

Analiza protoka rijeke Bednje s obzirom na branu kod vodočuvarnice Kućan Ludbreški

Lajtman, Karlo

Undergraduate thesis / Završni 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:122:536911>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI



**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 455/GR/2023

**Analiza protoka rijeke Bednje s obzirom na branu kod
vodočuvarnice Kućan Ludbreški**

Karlo Lajtman, 0082058592

Varaždin, srpanj 2023. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za Graditeljstvo

Završni rad br. 455/GR/2023

Analiza protoka rijeke Bednje s obzirom na branu kod vodočuvarnice Kućan Ludbreški

Student

Karlo Lajtman, 0082058592

Mentor

Izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin

Varaždin, srpanj 2023. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Karlo Lajtman

JMBAG 0082058592

DATUM 20.06.2023.

KOLEGIJ Hidrogradnje

NASLOV RADA Analiza protoka rijeke Bednje s obzirom na branu kod vodočuvarnice Kućan Ludbreški

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Analysis of the Bednja River flow concerning the dam at the water monitoring facility at Kucan Ludbreski

MENTOR dr.sc. Bojan Đurin

ZVANJE Izvanredni profesor

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. prof.dr.sc. Ivanka Netinger Grubeša
2. izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin
3. doc.dr.sc. Anđelko Crnoja
4. doc.dr.sc. Željko Kos
- 5.

Zadatak završnog rada

BROJ 455/GR/2023

OPIS

U radu će se analizirati utjecaj brane kod vodočuvarnice Kućan Ludbreški s obzirom na protok rijeke Bednje u blizini Ludbrega. Rijeka Bednja je bujični vodotok i sklona je naglim promjenama vodostaja, odnosno protoka. Hidrotehničke građevine, a naročito pregrade i brane, imaju značajan utjecaj na hidrološki režim vodotoka. Pri tome je potrebno uzeti u obzir vodna tijela koja se nalaze na užem i širem analiziranom području. Također, klimatske promjene imaju utjecaj na vodni režim rijeke Bednje. Okvirni sadržaj rada sastojati će se od uvodnog poglavlja, teoretske podloge o rijekama i branama, opisa hidrološkog režima rijeke Bednje na promatranoj lokaciji, utjecaja brane Kućan Ludbreški na rijeku Bednju i vodna tijela te zaključka, odnosno smjernica za održivo gospodarenje rijekom Bednjom s obzirom na promatranu branu.

ZADATAK URUČEN 20.06.2023.



Handwritten signature of the mentor.

Sveučilište Sjever



SVEUČILIŠTE
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU

Završni 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, Karlo Lajtman pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom Analiza protoka rijeke Bednje s obzirom na branu kod vodočuvarnice Kućan Ludbreški te da u navedenom radu nisu na nedozvoljen način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:
Karlo Lajtman

(vlastoručni potpis)

Sukladno čl. 83. Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sustavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Sukladno čl. 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 znanstvena i umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

Sažetak

U ovome radu je analiziran utjecaj brane kod vodočuvarnice Kućan Ludbreški na protok rijeke Bednje u blizini Ludbrega. Na osnovu teoretske podloge o rijekama i branama , napravljena je analiza rijeke Bednje i brane u Kućanu Ludbreškom. Na temelju podataka sa hidroloških stanica koje se nalaze na rijeci Bednji, napravljeni su hidrogrami i srednji godišnji vodostaji iz kojih proizlazi da je rijeka Bednja bujični vodotok i da je sklona naglim promjenama vodostaja, odnosno protoka. Izlaskom na teren izvidjelo se stanje na promatranoj lokaciji te se na temelju toga napravila analiza svih vodnih tijela koja se nalaze između brane i hidrološke stanice Ludbreg, koja je uzeta kao mjerodavna stanica za analizu protoka kod brane. Na temelju svih podataka i planiranih mini hidroelektrana na rijeci Bednji donijeti su zaključci, odnosno smjernice za daljnjim održivim gospodarenjem rijeke Bednje u odnosu na promatranu branu.

KLJUČNE RIJEČI: rijeka Bednja, brana, hidrološka stanica, hidrogrami, vodostaj, protok, vodna tijela, mini hidroelektrana.

Summary

This paper analyzed the dam's impact near the Kucan Ludbreski water monitoring facility on the flow of the Bednja River near Ludbreg. Based on the theoretical background of rivers and dams, an analysis of the Bednja River and the dam in Kucan Ludbreski was made. Based on the data from the hydrological stations located on the Bednja River, hydrographs and mean annual water levels were created, from which follows that the Bednja River is a torrential watercourse and that it is prone to sudden changes in its water level, that is in its flow. The situation at the location was observed by going out into the field. Based on that, an analysis of all the water bodies located between the dam and the Ludbreg hydrological station, which was taken as the main station, was made. Based on all the data and all the planned mini hydroelectric power plants on the river Bednja, conclusions were made, that is, guidelines for further sustainable management of the Bednja River in relation to the observed dam.

KEYWORDS: Bednja river, dam, hydrological station, hydrographs, water level, flow, water bodies, mini hydroelectric power plant

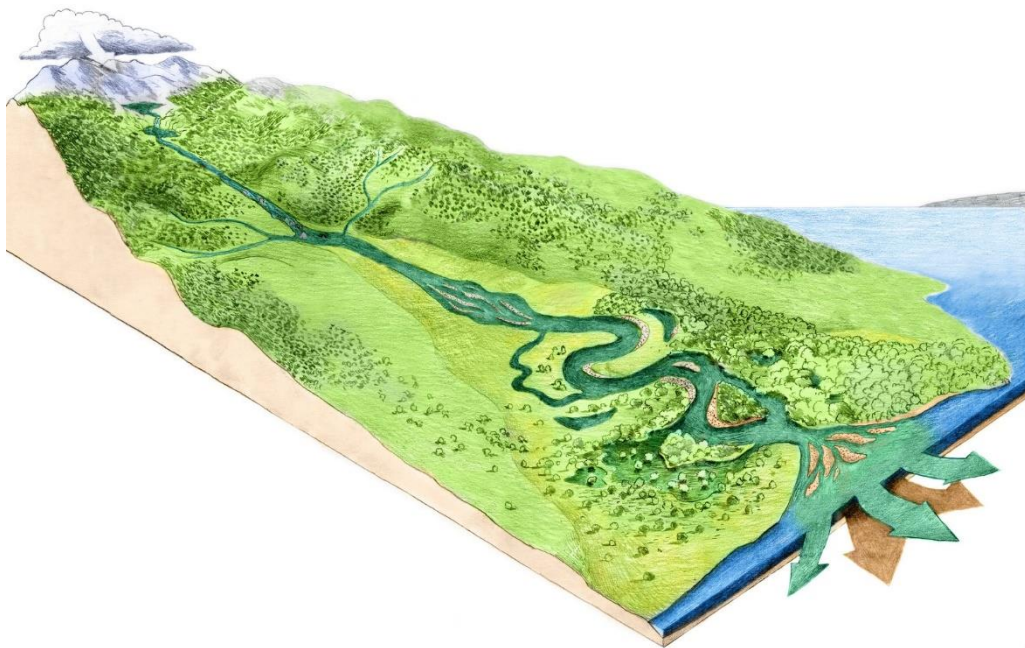
Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Rijeka Bednja	3
3.	Hidrološke karakteristike rijeke Bednje.....	6
3.1.	Hidrološka stanica Lepoglava	6
3.2.	Hidrološka stanica Željeznica	9
3.3.	Hidrološka stanica Ključ	12
3.4.	Hidrološka stanica Tuhovec	15
3.5.	Hidrološka stanica Ludbreg.....	18
4.	Brana u Kućanu Ludbreškom	21
5.	Analiza utjecaja brane na vodni sustav rijeke Bednje.....	24
5.1.	Vodna tijela.....	24
5.2.	Prirodni i antropogeni utjecaj brane na vodna tijela	26
6.	Zaključak	54
7.	Literatura	55
8.	Popis slika	56
9.	Popis tablica	58
10.	Popis dijagrama.....	59

1. Uvod

Rijeke su slatkovodni površinski tokovi. Tečenje se odvija pod utjecajem gravitacije, odnosno sile teže, od viših dijelova reljefa prema nižim dijelovima. Najčešće rijeke imaju svoj početak u jednoj glavnoj točki, odnosno izvoru ili vrelu, ali mogu nastati spajanjem više izvora ili pritoka, a završetak im je u drugoj rijeci ili moru. Također postoje rijeke koje nisu stalne, odnosno koje presuše u suhim mjesecima. Takve rijeke odnosno tokovi se nazivaju intermitentni tokovi.

Tokovi rijeka se mogu podijeliti na tri dijela: gornji, srednji i donji tok (Slika 1.1). U gornjem toku rijeka se kreće preko brzaca ili mirnijih kamenih dijelova od izvora, često erozijom stvarajući kanjon. U srednjem toku, rijeka iz kanjona prelazi u riječnu dolinu. Dolazi do taloženja sedimenta pa nastaju šljunčani, pješčani ili muljeviti sprudovi. U donjem toku, u nizinama, rijeke gube snagu i počinju se širiti te dolazi do zamuljivanja i meandriranja kroz poplavnu nizinu.

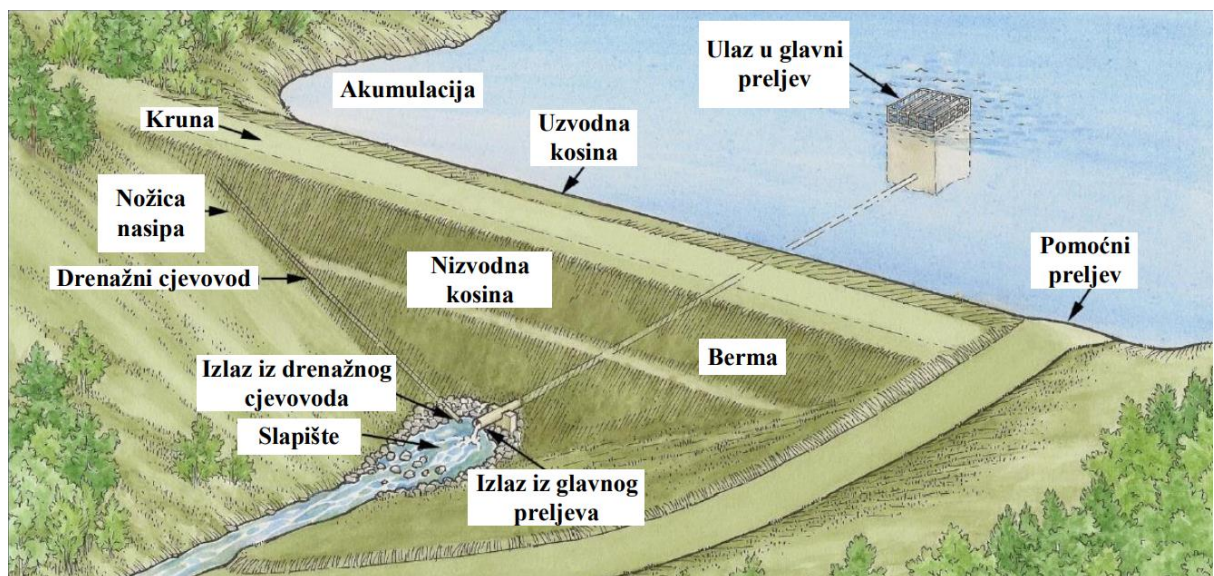


Slika 1.1 Shematski prikaz rijeke [1]

Brane su hidrotehničke građevine čija je namjena zagrađivanje prostora u svrhu iskorištavanja vodne mase. Branom se stvara akumulacijsko jezero, kojemu je namjena regulacija vodnog režima radi učinkovitije obrane od poplava i korištenja vode za vodoopskrbu, natapanje, proizvodnju električne energije, plovidbu i rekreaciju [2]. Velike

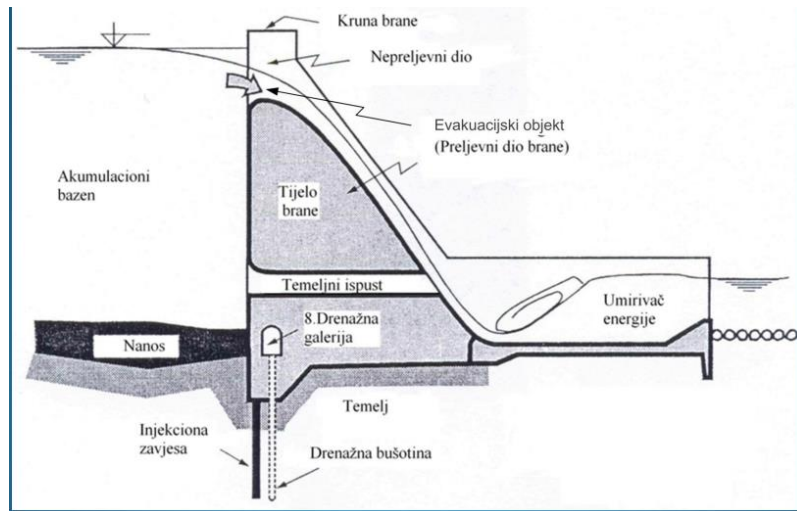
brane su sve brane kojoj je visina od najveće točke temelja do vrha brane (krune) minimalno 15 metara.

Osnovni tipovi brana su nasute i betonske brane. Nasute brane su izgrađene od prirodnih materijala često nađenih na licu mjesta. Betonske brane su izgrađene od betona. Nasute brane dijelimo na brane od zemljanih i brane od kamenih materijala. Na slici 1.2. su detaljno prokazani dijelovi nasute brane.



Slika 1.2. Prikaz dijelova nasute brane [3]

Betonske brane se dijele na gravitacijske, kontraforne, lučne i na kombinacija nabrojanih brana. Na slici 1.3. su prikazani dijelovi betonske brane. Gravitacijske brane se tlaku vode suprotstavljaju vlastitom težinom. Zbog toga one imaju veliki obujam i njihovi temelji su vrlo široki. Kontraforne brane se često grade u širokim dolinama. One se sastoje od niza uzvodnih elemenata koji su poduprti teškim stupovima, odnosno kontraforama. Time se racionalizira volumen čitave brane i zbog toga je to najčešće korišten oblik betonske brane. Lučne brane su građene od uzvodno zakrivljenih elemenata, odnosno lukova, tako da se opterećenje prenosi na bočne strane i na dno doline kojom teče vodotok.

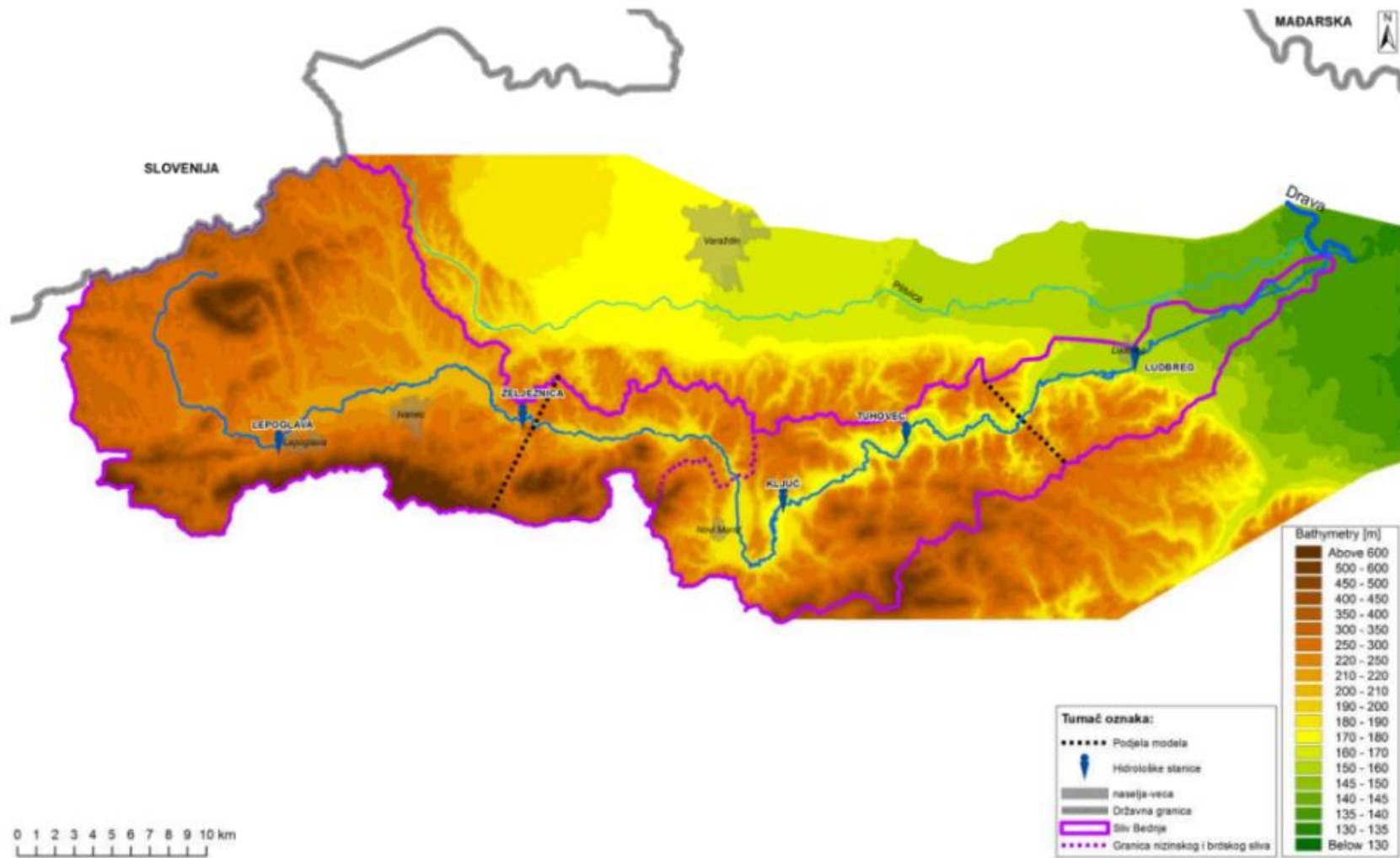


Slika 1.3. Prikaz dijelova betonske brane [3]

U ovom završnom radu će se analizirati primjer rijeke Bednje i brane koja se nalazi na ulazu u Ludbreg, odnosno kod vodočuvarnice u Kućanu Ludbreškom. Svrha rada je dobivanje uvida o utjecaju brane na protok rijeke Bednje, te o potrebnim zahvatima u slučaju otkrivanja potrebe i njihovom utjecaju na okoliš.

2. Rijeka Bednja

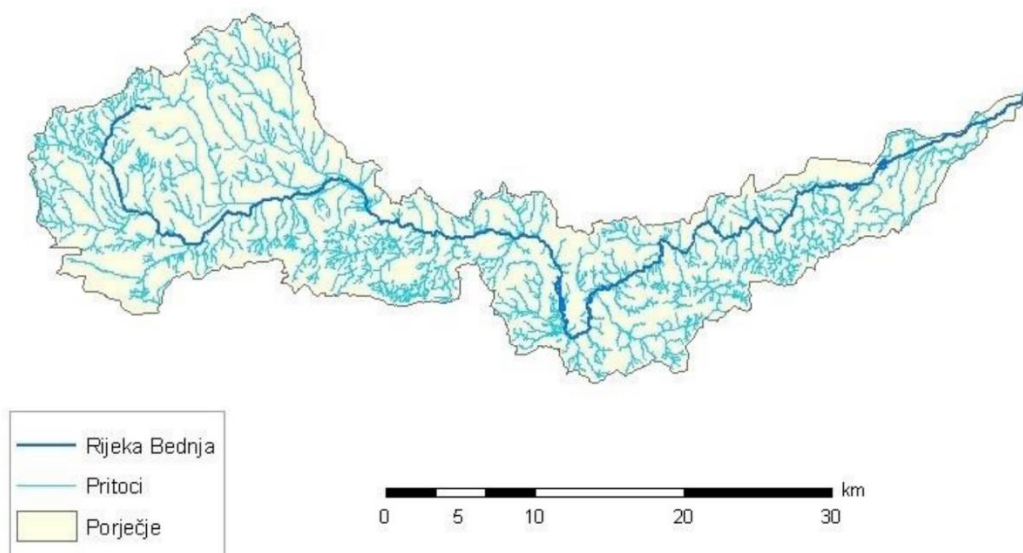
Rijeka Bednja je najduža rijeka koja cijelim svojim tokom ima izvor i ušće u Hrvatskoj. Izvire u mjestu Bednjica u Maceljskom gorju na 311 m.n.v. u Hrvatskom Zagorju, a ušće u Dravu se nalazi kod mjesta Malog Bukovca na 136 m.n.v.. Ona spada u desni pritok rijeke Drave, koja zajedno sa njom spada u Crnomorski slijev. Dužina toka rijeke Bednje iznosi 106 km. Apsolutni pad toka rijeke Bednje iznosi 175 m, a relativni pad toka 1,6 m/km. Teče kroz naselja: Bednja, Lepoglava, Ivanec, Novi Marof, Varaždinske Toplice i Ludbreg. Širina rijeke se kreće između 10 i 20 metara, a dubina do 3 metra. Na slici 2.1. prikazan je tok rijeke Bednje od izvora pa do ušća zajedno sa pripadajućim slivom.



Slika 2.1. Tok rijeke Bednje i pripadajući sliv [4]

Površina sliva Bednje iznosi oko 616 km². On se može podijeliti na dva dijela: brdski i nizinski dio. Brdski dio je dug oko 51 km i obuhvaća područje duž korita uzvodno od naselja Presečno. On čini oko 70% površine sliva, odnosno oko 477 km² i sadrži 48 bujičnih slivova s duljinom vodotoka od oko 250 km. Nizinski dio sliva je dug oko 55 km i proteže se od naselja Presečno pa do ušća u rijeku Dravu. Površina nizinskog dijela iznosi oko 139 km², odnosno 30% površine sliva. Lijevu stranu porječja zauzima oko 43% površine, tj. oko 264 km², a desna strana 57%, odnosno oko 352 km²[5].

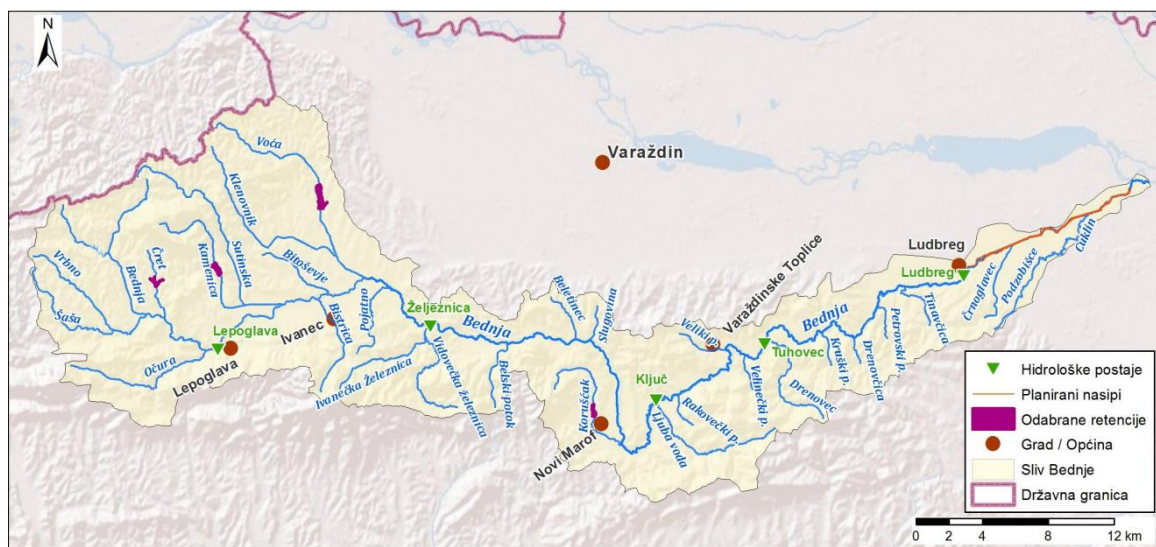
Hidrografsku mrežu rijeke Bednje čini sama rijeka zajedno sa svojim pritocima. Sama riječna mreža je dobro razvijena. Pritoci su brojniji u brdskom u odnosu na nizinski dio sliva. Neki od značajnijih pritoka rijeke Bednje su: Očura, Vukovec, Bistrica, Rakovec, Čret, Kamenica i Sutinska [5]. Na slici 2.2. prikazana je hidrografska mreža rijeke Bednje.



Slika 2.2. Hidrografska mreža rijeke Bednje [5]

Dvije glavne karakteristike vodnog režima Bednje su nepovoljni uvjeti otjecanja i vrlo nepovoljan oblik slivnog područja koje je u brdskom dijelu lepezasto prošireno. Zbog toga dolazi do formiranja velikih vodnih valova koji prouzrokuju razaranje korita i vrlo učestale poplave kojima su posebno izložena nizinska područja. Također Bednja ima peripanonski kišno – snježni režim protoka koji svoj maksimum ima u proljeće i sekundarni maksimum u kasnu jesen[5].

Na slivu rijeke Bednje postoji 5 aktivnih mjernih hidroloških postaja. To su redom od izvora prema ušću: Lepoglava, Željeznica, Ključ, Tuhovec i Ludbreg (Slika 2.3.).



Slika 2.3. Prostorni prikaz hidroloških stanica i glavnih pritoka [5]

3. Hidrološke karakteristike rijeke Bednje

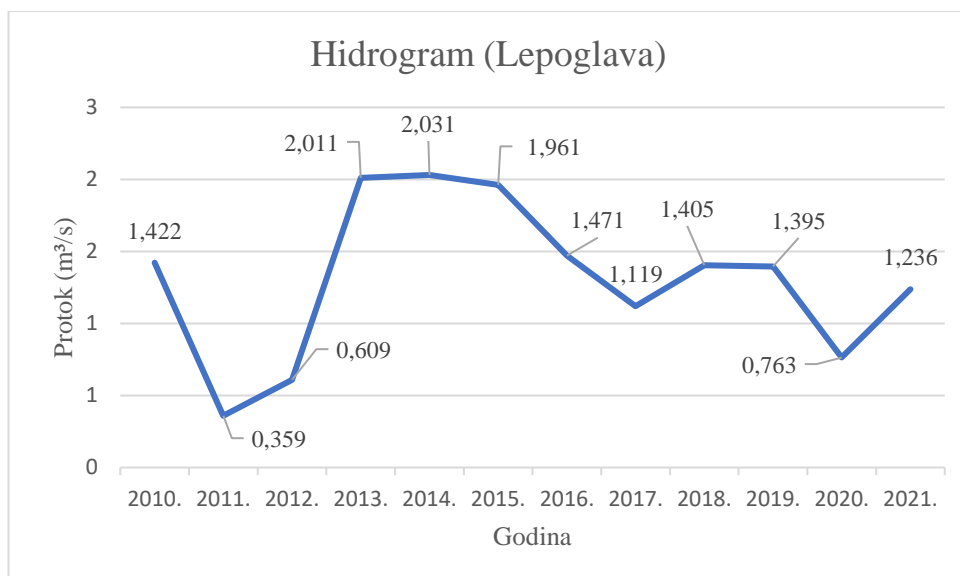
U nastavku rada će se obraditi svih pet hidroloških stanica na rijeci Bednji. Za svaku stanicu bit će prikazani pripadajući poprečni presjeci i srednji godišnji protoci i vodostaji za razdoblje od 2010. do 2021. godine.

3.1. Hidrološka stanica Lepoglava

Vodomjerna stanica Lepoglava je prva hidrološka stanica od izvora rijeke Bednje. Nalazi se 10 metara uzvodno od mosta, na desnoj strani obale. Početak rada stanice je 01.01.1986.. 2005. godine tamo je postavljen limnigraf.



Slika 3.1.1. Vodomjerna stanica Lepoglava [6]



Dijagram 1. Hidrogram (prikaz srednjih godišnjih protoka) hidrološke stanice Lepoglava za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Mjerenja vodostaja se vrše od 1987. godine sve do danas. Minimalni vodostaj je izmjeren 04.08.1986. te je iznosio 13 cm, a maksimum je izmjeren 05.11.1998. i iznosio je 395 cm. Srednji vodostaj iznosi 38 cm (2010. – 2021.). Kota nule vodokaza se nalazi na 219,310 metara nadmorske visine. Na temelju podataka o vodostaju dostupnih na stranicama Državnog hidrometeorološkog zavoda, napravljen je tablični prikaz srednjih godišnjih vodostaja za vremensko razdoblje od 2010. do 2021. godine (Tablica 2).

Tablica 2. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Lepoglava za razdoblje od 2011.do 2021. godine

God/mj	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.
H _{sred}	47	32	39	47	49	38	35	34	36	37	26	32

Na temelju tablice 2. napravljen je dijagram 2. koji prikazuje razine srednjih godišnjih vodostaja u razdoblju od 2010. do 2021. godine.



Dijagram 2. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Lepoglava za razdoblje od 2010. do 2021. godine

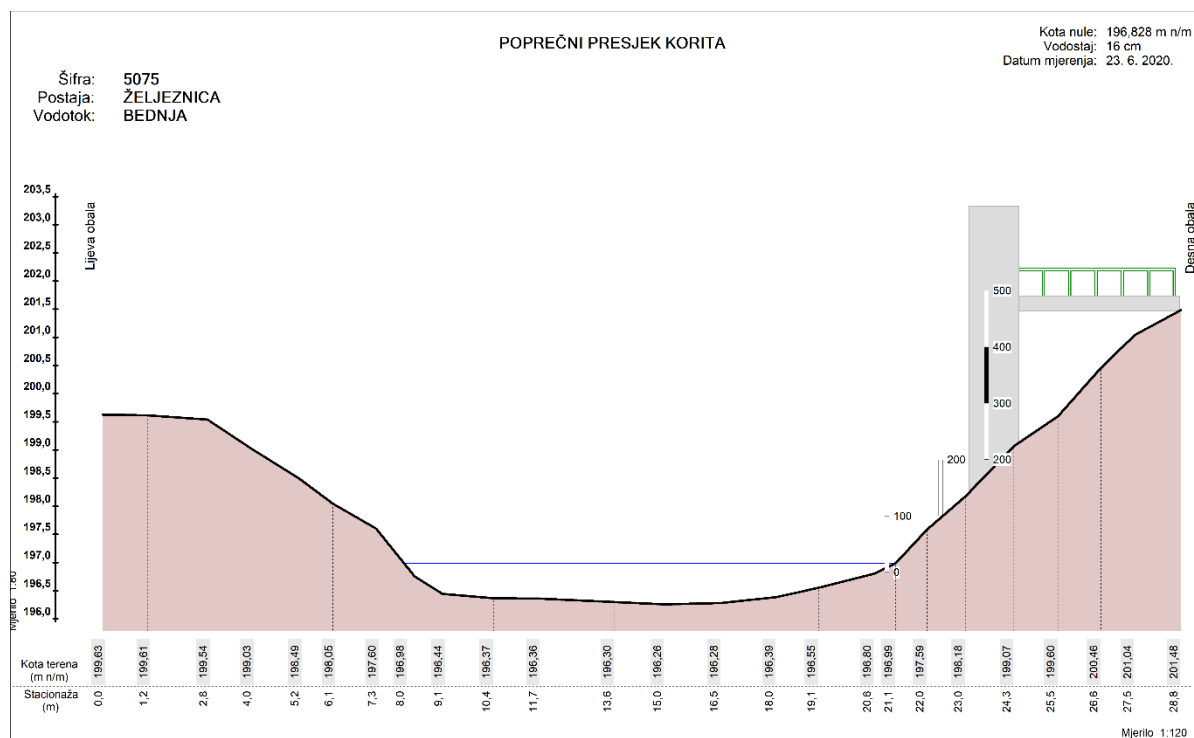
3.2. Hidrološka stanica Željeznica

Sljedeća hidrološka stanica je Željeznica. Ona se nalazi nizvodno od ušća potoka Željeznice u Bednju. Početak rada je 15.06.1958.. Dvije godine kasnije je postavljen limnigraf, koji je 1997. unaprijeđen u elektronski limnigraf. Od 2006. pa do danas, dojava vodostaja se vrši daljinskim putem.



Slika 3.2.1. Vodomjerna stanica Željeznica [6]

Zadnje mjerenje poprečnog presjeka korita je obavljeno 2020. godine (Slika 3.2.2.).



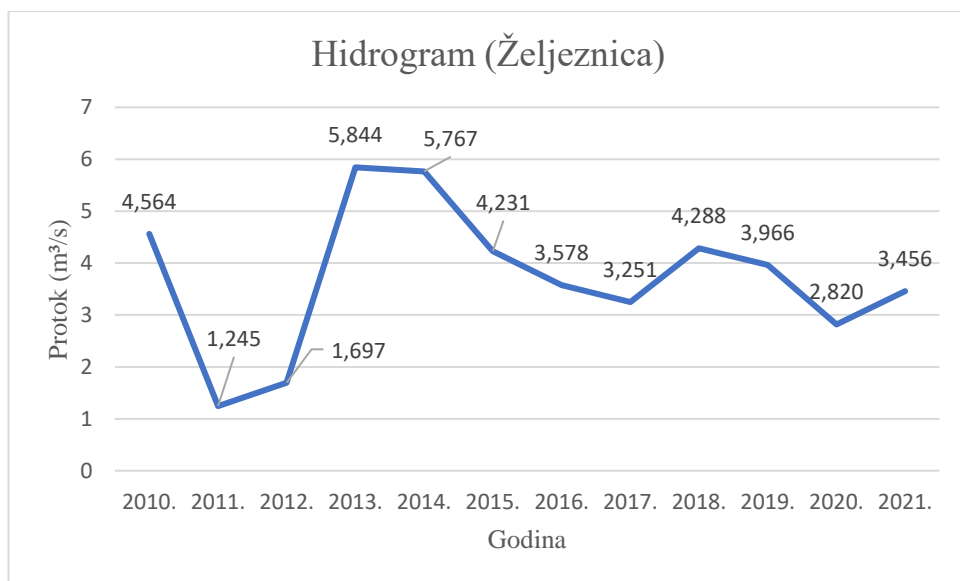
Slika 3.2.2. Poprečni presjek korita hidrološke stanice Željeznica [6]

Protok se mjeri od 1959. godine. Minimalni protok izmjeren je 03.02.1998. i iznosio je $0,134 \text{ m}^3/\text{s}$. Maksimalni protok je izmjeren 20.09.2017. i iznosio je $132,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Srednji protok iznosi $3,725 \text{ m}^3/\text{s}$ (2010. – 2021.). Prema podacima dostupnih sa Državnog hidrometeorološkog zavoda, napravljena je tablica 3. u kojoj su prokazani srednji godišnji protoci za razdoblje od 2010. do 2021. godine.

Tablica 3. Srednji godišnji protoci hidrološke stanice Željeznica za razdoblje od 2010. do 2021. godine

God	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.
Q_{sred}	4,564	1,245	1,697	5,844	5,767	4,231	3,578	3,251	4,288	3,966	2,820	3,456

Na temelju tablice 3. napravljen je hidrogram (Dijagram 3) za hidrološku stanicu Željeznica, koji prikazuje srednje godišnje protoke u razdoblju od 2010. do 2021. godine.



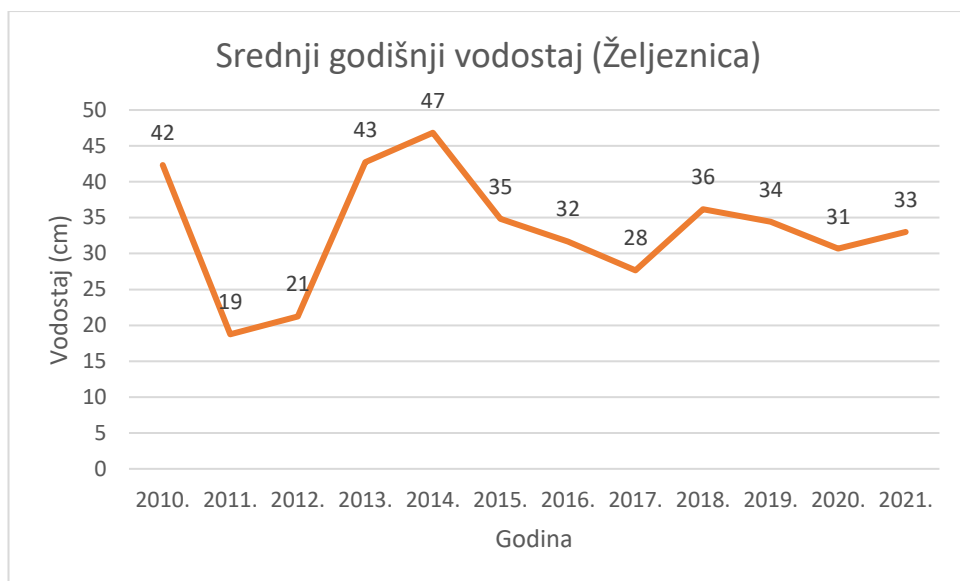
Dijagram 3. Hidrogram (prikaz srednjih godišnjih protoka) hidrološke stanice Željeznica za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Vodostaj se mjeri 1959. godine. Minimum je izmjeren 30.09.2012. i iznosio je 6 cm, a maksimum 14.07.1972. i iznosio je 386 cm. Srednji vodostaj iznosi 33 cm (2010. – 2021.). Kota nule vodokaza se nalazi na 196,828 metara nadmorske visine. Na temelju podataka dostupnih na stranicama DHMZ-a, napravljena je tablica srednjih godišnjih vodostaja za stanicu Željeznica (Tablica 4).

Tablica 4. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Željeznica za razdoblje od 2011.do 2021. godine

God	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.
H _{sred}	42	19	21	43	47	35	32	28	36	34	31	33

Na osnovi tablice 4, napravljen je dijagram središnjih godišnjih vodostaja za hidrološku stanicu Željeznica (Dijagram 4).



Dijagram 4. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Željeznica za razdoblje od 2010. do 2021. godine

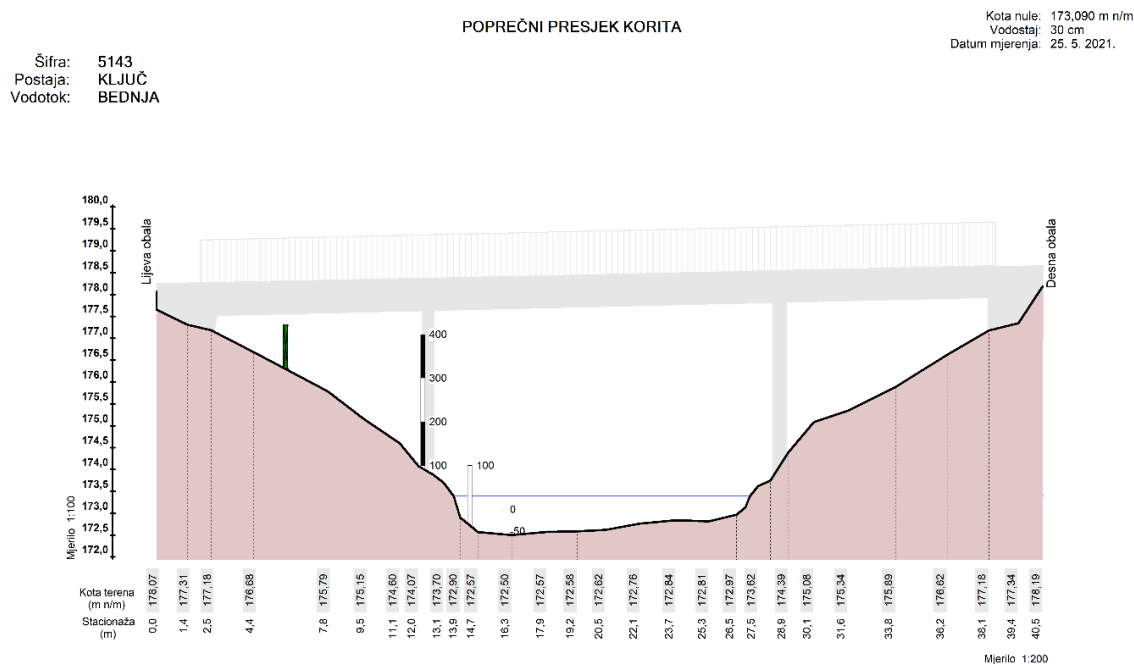
3.3. Hidrološka stanica Ključ

Hidrološka stanica Ključ se nalazi na mostu kod Orehovca, na desnoj obali rijeke Bednje. Početak rada stanice je 10.01.1986., a 2002. je postavljen elektronski limnigraf. 2003. godine dolazi do prekida mjerenja zbog produbljenja korita u sklopu njegove regulacije.



Slika 3.3.1. Vodomjerna stanica Ključ [6]

Zadnje mjerenje poprečnog presjeka korita je obavljeno 2020. godine (Slika 3.3.2.).



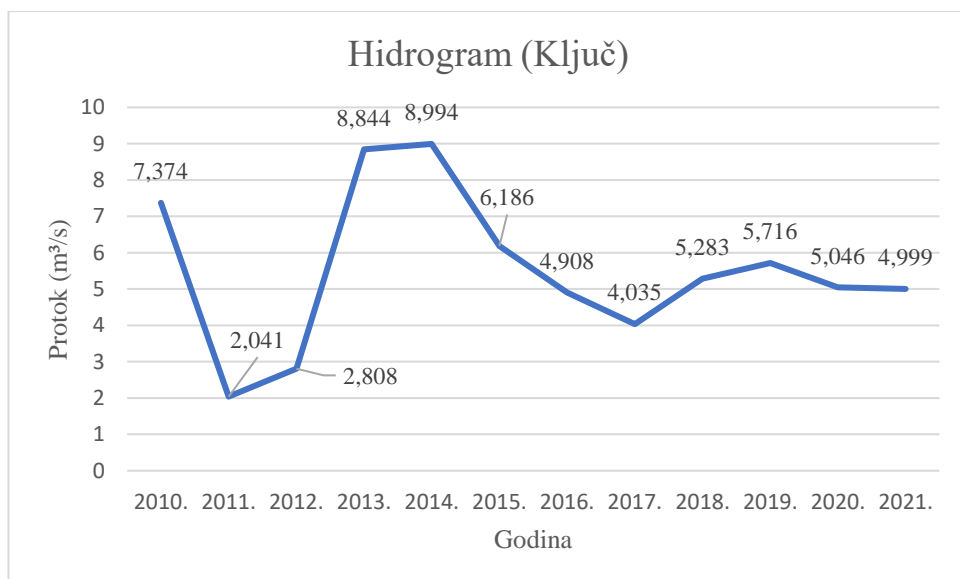
Slika 3.3.2. Poprečni presjek korita hidrološke stanice Ključ [6]

Mjerenja protoka se vrše od 1987. do danas. Minimum je izmjeren 27.05.1993. i iznosio je $0,276 \text{ m}^3/\text{s}$. Maksimum je izmjeren 05.12.1997. i iznosio je $104,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Srednji protok iznosi $5,520 \text{ m}^3/\text{s}$ (2010. – 2021.). Prema podacima dostupnih na stranicama DHMZ-a, napravljena je tablica središnjih godišnjih protoka za razdoblje od 2010. do 2021. godine (Tablica 5.).

Tablica 5. Srednji godišnji protoci hidrološke stanice Ključ za razdoblje od 2010. do 2021. godine

God	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.
Q_{sred}	7,374	2,041	2,808	8,844	8,994	6,186	4,908	4,035	5,283	5,716	5,046	4,999

Na temelju tablice 5. napravljen je hidrogram (Dijagram 5.) srednjih godišnjih protoka hidrološke stanice Ključ za razdoblje od 2010. do 2021. godine.



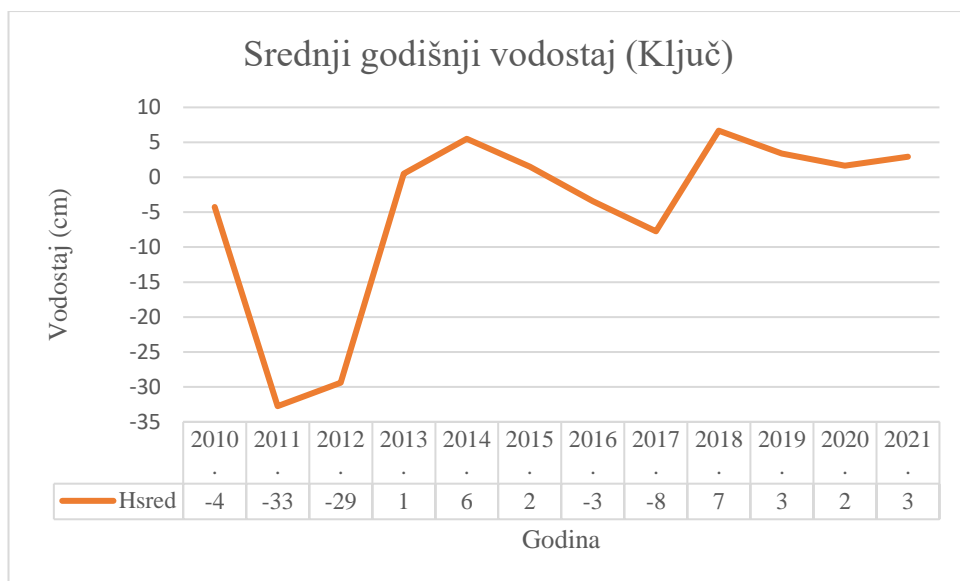
Dijagram 5. Hidrogram (prikaz srednjih godišnjih protoka) hidrološke stanice Ključ za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Mjerenje vodostaja se provodi od 1986. godine. Minimalni vodotok je izmjeren 01.08.2004. i iznosio je -48 cm. Maksimalni vodotok je izmjeren 05.12.1997. i iznosio je 545 cm. Srednji vodotok iznosi -5 cm (2010. – 2021.). Kota nula vodokaza se nalazi na 173,090 metara nadmorske visine. Prema podacima DHMZ-a, napravljena je tablica srednjih godišnjih vodostaja za stanicu Ključ (Tablica 6).

Tablica 6. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Ključ za razdoblje od 2011.do 2021. godine

God	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.
H _{sred}	-4	-33	-29	1	6	2	-3	-8	7	3	2	3

Na osnovi tablice 6, napravljen je dijagram središnjih godišnjih vodostaja za hidrološku stanicu Ključ (Dijagram 6).



Dijagram 6. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Ključ za razdoblje od 2010. do 2021. godine

3.4. Hidrološka stanica Tuhovec

Hidrološka stanica Tuhovec se nalazi kod Tuhovca , s nizvodne strane mosta. Stanica počinje s radom 12.06.1957., no od 1975. do 1979. je izvan funkcije. Od 2003. na lokaciji se nalazi elektronski limnigraf.



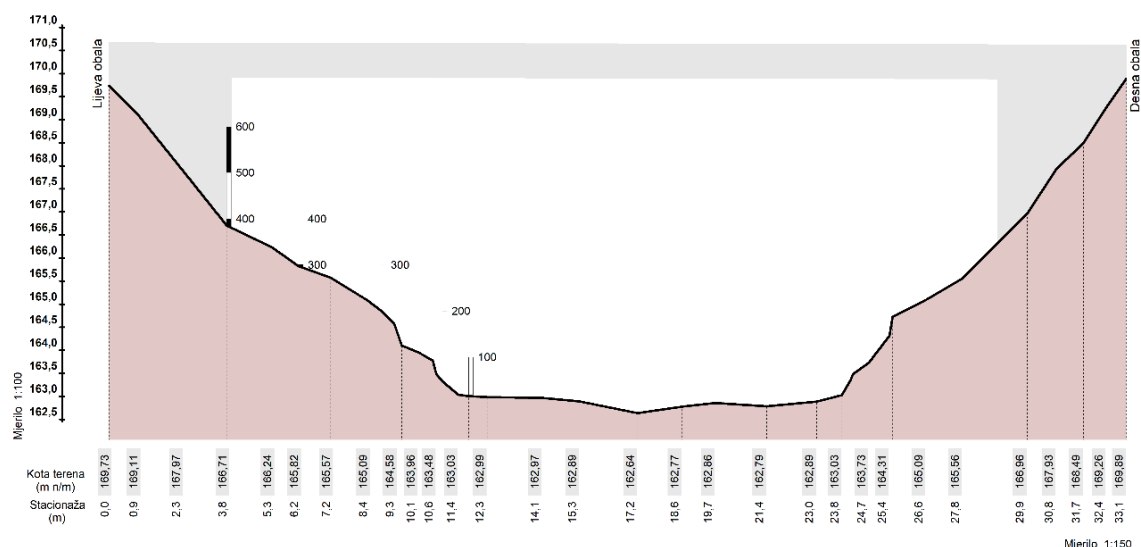
Slika 3.4.1. Vodomjerna stanica Tuhovec [6]

Zadnje mjerenje poprečnog presjeka korita je obavljeno 2020. godine (Slika 3.4.2.).

POPREČNI PRESJEK KORITA

Kota nule: 162,850 m n/m
 Vodostaj: 63 cm
 Datum mjerenja: 6. 4. 2022.

Šifra: 5065
 Postaja: TUHOVEC
 Vodotok: BEDNJA



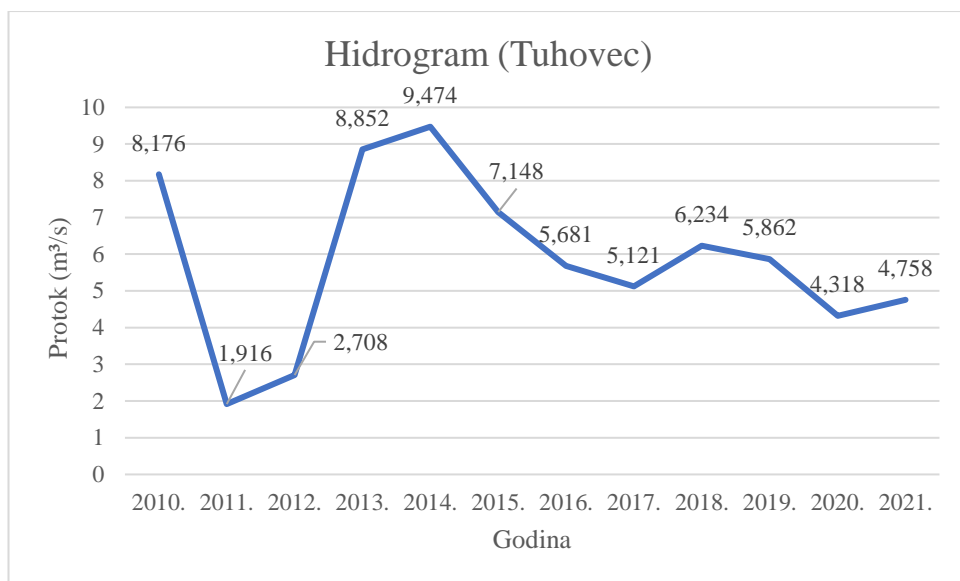
Slika 3.4.2. Poprečni presjek korita hidrološke stanice Tuhovec [6]

Mjerenje protoka se vrši od 1958. do 1975, te opet od 1979. godine do danas. Maksimalno zabilježen protok je bio 06.11.1998. i iznosio je 159,3 m³/s. Minimalni protok zabilježen je 31.08.1992.. i iznosio je 0,312 m³/s. Srednji protok iznosi 5,854 m³/s (2010. – 2021.). Prema podacima portala DHMZ-a napravljena je tablica srednjih godišnjih protoka za razdoblje od 2010. do 2021. godine(Tablica 7.).

Tablica 7. Srednji godišnji protoci hidrološke stanice Tuhovec za razdoblje od 2010. do 2021. godine

God	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.
Q _{sred}	8,176	1,916	2,708	8,852	9,474	7,148	5,681	5,121	6,234	5,862	4,318	4,758

Na temelju tablice 7. napravljen je hidrogram (Dijagram 7) za hidrološku stanicu Tuhovec, koji prikazuje srednje godišnje protoke u razdoblju od 2010. do 2021. godine.



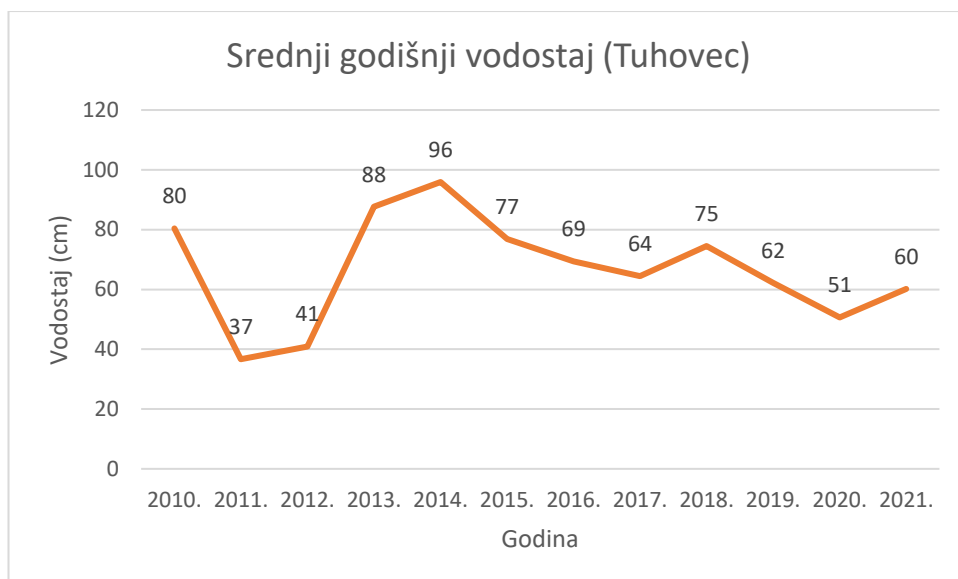
Dijagram 7. Hidrogram (prikaz srednjih godišnjih protoka) hidrološke stanice Tuhovec za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Vodostaj se mjeri od 1958. do 1975., te opet od 1979. godine. Minimalni vodostaj zabilježen je 20.08.1993. i iznosio je 20 cm, dok je maksimalni vodostaj zabilježen 19.09.2010. i iznosio je 588 cm. Srednji vodostaj iznosi 67 cm (2010. – 2021.). Kota nule vodokaza se nalazi na 162,850 metara nadmorske visine. Koristeći podatke dostupne na DHMZ-u, napravljena je tablica koja prikazuje srednje godišnje vodostaje hidrološke stanice Tuhovec u razdoblju od 2010. do 2021. godine (Tablica 8.).

Tablica 8. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Tuhovec za razdoblje od 2011. do 2021. godine

God	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.
H _{sred}	80	37	41	88	96	77	69	64	75	62	51	60

Na osnovi tablice 8, napravljen je dijagram središnjih godišnjih vodostaja za hidrološku stanicu Željeznica (Dijagram 8).



Dijagram 8. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Tuhovec za razdoblje od 2010. do 2021. godine

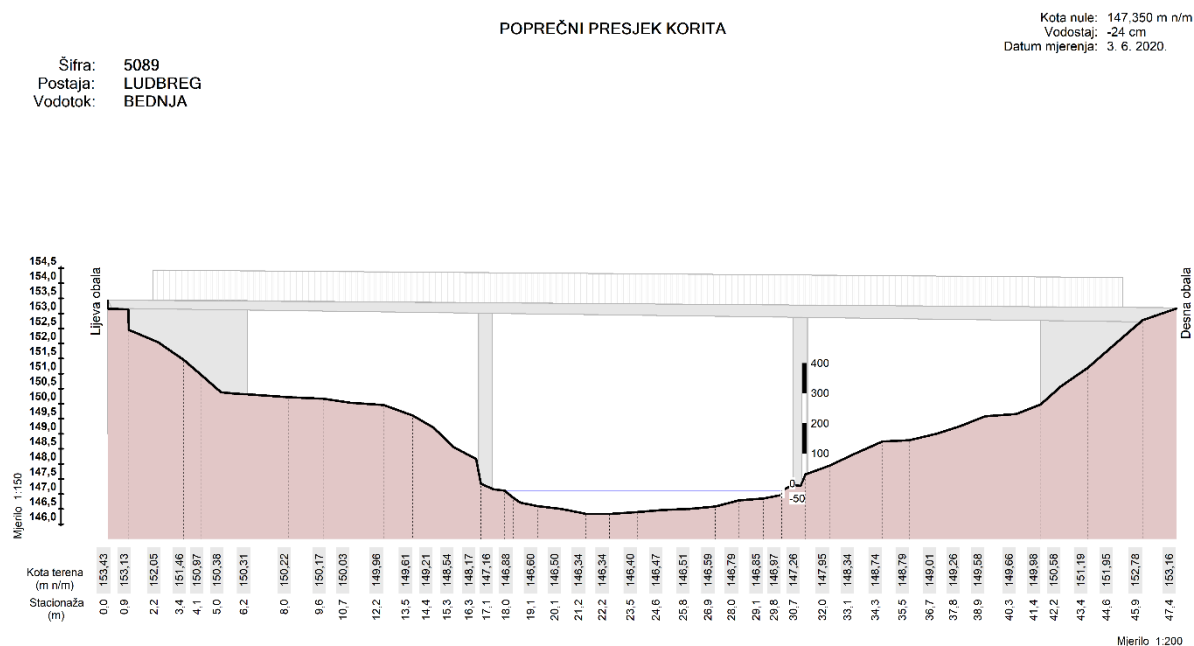
3.5. Hidrološka stanica Ludbreg

Hidrološka stanica Ludbreg nalazi se na mostu jugoistočno od centra grada. S radom počinje 01.09.1938. što je najstarija hidrološka stanica na rijeci Bednji. 1986. godine se postavlja elektronski limnigraf, a od 2006. je uspostavljena automatska dojava vodostaja.



Slika 3.5.1. Vodomjerna stanica Ludbreg [12]

Zadnje mjerenje poprečnog presjeka korita je obavljeno 2020. godine (Slika 3.5.2.).



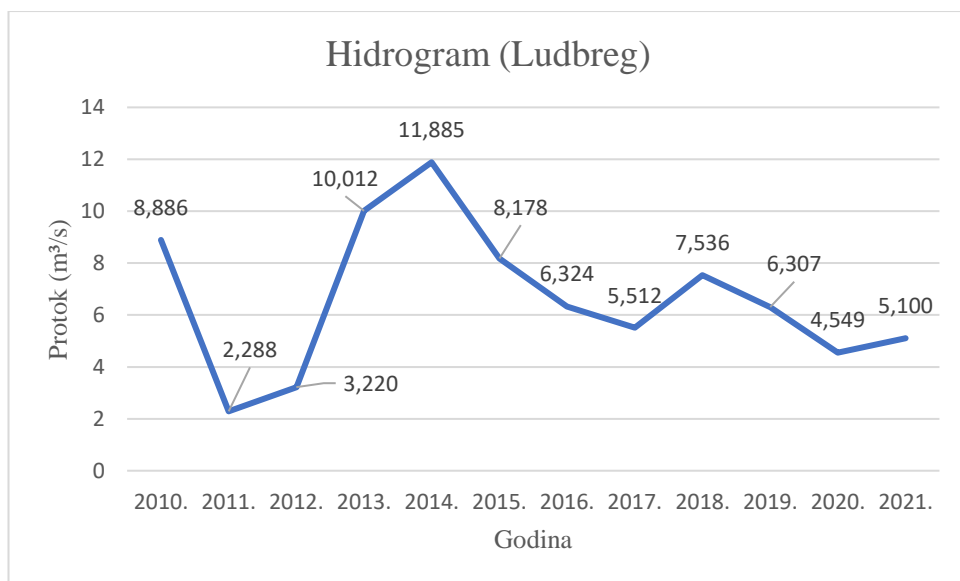
Slika 3.5.2. Poprečni presjek korita hidrološke stanice Ludbreg [6]

Bilježenje protoka se vrši od 1947. godine. Minimalni protok zabilježen je 07.09.1947. i iznosio je 0,003 m³/s, dok je maksimalni protok zabilježen 15.07.1972. i iznosio je 179,3 m³/s. Srednji protok iznosi 6,650 m³/s (2010. – 2021.). Na osnovi podataka DHMZ-a, napravljena je tablica srednjih godišnjih protoka za razdoblje od 2010. do 2021. godine (Tablica 9.).

Tablica 9. Srednji godišnji protoci hidrološke stanice Ludbreg za razdoblje od 2010. do 2021. godine

God	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.
Q _{sred}	8,886	2,288	3,220	10,012	11,885	8,178	6,324	5,512	7,536	6,307	4,549	5,100

Na temelju tablice 9. napravljen je hidrogram (Dijagram 9) za hidrološku stanicu Ludbreg, koji prikazuje srednje godišnje protoke u razdoblju od 2010. do 2021. godine.



Dijagram 9. Hidrogram (prikaz srednjih godišnjih protoka) hidrološke stanice Ludbreg za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Vodostaj se bilježi od 1938. godine do danas, uz stanku u mjerenju od 1943. do 1945. godine. Minimum je zabilježen 28.05.1993. i iznosio je -72 cm, dok je maksimum izmjeren 01.06.1939. i iznosi je 420 cm. Srednji vodostaj iznosi 2 cm (2010. – 2021.). Kota nule vodokaza se nalazi na 147,350 metara nadmorske visine. Na temelju podataka o vodostaju dostupnih na stranicama DHMZ-a, napravljen je tablični prikaz srednjih godišnjih vodostaja za vremensko razdoblje od 2010. do 2021. godine (Tablica 10).

Tablica 10. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Ludbreg za razdoblje od 2011. do 2021. godine

God	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.
H _{sred}	6	-31	-27	17	28	11	3	-1	10	4	-2	1

Na temelju tablice 10, napravljen je dijagram središnjih godišnjih vodostaja za hidrološku stanicu Ludbreg (Dijagram 10).



Dijagram 10. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Ludbreg za razdoblje od 2010. do 2021. godine

4. Brana u Kućanu Ludbreškom

U Kućanu Ludbreškom je u 20. stoljeću izgrađena takozvana „Mlinska brana“, koja se izgradila u sklopu hidroelektrane za opskrbljivanje pripadajućeg mlina električnom energijom. Već nekih 20-ak godina, s prestankom rada mlina, brana se ne koristi u svrhu osiguravanja vode i električne energije za rad mlina. Danas je brana u vlasništvu Hrvatskih voda te se koristi za zaštitu od poplava i u potpunosti je funkcionalna. Hrvatske vode njome upravljaju razinom, odnosno protokom vode rijeke Bednje. U sklopu brane je izgrađena vodočuvarnica sa centrom za obranu od poplava donjeg toka rijeke Bednje (Slika 4.1.)



Slika 4.1. Vodočuvrnica kod brane u Kućanu Ludbreškom [12]

Brana u Kućanu Ludbreškom je betonska preljevna brana koja se sastoji od 8 slapišta i dvije metalne zapornice. Svaka od tih zapornice je u širini slapišta i punoj visini brane (Slika 4.2.).



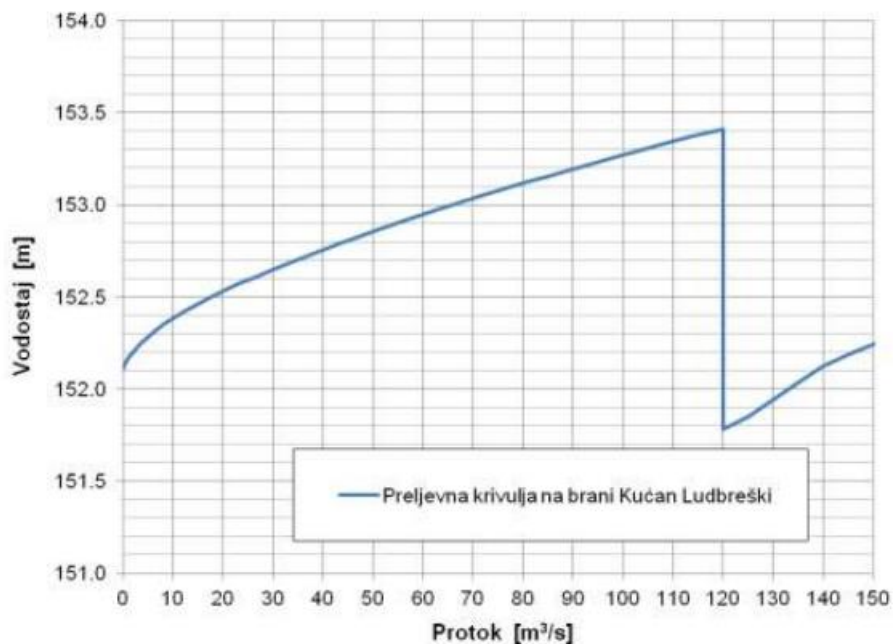
Slika 4.2. Brana u Kućanu Ludbreškom [12]

Na slici 4.3. je prikazan detalj brane na kojem se vide zapornice koje se za vrijeme visokih voda dižu, a za vrijeme niskih voda spuštaju. Njihovo dizanje, odnosno spuštanje kontrolira se na vrhu brane gdje se nalaze motori za njihovo pomicanje.



Slika 4.3. Zapornice na brani u Kućanu Ludbreškom [12]

Na temelju analiza i izrada studija zaštita od poplava, određena je granična vrijednost protoka na području brane koja iznosi $Q = 120 \text{ m}^3/\text{s}$. Kada vrijednost protoka dosegne graničnu vrijednost, tada se zapornice podižu i voda se propušta nizvodno prema rijeci Dravi. Kada vrijednost protoka padne ispod granične vrijednosti, zapornice se vraćaju na početni položaj (Slika 4.4.).



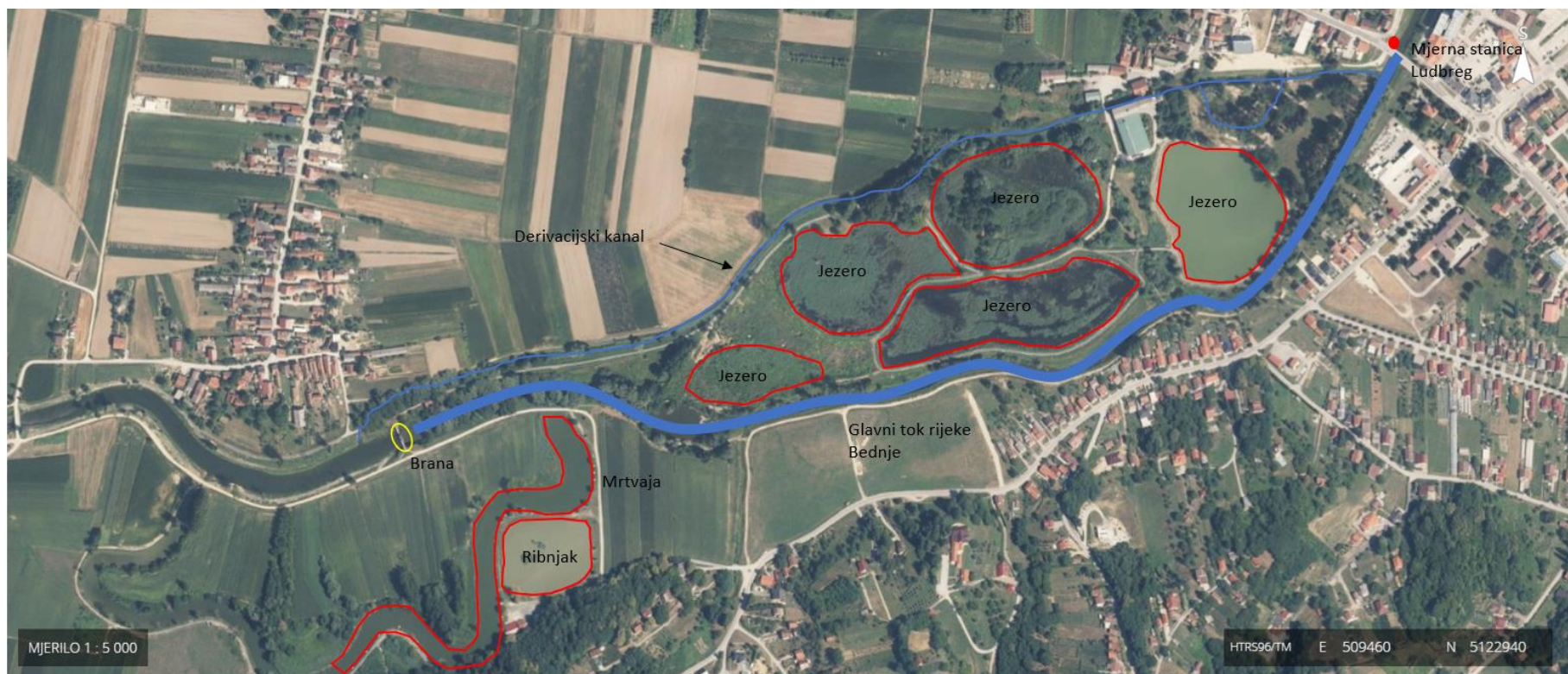
Slika 4.4. Preljevna krivulja brane Kućan Ludbreški u situaciji dizanja zapornica pri 120 m³/s [8]

5. Analiza utjecaja brane na vodni sustav rijeke Bednje

5.1. Vodna tijela

Rijeka Bednja neometano teče kroz cijeli svoj tok, tek se u Kućanu Ludbreškom nalazi prva brana na rijeci. Prilikom izgradnje brane došlo je do izmjenjivanja toka Bednje. Južno od brane na nekih dvjestotinjak metara nalazi se mrtvaja koja je nekad bila prirodni tok rijeke, te je još uvijek vidljiv prepoznatljiv oblik meandra. Uz meandar se nalazi jedan od ribnjaka koji se koristi za rekreativno pecanje i uzgoj ribe. Kako se približavamo hidrološkoj stanici Ludbreg, tako dolazimo do jezera koje se nalazi uz takozvani „Otok mladosti“. On je popularno ludbreško šetalište koje je okruženo brojnim malim šumarcima, ribnjacima, nasipima i koji su nastali zbog antropogenog djelovanja ljudi te je time došlo do stvaranja jezera.

Na orto-foto karti preuzetoj sa Geoportala Državne geodetske uprave Republike Hrvatske, označena su vodna tijela između brane i hidrološke stanice Ludbreg (Slika 5.1.1.)



Slika 5.1.1. Uža lokacija brane zajedno sa vodnim tijelima [7]

Neposredno uzvodno od brane nalazi se ulazni dio derivacijskog kanala. Taj kanal je sjeverno od prirodnog toka rijeke Bednje te dužine od oko 1530 metara, od kojih na gornji dio kanala otpada oko 1190 metara, a na donji dio otpada oko 340 metara. Širina kanala je oko 8.5 metara. Na derivacijskome kanalu se nalazi propust kojim se prihranjuju ribnjaci i jezero između toka Bednje i samog kanala. Vodotoci Bednje i derivacijskog kanala se spajaju neposredno prije hidrološke stanice Ludbreg (Slika 5.1.2.).



*Slika 5.1.2. Mjesto spajanja derivacijskog kanala i glavnog toka Bednje
(21.06.2023.)[12]*

5.2. Prirodni i antropogeni utjecaj brane na vodna tijela

Glavni tok rijeke Bednje ,od brane u Kućanu Ludbreškom do hidrološke stanice Ludbreg, teče nesmetano. Zbog brane u Kućanu Ludbreškom koja na svojem središnjem dijelu ima spuštene klapne koje se dižu samo za vrijeme ekstremnih vodostaja, dolazi do nakupljanja šljunka i pijeska te je došlo do formiranja spruda (Slika 5.2.1.).Također se uz sprud nasipalo kamenje kako bi došlo do usporavanja protoka na tom dijelu. Strujanja rijeke su jača na lijevoj i desnoj obali kako je usmjeren zbog brane. Cijeli tok rijeke prati korito koje je velikim dijelom neuređeno, na kojem su vidljiva drveća, grmlje i raznolike biljke. Godišnji protok rijeke na promatranoj dionici je u prosjeku oko $6.7 \text{ m}^3/\text{s}$ koji je dobiven na temelju hidrograma za hidrološku stanicu Ludbreg.



Slika 5.2.1. Riječni sprud na središnjem dijelu Bednje nizvodno od brane [12]

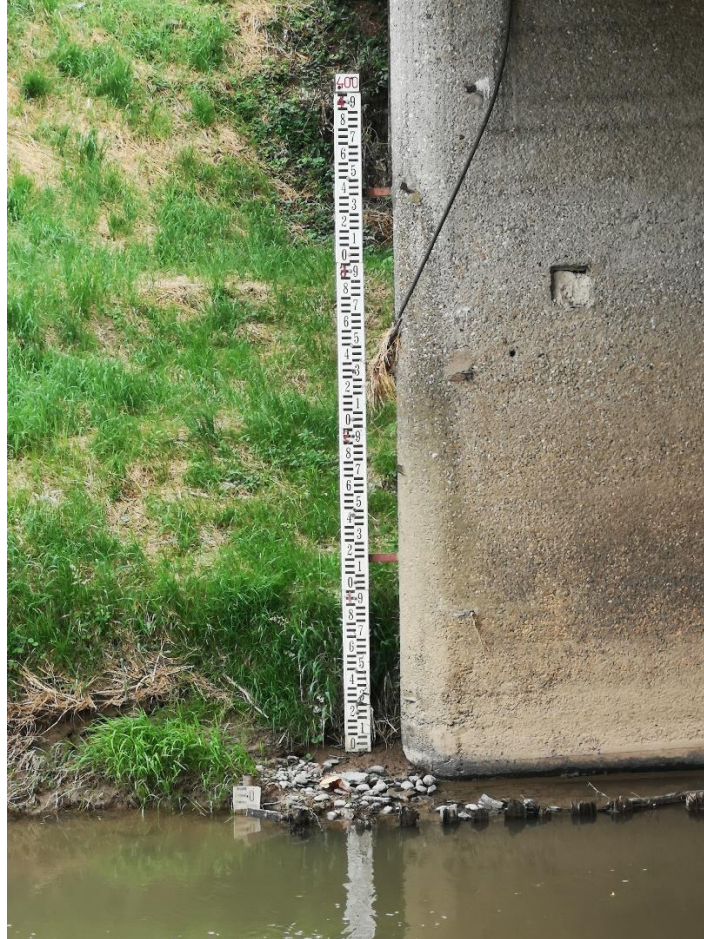
Na slici 5.2.2. vidljiva je razlika u vodostaju i protoku kod brane. Prikazana razlika je nastala u periodu od 10 dana, te je vidljivo da rijeka Bednja ima izrazito bujični potencijal.



Slika 5.2.2. Razlika u vodostaju i protoku kod brane [12]

Samo korito rijeke Bednje može primiti velike količine vode. Kod hidrološke stanice Ludbreg, uz sam most, nalazi se mjerna letva iz koje se može očitati da vodostaj rijeke Bednje

može biti viši od 4 metara (Slika 5.2.3). Zbog svoje snage prilikom velikih voda, dolazi do raznošenja raznovrsnog materijala koji dospije u vodu. Na slici 5.2.4. je vidljivo nošenje granja i biljaka koje se u ovom slučaju zapetljalo za ljestve koje se nalaze kod mosta.



Slika 5.2.3. Mjerna letva kod mosta u Lubregu [12]



Slika 5.2.4. Prikaz ostataka materijala nošenog za vrijeme velikih voda [12]

Duž obale rijeke Bednje dolazi do uređivanja i osiguravanja korita. Na lokaciji nekoliko stotina metara od brane nalazi se obaloutvrda kojom se štiti korito od erozije te umiruje vodni tok (Slika 5.2.5.). Također se provode radovi na okolnim jezerima koja se nalaze između glavnog toka rijeke Bednje i derivacijskog kanala (Slika 5.2.6.)



Slika 5.2.5. Obaloutvrda na rijeci Bednji [12]



Slika 5.2.6. Građevinska mehanizacija kod rijeke Bednje [12]

Neposredno prije brane na ulazu u derivacijski kanal nalazi se propust. Propust je zapušten i neodržavan te kroz njega, bez mogućnosti kontroliranja, prolazi rijeka (Slika 5.2.7.). Iz slike je vidljivo da do prolaza vode kroz propust dolazi samo za vrijeme visokih voda. Za potrebe hidroelektrana zahvat će trebati rekonstruirati.



Slika 5.2.7. Propust na ulazu u derivacijski kanal (21.06.2023.)[12]

Gotovo duž cijelog derivacijskog kanala je zbog neodržavanja došlo do zamuljivanja i potpuno je obrasli vegetacijom. Samo mali dio nakon propusta u derivacijski kanal je relativno očišćen. Slika 5.2.8. prikazuje početak derivacijskog kanala za vrijeme niskih voda, gdje je vidljivo da je početak kanala relativno čist.



Slika 5.2.8. Početak derivacijskog kanala (21.06.2023.)[12]

Ostatak derivacijskog kanala, sve do starog mlina, je u potpunosti obrasli vegetacijom i drvećem, što za vrijeme većih vodostaja može izazvati smanjenje protoka i izlivanje iz kanala. Vegetacija je narasla do te razine da se voda u kanalu ponekad jedva može primijetiti. Slika 5.2.9. prikazuje obrasli derivacijski kanal.



Slika 5.2.9. Derivacijski kanal zamuljen i obrasli vegetacijom (21.06.2023.)[12]

Derivacijskim kanalom voda teče sve do starog mlina, gdje se sada zbog neodržavanja i nekorištenja nalazi stara i derutna građevina. Voda još uvijek prolazi kroz mlin i nakon mlina dolazi u donji dio derivacijskog kanala. Slika 5.2.10. prikazuje izlaz derivacijskog kanala iz starog mlina. Na slici je vidljivo derutno i zapušteno stanje starog mlina, te količina zamućenja vode.



Slika 5.2.10. Izlaz derivacijskog kanala iz starog mlina (21.06.2023.)[12]

Donji dio derivacijskog kanala je uređen jer se nalazi uz „Otok mladosti“, kojeg svakodnevno posjećuju brojni posjetitelji. Prije „Mosta mladosti“ dolazi do razdvajanja derivacijskog kanala i time je osigurana bolja zaštita od poplava. Slika 5.2.11. prikazuje uređenu obalu donjeg derivacijskog kanala uz Otok mladosti.



Slika 5.2.11. Donji derivacijski kanal uz „Otok mladosti“ (21.06.2023.)[12]

Na kraju derivacijskog kanala, gdje kanal utječe u rijeku Bednju, nalazi se pješčana sprud koja služi za smirivanje protoka (Slika 5.2.12.). S vremenom će voda raznositi taj pijesak duž korita Bednje.



Slika 5.2.12. Pješčana sprud ušću derivacijskog kanala u Bednju (21.06.2023.)[12]

Rijeka Bedanja posredno preko derivacijskog kanala puni ribnjake, odnosno jezera kod Ludbrega. Između derivacijskog kanala i prirodnog toka rijeke Bednje, nalazi se 5 jezera. Jezera se pune preko propusta koji jezera povezuje cijevima (Slika 5.2.13.). Između svih jezera se nalaze cijevi preko kojih se voda prenosi iz jednog jezera u drugo. To znači da prilikom niskog vodostaja rijeke Bednje ne dolazi do punjenja ribnjaka. Najjužnije jezero je preko propusta povezano sa glavnim tokom rijeke Bednje, tako da prilikom velikih voda može doći do ispuštanja vode natrag u rijeku (Slika 5.2.14.). Glavno jezero koje se nalazi uz Otok mladosti je direktno povezano sa jednim od jezera i tako dolazi do punjenja jezera (Slika 5.2.15.). Na slici 5.2.17. su prikazana sva jezera koja se nalaze na promatranom području.



Slika 5.2.13. Propust i cijev za punjenje jezera (21.06.2023.)[12]



Slika 5.2.14. Propust i cijev za evakuaciju vode u rijeku Bednju (21.06.2023.)[12]



*Slika 5.2.15. Direktna poveznica jezera kod Otoka mladosti i ostalih jezera
(21.06.2023.)[12]*

Na slici 5.2.16. je prikazan tok rijeke Bednje koji se nalazi južno od jezera. Vidljivo je da se uz rubove korita nalazi vegetacija.



Slika 5.2.16. Tok rijeke Bednje južno od jezera (21.06.2023.)[12]



Slika 5.2.17. Jezera na području između derivacijskog kanala i glavnog toka rijeke Bednje (21.06.2023.)[12]

Prilikom gradnje brane dolazi do promjene toka rijeke Bednje te nastaje mrtvaja južno od brane. Uzvodno od brane mrtvaja je u potpunosti odsječena od glavnog toka Bednje, dok se nizvodno od brane nalazi mali propust koji preko cijevi prenosi vodu u mrtvaju (Slika 5.2.18.). Time za velikih voda dolazi do strujanja vode i punjena mrtvaje. Na slici 5.2.19. prikazan dio mrtvaje na kojem se vidi krivudavost korita, odnosno oblik meandra.



Slika 5.2.18. Propust za punjenje mrtvaje (21.06.2023.) [12]



Slika 5.2.19. Dio mrtvaje sa karakterističnim oblikom meandra (21.06.2023.)[12]

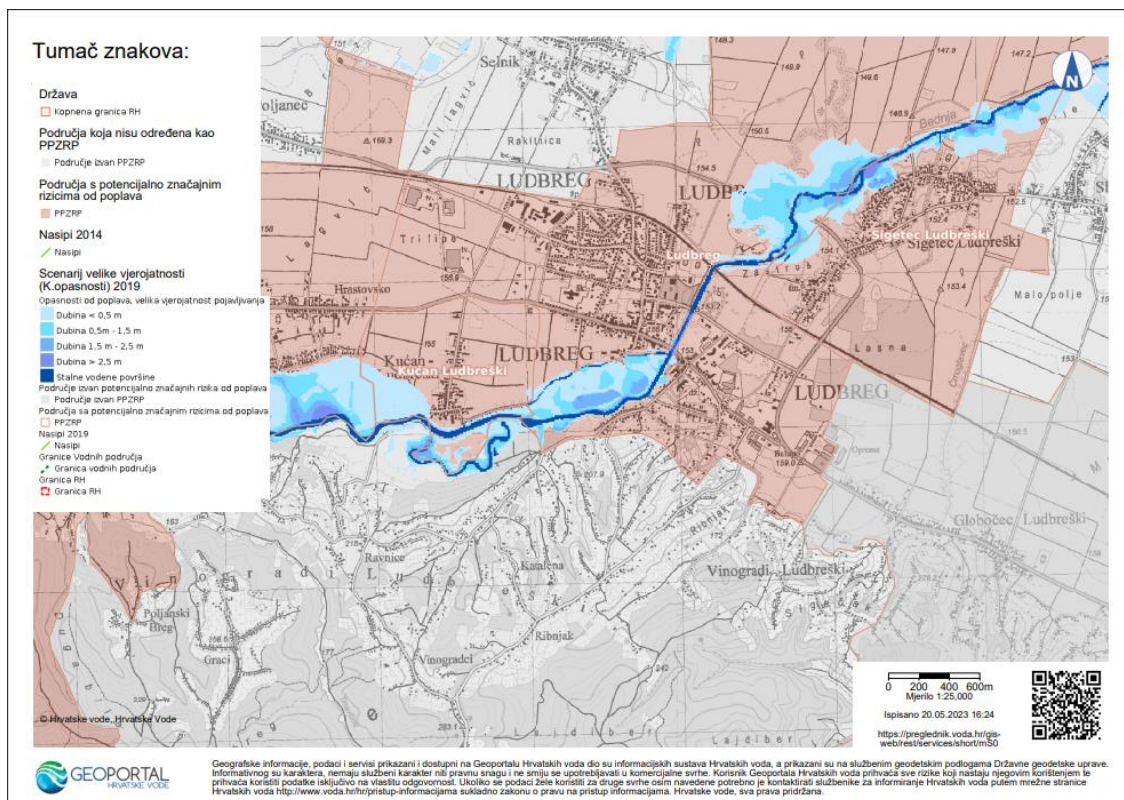
Uz mrtvaju se nalazi ribnjak koji se koristi za uzgoj ribe (Slika 5.2.20.). Ribnjak se opskrbljuje vodom preko mrtvaje.



Slika 5.2.20. Ribnjak koji se nalazi uz mrtvaju (21.06.2023.)[12]

Područje oko rijeke Bednje na promatranjoj lokaciji ima veliki potencijal od plavljenja. Samo korito nema nikakve nasipe ni drugu zaštitu protiv poplava. Sredinom mjeseca svibnja 2023. godine dolazi do velikih poplava uzrokovanim dugotrajnim kišama. Iz karta opasnosti

od poplava velike vjerojatnosti pojavljivanja (Slika 5.2.21.) vidljivo je da dolazi do plavljenja svih jezera i čitavog područja između derivacijskog kanala i toka Bednje, izlivanja mrtvaje južno od brane u Kućanu Ludbreškom te plavljenje oranica zapadno od naselja. Te poplave su česte i donese štete poljoprivrednicima čije oranice poplave. Iz karta opasnosti od poplava srednje vjerojatnosti pojavljivanja (Slika 5.2.22.) vidljivo je da još dodatno dolazi do prelijevanja derivacijskog kanala sjeverno od kanala, potpuno plavljenje područja između mrtvaje i rijeke Bednje te se pod vodom nalazi velik dio naselja Kućan Ludbreški i mali dio grada Ludbrega jugoistočno od toka Bednje. Te poplave rade veće štete jer dolaze i do kuća i drugih objekata. Iz karta opasnosti od poplava male vjerojatnosti pojavljivanja (Slika 5.2.23.) vidljivo je da još dodatno dolazi do plavljenja područja oko naselja Kućan Ludbreški, daljnje širenje poplave sjeverno od derivacijskog kanala do kuća u Ludbregu, plavljenje desne obale rijeke Bednje koja prolazi kroz grad Ludbreg i širenja poplave jugo i jugoistočno od Bednje. Tu dolazi do najviše šteta od poplava, dolazi do potapanja svih okolnih poljoprivrednih površina, naselja Kućan Ludbreški i dijela grada Ludbrega.



Slika 5.2.21. Karta opasnosti od poplava velike vjerojatnosti pojavljivanja[11]

Tumač znakova:

- Država
 - Kopnena granica RH
- Područja koja nisu određena kao PPZRP
 - Područje izvan PPZRP
- Područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava
 - PPZRP
- Nasipi 2014
 - ✓ Nasipi
- Scenarij srednje vjerojatnosti (K.opasnosti) 2019
 - Opasnosti od poplava, srednja vjerojatnost pojavljivanja
 - Dubina < 0,5 m
 - Dubina 0,5m - 1,5 m
 - Dubina 1,5 m - 2,5 m
 - Dubina > 2,5 m
 - Stalne vodene površine
- Područje izvan potencijalno značajnih rizika od poplava
 - Područje izvan PPZRP
- Područja sa potencijalno značajnim rizicima od poplava
 - PPZRP
- Nasipi 2019
 - ✓ Nasipi
- Granice vodnih područja
 - * Granica vodnih područja
 - Granica RH
 - Granica RH



Geografske informacije, podaci i servisi prikazani i dostupni na Geoportalu Hrvatskih voda dio su informacijskih sustava Hrvatskih voda, a prikazani su na službenim geodetskim podlogama Državne geodetske uprave. Informativnog su karaktera, nemaju službeni karakter niti pravnu snagu i ne smiju se upotrebljavati u komercijalne svrhe. Korisnik Geoportala Hrvatskih voda prihvaća sve rizike koji nastaju njegovim korištenjem te prihvaća koristiti podatke isključivo na vlastitu odgovornost. Ukoliko se podaci žele koristiti za druge svrhe osim navedene potrebno je kontaktirati službenike za informiranje Hrvatskih voda putem mrežne stranice Hrvatskih voda <http://www.voda.hr/hr/pristup-informacijama> sukladno zakonu o pravu na pristup informacijama. Hrvatske vode, sva prava pridržana.

Slika 5.2.22. Karta opasnosti od poplava srednje vjerojatnosti pojavljivanja [11]

Tumač znakova:

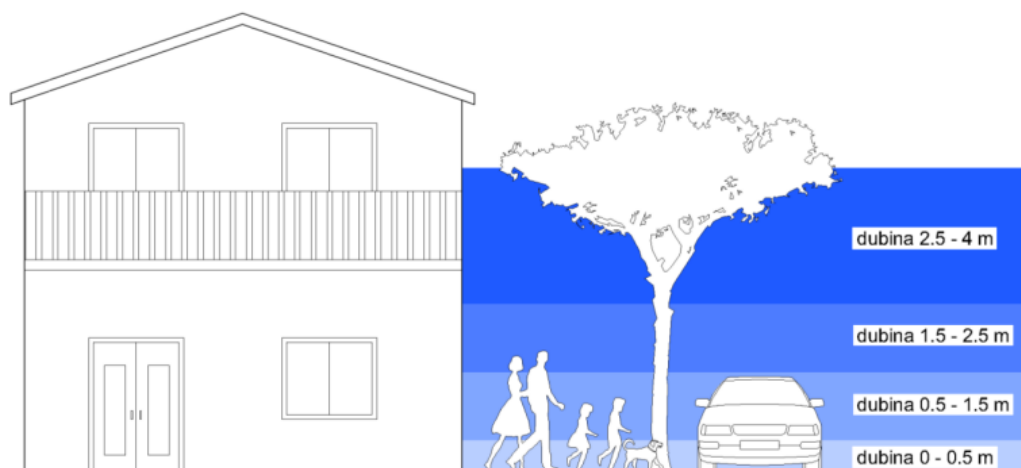
- Država
 - Kopnena granica RH
- Područja koja nisu određena kao PPZRP
 - Područje izvan PPZRP
- Područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava
 - PPZRP
- Nasipi 2014
 - ✓ Nasipi
- Scenarij male vjerojatnosti (K.opasnosti) 2019
 - Opasnosti od poplava, mala vjerojatnost pojavljivanja
 - Dubina < 0,5 m
 - Dubina 0,5m - 1,5 m
 - Dubina 1,5 m - 2,5 m
 - Dubina > 2,5 m
 - Stalne vodene površine
- Područje izvan potencijalno značajnih rizika od poplava
 - Područje izvan PPZRP
- Područja sa potencijalno značajnim rizicima od poplava
 - PPZRP
- Nasipi 2019
 - ✓ Nasipi
- Granice vodnih područja
 - * Granica vodnih područja
 - Granica RH
 - Granica RH



Geografske informacije, podaci i servisi prikazani i dostupni na Geoportalu Hrvatskih voda dio su informacijskih sustava Hrvatskih voda, a prikazani su na službenim geodetskim podlogama Državne geodetske uprave. Informativnog su karaktera, nemaju službeni karakter niti pravnu snagu i ne smiju se upotrebljavati u komercijalne svrhe. Korisnik Geoportala Hrvatskih voda prihvaća sve rizike koji nastaju njegovim korištenjem te prihvaća koristiti podatke isključivo na vlastitu odgovornost. Ukoliko se podaci žele koristiti za druge svrhe osim navedene potrebno je kontaktirati službenike za informiranje Hrvatskih voda putem mrežne stranice Hrvatskih voda <http://www.voda.hr/hr/pristup-informacijama> sukladno zakonu o pravu na pristup informacijama. Hrvatske vode, sva prava pridržana.

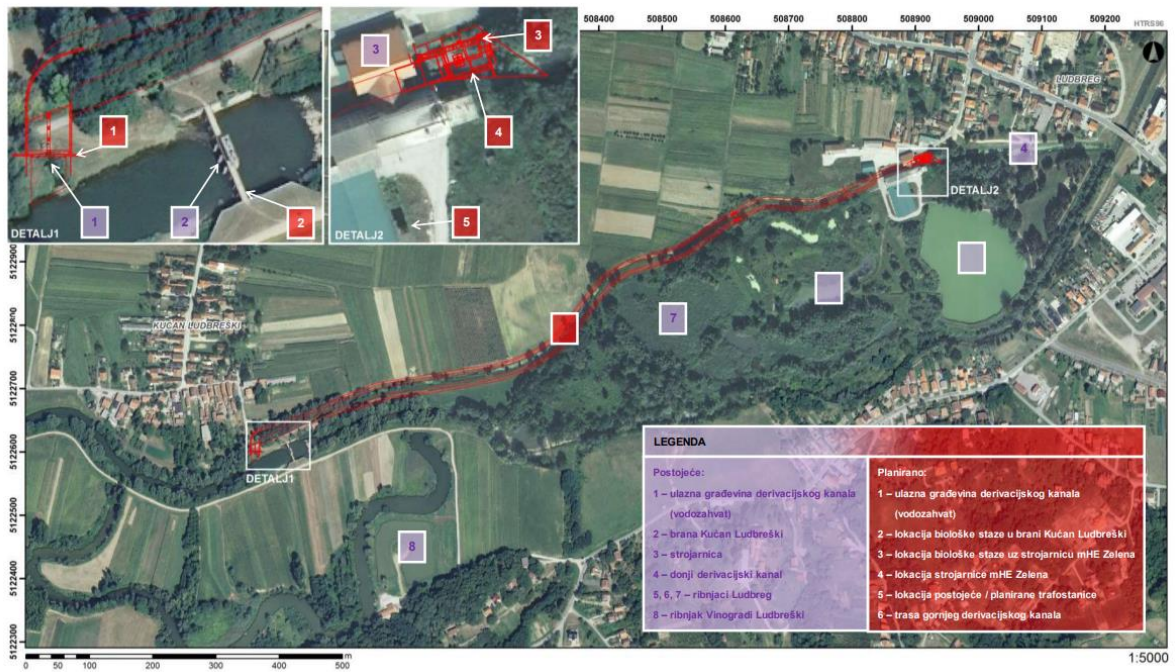
Slika 5.2.23. Karta opasnosti od poplava male vjerojatnosti pojavljivanja[11]

Poplave velike vjerojatnosti pojavljivanja se rade za povratni period od približno 25 godina, poplave srednje vjerojatnosti pojavljivanja se rade za povratni period od približno 100 godina, dok se poplave male vjerojatnosti pojavljivanja rade za povratni period od 1000 godina. Na slici 5.2.24. prikazani su odnosi klasa dubina poplava na kojima se vidi razmjeri šteta koje poplave mogu napraviti.



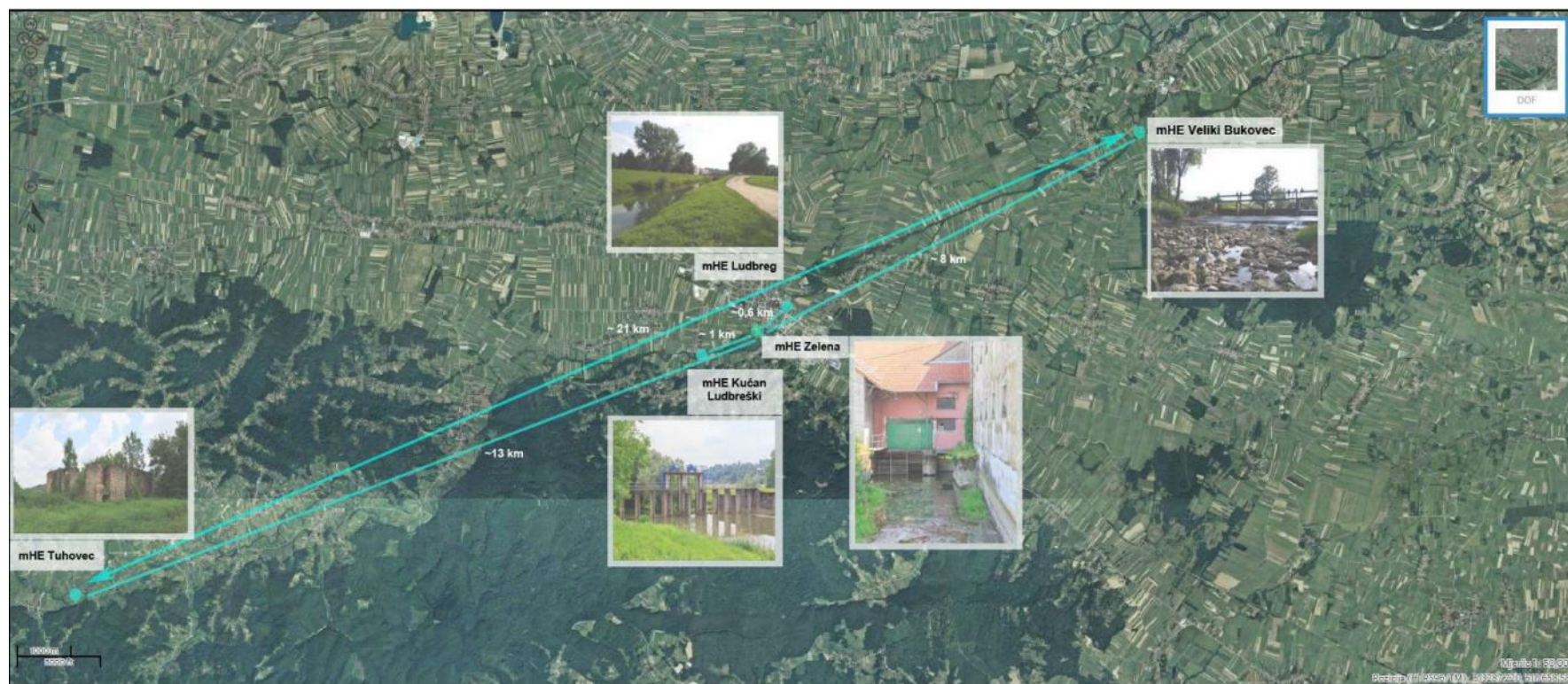
Slika 5.2.24. Odnos klasa dubina na kartama opasnosti od poplava [9]

Na lokaciji blizu promatrane brane planira se izgradnja 3 mini hidroelektrane: mini hidroelektrana na promatranoj brani u Kućanu Ludbreškom, mini hidroelektrana na lokaciji bivše strojarnice mlina, takozvane mini hidroelektrana Zelena i mini hidroelektrana Ludbreg. Udaljenost brane u Kućanu Ludbreškom i one u Ludbregu bit će 2 riječna kilometra. Na kartografskom prikazu (Slika 5.2.25.) prikazana je situacija sa osnovnim objektima postojeće i planirane hidroelektrane.



Slika 5.2.25.. Kartografski prikaz situacije sa označenim osnovnim objektima postojeće i planirane hidroelektrane [8]

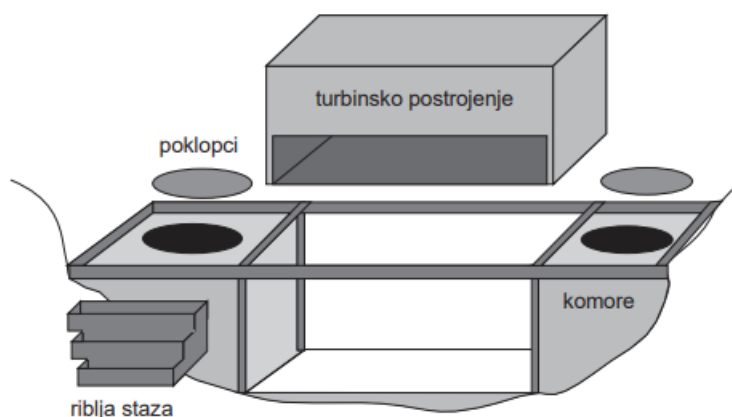
Na slici 5.2.26. je prikazana šira okolica mini hidroelektrane Kućan Ludbreški na kojoj su prikazane lokacije mini hidroelektrane Zelena, mini hidroelektrane Ludbreg, mini hidroelektrane Tuhovec i mini hidroelektrane Veliki Bukovec. Zbog svoje udaljenosti od promatrane brane, mini hidroelektrana Tuhovec i mini hidroelektrana Veliki Bukovec se u ovom radu ne opisuju.



Slika 5.2.26.. Kartografski prikaz planiranih zahvata u široj okolici brane Kučan Ludbreški [10]

Izgradnjom triju mini hidroelektrana neće doći do promjene hidrološkog stanja rijeke Bednje. Ni jedna od tih hidroelektrana neće trošiti, akumulirati ili mijenjati protok rijeke Bednje. Usmjeravanjem vode na slapišta na brani u Kućanu Ludbreškom neće doći do smanjenja količine raspoložive vode u koritu rijeke, niti će rad hidroelektrane imati utjecaj na derivacijski kanal ili ribnjake.

U Ludbregu će se izgraditi mini hidroelektrana visine 1 m, širine 1,2 m i dužine 12 m. Brana će biti smještena 4 metra ispod obale na lokaciji, tako da postavljanje brane neće uzrokovati istjecanje vode iz korita. Za vrijeme velikih voda brana će propuštati vodu preko svojih najviših točaka. Prilikom velikih voda brana će se ponašati po principu sedrenih barijera što se tiče propusnosti vode [10]. Postavljanjem brane doći će do uzvodnog podizanja vode maksimalno do 1 m na duljini od otprilike 120 metara od lokacije brane. Sastavni dijelovi brane su prikazani na slici 5.2.27.

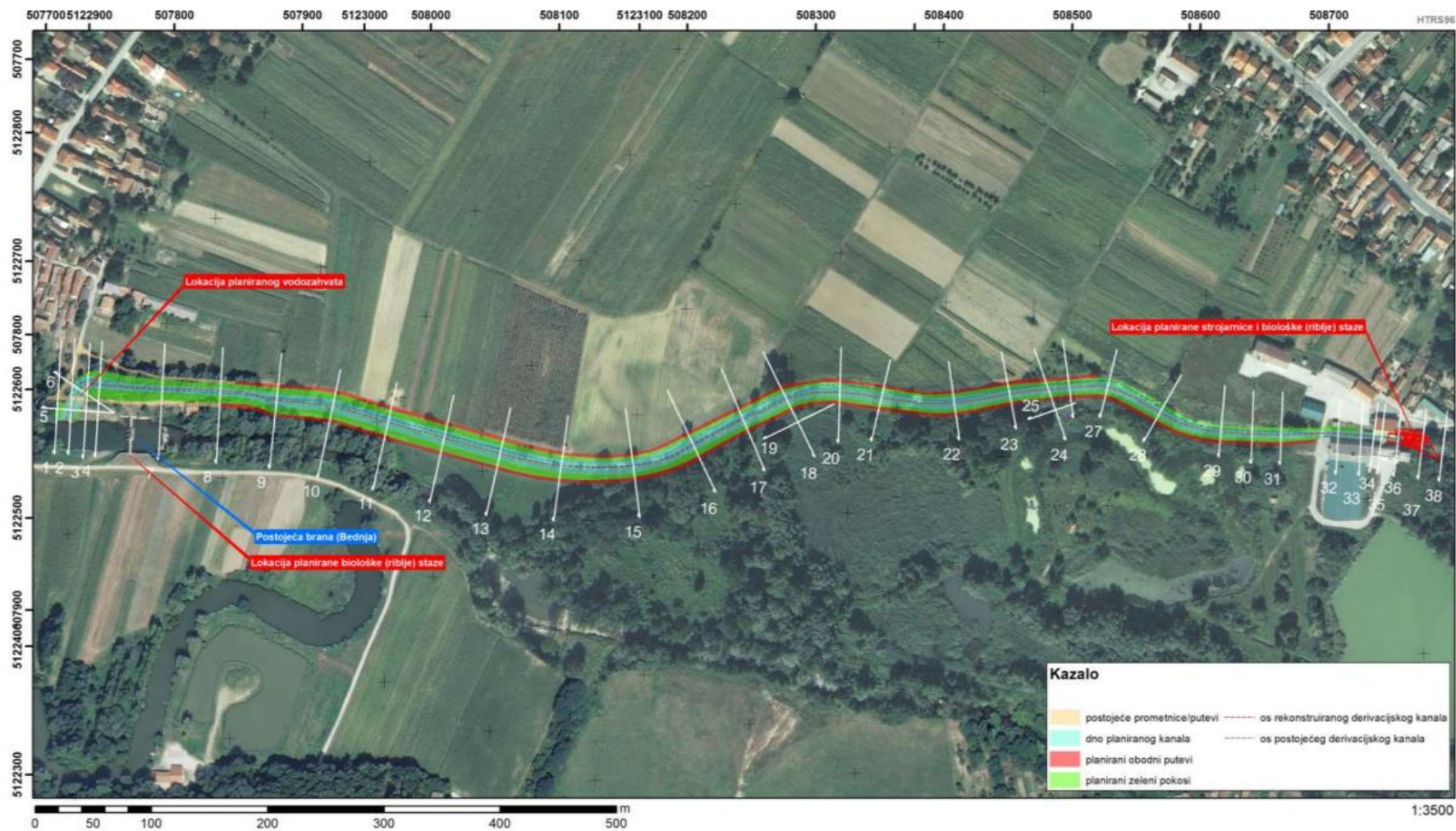


Slika 5.2.27. Prikaz sastavnih dijelova mini hidroelektrane Ludbreg [10]

Za potrebe mini hidroelektrane Zelena bit će potrebno rekonstruirati derivacijski kanal i propust na ulazu u kanal. Trenutno propust na ulazu u derivacijski kanal nije u potpunosti u funkciji i ne odgovara projektnim protocima. Propust će biti armirano-betonska konstrukcija koja će se nalaziti na trenutnoj lokaciji zahvata. Vizualno će doći do promjena i konstrukcija će biti vidljiva sa nasuprotne strane korita. Kroz propust moći će prolaziti veće količine vode te će protok vode moći kontrolirati preko podizne čelične zapornice.

Na temelju hidrotehničkog proračuna za potrebe male hidroelektrane Zelena, derivacijski kanal će se morati proširiti (Slika 5.2.28.). Ovisno o mogućnostima, tj. o veličinama okolnih čestica, dno kanala će se širiti do 11,7 m, a na nekim mjestima suziti na 7,3 m. Također će se uz gornji dio kanala postaviti nekoliko servisnih puteva, a donji dio kanala će uglavnom

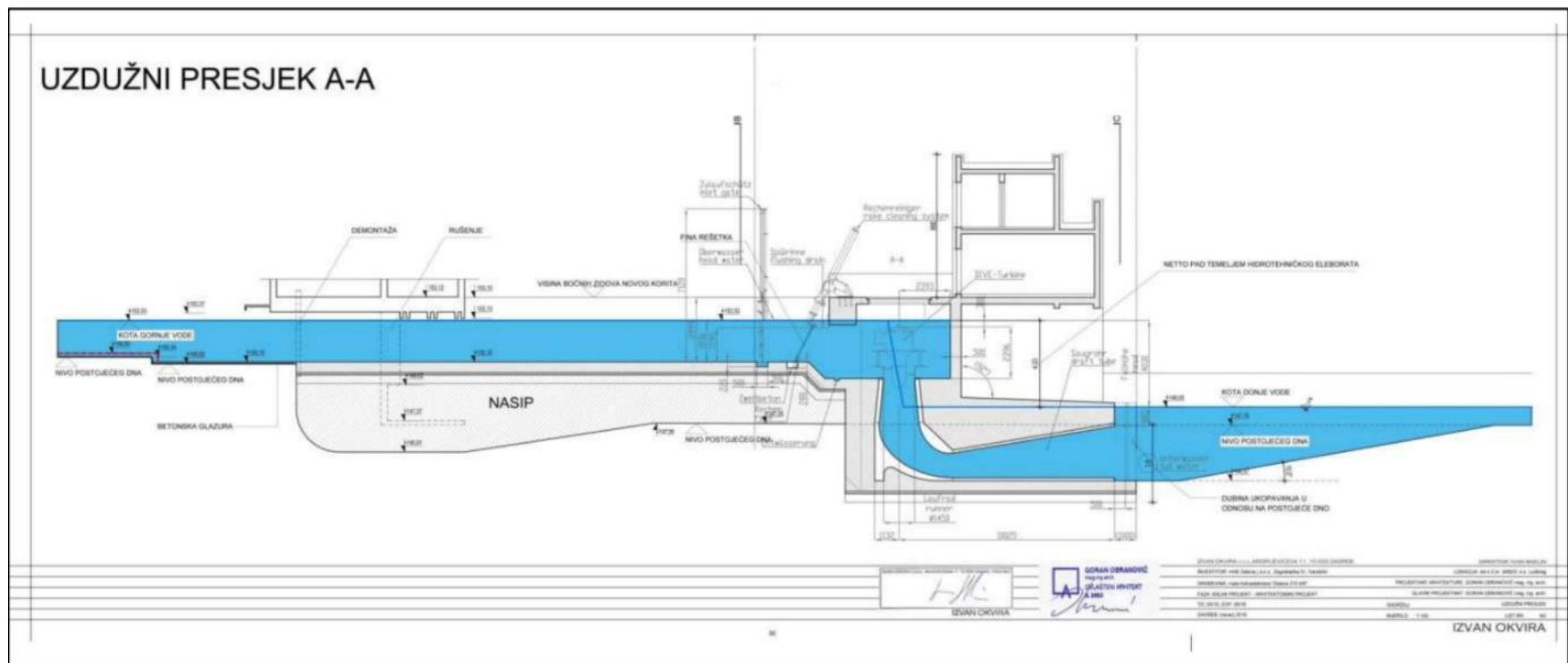
ostat nepromjenjen. Na cijelom području kanala će biti potrebno očistiti i urediti od biljaka i šikare.



Slika 5.2.28. Derivacijski kanal - planirana rekonstrukcija kanala [8]

Iz derivacijskog kanal će se graditi propust na ulazu u ribnjake, na čijoj lokaciji se sad nalazi zečji nasipi, u svrhu punjenja vodom ribnjaka. Izgradit će se armirano-betonska konstrukcija iz koje će ići 7 m duga cijev prema ribnjacima.

Na derivacijskom kanalu će se nedaleko od stare strojarnice mlina izgraditi mini hidroelektrana Zelena. Ona će iskoristavati protok iz derivacijskog kanala za proizvodnju električne energije, te na drugi način neće utjecati na protok vode iz kanala. Također će se izgraditi biološka staza zajedno sa zaštitom na opremi i turbinama hidroelektrane kako ne bi dolazilo do usisa riba i ostalih tvari. Na slici 5.2.29. je uzdužni presjek buduće mini hidroelektrane Zelena.

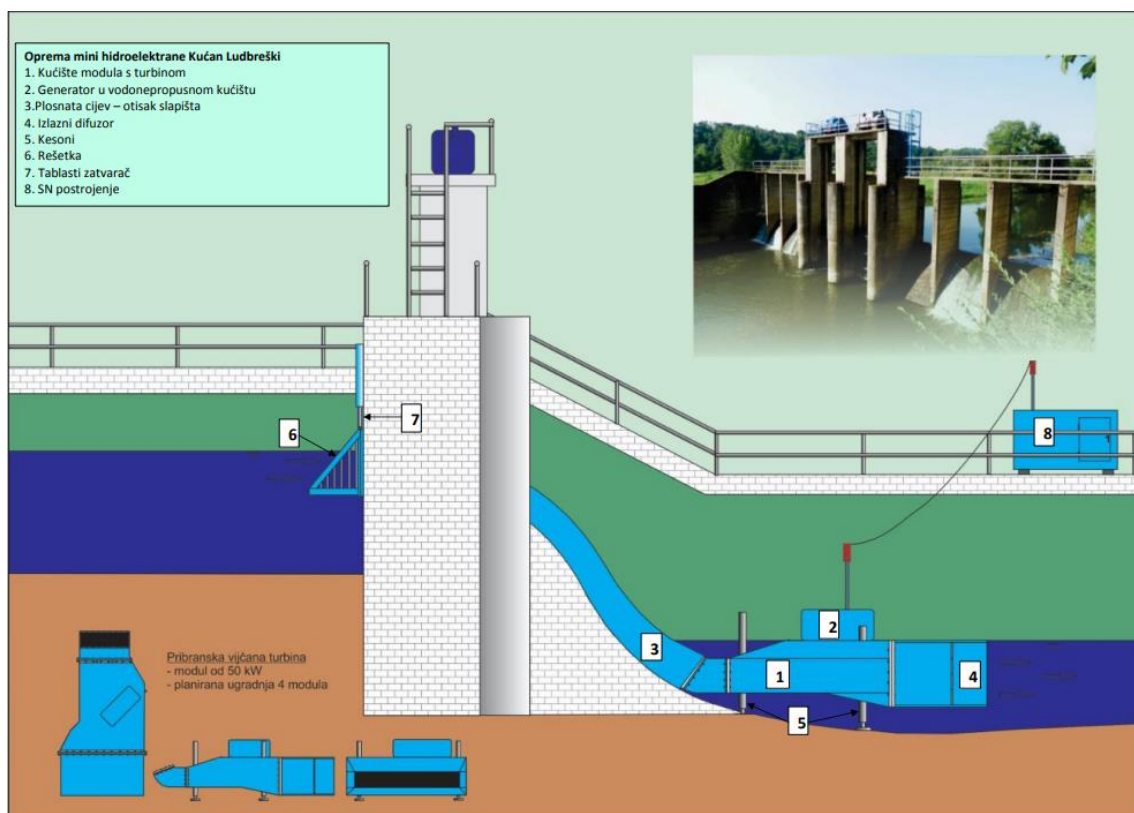


Slika 5.2.29. Uzdužni presjek mini hidroelektrane Zelena [8]

Za potrebe izgradnje mini hidroelektrane kod lokacije Kućan Ludbreški, iskoristit će se već izgrađena brana. Hidroelektrana će se sastojati od:

- 4 pribranske vijčane turbine postavljene u dnu 4 slapišta postojeće brane (4 kućišta s modulima
- 4 tablasta zatvarača za regulaciju protoka na slapištima iznad turbina,
- 4 prednje rešetke (za sprječavanje prolaska otpada, granja i drugog materijala),
- 4 plosnate cijevi , na slapištima iznad turbina,
- 4 generatora, svaki snage 50 kW ,
- kontejnersko srednje naponsko postrojenje (SN postrojenje) u nadležnosti tvrtke HEP-ODS,
- 4 regulacijske klapne postavljene na ostala 4 slapišta,
- regulatora vodostaja montiranog na jednoj od regulacijskih klapni,
- dojavnog sustava. [10]

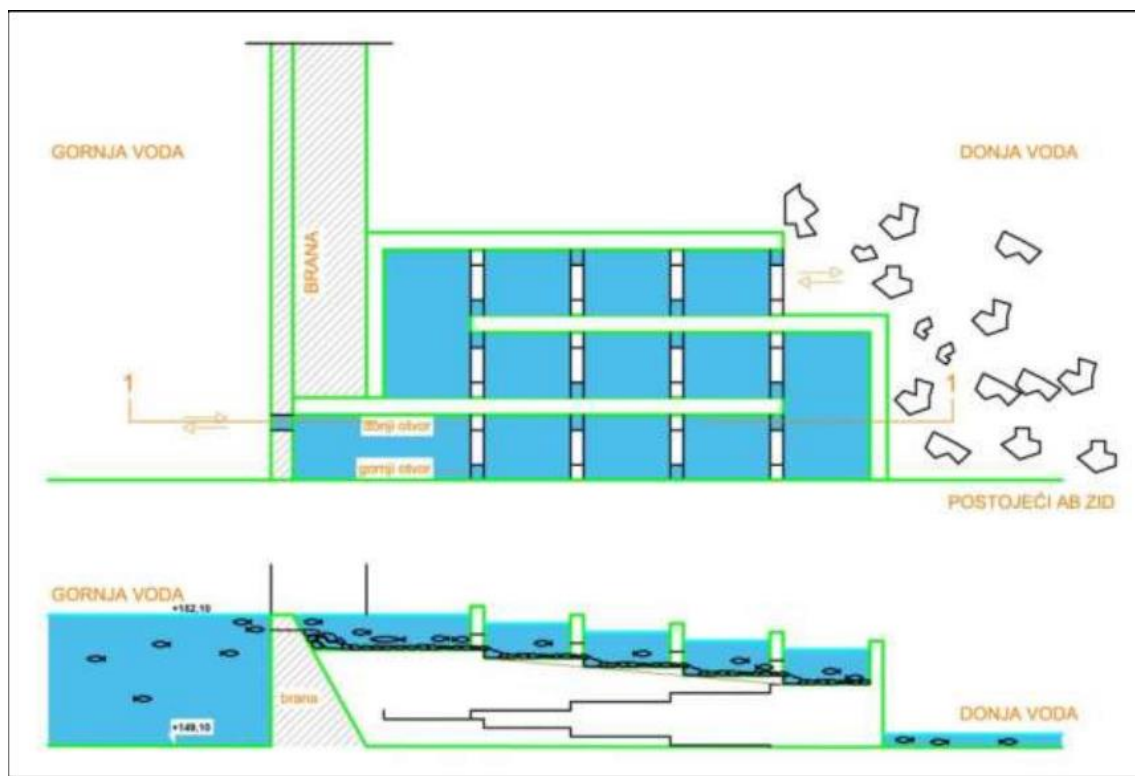
Shematski prikaz razmještaja opreme u sklopu mini hidroelektrane Kućan Ludbreški prikazan je na slici 5.2.30. [10]



Slika 5.2.30. Prikaz razmještaja opreme mini hidroelektrane na brani Kućan Ludbreški

[10]

Također će se u sklopu mini hidroelektrane napraviti biološka staza, kojom će se omogućiti migracija riba. Protok u biološkoj stazi mora biti između 0,08 i 0,2 m³/s. Na slici 5.2.31. prikazan je shematski prikaz buduće biološke staze na brani Kućan Ludbreški [8].



Slika 5.2.31. Shematski prikaz buduće biološke staze unutar postojeće brane Kućan Ludbreški [8]

Izgradnjom mini hidroelektrane na brani Kućan Ludbreški će se omogućiti daljinsko upravljanje zatvaračima za regulaciju protoka, te će se time direktno moći utjecati na protok rijeke Bednje. Brana će imati glavnu ulogu u opskrbljivanju derivacijskog kanala vodom za potrebe mini hidroelektrane Zelena. Povećanjem derivacijskog kanala moći će prihvatiti veće količine vode, time i veći protok kroz kanal. To će biti od iznimne važnosti i za obranu od poplava zbog većeg obujma vode koje će kanal moći primiti. Također će se voda propustima moći puštati i zaustavljati ovisno o potrebama. Protok kod brane Kućan Ludbreški neće se mijenjati izgradnjom mini hidroelektrane. Sve hidroelektrane će imati maksimalni protok od 5 m³/s, pa će se branom u Kućanu Ludbreškom moći regulirati protok prema hidroelektranama (za vrijeme oborina i većih vodostaja hidroelektrane mogu biti u funkciji).

Proširivanjem korita kod brane Kućan Ludbreški bi moglo utjecati na povećanje protoka za potrebe mini hidroelektrana. Time bi se i na tome dijelu smanjila opasnost od poplava zbog mogućnosti prihvaćanja veće količine vode.

Na protok se također može utjecati ako se uredi (očisti od mulja, drveća, biljaka) korito rijeke Bednje na promatranjoj lokaciji. Time će se za vrijeme velikih voda i protoka moći prihvatiti veća količina vode, kao i pružiti veća zaštita od poplava. Još jedan od načina zaštite je izgradnja uspornih nasipa uz obalu rijeke od brane do Ludbrega.

6. Zaključak

Rijeka Bednja je bujični vodotok i sklona je naglim promjenama vodostaja, odnosno protoka. Sama rijeka ima veliki hidrološki potencijal. Izgradnjom brane kod vodočuvarnice u Kućanu Ludbreškom se počeo iskorištavati taj potencijal. S prestankom rada mlina u Ludbregu, brana se koristi u svrhu zaštite od poplava kontroliranjem vodostaja, odnosno protoka. Za vrijeme visokih voda, protok se pomoću brane može preusmjeriti u derivacijski kanal kako bi se smanjila razina vode u glavnom toku rijeke Bednje. Preko derivacijskog kanala onda dolazi do punjenja svih vodnih tijela koja se nalaze između rijeke Bednje i derivacijskog kanala.

Izgradnjom mini hidroelektrane na brani u Kućanu Ludbreškom ne bi došlo do nikakve promjene u vodostaju, odnosno protoku Bednje. Kako bi se iskoristila već postojeća brana, ne bi došlo do nikakvih negativnih utjecaja elektrane na rijeku, već bi se samo iskoristio hidrološki potencijal rijeke Bednje. Također bi se u slučaju izgradnje mini hidroelektrane na brani izgradila i biološka staza, koja bi omogućila migraciju riba kroz branu. Mini hidroelektrana Zelena koja bi se nalazila na lokaciji starog mlina isto ne bi imala utjecaj na protok kroz derivacijski kanal. Brana kod Ludbrega bi imala jedini utjecaj na vodostaj rijeke Bednje. Ona bi uzrokovala dizanje vode uzvodno od brane za 1 m na dionici od oko 120 metara.

Uređivanjem korita rijeke Bednje i svih vodnih tijela na promatranjoj lokaciji bi omogućilo prihvaćanje većih količina voda. Samim čišćenjem korita derivacijskog kanala i svih jezera od drveća, biljaka i svih nakupljenih materijala bi se uvelike omogućilo prihvaćanje većih protoka. Redovitim održavanjem bi se smanjile potrebe za izgradnjom nekakvih barijera ili dodatnih obaloutvrda te bi se time direktno smanjila potreba za antropogenim djelovanjima na području rijeke Bednje. Antropogenim djelovanjem čovjeka na tok rijeke Bednje izgradnjom dodatnih uspornih nasipa ili širenjem korita rijeke i derivacijskog kanala bi se također uveliko pomoglo pri prihvaćanju većih količina vode, te bi se time povećala zaštita od poplava.

7. Literatura

1. Priroda Hrvatske: <https://priodahrvatske.com/hidrografija/>, dostupno 23.06.2023.
2. Hrvatska enciklopedija: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=9238>, dostupno 23.06.2023.
3. Đurin B.: Autorski materijali za nastavu, Varaždin, 2021.
4. Paladin M; Vidaković Šutić R; Vrcelj B; Ričković V.: Izrada karata opasnosti i izračun šteta na slivu rijeke Bednje, Opatija, 2015.
5. Čargonja-Reicher K. i suradnici: EU projekt zaštite od poplava na slivu Bednje, Studija Elektroprojekt d.d., Zagreb, 2018.
6. Državni hidrometeorološki zavod – zavod za hidrologiju: <https://hidro.dhz.hr/>, dostupno 23.06.2023.
7. Geoportal Državne geodetske uprave: <https://geoportal.dgu.hr/>, dostupno 23.06.2023.
8. Ritz S. i suradnici: Studija o utjecaju na okoliš mHE Zelena na rijeci Bednji, Studija, Ekonerg d.o.o., Zagreb, 2016.
9. Hrvatske Vode: Karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava – 2019, Zagreb, 2021.
10. Hrgarek M. i suradnici: Elaborat zaštite okoliša u postupku ocjene o potrebi procjene utjecaja na okoliš mini hidroelektrana Kućan Ludbreški, Ludbreg i Veliki Bukovec na rijeci Bednji, EcoMission d.o.o., Varaždin, 2016.
11. GeoPortal Hrvatskih voda: <http://korp.voda.hr/>, dostupno 23.06.2023.
12. Lajtman K.: Autorske fotografije, 2023.

8. Popis slika

Slika 1.1 Shematski prikaz rijeke [1]

Slika 1.2. Prikaz dijelova nasute brane [3]

Slika 1.3. Prikaz dijelova betonske brane [3]

Slika 2.1. Tok rijeke Bednje i pripadajući sliv [4]

Slika 2.2. Hidrografska mreža rijeke Bednje [5]

Slika 2.3. Prostorni prikaz hidroloških stanica i glavnih pritoka [5]

Slika 3.1.1. Vodomjerna stanica Lepoglava [6]

Slika 3.1.2. Poprečni presjek korita hidrološke stanice Lepoglave [6]

Slika 3.2.1. Vodomjerna stanica Željeznica [6]

Slika 3.2.2. Poprečni presjek korita hidrološke stanice Željeznica [6]

Slika 3.3.1. Vodomjerna stanica Ključ [6]

Slika 3.3.2. Poprečni presjek korita hidrološke stanice Ključ [6]

Slika 3.4.1. Vodomjerna stanica Tuhovec [6]

Slika 3.4.2. Poprečni presjek korita hidrološke stanice Tuhovec [6]

Slika 3.5.1. Vodomjerna stanica Ludbreg [12]

Slika 3.5.2. Poprečni presjek korita hidrološke stanice Ludbreg [6]

Slika 4.1. Vodočuvarnica kod brane u Kućanu Ludbreškom [12]

Slika 4.2. Brana u Kućanu Ludbreškom [12]

Slika 4.3. Zapornice na brani u Kućanu Ludbreškom [12]

Slika 4.4. Preljevna krivulja brane Kućan Ludbreški u situaciji dizanja zapornica pri 120 m³/s [8]

Slika 5.1.1. Uža lokacija brane zajedno sa vodnim tijelima [7]

Slika 5.1.2. Mjesto spajanja derivacijskog kanala i glavnog toka Bednje (21.06.2023.) [12]

Slika 5.2.1. Riječni sprud na središnjem dijelu Bednje nizvodno od brane [12]

Slika 5.2.2. Razlika u vodostaju i protoku kod brane [12]

Slika 5.2.3. Mjerna letva kod mosta u Lubregu [12]

Slika 5.2.4. Prikaz ostataka materijala nošenog za vrijeme velikih voda [12]

Slika 5.2.5. Obaloutvrda na rijeci Bednji [12]

Slika 5.2.6. Građevinka mehanizacija kod rijeke Bednje [12]

Slika 5.2.7. Propust na ulazu u derivacijski kanal (21.06.2023.) [12]

Slika 5.2.8. Početak derivacijskog kanala (21.06.2023.) [12]

Slika 5.2.9. Derivacijski kanal zamuljen i obrasli vegetacijom (21.06.2023.) [12]

Slika 5.2.10. Izlaz derivacijskog kanala iz starog mlina (21.06.2023.)[12]

Slika 5.2.11. Donji derivacijski kanal uz „Otok mladosti“ (21.06.2023.)[12]

Slika 5.2.12. Pješčana sprud ušću derivacijskog kanala u Bednju (21.06.2023.)[12]

Slika 5.2.13. Propust i cijev za punjenje jezera (21.06.2023.)[12]

Slika 5.2.14. Propust i cijev za evakuaciju vode u rijeku Bednju (21.06.2023.)[12]

Slika 5.2.15. Direktna poveznica jezera kod Otoka mladosti i ostalih jezera (21.06.2023.)[12]

Slika 5.2.16. Tok rijeke Bednje južno od jezera (21.06.2023.)[12]

Slika 5.2.17. Jezera na području između derivacijskog kanala i glavnog toka rijeke Bednje (21.06.2023.)[12]

Slika 5.2.18. Propust za punjenje mrtvaje (21.06.2023.)[12]

Slika 5.2.19. Dio mrtvaje sa karakterističnim oblikom meandra (21.06.2023.)[12]

Slika 5.2.20. Ribnjak koji se nalazi uz mrtvaju (21.06.2023.)[12]

Slika 5.2.21. Karta opasnosti od poplava velike vjerojatnosti pojavljivanja[11]

Slika 5.2.22. Karta opasnosti od poplava srednje vjerojatnosti pojavljivanja [11]

Slika 5.2.23. Karta opasnosti od poplava male vjerojatnosti pojavljivanja[11]

Slika 5.2.24. Odnos klasa dubina na kartama opasnosti od poplava [9]

Slika 5.2.25.. Kartografski prikaz situacije sa označenim osnovnim objektima postojeće i planirane hidroelektrane [8]

Slika 5.2.26. Kartografski prikaz planiranih zahvata u široj okolici brane Kućan Ludbreški [10]

Slika 5.2.27. Prikaz sastavnih dijelova mini hidroelektrane Ludbreg [10]

Slika 5.2.28. Derivacijski kanal - planirana rekonstrukcija kanala[8]

Slika 5.2.29. Uzdužni presjek mini hidroelektrane Zelena[8]

Slika 5.2.30. Prikaz razmještaja opreme mini hidroelektrane na brani Kućan Ludbreški [10]

Slika 5.2.31. Shematski prikaz buduće biološke staze unutar postojeće brane Kućan Ludbreški [8]

9. Popis tablica

Tablica 1. Srednji godišnji protoci hidrološke stanice Lepoglava za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Tablica 2. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Lepoglava za razdoblje od 2011. do 2021. godine

Tablica 3. Srednji godišnji protoci hidrološke stanice Željeznica za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Tablica 4. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Željeznica za razdoblje od 2011. do 2021. godine

Tablica 5. Srednji godišnji protoci hidrološke stanice Ključ za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Tablica 6. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Ključ za razdoblje od 2011. do 2021. godine

Tablica 7. Srednji godišnji protoci hidrološke stanice Tuhovec za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Tablica 8. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Tuhovec za razdoblje od 2011. do 2021. godine

Tablica 9. Srednji godišnji protoci hidrološke stanice Ludbreg za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Tablica 10. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Ludbreg za razdoblje od 2011. do 2021. godine

10. Popis dijagrama

Dijagram 1. Hidrogram (prikaz srednjih godišnjih protoka) hidrološke stanice Lepoglava za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Dijagram 2. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Lepoglava za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Dijagram 3. Hidrogram (prikaz srednjih godišnjih protoka) hidrološke stanice Željeznica za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Dijagram 4. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Željeznica za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Dijagram 5. Hidrogram (prikaz srednjih godišnjih protoka) hidrološke stanice Ključ za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Dijagram 6. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Ključ za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Dijagram 7. Hidrogram (prikaz srednjih godišnjih protoka) hidrološke stanice Tuhovec za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Dijagram 8. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Tuhovec za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Dijagram 9.. Hidrogram (prikaz srednjih godišnjih protoka) hidrološke stanice Ludbreg za razdoblje od 2010. do 2021. godine

Dijagram 10. Srednji godišnji vodostaji hidrološke stanice Ludbreg za razdoblje od 2010. do 2021. godine