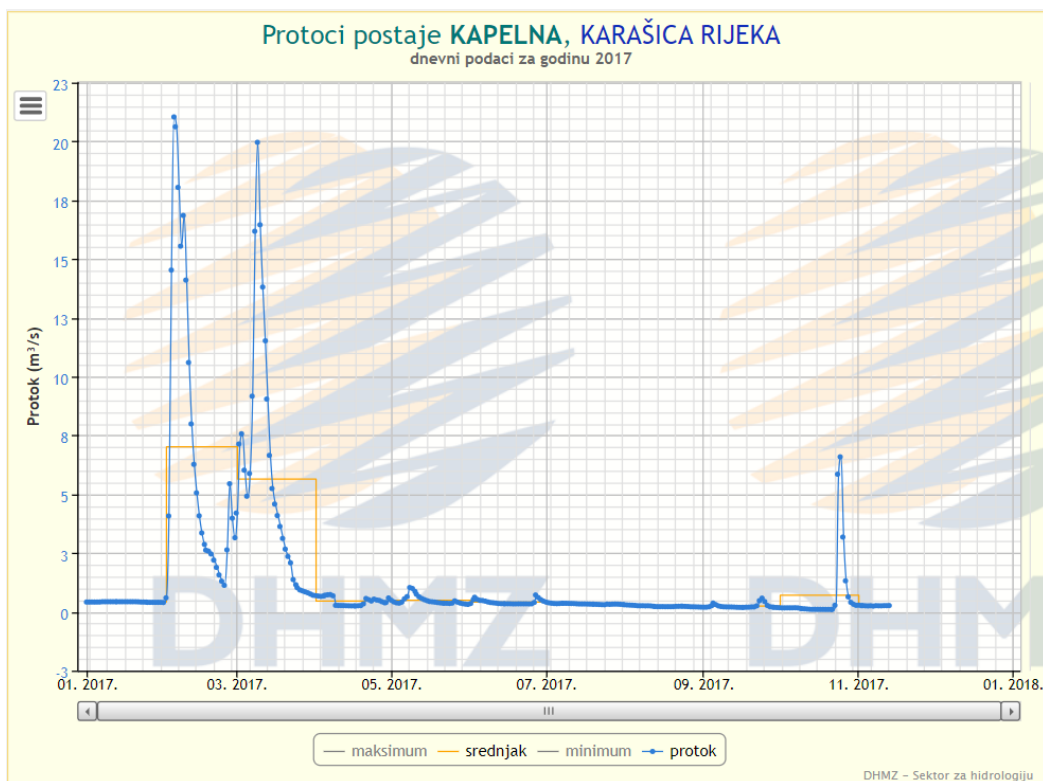
Slika 4.4. Rijeka Karašica na lokaciji u Kapelni [25]



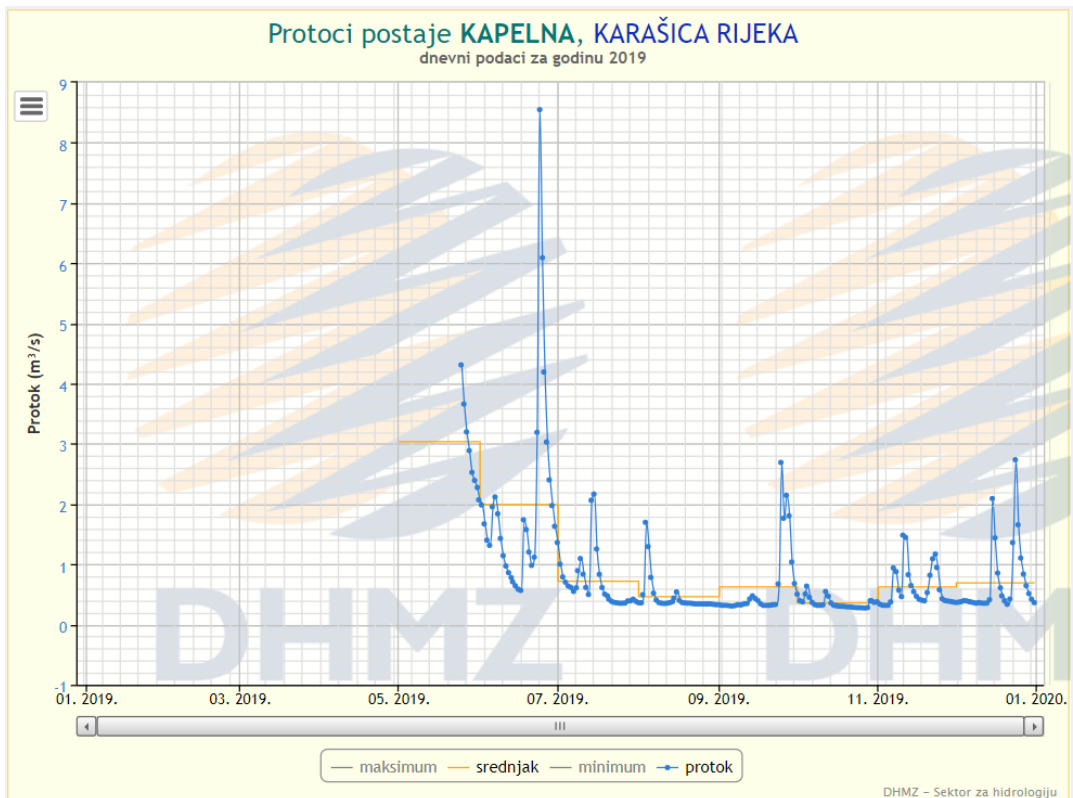
Slika 4.5. Poprečni presjek korita rijeke Karašice uz mjernu postaju u Kapelni [26]



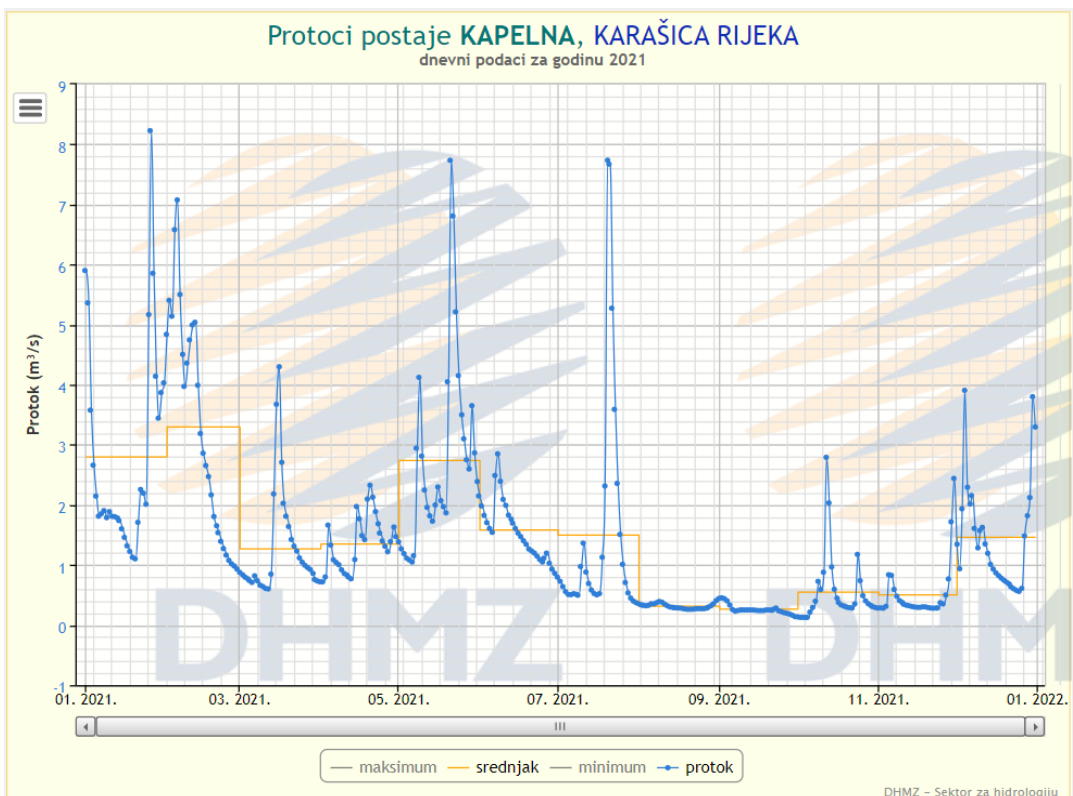
Slika 4.6. Nivogram rijeke Karašice na mjernoj postaji Kapelna [26]



Slika 4.7. Hidrogram rijeke Karašice za 2017. godinu na mjernoj postaji Kapelna [26]



Slika 4.8. Hidrogram rijeke Karašice za 2019. godinu na mjernejoj postaji Kapelna [26]

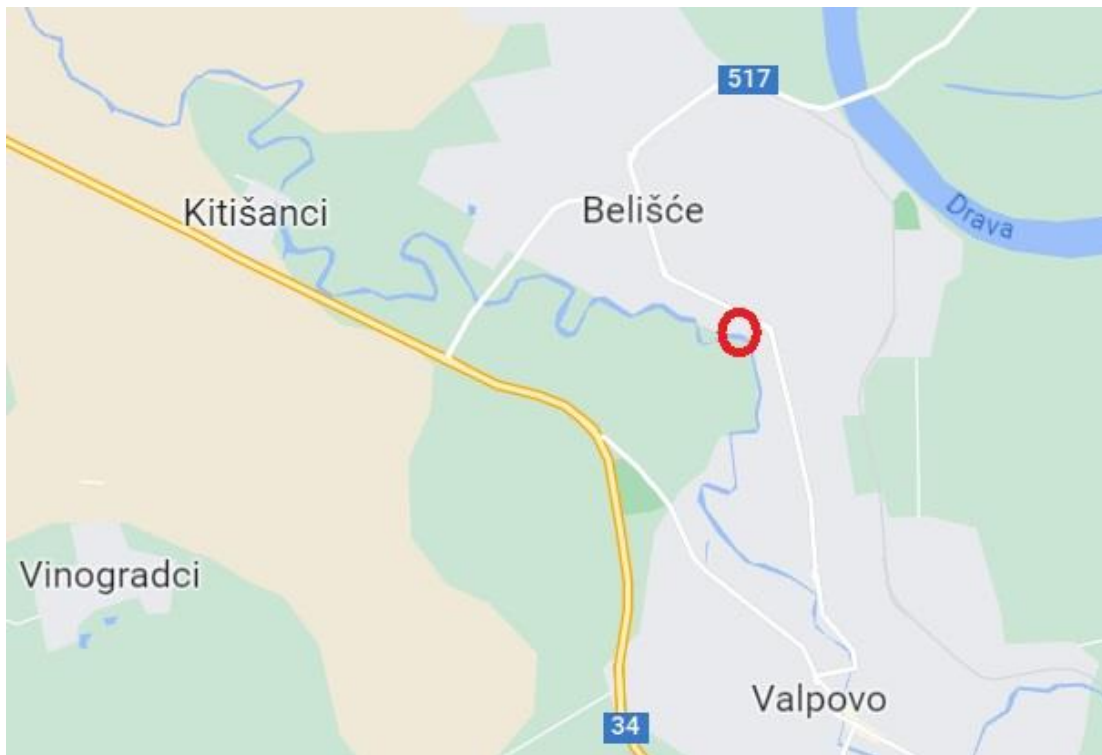


Slika 4.9. Hidrogram rijeke Karašice za 2021. godinu na mjernejoj postaji Kapelna [26]

Prema dostupnim podacima hidrološke postaje Kapelna, vidljivo je kako je najveći vodostaj u 2021. godini izmjeren 26.01.2021., u visini 312 cm, a najmanji 04.10.2021. godine visine 69 cm. Poprečni presjek korita i nivogram rijeke Karašice na mjernoj postaji Kapelna prikazani su na slikama 4.5. i 4.6. Proračuna protoka u 2018. i 2020. godini nije bilo zbog velike zaraštenosti korita i nestabilnog Q-H odnosa. Za proračun snage malih hidroelektrana sa stranice Hrvatskog hidrometeorološkog zavoda preuzete su srednje mjesečne vrijednosti protoka za zadnje tri raspoložive godine odnosno za 2017., 2019. i 2021. godinu koje su prikazane na slikama 4.7., 4.8. i 4.9.

4.3 Lokacija Belišće, rijeka Karašica

Grad Belišće se nalazi u Osječko-baranjskoj županiji i leži na dvije rijeke: Dravi i Karašici. Na navedenoj lokaciji nalazi se mjerna hidrološka postaja za očitavanje vodostaja rijeke Karašice, odnosno za određivanje protoka. Slika 4.10., 4.11. i 4.12. prikazuju lokaciju mjerne postaje u gradu Belišću.



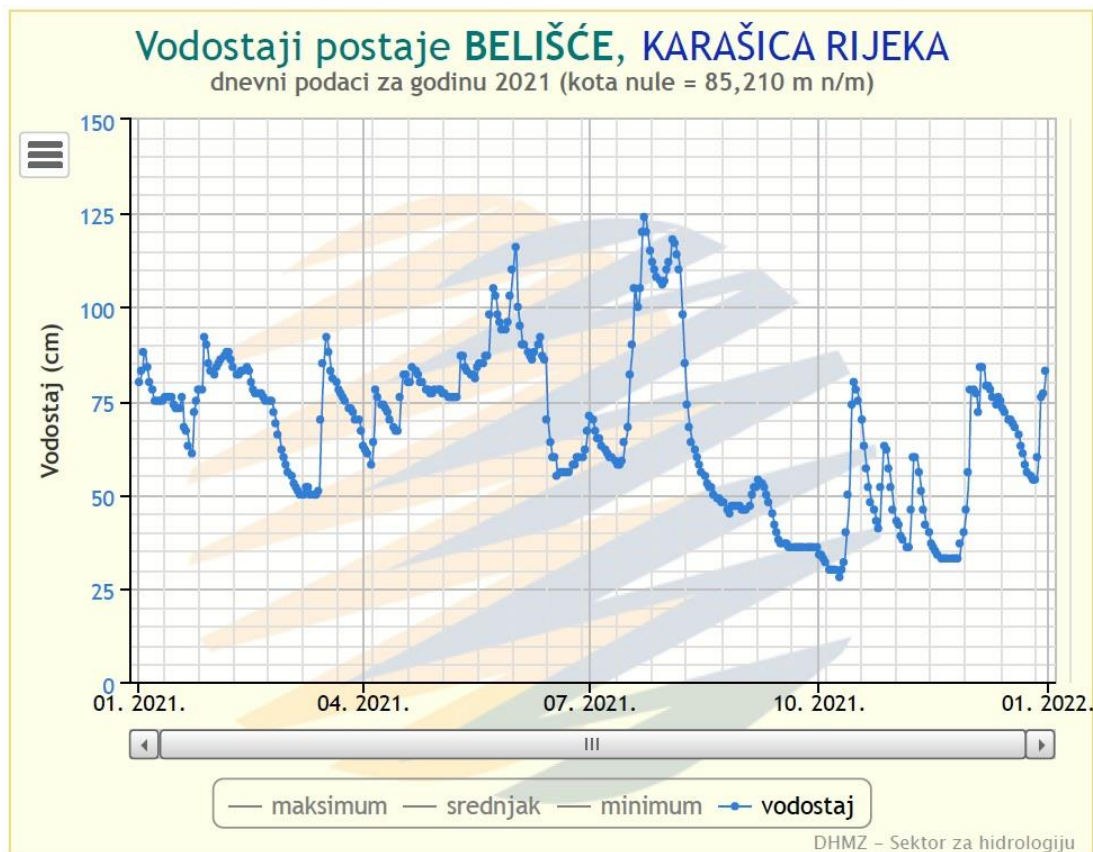
Slika 4.10. Prikaz lokacije mjerne postaje u gradu Belišću [24]



Slika 4.11. Rijeka Karašica na lokaciji u Belišću [25]

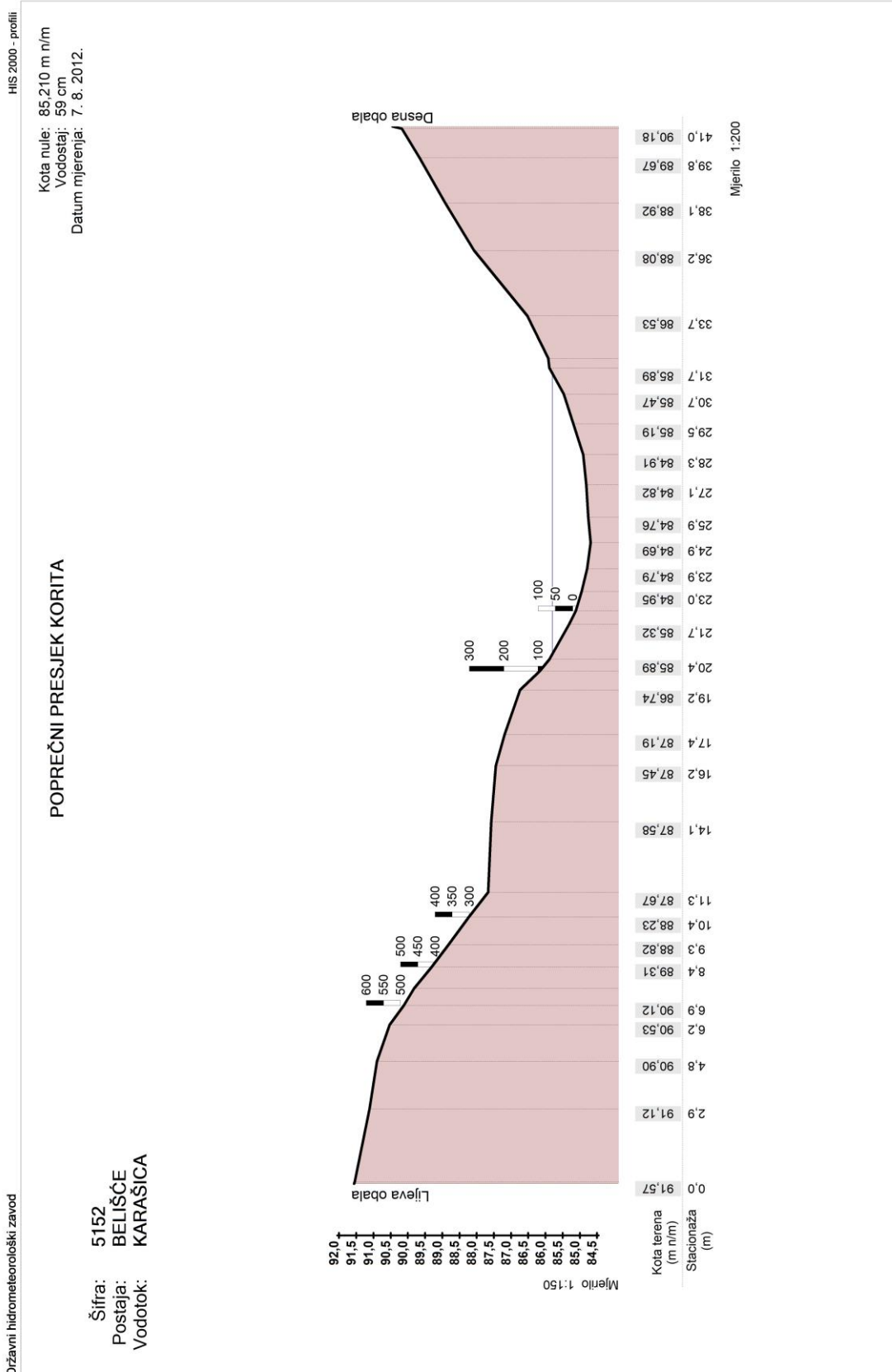


Slika 4.12. Rijeka Karašica na lokaciji u Belišću [25]



Slika 4.13. Nivogram rijeke Karašice na mjernoj postaji Belišće [26]

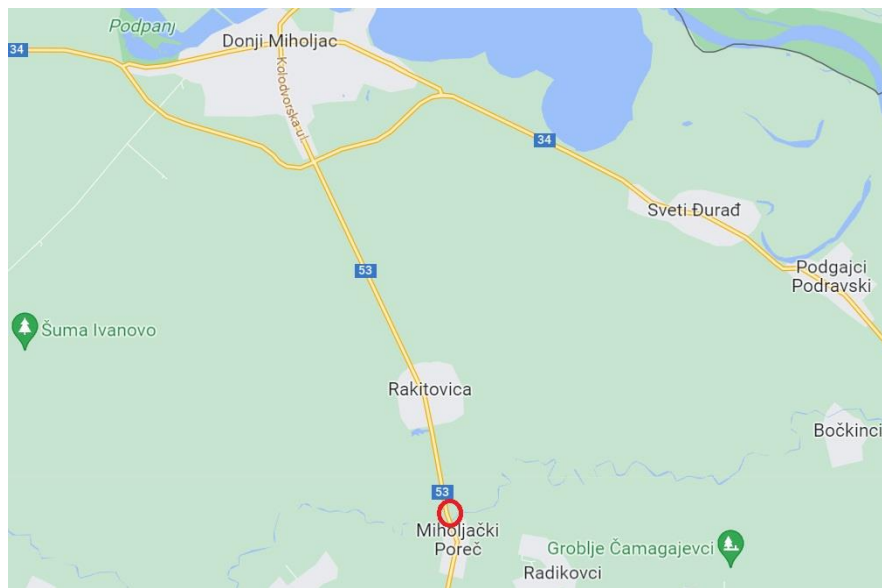
Prema dostupnim podacima hidrološke postaje Belišće, vidljivo je kako je najveći vodostaj u 2021. godini izmjeren 23.07.2021., u visini 124 cm, a najmanji 09.10.2021. godine visine 28 cm. Nivogram i poprečni presjek korita rijeke Karašice na mjernoj postaji Belišće prikazani su na slikama 4.13. i 4.14. Nema podataka o proračunu protoka za mjernu postaju Belišće, te se zbog nedostajanja podataka o protoku za navedenu lokaciju neće se provoditi proračun snage male hidroelektrane.



Slika 4.14. Poprečni presjek korita rijeke Karašice uz mjernu postaju u Belišću [26]

4.4. Lokacija Miholjački Poreč, rijeka Karašica

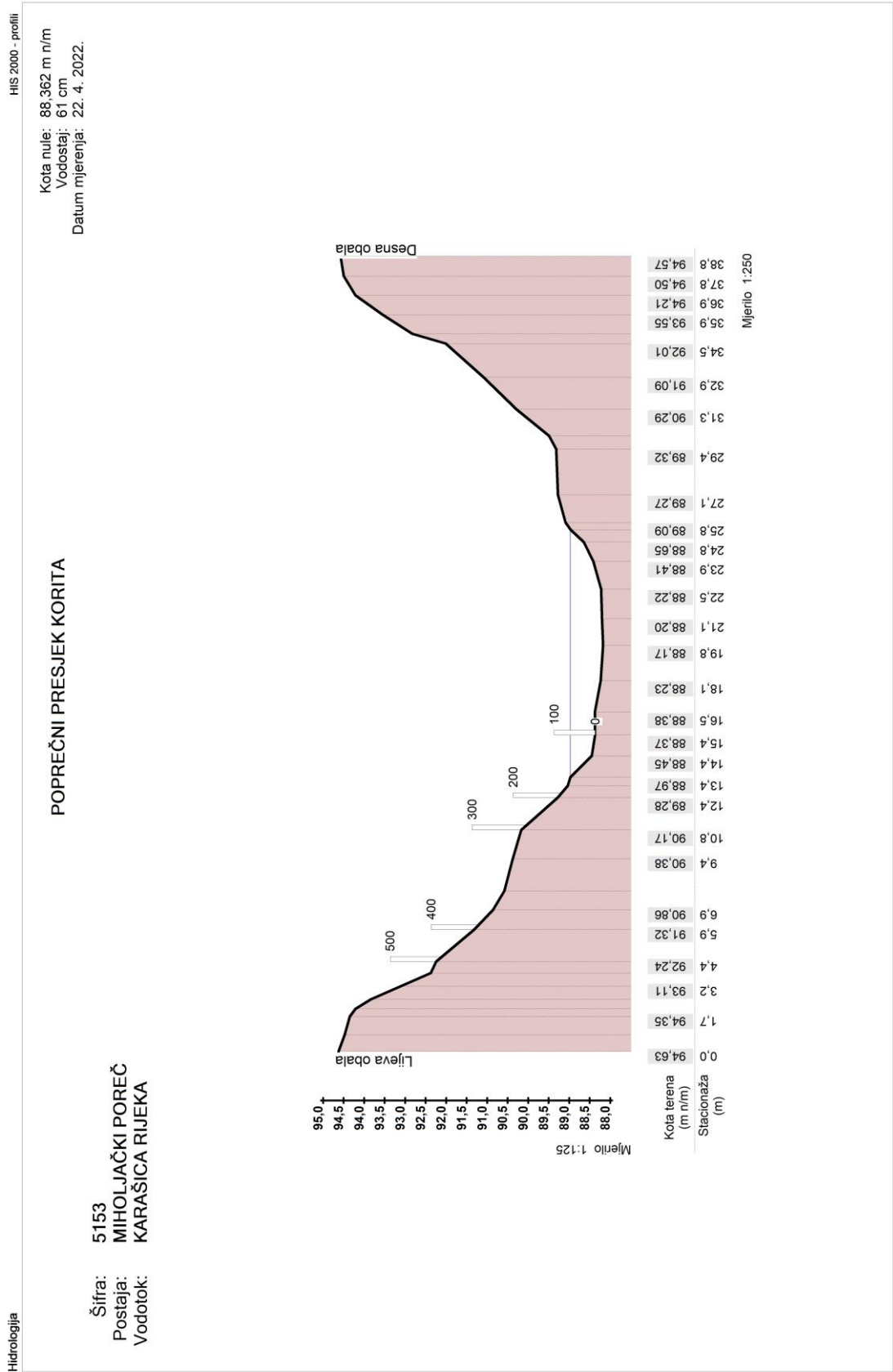
Naselje Miholjački Poreč se nalazi uz desnu obalu rijeke Karašice i u sastavu je grada Donjeg Miholjca u Osječko-baranjskoj županiji. Na navedenoj lokaciji nalazi se mjerna hidrološka postaja za očitavanje vodostaja rijeke Karašice, odnosno za određivanje protoka. Slike 4.15. i 4.16. prikazuju lokaciju mjerne postaje u naselju Miholjački Poreč.



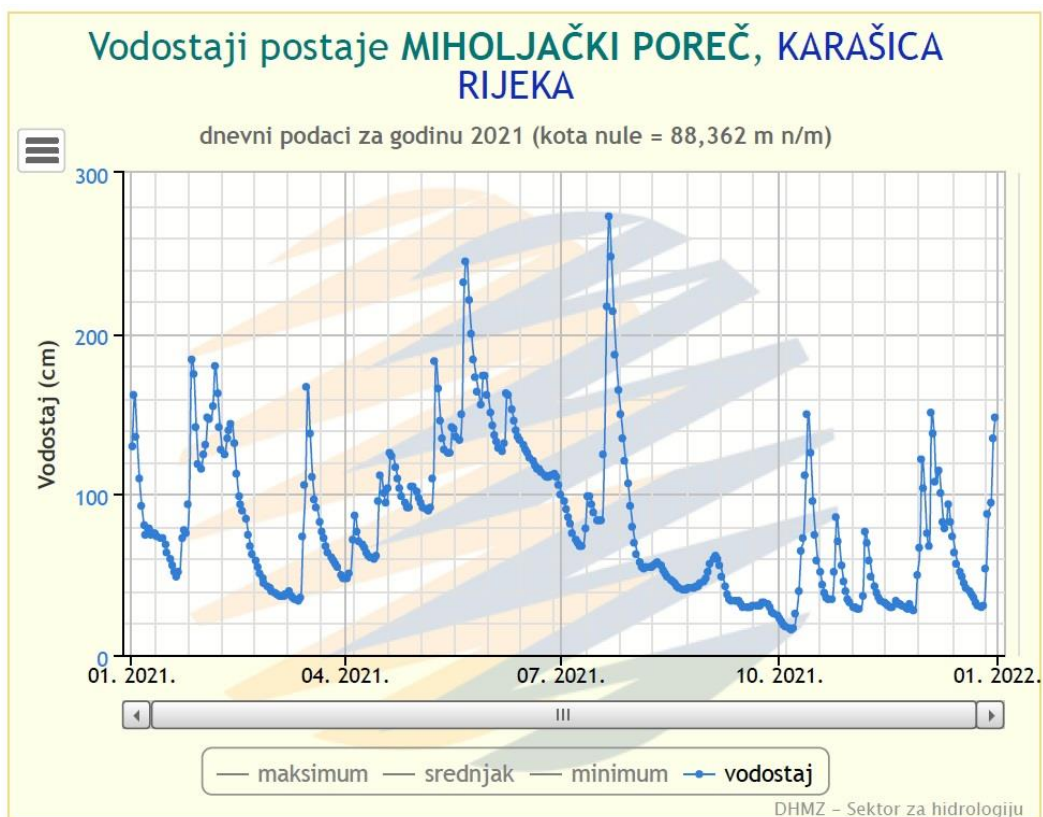
Slika 4.15. Prikaz lokacije mjerne postaje u naselju Miholjački Poreč [24]



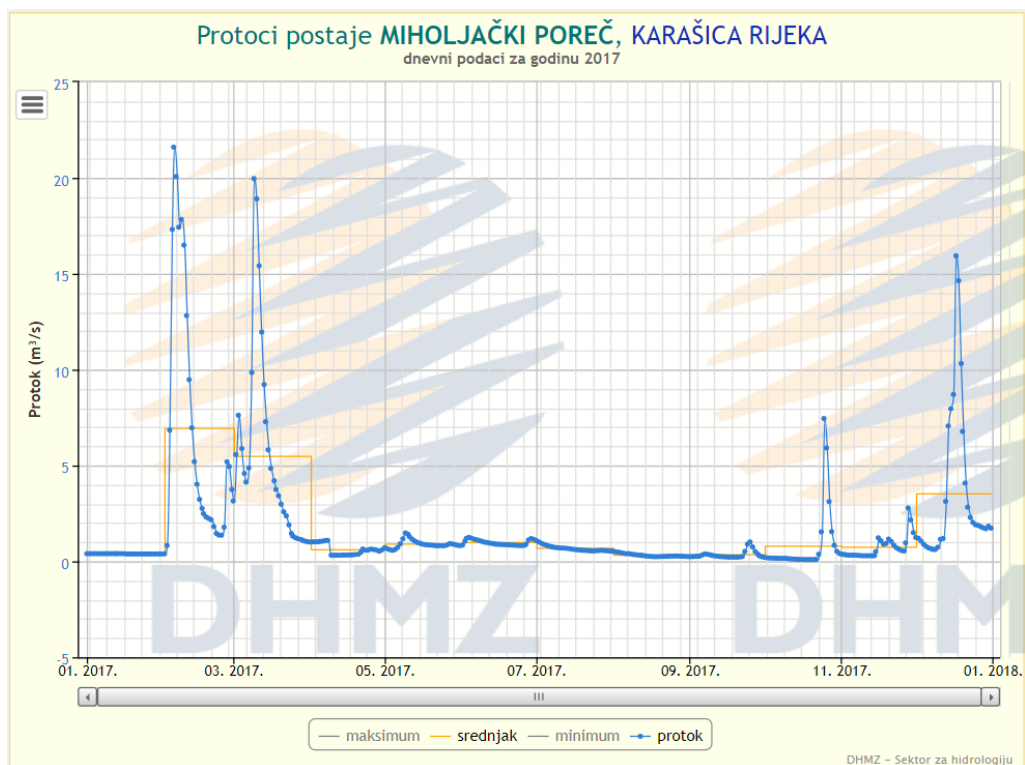
Slika 4.16. Rijeka Karašica na lokaciji Miholjački Poreč [25]



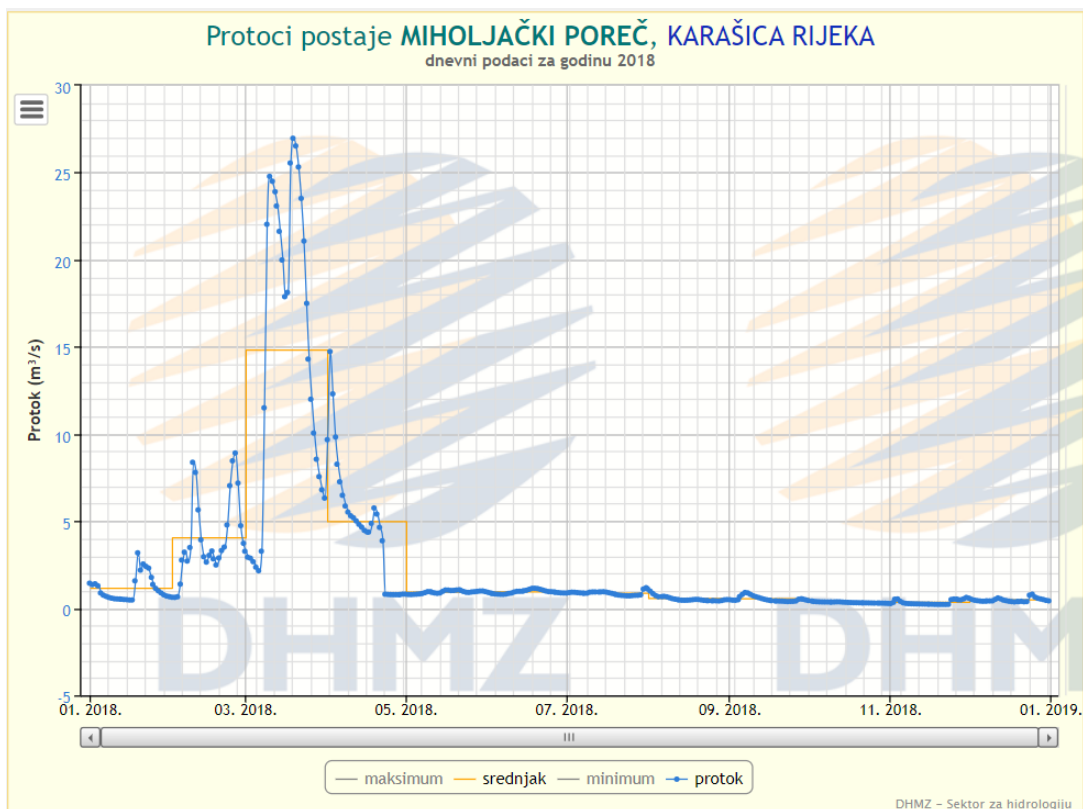
Slika 4.17. Poprečni presjek korita rijeke Karašice uz mjernu postaju u Belišću [26]



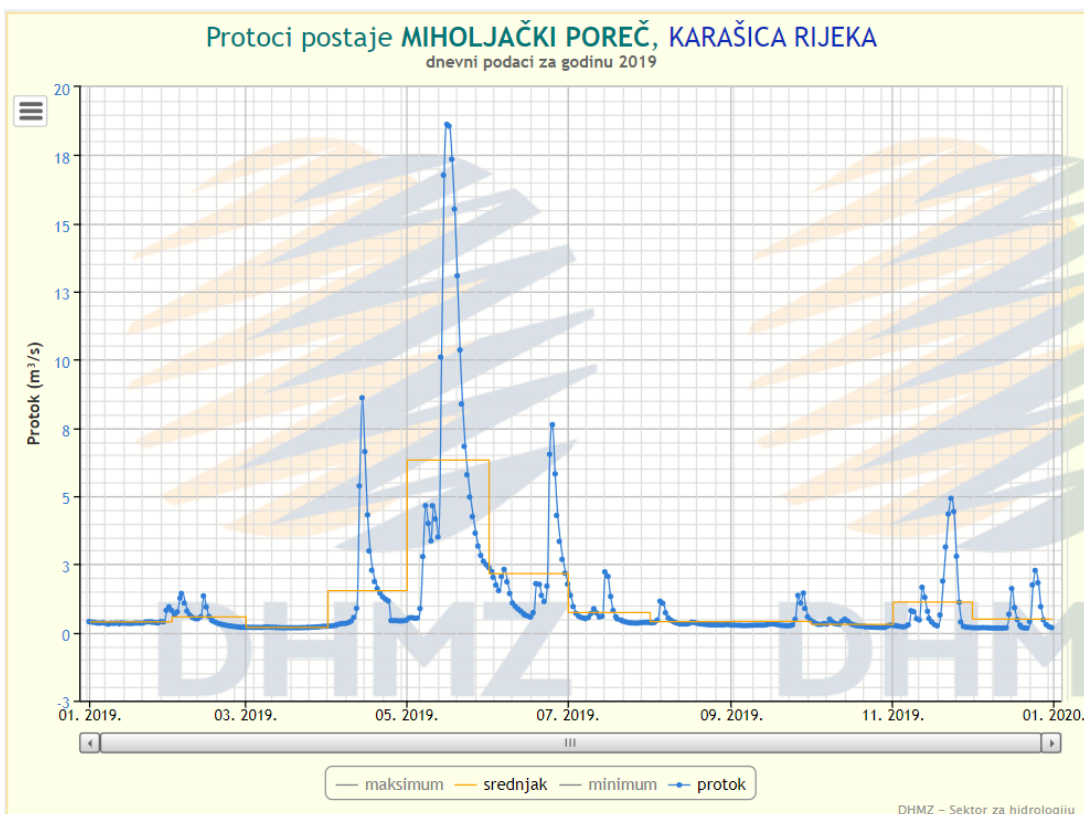
Slika 4.18. Nivogram rijeke Karašice za 2021. godinu na mjernoj postaji Miholjački Poreč [26]



Slika 4.19. Hidrogram rijeke Karašice za 2017. godinu na mjernoj postaji Miholjački Poreč [26]



Slika 4.20. Hidrogram rijeke Karašice za 2018. godinu na mjernoj postaji Miholjački Poreč [26]



Slika 4.21. Hidrogram rijeke Karašice za 2019. godinu na mjernoj postaji Miholjački Poreč [26]

Prema dostupnim podacima hidrološke postaje Miholjački Poreč, vidljivo je kako je najveći vodostaj u 2021. godini izmjeren 21.07.2021., u visini 273 cm, a najmanji 06.10.2021. godine visine 16 cm. Poprečni presjek korita i nivogram rijeke Karašice na mjernoj postaji Miholjački Poreč prikazani su na slikama 4.17. i 4.18. Proračuna protoka u 2020. i 2021. godini nije bilo zbog velike zaraštenosti korita i nestabilnog Q-H odnosa. Za proračun snage malih elektrana sa stranice Hrvatskog hidrometeorološkog zavoda preuzete su srednje mjesečne vrijednosti protoka za 2017., 2018. i 2019. godinu koje su prikazane na slikama 4.19., 4.20. i 4.21.

Analizirajući priložene nivograme, hidrograme i fotografije same rijeke na mjernim postajama Kapelna, Miholjački Poreč i Belišće, vidljivo je da se radi o malim protocima s malim dubinama vode te se procjenjuje da rijeka Karašica nema potencijal za kinetičke turbine. Zbog zaraštenosti korita koja je utvrđena na navedenim lokacijama postoji mogućnost nastanka uspora i začepljena korita što može dovesti do izlivanja rijeke na tim mjestima. Vjerojatnost za izlivanje rijeke odnosno nastanka poplave je sve veća zbog klimatskih promjena odnosno sve češćih pojava ekstremnih oborina.

5. Procjena djelovanja poplava na razmatrano područje

Na slici 5.1. prikazano je područje malog sliva Karašica – Vučica na sektoru Dunav – donja Drava.



Slika 5.1. Područje malog sliva Karašica – Vučica na sektoru Dunav – donja Drava [27]

Glavni utjecaj vodnog režima na područje malog sliva Karašica – Vučica je ugroženost nizinskog dijela od brdskih bujičnih voda.

Teren uz rijeku Karašicu uz naseljena područja je uglavnom viši od nivoa velikih voda zbog čega je mala opasnost od izljevanja iste uz naseljena područja, osim na manjem dijelu u blizini naselja Kapelna gdje postoji opasnost za naselja Blanje, Ivanovo, Bockovac i Cret Viljevski.

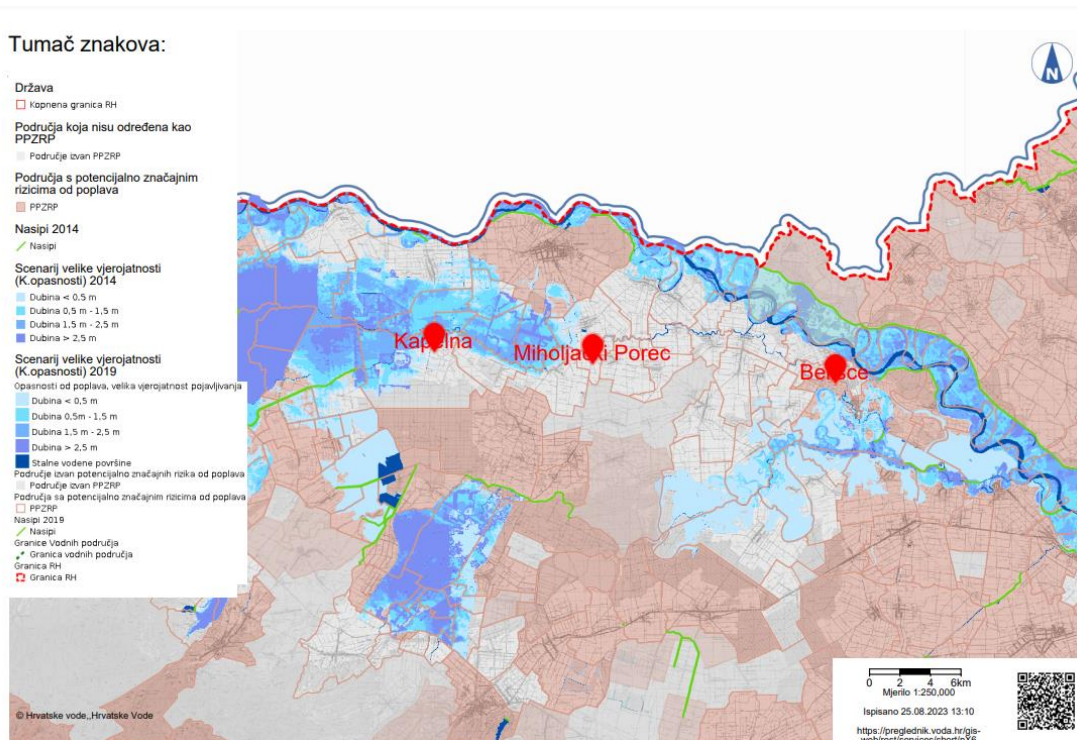
Veća pritoka rijeke Karašice je rijeka Vučica čija je desna obala obrasla šibljem i drvećem koje kod visokih voda usporavaju protok što dovodi do izljevanja rijeke na poljoprivredna zemljišta i šume. Osim šuma i poljoprivrednih zemljišta velikim vodama rijeke Vučice ugrožen je grad Valpovo, naselja Ladimirevci, Šag, Marjančaci i Petrijevci koji se nalaze nedaleko od ušća rijeke Vučice u Karašicu. [27]

Hrvatske vode su 2019. godine za vodna područja dopunile karte opasnosti od poplava. Karte sadrže prikaz mogućih razvoja poplava. Analizirani scenariji su:

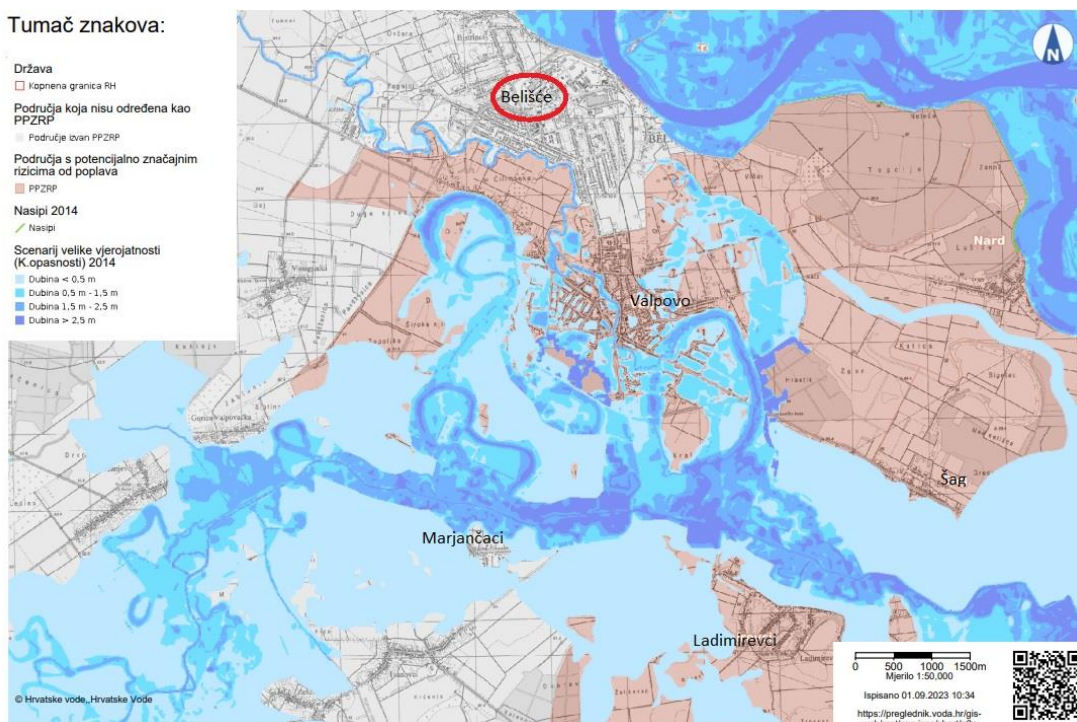
- Poplave velike vjerojatnosti pojavljivanja.
- Poplave srednje vjerojatnosti pojavljivanja.
- Poplave male vjerojatnosti pojavljivanja uključujući poplave uslijed rušenja nasipa i brana.

Jedinstvene poplavne linije za pojedine scenarije određene su kao anvelopne poplavne linije različitih izvora plavljenja. Dubine vode za jedinstvene poplavne linije određene su uz korištenje digitalnog modela terena Državne geodetske uprave. Za izradu karata opasnosti od poplava korištene su i topografske podloge Državne geodetske uprave (DGU), hidrometeorološke podloge Državnog hidrometeorološkog zavoda i mareografske podloge Hrvatskog hidrografskog instituta. [28]

Utjecaj vodnog režima na područje malog sliva Karašica – Vučica je prikazan na karti opasnosti od poplava na slikama 5.2., 5.3., 5.4. i 5.5.



Slika 5.2. Karta opasnosti od poplava za naselja uz rijeku Karašicu [28]



Slika 5.3. Karta opasnosti od poplava na lokaciji grada Belišća [28]

Na priloženoj slici 5.3. vidljivo je kako su grad Valpovo te naselja Šag, Marjančaci i Ladimirevci područja s potencijalno značajnim rizicima od poplave. Osim navedenih naselja poplavom su ugrožena okolna šumska i poljoprivredna zemljišta. Visina

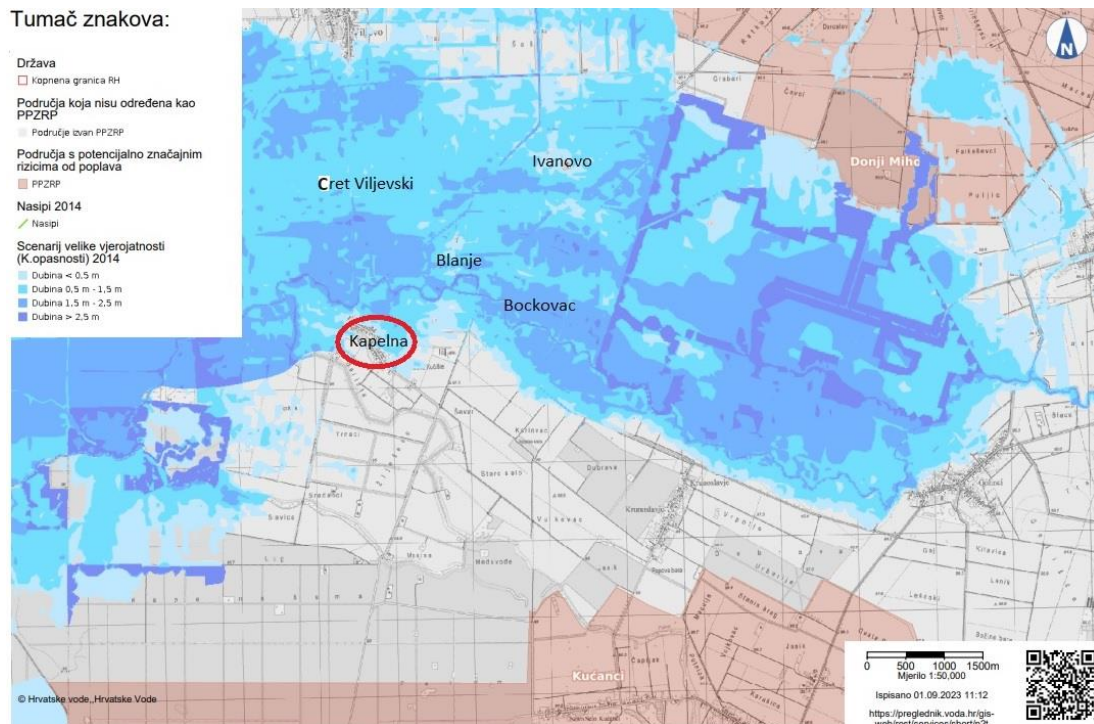
poplavne vode je prosječno manja od 0,5 metara, osim za područja neposredno uz rijeku Karašicu i Vučicu gdje može doseći visinu veću od 2,5 metara. Grad Belišće se nalazi na području koje nije određeno kao područje s potencijalno značajnim rizikom od poplave.



Slika 5.4. Karta opasnosti od poplava na lokaciji naselja Miholjački Poreč [28]

Na slici 5.4. vidljivo je da se Miholjački Poreč i okolno područje nalaze na području koja nisu određena kao područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava.

Tumač znakova:

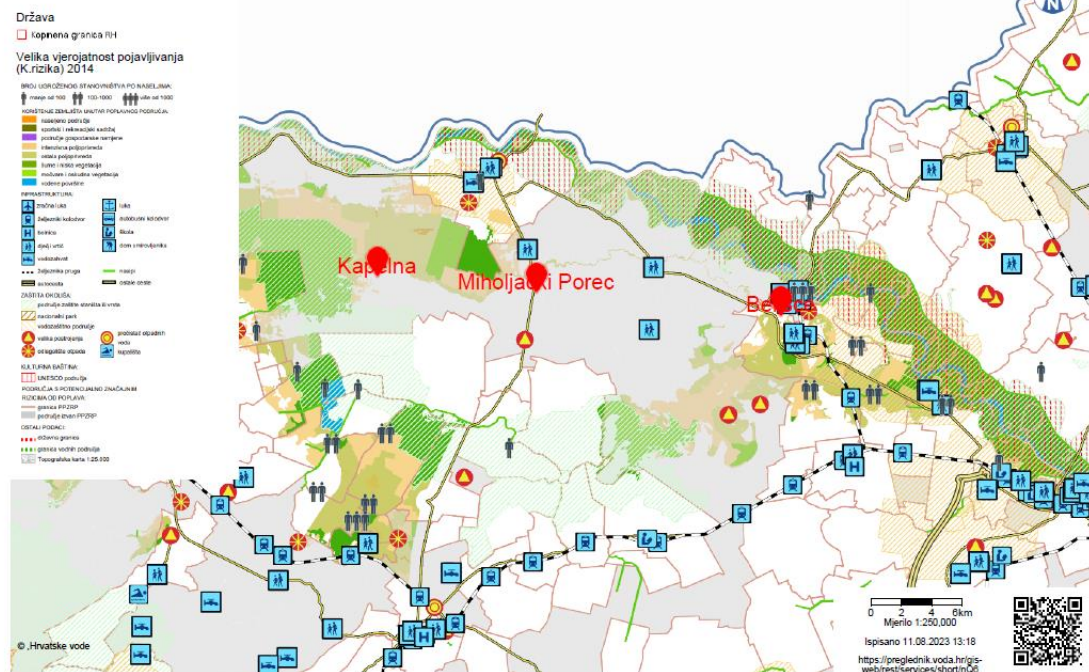


Slika 5.5. Karta opasnosti od poplava na lokaciji naselja Kapelna [28]

Prema priloženoj karti opasnosti od poplava (slika 5.5.) je vidljivo kako se naselje Kapelna te okolna naselja Cret Viljevski, Blanje, Bockovac i Ivanovo nalaze na području s potencijalno značajnim rizikom od poplave. Postoji velika opasnost od poplavne vode jer razina vode u gore navedenim naseljima i okolnom području može doseći visinu do 2,5 metara.

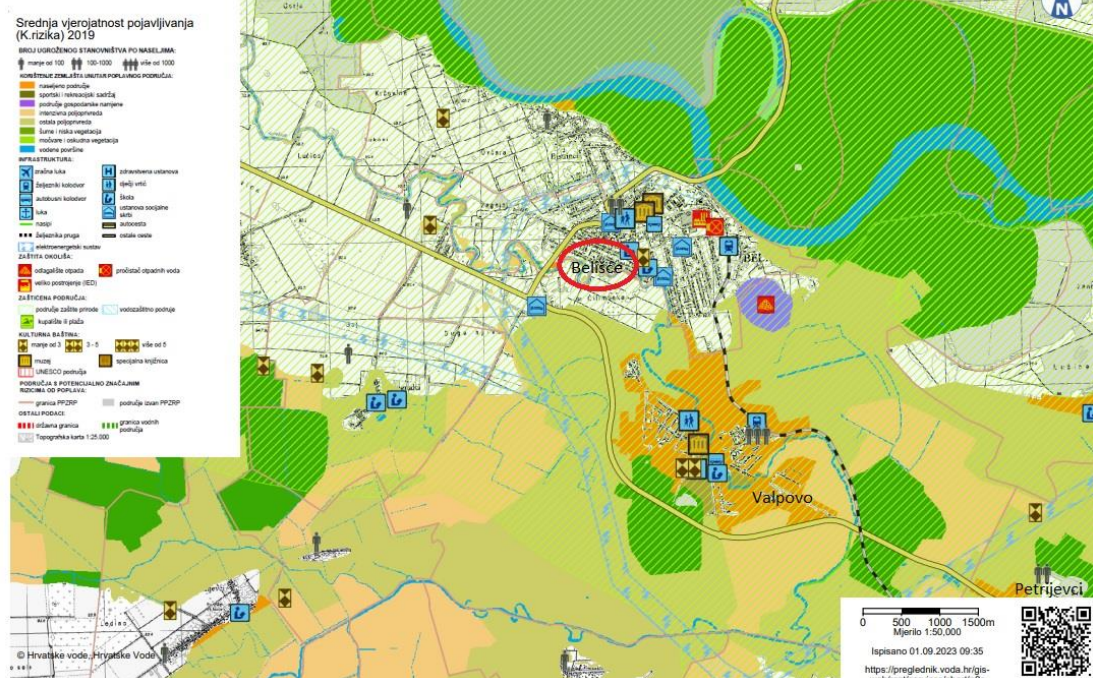
Utjecaj vodnog režima na područje malog sliva Karašica – Vučica prikazan na karti rizika od poplava na slikama 5.6., 5.7., 5.8. i 5.9.

Tumač znakova:



Slika 5.6. Karta rizika od poplava za naselja uz rijeku Karašicu [28]

Tumač znakova:

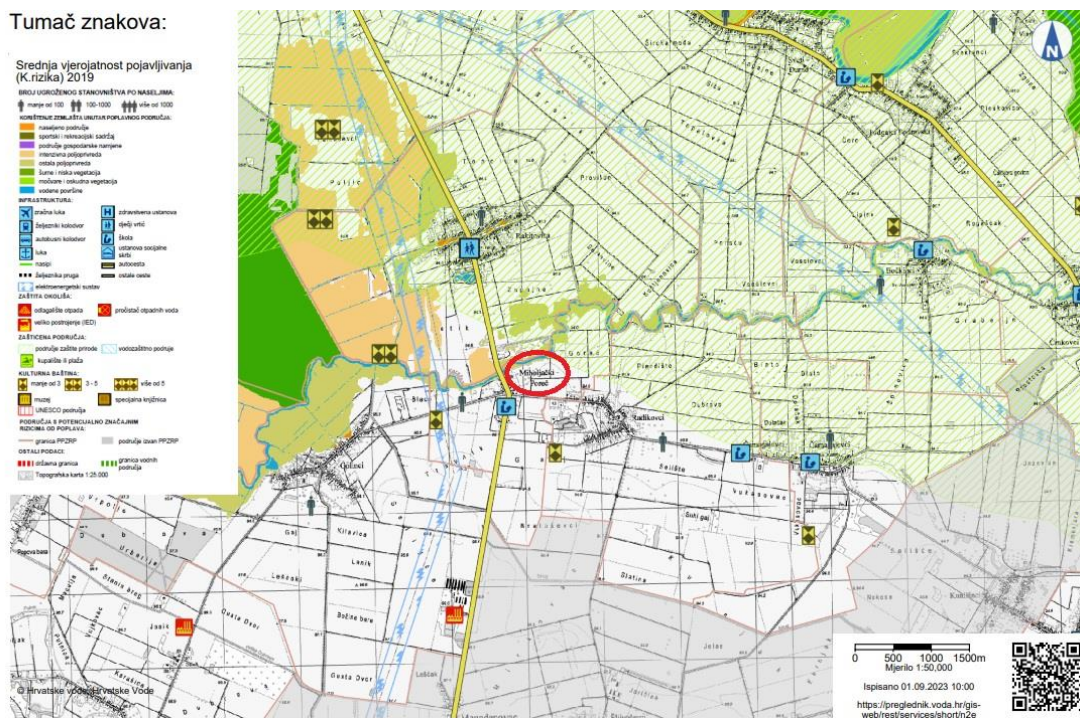


Slika 5.7. Karta rizika od poplava na lokaciji grada Belišća [28]

Na priloženoj karti rizika od poplava (slika 5.7) je vidljivo kako u gradu Belišću postoji ugroza od poplava za 100 do 1000 stanovnika. Na području grada Valpova koji se nalazi neposredno uz grad Belišće broj ugroženih stanovnika je veći od 1000,

a u naseljima Petrijevci, Ladimirevci, Marjančaci i Šag ugroza za stanovništvo je manja od 100 stanovnika. Poplavno područje obuhvaća grad Valpovo, naselja Petrijevce, Ladimirevce, Marjančace i Šag, okolna šumska, poljoprivredna zemljišta te područja zaštite prirode.

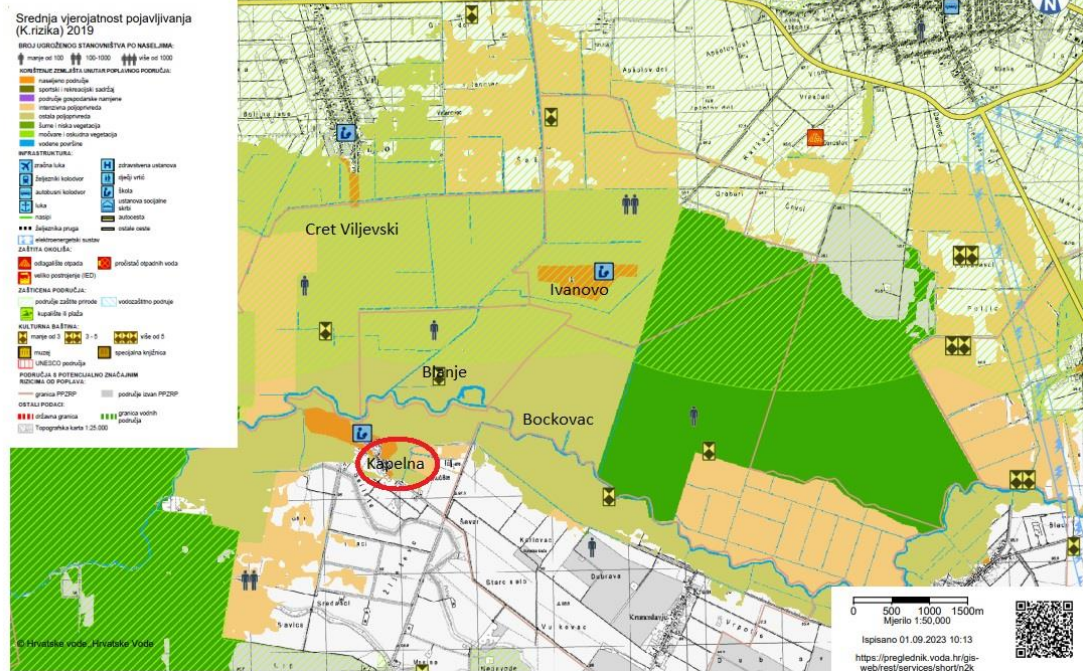
Tumač znakova:



Slika 5.8. Karta rizika od poplava na lokaciji naselja Miholjački Poreč [28]

Prema priloženoj karti rizika od poplava (slika 5.8.) za naselje Miholjački Poreč je vidljivo kako postoji ugroza za manje od 100 stanovnika. Poplavno područje obuhvaća poljoprivredna zemljišta te područja zaštite prirode.

Tumač znakova:



Slika 5.9. Karta rizika od poplava na lokaciji naselja Kapelna [28]

Na priloženoj slici 5.9. broj ugroženih stanovnika za naselja Kapelna i Ivanovo se kreće od 100 do 1000 stanovnika, a za naselja Cret Viljevski, Blanje i Bockovac ugroza postoji za manje od 100 stanovnika. Osim navedenih naselja poplavno područje obuhvaća okolna šumska, poljoprivredna zemljišta te područja zaštite prirode.

6. Proračun snage malih hidroelektrana

Za proračun snage malih hidroelektrana u obzir su uzeti podaci s mjerne postaje Miholjački Poreč i Kapelna za koje su sa stranica Hrvatskog hidrometeorološkog zavoda preuzete srednje mjesečne vrijednosti protoka.

Za lokaciju Miholjački Poreč uzete su srednje mjesečne vrijednosti protoka za 2017., 2018. i 2019. godinu, a lokaciju Kapelna za 2017., 2019. i 2021. godinu.

Tablica 6.1. Tabela prikaz srednjih mjesečnih vrijednosti protoka na lokaciji Miholjački Poreč za 2017., 2018. i 2019. godinu.

| MIHOLJAČKI POREČ | | | |
|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| MJESEC | 2017. | 2018. | 2019. |
| | Q PROTOK (m ³ /s) | Q PROTOK (m ³ /s) | Q PROTOK (m ³ /s) |
| 1. | 0,396 | 1,148 | 0,388 |
| 2. | 6,937 | 4,037 | 0,573 |
| 3. | 5,479 | 14,810 | 0,187 |
| 4. | 0,609 | 4,967 | 1,527 |
| 5. | 0,905 | 0,930 | 6,317 |
| 6. | 0,981 | 0,944 | 2,155 |
| 7. | 0,678 | 0,865 | 0,728 |
| 8. | 0,324 | 0,558 | 0,398 |
| 9. | 0,352 | 0,537 | 0,411 |
| 10. | 0,798 | 0,338 | 0,296 |
| 11. | 0,734 | 0,337 | 1,119 |
| 12. | 3,525 | 0,477 | 0,488 |

Tablica 6.2. Tabela prikaz srednjih mjesečnih vrijednosti protoka na lokaciji Kapelna za 2017., 2019. i 2021. godinu.

| KAPELNA | | | |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| MJESEC | 2017. | 2019. | 2021. |
| | Q PROTOK (m ³ /s) | Q PROTOK (m ³ /s) | Q PROTOK (m ³ /s) |
| 1. | 0,421 | - | 2,800 |
| 2. | 7,022 | - | 3,298 |
| 3. | 5,640 | - | 1,270 |
| 4. | 0,455 | - | 1,347 |
| 5. | 0,493 | - | 2,739 |
| 6. | 0,418 | 1,992 | 1,581 |
| 7. | 0,341 | 0,721 | 1,496 |
| 8. | 0,241 | 0,462 | 0,314 |
| 9. | 0,250 | 0,625 | 0,265 |
| 10. | 0,704 | 0,361 | 0,547 |
| 11. | 0,262 | 0,623 | 0,503 |
| 12. | - | 0,694 | 1,462 |

Tablica 6.3. Tabelarni prikaz srednje godišnje vrijednosti protoka na lokaciji Miholjački Poreč za 2017., 2018. i 2019. godinu.

| MIHOLJAČKI POREČ | | | |
|------------------|------------------|------------------|------------------|
| MJESEC | 2017. | 2018. | 2019. |
| | Q PROTOK (m3/s) | Q PROTOK (m3/s) | Q PROTOK (m3/s) |
| 1. | 1,810 | 2,496 | 1,216 |

Tablica 6.4. Tabelarni prikaz srednje godišnje vrijednosti protoka na lokaciji Kapelna za 2017., 2019. i 2021. godinu.

| KAPELNA | | | |
|---------|------------------|------------------|------------------|
| MJESEC | 2017. | 2019. | 2021. |
| | Q PROTOK (m3/s) | Q PROTOK (m3/s) | Q PROTOK (m3/s) |
| 1. | 1,354 | 0,457 | 1,469 |

Korištenjem izraza za snagu hidroelektrane koja koristi potencijalnu energiju vode izračunati će se snaga. Pri izračunu snage mijenjane su visine pregrada odnosno ostvareni visinski pad počevši od 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m i 2,0 m. Korištena učinkovitost turbine je 80%. [29].

Količina električne energije je temeljena na 250 radnih dana u godini, jer je potrebno uzeti u obzir sušni period i vrijeme za kontrolu i održavanje, kao i pravila struke [29]. Dobiveni rezultati su prikazani u tablicama 6.5. i 6.6.

Za izlaznu snagu pri proračunu potencijalne energije korišten je izraz (3).

Tablica 6.5. Tabela prikaz izračunatog potencijala za lokaciju Kapelna za 2017., 2019. i 2021. godinu.

| KAPELNA 2017. GODINA | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|-----------------|--------------------|-----------------------------|---|---|
| VISINA PREGRADE - OSTVARENI NETO PAD | PROTOK | GUSTOĆA VODE | UBRZANJE SILE TEŽE | UČINKOVITOST HIDROELEKTRANE | IZLAZNA SNAGA HIDROELEKTRANE | PROIZVODNJA ENERGIJE |
| H (m) | $Q (m^3/s)$ | $\rho (kg/m^3)$ | $g (m/s^2)$ | η HE (80%) | $P = (\rho \times g \times H \times Q \times \eta) / 1000$ [kW] | $E = P \times 250$ dana * 24 sata [kWh] |
| 0,5 | 1,354 | 9,81 | 1000 | 80% | 5,31 | 31.878,58 |
| 1 | | | | | 10,63 | 63.757,15 |
| 1,5 | | | | | 15,94 | 95.635,73 |
| 2 | | | | | 21,25 | 127.514,30 |
| KAPELNA 2019. GODINA | | | | | | |
| VISINA PREGRADE - OSTVARENI NETO PAD | PROTOK | GUSTOĆA VODE | UBRZANJE SILE TEŽE | UČINKOVITOST HIDROELEKTRANE | IZLAZNA SNAGA HIDROELEKTRANE | PROIZVODNJA ENERGIJE |
| H (m) | $Q (m^3/s)$ | $\rho (kg/m^3)$ | $g (m/s^2)$ | η HE (80%) | $P = (\rho \times g \times H \times Q \times \eta) / 1000$ [kW] | $E = P \times 250$ dana * 24 sata [kWh] |
| 0,5 | 0,457 | 9,81 | 1000 | 80% | 1,79 | 10.759,61 |
| 1 | | | | | 3,59 | 21.519,22 |
| 1,5 | | | | | 5,38 | 32.278,82 |
| 2 | | | | | 7,17 | 43.038,43 |
| KAPELNA 2021. GODINA | | | | | | |
| VISINA PREGRADE - OSTVARENI NETO PAD | PROTOK | GUSTOĆA VODE | UBRZANJE SILE TEŽE | UČINKOVITOST HIDROELEKTRANE | IZLAZNA SNAGA HIDROELEKTRANE | PROIZVODNJA ENERGIJE |
| H (m) | $Q (m^3/s)$ | $\rho (kg/m^3)$ | $g (m/s^2)$ | η HE (80%) | $P = (\rho \times g \times H \times Q \times \eta) / 1000$ [kW] | $E = P \times 250$ dana * 24 sata [kWh] |
| 0,5 | 1,469 | 9,81 | 1000 | 80% | 5,76 | 34.586,14 |
| 1 | | | | | 11,53 | 69.172,27 |
| 1,5 | | | | | 17,29 | 103.758,41 |
| 2 | | | | | 23,06 | 138.344,54 |

Tablica 6.6. Tabela prikaz izračunatog potencijala za lokaciju Miholjački Poreč za 2017., 2018. i 2019. godinu.

| MIHOLJAČKI POREČ 2017. GODINA | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|-----------------|--------------------|-----------------------------|---|---|
| VISINA PREGRADE - OSTVARENI NETO PAD | PROTOK | GUSTOĆA VODE | UBRZANJE SILE TEŽE | UČINKOVITOST HIDROELEKTRANE | IZLAZNA SNAGA HIDROELEKTRANE | PROIZVODNJA ENERGIJE |
| H (m) | $Q (m^3/s)$ | $\rho (kg/m^3)$ | $g (m/s^2)$ | η HE (80%) | $P = (\rho \times g \times H \times Q \times \eta) / 1000$ [kW] | $E = P \times 250$ dana * 24 sata [kWh] |
| 0,5 | 1,81 | 9,81 | 1000 | 80% | 7,10 | 42.614,64 |
| 1 | | | | | 14,20 | 85.229,28 |
| 1,5 | | | | | 21,31 | 127.843,92 |
| 2 | | | | | 28,41 | 170.458,56 |
| MIHOLJAČKI POREČ 2018. GODINA | | | | | | |
| VISINA PREGRADE - OSTVARENI NETO PAD | PROTOK | GUSTOĆA VODE | UBRZANJE SILE TEŽE | UČINKOVITOST HIDROELEKTRANE | IZLAZNA SNAGA HIDROELEKTRANE | PROIZVODNJA ENERGIJE |
| H (m) | $Q (m^3/s)$ | $\rho (kg/m^3)$ | $g (m/s^2)$ | η HE (80%) | $P = (\rho \times g \times H \times Q \times \eta) / 1000$ [kW] | $E = P \times 250$ dana * 24 sata [kWh] |
| 0,5 | 2,496 | 9,81 | 1000 | 80% | 9,79 | 58.765,82 |
| 1 | | | | | 19,59 | 117.531,65 |
| 1,5 | | | | | 29,38 | 176.297,47 |
| 2 | | | | | 39,18 | 235.063,30 |
| MIHOLJAČKI POREČ 2019. GODINA | | | | | | |
| VISINA PREGRADE - OSTVARENI NETO PAD | PROTOK | GUSTOĆA VODE | UBRZANJE SILE TEŽE | UČINKOVITOST HIDROELEKTRANE | IZLAZNA SNAGA HIDROELEKTRANE | PROIZVODNJA ENERGIJE |
| H (m) | $Q (m^3/s)$ | $\rho (kg/m^3)$ | $g (m/s^2)$ | η HE (80%) | $P = (\rho \times g \times H \times Q \times \eta) / 1000$ [kW] | $E = P \times 250$ dana * 24 sata [kWh] |
| 0,5 | 1,216 | 9,81 | 1000 | 80% | 4,77 | 28.629,50 |
| 1 | | | | | 9,54 | 57.259,01 |
| 1,5 | | | | | 14,31 | 85.888,51 |
| 2 | | | | | 19,09 | 114.518,02 |

7. Analiza dobivenih rezultata

Analizirajući snage turbine na lokacijama Kapelna i Miholjački Poreč utvrđeno je kako su snage turbine koje koriste potencijalnu energiju veće na višim pregradama.

Najmanja proračunata snaga turbine na lokaciji Kaplena dobivena je 2019. godine pri neto ostvarenom padu od 0,5 metara i iznosila je 1,79 kW, dok je najveća proračunata snaga iznosila 23,06 kW i ostvarena je 2021. godine pri neto padu od 2,0 metra.

Na lokaciji Miholjački Poreč najmanja proračunata snaga je iznosila 4,77 kW i ostvarena je 2019. godine pri neto padu od 0,5 m, a najviša je dobivena 2018. godine pri neto padu od 2,0 m i iznosila je 39,18 kW .

Prema proračunatim snagama turbine utvrđeno je da se radi o neznatnim razlikama između navedenih mjernih lokacija te da se prema proračunatoj snazi turbine radi o piko i mikro hidroelektranama.

8. Ekonomska analiza isplativosti izgradnje male hidroelektrane

Prema priloženim tablicama 6.5. i 6.6. vidljivo je da najveća godišnja proizvodnja električne energije za lokaciju rijeke Karašica u naselju Kapelna iznosi 138.344,54 kWh pri visini pregrade od 2,0 m dok je najveća proizvodnja električne energije za lokaciju rijeke Karašice u naselju Miholjački Poreč 235.063,30 kWh kod visine pregrade od 2,0 m. Međutim, za potrebe analize izračunat je prosjek za obje lokacije pri visini pregradne od 2,0 m te su podaci prikazani u tablicama 6.7. i 6.8.

Tablica 6.7. Prosjek izlazne snage hidroelektrane za naselje Kapelna

| KAPELNA | |
|---------------------|--------------------------------------|
| GODINA | IZLAZNA SNAGA HIDROELEKTRANE (kW) |
| 2017., 2019., 2021. | 17,16 |

Tablica 6.8. Prosjek izlazne snage hidroelektrane za naselje Miholjački Poreč

| MIHOLJAČKI POREČ | |
|---------------------|--------------------------------------|
| GODINA | IZLAZNA SNAGA HIDROELEKTRANE (kW) |
| 2017., 2018., 2019. | 28,89 |

Ekonomska analiza isplativosti izgradnje male hidroelektrane provest će se na primjeru izgradnje mikro hidroelektrane u naselju Kapelna s instaliranim kapacitetom 17,16 kW te na primjeru izgradnje mikro hidroelektrane u naselju Miholjački Poreč s instaliranim kapacitetom 28,89 kW.

Kako bi se procijenili prihodi hidroelektrane, uzima se u izračun poticajna cijena Hrvatskog operatora tržišne cijene za hidroelektrane instalirane snage do uključivo 300 kW za 1 kWh, koja iznosi 0,14 EUR [30]. U Kapelni je planirano da će

hidroelektrana proizvesti 102.960 kWh (250*24 h*17,16 kW), a u Miholjačkom Poreču da će hidroelektrana 173.340 kWh (250*24 h*28,89 kW).

Procjenjuje se da će ukupni godišnji otkup električne energije iznositi za rijeku Karašicu na lokaciji Kapelna 14.414,40 EUR, a za lokaciju Miholjački Poreč 24.267,60 EUR.

S obzirom na veliku razliku u prosječnim cijenama izgradnje po regijama i s obzirom na veličinu hidroelektrane, potrebno je u izračunima koristiti prosječnu cijenu izgradnje male hidroelektrane (do 10 MW) u Europi. Prosječna cijena izgradnje male hidroelektrane kapaciteta 0-10 MW u Europi u razdoblju 2010-2022 iznosi 3.729 USD/kW [31], odnosno 3.451,81 EUR/kW uključivši i PDV (preračunato prema srednjem tečaju HNB-a na dan 30.08.2023. 1 EUR = 1,0803 USD) te bi u skladu s tim kapitalni troškovi za lokaciju rijeke Karašice u naselju Kapelna iznosili 59.233,06 EUR, a za naselje Miholjački Poreč 99.722,79 EUR. Procjenjuje se da investicija, od pripreme projektne dokumentacije do stavljanja male hidroelektrane u rad, traje 2 godine.

Tablica 6.9. Rekapitulacija podataka za izračun prihoda i troškova za obje lokacije

| POSTROJENJE | PRODAJNA CIJENA (EUR/Kwh) | GODIŠNJI OTKUP ELEKTRIČNE ENERGIJE(EUR) | KAPITALNI (INVESTICIJSKI) TROŠKOVI (EUR) |
|----------------------|---------------------------------|--|---|
| MHE KAPELNA | 0,14 | 14.414,40 | 59.233,06 |
| MHE MIHOLJAČKI POREČ | 0,14 | 24.267,60 | 99.722,79 |

S obzirom na prethodne podatke navedene u tablici 6.9., može se izračunati vrijeme povrata investicije za obje lokacije.

Tablica 6.10. Vrijeme povrata investicije za lokaciju Kapelna

| KAPELNA | | |
|---------------------------|---|--|
| A: KAPITALNI TROŠAK (EUR) | B: GODIŠNJI OTKUP ELEKTRIČNE ENERGIJE (EUR) | C: POVRAT INVESTICIJE (GODINA) C = A/B |
| 59.233,06 | 14.414,40 | 4,11 → 4,5 |

Tablica 6.11. Vrijeme povrata investicije za lokaciju Miholjački Poreč

| MIHOLJAČKI POREČ | | |
|---------------------------|---|--|
| A: KAPITALNI TROŠAK (EUR) | B: GODIŠNJI OTKUP ELEKTRIČNE ENERGIJE (EUR) | C: POVRAT INVESTICIJE (GODINA) C = A/B |
| 99.722,79 | 24.267,60 | 4,11 → 4,5 |

Na temelju dobivenih rezultata iz tablice 6.10. i 6.11. zaključuje se da je vrijeme povrata investicije za obje lokacije 4,5 godina.

9. Zaključak

Svrha ovog diplomskog rada je bila odrediti hidroenergetski potencijal rijeke Karašice na lokacijama Kapelna, Miholjački Poreč i Belišće. Analizom hidrograma, nivograma i stanja na terenu utvrđeno kako rijeka Karašica nema potencijal za kinetičke turbine.

Za dvije lokacije za koje postoje raspoloživi podaci o protocima od DHMZ-a izvršen je proračun snage turbine koje koriste potencijalnu energiju. Proračun je obuhvaćao korištenje različite visine pregrada (0,5 m, 1,0 m, 1,5m i 2,0 m). Dobivenim rezultatima na obje lokacije uključujući sve korištene visine pregrada utvrđeno je kako rijeka Karašica ima potencijal za gradnju mikro hidroelektrana.

S obzirom na sve raspoložive podatke, preporučuje se provesti detaljnija hidrometrijska mjerenja, odnosno mjerenja protoka, brzine i poprečnog presjeka korita kako bi se dobio realniji uvid za potencijal i samu isplativost gradnje mikro hidroelektrana.

Osim određivanja hidroenergetskog potencijala rijeke Karašice utvrđeno je kako je opasnost od izlivanja rijeke Karašice mala, ali zbog zaraštenosti korita koja je utvrđena na navedenim lokacijama ipak postoji mogućnost nastanka uspora, smanjenja protočnosti korita, podizanja razine vode i izlivanja rijeke na tim mjestima. Vjerojatnost za izlivanje rijeke u budućnosti je sve veća zbog klimatskih promjena, odnosno sve češćih pojava ekstremnih oborina. Izgradnjom malih hidroelektrana, odnosno pregrada smanjuje se opasnost od poplava jer se time mogu regulirati, odnosno zadržavati protoci. Dodatno utvrđivanje korita na navedenim mjestima doprinosi smanjenju urušavanja korita. Također, lokacije građenja malih hidroelektrana pod češćim su nadzorom u odnosu na lokacije na kojima nema takvih građevina.

10. Literatura

- [1] Andričević, R., Vodni sustavi, Onečišćenje površinskih voda – predavanje br. 5
- [2] Wikipedija, raspoloživo na: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Poplava> (pristupljeno 18.04.2023.)
- [3] TV Našice, raspoloživo na: <https://nasice.com/velike-poplave-na-nasickom-podrucju/>, 19.07.2021. (pristupljeno 18.04.2023.)
- [4] SIB Hr, raspoloživo na: <https://sib.net.hr/galerije/sibplus/skidamo-prasinu/2726479/poplava-u-osijeku-1965-godine/?slika=3475581> (pristupljeno 18.04.2023.)
- [5] Wikipedija, raspoloživo na: https://hr.wikipedia.org/wiki/Poplave_u_isto%C4%8Dnoj_Hrvatskoj_u_svibnju_2014. (pristupljeno 18.04.2023.)
- [6] Kuspilić, N., Hidrotehničke građevine, 17.04.2008.
- [7] Direktiva 2007/60/EZ Europskog Parlamenta i Vijeća od 29.10.2007.
- [8] Barbalić, D., Karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava, Opatija, 2021. godine.
- [9] Đurin, B., Vodni sustavi – Akumulacije i retencije - pred 5 -2021
- [10] Kopački rit, raspoloživo na: <https://www.yachtscroatia.hr/kopacki-rit/> (pristupljeno 20.04.2023.)
- [11] Lovrić, I.; Kalinić, F.; Novinc, M., Bujične poplave – uzroci, mjere ublažavanja i primjeri u Hrvatskoj, Zagreb 2023. godina
- [12] OIE Hrvatska, Pregled energetske kretanja u Hrvatskoj u veljači 2023., raspoloživo na: <https://oie.hr/pregled-energetskih-kretanja-u-hrvatskoj-u-veljaci-2023/> (pristupljeno 20.04.2023.)
- [13] OIE Hrvatska, Energetski pokazatelji za prva tri mjeseca 2023., raspoloživo na: <https://oie.hr/energetski-pokazatelji-za-prva-tri-mjeseca-2023/> (pristupljeno 20.04.2023.)
- [14] Đurin, B., Vodni sustavi – Općenito o hidroelektranama - pred 1 -2021
- [15] Opća shema male hidroelektrane, raspoloživo na: <https://www.slideshare.net/hussanara/working-of-hydroelectric-power-plant>, (pristupljeno 22.04.2023.)
- [16] Đurin, B., Vodni sustavi - turbine, male HE-pred 2-2021

- [17] Hidroelektrane, raspoloživo na: <http://slidegur.com/doc/201617/hidroelektrane> [12.06.2017](#) (pristupljeno 25.04.2023.)
- [18] Wikipedija, raspoloživo na: https://hr.wikipedia.org/wiki/Kaplanova_turbina (pristupljeno 25.04.2023.)
- [19] Wikipedija, raspoloživo na: https://hr.wikipedia.org/wiki/Francisova_turbina (pristupljeno 25.04.2023.)
- [20] Pelton turbine, raspoloživo na: <https://kleinwasserkraft.energy/pelton-turbine/> (pristupljeno 25.04.2023.)
- [21] Turgo turbine, raspoloživo na: <https://www.linquip.com/blog/turgo-turbine/> (pristupljeno 25.04.2023.)
- [22] Prikaz toka rijeke Karašice, raspoloživo na: https://www.researchgate.net/figure/The-flow-of-the-Karasica-River-and-its-main-tributaries-Base-map-CGA-DEM10_fig4_362003236 (pristupljeno 28.04.2023.)
- [23] Nadilo B., Tekla voda Karašica, Građevinar, 2/2014.
- [24] Google karte, raspoloživo na: <https://www.google.com/maps> (pristupljeno 28.04.2023.)
- [25] Horvat, M., fotografija, 4/2023
- [26] Državni hidrometeorološki zavod, raspoloživo na: <https://hidro.dhz.hr/> (pristupljeno 12.06.2023.)
- [27] Provedbeni plan obrane od poplava branjenog područja Hrvatske vode, raspoloživo na: <https://voda.hr/hr/provedbeni-planovi-obrane-od-poplava> (pristupljeno 14.06.2023.)
- [28] Karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava, raspoloživo na: <http://korp.voda.hr/> (pristupljeno 14.06.2023.)
- [29] Kos, Ž.; Đurin, B.; Dogančić, D.; Kranjčić, N., Hydro-Energy Suitability of Rivers Regarding Their Hydrological and Hydrogeological Characteristics, Water 2021, 13(13), 1777
- [30] Hrvatski operator tržišta energije, raspoloživo na: https://files.hrote.hr/files/PDF/HR_OIE_1_Ostali_2014.pdf (pristupljeno 30. kolovoza 2023.)
- [31] International Renewable Energy Agency (IRENA): Renewable Power Generation Costs in 2022, raspoloživo na: https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Aug/IRENA_Renewable_power_gen

[eration_costs_in_2022.pdf?rev=1ae772b0f1ef4c2580bfe4bc620973b9](#) , – str. 159,
grafikon 6.6. (pristupljeno 30. kolovoza 2023.)

11. Popis slika

- 2.1. Poplava na našičkom području
- 2.2. Poplava u Osijeku 1965. godine
- 2.3. Potopljene kuće u Gunji 2014. godine
- 2.4. Podjela nasipa s obzirom na trasu
- 2.5. Profil glavnog nasipa
- 2.6. Profil ljetnog nasipa
- 2.7. Primjer karte procjene rizika od poplava
- 2.8. Kopački rit - prirodna čeona retencija
- 3.1. Raspoloživa električna energija i struktura u RH u veljači 2023. godine
- 3.2. Ostvarenje i struktura proizvodnje električne energije OIE za razdoblje siječanj - ožujak 2023. godine
- 3.3. Opća shema male hidroelektrane
- 3.4. princip vrtnje akcijske i reakcijske turbine
- 3.5. Kaplanova turbina i električni generator u presjeku
- 3.6. Francisova turbina
- 3.7. Peltonova turbina
- 3.8. Turgo turbnina
- 4.1. Prikaz toka rijeke Karašice
- 4.2. Prikaz lokacije mjerne postaje u naselju Kapelna
- 4.3. Rijeka Karašica na lokaciji u Kapelni
- 4.4. Rijeka Karašica na lokaciji u Kapelni
- 4.5. Poprečni presjek korita rijeke Karašice uz mjernu postaju u Kapelni
- 4.6. Nivogram rijeke Karašice na mjernoj postaji Kapelna
- 4.7. Hidrogram rijeke Karašice za 2017. godinu na mjernoj postaji Kapelna
- 4.8. Hidrogram rijeke Karašice za 2019. godinu na mjernoj postaji
- 4.9. Hidrogram rijeke Karašice za 2021. godinu na mjernoj postaji Kapelna
- 4.10. Prikaz lokacije mjerne postaje u gradu Belišću
- 4.11. Rijeka Karašica na lokaciji u Belišću
- 4.12. Rijeka Karašica na lokaciji u Belišću
- 4.13. Nivogram rijeke Karašice na mjernoj postaji Belišće
- 4.14. Poprečni presjek korita rijeke Karašice uz mjernu postaju u Belišću
- 4.15. Prikaz lokacije mjerne postaje u naselju Miholjački Poreč

- 4.16. Rijeka Karašica na lokaciji Miholjački Poreč
- 4.17. Poprečni presjek korita rijeke Karašice uz mjernu postaju u Belišću
- 4.18. Nivogram rijeke Karašice za 2021. godinu na mjernoj postaji Miholjački Poreč
- 4.19. Hidrogram rijeke Karašice za 2017. godinu na mjernoj postaji Miholjački Poreč
- 4.20. Hidrogram rijeke Karašice za 2018. godinu na mjernoj postaji Miholjački Poreč
- 4.21. Hidrogram rijeke Karašice za 2019. godinu na mjernoj postaji Miholjački Poreč
- 5.1. Područje malog sliva Karašica – Vučica na sektoru Dunav – donja Drava
- 5.2. Karta opasnosti od poplava za naselja uz rijeku Karašicu
- 5.3. Karta opasnosti od poplava na lokaciji grada Belišća
- 5.4. Karta opasnosti od poplava na lokaciji naselja Miholjački Poreč
- 5.5. Karta opasnosti od poplava na lokaciji naselja Kapelna
- 5.6. Karta rizika od poplava za naselja uz rijeku Karašicu
- 5.7. Karta rizika od poplava na lokaciji grada Belišća
- 5.8. Karta rizika od poplava na lokaciji naselja Miholjački Poreč
- 5.9. Karta rizika od poplava na lokaciji naselja Kapelna

12. Popis tablica

Tablica 6.1. Tabelarni prikaz srednjih mjesečnih vrijednosti protoka na lokaciji Miholjački Poreč za 2017., 2018. i 2019. godinu.

Tablica 6.2. Tabelarni prikaz srednjih mjesečnih vrijednosti protoka na lokaciji Kapelna za 2017., 2019. i 2021. godinu.

Tablica 6.3. Tabelarni prikaz srednje godišnje vrijednosti protoka na lokaciji Miholjački Poreč za 2017., 2018. i 2019. godinu.

Tablica 6.4. Tabelarni prikaz srednje godišnje vrijednosti protoka na lokaciji Kapelna za 2017., 2019. i 2021. godinu.

Tablica 6.5. Tabelarni prikaz izračunatog potencijala za lokaciju Kapelna za 2017., 2019. i 2021. godinu.

Tablica 6.6. Tabelarni prikaz izračunatog potencijala za lokaciju Miholjački Poreč za 2017., 2018. i 2019. godinu.

Tablica 6.7. Prosjek izlazne snage hidroelektrane za naselje Kapelna

Tablica 6.8. Prosjek izlazne snage hidroelektrane za naselje Miholjački Poreč

Tablica 6.9. Rekapitulacija podataka za izračun prihoda i troškova za obje lokacije

Tablica 6.10. Vrijeme povrata investicije za lokaciju Kapelna

Tablica 6.11. Vrijeme povrata investicije za lokaciju Miholjački Poreč