

Mjere zaštite od poplava korištenjem prirodnih retencija i modernih tehnologija

Kolarić, Florijan

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:296270>

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

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

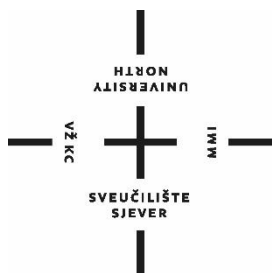


Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN



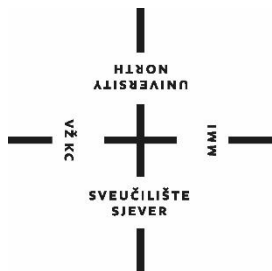
DIPLOMSKI RAD br. 107/GR/2024

MJERE ZAŠTITE OD POPLAVA
KORIŠTENJEM PRIRODNIH RETENCIJA I
MODERNIH TEHNOLOGIJA

Florijan Kolarić

Varaždin, rujan 2024.

SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN
Studij Graditeljstvo



DIPLOMSKI RAD br. 107/GR/2024

**MJERE ZAŠTITE OD POPLAVA
KORIŠTENJEM PRIRODNIH RETENCIJA I
MODERNIH TEHNOLOGIJA**

Student:

Florijan Kolarić, 3875/336.

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Bojan Đurin

Varaždin, rujan 2024.

Prijava diplomskog rada

Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
STUDIJ	diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Florijan Kolarić	IMBAG	0336035624
DATUM	11.07.2024.	KOLEGIJ	Vodni sustavi
NASLOV RADA	Mjere zaštite od poplava korištenjem prirodnih retencija i modernih tehnologija		

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Flood protection measures using natural retention and modern technologies

MENTOR	dr.sc. Bojan Đurin	ZVANJE	Izvanredni profesor
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc.dr.sc. Željko Kos		
	2. izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin		
	3. doc.dr.sc. Marko Šrajbek		
	4. doc.dr.sc. Anđelko Crnoja-zamjenski član		
	5.		

Zadatak diplomskog rada

BRD 107/GR/2024

OPIS

Cilj rada je utvrditi mogućnost poplavlivanja naselja uz rijeku Plitvicu u Općini Vidovec u Varaždinskoj županiji, uz definiranje mjera zaštite od poplava. Kao mjere zaštite od poplava, razmotriti će se mogućnost korištenja prirodnih retencija, uz primjenu modernih tehnologija zaštite od poplava. Uz teoretsku podlogu, rad će sadržavati i praktični dio. Za određivanje ulaznih podataka, kao i potrebne proračune koristiti će se raspoloživi podaci te rezultati dobiveni terenskim radom. Okvirni sadržaj rada sastojati će se od uvodnih razmatranja, analize postojećeg stanja i raspoloživih podataka, prikaza rezultata dobivenih terenskim radom, analize i dobivenih zaključaka.

ZADATAK URUČEN 11.07.2024.



POTPIS MENTORA

Sveučilište
SjeverSVEUČILIŠTE
SIEVER

IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički 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 prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, FLORIJAN KOLARIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog/specijalističkog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom MJERE ZAŠTITE OD POPLAVA KORISTENJEM PRIRODNIH RETENCIJA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Kolarić

(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

Sažetak

Rijeka Plitvica većim dijelom je nizinski vodotok koji svojom dužinom od 65 kilometara prolazi sjeverozapadnom Hrvatskom te se ulijeva u rijeku Dravu. Obnova vodotoka u Hrvatskoj još uvijek definira se isključivo primjenom tradicionalnih hidrotehničkih zahvata kojima se žele spriječiti štetni učinci poplava na naselja te poljoprivredna zemljišta.

Ovim radom prikazuju se mjere zaštite od poplava s posebnim naglaskom na korištenje prirodnih retencija i modernih tehnologija. Sam fokus je na Općinu Vidovec koja se suočava s čestim poplavama zbog klimatskih promjena. Tradicionalne metode, poput izgradnje nasipa, često nisu dovoljne, pa se razmatraju održivija rješenja koja kombiniraju prirodne retencije i tehnologije kao što su vodene barijere i napredni sustavi nadzora.

Detaljno su opisani sustavi za obranu od poplava, kao i potencijalna rješenja za smanjenje rizika u općini Vidovec, uključujući proračune potrebnih sustava za ispumpavanje viška vode.

Ključne riječi: poplava, retencija, zaštita od poplava, tehnologije, Vidovec, rijeka Plitvica

Summary

The Plitvica River is a 65-kilometer-long lowland watercourse that passes through northwestern Croatia and flows into the Drava River. The restoration of watercourses in Croatia is still defined exclusively by applying traditional hydro-technical procedures to prevent the harmful effects of floods on settlements and agricultural lands.

This paper will present flood protection measures with special emphasis on natural retention and modern technologies. The focus is on the Municipality of Vidovec, which faces frequent floods due to climate change. Traditional methods, such as levee construction, are often not sufficient, so more sustainable solutions are being considered that combine natural retention and technologies such as water barriers and advanced monitoring systems.

Flood defense systems are described in detail, showcasing their potential to significantly reduce the risk of floods in the municipality of Vidovec. This includes potential solutions for risk reduction, such as calculations of the necessary systems for pumping out excess water.

Keywords: flood, retention, flood protection, technologies, Vidovec, Plitvica river

Popis korištenih kratica

NN	Narodne novine
RH	Republika Hrvatska
EU	Europska unija
BiH	Bosna i Hercegovina
P_{izl}	izlazna snaga crpke
ρ	gustoća
g	akceleracija sile teže
Q	protok
H	neto visina
η_{tot}	učinkovitost
η_{crpke}	učinkovitost crpke
η_{motora}	učinkovitost motora
PEHD	polietilen visoke gustoće
$P_{retencije}$	površina retencije
$V_{retencije}$	volumen retencije
t	vrijeme

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Općenito o poplavama	2
2.1. Obrana od poplava	6
2.1.1. Geodesign pregrada	6
2.1.2. Vodeni kavez.....	7
2.1.3. Vodene pregrade za zaštitu pojedinih objekata.....	9
2.1.4. Vodena pregrada punjena vodom.....	10
2.1.5. Tiger brana	11
2.1.6. Boxwall poplavna barijera	12
2.1.7. Modul za obranu od poplava	12
2.1.8. Integralni sustav za zaštitu Venecije	13
3. Retencije	15
3.1. Čeone retencije	16
3.2. Bočne retencije	16
4. Opis lokacije	18
4.1. Opis sliva	21
4.2. Poplave u Općini Vidovec	26
5. Metodologija i proračun.....	35
5.1. Metodologija istraživanja	35
5.2. Ulazni parametri za izračun snage crpke	38
5.3. Proračun snage crpke	45
5.4. Alternativna rješenja	48
5.4.1. Izračun punjenja retencije.....	49
6. Zaključak	50
Popis literature	51
Popis slika.....	53
PRILOZI.....	55

1. Uvod

Općina Vidovec nalazi se na sjeveru Hrvatske, u Varaždinskoj županiji uz samu rijeku Plitvicu. Ubraja se u jedno od razvijenijih općina u Hrvatskoj s velikim potencijalom gospodarskog i društvenog razvoja. Općina Vidovec leži na plodnom Varaždinskom polju, gdje se generacijama stvaralo prepoznatljivo, autohtono poljoprivredni proizvod – Varaždinsko zelje, koje je zaštićeno na nacionalnoj i na europskoj razini.

U kišnim danima dolazi do velikih poplava koje stvaraju probleme za poljoprivrednike, ali i za mnoga kućanstva u blizini rijeke Plitvice gdje dolazi do plavljenja kuća. S obzirom na sve učestalije i intenzivnije poplave, nastale klimatskim promjenama i urbanizacijom, potrebno je razvijati i primijeniti učinkovite mjere zaštite. Tradicionalni pristupi, kao što je izgradnja nasipa i kanala, iako korisni, često nisu dovoljni za dugoročno rješavanje problema. U tom smislu, sve više pažnje posvećuje se korištenju prirodnih retencija odnosno područja koja mogu privremeno zadržati višak vode kao održivom i ekološki prihvatljivom rješenju. Ove mjere, u kombinaciji s modernim tehnologijama, kao što su napredni sustavi za nadzor, ali i za zaštitu od velikih voda (npr. vodene barijere), mogu značajno doprinijeti smanjenju rizika od poplava i zaštiti zajednicu. Spajanjem prirodnih i tehnoloških rješenja predstavlja cjelovit pristup koji ne samo da smanjuje štetu od poplava, već i doprinosi očuvanju prirodnih ekosustava.

Ovim radom izradit će se potencijalno rješenje za obranu od poplava na području Općine Vidovec korištenjem prirodnih retencija i modernih tehnologija za zaštitu od poplava.

2. Općenito o poplavama

Poplave se smatraju najučestalijom prirodnom pojavom elementarnih nepogoda. Mogu uzrokovati gubitke ljudskih života, velike materijalne i ekološke štete. Prema Zakonu o vodama (NN 66/19, 84/21, 47/23), članak 4 [1]. Poplava se definira kao „*privremena pokrivenost vodom zemljišta, koje obično nije prekriveno vodom, uzrokovana izlivanjem rijeka, bujica, privremenih vodotoka, jezera i nakupljanja leda, kao i morske vode u priobalnim područjima i suvišnim podzemnim vodama*“ [1].

Procjenjuje se da je u Hrvatskoj 15% državnog kopnenog teritorija ugroženo, zbog brdskih i planinskih područja s visokim kišnim intenzitetom te nedovoljno izgrađenih i održavanih zaštitnih sustava [2].

Poplave nastaju zbog [2]:

- Jakih oborina
- Nagomilavanja leda u vodotocima
- Klizanja tla i potresa
- Rušenje hidrotehničkih građevina (brana) ili ratnih razaranja

Podjela prema vremenu formiranja vodnog vala [2]:

- Riječne ili mirne poplave nastale zbog obilnih kiša potrebno više od 10 sati za formiranje vodnog vala.
- Bujične poplave javljaju se kod manjih brdskih vodotoka zbog visokog inteziteta kiše te je potrebno manje od 10 sati za formiranje vodnog vala.
- Ledene ili akcidentne poplave su poplave mogućih rušenja brane i nasipa i slično.

Već više stotinjak godina na području Hrvatske događaju se poplave. Jedna od najvećih poplava u Hrvatskoj dogodila se 1964. godine u Zagrebu, pri čemu je poplavljena trećina grada, odnosno oko 6 000 hektara gradskog područja. Poplava je odnijela 17 ljudskih života i nanesena velika šteta materijalnih i kulturnih dobara [3].

Područje Županijske Posavine 17. svibnja 2014. godine zadesila je poplava, u kojoj su dvije osobe smrtno stradale te nanijela ogromnu materijalnu štetu od tadašnjih 1.7 milijardi kuna. Najugroženija područja su bili dijelovi Cveľferije i Brodske Posavine (Slika 1).



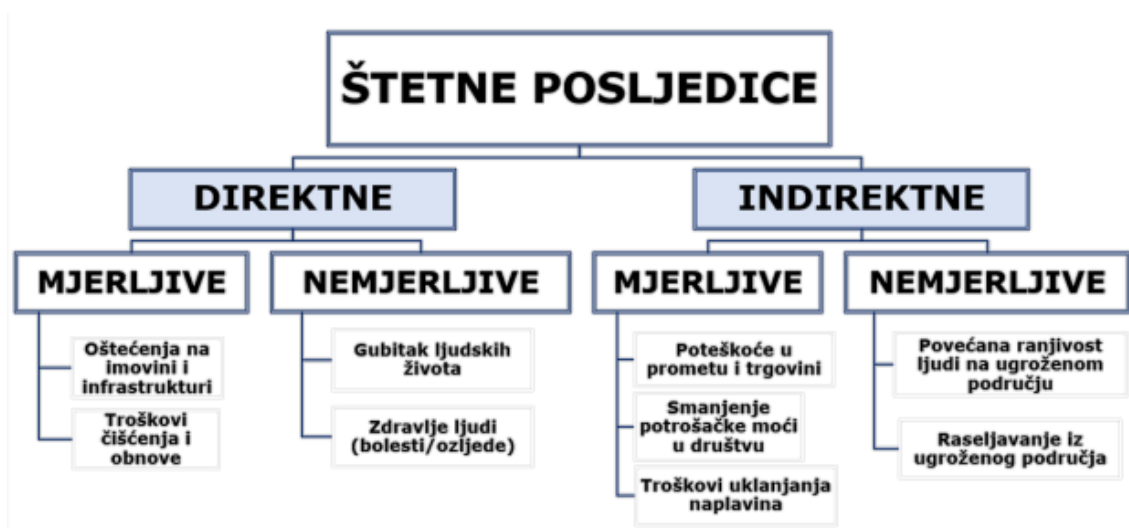
Slika 1 Prikaz poplavljenog područja u Gunji [4]

Uzrok poplave obilježen je utjecajem ciklone Donat, koja je donijela ogromnu količinu kiše na područje BIH, Srbije i u istočnu Hrvatsku. Mjerodavni protok rijeke Save kod Županje iznosio rekordnih 5 500 m³/s u odnosu na prosječni protok od 1 000-1 100 m³/s i time doveo do pucanje nasipa (Slika 2).



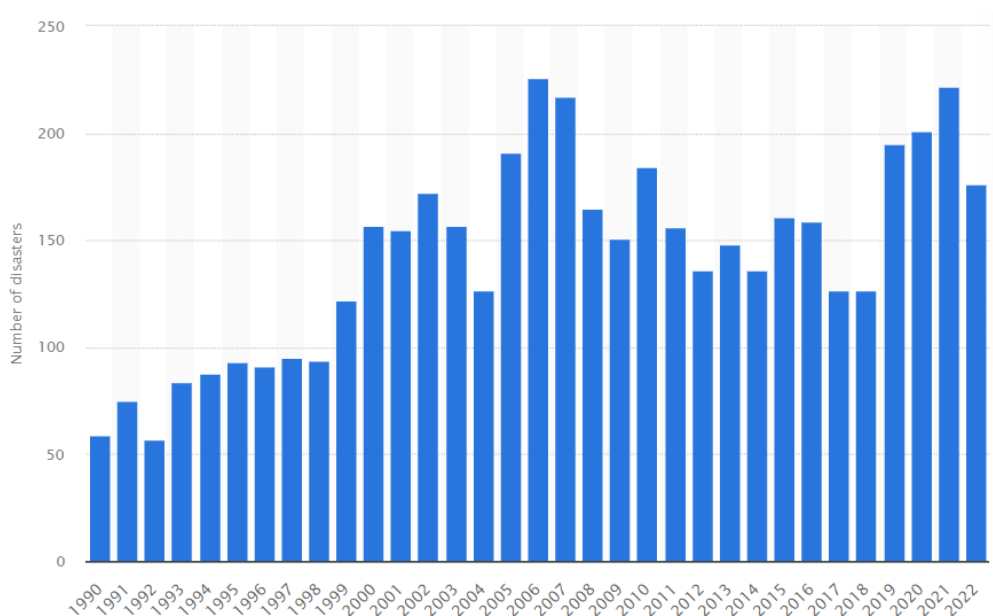
Slika 2 Puknuće nasipa [5]

Posljedice od poplava dijele se na indirektne i direktne posljedice (Slika 3).



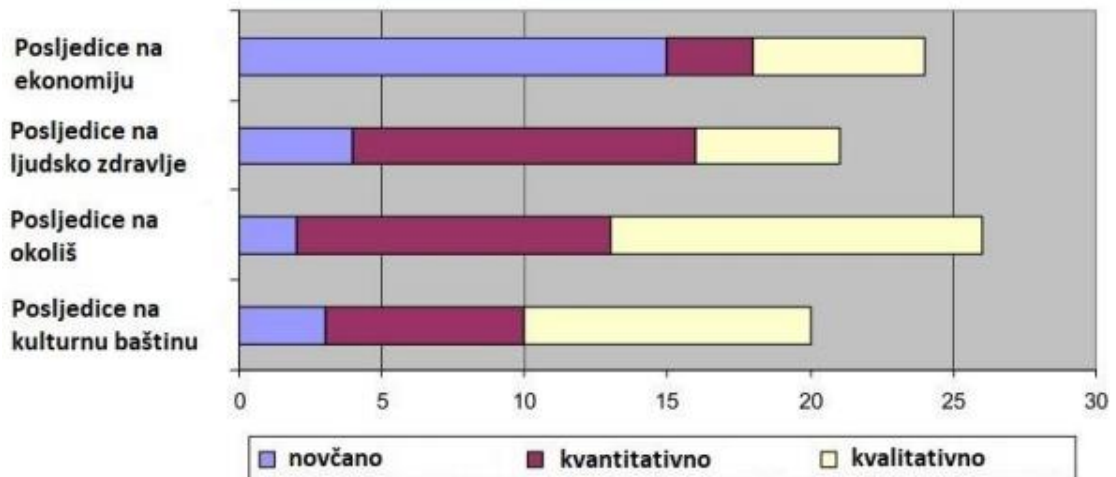
Slika 3 Podjela štetnih posljedica poplava [6]

Na sve to značajno utječu ljudske aktivnosti, koje svojim djelovanjem uzrokuju velike klimatske promjene, što dovodi do sve češćih poplava. Na Slici 4 može se uočiti da 2022. godine u svijetu zabilježeno 176 katastrofa od poplava, što predstavlja pad od 46 poplavnih katastrofa manje u odnosu na prethodnu godinu. U promatranom razdoblju od tri desetljeća, 2021. godine zabilježen je drugi najveći broj od 222 poplavna događaja, dok je 2006. rekordna godina s evidentiranih 226 katastrofa uzrokovanih poplavama. Azijske zemlje s niskim prihodima poput Bangladeša, Vijetnama i Mjanmara među najizloženijim su zemljama u svijetu što se tiče poplava [7].



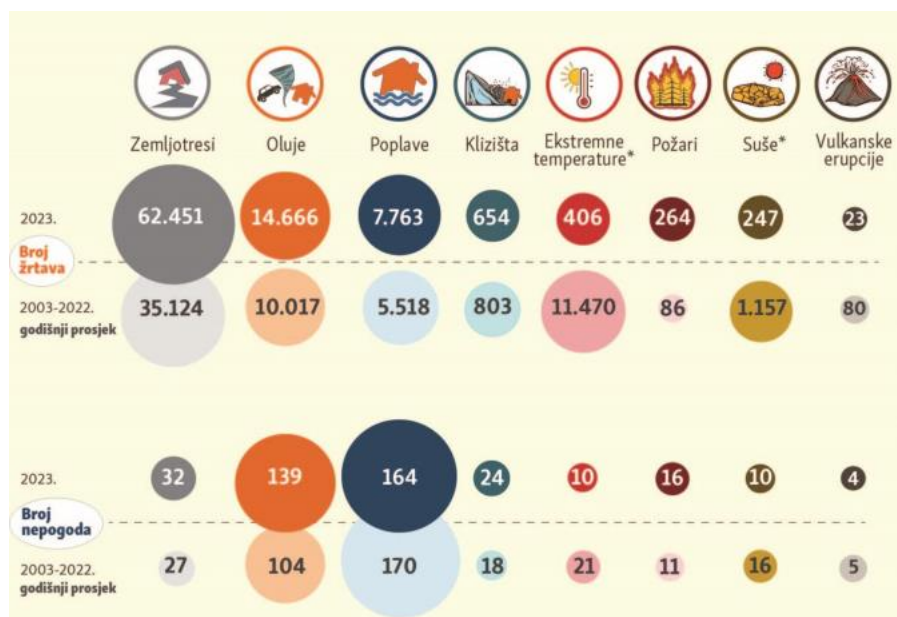
Slika 4 Broj poplavnih događaja u svijetu od 1990-2022 godine [7]

Svaka poplava ima svoj negativan, ali i pozitivan učinak. S jedne strane negativno utječe na gospodarstvo, turizam te ima negativan psihološki utjecaj na ljude (Slika 5), dok s druge strane pozitivno utječe na povećanje podzemnih voda u sušnim područjima i time poboljšava plodnost tla.



Slika 5 Procjena šteta u EU državama [6]

Obrana od poplava je važna aktivnost jer poplave utječu na zdravlje ljudi, okoliš, raseljavanje stanovništva te dovodi do velikih materijalnih šteta. Prema podacima Centra za istraživanje epidemiologije katastrofa, u razdoblju od 2003. do 2023. godine izgubljeno je 7 763 ljudska života (Slika 6).



Slika 6 Podaci o žrtvama pogođenim prirodnim katastrofama (Centar za istraživanje epidemiologije katastrofa) [8]

2.1. Obrana od poplava

Kako bih se smanjila opasnost od poplava, Hrvatske vode su sukladno Državnom planu obrane od poplava, postavile i programirale dio mjerodavnih vodomjera, pomoću kojih se prikupljaju podaci o vodostaju. Također štete na gospodarstvo, turizam i ostale djelatnosti mogu se spriječiti izgradnjom, održavanjem regulacijskih i zaštitnih građevina čime se omogućava kontrolirani protok vode.

Najčešće korišteni sustavi za obranu od poplava su [2]:

- Geodesign pregrada
- Vodeni kavez – samopunjujuća vodena brana
- Vodene pregrade za zaštitu pojedinih objekta
- Vodena pregrada punjena vodom
- Tiger brana
- Vreće pijeskom
- Boxwall poplavna barijera
- Modul za obranu od poplava

2.1.1. Geodesign pregrada

Geodesing pregrade su privremene vodne prepreke koje se najčešće koriste u svijetu. Geodesign pregrada može zadržati vodeni val do 2.4 m te se može koristiti kao vodena brana ili za usmjeravanje toka vode (Slika 7). Prednost Geodesing pregrade je mogućnost nadogradnje u slučaju većeg vodnog vala, dok je nedostatak sporo montiranje i potrebna veća radna snaga.



Slika 7 Geodesing pregrada [9]

Geodesing pregrada sastoji se od niza čeličnih pocinčanih sklopivih nosača koji se mogu lako zatvarati i otvarati u položaju od 45° . Postoje više vrsta modela, aluminijski limovi, šperploče ili palete koji su osigurani na nosačima i prekriveni vodonepropusnim platnom.

2.1.2. Vodeni kavez

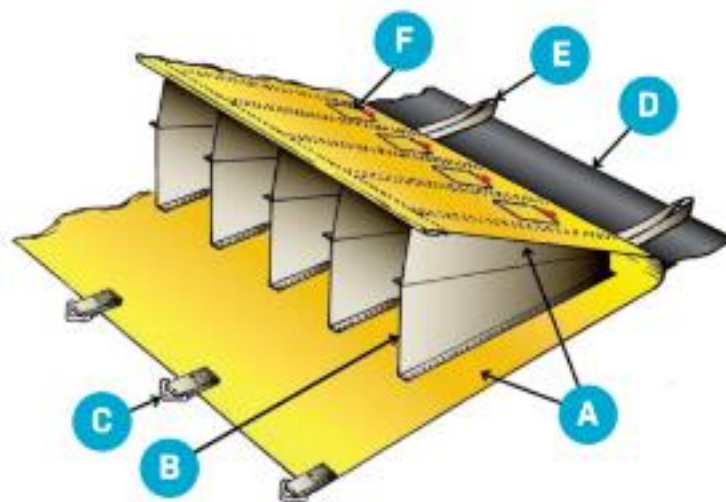
Vodeni kavez ili samopunjuća vodena brana može zadržati vodeni val do 2 metra, te su jedno od najkorištenijih sustava obrane od poplave zbog brze montaže. Nedostatak ovakve brane što se kod većeg vodnog vala ne može nadograditi. Osim što se koristi za obranu od poplava može poslužiti za stvaranje akumulacijskog jezera i brana te preusmjeravanje vodotoka (Slika 8) [2].



Slika 8 Samopunjujuća vodena brana [10]

Vodeni kavez je dizajniran da koristi težinu vode koja dolazi te omogućuje vodi da se sama raspoređuje i stabilizira.

Glavne karakteristike vodenog kaveza su (Slika 9) [10] :



Slika 9 Dijelovi vodenog kaveza [10]

- **A** – Poliesterska tkanina presvučena ultra robusnim PVC-om otpornim na abraziju za ugradnju na sve vrste površina.
- **B** – Rastegnute pregrade za bolje prianjanje na glatke površine.
- **C** – Polipropilenske trake za podizanje rubova barijere za posebne instalacije.
- **D** – Preljevni stražnji poklopac ili rudarski pojas za sprječavanje miniranja korita potoka.
- **E** – Otporne polipropilenske trake za jednostavno rukovanje.
- **F** – Otvori za otpuštanje ili otvori s preklopima i brtvljenjem tipa čičak za operacije ispod brana. S trakama za otvaranje preklopa s čičak trakom. Bočne trake za pričvršćivanje za kontrolu protoka prema dolje.

2.1.3. Vodene pregrade za zaštitu pojedinih objekata

U svijetu se koriste još nekoliko vodenih pregrada kao što su:

- Rasklopne (Slika 10)
- Staklene ili nerasklopive
- Podizne (Slika 11)
- Spuštajuće



Slika 10 Mobilni zid [11]



Slika 11 Podizna vodena barijera [12]

2.1.4. Vodena pregrada punjena vodom

Vodena pregrada punjena vodom sastoji od tri komponenti a to su nadvođe, površinsko trenje i unutarnji usmjerivač (Slika 12).



Slika 12 Dijelovi vodene pregrade ispunjenom vodom [2]

Nadvođe mora činiti minimalno 25% pregrade da bi sustav mogao funkcionirati. Povećanje nadvođa ovisi o brzini vode, hrapavosti tla i drugim hidrostatskim uvjetima. Površinsko trenje stabilizira pregradu ako je pregrada izložena samo s jedne strane. Unutarnji usmjerivač djeluje kod većeg djelovanja pritiska vode na jednoj strani pregrade.

2.1.5. Tiger brana

Sustav koji se sastoji od fleksibilnih cijevi koje se mogu vrlo brzo složiti i napuniti vodom. Najčešće su složene u obliku piramidalnog oblika u svrhu zaštite objekta i ostale imovine. Može doseći visine do 9.7 m dok dužina može biti neograničena. Težina prazne cijevi iznosi 24 kilograma dok puna vodom iznosi oko 2 351 kg. Primjer ovakvog sustava obranu od poplava prikazan je na (Slici 13), koju je razvio američki savez za kontrolu poplava.



Slika 13 Sustav Tigar brana [13]

2.1.6. Boxwall poplavna barijera

Boxwall barijera kontrolira brze vodene struje, izmjenjujući smjer poput pravog vodopada. Ovaj sustav obrane od poplave prilagođen je urbanom okolišu i savršeno funkcionira na glatkim površinama poput asfalta i zelenim površinama (Slika 14) [14].



Slika 14 Boxwall poplavna barijera [14]

2.1.7. Modul za obranu od poplava

Modul za obranu od poplava na eng. *Hytrans Flood Module* dizajniran za pomoć pri sanaciji velikih poplava (Slika 15). Sastoji se od tri potopne crpke, potrebnih hidrauličkih crijeva i 150 metara posebnog laganog crijeva za prijenos vode. *Hytrans Flood Module* pokreće se pomoću *HFS jedinica Hydrosub 150* te se može dostići u kombinaciji kapacitet do 50 000 l/min [15].



Slika 15 Hytrans Flood Module [15]

2.1.8. Integralni sustav za zaštitu Venecije

Sustav mobilnih barijera, poznat pod nazivom MOSE sastavljen je od niza mobilnih brana na sve ulaze u lagunu (Slika 16). Uslijed naglog porasta vodostaja kompromirani zrak pumpa se u komore brana izbacujući iz njih vodu, uslijed čega plutaju i tvore barijeru koja se diže prema površini vode.

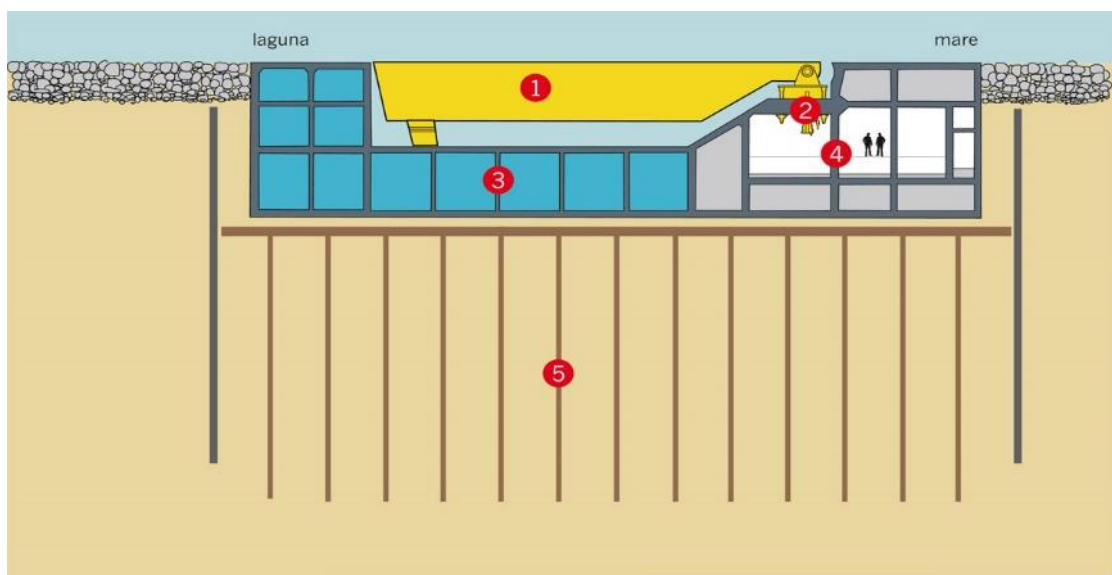


Slika 16 MOSE sustav [16]

Svaka vrata se sastoje od metalne strukture nalik kutiji koja je s dvije šarke povezana s kućištem (Slika 17). Vrata su široka 20 m i imaju različite duljine proporcionalne dubini ulaznog kanala i promjenjivu debljinu. Prosječno vrijeme zatvaranja lučkih ulaza je oko četiri do pet sati (uključujući vrijeme manevra za otvaranje i zatvaranje brane) [17].

Dijelovi MOSE sustava su:

1. Ustava
2. Šarka
3. Spremnici punjeni vodom ili zrakom
4. Tunel s instalacijama
5. Piloti



Slika 17 Presjek MOSE sustava [17]

3. Retencije

Smanjenje rizika od poplava može se ostvariti reguliranjem vodnog režima odnosno izgradnjom retencija, akumulacija, oteretnih kanala i uređivanjem sliva.

Retencije su uređena područja u slivu koja služe za privremeno zadržavanje velikih voda, odnosno zaštitu od poplava (Slika 18). One smanjuju maksimalan protok koji prolazi kroz vodotok na nizvodnom području i produljuje trajanje velikih voda.



Slika 18 Retencija Jazbina, Medvednica [18]

Veličina retencije ovisi o [19]:

- Hidrološkim prilikama
- Veličini raspoloživog prostora
- Veličini maksimalnog protoka koji može prihvatiti vodotok nizvodno od retencije

Svaka retencija sastoji se od tri osnovna funkcijska elementa [19]:

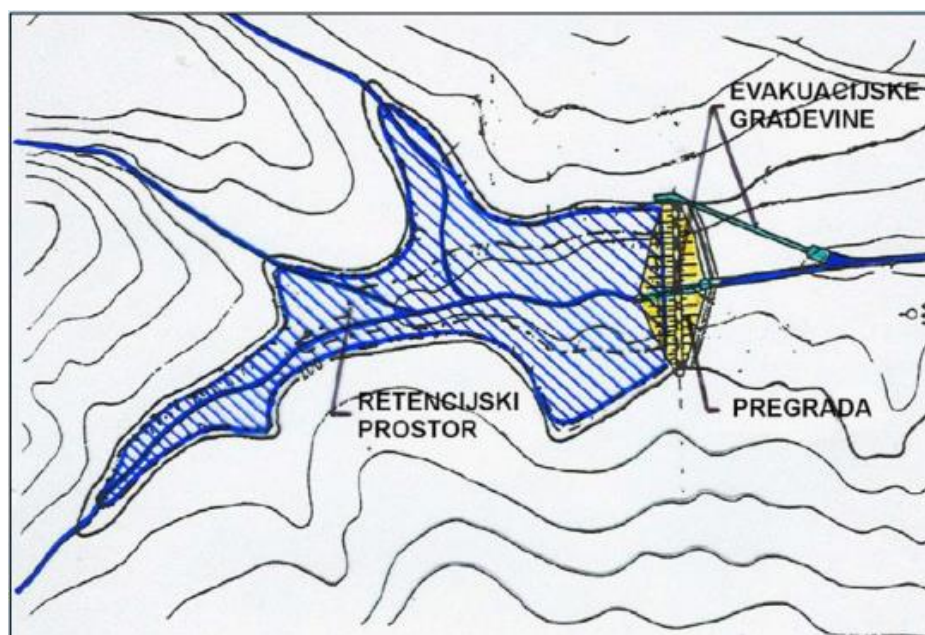
- Tijelo pregrade (brana) – stalna ili privremena građevina čija je zadaća pregrađivanje vodotoka u svrhu akumuliranja ili reteniranja vode.
- Retencijski prostor – prirodni ili umjetni prostor uzvodno od brane koji trajno ili privremeno zadržava vodu u svrhu prihvata većih količina oborinskih voda.
- Evakuacijske građevine - građevine za kontrolirano ispuštanje vode iz retencijskog prostora radi osiguranja stabilnosti brane.

Podjela retencija prema lokaciju u vodotoku:

- Čeone
- Bočne

3.1. Čeone retencije

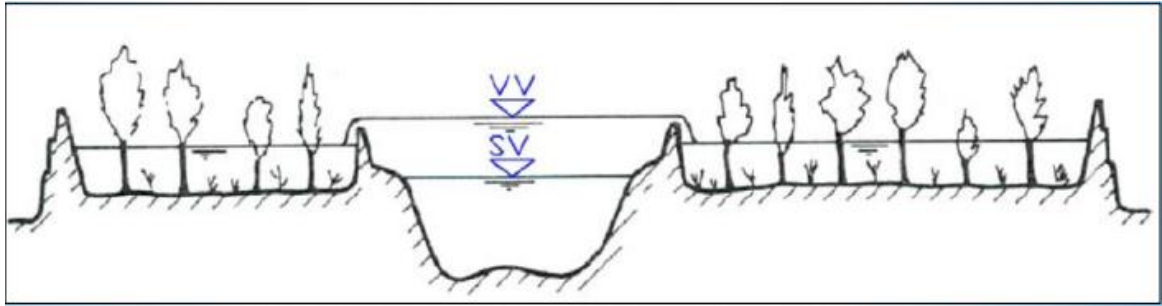
Nalaze se na samom vodotoku kao rezultat pregrađivanja korita (Slika 19). Izvode se kao brdske retencije u gornjim dijelovima sliva. Upravlja se na način da uz pomoć zatvarača regulira najveći protok koji se ispušta nizvodno od pregrade.



Slika 19 Čeona retencija [20]

3.2. Bočne retencije

Retencije postavljene paralelno s vodotokom te se kontrolirano pune i prazne. Bočne retencije još nazivamo i nizinskim retencijama jer se izvode u srednjim dijelovima sliva (Slika 20). Punjenje retencije kontrolira se prelijevanjem preko bočnog preljeva na nasipu ili otvaranjem zapornica na ustavama u nasipu. Ispustom se upravlja tako da se uz pomoć zatvarača regulira najveći protok koji se ispušta nizvodno od pregrade. U pravilu su puno većeg kapaciteta od brdskih retencija i zauzimaju puno veću površinu naplavnog prostora.



Slika 20 Shematski prikaz bočne retencije [20]

Retencije pomažu u kontroli podzemnih voda:

1. Zadržavanje površinskih voda: smanjuje količinu koja bi se brzo infiltrirala u tlo i podigla razinu podzemnih voda. Time se smanjuje opterećenje na podzemne rezervoare.
2. Kontrolirano otjecanje: Voda iz retencije može se kontrolirano ispuštati u sustave odvodnje, rijeke ili kanale u vremenskim razmacima koji smanjuju rizik od naglog podizanja razine podzemnih voda.
3. Smanjenje oborinskog šoka: Retencije pomažu u apsorpciji oborinskog šoka tijekom ekstremnih vremenskih uvjeta. Bez njih, velike količine vode bi se brzo infiltrirale u tlo, podižući razinu podzemnih voda, što može uzrokovati plavljenje podruma, oštećenja infrastrukture i poljoprivrednih zemljišta.

4. Opis lokacije

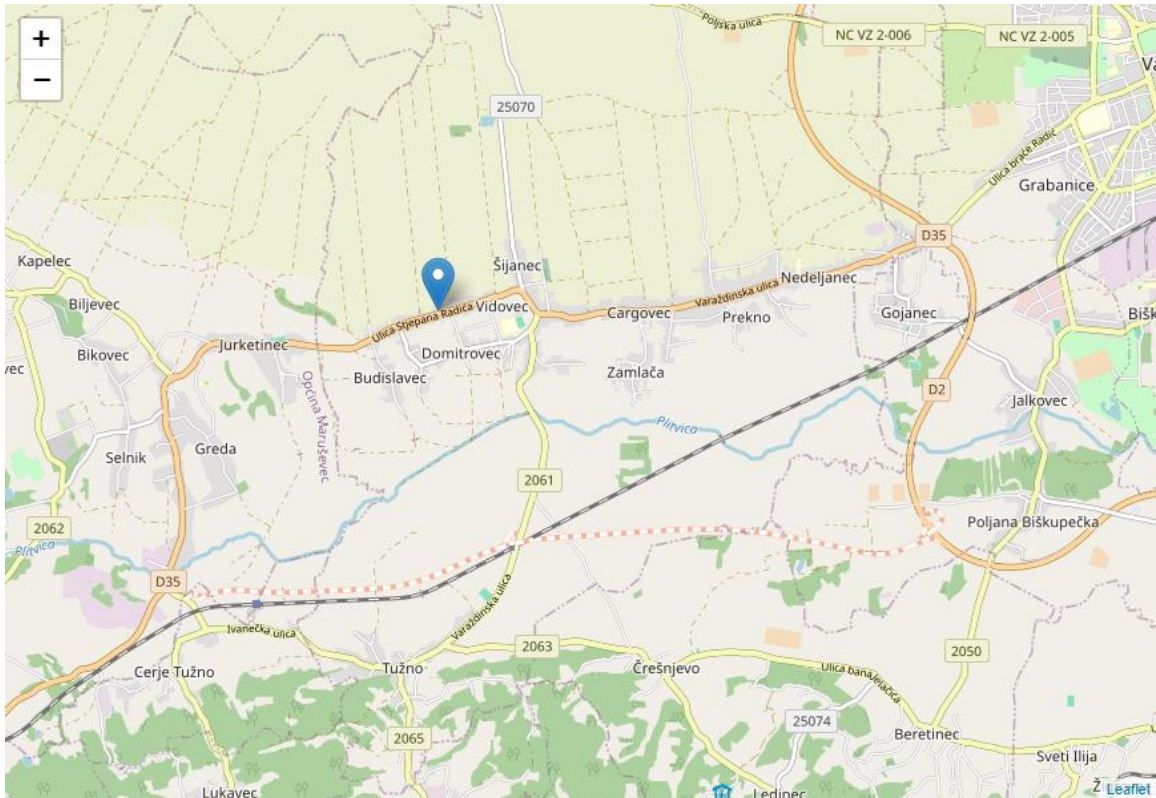
Općina Vidovec smještena je jugozapadno od Varaždina u plodnom Varaždinskom tlu prikazana na karti Hrvatske (Slika 21). Općinu Vidovec čine 11 sela: Nedeljanec, Prekno, Cargovec, Zamlača, Papinec, Šijanec, Krkanec, Budislovec, Domitrovec, Vidovec i Tužno (Slika 22).



Slika 21 Položaj općine Vidovec na karti RH [21]

Područje Općine Vidovec prostire se na 32.1 km², što predstavlja 2.55% ukupne površine Varaždinske županije. Prema površini najveće naselje je Nedeljanec sa 6.6 km² odnosno 20.41% od ukupne površine Općine Vidovec, dok je najmanje naselje u Općini Vidovec Papinec s 2.06% ukupne površine Općine. Sjedište Općine je naselje Vidovec [22].

Na području općine Vidovec prevladavaju poljoprivredna zemljišta koja zauzimaju 2410.89 ha, što predstavlja 75.12% ukupne površine Općine. Tla su plodna zbog velikog bogatstva podzemnih voda koja omogućuju razvoj različitih vrsta poljoprivrednih kultura kao što su uzgoj varaždinskog zelja koja je zaštićena na razini Europske unije oznakom izvornosti i bučinih koštica čime se proizvode bučina ulja koja osvajaju svjetska tržišta.



Slika 22. Položaj Općine Vidovec [23]

Mnoga naselja smještena su u ravničarskom dijelu s blagim padom prema sjeveroistoku te manjim dijelom brežuljkasti na području naselja Tužno koji se nalazi na visinskoj koti 250 metara nadmorske visine. Nizinski dio je dravska ravnica izgrađena od aluvijalnih naslaga rijeke Drave i Plitvice te sastavljena od šljunka i pijeska (Slika 23). Aluvijalna ravan Plitvice i pritoka sastoji se od siltova, šljunka i pijeska. Prijelaz iz nizinskog dijela u brežni sastavljen je od siltova i fragmenta stijena. Brežna područja sastoje se od pjeskovito-glinastih lapora s lećama pješčenjaka, šljunka i gline [22].



LEGENDA KARTIRANIH JEDINICA

1	b	Barski sedimenti: gline, siltovi, pijesci	22	M_1^2	Pješčenjaci, čenjaci, pijesci, lapor tufovi (burdigal)
2	d	Deluvij: siltovi, fragmenti stijena	23	M_1	Pješčenjaci, konglomerati, šljunci, lapori, gline
3	pr	Proluvij: blokovi stijena, pijesci	24	θ	Tufovi
4	a	Aluvij rijeka i potoka: siltovi, pijesci, šljunci	25	α	Andeziti
5	a_1	Aluvij prve dravske terase: šljunci i pijesci	26	O_1	Pjeskoviti lapori, pješčenjaci
6	a_2	Aluvij druge dravske terase: šljunci i pijesci	27	E_3	Vapnenci, glinci

Slika 23 Isječak osnovne geološke karte, list Varaždin [24]

4.1. Opis sliva

Na području Općine Vidovec nalazi se vodotok (rijeka) Plitvica (Slika 24), potoci (Tužno, Crna mlaka, Črešnjevo), kanali (Prekno, pružni kanal i kanal Piškornica) i manji bajeri kod naselja Šijanec koji se koriste u rekreacijske svrhe što je prikazano na Slici 29 i Slici 30. Rijeka Plitvica teče južnim dijelom općine duljine 5.7 km i time sa željezničkom prugom čini granicu između naselja Vidovec, Zamlača, Budislovec itd. od naselja Tužno [23].



Slika 24 Tok rijeke Plitvice kod naselja Zamlača [25]

Čitavo područje Općine Vidovec je vodonosnik te dio oborinskih voda i dio iz površinskih vodotoka infiltrira u podzemlje i tvori velike zalihe podzemnih voda koje predstavljaju rezerve pitke vode. Sjeveroistočni dio Općine uvršten je u III A zaštitnu zonu vodocrpilišta „Varaždin“, dok preostali dio Općine sjeverno od rijeke Plitvice ulazi u III B zaštitnu zonu vodocrpilišta „Varaždin“ [23].

Na vodotoku rijeke Plitvice postoje tri mjerne postaje (Krkanec, Donji Knežinec te Vidovićevo mlin kod Jalžabeta). Iz baze raspoloživih podataka mjerne postaje Krkanec (Slika 25) i (Slika 26), mogu se dobiti podaci mjerenja postaje (Slika 27), poprečni presjek korita (Slika 28) te nivogram i hidrogram, koje se mogu učitati preko web stranice Državnog hidrometeorološkog zavoda.



Slika 25 Mjerna postaja Krkanec [25]



Slika 26 Prikaz profila korita sa mjernom postajom i limnigrafom [25]

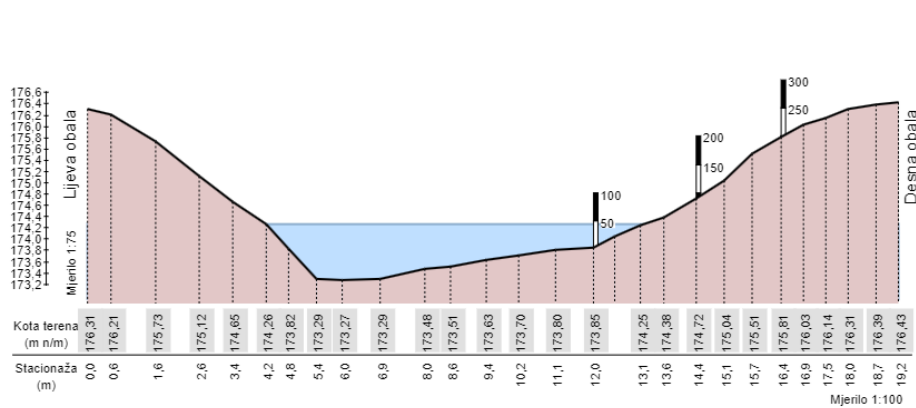
Vrsta mjerenja	Info
VODOSTAJ	Ekstremi
	Razdoblje: 2016. - 2022. Kota nule: 173,827 m n/m Minimum: 26. 8. 2017. 28 cm Maksimum: 20. 9. 2017. 236 cm
PROTOK	Godine mjerenja: 2016-2017 2019 2021-2022
	Ekstremi
VODOMJERENJA	Razdoblje: 2016. - 2022. Minimum: 26. 8. 2017. 0,003 m ³ /s Maksimum: 30. 9. 2022. 14,47 m ³ /s
	Godine mjerenja: 2016-2017 2019 2021-2022
PROFILI	Broj mjerenja: 34
	Broj mjerenja: 2

Slika 27 Tablica podataka mjerenja kod mjerne postaje Krkanec [26]

POPREČNI PRESJEK KORITA

Šifra: 5179
Postaja: KRKANEC
Vodotok: PLITVICA

Kota nule: 173,827 m n/m
Vodostaj: 43 cm
Datum mjerenja: 20. 4. 2016.

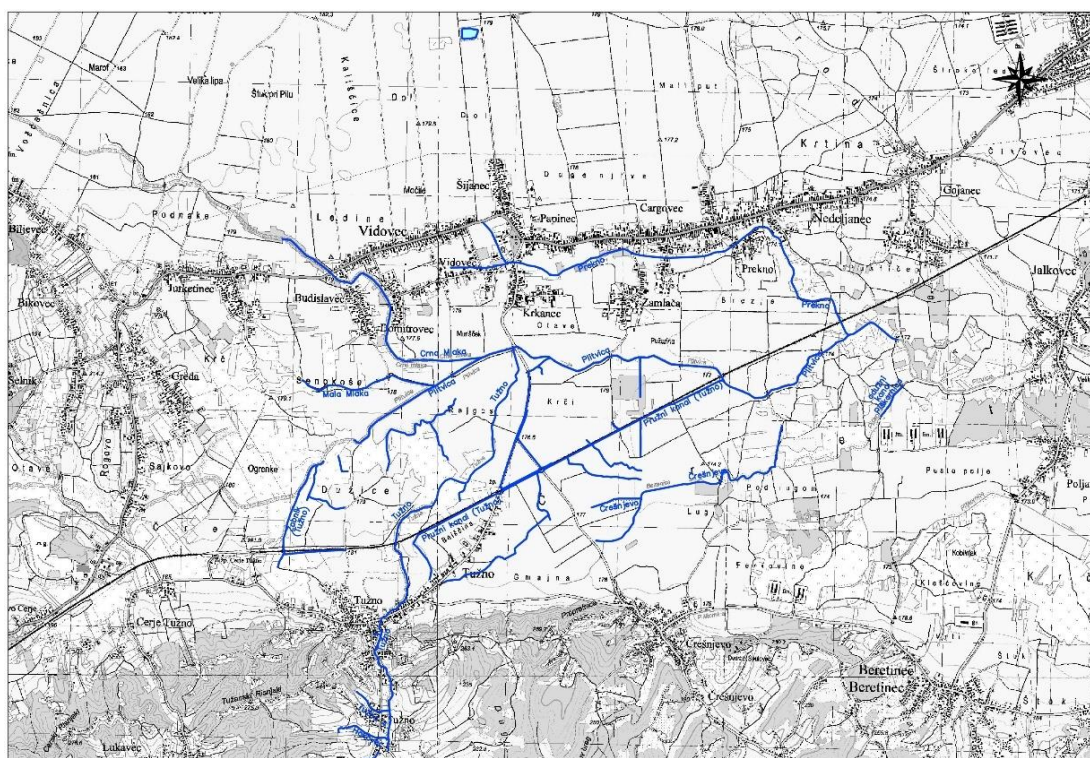


Slika 28 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Krkanec [26]

Prema prikazanim podacima iz mjerne postaje Krkanec protok je varirao od 0.003 m³/s 2017. god. do značajnih 14.47 m³/s 2022. god., dok je godinu dana kasnije zabilježen rekordnih 22.03 m³/s. Vodostaj je u analiziranom periodu od 2016. – 2023. varirao od 28 cm (najniža točka) do 269 cm (najviša točka). Kota nule, odnosno referentna visina za mjerenje, je na 173.827 metara nadmorske visine.



Slika 29 Položaj rijeke Plitvice, potoka, kanala i bajera u Općini Vidovec na ortofoto karti [27]



Slika 30 Položaj rijeke Plitvice, potoka, kanala i bajera u Općini Vidovec na topografskoj karti [27]

4.2. Poplave u Općini Vidovec

Na temelju podataka iz Državnog hidrometeorološkog zavoda, u Varaždinu za razdoblje od 2016. do 2023. godine može se uočiti da su količine oborine varirale značajno iz godine u godinu, pri čemu su određeni mjeseci pokazivali ekstremne vrijednosti. Primjerice, rujan 2017. godine zabilježio je čak 242.1 mm oborina, dok je prosinac 2016. imao samo 8.5 mm. Godina 2023. je bila posebno oborinska s visokim vrijednostima tijekom cijele godine, posebno u siječnju 175 mm i srpnju 153.4 mm. Osim toga, primjetno je da su neki mjeseci poput svibnja i lipnja često imali visoke količine oborina, dok su zimski mjeseci poput veljače i prosinca imali vrlo varijabilne ali generalno niže vrijednosti oborina. Godina 2020. je bila iznimno oborinska, posebno u lipnju i srpnju te prema prikazu iz Tablice 1 2021. godina bila relativno sušna s niskim oborinama u većini mjeseci.

Tablica 1 Prikaz količine oborina (mm) za Varaždin [26]

Količina oborine Varaždin												
Mjeseci:												
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Godine:												
2016.	58.2	125.3	68.3	46.1	101.3	106.9	48.9	94.6	34.3	88	105.6	8.5
2017.	32.4	56	20.1	32.5	66.7	84.5	54	42.2	242.1	69	104.9	88
2018.	44.1	119.9	92.6	72.6	91.2	85.5	83.2	93.7	105	32.4	68.9	9.7
2019.	31.6	26.8	43.1	70.8	209.1	104.4	142.5	93.2	71.6	32.7	144.4	120
2020.	29	25.9	41.9	23.2	49.9	175.5	205.2	125	117.5	154.3	39.7	100.7
2021.	39.9	23	23.9	57.9	165.5	18.9	82.4	130.2	59.2	84.5	76.8	72.3
2022.	15	22.3	6.2	109.3	49.9	77.3	51.1	87.3	211.9	17.3	80.4	99.1
2023.	175	30.2	76.5	90.4	127	125.5	153.4	72.7	48.7	47.8	110.2	78.3

Područja Općine Vidovec svake godine su izložena riziku od poplava zbog velikih količina oborina u prosječnom trajanju 2-3 dana. U mnogima naseljima Općine Vidovec 2017. i 2023. god. porast podzemnih voda i poplava su donijele veliku materijalnu štetu. 2017. godine zbog velikih količina oborina povećao se podzemni nivo vode te su mnoga kućanstva imala poplavljeni podrumi (Slika 31).

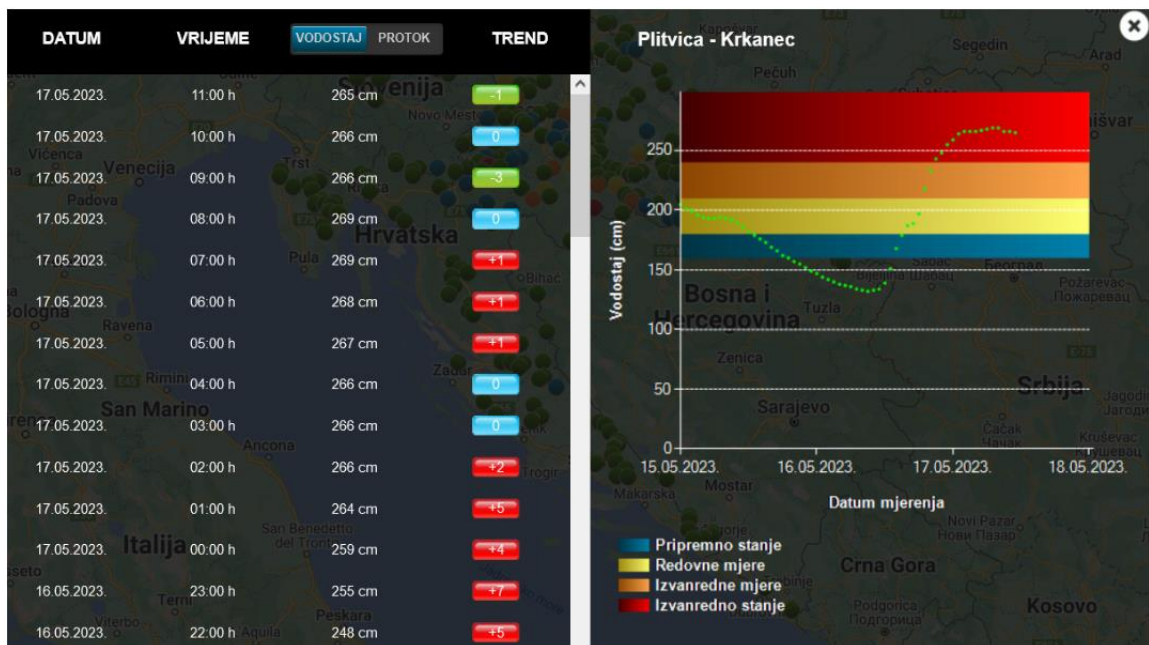


Slika 31 Porast razine podzemnih voda 2017. godine, uz pojavu poplave u mjestu Zamlača [25]

17. svibnja 2023. godine, sjevernu i istočnu Hrvatsku pogodila obilna kiša pa tako i Općinu Vidovec gdje je hidrološka postaja Krkanec zabilježila maksimalni vodostaj od +269 cm (Slika 32) od početka rada postaje. 16. svibnja 2023. u 22 sata izmjereno je 248 cm i time se zbog naglog porasta vodostaja proglašava izvanredno stanje (Slika 33).



Slika 32 Prikaz izlivanja rijeke Plitvice 2023. godine na lokaciji Krkanec kod mjerne postaje [28]



Slika 33 Prikaz porasta vodostaja rijeke Plitvice na lokaciji Krkanec [29]

Najpogođenija mjesta bila su rubni dijelovi naselja Krkanec, Zamlača, Nedeljanec i Prekno te uz potok Tužno gdje su poplavljeni stambeni objekti sa podrumima i gospodarski objekti (Slika 34) i (Slika 35). Nakon prestanka oborina te opadanja vodostaja rijeke Plitvice župan Varaždinske županije donio je odluku o proglašenju prirodne nepogode od poplava te od klizanja, tečenja, odronjavanja i prevrtanja zemljišta.



Slika 34 Prikaz poplavljene farme pilića [25]

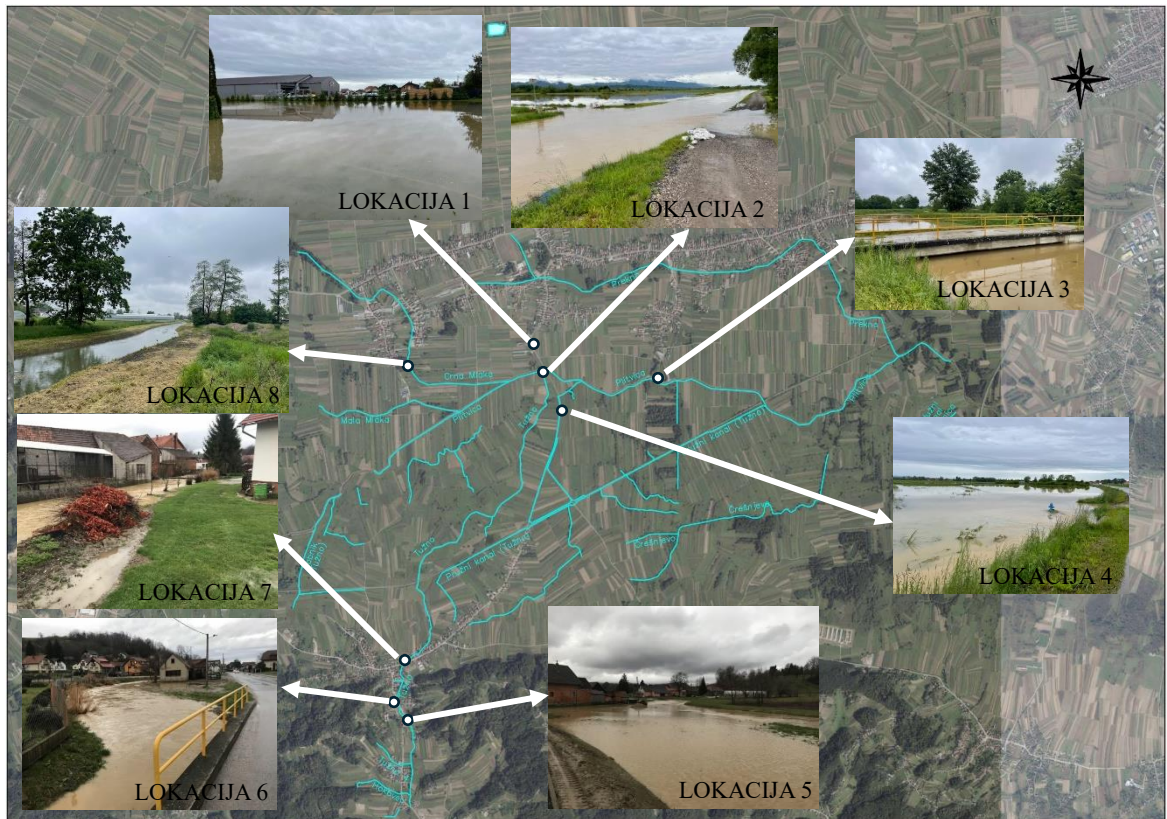
Tog dana poplava je prouzročila veliku materijalnu štetu, a 132 osobe podnijele su zahtjev za nadoknadu štete. Prema podacima Općine Vidovec, materijalna šteta iznosila je 512 755.22 EUR koja se dijelila na:

Za prirodnu nepogodu Poplava:

- Za štetu na obrtnim sredstvima u poljoprivredi 363 322.79 EUR
- Za štetu na građevinama 147 082.00 EUR
- Za štetu na zemljištima 446.53 EUR

Za prirodnu nepogodu klizanje, tečenje, odronjavanje i prevrtanje zemljišta:

- Za štetu na zemljištima 1 803.90 EUR
- Za štetu na opremi (ostala dobra - troškovi) 100.00 EUR



Slika 35 Prikaz poplavljenih područja [25]

Prema prikazima iz geoportala Hrvatskih voda na sljedećim stranicama prikazane su karte opasnosti od poplava 2019. godine. Karte opasnosti od poplava izrađene su u okviru Plana sukladno odredbama članka 126. Zakona o vodama (Narodne novine, broj 66/19), za tri scenarija plavljenja određena Direktivom 2007/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2007. o procjeni i upravljanju rizicima od poplava [30].

Karte opasnosti od poplava dijele se u tri scenarija [30]:

- Poplave velike vjerojatnosti (povratno razdoblje 25 godina) (Slika 36)
- Poplave srednje vjerojatnosti (povratno razdoblje 100 godina) (Slika 37)
- Poplave male vjerojatnosti (povratno razdoblje 1000 godina), uz moguće poplave nakon puštanja nasipa te rušenje visokih brana (Slika 38).

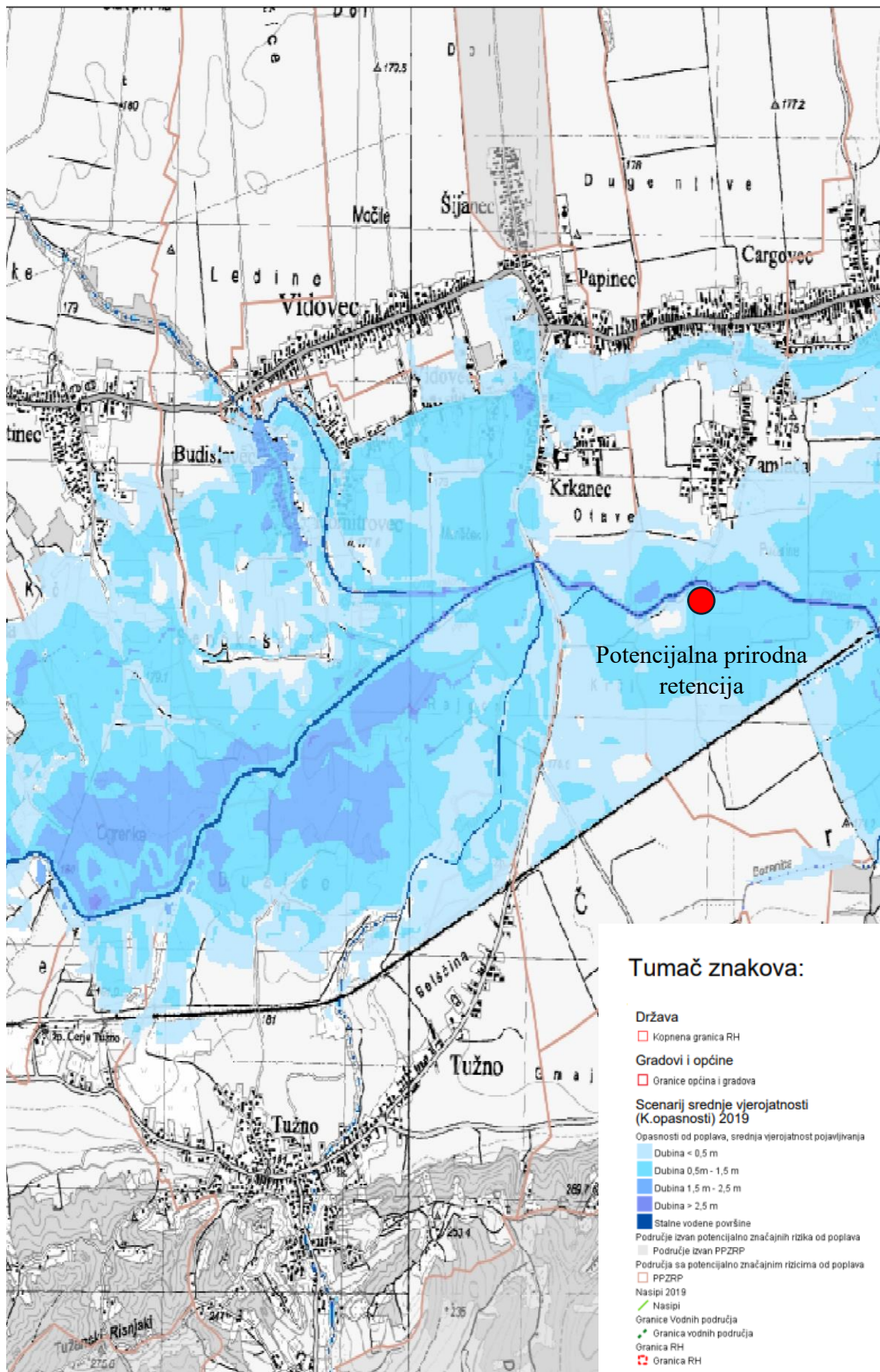
Korištenjem karata opasnosti od poplava osiguravamo dovoljan broj informacija kako bi se utvrdilo jesu li planirane gradnje u prostoru prikladne, te nam daju sljedeće rezultate [31]:

- Prepoznati opasnost od poplava i razinu rizik od poplava iz svih izvora
- Identificira poplavna područja
- Informira upravna tijela državne uprave za korištenje zemljišta i izdavanje dozvola za gradnju
- Oblikuju prikladne mjere za ublažavanje i upravljanjem rizikom od poplave za građevine na poplavnom području

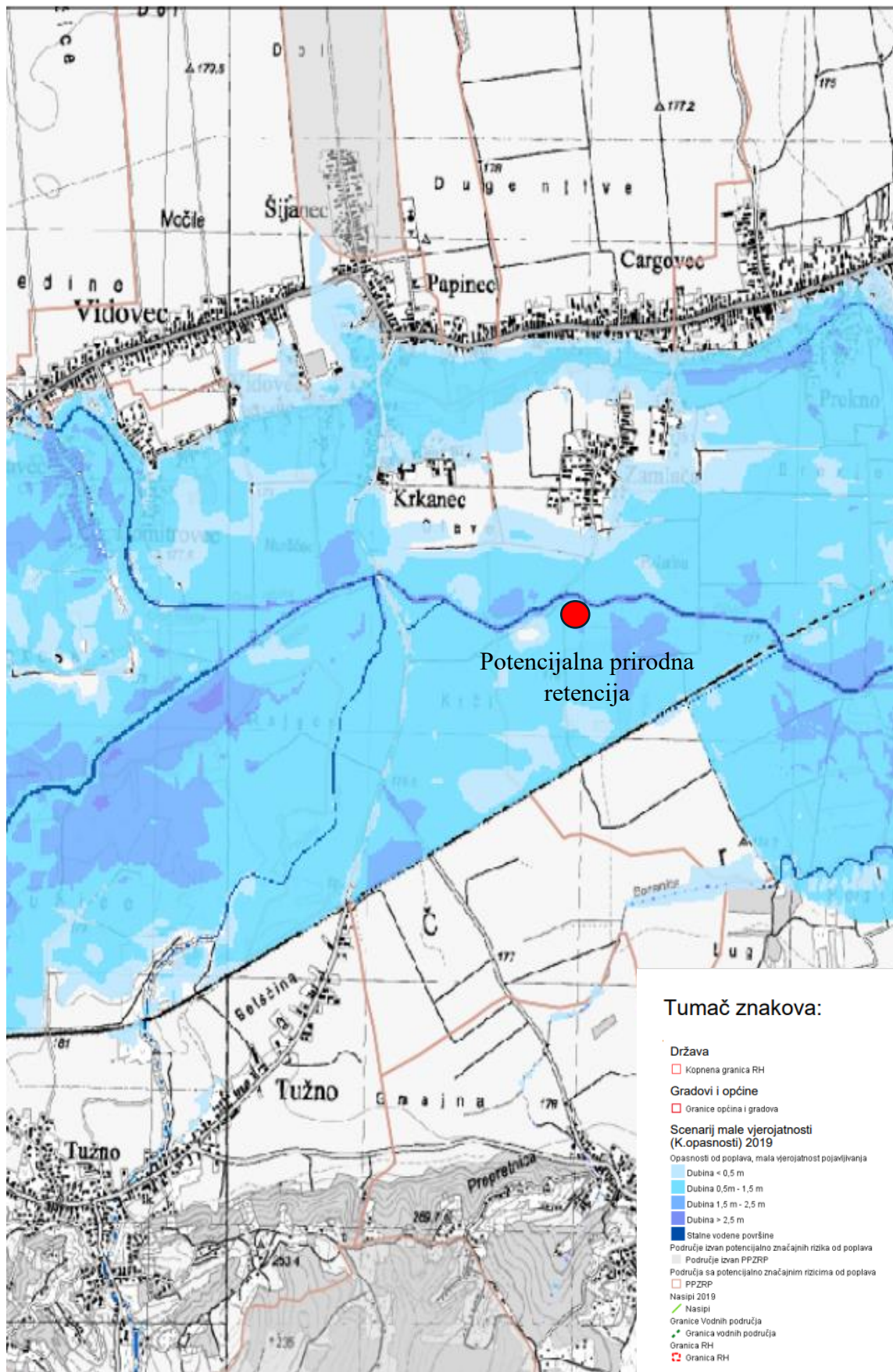
Karte jasno ukazuje na područja s najvećim rizikom od poplava te prikazuje dubinu potencijalnih poplavnih voda. Naselja koja se nalaze u plavim zonama, naročito ona s tamnoplavom oznakom dubinom većom od 2.5 m su u većem riziku od poplava u odnosu na ona područja označena svjetlijom bojom. Prema karti scenarija male i srednje vjerojatnosti poplava bi zahvatila uglavnom niska područja uz rijeku te naselja Budislovec, Domitrovec, Krkanec, Zamlaču i Prekno dubinom vode do 1.5 m. S druge strane, na karti scenarija velike vjerojatnosti prikazano je da bi poplava zahvatila uglavnom poljoprivredna zemljišta oko vodotoka rijeke Plitvice, dok bi opasnost za naselja bila smanjena.



Slika 36 Karta scenarij velike vjerojatnosti od poplava Općine Vidovec [30]



Slika 37 Karta scenarij srednje vjerojatnosti od poplava Općine Vidovec [30]



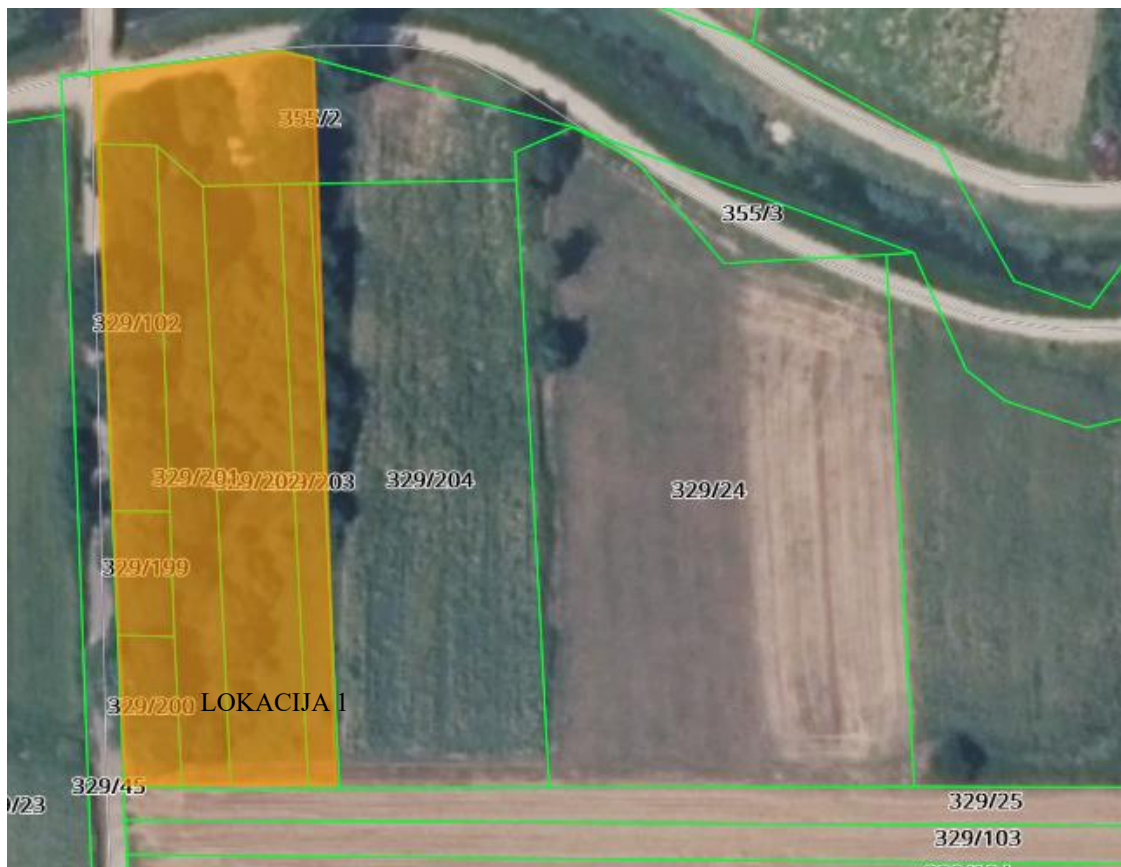
Slika 38 Karta scenarij male vjerojatnosti od poplava Općine Vidovec [30]

5. Metodologija i proračun

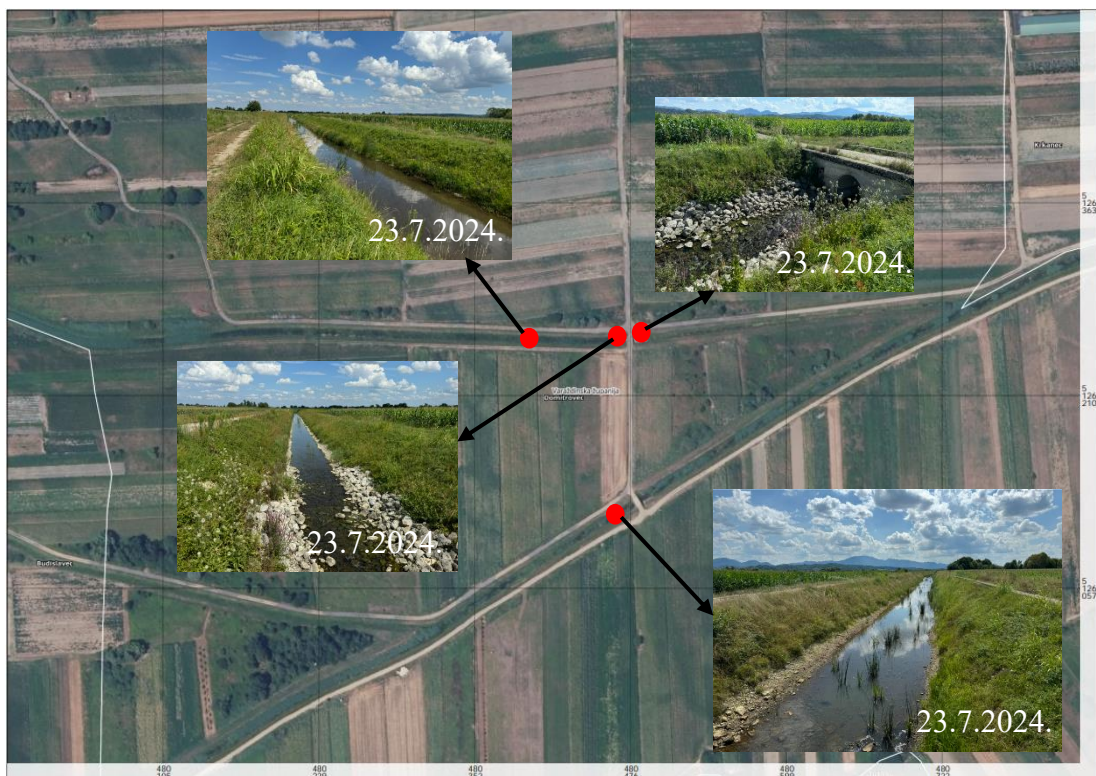
5.1. Metodologija istraživanja

Cilj rada je pronalazak rješenja da rijeku Plitvicu tijekom velikih voda rasteretimo pomoću ispumpavanja u parcelu, koja će služiti kao prirodna retencija. Potencijalna lokacija retencije nalazi se na česticama (355/2, 329/102, 329/199, 329/200, 329/201, 329/202 i 329/203) ukupne površine 3 715 m². Na temelju podataka prikupljenih s mjerne postaje Krkanec, izračunat će se snaga pumpe za ispumpavanje vode iz vodotoka u predviđenu retenciju (Slika 39).

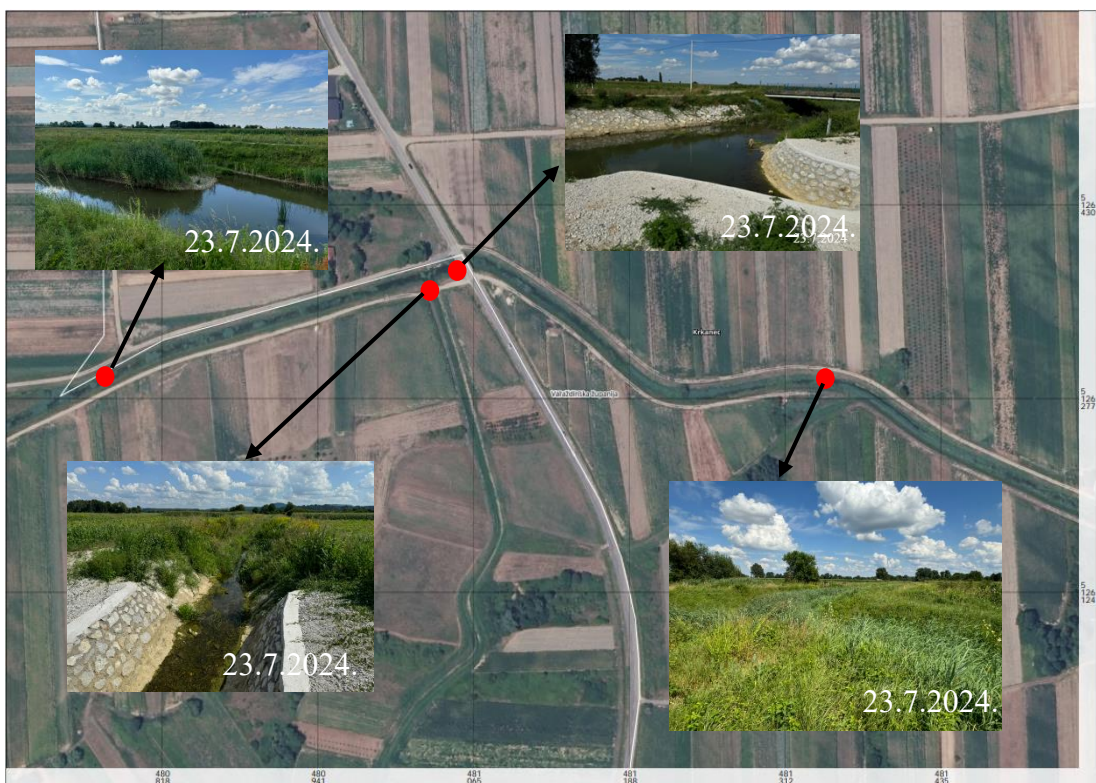
Prilikom terenskog istraživanja vodotoka rijeke Plitvice od naselja Domitrovca do naselja Prekno prikazano na slikama (Slike 40-42), zaključuje se da je potrebno hitno čišćenje vodotoka od raslinja da se omogući nesmetani protok vode, što je prikazano na kartama na sljedećoj strani.



Slika 39 Prikaz lokacije potencijalne prirodne retencije [32]



Slika 40 Prikaz trenutnog stanja vodotoka rijeke Plitvice kod naselja Domitrovec [25]



Slika 41 Prikaz trenutnog stanja vodotoka rijeke Plitvice kod naselja Krkanec [25]



Slika 42 Prikaz trenutnog stanja vodotoka rijeke Plitvice kod naselja Zamlača [25]

5.2. Ulazni parametri za izračun snage crpke

Snaga crpke izračunava se preko sljedeće formule:

$$P_{izlazna} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_{totalna} [W] \quad [1]$$

gdje su:

ρ – gustoća vode $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

g – akceleracija sile teže $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

Q – protok $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

H – neto visina [m]

η_{tot} – učinkovitost [1]

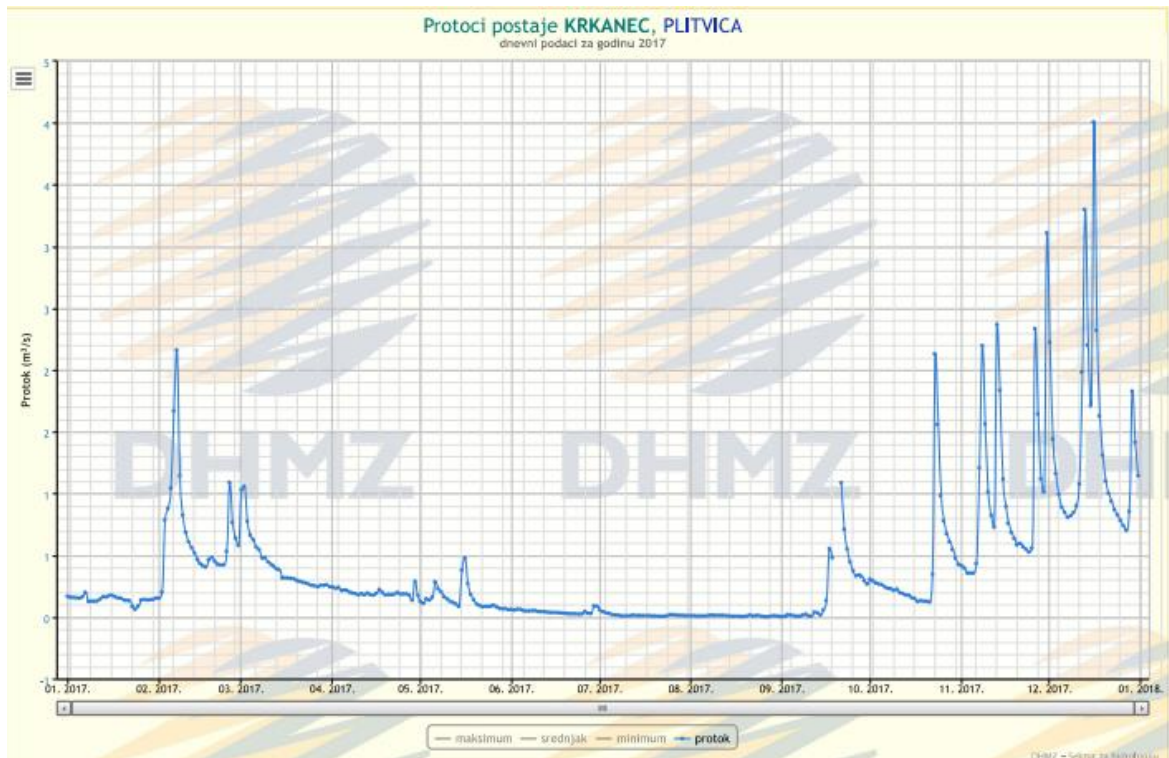
Na (Slici 43) prikazano je da većinom godine bilježi relativno nizak protok, uglavnom ispod 1 m³/s, s periodičnim manjim porastima tijekom proljeća i ljeta do 5 m³/s. Prikaz nivograma za 2016. god. pokazuje stabiliziran vodostaj tijekom cijele godine do naglog porasta u 12. mjesecu (Slika 44). Godine 2017. protok je niži od prijašnje godine (Slika 45), dok je vodostaj u jesensko doba porastao za 140 cm u odnosu na prošlu godinu (Slika 46). Protoci u 2019. godini variraju od 0.1 m³/s – 2.0 m³/s (Slika 47), dok je najniži vodostaj za 2019. god. iznosi 42 cm a najviši 176 cm (Slika 48). 2021. godina je protocima slična 2019. godini (Slika 49), dok je vodostaj manji u odnosu na prijašnju godinu za cca 40 cm (Slika 50). Prema prikazanom hidrogramu za 2022. godinu (Slika 51), može se uočiti nagli skok u listopadu do 11.82 m³/s, a time je povećana i razina vodostaja 179 cm (Slika 52). Zbog velikih količina oborina 2023. godine, početkom ljeta javlja se rekordni protok od 22.03 m³/s (Slika 53). Vodostaj tijekom cijele godine varira između 100 - 150 cm, dok početkom lipnja doseže rekordnih 256 cm (Slika 54).



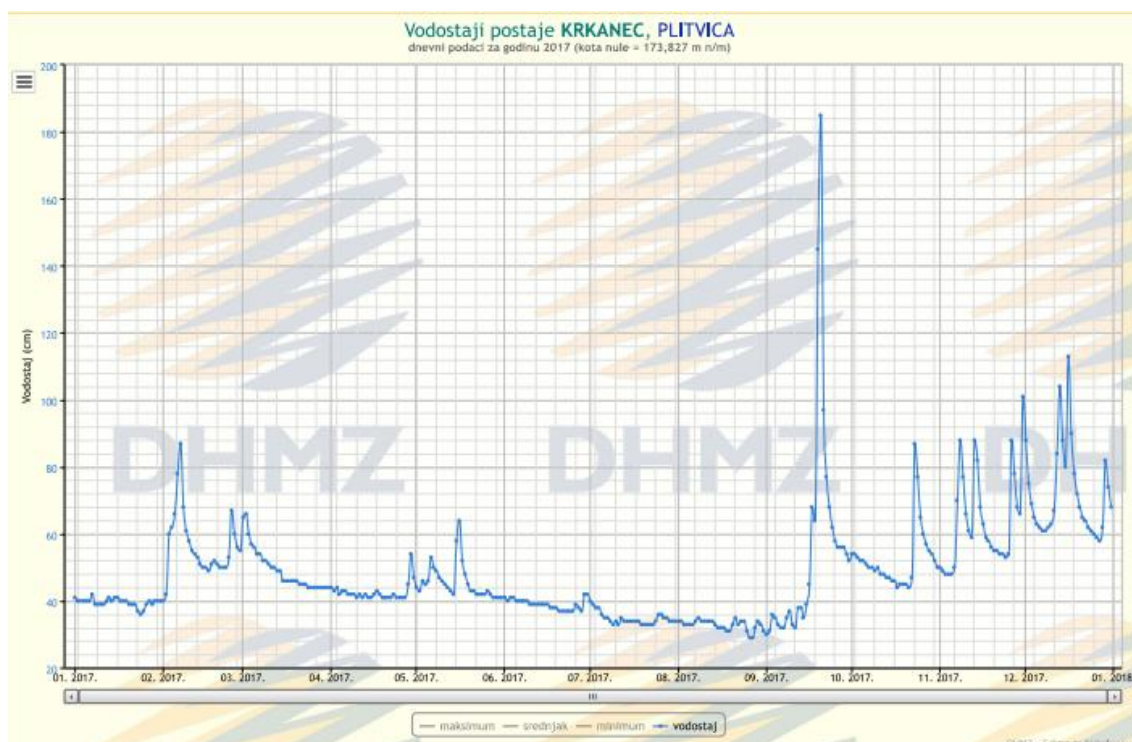
Slika 43 Hidrogram 2016. godina [26]



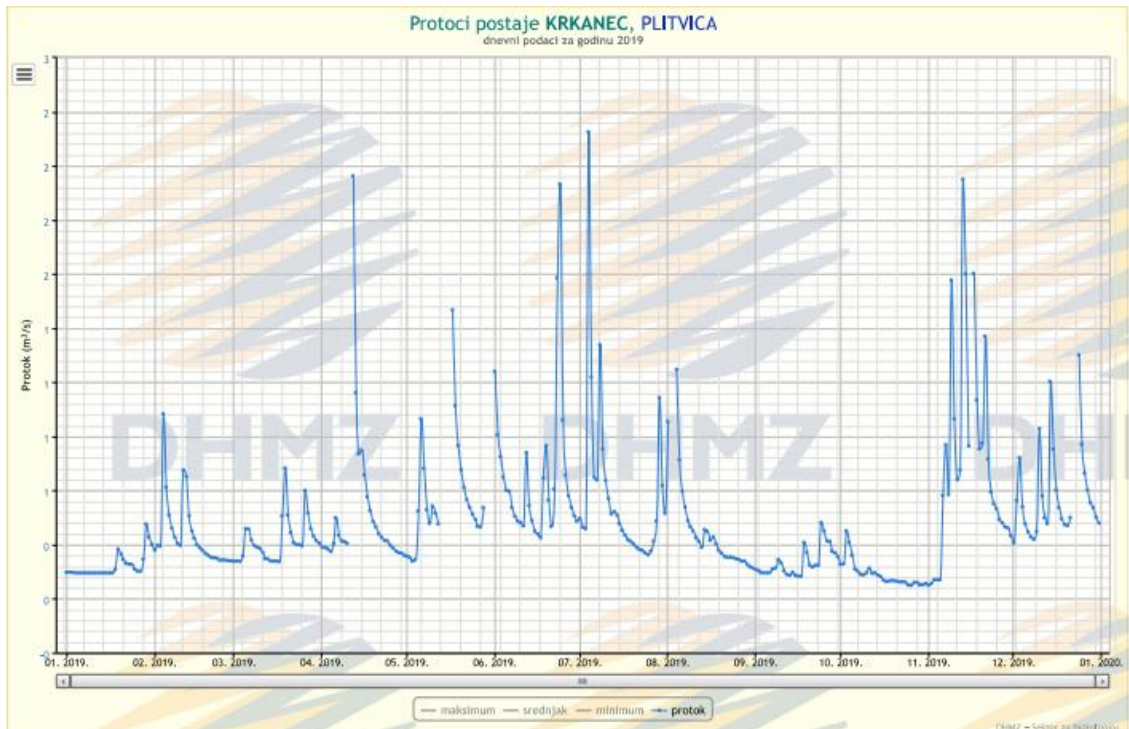
Slika 44 Nivogram 2016. godina [26]



Slika 45 Hidrogram 2017. godina [26]



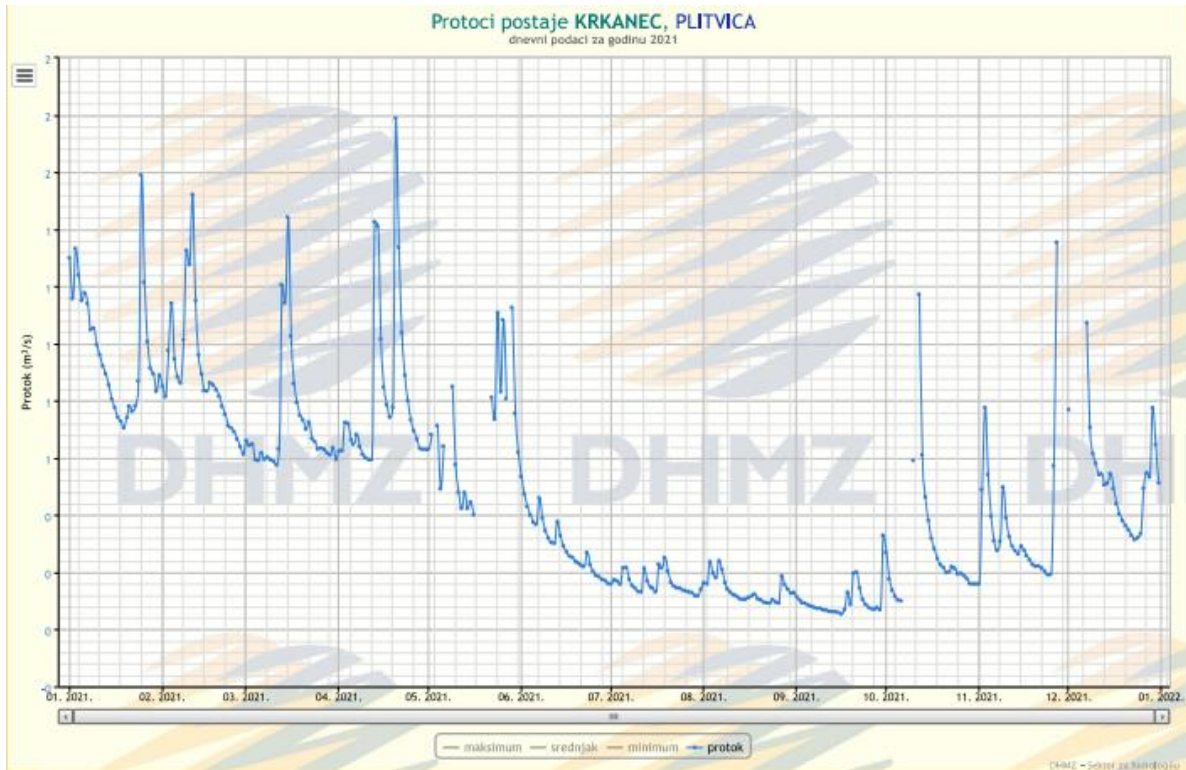
Slika 46 Nivogram 2017. godina [26]



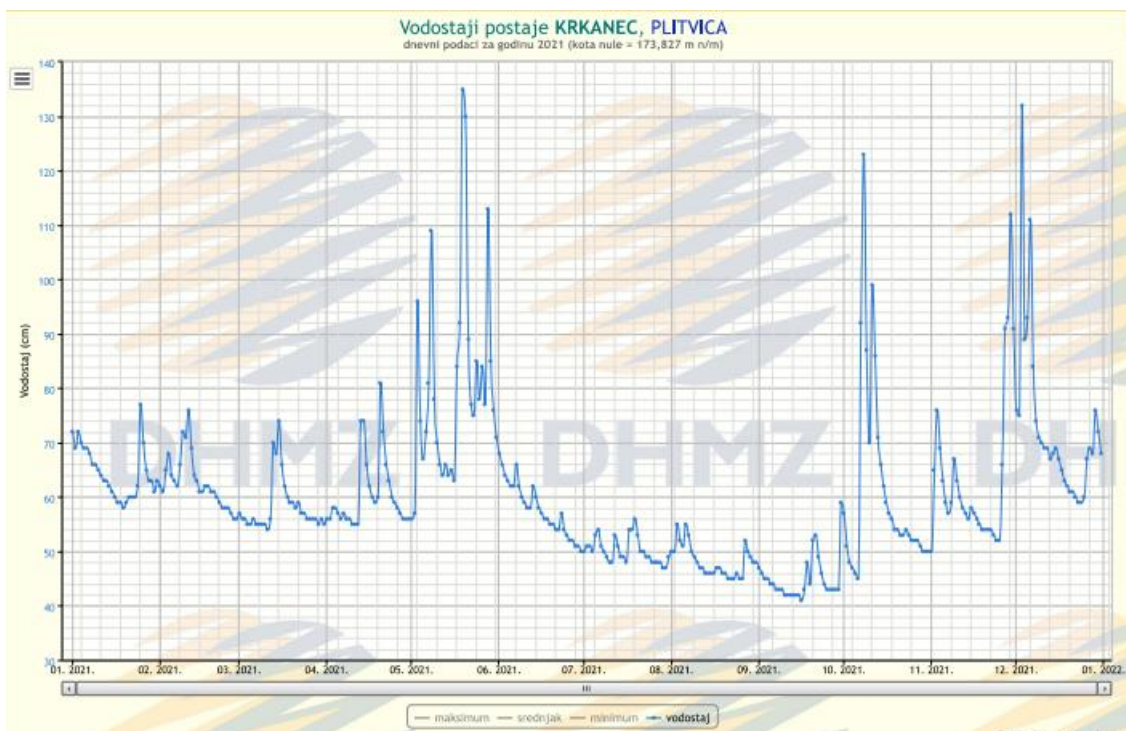
Slika 47 Hidrogram 2019. godina [26]



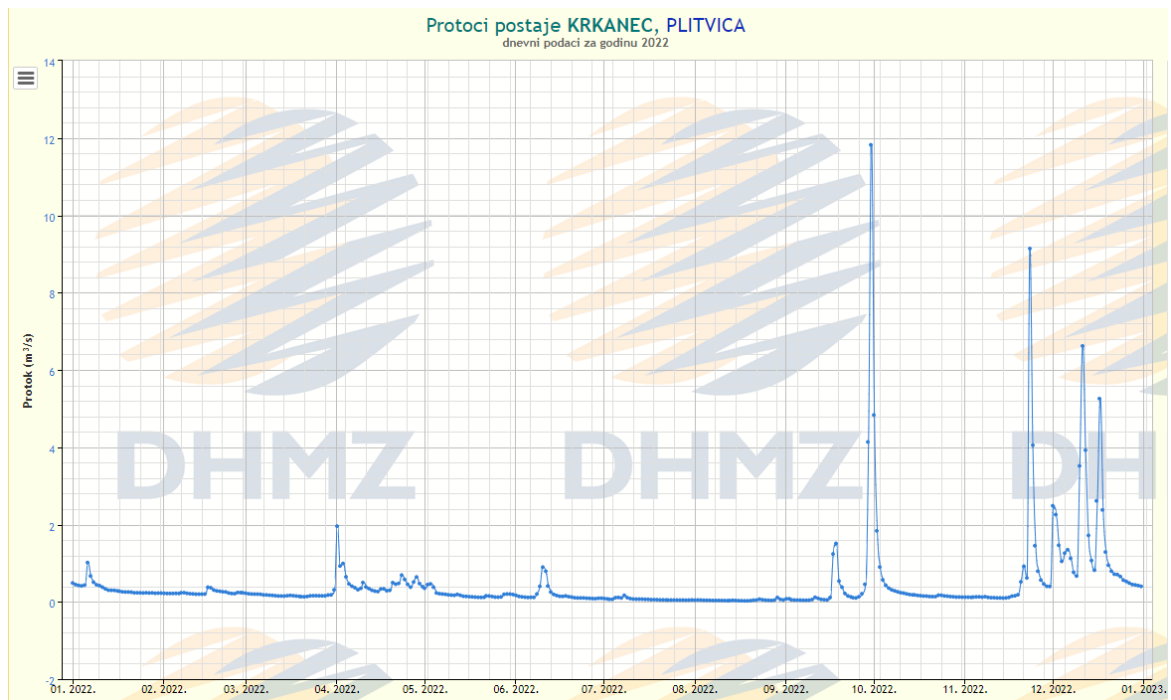
Slika 48 Nivogram 2019. godina [26]



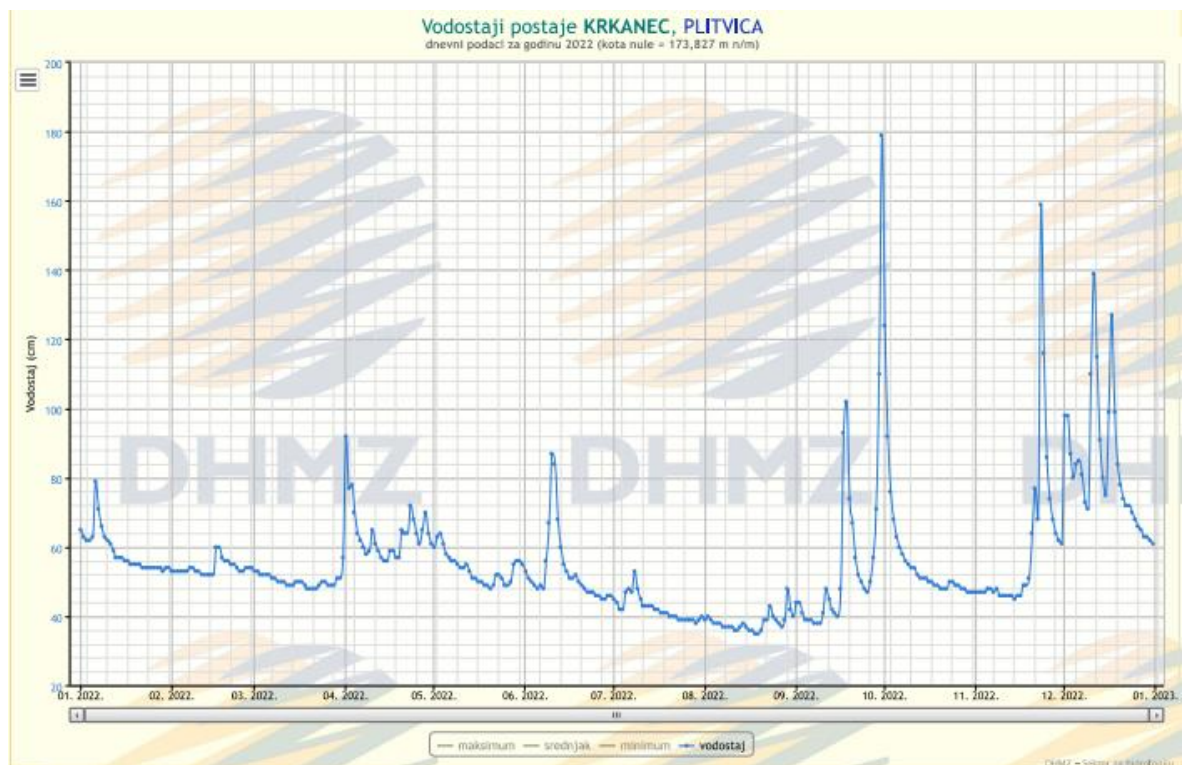
Slika 49 Hidrogram 2021. godina [26]



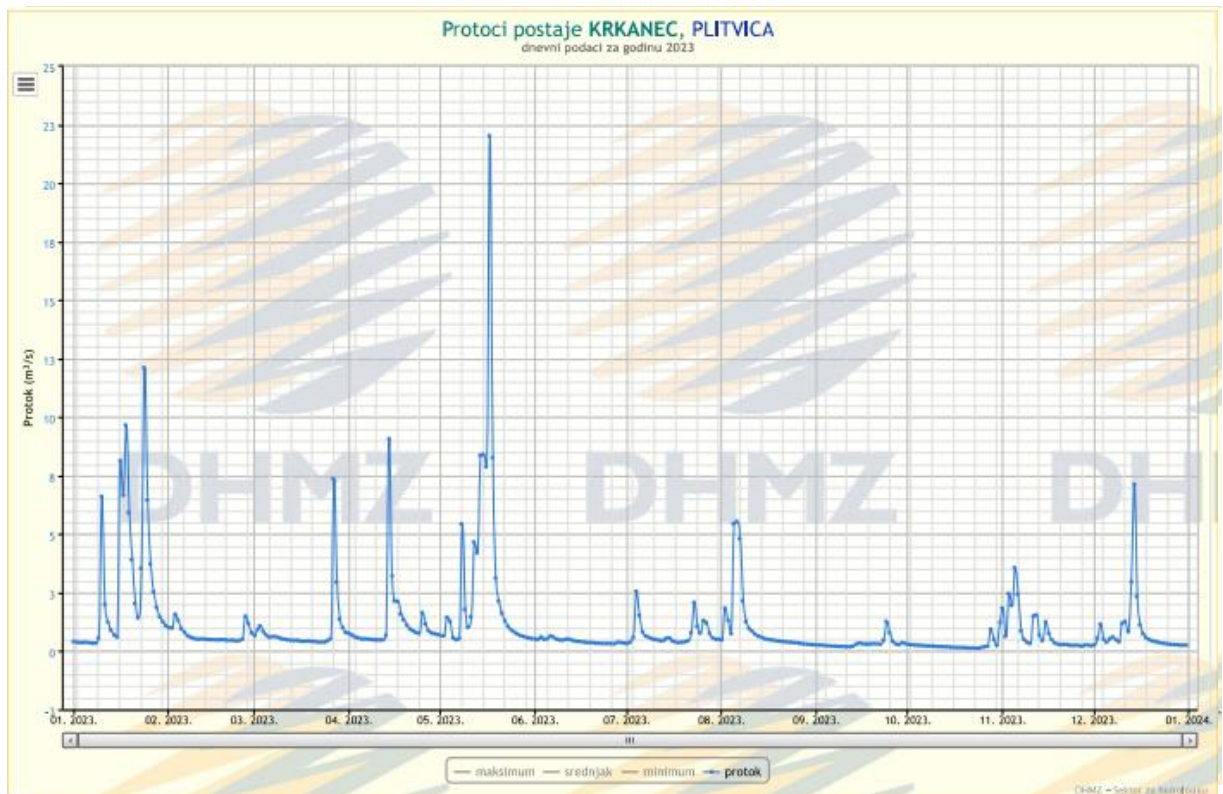
Slika 50 Nivogram 2021. godina [26]



Slika 51 Hidrogram 2022. godina [26]



Slika 52 Nivogram 2022. godina [26]



Slika 53 Hidrogram 2023. godina [26]



Slika 54 Nivogram 2023. godina [26]

Iz zadanih hidrograma može se zaključiti da se radi o bujičnom vodotoku, što znači da je protok vode podložan brzim i naglim promjenama. Takvi vodotoci karakteristični su po tome da povremeno dolazi do skokova u veličini protoka, osobito za vrijeme intenzivnih oborina ili topljenja snijega. Zbog nepravilnog dotoka vode, količina protoka može značajno varirati, što ponekad može uzrokovati velike iznenadne poplave. Upravljanje bujičnim vodotocima zahtijeva posebnu pažnju i mjere zaštite, poput izgradnje akumulacijskih i retencijskih bazena, brana, kanala kako bi se smanjila opasnost i šteta u okolnim područjima.

5.3. Proračun snage crpke

Zadanim proračunom odredit će se potrebna snaga crpke kojom bih se kod pojave velikih voda oteretio vodotok na način da se ispumpa u zadanu retenciju. Te bi se crpke napajale preko solarnih panela ili agregata.

Za početak proračuna potrebno je odrediti mjerodavne protoke (Tablica 2).

Tablica 2 Prikaz srednjeg dnevnog protoka od 2016. - 2023.godine [26]

Mjerna postaja Krkanec						
Godina:	2016.	2017.	2019.	2021.	2022.	2023.
Dnevni protok (m ³ /s):	4.338	4.011	2.157	1.789	11.82	22.03
Najveći dnevni srednji protok (m ³ /s):					22.03	
Prosječni srednji dnevni protok (2016.-2022.) (m ³ /s):					4.82	

U Tablici 2 može se primijetiti da nedostaju podaci za 2018. i 2020. godinu, što ukazuje na kvar tijekom mjerenja.

Ulazni podaci:

$$\rho = 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$g = 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$Q_{sr} = 4.82 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$H = 10 [m]$$

$$\eta_{tot} = 80\% = 0.8 [33]$$

Učinkovitost (η) u tehničkim sustavima opisuje omjer korisno dobivene energije u odnosu na ukupno uloženu energiju.

U crpnom sustavu koji uključuje motor i crpku, ukupna učinkovitost η_{tot} bila bi:

$$\eta_{tot} = \eta_{motora} \cdot \eta_{crpke} \quad [2]$$

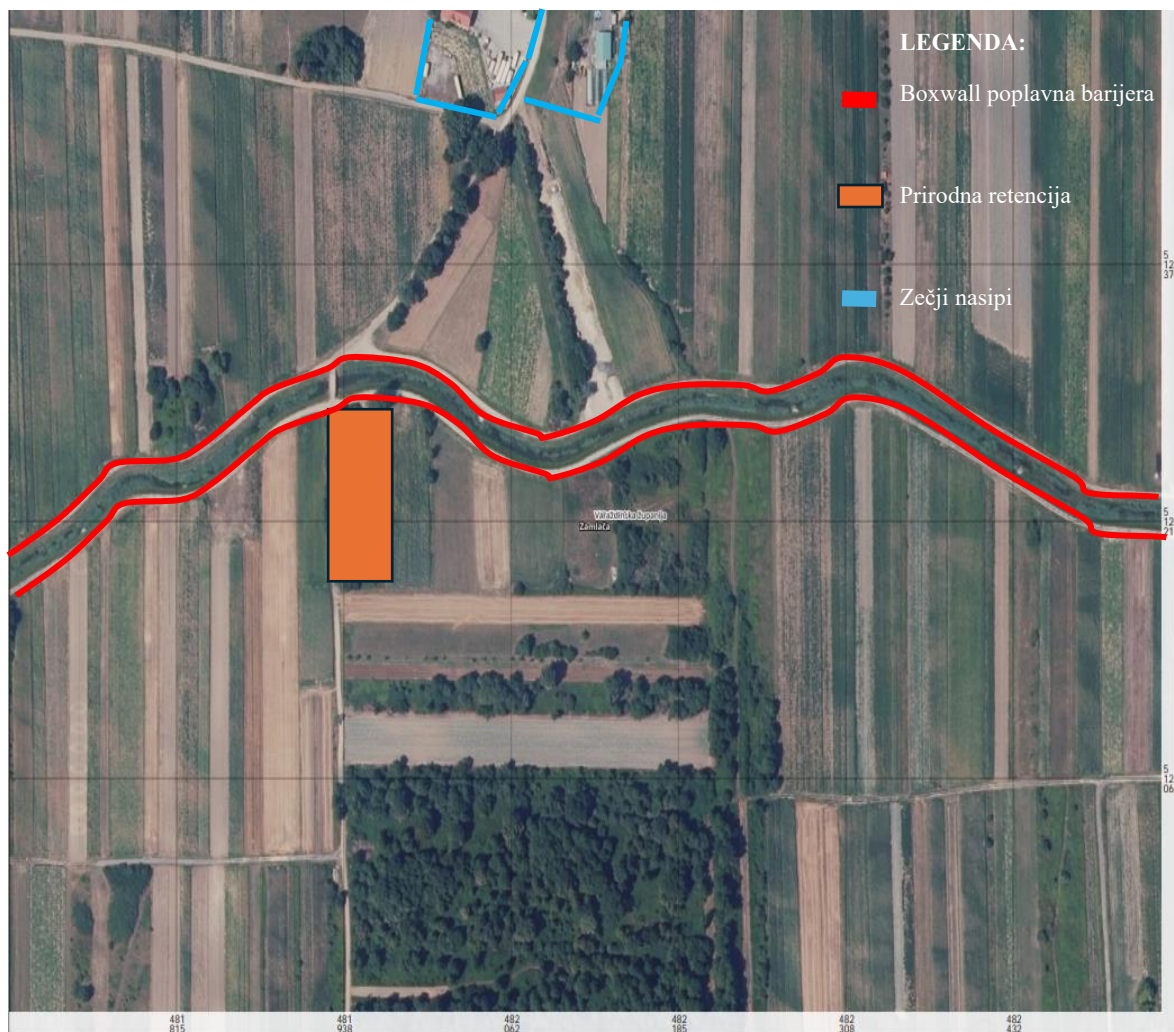
Kod izračuna izlazne snage crpke, u ovom slučaju uzima se prosjek srednjih dnevnih protoka od početka rada mjerne postaje do zadnjeg zabilježenog dnevnog protoka.

$$P_{izlazna} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_{totalna} = 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 4.82 \frac{m^3}{s} \cdot 10m \cdot 0.8$$

$$P_{izlazna} = 378273.6 W \text{ ili } 378 kW$$

Postavljanje crpke s potrebnom snagom od 378 kW nije isplativo iz više razloga, uglavnom zbog visokih energetske zahtjeva te problem sa dovozom i postavljenjem pumpe velikih dimenzija i težine. Za ovakvu snagu crpke manji agregati nebi zadovoljili energetske potrebe te su potrebni masivni agregati kako bi se zadovoljio neprekidan rad crpke. Snaga od gotovo 380 kW značila bi vrlo visoku potrošnju električne energije za što je potreban velika količina solarnih panela. Osim toga, infrastruktura potrebna za podršku tako snažnom sustavu, uključujući instalaciju električnih priključaka, sigurnosnih sustava i eventualnih rezervnih generatora, bila bi iznimno skupa.

Održavanje pumpe s ovako visokom snagom također bi bilo izazovno, zahtijevajući redovite servise, a time dolazi skupi rezervni dijelovi, što dodatno povećava troškove tijekom njenog vijeka trajanja. Uzimajući u obzir troškove energije, infrastrukture i održavanja, takva investicija bi mogla premašiti koristi, posebno u situacijama gdje postoje alternativne metode kontroliranja poplava koje su ekonomičnije. Kao alternativno rješenje može biti izrada betonskog kanala ili postavljanje PEHD cijevi sa nagibom prema potencijalnoj prirodnoj retenciji. Drugo rješenje je postavljanje Boxwall pregradnih sustava duž cijelog vodotoka da se spriječi opasnost velikih voda prema naseljima, te postavljanje zečjih nasipa kod kućanstava ili gospodarskih objekata da se spriječi prodor vode (Slika 55).

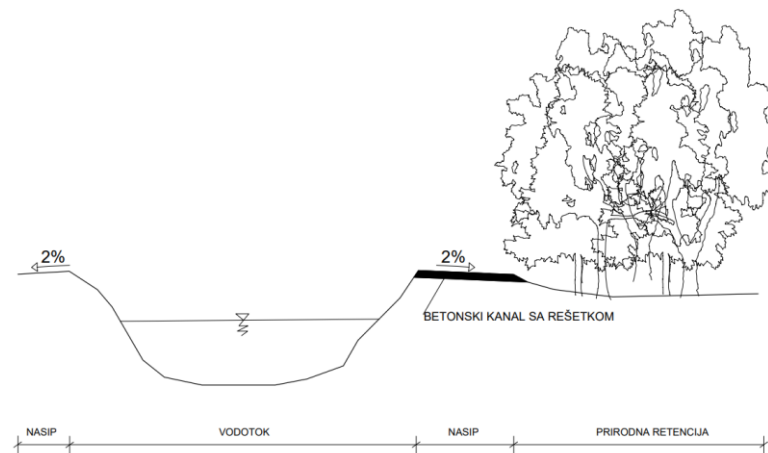


Slika 55 Prikaz položaja zečjih nasipa, boxwall pregrade i prirodne retencije [26]

5.4. Alternativna rješenja

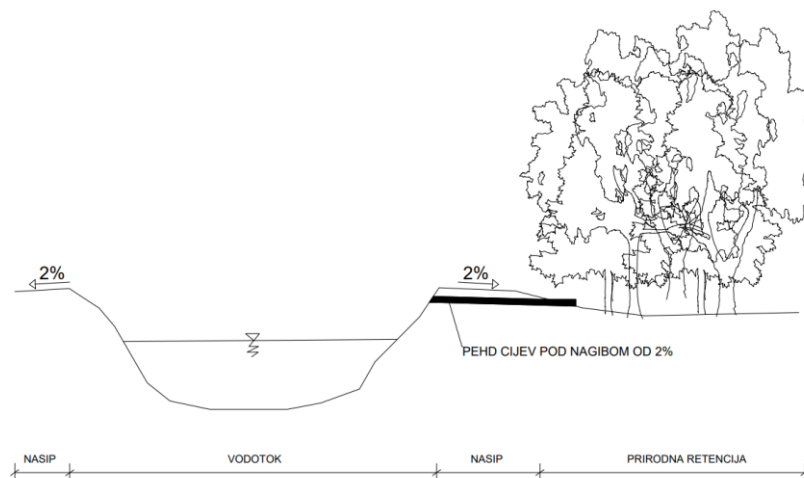
Rješenje spajanje vodotoka sa retencijom betonskim kanalom preko nasipa (Slika 56).

Izrada betonskog kanala sa postojećim nagibom od 2% prema zadanoj retenciji. Potrebna ugradnja sustava za kontrolu protoka (npr. ventilima ili prelivnim sustavima) kako bi se omogućilo reguliranje razine vode u retenciji. Isto tako potrebno je na vrh kanala postaviti metalnu rešetku da se omogući održavanje kanala od začepljenja.



Slika 56 Spoj vodotoka i retencije sa betonskim kanalom [25]

Rješenje spajanje vodotoka sa retencijom sa PEHD cijevi s ugrađenim reškama (Slika 57).



Slika 57 Spoj vodotoka i retencije sa PEHD cijevi [25]

5.4.1. Izračun punjenja retencije

Potrebno vrijeme za punjenje prirodne retencije na zadanoj lokaciji izračunava se preko formule:

$$Q = \frac{V}{t} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad [3]$$

Pri izračunu potrebnog vremena za punjenje retencije uzeta je razlika između srednjeg dnevnog protoka 2023. god. (22.03 m³/s) i srednjeg dnevnog protoka 2022. god. (11.82 m³/s), zbog razmatranja dva ekstrema poplava koje su se desile unutar vremena rada mjerne hidrološke postaje. Površina retencije iznosi tri tisuće sedamsto petnaest metara kvadratnih dok dubina retencije iznosi pola metra.

$$P_{retencije} = 3\,715 \text{ m}^2$$

$$V_{retencije} = P_{retencije} \cdot 0.5 \text{ m (dubina retencije)} = 1\,857.5 \text{ m}^3$$

$$Q = 22.03 \frac{m^3}{s} - 11.82 \frac{m^3}{s} = 10.21 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$Q = \frac{V}{t} \rightarrow t = \frac{V}{Q} = 181.9 \text{ s} \approx 3 \text{ min}$$

Prema izračunu, retenciji volumena 1 857.5 m³ potrebno je 3 min da se napuni vodom. Prema tome, zaključuje se da je potrebno duž cijelog vodotoka iskoristiti zapuštena zemljišta da se prenamjene u prirodne retencije, kojima će se zaštititi naselja od poplava i dizanja podzemnih voda, koja štete kućanstvima sa ugrađenim podrumima.

6. Zaključak

Poplave su sve češće i postaju sve veći problem zbog učestalih klimatskih promjena. Povećanje globalne temperature rezultira intenzivnijim oborinama, bržim otapanjem snijega i podizanjem razine mora, što sve doprinosi većoj učestalosti i ozbiljnosti poplava. Ove promjene predstavljaju izazov za zajednice i infrastrukturu, te zahtijevaju hitne mjere prilagodbe i otpornosti kako bi se smanjile štete i rizici od budućih poplava. Tradicionalne metode, poput izgradnje nasipa, pokazale su se nedovoljnim, stoga je potrebno uvesti kombinaciju prirodnih i modernih tehnoloških rješenja. Korištenjem prirodnih retencija, kao što su uređena područja za privremeno zadržavanje viška vode, te suvremenih sustava poput Boxwall pregrada i vodenih kaveza, moguće je smanjiti rizik od poplava te zaštititi poljoprivredna zemljišta i naselja.

Retencije će imati veliku ulogu u sprečavanju povećanja podzemnih voda na poplavnim područjima jer će zadržavati višak oborinskih voda i smanjivati pritisak na podzemne vode. Kada padnu obilne kiše ili dođe do naglog topljenja snijega, retencija će privremeno pohraniti višak vode, sprječavajući da se ona odmah infiltrira u tlo i poveća razinu podzemnih voda.

Provedeni proračuni pokazali su da korištenje potopnih pumpi visokih kapaciteta nije isplativo zbog visokih energetske troškova i potrebne infrastrukture. Alternativna rješenja, poput spajanja vodotoka s retencijama putem betonskih kanala ili PEHD cijevi, kao i korištenje pokretnih pregrada duž vodotoka, omogućuju brže i učinkovitije ublažavanje poplavnih rizika. Za detaljnu i kvalitetniju analizu trebalo bi napraviti hidrološku studiju analiziranog područja, kao i geodetsku izmjeru korita, uz provođenje hidrometrijskih mjerenja na promatranj lokaciji.

Ovaj pristup doprinosi održivom razvoju i smanjenju negativnih utjecaja klimatskih promjena, istovremeno čuvajući prirodne ekosustave i unapređujući kvalitetu života u poplavnim područjima. Prirodne retencije u kombinaciji s modernim tehnologijama predstavljaju učinkovit ali i dugoročan odgovor na izazove zaštite od poplava.

Popis literature

- [1] Narodne novine, Zakon o vodama, https://narodnenovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_07_66_1285.html, datum pristupa: 05.07.2024.
- [2] Silaj, J. (2016). Obrana od poplava. Vatrogastvo i upravljanje požarima, vol.VI., br. 1, str. 23-42
- [3] Wikipedia, poplava u Zagrebu 1964., https://hr.wikipedia.org/wiki/Poplava_u_Zagrebu_1964., datum pristupa: 06.07.2024.
- [4] Index.hr, <https://www.index.hr/vijesti/clanak/proslo-je-10-godina-od-katastrofalne-poplave-u-gunji/2566023.aspx>, datum pristupa: 06.07.2024.
- [5] Vlada županije Posavske BIH, Podsjetnik na katastrofalnu svibanjsku poplavu iz 2014. godine <https://www.zupanijaposavska.ba>, datum pristupa: 05.07.2024.
- [6] Hrvatske vode, društveni aspekti poplava, <https://voda.hr>, datum pristupa: 20.07.2024.
- [7] Statista, <https://www.statista.com> , datum pristupa: 20.07.2024.
- [8] Radio Slobodna Evropa, <https://www.slobodnaevropa.org/a/klimatske-promjene--globalno-prirodne-katastrofe-elementarne-nepogode-smrtnost/32915996.html>, datum pristupa: 20.07.2024.
- [9] Vodne pregrade, <https://www.cestooprema.si> , datum pristupa: 20.07.2024.
- [10] Hydro response, flood protection products, <https://www.hydroresponse.com/water-gate-barrier> , datum pristupa: 25.07.2024.
- [11] Prefa, <https://www.prefa.hr> , datum pristupa: 25.07.2024.
- [12] Flood free, Australian flood barriers, <https://www.floodfree.com.au/flood-barriers/filting/> , datum pristupa: 25.07.2024.
- [13] U.S. Flood control, <https://ustloodcontrol.com/concrete-tiger-dam> , datum pristupa: 25.07.2024.
- [14] Poplave.hr, <https://poplave.hr> , datum pristupa: 25.07.2024.
- [15] Vatropromet vatrogasna i zaštitna oprema, modul za obranu od poplava/Hytrans flood module, <https://vatropromet.hr/>, datum pristupa: 25.07.2024.
- [16] Interreg Italy-Croatia, <https://adriadapt.eu/Integralni-sustav-za-zaštitu-Venecije-i-njezine-lagune-od-poplava> , datum pristupa: 27.07.2024.
- [17] Mose Venezia, <https://www.mosevenezia.com>, datum pristupa: 27.07.2024.

- [18] Portal sustava Merlin, <https://moodle.srce.hr>, nastupno predavanje, datum pristupa: 27.07.2024.
- [19] Hrvatske vode, https://voda.hr/sites/default/files/2022-04/prilog_a_regulacijske_gra-evine.pdf, datum pristupa: 27.07.2024.
- [20] Kuspilić N.: skripta Regulacije vodotoka, Građevinski fakultet Sveučilište Zagreb, datum pristupa: 27.07.2024.
- [21] Croatia.eu – land and people, <https://www.croatia.eu>, datum pristupa: 27.07.2024.
- [22] Općina Vidovec, <https://vidovec.hr/plan-djelovanja-civilne-zaštite-Općine-Vidovec>, datum pristupa: 28.07.2024.
- [23] Karta Hrvatske, <https://karta-hrvatske.com.hr/Vidovec>, datum pristupa: 28.07.2024.
- [24] Šimunić A., Pikija M., Hećimović I. (1983.): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, List Varaždin L33-69. – Geološki zavod, Zagreb, (1971-1978); Savezni geološki institut, Beograd (1982)
- [25] Osobni izvor, datum pristupa: 30.07.2024.
- [26] Državni hidrometeorološki zavod, <https://hidro.dhz.hr>, datum pristupa: 30.07.2024.
- [27] Općina Vidovec, karte vodotoka, <https://procjena-rizika-opcine-vidovec/>, datum pristupa: 30.07.2024.
- [28] Državni hidrometeorološki zavod, <https://meteo.hr/objave-priopćenja>, datum pristupa: 30.07.2024.
- [29] Hrvatske vode, prikaz vodostaja, <https://mvodostaji.voda.hr>, datum pristupa: 30.07.2024.
- [30] Hrvatske vode, <https://voda.hr/karte-opsanosti-od-poplava-i-karte-rizika-od-poplava-2019.>, datum pristupa: 30.07.2024.
- [31] Bekić, D. ; Mckeogh, E.: Primjena karata opasnosti i rizika od poplave u prostorno-planskoj dokumentaciji, Zbornik radova, Zagreb, 2013., str. 397-412
- [32] Državna geodetska uprava , Geoportal, <https://geoportal.dgu.hr>, datum pristupa: 30.07.2024.
- [33] Kos, Ž., Đurin, B., Dogančić, D., Kranjčić, N. (2021). Hydro-Energy Suitability of Rivers Regarding Their Hydrological and Hydrogeological Characteristics. *Water*, Vol. 13 No. 13: 1777.

Popis slika

Slika 1 Prikaz poplavljenog područja u Gunji [4]	3
Slika 2 Puknuće nasipa [5].....	3
Slika 3 Podjela štetnih posljedica poplava [6]	4
Slika 4 Broj poplavnih događaja u svijetu od 1990-2022 godine [7]	4
Slika 5 Procjena šteta u EU državama [6]	5
Slika 6 Podaci o žrtvama pogođenim prirodnim katastrofama (Centar za istraživanje epidemiologije katastrofa) [8].....	5
Slika 7 Geodesing pregrada [9]	7
Slika 8 Samopunjujuća vodena brana [10]	8
Slika 9 Dijelovi vodenog kaveza [10].....	8
Slika 10 Mobilni zid [11].....	9
Slika 11 Podizna vodena barijera [12]	10
Slika 12 Dijelovi vodene pregrade ispunjenom vodom [2]	10
Slika 13 Sustav Tigar brana [13].....	11
Slika 14 Boxwall poplavna barijera [14]	12
Slika 15 Hytrans Flood Module [15]	13
Slika 16 MOSE sustav [16]	13
Slika 17 Presjek MOSE sustava [17].....	14
Slika 18 Retencija Jazbina, Medvednica [18].....	15
Slika 19 Čeona retencija [20].....	16
Slika 20 Shematski prikaz bočne retencije [20].....	17
Slika 21 Položaj općine Vidovec na karti RH [21]	18
Slika 22. Položaj Općine Vidovec [23].....	19
Slika 23 Isječak osnovne geološke karte, list Varaždin [24].....	20
Slika 24 Tok rijeke Plitvice kod naselja Zamlača [25]	21
Slika 25 Mjerna postaja Krkanec [25]	22
Slika 26 Prikaz profila korita sa mjernom postajom i limnigrafom [25].....	23
Slika 27 Tablica podataka mjerenja kod mjerne postaje Krkanec [26]	23
Slika 28 Poprečni presjek korita kod mjerne postaje Krkanec [26]	24
Slika 29 Položaj rijeke Plitvice, potoka, kanala i bajera u Općini Vidovec na ortofoto karti [27]	25

Slika 30 Položaj rijeke Plitvice, potoka, kanala i bajera u Općini Vidovec na topografskoj karti [27]	25
Slika 31 Porast razine podzemnih voda 2017. godine, uz pojavu poplave u mjestu Zamlača [25]	27
Slika 32 Prikaz izlivanja rijeke Plitvice 2023. godine na lokaciji Krkanec kod mjerne postaje [28]	28
Slika 33 Prikaz porasta vodostaja rijeke Plitvice na lokaciji Krkanec [29]	28
Slika 34 Prikaz poplavljenih farma pilića [25]	29
Slika 35 Prikaz poplavljenih područja [25]	30
Slika 36 Karta scenarij velike vjerojatnosti od poplava Općine Vidovec [30]	32
Slika 37 Karta scenarij srednje vjerojatnosti od poplava Općine Vidovec [30]	33
Slika 38 Karta scenarij male vjerojatnosti od poplava Općine Vidovec [30]	34
Slika 39 Prikaz lokacije potencijalne prirodne retencije [32]	35
Slika 40 Prikaz trenutnog stanja vodotoka rijeke Plitvice kod naselja Domitrovec [25]	36
Slika 41 Prikaz trenutnog stanja vodotoka rijeke Plitvice kod naselja Krkanec [25]	36
Slika 42 Prikaz trenutnog stanja vodotoka rijeke Plitvice kod naselja Zamlača [25]	37
Slika 43 Hidrogram 2016. godina [26]	39
Slika 44 Nivogram 2016. godina [26]	39
Slika 45 Hidrogram 2017. godina [26]	40
Slika 46 Nivogram 2017. godina [26]	40
Slika 47 Hidrogram 2019. godina [26]	41
Slika 48 Nivogram 2019. godina [26]	41
Slika 49 Hidrogram 2021. godina [26]	42
Slika 50 Nivogram 2021. godina [26]	42
Slika 51 Hidrogram 2022. godina [26]	43
Slika 52 Nivogram 2022. godina [26]	43
Slika 53 Hidrogram 2023. godina [26]	44
Slika 54 Nivogram 2023. godina [26]	44
Slika 55 Prikaz položaja zečjih nasipa, boxwall pregrade i prirodne retencije [26]	47
Slika 56 Spoj vodotoka i retencije sa betonskim kanalom [25]	48
Slika 57 Spoj vodotoka i retencije sa PEHD cijevi [25]	48

PRILOZI

P1

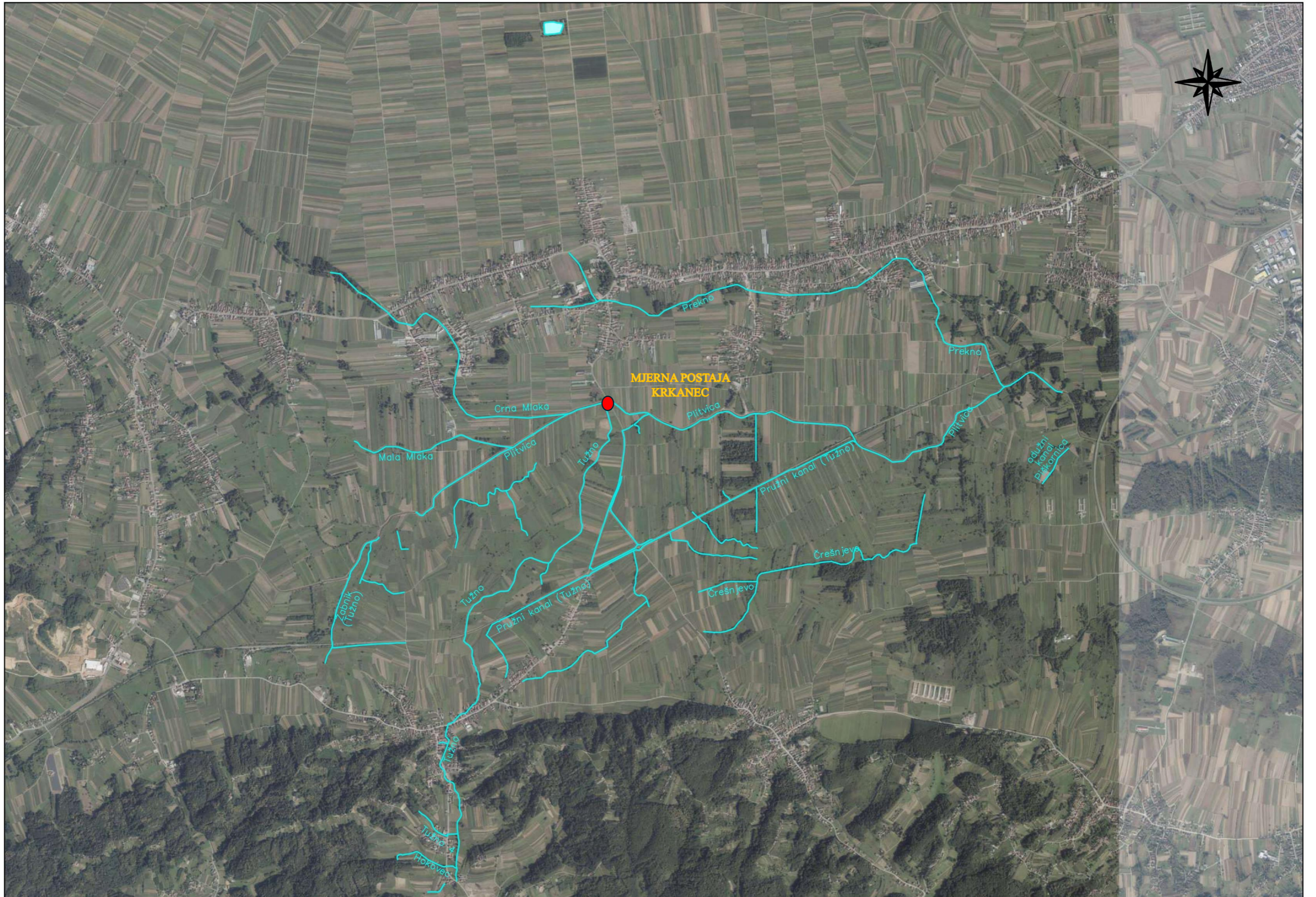
*POLOŽAJ OPĆINE VIDOVEC NA
KARTI HRVATSKE*



P2

***POLOŽAJ RIJEKE PLITVICE,
POTOKA, KANALA I BAJERA U
OPĆINI VIDOVEC***

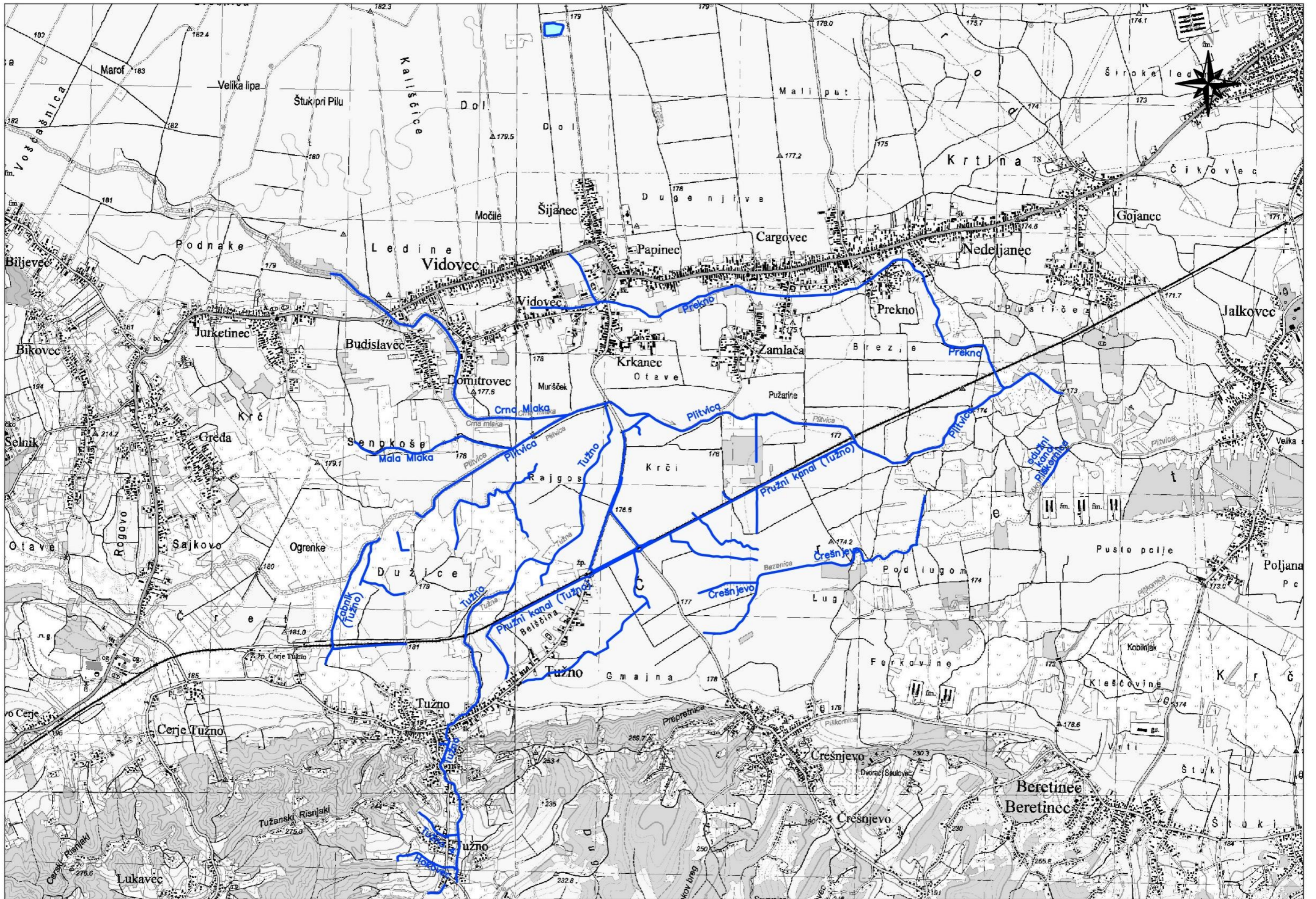
(ORTOFOTO KARTA)



P3

***POLOŽAJ RIJEKE PLITVICE,
POTOKA, KANALA I BAJERA U
OPĆINI VIDOVEC***

(TOPOGRAFSKA KARTA)



P4

KARTA OPASNOSTI OD POPLAVA

(MALA VJEROJATNOST POJAVLJIVANJA)

(SREDNJA VJEROJATNOST POJAVLJIVANJA)

(VELIKA VJEROJATNOST POJAVLJIVANJA)

KARTA OPASNOSTI OD POPLAVA

ZA MALU VJEROJATNOST POJAVLJIVANJA

PLAN UPRAVLJANJA VODNIM
PODRUČJIMA 2022.- 2027.

TUMAČ OZNAKA

Dubina vode (m)

- > 2,5 m
- 1,5 - 2,5 m
- 0,5 - 1,5 m
- < 0,5 m

vodena površina

nasip

PODRUČJA S POTENCIJALNO ZNAČAJNIM
RIZICIMA OD POPLAVA:

granica PPZRP

područje izvan PPZRP

OSTALI PODACI:

državna granica

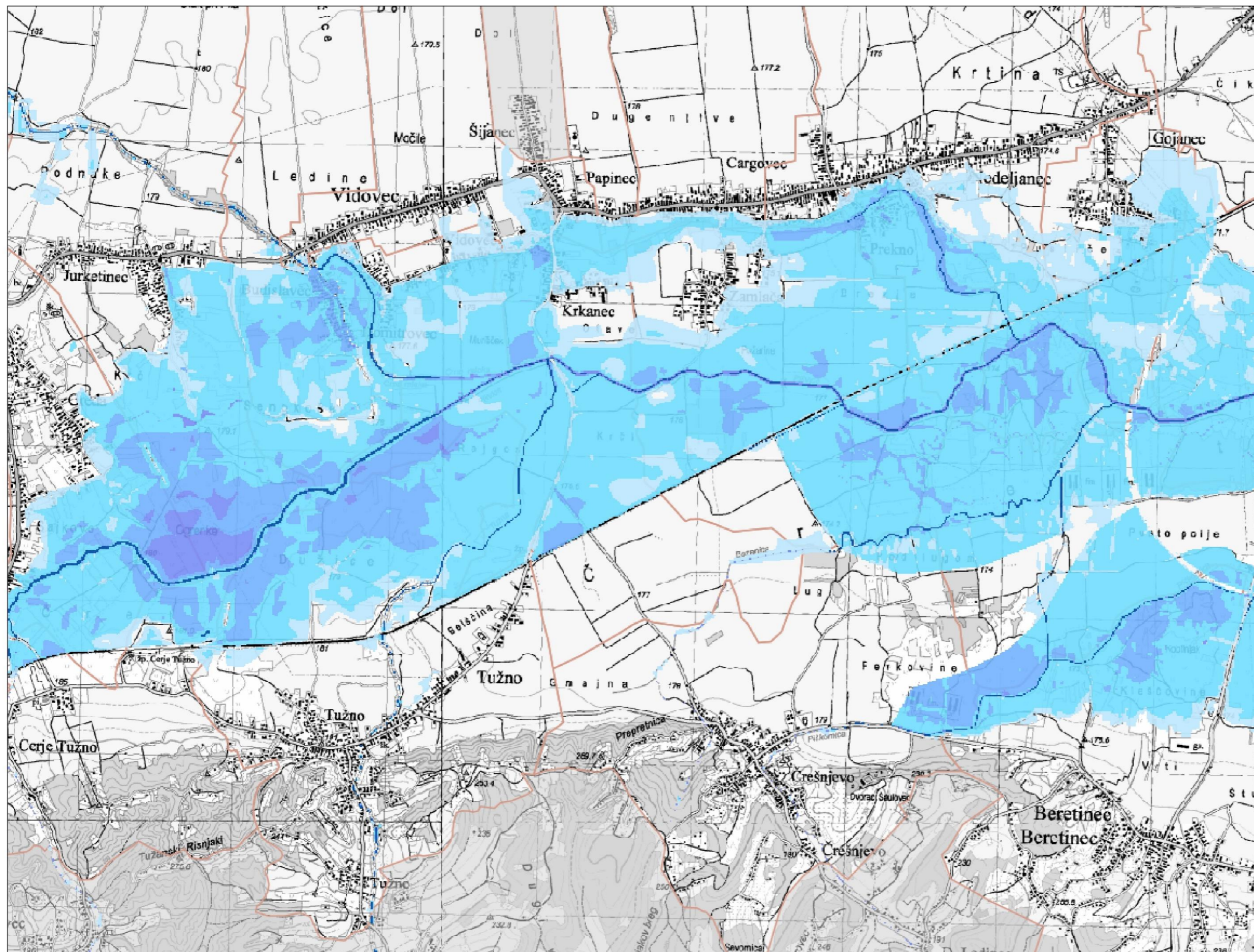
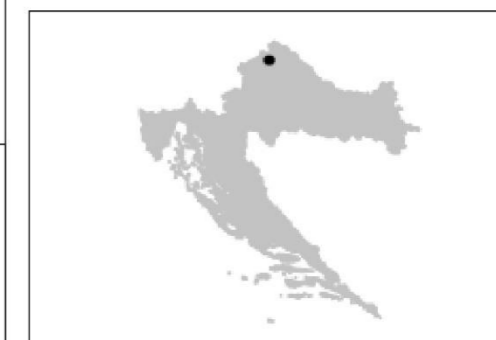
granica vodnih područja

Topografska karta 1:25.000

IZVORI PODATAKA:

Hrvatske vode
Državni hidrometeorološki zavod
Hrvatski hidrografski institut
Državna geodetska uprava

POLOŽAJ KARTE



Karte su izrađene u okviru Plana upravljanja rizicima od poplava sukladno odredbama članka 124., 125. i 126. Zakona o vodama (Narodne novine, broj 66/19), i to za tri scenarija plavljenja određena Direktivom 2007/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2007. o procjeni i upravljanju rizicima od poplava, i nisu prilagođene drugim namjenama. Treba voditi računa da na kartama nisu prikazani svi mogući scenariji plavljenja. Korisnik podataka prihvaća sve rizike koji nastaju njegovim korištenjem te prihvaća koristiti podatke isključivo na vlastitu odgovornost.

0 200 400 600 800 1000m



kartografska projekcija-HTRS96 TM

Datum izrade: Prosinac, 2019



Izdavač
HRVATSKE VODE
pravna osoba za upravljanje vodama

KARTA OPASNOSTI OD POPLAVA

ZA SREDNJU VJEROJATNOST POJAVLJIVANJA

PLAN UPRAVLJANJA VODNIM
PODRUČJIMA 2022.- 2027.

TUMAČ OZNAKA

Dubina vode (m)

- > 2,5 m
- 1,5 - 2,5 m
- 0,5 - 1,5 m
- < 0,5 m

vodena površina

nasip

PODRUČJA S POTENCIJALNO ZNAČAJNIM RIZICIMA OD POPLAVA:

granica PPZRP

područje izvan PPZRP

OSTALI PODACI:

državna granica

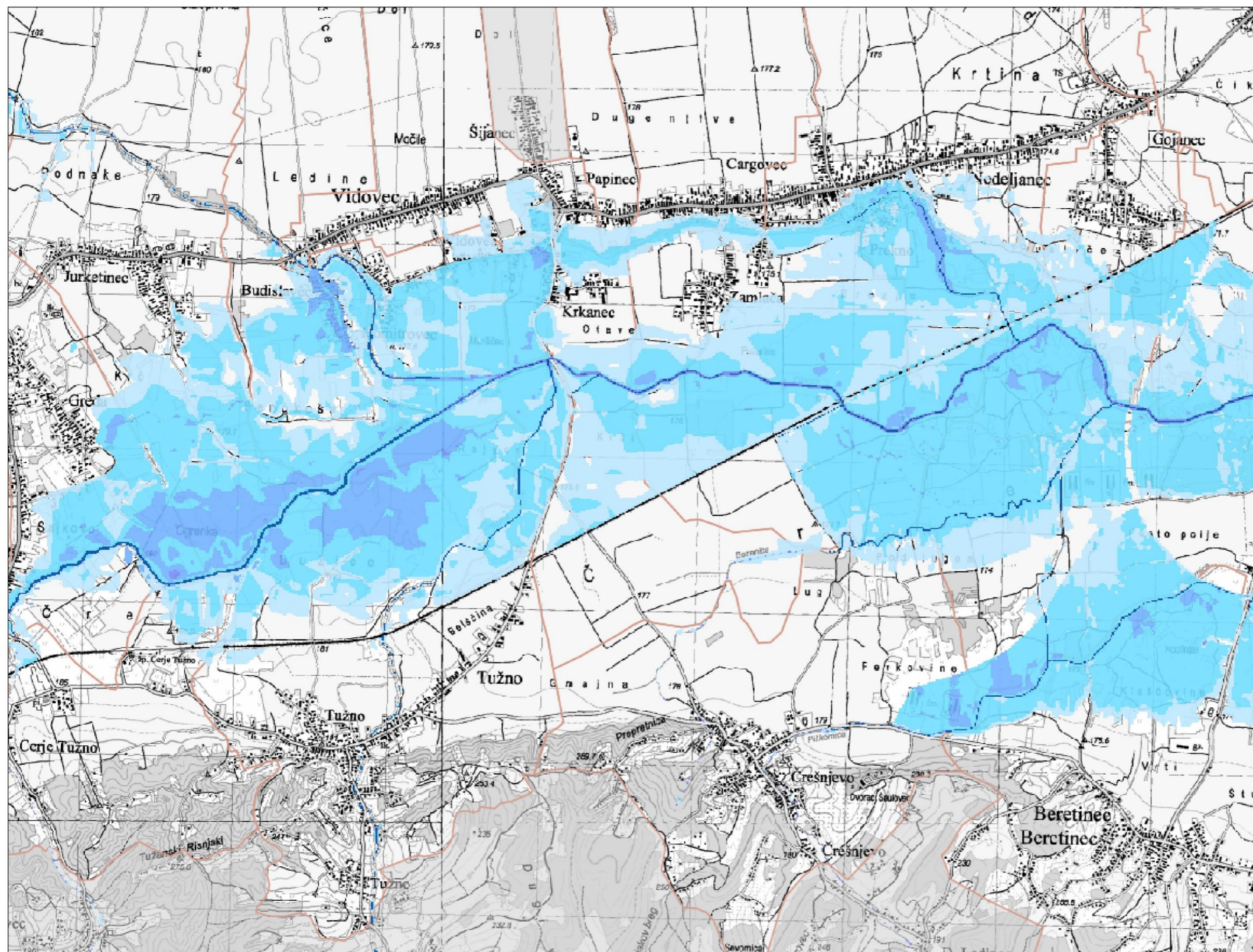
granica vodnih područja

Topografska karta 1:25.000

IZVORI PODATAKA:

Hrvatske vode
Državni hidrometeorološki zavod
Hrvatski hidrografski institut
Državna geodetska uprava

POLOŽAJ KARTE



Karte su izrađene u okviru Plana upravljanja rizicima od poplava sukladno odredbama članka 124., 125. i 126. Zakona o vodama (Narodne novine, broj 66/19), i to za tri scenarija plavljenja određena Direktivom 2007/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2007. o procjeni i upravljanju rizicima od poplava, i nisu prilagođene drugim namjenama. Treba voditi računa da na kartama nisu prikazani svi mogući scenariji plavljenja. Korisnik podataka prihvaća sve rizike koji nastaju njegovim korištenjem te prihvaća koristiti podatke isključivo na vlastitu odgovornost.

0 200 400 600 800 1000m

kartografska projekcija-HTRS96 TM

Datum izrade: Prosinac, 2019



Izdavač
HRVATSKE VODE
pravna osoba za upravljanje vodama

KARTA OPASNOSTI OD POPLAVA

ZA VELIKU VJEROJATNOST POJAVLJIVANJA

PLAN UPRAVLJANJA VODNIM
PODRUČJIMA 2022.- 2027.

TUMAČ OZNAKA

Dubina vode (m)

- > 2,5 m
- 1,5 - 2,5 m
- 0,5 - 1,5 m
- < 0,5 m

vodena površina

nasip

PODRUČJA S POTENCIJALNO ZNAČAJNIM
RIZICIMA OD POPLAVA:

granica PPZRP

područje izvan PPZRP

OSTALI PODACI:

državna granica

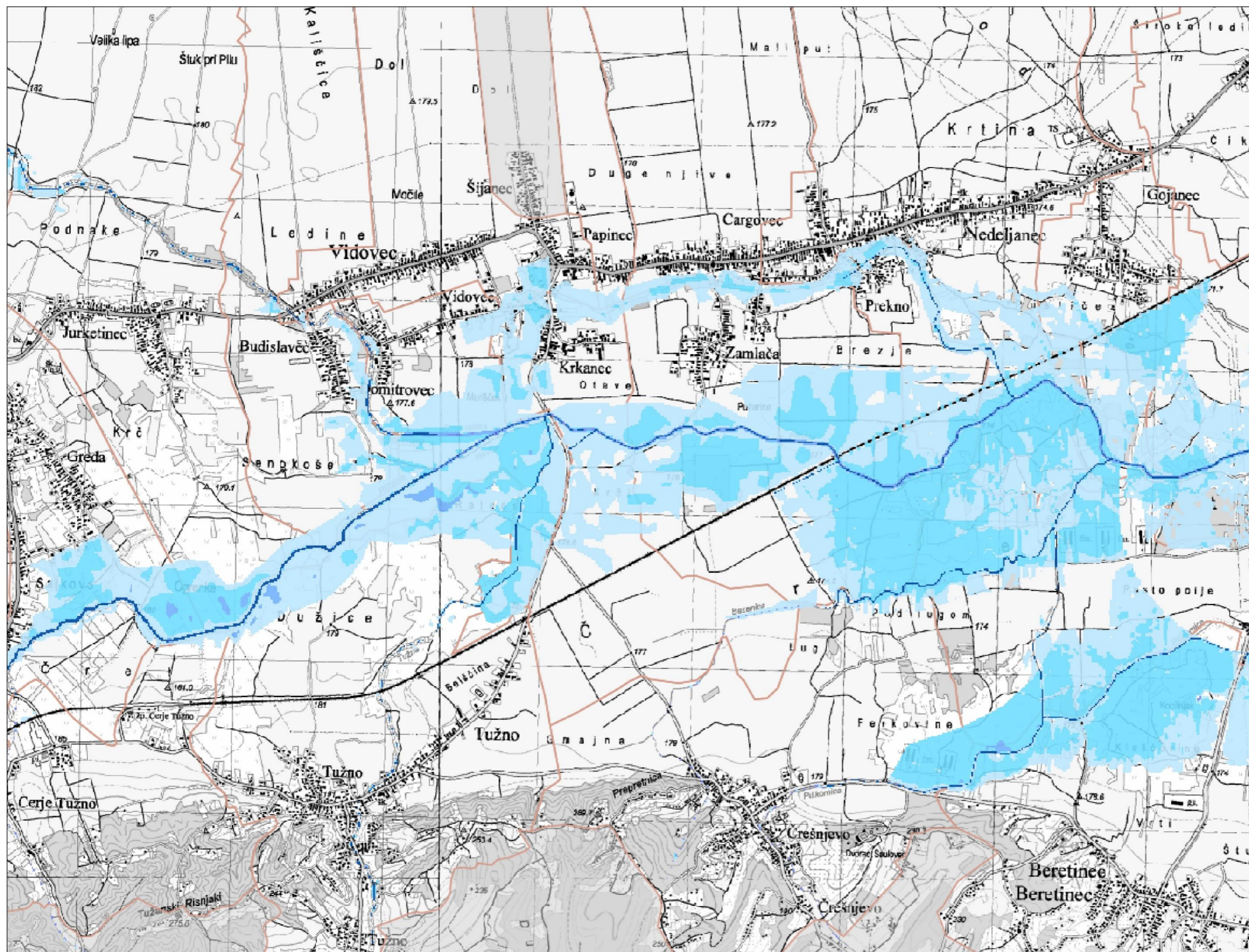
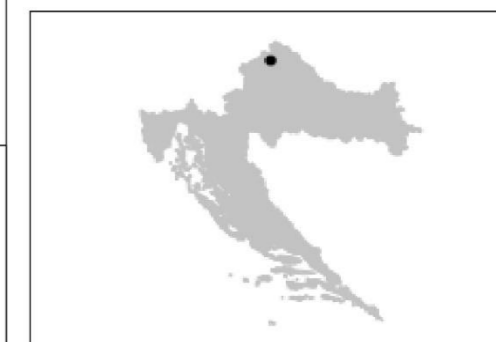
granica vodnih područja

Topografska karta 1:25.000

IZVORI PODATAKA:

Hrvatske vode
Državni hidrometeorološki zavod
Hrvatski hidrografski institut
Državna geodetska uprava

POLOŽAJ KARTE



P5

***PRIKAZ TRENUTNOG STANJA
VODOTOKA RIJEKE PLITVICE***

(ORTOFOTO KARTA)



0 100m

geoportal.dgu.hr

Ispisano 28.08.2024.

NAPOMENA: NIJE JAVNA ISPRAVA

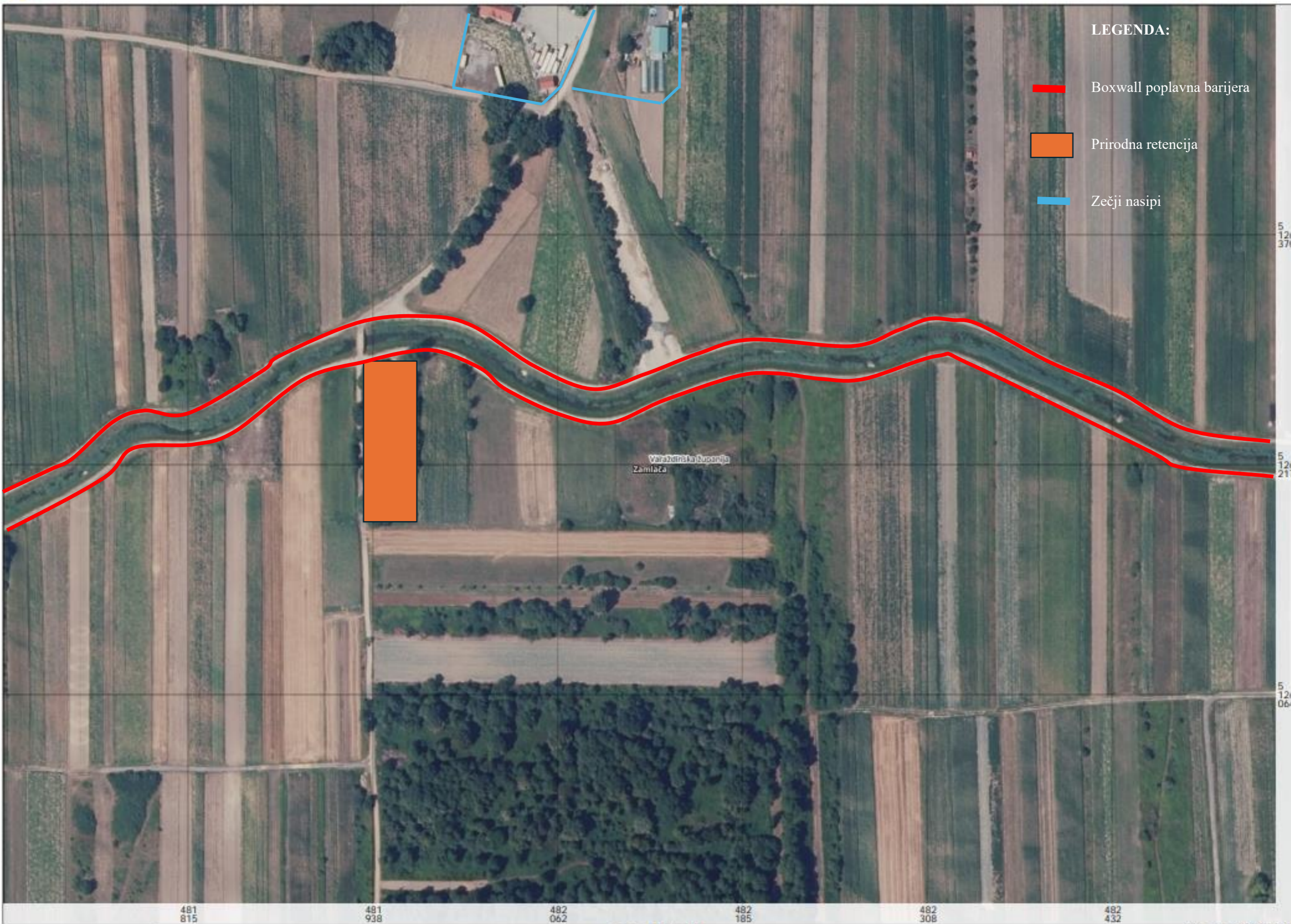




P6

***PRIKAZ POLOŽAJA ZEČJIH NASIPA,
BOXWALL PREGRADA I PRIRODNE
RETENCIJE***

(ORTOFOTO KARTA)



0 100m

Ispisano 28.08.2024.

NAPOMENA: NIJE JAVNA ISPRAVA