

# Morfološka analiza poprečnih presjeka vodotoka - primjer rijeke Bednje

---

Švogor, Ivan

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:122:967438>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-28**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

Završni rad br. 464/GR/2023

**Morfološka analiza poprečnih presjeka vodotoka –  
primjer rijeke Bednje**

Ivan Švogor, 0336043488

Varaždin, listopad 2023. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za Graditeljstvo

Završni rad br. 464/GR/2023

## **Morfološka analiza poprečnih presjeka vodotoka – primjer rijeke Bednje**

Student

Ivan Švogor, 0336043488

Mentor

izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin

Varaždin, listopad 2023. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Ivan Švogor

JMBAG 0336043488

DATUM 12.09.2023.

KOLEGIJ Regulacije i melioracije

NASLOV RADA Morfološka analiza poprečnih presjeka vodotoka – primjer rijeke Bednja

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Morphological analysis of the cross-sections of the watercourse - the example of the river Bednja

MENTOR dr.sc. Bojan Đurin

ZVANJE Izvanredni profesor

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc.dr.sc. Domagoj Nakić
2. izv.prof.dr.sc. Bojan Đurin
3. doc.dr.sc. Sanja Šamanović
4. prof.dr.sc. Ivanka Netinger Grubeša-zamjenski član
- 5.

## Zadatak završnog rada

BROJ 464/GR/2023

OPIS

Rad će prikazati karakteristike poprečnih presjeka vodotoka s obzirom na oblik, tj. morfološka svojstva. Analizirati će se lokacije na rijeci Bednji. Okvirni sadržaj rada sastojati će se od uvodnog poglavlja, teoretskih postavki o rijekama i morfologiji poprečnih presjeka vodotoka, primjenu na poprečnim presjecima na nekoliko lokacija na rijeci Bednji, analizu dobivenih rezultata i zaključak.

ZADATAK URUČEN 12.09.2023.



POTPIS MENTORA

—  
HARON  
ALISBRANIN

Sveučilište  
Sjever



SVEUČILIŠTE  
SJEVER  
—

## IZJAVA O AUTORSTVU

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

Ja, Ivan Švogor pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom Morfološka analiza poprečnih presjeka vodotoka - primjer rijeke Bednje te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

**Ivan Švogor**

*Ivan Švogor*

(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 sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

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 završnom radu razrađena je tematika morfoloških svojstava vodotoka s naglaskom na morfološku analizu poprečnih presjeka vodotoka. Na primjeru rijeke Bednje analizirani su zabilježeni podaci o vrijednostima vodostaja, brzina i protoka za tri hidrometrijske postaje na rijeci Bednji: Željeznicu, Ključ i Ludbreg. U praktičnom su dijelu poprečni presjeci nacrtani u računalnom programu Autodesk AutoCad 2021, uz pomoć podataka o izvršenoj hidrometriji na spomenute tri lokacije na rijeci Bednji, dobiveni poprečni profili i određene su karakteristične točke u poprečnom presjeku korita rijeke.

**Ključne riječi:** morfologija, hidrometrija, rijeka Bednja, poprečni presjek

## **Summary**

In this thesis, the topic of the watercourse's morphological characteristics was elaborated, emphasizing the morphological analysis of cross sections of the watercourse. In the example of the Bednja River, recorded data on water level, velocities, and flow values were analyzed for three hydrometric stations on the Bednja River: Zeljeznica, Kljuc, and Ludbreg. In the practical part, using data on conducted hydrometry at the mentioned three locations on the Bednja River, a cross-profile section was drawn in a computer program Autodesk AutoCAD 2021, and cross profiles and characteristic points in the cross-section of the riverbed were defined.

**Keywords:** morphology, hydrometry, the Bednja River, cross-section

## Popis korištenih kratica

$Q$	protok
$\bar{v}$	srednja brzina strujanja
$A$	površina protjecajnog presjeka



# Sadržaj

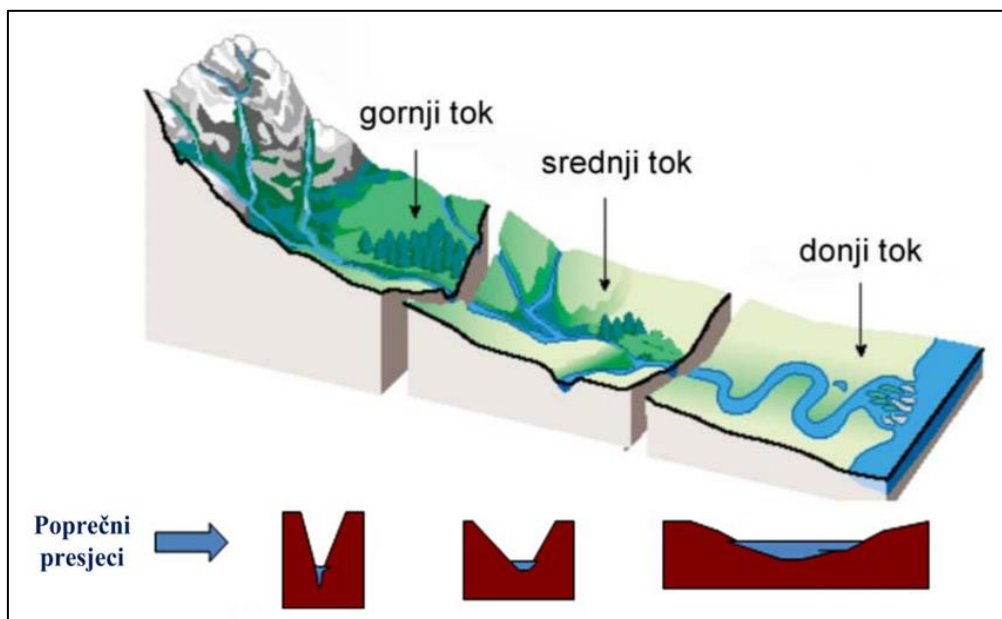
<b>1. Uvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Morfološka svojstva vodotoka .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Meandri i sprudovi .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. Rukavci i mrtvice .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Primjer rijeke Bednje .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1. Opis rijeke Bednje .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2. Hidrometrijska postaja Željeznica .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2.1. Podaci postaje Željeznica .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2.2. Izvršena mjerenja na postaji Željeznica .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3. Hidrometrijska postaja Ključ .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.1. Podaci postaje Ključ .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3.2. Izvršena mjerenja na postaji Ključ .....</b>	<b>30</b>
<b>3.4. Hidrometrijska postaja Ludbreg .....</b>	<b>34</b>
<b>3.4.1. Podaci postaje Ludbreg .....</b>	<b>35</b>
<b>3.4.2. Izvršena mjerenja na postaji Ludbreg .....</b>	<b>40</b>
<b>4. Analiza poprečnih presjeka .....</b>	<b>45</b>
<b>5. Zaključak .....</b>	<b>51</b>
<b>6. Literatura .....</b>	<b>52</b>
<b>7. Popis slika .....</b>	<b>54</b>

# 1. Uvod

Rijeke su važan element kruženja vode na Zemlji jer vodu koja padne kao kiša ili snijeg vraćaju u more. Pritom natapaju tlo i stvaraju bogata staništa za divlje životinje i biljke. Uz iznimku zamrznutih polarnih područja, rijeka ima posvuda na kopnu. Nalazi ih se i u najsušim pustinjama (primjerice rijeka Nil, koja teče kroz Saharu), premda im tok može biti isprekidan.

Voda uvijek teče nizvodno, s više kote prema nižoj, pa površinska voda pod utjecajem gravitacije vijuga niz udubine i doline prema moru. Rijeke nastaju kada se manji vodotoci, potoci i rječice, stope u veći tok. Izvori su im obično visoko u brdima i u tom su dijelu male ali brze, dok silaskom u doline i pritjecanjem drugih rijeka postupno povećavaju širinu i usporavaju tok [1].

Tipični tok rijeke može se podijeliti u gornji, srednji i donji tok sa svojim karakterističnim poprečnim presjecima, što je prikazano na slici 1.1.



Slika 1.1. Tipični tokovi rijeke sa svojim karakterističnim presjecima [2], [3].

U gornjem toku mlada rijeka urezuje svoj put u brdima i stvara karakteristične doline oblika slova „V“, pri čemu s podloge diže mnogo stjenovitog materijala. Slapovi i brzaci uobičajena su obilježja mladih rijeka. Karakteristični su procesi vertikalne (dubinske) erozije i abrazije.

U srednjem toku rijeka usporava i istodobno s odnošenjem materijala počinje ga taložiti duž svojega korita. Čestice materijala postaju manje i zaobljenije, a bočna erozija dominira nad

vertikalnom. Karakteristika je također dublji i širi vodotok. Pokraj rijeke nastaju naplavne ravnice.

Kako se približavaju svom ušću, u donjem toku, rijeke teku sporo i meandri (zavojita korita rijeke koja krivudaju u obliku slova „S“) su im sve naglašeniji. Vodotok je ovdje najširi i najdublji. Preostale taloge rijeka ispušta u estuariju (ljevkastu riječno ušće) ili delti (razgranato riječno ušće) [1], [2].

Morfologija, općenito, jest znanost o oblicima. U kontekstu vodotoka, morfologija je predmet izučavanja geografa i inženjera hidrotehnike, a bavi se opisivanjem i objašnjavanjem osnovnih značajki prirodnih korita vodotoka. Morfološke značajke uvjetovane su trodimenzionalnim (uzdužnim, poprečnim i vertikalnim), vremenski promjenjivim strujanjem vode u pokretnom dnu [3].

Na vodotoke utječu prirodni utjecaji kao što su kretanje i zadržavanje vode, promjene temperature, erozija, taloženje sedimenta itd. S druge strane postoje i utjecaji na vodotoke kao posljedica ljudske aktivnosti, a to su tzv. antropogeni utjecaji; neki od njih su gradnja naselja, urbanizacija, korištenje zemljišta i vodnih resursa te rušenje šuma [2].

Na slici 1.2. prikazan je primjer prirodnog utjecaja na vodotok – taloženja sedimenta.



*Slika 1.2. Taloženje sedimenta [4].*

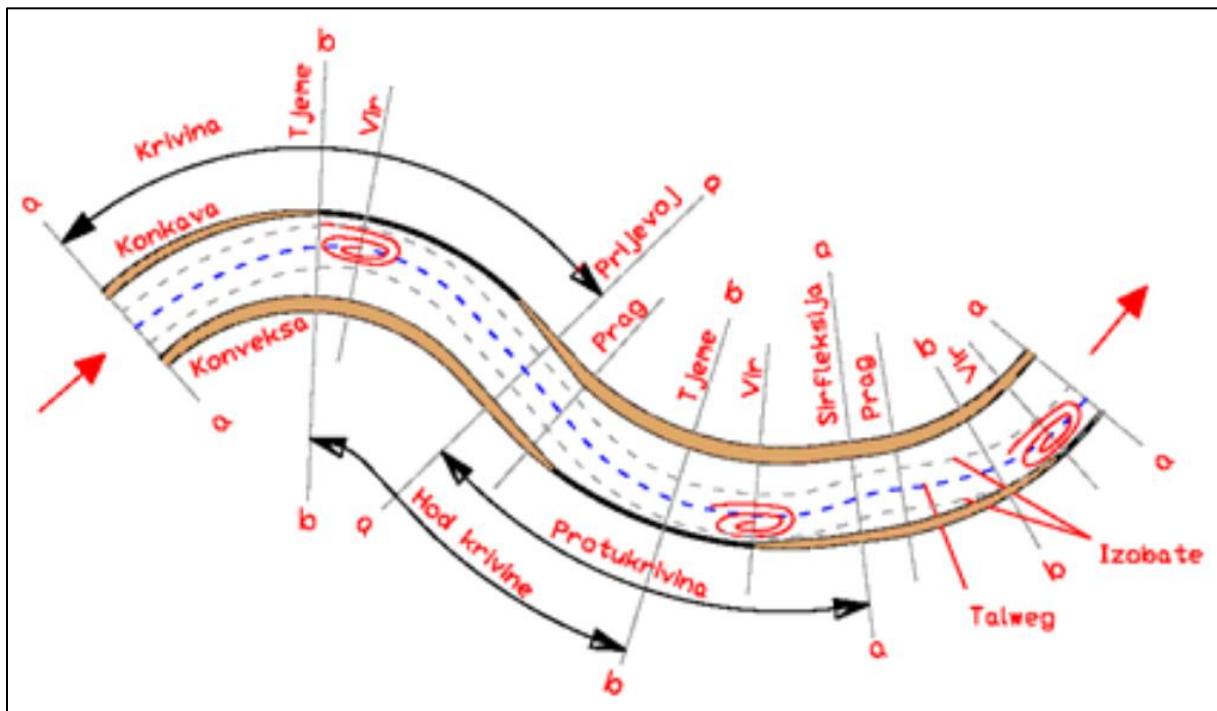
Prijenos sedimenta jedan je od manje poznatih procesa rijeke. Sediment čine sve krute čestice koje nosi voda: sitne čestice gline, pijesak, šljunak, čak i veliki blokovi stijena. Prenosjenjem sedimenta i erodiranjem obale rijeka gradi svoj put kroz nizinu, skreće, zavija i račva se u rukavce, koji se nizvodno ponovno spajaju. Dok se po dnu riječnog korita kreću komadi stijena i putuje šljunak (vučni sediment), voda nosi mnogo lakše i sitnije čestice –

pijesak i prah, odnosno mulj i glinu. Riječ je o suspendiranom sedimentu, a od njega i nastaje mutna boja mnogih rijeka, posebice za jakih kiša kada se prenose velike količine suspendiranog materijala. Ograničavanje protoka, odnosno kretanja sedimenata uzrokuje promjene u koritu, brzini rijeke i njezinu utjecaju na ljude i živi svijet [4], [5].

U završnom radu obraditi će se tematika prirodne dinamike vodotoka, a cilj je upoznati čitatelja s morfološkom analizom poprečnih presjeka vodotoka. Također, u praktičnom dijelu, analizirati će se mjerenja na rijeci Bednji, na hidrometrijskim postajama Željeznica, Ključ i Ludbreg.

## 2. Morfološka svojstva vodotoka

Osnovni pojmovi vezani uz morfološke elemente vodotoka shematski su prikazani kroz tlocrtnu skicu dijela vodotoka na slici 2.1. Od glavnih morfoloških značajki vodotoka mogu se izdvojiti krivudavost, nepravilnost poprečnog presjeka i dominantna širina korita u odnosu na njegovu dubinu.



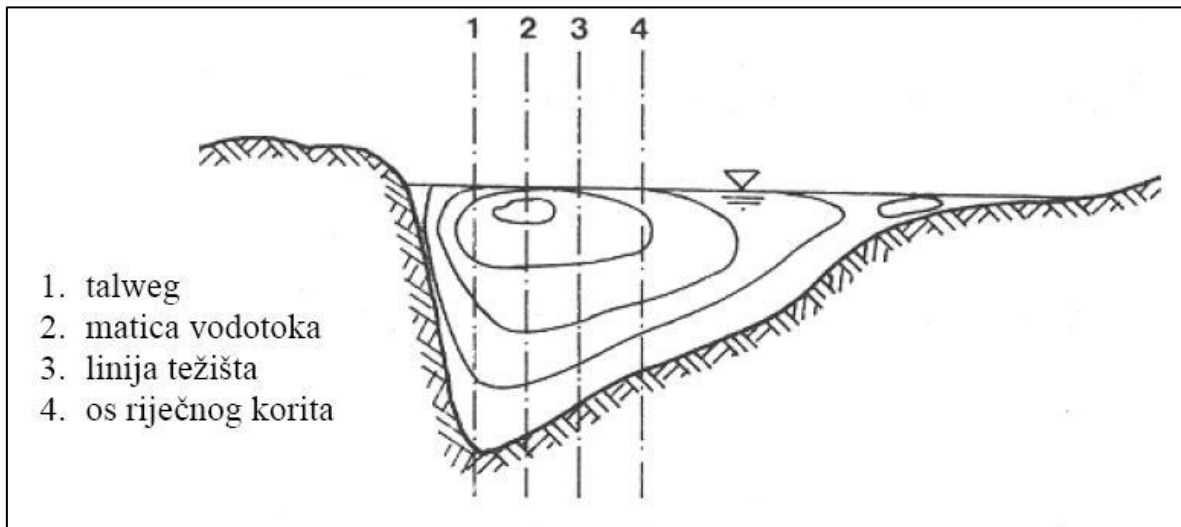
Slika 2.1. Osnovni pojmovi morfoloških elemenata vodotoka [3].

Kada se govori o morfološkim elementima vodotoka, pojam obale jedan je od osnovnih. U užem smislu, obala je crta presjeka korita vodotoka i okolnog terena, no termin se koristi i za šire područje koje obuhvaća i dio korita do dna. Kod vodotoka razlikuje se lijeva i desna obala, a određuju se na način da se gleda od izvora prema ušću; tada je lijeva obala s lijeve strane, a desna nasuprotna. Također obalu se promatra i kao konkavnu (vanjska obala na zavoju) te konveksnu (unutrašnja obala na zavoju).

Vodotok se u pravilu sastoji od krivina, dok je samo na kraćim dionicama tečenje u pravcu. Ako se na krivinu nastavlja krivina suprotne zakrivljenosti, naziva se protukrivinom. Hod krivine predstavlja razmak između tjemena susjednih krivina [2], [3].

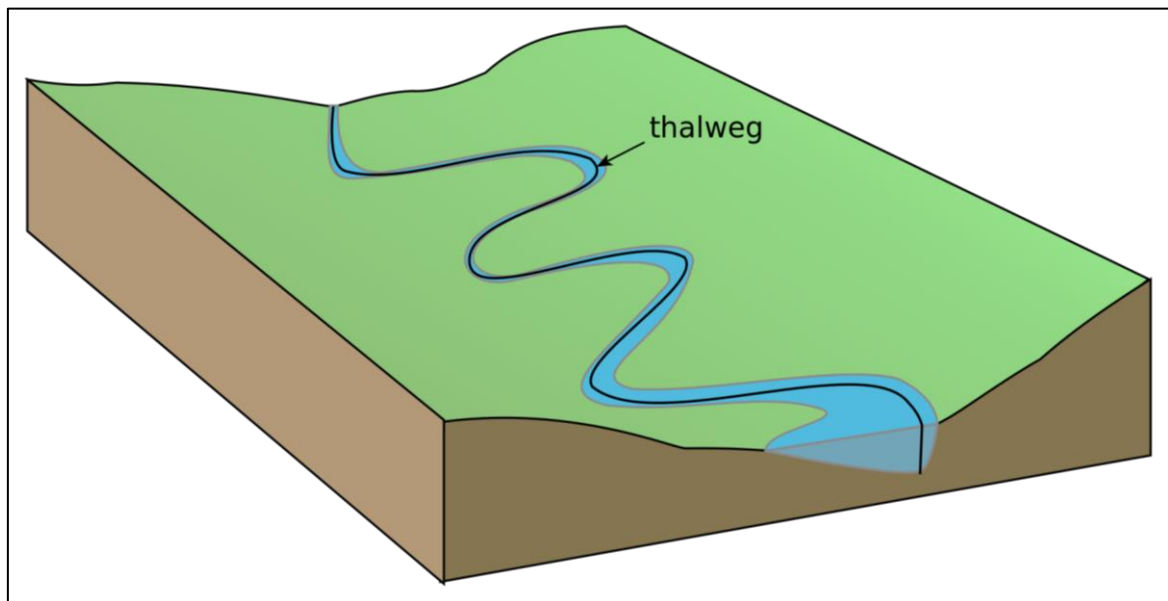
Izobate su krivulje koje na karti spajaju točke jednake dubine vode (rijeke, jezera, mora) [6].

Na slici 2.2. prikazani su u poprečnom presjeku sljedeći elementi vodotoka: talweg, matica vodotoka, linija težišta (težišnica) i os riječnog korita.



*Slika 2.2. Prikaz elemenata vodotoka u poprečnom presjeku [2].*

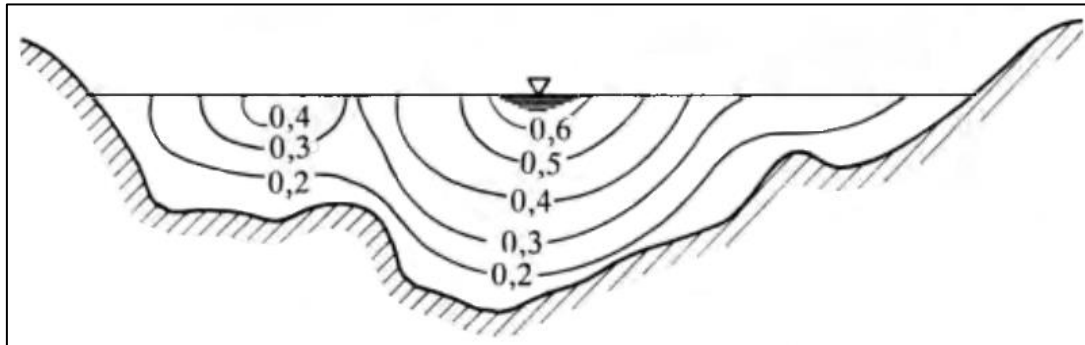
Talweg (u engleskom izvorniku thalweg) predstavlja spojnicu točaka najvećih dubina u sukcesivnim poprečnim profilima. Kao što je vidljivo na slici 2.3. najveće dubine u pojedinim poprečnim profilima rijetko se poklapaju s osi riječnog korita. Razlog tomu je prirodna dinamika rijeka. Na konkavnoj, vanjskoj obali u zavoju rijeka erodira obalu, dok na konveksnoj, unutarnjoj strani obale taloži sediment. Posljedično, u poprečnim profilima, najveće dubine vodotoka u zavojima su smještene bliže vanjskoj, erodiranoj obali.



*Slika 2.3. Prikaz talwega na dionici vodotoka [7].*

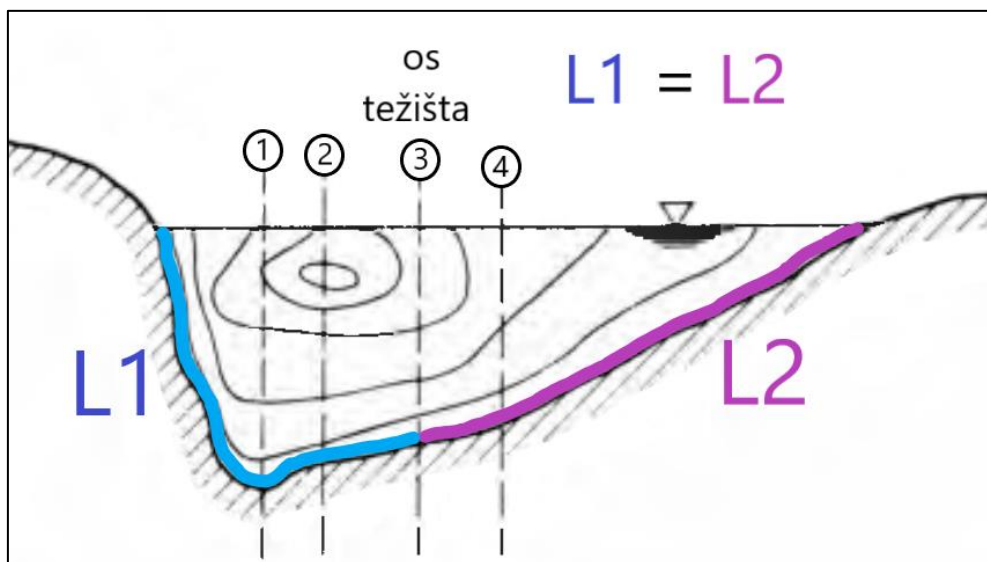


Matica vodotoka jest spojnica točaka najvećih brzina u sukcesivnim poprečnim profilima. Brzina vode i raspodjela brzina u poprečnom presjeku vrlo su važne za regulaciju vodotoka. Što je protjecajni profil nepravilniji, to je nepravilnija i raspodjela brzina, kako je prikazano na slici 2.4. Najveće su brzine većinom blizu površini. Na dnu je brzina jednaka nuli i ona ima tu vrijednost samo u tankom sloju iznad dna. Raspodjela se brzina u nepravilnom riječnom koritu može odrediti samo mjerenjem. Linije koje spajaju točke jednakih brzina tečenja vode nazivaju se izotahama.



Slika 2.4. Raspodjela brzina u profilu vodotoka (brzine u m/s) [8].

Linija (os) težišta predstavlja spojnicu linija koje dijele omočenu površinu na jednake polovice u sukcesivnim poprečnim profilima (slika 2.5.).



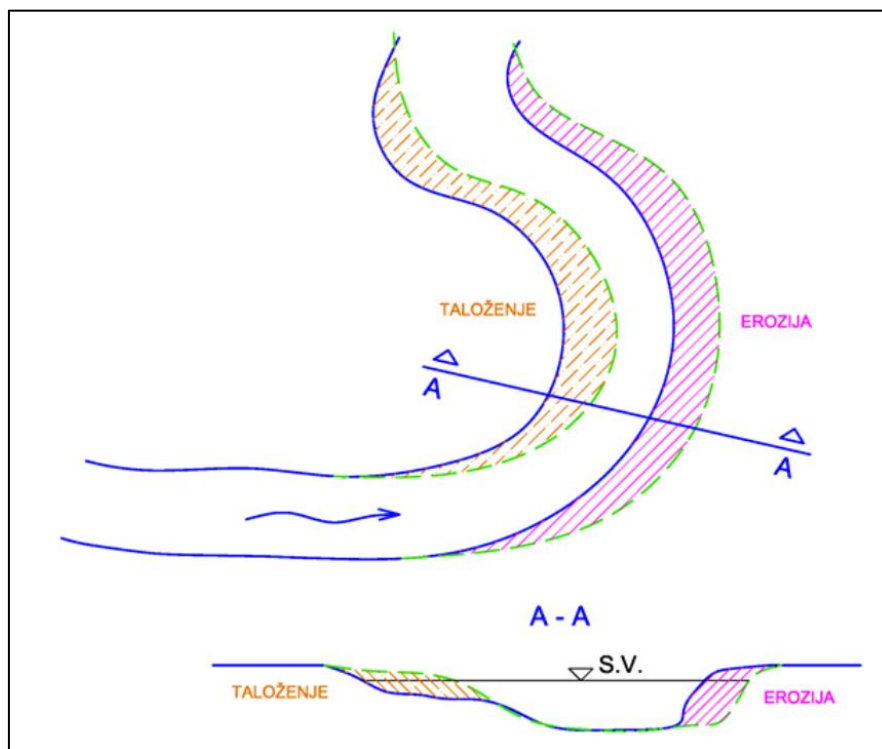
Slika 2.5. Prikaz osi težišta [8].

Os riječnog korita jest crta koja je jednako udaljena od lijeve i desne obale. U situacijske planove vodotoka, uz liniju najvećih dubina, unosi se upravo i os riječnog korita. Budući da os riječnog korita ovisi o vodostaju, u plan se mora unijeti i podatak o vodostaju kojemu odgovara prikazana ucrtana os. Uz tu os unosi se stacionaža, udaljenost od riječnog ušća [3], [8].

## 2.1. Meandri i sprudovi

Dinamika nizinskih rijeka podrazumijeva eroziju i taloženje sedimenta, a omogućuje meandriranje, stvaranje rukavaca i novih staništa. Nizinske rijeke imaju svojstvo da mogu pomicati svoje korito. Iako taj proces ponekad traje po nekoliko desetljeća, neke se promjene lako mogu zapaziti. Pogledaju li se rijeke uz državne granice, uočiti će se da njihov današnji tok ne odgovara granici. Granica je očito bila zacrtana prema nekadašnjem toku koji se u međuvremenu premjestio. Još bolju sliku dobiva se usporedbom nekadašnjih tokova na starim kartama. Rijeka može mijenjati položaj u svojoj aluvijalnoj ravnici, gdje nastaju, ali i nestaju njegovi različiti elementi: sprudovi, rukavci, mrtvice, otoci itd.

Rijeka na jednoj strani erodira obalu, a na drugoj taloži sediment (prikazano na slici 2.6.). Ovisno o njezinoj snazi, vrsti podloge i nagibu, mijenja se brzina erozije. Ipak, vidljiva je čak u jednoj godini, najčešće po urušenim stablima uz samu obalu.

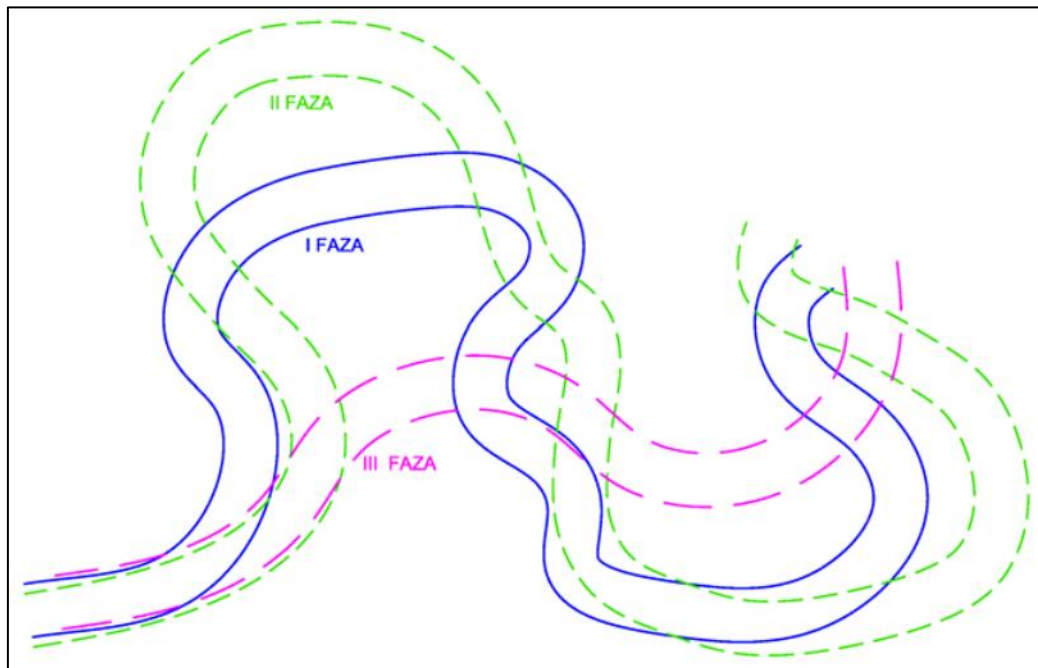


Slika 2.6. Prikaz taloženja i erozije, tlocrtno i u poprečnom presjeku [3].

Za visokih voda rijeka mehaničkim djelovanjem otkida dijelove obale, često pijesak, šljunak ili zemlju. Rijeka dakle načne dio obale i s vremenom je sve više produbljuje pa nastaje meandar, odnosno zavoj. Tada matica udara sve jače i proces se ubrzava i jača. Malo-pomalo i meandar je sve više zakrivljen (slika 2.7.); dok rijeka svu snagu usmjerava na tu obalu, suprotna strana ostaje spora i s malo energije, a povratne struje čak teku natrag i talože sediment u obliku



šljunčanih, pješčanih ili muljevitih nanosa, to su tzv. sprudovi. Zato je ova obala plića i blagog je nagiba. Malo-pomalo jedan meandar može narasti nekoliko metara na godinu [4].



Slika 2.7. Meandriranje riječnog korita [3].

Razvojem meandara dolazi do postupnog približavanja tjemena protukrivina, što se odvija sve dotle dok ne dođe do prirodnog prosijecanja pojasa između dva meandra (III. faza na slici 2.7.), tj. dolazi do prirodnog prodora meandra [9].

## 2.2. Rukavci i mrtvice

Rukavci su važan dio staništa rijeka i često su indikator žive rijeke. Odvajaju se od glavnog toka i teku zasebno, sve dok se ponovno ne spoje s maticom. Nastaju bilo kao odvojci rijeke, bilo kao stari meandri kroz koje rijeka još uvijek teče (slika 2.8.). Rijeka svojom prirodnom dinamikom neprestano stvara nove rukavce. U početku voda još može teći brzo, no polako se usporava i postaje plića. U jednom trenutku može izgubiti vezu s maticom i tada postaje mrtvica ili mrtvaja, tj. mrtvi tok. Rukavci su stoga ključna karika u održavanju raznolikosti i funkcionalnosti nizinske rijeke.

S obzirom na starost, razlikuju se uvjeti u rukavcima. Snaga vode je općenito manja u odnosu na glavni tok. Rukavci su i redovito plići zbog neprestanog nanošenja šljunka, pijeska ili mulja. Osim toga, manja snaga vode teže razmješta taj sediment koji se polako nagomilava. Struja je tamo sporija, što zbog otpora sedimenta i manje dubine, što zbog manje količine vode

koja ulazi u rukavac. Za vrijeme niske vode rukavac može privremeno i presušiti, najčešće u zimskim i ljetnim mjesecima. Nekad vodostaj varira i dnevno, pogotovo kod rijeka na koje utječu ljudi, primjerice kod rijeka na kojima su izgrađene hidroelektrane. Tako primjerice navečer vodostaj može biti i do jedan metar viši nego ujutro.

Rukavci su vrlo značajni i za ljude. Ponajviše djeluju kao prirodni primaoci visokih voda koji ublažavaju izlivanja rijeka. Oni su i prirodni kanali koji odvedu suvišnu vodu duboko u poplavnu šumu ili livadu, također prirodne rezervoare visokih voda [10].



*Slika 2.8. Rukavac nastao kao stari meandar kroz koji rijeka još uvijek teče [11].*

Mrtvice (mrtvaje, mrtvi rukavci) su dijelovi nekadašnjeg toka koji sada više ne teku. To su stajačice, močvare, odnosno vrlo bogata staništa.

Ukoliko se rukavac odvoji od matice i prestane teći, tada nastaje mrtvica. Najčešće je polukružnog oblika koji je naslijedila od riječnog meandra (slika 2.9.). Nizinska rijeka za sobom ostavlja takve mrtvice, tragove nekadašnjeg toka, koje nije teško raspoznati ako se gleda iz zraka po njihovoj običnoj zagasitoj boji. Neke su okružene zelenilom, a neke poljima. Iako su razlike ublažene vegetacijom i atmosferom, još se zapažaju nekadašnje nasuprotne strme i plitke obale.

Premda su mrtvice odsječene, visoke vode mogu ih ispuniti u vrijeme poplava, pročišćujući ih i opskrbljujući vodom, ali je njihov razvoj već poznat: one će se postupno zatrpavati i polako krenuti put kopna. To je prirodan proces koji zahvaća sve plitke stajačice [12].



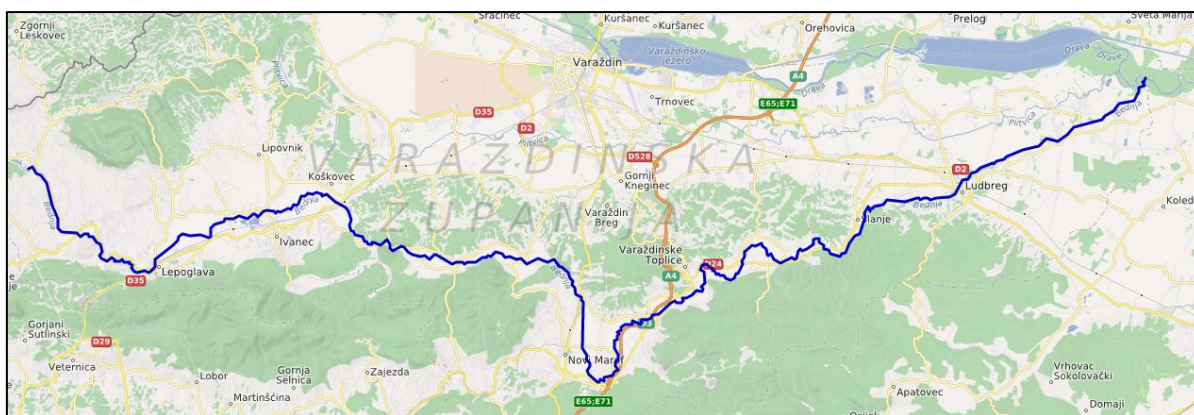
*Slika 2.9. Primjer mrtvice rijeke [12].*



### 3. Primjer rijeke Bednje

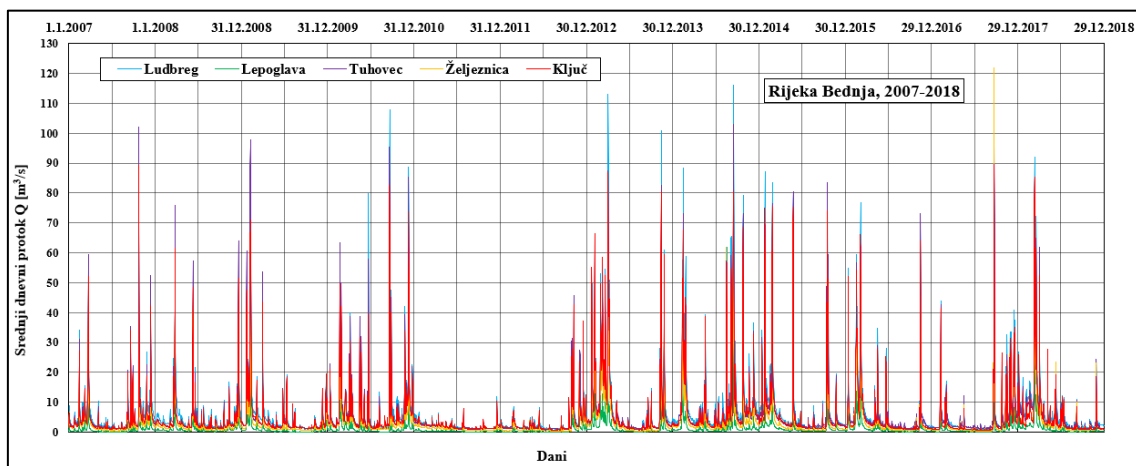
#### 3.1. Opis rijeke Bednje

Rijeka Bednja izvire u mjestu Bednjica koje se nalazi u podnožju Ravne gore u Varaždinskoj županiji. To je najdulja rijeka koja ima i izvor i ušće u Republici Hrvatskoj. Na svome putu dugačkom oko 133 km u pravcu istoka teče između Ravne gore i Ivančice, a na dodiru Ivančice i Topličke gore se kroz viši teren probila prema jugu i napravila veliki zaokret jer su joj put prepriječili obronci Kalnika. Odavde se usmjerila prema sjeveroistoku i teče između Topličke gore i Kalnika prema ušću u rijeku Dravu (prikaz na slici 3.1.). Današnja širina rijeke kreće se od 10 do 20 m, a dubina do 3 m [13].



Slika 3.1. Tok rijeke Bednje [14].

Na slici 3.2. prikazan je hidrogram, odnosno graf promjene protoka (u ovom slučaju srednjih dnevnih protoka) u razdoblju 2007. - 2018. godine, na svih 5 mjernih postaja na rijeci Bednji (od izvora prema ušću to su: Lepoglava, Željeznica, Ključ, Tuhovec i Ludbreg).



Slika 3.2. Srednji dnevni protoci s mjernih postaja na rijeci Bednji [15].

Općenito, iz prikazanog hidrograma lako je uočljivo kako su na isti dan najmanji protoci zabilježeni na mjernoj postaji Lepoglava koja je najbliža izvoru rijeke Bednje pa obuhvaća i najmanju topografsku površinu sliva (89,80 km<sup>2</sup>), dok su najveći protoci zabilježeni na mjernoj postaji Ludbreg koja je od 5 promatranih postaja najudaljenija od izvora pa obuhvaća i najveću topografsku površinu sliva (546,98 km<sup>2</sup>). Nadalje, nagli skokovi grafa dokaz su kako rijeka Bednja ima bujični karakter koji dolazi do izražaja tijekom jakih i intenzivnih oborina pa u razmaku od nekoliko dana srednji dnevni protok može narasti čak 100 m<sup>3</sup>/s (npr. srednji dnevni protok na mjernoj postaji Ludbreg 10.9.2014. iznosio je 10,05 m<sup>3</sup>/s, dok je samo tri dana kasnije zabilježen protok od 112,30 m<sup>3</sup>/s) [15].

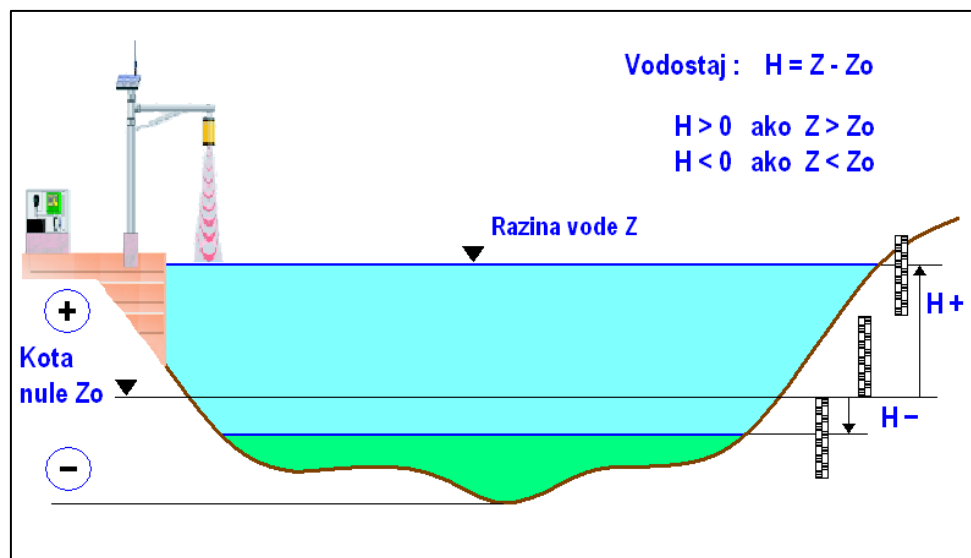
Na rijeci Bednji izvršena je hidrometrija s ciljem morfološke analize poprečnih presjeka. Hidrometrija (složenica grčkih riječi: voda + mjerenje) jest grana hidrologije koja se bavi mjernim metodama i tehnikama za određivanje elemenata vodnog režima, mjerenje različitih karakteristika vezanih uz vodu (vodostaj, dubina, brzina strujanja, protok, temperatura vode, koncentracija različitih tvari u vodi itd.), obradbu podataka mjerenja i organizaciju hidrometrijskih postaja za dobivanje optimalnih informacija. Može se podijeliti na hidrometriju mora, površinskih voda, atmosferskih voda, otpadnih voda i podzemnih voda [16].

Protok predstavlja količinu vode koja protječe kroz neku protjecajnu površinu u jedinici vremena. U hidrološkoj praksi se pod pojmom “količina“ redovito podrazumijeva volumen vode, za razliku od nekih drugih tehničkih disciplina gdje se susreću i drugi oblici protoka (npr. maseni protok). Slijedom rečenog, protok se u hidrometriji najčešće iskazuje u kubnim metrima u sekundi [m<sup>3</sup>/s]. Ako su iznosi protoka maleni, protok se može iskazati i u litrama u sekundi [l/s]. Protok je izvedena veličina koja se, kao takva, najčešće određuje posredno – mjerenjem brzine strujanja vode i površine protjecajnog presjeka.

Danas je mjerenje razine vode na rijekama (vodostaja) jedno od najjednostavnijih mjerenja koje se u tehnici mjerenja provodi uopće. Da bi se očitao vodostaj dovoljno je na mjerno mjesto postaviti tek vodomjernu letvu s odgovarajućom skalom. Način mjerenja je toliko jednostavan da nepromijenjen vrijedi, očito, već nekoliko tisuća godina. U kombinaciji s određivanjem (ili mjerenjem) protoka, vodostaj daje kompletnu sliku stanja nekog vodotoka. Vrijednosti protoka i vodostaja, kao i njihov međusobni odnos (protočna krivulja), predstavljaju stoga temelj na osnovu kojega se provode sve aktivnosti vezane uz vodu. Ove pak aktivnosti obuhvaćaju široki skup djelatnosti vezanih uz energetiku, poljoprivredu, ekologiju i vodno gospodarstvo.

Danas se vodostaji rijeka mjere na hidrometrijskim stanicama raspoređenim duž vodotoka. U tu svrhu se na vodotocima osnivaju tzv. vodokazni profili. Na svakom vodokaznom profilu

postavljaju se vodokazne mjerne letve pomoću kojih se, potom, očitavaju iznosi vodostaja. Mjerne letve postavljaju se u koritu i na obalama vodotoka na način da njihov raspon visina “pokriva” raspon promjene vodostaja. Na svakom vodokaznom profilu određuje se referentna točka mjerenja vodostaja na kojoj se uzima da je očitavanje vodostaja jednako nuli (tzv. “kota nule”). Apsolutna nadmorska visina kote nule se pritom uvijek mora odrediti geodetskim mjerenjem. Na taj način je naknadno moguće vršiti usporedbu mjerenja vodostaja sa stanjem vodostaja na susjednim hidrometrijskim stanicama, određivati padove vodnog lica itd. Na samoj se stanici pozicija kote nule odabire na način da ona (po mogućnosti) bude na visini koja odgovara najnižem vodostaju na razmatranoj stanici. Time se izbjegava pojava negativnih očitavanja vodostaja (takav način mjerenja vodostaja valja izbjegavati). U praksi se ipak javljaju i negativni vodostaji. Razlog tomu treba tražiti u činjenici da se korito vodotoka protjecanjem vode stalno mijenja, pa tako često puta dolazi i do njegova produbljivanja. Zbog toga, posebno na stanicama koje su osnovane prije više desetaka godina, nije rijetkost da se javljaju i negativni vodostaji (prikaz na slici 3.3.).



Slika 3.3. Pozitivni i negativni vodostaji [17].

Iako mjerna letva predstavlja osnovnu referencu za mjerenje vodostaja (slika 3.4.) pa se kao takva mora nalaziti na svakom vodokaznom profilu (bilo vertikalna ili kosa), u današnje vrijeme postoje i napredniji načini očitavanja vodostaja. Vodostaji se, prije svega, moraju na određeni način zapisati. Takvi zapisi čuvaju su u formi vremenskih nizova podataka. Za neke hrvatske hidrometrijske stanice čuvaju se i postoje vremenski zapisi vodostaja koji sežu unazad stotinjak godina. Ovakvi zapisi služe za dugoročne analize i studije o stanjima vodotoka. Najstariji oblici zapisa vodostaja bili su zapisi na papiru. Takvi su zapisi, u pravilu, nastali na mehaničkim

limnigrafskim uređajima za mjerenje vodostaja. Slični se mjerni instrumenti još uvijek koriste na velikom broju hrvatskih hidrometrijskih stanica. Analogni zapisi vodostaja sa ovakvih instrumenata se danas više ne čuvaju samo na papiru nego se redovito i digitaliziraju, dakle pretvaraju u digitalni oblik. Digitalni zapisi podataka mnogo se lakše naknadno obrađuju i čuvaju. U najnovije vrijeme se za mjerenje vodostaja sve više primjenjuje digitalna mjerna oprema, koja rezultate mjerenja pohranjuje izravno u memoriju instrumenta (ili računala) u digitalnom obliku. Digitalni instrumenti, u kombinaciji s telekomunikacijskom opremom, imaju i mogućnost slanja podataka mjerenja vodostaja na daljinu. Stoga je podatke mjerenja vodostaja s nekog udaljenog mjesta moguće imati na raspolaganju u realnom ili gotovo realnom vremenu. Budući da su zahtjevi za podacima u realnom vremenu svakim danom sve izraženiji, stara analogna tehnologija ubrzano se zamjenjuje novijom, digitalnom.



Slika 3.4. Vodokazni profili [17].

Jedan od temeljnih postupaka mjerenja protoka u otvorenim kanalima i vodotocima je metoda brzina – površina. Protok se dakle kao izvedena veličina određuje na temelju sljedećeg osnovnog izraza:

$$Q = \bar{v} \cdot A \quad (1)$$

gdje je:

$Q$  – protok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $\bar{v}$  – srednja brzina strujanja [ $\text{m}/\text{s}$ ],  $A$  – površina protjecajnog presjeka [ $\text{m}^2$ ]

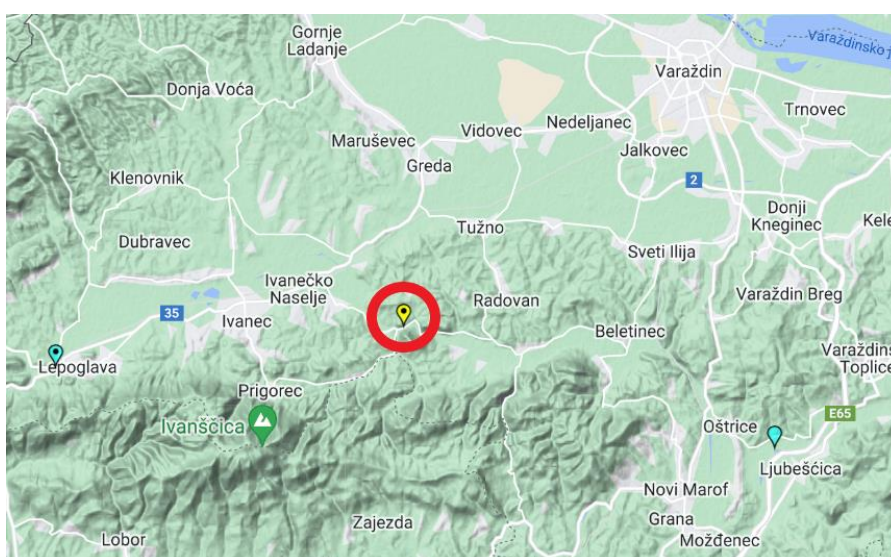
Kod tog, klasičnog, postupka brzine strujanja vode ne mjere se u cjelokupnom volumenu vode, već samo u pojedinim njegovim točkama. Mjesto na vodotoku na kojemu će se provesti određivanje protoka treba pritom pažljivo odabrati, sljedeći preporuke iz normi koje propisuju načine provedbe same norme. Da bi se odredila površina protjecajnog presjeka potrebno je izmjeriti kako širinu vodotoka tako i podvodnu konfiguraciju dna vodotoka.



Površina protjecajnog presjeka ovisi o razini vodostaja. Žele li se dakle dobiti podaci o veličini protoka, potrebno je imati podatke o vodostajima na određenoj mjernoj postaji. Što je razina vode viša, bit će veća i sama površina kroz koju voda protječe pa je analogno i veći protok vode [17].

### 3.2. Hidrometrijska postaja Željeznica

Željeznica je naselje u sastavu grada Ivanca u Varaždinskoj županiji, a njena lokacija prikazana je na slici 3.5. Uz hidrometrijsku postaju Željeznica na vodotoku Bednja nalaze se još četiri postaje: Lepoglava, Ključ, Ludbreg i Tuhovec.



Slika 3.5 Lokacija postaje Željeznica [17].

Na slici 3.6. prikazana je i satelitska snimka dijela rijeke Bednje na kojem se nalazi već spomenuta hidrometrijska postaja Željeznica [17].



Slika 3.6. Satelitska snimka lokacije postaje Željeznica [17].



### 3.2.1. Podaci postaje Željeznica

Od osnovnih podataka mjerne postaje Željeznica na rijeci Bednji (slika 3.7.) treba istaknuti da ovaj vodotok pripada Crnomorskom slivu te porječjima Drave i Dunava, dok se promatrana postaja nalazi na udaljenosti 71 km od ušća, dakle približno na polovici ukupne duljine rijeke koja iznosi 133 km. U lipnju ove godine, dakle 15.6.2023., prošlo je već 65 godina od početka rada ove postaje.

Ime	ŽELJEZNICA
Šifra	5075
Tip postaje	Automatska dojava
Vodotok	BEDNJA
Sliv	CRNOMORSKI SLIV
Porječje	Porječja Drave i Dunava
Početak rada	15. 06. 1958.
Kraj rada	--
Kota nule vodokaza (m n/m)	196,828
Udaljenost od ušća (km)	71,000
Udaljenost od izvora (km)	--
Topografska površina sliva (km <sup>2</sup> )	307,950

Slika 3.7. Osnovni podaci mjerne postaje Željeznica [17].

Obzirom da je ovaj tip postaje, koja je smještena na desnoj obali rijeke Bednje (slika 3.8.), opremljen digitalnom mjernom opremom s mogućnošću slanja podataka mjerenja na daljinu, moguće je imati na raspolaganju u realnom ili gotovo realnom vremenu podatke o satnom vodostaju. Ti podaci mogu se pronaći na internetskoj stranici Državnog hidrometeorološkog zavoda (<https://hidro.dhz.hr/>).



Slika 3.8. Prikaz postaje Željeznica [17].

Promatra li se mjerenje vodostaja i protoka, na navedenoj lokaciji zabilježeni su sljedeći ekstremi, prikazani na slici 3.9.

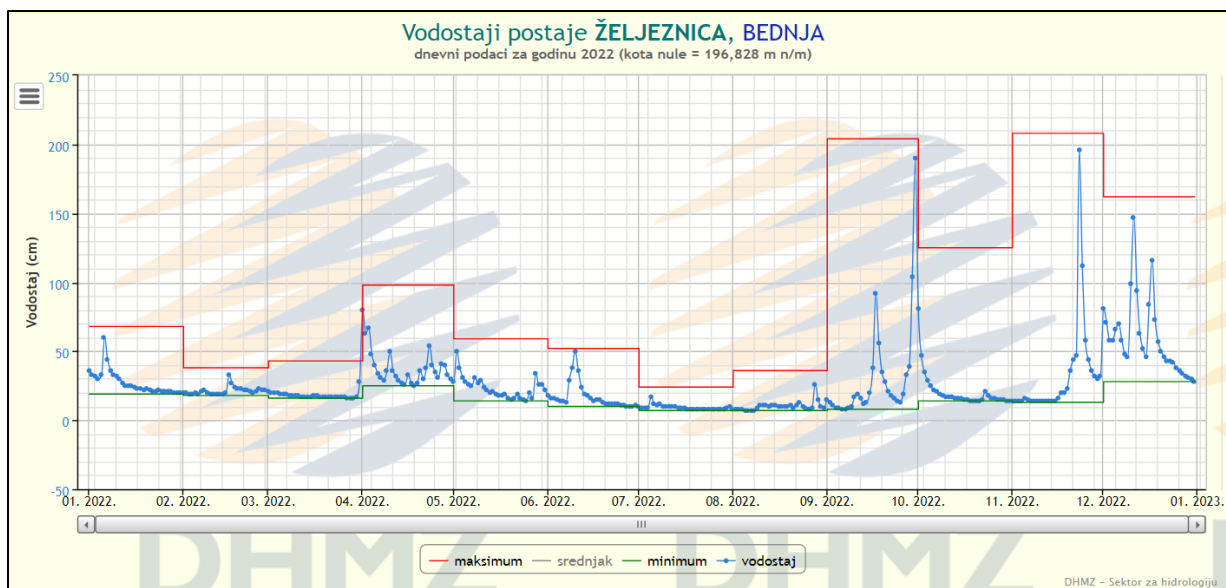
Vrsta mjerenja	Info
VODOSTAJ	<b>Ekstremi</b>
	<b>Razdoblje:</b> 1959. - 2022. Kota nule: 196,828 m n/m Minimum: 30. 9. 2012. 6 cm Maksimum: 14. 7. 1972. 386 cm
	<b>Godine mjerenja:</b> 1959-2022
PROTOK	<b>Ekstremi</b>
	<b>Razdoblje:</b> 1959. - 2022. Minimum: 3. 2. 1998. 0,134 m <sup>3</sup> /s Maksimum: 20. 9. 2017. 132,1 m <sup>3</sup> /s
	<b>Godine mjerenja:</b> 1959-2022

Slika 3.9. Ekstremi mjerenja vodostaja i protoka na postaji Željeznica [17].

Minimalni vodostaj (za dostupne podatke o mjerenju u razdoblju od 1959. do 2022. godine) od samo 6 cm zabilježen je 2012. godine, dok je primjerice minimalni vodostaj za 2022. godinu iznosio također, gotovo rekordno, niskih 7 cm. Maksimalni vodostaj izmjeren je davne 1972. godine, a iznosio je čak 386 cm. Za usporedbu maksimalni vodostaj 2022. godine iznosio je znatno manjih 208 cm.

Minimalni protok zabilježen je 1998. godine i iznosio je samo 0,134 m<sup>3</sup>/s, odnosno iskazano u litrima po sekundi 134 l/s, što je vrlo mali protok za jednu rijeku kao što je Bednja. Prošle, 2022. godine minimalni je protok iznosio 0,335 m<sup>3</sup>/s. Maksimalni zabilježeni protok iznosio je čak 132,1 m<sup>3</sup>/s, izmjeren 20.9.2017. godine. Toga dana, podrazumijeva se, bio je i vrlo visok vodostaj od 362 cm. Za usporedbu, maksimalni protok 2022. godine iznosio je dosta manjih 47,73 m<sup>3</sup>/s.

Nivogram jest grafički prikaz promjene vodostaja tijekom nekog promatranog razdoblja. Podaci za minimalne i maksimalne vodostaje u 2022. godini iščitani su iz nivograma koji je prikazan na slici 3.10.



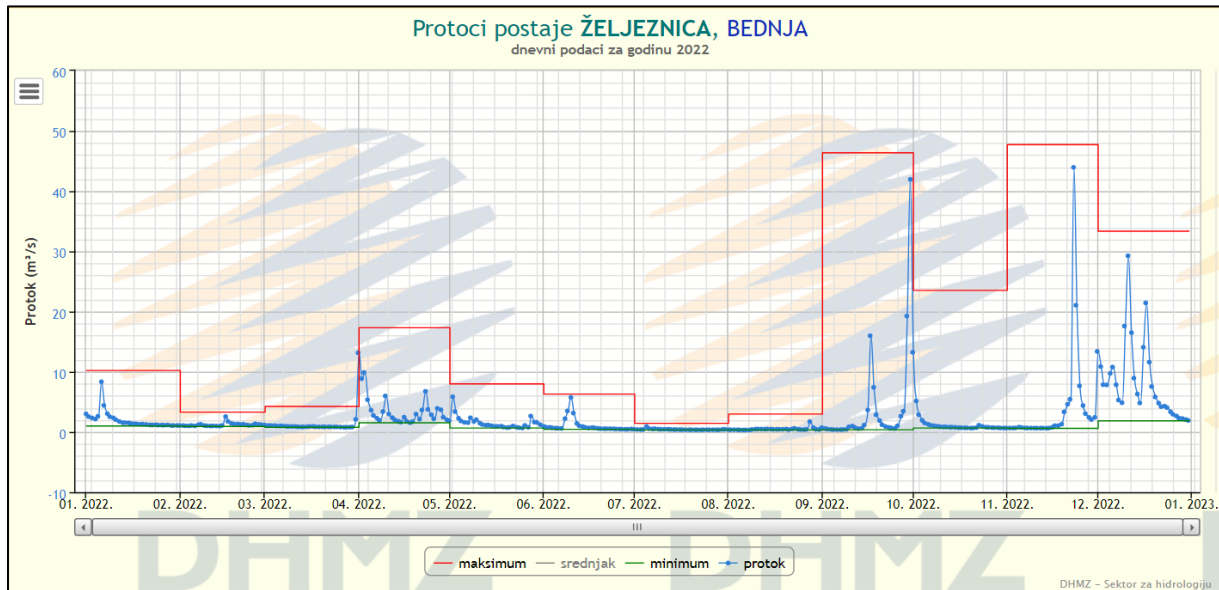
Slika 3.10. Vodostaji postaje Željeznica za 2022. godinu [17].

Na prikazanom nivogramu vodostaj je označen plavom bojom. Taj grafički prikaz vodostaja dobiven je spajanjem 365 točaka koje predstavljaju srednji dnevni vodostaj izmjeren za svaki dan u 2022. godini. Crvenom bojom prikazan je apsolutni mjesečni maksimum pa se iz tog razloga ova linija ne poklapa s grafom srednjih dnevnih vodostaja. Zelenom bojom prikazan je mjesečni minimum vodostaja.

U prva tri mjeseca može se primijetiti da nije bilo velikih promjena vodostaja, uz iznimku po jednog skoka u mjesecu siječnju i veljači, vodostaj se većinom kretao oko 20 cm. Zatim od travnja do sredine lipnja slijedi razdoblje češćih promjena vodostaja uz ekstrem od 98 cm izmjeren 1. travnja. Srednji mjesečni vodostaj za mjesec travanj iznosio je 38 cm, dok u mjesecu svibnju taj prosjek pada na 24 cm. Od druge polovice lipnja pa do kraja mjeseca kolovoza ponovno dolazi jedno razdoblje vrlo niskih vodostaja, a razlog tomu je ekstremno sušno ljeto s vrlo malo oborina. Kao posljedica javljaju se vrlo niski srednji mjesečni vodostaji pa je tako u mjesecu srpnju prosječni vodostaj iznosio samo 9 cm, a u mjesecu kolovozu tek centimetar više, 10 cm. Zanimljivo je izdvojiti i podatak da je u dva navrata ovoga ljeta gotovo oboren rekord minimalnog vodostaja izmjerenog od početka rada ove postaje koji iznosi 6 cm (izmjereno 30.9.2012.). Tako je na dane 21.7. i 5.8.2022. izmjeren vodostaj od samo 7 cm. Dva kišna vala, sredinom i krajem mjeseca rujna razlog su češćim promjenama vodostaja, a na posljednji rujanski dan, 30.9.2022. izmjeren je drugi najveći vodostaj u cijeloj godini i iznosio je 204 cm. Zatim ponovno dolazi razdoblje niskih vodostaja s vrlo malim promjenama kroz listopad i prvu polovicu studenoga kada se vodostaj kretao većinom oko 15 cm. Jedan jači oborinski val, koji donosi velik skok u razini vodostaja dolazi krajem studenoga kada je i

zabilježen maksimalni vodostaj cijele godine, dana 23.11.2022. izmjeren je vodostaj od 208 cm. Mjesec prosinac donio je neočekivano česte oborine pa se može uočiti da je ovo mjesec s najvećim oscilacijama u vodostaju u cijeloj godini. Također u prosincu je posljedično ostvaren i najveći mjesečni srednjak vodostaja u cijeloj godini i iznosio je prosječnih 59 cm.

Za grafički prikaz promjene protoka u nekom promatranom vremenskom periodu koriste se hidrogrami. Podaci za minimalne i maksimalne protoke u 2022. godini iščitani su iz hidrograma koji je prikazan na slici 3.11.



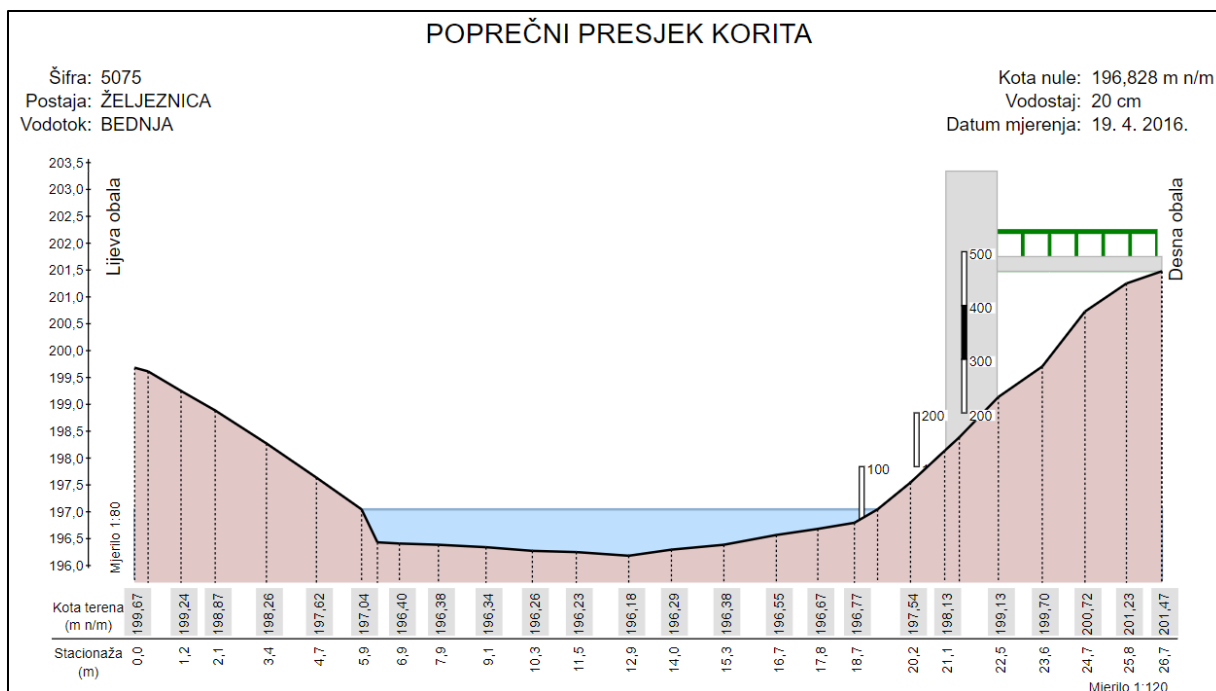
Slika 3.11. Protoci postaje Željeznica za 2022. godinu [17].

Ukoliko se preklepe ova dva grafička prikaza, nivogram i hidrogram na slikama 3.9. i 3.10., odnosno usporedi li se promjena vodostaja s promjenom protoka u 2022. godini na mjernoj postaji Željeznica može se uočiti da se dobije gotovo identični graf. Razlog tome je već spomenuta ovisnost između vodostaja i protoka, odnosno s porastom vodostaja, logično raste i protok, a sa smanjenjem vodostaja smanjuje se i protok. Grafički prikaz odnosa vodostaja i protoka prikazuje se protočnom krivuljom.

Za usporedbu, na dan kada je izmjeren najveći vodostaj od 208 cm, 23.11.2022. također je izmjeren i najveći protok u cijeloj godini i iznosio je 47,73 m<sup>3</sup>/s.

Prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda na postaji Željeznica do sada je izvršeno 7 mjerenja profila korita. Jedno takvo mjerenje, odnosno prikaz poprečnog presjeka korita prikazan je na slici 3.12. Mjerenje je izvršeno 19.4.2016. godine, a u tom trenutku vodostaj je bio prilično nizak i iznosio je 20 cm. Važno je istaknuti i da je određena kota nule na 196,828 m n/m, što je važno za usporedbu s drugim mjernim postajama [17].





Slika 3.12. Poprečni presjek korita na postaji Željeznica [17].

### 3.2.2. Izvršena mjerenja na postaji Željeznica

Za potrebe ovog završnog rada izvršena mjerenja na postaji Željeznica (kao i na postajama Ključ i Ludbreg prikazana u potpoglavljima 3.3.2. i 3.4.2. ) preuzeta su iz diplomskog rada u autorstvu Bigor P. [18]. Analiza rezultata mjerenja izvršena je samostalno.

Mjerenja su izvršena pomoću 2D ultrazvučnog mjernog uređaja SonTek FlowTracker 2. Navedeni instrument koristi ultrazvučnu tehnologiju u kompaktnom, ručnom izdanju, za izvršavanje preciznih mjerenja brzine vode u potocima, rijekama, otvorenim kanalima i slično.


Na svim lokacijama postupak mjerenja proveden je na isti način. Postupak započinje dolaskom na lokaciju i pregledom terena, a važno je uvidjeti je li teren uopće pogodan za mjerenje te može li se sigurno ući u rijeku. Nakon pregleda terena pristupa se samom postupku mjerenja na način da se na lijevu i desnu obalu rijeke postave učvršćenja za mjernu traku koja se razvlači preko rijeke. Mjerenja se rade u pravilnom rasteru, uglavnom se kao raster odabire jedna dvadesetina ukupne širine rijeke na mjestu mjerenja, što je preporuka Svjetske meteorološke organizacije. Na sve tri lokacije mjerenja su bila obavljena u rasteru od 1 m, a širina rijeke niti na jednoj lokaciji nije prelazila 15 m. Što je raster mjerenja manji, to su rezultati precizniji i točniji, ali se troši i više vremena za mjerenje.

Mnogi parametri utječu na samu kvalitetu mjerenja te ih je potrebno uzeti u obzir. Na dnu korita često se nalazi vegetacija, a samom rijekom može ploviti razno granje koje uređaju predstavlja određenu vrstu smetnje te može utjecati na rezultate mjerenja.

Mjerenje na postaji Željeznica izvršeno je na 15 točaka duž odabranog poprečnog presjeka korita, a ukupna udaljenost između krajnjih mjernih točaka iznosila je 14,7 m, dok je prosječni interval mjerenja iznosio 40 s, što je prikazano i u općim informacijama o mjerenju na slici 3.13.

Od ostalih općih informacija o mjerenju vrijedi izdvojiti sljedeće podatke:

- maksimalna dubina: 1,040 m
- srednja dubina: 0,712 m
- maksimalna brzina: 0,601 m/s
- srednja brzina: 0,438 m/s
- srednja temperatura vode: 15,625 °C
- površina poprečnog presjeka korita: 10,461 m<sup>2</sup>
- protok: 4,582 m<sup>3</sup>/s

		<h1>Discharge Measurement Summary</h1>																									
<b>Site name</b> Bed <b>Site number</b> 5 <b>Operator(s)</b> Kb <b>File name</b> 20210511-144823_Bed.ft <b>Comment</b>																											
<b>Start time</b> 11.5.2021. 13:53 <b>End time</b> 11.5.2021. 14:44 <b>Start location latitude</b> 46,220 <b>Start location longitude</b> 16,200 <b>Calculations engine</b> FlowTracker2		<b>Sensor type</b> Top Setting <b>Handheld serial number</b> FT2H2025030 <b>Probe serial number</b> FT2P2024010 <b>Probe firmware</b> 1.30 <b>Handheld software</b> 1.6.4																									
<b># Stations</b> 15		<b>Avg interval (s)</b> 40																									
<b>Total width (m)</b> 14,700		<b>Total area (m<sup>2</sup>)</b> 10,461																									
<b>Mean SNR (dB)</b> 39,239		<b>Mean depth (m)</b> 0,712																									
<b>Mean temp (°C)</b> 15,625		<b>Max depth (m)</b> 1,040																									
<b>Discharge Uncertainty</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>ISO</th> <th>IVE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Accuracy</td> <td>1,0 %</td> <td>1,0 %</td> </tr> <tr> <td>Depth</td> <td>0,2 %</td> <td>2,4 %</td> </tr> <tr> <td>Velocity</td> <td>0,4 %</td> <td>1,7 %</td> </tr> <tr> <td>Width</td> <td>0,2 %</td> <td>0,2 %</td> </tr> <tr> <td>Method</td> <td>1,1 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td># Stations</td> <td>3,3 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Overall</td> <td><b>3,7 %</b></td> <td><b>3,1 %</b></td> </tr> </tbody> </table>		Category	ISO	IVE	Accuracy	1,0 %	1,0 %	Depth	0,2 %	2,4 %	Velocity	0,4 %	1,7 %	Width	0,2 %	0,2 %	Method	1,1 %		# Stations	3,3 %		Overall	<b>3,7 %</b>	<b>3,1 %</b>	<b>Discharge equation</b> Mid Section <b>Discharge uncertainty</b> IVE <b>Discharge reference</b> Rated	
Category	ISO	IVE																									
Accuracy	1,0 %	1,0 %																									
Depth	0,2 %	2,4 %																									
Velocity	0,4 %	1,7 %																									
Width	0,2 %	0,2 %																									
Method	1,1 %																										
# Stations	3,3 %																										
Overall	<b>3,7 %</b>	<b>3,1 %</b>																									
		<b>Data Collection Settings</b> <b>Salinity</b> 0,000 PSS-78 <b>Temperature</b> - <b>Sound speed</b> - <b>Mounting correction</b> 0,000 %																									
<b>Summary overview</b> No changes were made to this file Quality control warnings																											

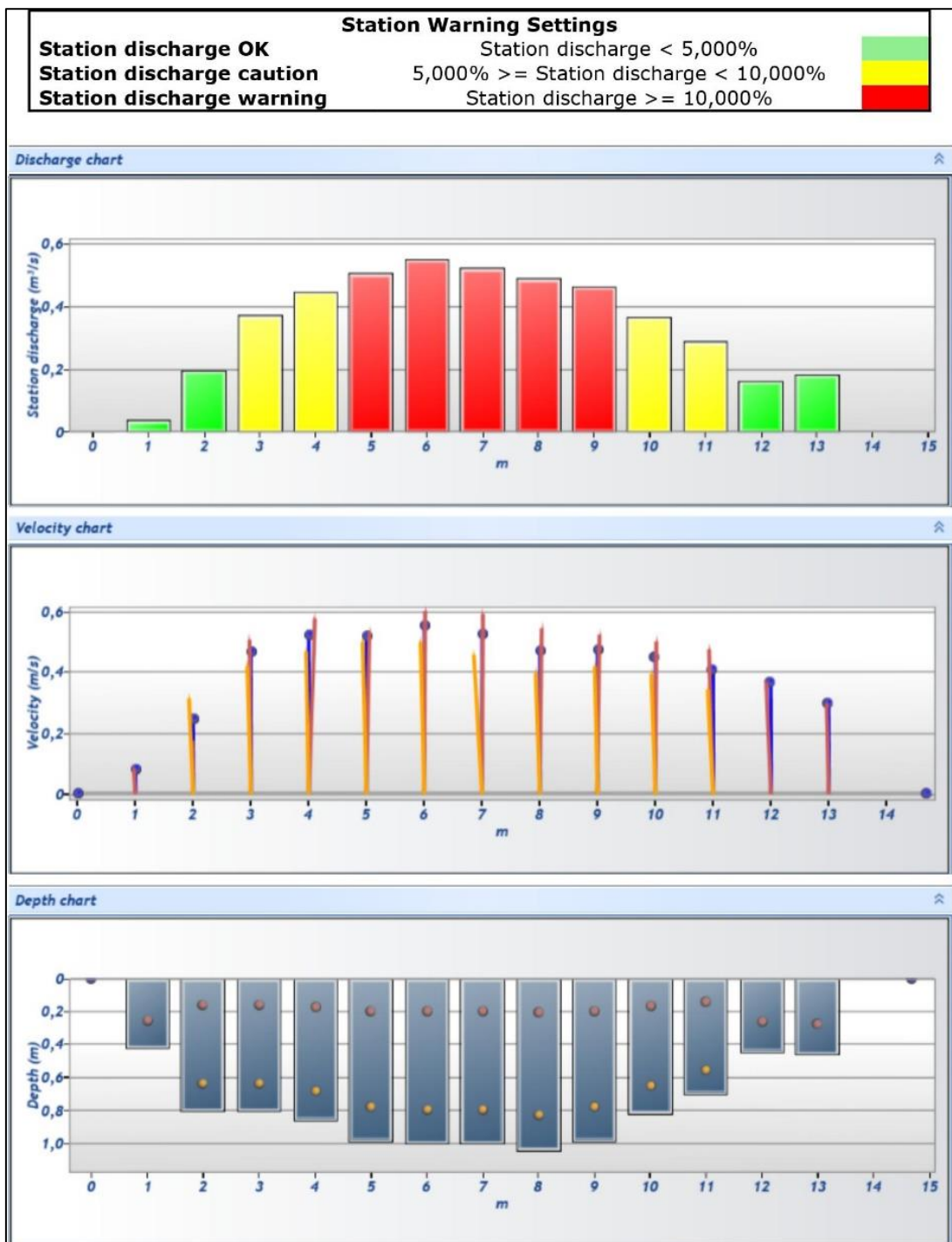
Slika 3.13. Mjerenje na postaji Željeznica – opće informacije [18].

Na slici 3.14. prikazani su grafički rezultati mjerenja na mjernoj postaji Željeznica.

Prvi graf prikazuje podatke o izmjenom protoku za svaku od 15 mjernih točaka. Protok, odnosno količina vode koja protječe kroz odabranu protjecajnu površinu u jedinici vremena, ovisi o brzini strujanja vode pa znajući da je brzina strujanja vode manja uz rubove obala i postepeno raste prema sredini korita, a protok i brzina proporcionalne su veličine, logično je da će i vrijednosti protoka biti najveće u srednjem dijelu poprečnog presjeka korita, dok se vrijednosti izmjenom protoka smanjuju približavajući se lijevoj i desnoj obali.

Drugi graf prikazuje podatke o izmjerenoj brzini strujanja vode kroz odabrani poprečni presjek korita, također za svaku od 15 mjernih točaka. Najveća izmjerena brzina iznosila je 0,601 m/s i također je, kao i najveći protok, izmjerena u blizini osi riječnog korita.

Treći graf prikazuje izmjerene dubine korita na mjernim točkama. Dubina korita se povećava približavajući se od lijeve i desne obale prema osi riječnog korita, a u njoj blizini je izmjerena i najveća dubina korita od 1,040 m.



Slika 3.14. Grafički prikazi rezultata mjerenja na mjernoj postaji Željeznica [18].



Tablično su prikazani na slici 3.15. rezultati mjerenja na mjernoj postaji Željeznica. U stupcima s lijeva na desno zabilježen je broj mjerne točke, vrijeme mjerenja, zatim udaljenost pojedine mjerne točke od početne (raster mjerenja), metoda mjerenja, dubina korita, dubina koja se očitava s instrumenta prilikom mjerenja na svakoj točki (prikazana u sedmom stupcu), brzina, površina i protok.

Točke broj 0 i 14 nalaze se na dubini 0 m, jer je rub obale uz sam kontakt vodnog lica.

Na većini mjernih točaka, u konkretnom slučaju, mjerenja su vršena na dvije različite dubine (metoda 0,2/0,8), dok su samo za tri mjerne točke mjerenja izvršena po metodi 0,6 (odnosno na samo jednoj dubini), s obzirom na preporuku koju je definirao softver mjernog uređaja. Dakle, ako se mjerenje vrši metodom 0,6 brzina strujanja vode mjeri se na dubini jednakoj 60 % od ukupne dubine korita na toj mjernoj točki. Metoda 0,2/0,8 podrazumijeva, kao što je već spomenuto, mjerenje na dvije dubine za pojedinu mjernu točku; prvo se mjeri na dubini 20 %, a zatim i na dubini 80 % od ukupne dubine korita.

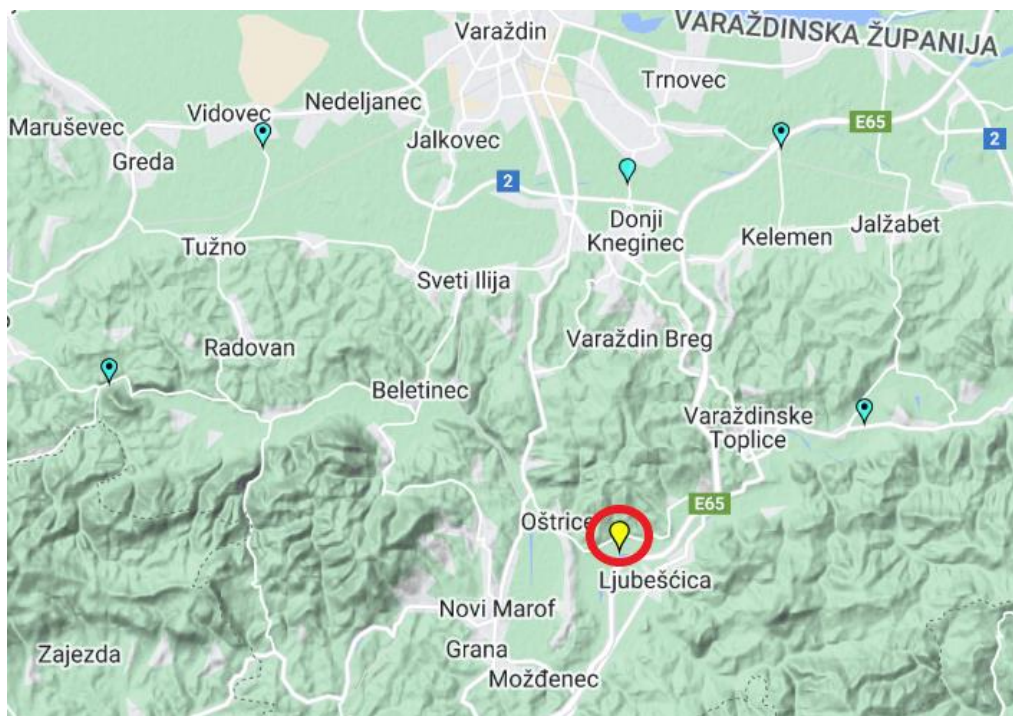
Usporede li se izmjerene brzine na mjernim točkama gdje se mjerenje izvršilo metodom 0,2/0,8 na dvije različite dubine, vidi se da je jedino na mjernoj točki broj 2 izmjerena veća brzina na većoj dubini, dok je na svim ostalim točkama mjerenja veća brzina strujanja vode izmjerena na manjoj dubini. Razlog tomu je činjenica da je točka broj 2 udaljena samo 2 m od obale pa su brzine strujanja vode još uvijek relativno male te je brzina vode veća na dubini od 64 cm, nego na dubini od 16 cm [18].

St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Samples	Velocity (m/s)	Correction	Mean Velocity (m/s)	Area (m <sup>2</sup> )	Flow (m <sup>3</sup> /s)	%Q	
0	13:53	0,000	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,084	0,000	0,000	0,000	✓
1	13:54	1,000	0,6	0,420	0,600	0,252	80	0,084	1,000	0,084	0,420	0,035	0,773	✓
2	14:01	2,000	0,2/0,8	0,800	0,200	0,160	80	0,176	1,000	0,245	0,800	0,196	4,281	✓
2	14:01	2,000	0,2/0,8	0,800	0,800	0,640	79	0,314	1,000	0,245	0,800	0,196	4,281	✓
3	14:06	3,000	0,2/0,8	0,800	0,200	0,160	80	0,506	1,000	0,463	0,800	0,370	8,080	✓
3	14:06	3,000	0,2/0,8	0,800	0,800	0,640	80	0,419	1,000	0,463	0,800	0,370	8,080	✓
4	14:10	4,000	0,2/0,8	0,860	0,200	0,172	80	0,576	1,000	0,522	0,860	0,449	9,799	✓
4	14:10	4,000	0,2/0,8	0,860	0,800	0,688	80	0,468	1,000	0,522	0,860	0,449	9,799	✓
5	14:15	5,000	0,2/0,8	0,980	0,200	0,196	80	0,533	1,000	0,516	0,980	0,506	11,037	✓
5	14:15	5,000	0,2/0,8	0,980	0,800	0,784	80	0,499	1,000	0,516	0,980	0,506	11,037	✓
6	14:19	6,000	0,2/0,8	1,000	0,200	0,200	80	0,601	1,000	0,550	1,000	0,550	12,008	✓
6	14:19	6,000	0,2/0,8	1,000	0,800	0,800	80	0,499	1,000	0,550	1,000	0,550	12,008	✓
7	14:23	7,000	0,2/0,8	1,000	0,200	0,200	80	0,591	1,000	0,524	1,000	0,524	11,448	✓
7	14:23	7,000	0,2/0,8	1,000	0,800	0,800	80	0,458	1,000	0,524	1,000	0,524	11,448	✓
8	14:26	8,000	0,2/0,8	1,040	0,200	0,208	80	0,545	1,000	0,471	1,040	0,490	10,689	✓
8	14:26	8,000	0,2/0,8	1,040	0,800	0,832	80	0,397	1,000	0,471	1,040	0,490	10,689	✓
9	14:30	9,000	0,2/0,8	0,980	0,200	0,196	80	0,523	1,000	0,472	0,980	0,462	10,088	✓
9	14:30	9,000	0,2/0,8	0,980	0,800	0,784	80	0,420	1,000	0,472	0,980	0,462	10,088	✓
10	14:34	10,000	0,2/0,8	0,820	0,200	0,164	80	0,501	1,000	0,447	0,820	0,367	8,006	✓
10	14:34	10,000	0,2/0,8	0,820	0,800	0,656	80	0,394	1,000	0,447	0,820	0,367	8,006	✓
11	14:37	11,000	0,2/0,8	0,700	0,200	0,140	80	0,476	1,000	0,409	0,700	0,287	6,255	✓
11	14:37	11,000	0,2/0,8	0,700	0,800	0,560	80	0,343	1,000	0,409	0,700	0,287	6,255	✓
12	14:40	12,000	0,6	0,440	0,600	0,264	80	0,366	1,000	0,366	0,440	0,161	3,515	✓
13	14:42	13,000	0,6	0,460	0,600	0,276	80	0,297	1,000	0,297	0,621	0,184	4,021	✓
14	14:44	14,700	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,297	0,000	0,000	0,000	✓

Slika 3.15. Tablični prikaz rezultata mjerenja na mjernoj postaji Željeznica [18].

### 3.3. Hidrometrijska postaja Ključ

Ključ je naselje u sastavu grada Novog Marofa u Varaždinskoj županiji, a njegova lokacija prikazana je na slici 3.16. Hidrometrijska postaja Ključ na vodotoku Bednja, gledano od izvora prema ušću, jest treća po redu nakon Lepoglave i Željeznice. Nizvodno od postaje Ključ nalaze se još dvije mjerne postaje: Tuhovec i Ludbreg.



Slika 3.16. Lokacija postaje Ključ [17].

Na slici 3.17. prikazana je i satelitska snimka dijela rijeke Bednje na kojem se nalazi već spomenuta hidrometrijska postaja Ključ [17].



Slika 3.17. Satelitska snimka lokacije postaje Ključ [17].

### 3.3.1. Podaci postaje Ključ

Od osnovnih podataka mjerne postaje Ključ na rijeci Bednji (slika 3.18.) treba istaknuti dosta veću topografsku površinu sliva (415,670 km<sup>2</sup>) u odnosu na postaju Željeznica (307,950 km<sup>2</sup>). U lipnju ove godine prošlo je 37 godina od početka rada ove postaje.

Ime	KLJUČ
Šifra	5143
Tip postaje	Limnigrafska postaja
Vodotok	BEDNJA
Sliv	CRNOMORSKI SLIV
Porječje	Porječja Drave i Dunava
Početak rada	01. 01. 1986.
Kraj rada	--
Kota nule vodokaza (m n/m)	173,090
Udaljenost od ušća (km)	--
Udaljenost od izvora (km)	--
Topografska površina sliva (km <sup>2</sup> )	415,670

Slika 3.18. Osnovni podaci mjerne postaje Ključ [17].

Ovaj tip postaje je limnigrafski (slika 3.19.), odnosno nije automatski, opremljen digitalnom mjernom opremom s mogućnošću slanja podataka mjerenja na daljinu, te nije moguće imati na raspolaganju u realnom ili gotovo realnom vremenu podatke o satnom vodostaju kao što je slučaj s postajom Željeznica.



Slika 3.19. Prikaz postaje Ključ [17].



Promatra li se mjerenje vodostaja i protoka na navedenoj lokaciji zabilježeni su sljedeći ekstremi, prikazani na slici 3.20.

Vrsta mjerenja	Info
VODOSTAJ	<b>Ekstremi</b>
	<b>Razdoblje:</b> 1986. - 2022. Kota nule: 173,090 m n/m Minimum: 1. 8. 2004. -48 cm Maksimum: 5. 12. 1997. 545 cm
	<b>Godine mjerenja:</b> 1986-2022
PROTOK	<b>Ekstremi</b>
	<b>Razdoblje:</b> 1987. - 2022. Minimum: 27. 5. 1993. 0,267 m <sup>3</sup> /s Maksimum: 5. 12. 1997. 104,5 m <sup>3</sup> /s
	<b>Godine mjerenja:</b> 1987-2022

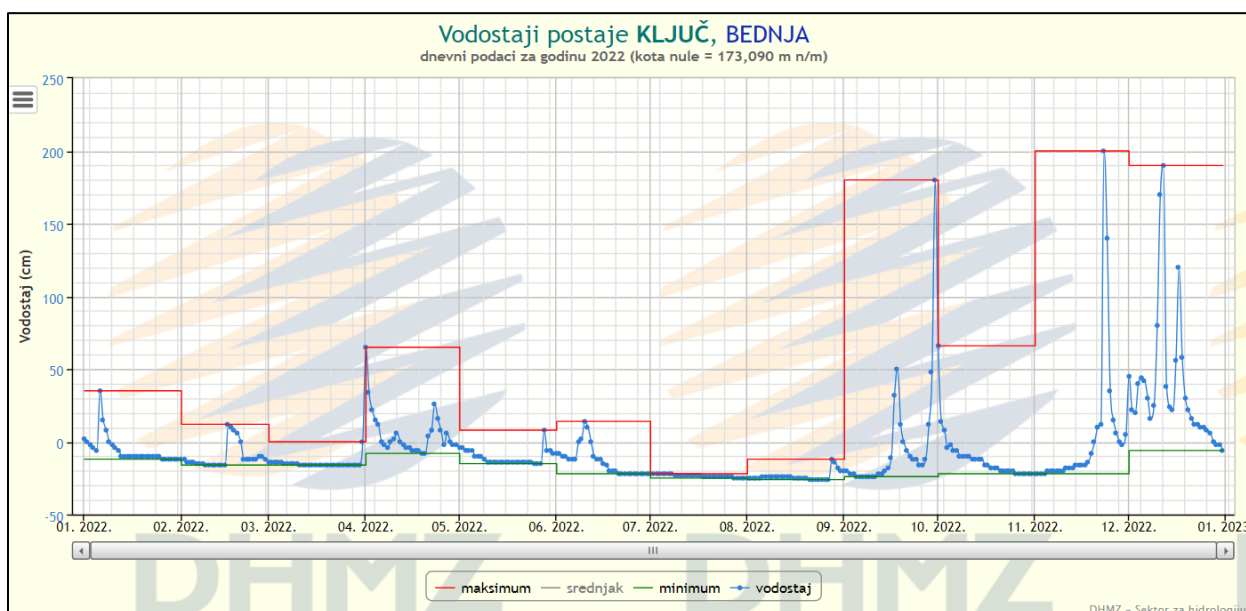
Slika 3.20. Ekstremi mjerenja vodostaja i protoka na postaji Ključ [17].

Minimalni vodostaj (za dostupne podatke o mjerenju u razdoblju od 1986. do 2022. godine) od - 48 cm zabilježen je 2004. godine, dok je primjerice minimalni vodostaj za 2022. godinu iznosio također niskih - 26 cm. Kao što je već spomenuto u potpoglavlju 3.1. *Opis rijeke Bednje*, u praksi se javljaju i negativni vodostaji. Razlog tomu treba tražiti u činjenici da se korito vodotoka protjecanjem vode stalno mijenja, pa tako često puta dolazi i do njegova produbljivanja. Zbog toga, posebno na stanicama koje su osnovane prije više desetaka godina, nije rijetkost da se javljaju i negativni vodostaji. U ovom slučaju ipak nije riječ o produbljivanju korita rijeke Bednje, barem ne prirodnim putem. Prema dostupnim podacima o mjerenju vodostaja na postaji Ključ (na internetskoj stranici Državnog hidrometeorološkog zavoda) zabilježen je prekid mjerenja vodostaja u razdoblju od 7.7.2003. do 1.8.2004. Upravo je toga datuma zabilježen taj rekordno niski vodostaj od - 48 cm. Obzirom da u razdoblju od početka rada postaje, 1986. pa sve do 2003. godine nije zabilježen negativni vodostaj, a uz to nema podataka o promjeni kote nule vodokaza (kao što je primjerice slučaj na postaji Ludbreg) jedino je moguće objašnjenje da je 2004. došlo do produbljivanja korita rijeke na postaji Ključ ljudskim djelovanjem. Tako da podatak o maksimalnom vodostaju (545 cm) izmjerenom 1997.

godine treba uzeti s rezervom. Vjerodostojniji je podatak o maksimalnom vodostaju u 2017. godini koji je iznosio 388 cm. Za usporedbu maksimalni vodostaj 2022. godine iznosio je znatno manjih 200 cm.

Minimalni protok zabilježen je 1993. godine i iznosio je samo 0,267 m<sup>3</sup>/s, odnosno iskazano u litrima po sekundi 267 l/s. Prošle, 2022. godine minimalni je protok iznosio 0,501 m<sup>3</sup>/s. Maksimalni zabilježeni protok iznosio je 104,5 m<sup>3</sup>/s, izmjeren 5.12.1997. godine. Za usporedbu, maksimalni protok 2022. godine iznosio je dosta manjih 46,23 m<sup>3</sup>/s.

Podaci za minimalne i maksimalne vodostaje u 2022. godini iščitani su iz nivograma koji je prikazan na slici 3.21.

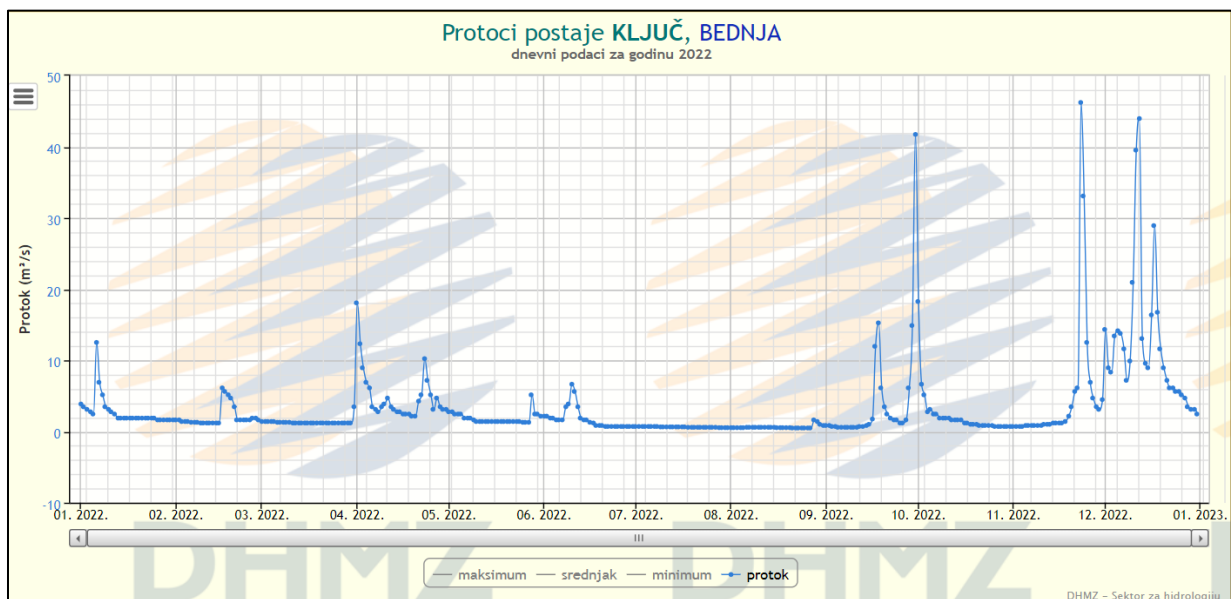


Slika 3.21. Vodostaji postaje Ključ za 2022. godinu [17].

Slično kao i na postaji Željeznica, što je očekivano obzirom da su to dvije postaje na istoj rijeci, u prva tri mjeseca može se primijetiti da nije bilo velikih promjena vodostaja, uz iznimku po jednog skoka u mjesecu siječnju i veljači, vodostaj se većinom kretao oko - 10 cm. Zatim od travnja do sredine lipnja slijedi razdoblje češćih promjena vodostaja uz ekstrem od 65 cm izmjeren 1. travnja. Srednji mjesečni vodostaj za mjesec travanj iznosio je 6 cm, dok u mjesecu svibnju taj prosjek pada na - 11 cm. Od druge polovice lipnja pa do kraja mjeseca kolovoza ponovno dolazi jedno razdoblje vrlo niskih vodostaja, a razlog tomu je ekstremno sušno ljeto s vrlo malo oborina. Kao posljedica javljaju se vrlo niski srednji mjesečni vodostaji pa je tako u mjesecu srpnju prosječni vodostaj iznosio - 23 cm, a u mjesecu kolovozu centimetar manje, - 24 cm. Dva kišna vala, sredinom i krajem mjeseca rujna razlog su češćim promjenama vodostaja, a na posljednji rujanski dan, 30.9.2022. izmjeren je treći najveći vodostaj u cijeloj

godini i iznosio je 180 cm. Zatim ponovno dolazi razdoblje niskih vodostaja s vrlo malim promjenama kroz listopad i prvu polovicu studenoga kada se vodostaj kretao većinom od - 10 do - 20 cm. Jedan jači oborinski val, koji donosi velik skok u razini vodostaja dolazi krajem studenoga kada je i zabilježen maksimalni vodostaj cijele godine, dana 23.11.2022. izmjeren je vodostaj od 200 cm. U prosincu je ostvaren najveći mjesečni srednjak vodostaja u cijeloj godini i iznosio je prosječnih 37 cm.

Podaci za minimalne i maksimalne protoke u 2022. godini iščitani su iz hidrograma koji je prikazan na slici 3.22.

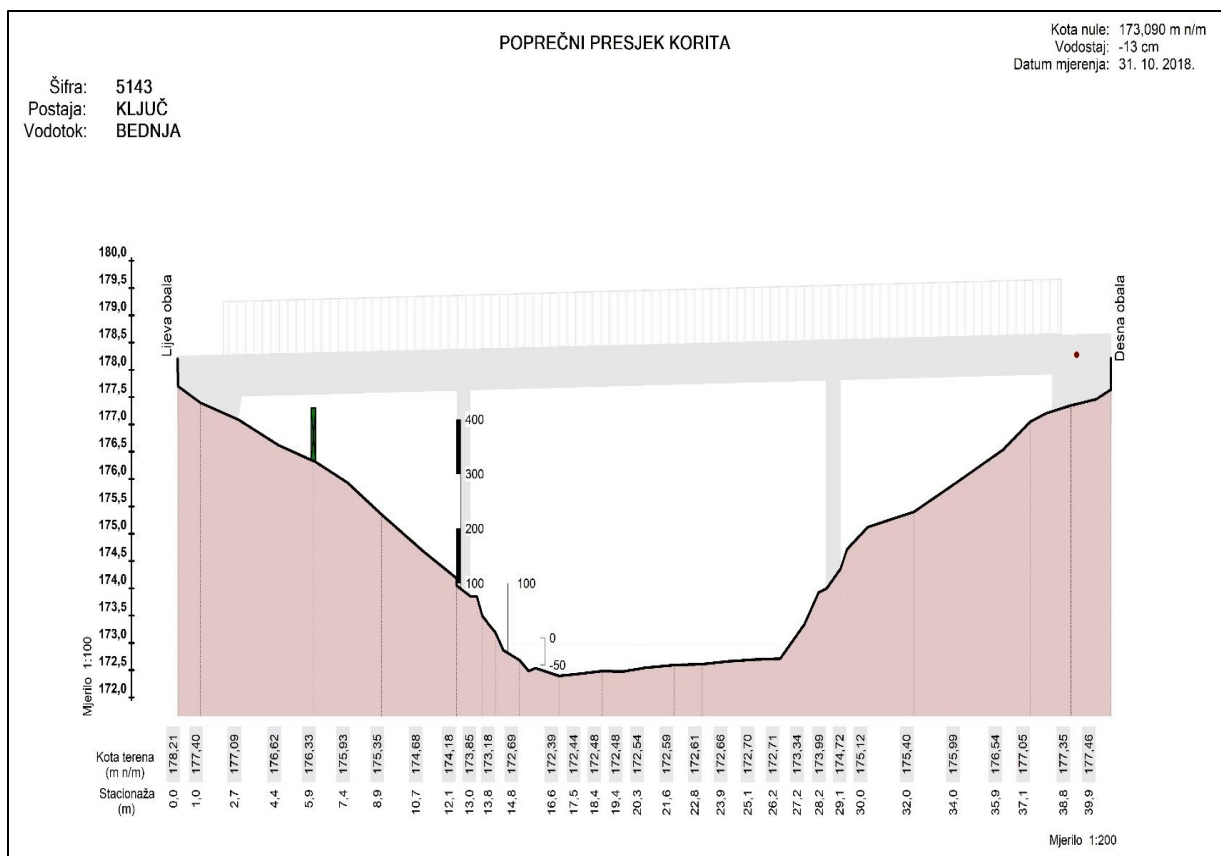


Slika 3.22. Protoci postaje Ključ za 2022. godinu [17].

Ukoliko se preklope ova dva grafička prikaza, nivogram i hidrogram na slikama 3.21. i 3.22., odnosno usporedi li se promjena vodostaja s promjenom protoka u 2022. godini na mjernoj postaji Ključ može se uočiti da se dobije gotovo identični graf, kao što je zaključeno i za mjernu postaju Željeznica.

Za usporedbu, na dan kada je izmjeren najveći vodostaj na postaji Željeznica, izmjeren je također i najveći vodostaj na ovoj postaji u Ključu od 200 cm, 23.11.2022. također je izmjeren i najveći protok u cijeloj godini i iznosio je  $46,23 \text{ m}^3/\text{s}$  [17].

Jedno od mjerenja profila korita na postaji Ključ izvršeno je 31.10.2018. Jedno takvo mjerenje, odnosno prikaz poprečnog presjeka korita prikazano na slici 3.23. U trenutku mjerenja zabilježen je negativan vodostaj i iznosio je - 13 cm. Važno je istaknuti i da je određena kota nule na 173,090 m n/m, što je važno za usporedbu s drugim mjernim postajama [18].




*Slika 3.23. Poprečni presjek korita na postaji Ključ [18].*

### 3.3.2. Izvršena mjerenja na postaji Ključ

Mjerenje na postaji Ključ izvršeno je na 14 točaka duž odabranog poprečnog presjeka korita, a ukupna udaljenost između krajnjih mjernih točaka iznosila je 13,2 m, dok je prosječni interval mjerenja iznosio 40 s, što je prikazano i u općim informacijama o mjerenju na slici 3.24.

Od ostalih općih informacija o mjerenju vrijedi izdvojiti sljedeće podatke:

- maksimalna dubina: 0,660 m
- srednja dubina: 0,460 m
- maksimalna brzina: 1,262 m/s
- srednja brzina: 0,942 m/s
- srednja temperatura vode: 15,852 °C
- površina poprečnog presjeka korita: 6,075 m<sup>2</sup>
- protok: 5,721 m<sup>3</sup>/s

		<h1>Discharge Measurement Summary</h1>																															
<b>Site name</b> Kljuc <b>Site number</b> 1 <b>Operator(s)</b> Lid <b>File name</b> 20210602-193438_Kljuc.ft <b>Comment</b>																																	
<b>Start time</b> 2.6.2021. 18:54 <b>End time</b> 2.6.2021. 19:31 <b>Start location latitude</b> - <b>Start location longitude</b> - <b>Calculations engine</b> FlowTracker2		<b>Sensor type</b> Top Setting <b>Handheld serial number</b> FT2H2025030 <b>Probe serial number</b> FT2P2024010 <b>Probe firmware</b> 1.30 <b>Handheld software</b> 1.6.4																															
<b># Stations</b> 14		<b>Avg interval (s)</b> 40																															
<b>Total width (m)</b> 13,200		<b>Total area (m<sup>2</sup>)</b> 6,075																															
<b>Mean SNR (dB)</b> 42,134		<b>Mean depth (m)</b> 0,460																															
<b>Mean temp (°C)</b> 15,852		<b>Max depth (m)</b> 0,660																															
<b>Discharge Uncertainty</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category</th> <th>ISO</th> <th>IVE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Accuracy</td> <td>1,0 %</td> <td>1,0 %</td> </tr> <tr> <td>Depth</td> <td>0,2 %</td> <td>1,2 %</td> </tr> <tr> <td>Velocity</td> <td>0,4 %</td> <td>1,4 %</td> </tr> <tr> <td>Width</td> <td>0,1 %</td> <td>0,1 %</td> </tr> <tr> <td>Method</td> <td>1,4 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td># Stations</td> <td>3,6 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Overall</td> <td>4,0 %</td> <td>2,1 %</td> </tr> </tbody> </table>		Category	ISO	IVE	Accuracy	1,0 %	1,0 %	Depth	0,2 %	1,2 %	Velocity	0,4 %	1,4 %	Width	0,1 %	0,1 %	Method	1,4 %		# Stations	3,6 %		Overall	4,0 %	2,1 %	<table border="1"> <tbody> <tr> <td><b>Discharge equation</b></td> <td>Mid Section</td> </tr> <tr> <td><b>Discharge uncertainty</b></td> <td>IVE</td> </tr> <tr> <td><b>Discharge reference</b></td> <td>Rated</td> </tr> </tbody> </table>		<b>Discharge equation</b>	Mid Section	<b>Discharge uncertainty</b>	IVE	<b>Discharge reference</b>	Rated
Category	ISO	IVE																															
Accuracy	1,0 %	1,0 %																															
Depth	0,2 %	1,2 %																															
Velocity	0,4 %	1,4 %																															
Width	0,1 %	0,1 %																															
Method	1,4 %																																
# Stations	3,6 %																																
Overall	4,0 %	2,1 %																															
<b>Discharge equation</b>	Mid Section																																
<b>Discharge uncertainty</b>	IVE																																
<b>Discharge reference</b>	Rated																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Data Collection Settings</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Salinity</b></td> <td>0,000 PSS-78</td> </tr> <tr> <td><b>Temperature</b></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td><b>Sound speed</b></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td><b>Mounting correction</b></td> <td>0,000 %</td> </tr> </tbody> </table>		Data Collection Settings		<b>Salinity</b>	0,000 PSS-78	<b>Temperature</b>	-	<b>Sound speed</b>	-	<b>Mounting correction</b>	0,000 %	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Summary overview</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>No changes were made to this file</td> </tr> <tr> <td>Quality control warnings</td> </tr> </tbody> </table>		Summary overview	No changes were made to this file	Quality control warnings																	
Data Collection Settings																																	
<b>Salinity</b>	0,000 PSS-78																																
<b>Temperature</b>	-																																
<b>Sound speed</b>	-																																
<b>Mounting correction</b>	0,000 %																																
Summary overview																																	
No changes were made to this file																																	
Quality control warnings																																	

Slika 3.24. Mjerenje na postaji Ključ – opće informacije [18].

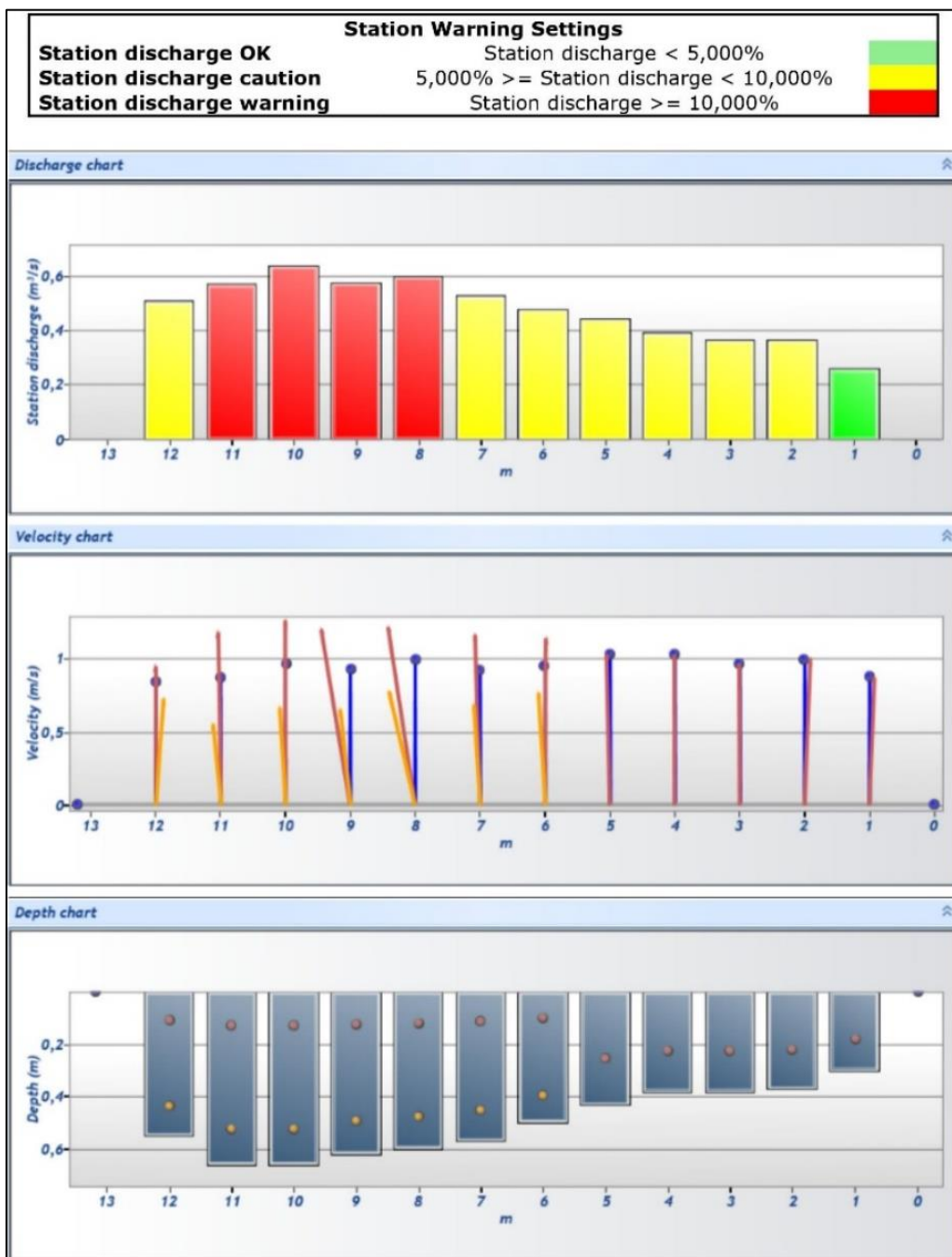
Na slici 3.25. prikazani su grafički rezultati mjerenja na mjernoj postaji Ključ.

Prvi graf prikazuje podatke o izmjenom protoku za svaku od 14 mjernih točaka. Treba napomenuti da se na mjernim točkama na kojima se brzina mjeri na dvije različite dubine (metoda 0,2/0,8) za izračun protoka koristi prosječna brzina dobivena jednostavnom metodom aritmetičke sredine. Obzirom da poprečni presjek korita nije simetričan obzirom na os riječnog korita, već su veće dubine bliže lijevoj obali tako su i veće vrijednosti protoka izmjerene bliže lijevoj obali rijeke.



Drugi graf prikazuje podatke o izmjerenoj brzini strujanja vode kroz odabrani poprečni presjek korita, također za svaku od 14 mjernih točaka. Najveća brzina izmjerena je na mjernoj točki broj 10 i iznosila je 1,262 m/s. Za mjerne točke označene brojevima 6 – 12 vide se na grafu označena tri različita podatka: brzine na dubinama 0,2 i 0,8 te srednju brzinu koja se uzima kao mjerodavna.

Treći graf prikazuje izmjerene dubine korita na mjernim točkama. Dubina korita se povećava približavajući se od desne obale prema lijevoj, a ista najveća dubina korita od 0,660 m izmjerena je na dvije mjerne točke: 10 i 11.



Slika 3.25. Grafički prikazi rezultata mjerenja na mjernoj postaji Ključ [18].

Tablično su prikazani na slici 3.26. rezultati mjerenja na mjernoj postaji Ključ.

U ovom konkretnom slučaju, mjerne točke broj 0 i 13 nalaze se na dubini 0 m, jer je rub obale uz sam kontakt vodnog lica.

Usporede li se izmjerene brzine na mjernim točkama gdje je mjerenje izvršeno metodom 0,6 odnosno samo na jednoj dubini vidi se da se brzina neznatno mijenja udaljavajući se od obale, od mjerne točke 1 do mjerne točke 5. Tako je na mjernoj točki 1 izmjerena brzina od 0,873 m/s na dubini od 18 cm, a na mjernoj točki 5 brzina od 1,029 m/s na dubini od 25,8 cm.

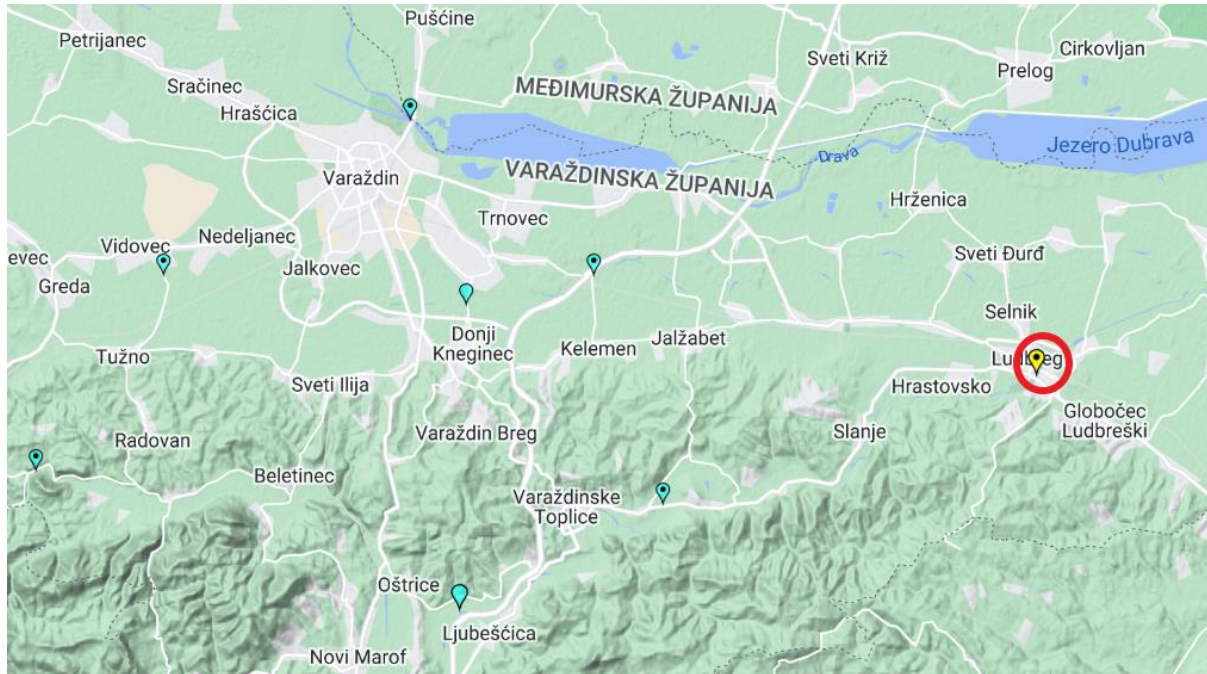
Nadalje, usporede li se dvije mjerne točke (npr. točke 8 i 12) na kojima je izmjerena približno jednaka dubina korita (60 cm i 55 cm) vidi se kako na brzinu strujanja vode utječe i udaljenost pojedine mjerne točke od obale rijeke. Na mjernoj točki broj 8, koja je udaljena 5,2 m od najbliže obale, prvo mjerenje izvedeno je na dubini 12 cm od površine vode i izmjerena je brzina 1,216 m/s, a na mjernoj točki broj 12, koja se nalazi samo 1,2 m od obale, prvo mjerenje izvedeno je gotovo na istoj dubini (11 cm) i izmjerena je manja brzina (0,948 m/s). Drugo mjerenje na mjernoj točki broj 8 izvedeno je na dubini većoj dubini, 48 cm od površine vode i izmjerena je brzina 0,778 m/s, a na mjernoj točki broj 12 drugo mjerenje izvedeno je gotovo na istoj dubini (44 cm) i izmjerena je također manja brzina (0,727 m/s), no razlika u brzinama je dosta manja. [18].

St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Samples	Velocity (m/s)	Correction	Mean Velocity (m/s)	Area (m <sup>2</sup> )	Flow (m <sup>3</sup> /s)	%Q	
0	18:54	0,000	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,873	0,000	0,000	0,000	✓
1	18:55	1,000	0,6	0,300	0,600	0,180	80	0,873	1,000	0,873	0,300	0,262	4,577	✓
2	18:57	2,000	0,6	0,370	0,600	0,222	80	0,996	1,000	0,996	0,370	0,368	6,438	✓
3	19:00	3,000	0,6	0,380	0,600	0,228	80	0,965	1,000	0,965	0,380	0,367	6,411	✓
4	19:02	4,000	0,6	0,380	0,600	0,228	80	1,027	1,000	1,027	0,380	0,390	6,820	✓
5	19:04	5,000	0,6	0,430	0,600	0,258	80	1,029	1,000	1,029	0,430	0,443	7,736	✓
6	19:05	6,000	0,2/0,8	0,500	0,200	0,100	80	1,140	1,000	0,953	0,500	0,476	8,328	✓
6	19:05	6,000	0,2/0,8	0,500	0,800	0,400	80	0,766	1,000	0,953	0,500	0,476	8,328	✓
7	19:09	7,000	0,2/0,8	0,570	0,200	0,114	80	1,162	1,000	0,924	0,570	0,527	9,207	✓
7	19:09	7,000	0,2/0,8	0,570	0,800	0,456	80	0,686	1,000	0,924	0,570	0,527	9,207	✓
8	19:12	8,000	0,2/0,8	0,600	0,200	0,120	80	1,216	1,000	0,997	0,600	0,598	10,456	✓
8	19:12	8,000	0,2/0,8	0,600	0,800	0,480	80	0,778	1,000	0,997	0,600	0,598	10,456	✓
9	19:17	9,000	0,2/0,8	0,620	0,200	0,124	80	1,199	1,000	0,926	0,620	0,574	10,040	✓
9	19:17	9,000	0,2/0,8	0,620	0,800	0,496	80	0,654	1,000	0,926	0,620	0,574	10,040	✓
10	19:21	10,000	0,2/0,8	0,660	0,200	0,132	80	1,262	1,000	0,965	0,660	0,637	11,129	✓
10	19:21	10,000	0,2/0,8	0,660	0,800	0,528	80	0,668	1,000	0,965	0,660	0,637	11,129	✓
11	19:24	11,000	0,2/0,8	0,660	0,200	0,132	80	1,181	1,000	0,867	0,660	0,572	10,005	✓
11	19:24	11,000	0,2/0,8	0,660	0,800	0,528	80	0,554	1,000	0,867	0,660	0,572	10,005	✓
12	19:28	12,000	0,2/0,8	0,550	0,200	0,110	80	0,948	1,000	0,837	0,605	0,507	8,854	✓
12	19:28	12,000	0,2/0,8	0,550	0,800	0,440	80	0,727	1,000	0,837	0,605	0,507	8,854	✓
13	19:31	13,200	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,837	0,000	0,000	0,000	✓

Slika 3.26. Tablični prikaz rezultata mjerenja na mjernoj postaji Ključ [18].

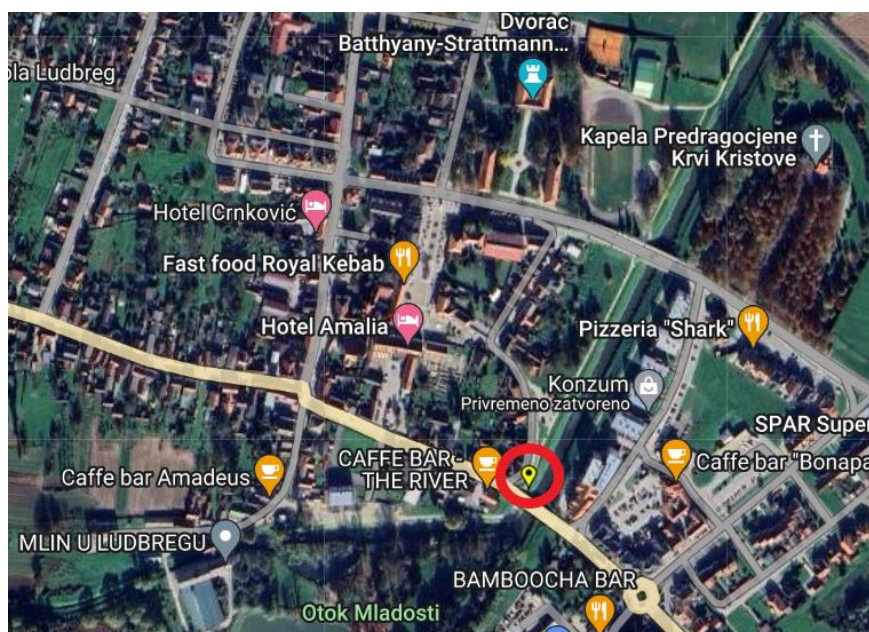
### 3.4. Hidrometrijska postaja Ludbreg

Ludbreg je grad u Varaždinskoj županiji (lokacija prikazana na slici 3.27.), a u njemu se nalazi posljednja od pet hidrometrijskih postaja na rijeci Bednji, gledano nizvodno, od izvora prema ušću.



Slika 3.27. Lokacija postaje Ludbreg [17].

Na slici 3.28. prikazana je i satelitska snimka dijela rijeke Bednje na kojem se nalazi hidrometrijska postaja Ludbreg [17].



Slika 3.28. Satelitska snimka lokacije postaje Ludbreg [17].



### 3.4.1. Podaci postaje Ludbreg

Od osnovnih podataka mjerne postaje Ludbreg na rijeci Bednji (slika 3.29.) treba istaknuti da se ova postaja nalazi na udaljenosti 12,2 km od ušća, dakle u posljednjoj desetini ukupne duljine rijeke koja iznosi 133 km. U rujnu ove godine, dakle 1.9.2023. prošlo je već 85 godina od početka rada ove postaje. Topografska površina sliva (546,980 km<sup>2</sup>) očekivano premašuje već spomenute mjerne postaje Željeznica (307,950 km<sup>2</sup>) i Ključ (415,670 km<sup>2</sup>).

Ime	LUDBREG
Šifra	5089
Tip postaje	Automatska dojava
Vodotok	BEDNJA
Sliv	CRNOMORSKI SLIV
Porječje	Porječja Drave i Dunava
Početak rada	01. 09. 1938.
Kraj rada	--
Kota nule vodokaza (m n/m)	147,350
Udaljenost od ušća (km)	12,200
Udaljenost od izvora (km)	--
Topografska površina sliva (km <sup>2</sup> )	546,980

Slika 3.29. Osnovni podaci mjerne postaje Ludbreg [17].

Obzirom da je ovaj tip postaje (slika 3.30.), kao i postaja Željeznica, opremljen digitalnom mjernom opremom s mogućnošću slanja podataka mjerenja na daljinu, moguće je imati na raspolaganju u realnom ili gotovo realnom vremenu podatke o satnom vodostaju.



Slika 3.30. Prikaz postaje Ludbreg [18].

Promatra li se mjerenje vodostaja i protoka na navedenoj lokaciji zabilježeni su sljedeći ekstremi, prikazani na slikama 3.31. i 3.32.

Vrsta mjerenja	Info
VODOSTAJ	<b>Ekstremi</b>
	<b>Razdoblje:</b> 1938. - 1962. Kota nule: 147,366 m n/m Minimum: 18. 9. 1960. -26 cm Maksimum: 1. 6. 1939. 420 cm
	<b>Razdoblje:</b> 1963. - 1983. Kota nule: 147,007 m n/m Minimum: 29. 8. 1983. -20 cm Maksimum: 15. 7. 1972. 383 cm
	<b>Razdoblje:</b> 1984. - 2022. Kota nule: 147,350 m n/m Minimum: 28. 5. 1993. -72 cm Maksimum: 23. 11. 1991. 329 cm
	<b>Godine mjerenja:</b> 1938-1943 1945-2022

Slika 3.31. Ekstremi mjerenja vodostaja na postaji Ludbreg [17].

PROTOK	<b>Ekstremi</b>
	<b>Razdoblje:</b> 1947. - 2022. Minimum: 7. 9. 1947. 0,003 m <sup>3</sup> /s Maksimum: 15. 7. 1972. 179,3 m <sup>3</sup> /s
	<b>Godine mjerenja:</b> 1947-2022

Slika 3.32. Ekstremi mjerenja protoka na postaji Ludbreg [17].

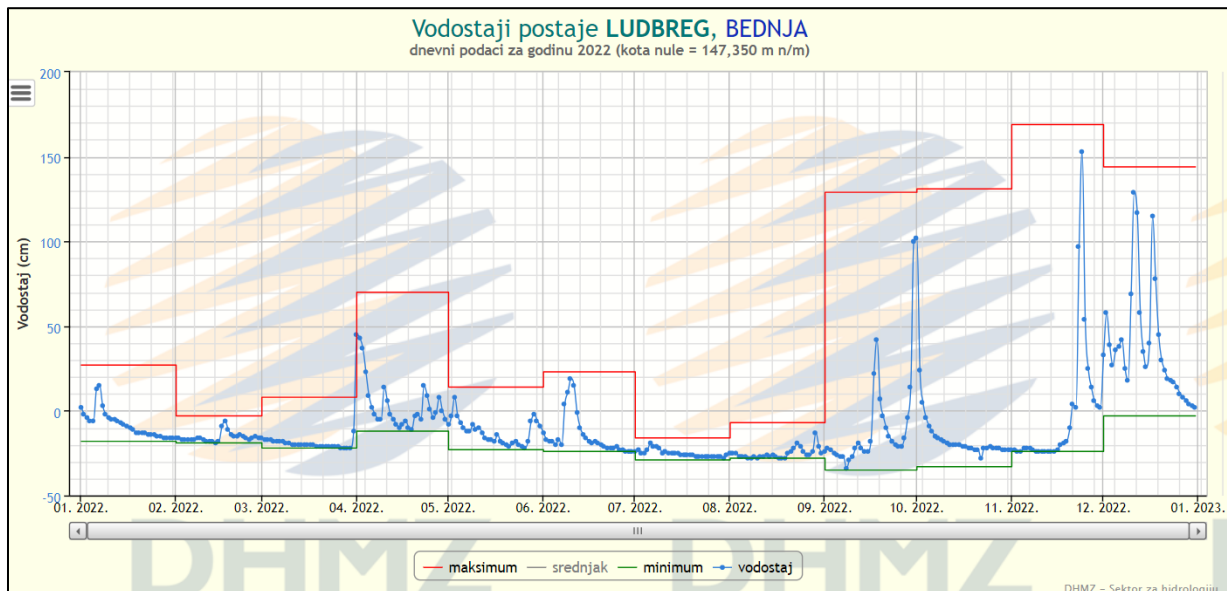
Minimalni vodostaj (za dostupne podatke o mjerenju u razdoblju od 1938. do 2022. godine uz kraće prekide) od - 72 cm zabilježen je 1993. godine, dok je primjerice minimalni vodostaj za 2022. godinu iznosio također niskih - 35 cm. Maksimalni vodostaj izmjeren je davne 1972. godine, a iznosio je čak 383 cm, no u obzir treba uzeti i promjene apsolutne nadmorske visine



kote nule kroz povijest rada mjerne postaje. Godine 1984. usvojena je nadmorska visina kote nule koja vrijedi i danas, a viša je za 34,3 cm u odnosu na prethodnu mjerodavnu vrijednost. Prema tome kada bi podatak o maksimalnom vodostaju (383 cm iz 1972. godine) u povijesti rada mjerne postaje zbog promjene kote nule preračunali smanjujući tu vrijednost za 34,3 cm i dalje bi taj podatak ostao mjerodavan kao najviši izmjereni vodostaj ( $383 - 34,3 = 348,7$  cm).

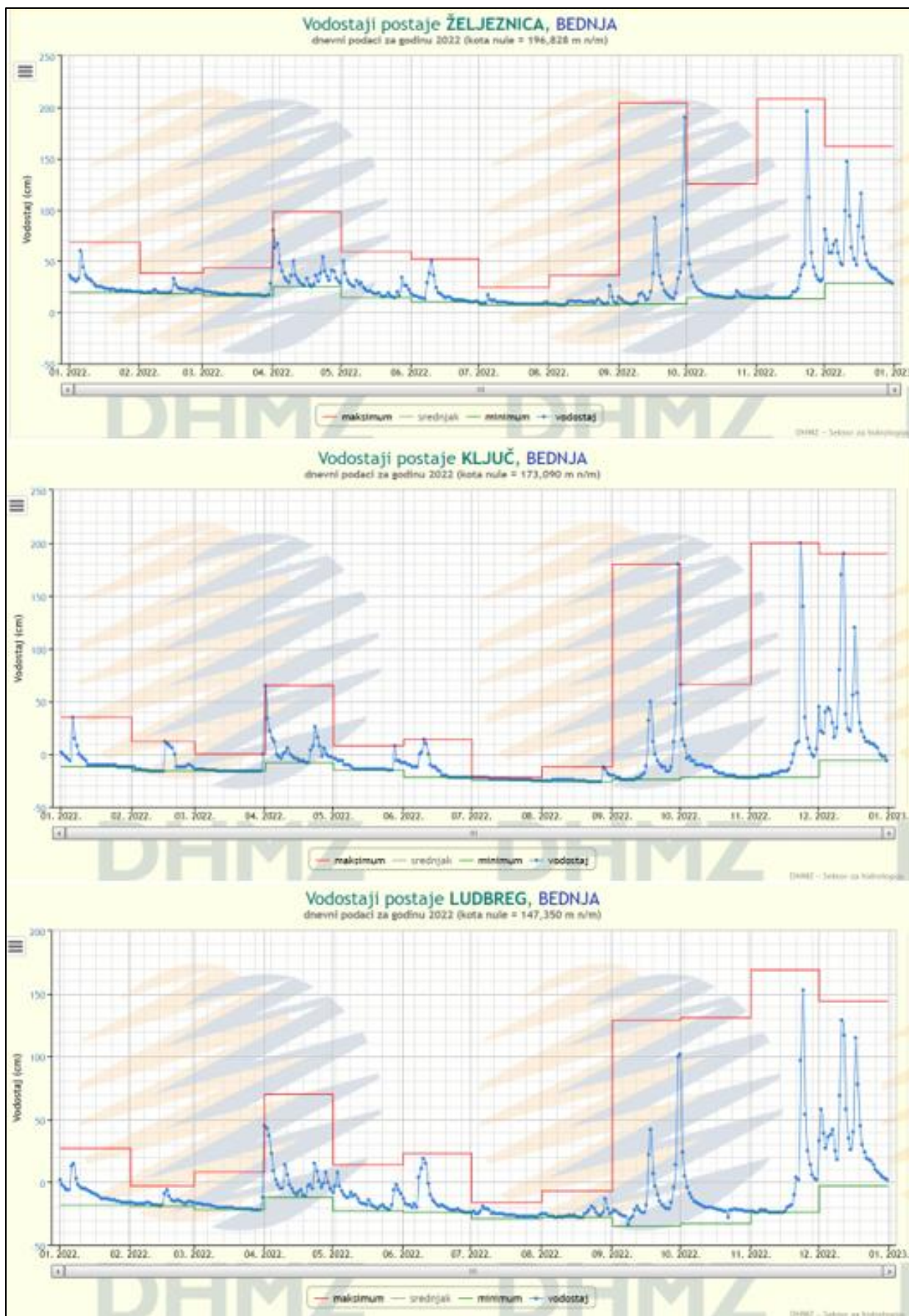
Minimalni protok zabilježen je 1947. godine i iznosio gotovo nestvarno niskih  $0,003 \text{ m}^3/\text{s}$ , odnosno iskazano u litrima po sekundi samo 3 l/s, što je ekstremno mali protok za jednu rijeku kao što je Bednja. Prošle, 2022. godine minimalni je protok iznosio  $0,207 \text{ m}^3/\text{s}$ . Maksimalni zabilježeni protok iznosio je  $179,3 \text{ m}^3/\text{s}$ , izmjeren 15.7.1972. godine. Za usporedbu, maksimalni protok 2022. godine iznosio je dosta manjih  $52,39 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Podaci za minimalne i maksimalne vodostaje u 2022. godini preuzeti su iz nivograma koji je prikazan na slici 3.33.



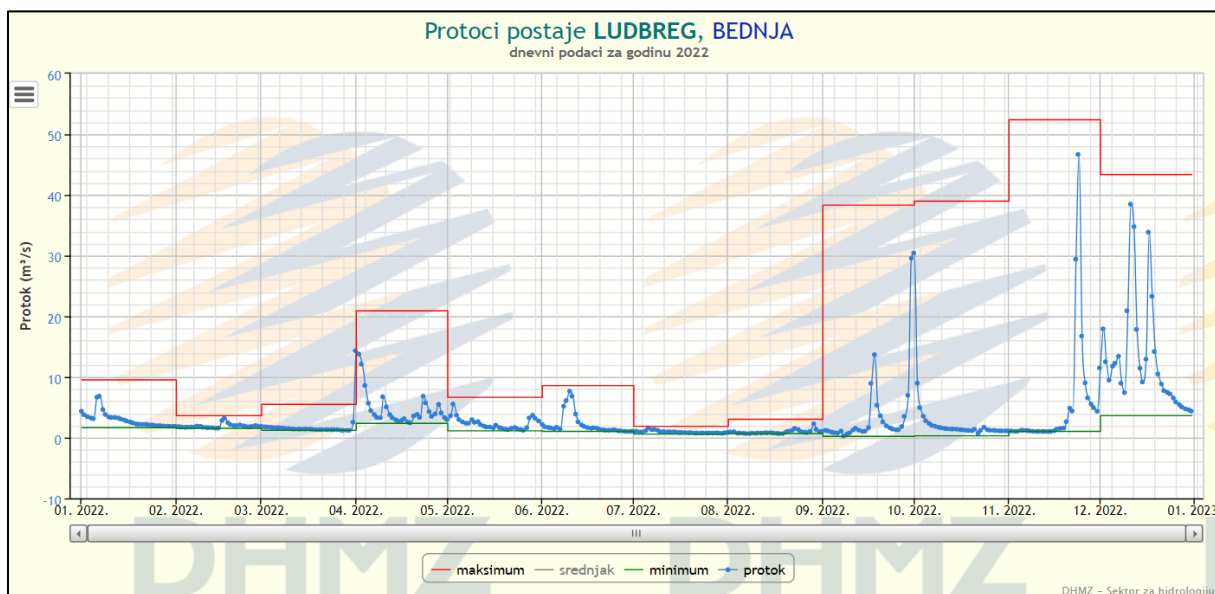
Slika 3.33. Vodostaji postaje Ludbreg za 2022. godinu [17].

Kao što je kod analize nivograma mjerne postaje Ključ za 2022. godinu utvrđena velika sličnost s nivogramom postaje Željeznica za 2022. godinu, tako se i za nivogram postaje Ludbreg za 2022. godinu može reći da je gotovo identičan već spomenutim nivogramima. Usporedba ova tri nivograma prikazana je na slici 3.34.



Slika 3.34. Usporedba nivograma postaja Željeznica, Ključ i Ludbreg [17].

Podaci za minimalne i maksimalne protoke u 2022. godini na mjernoj postaji Ludbreg iščitani su iz hidrograma koji je prikazan na slici 3.35.

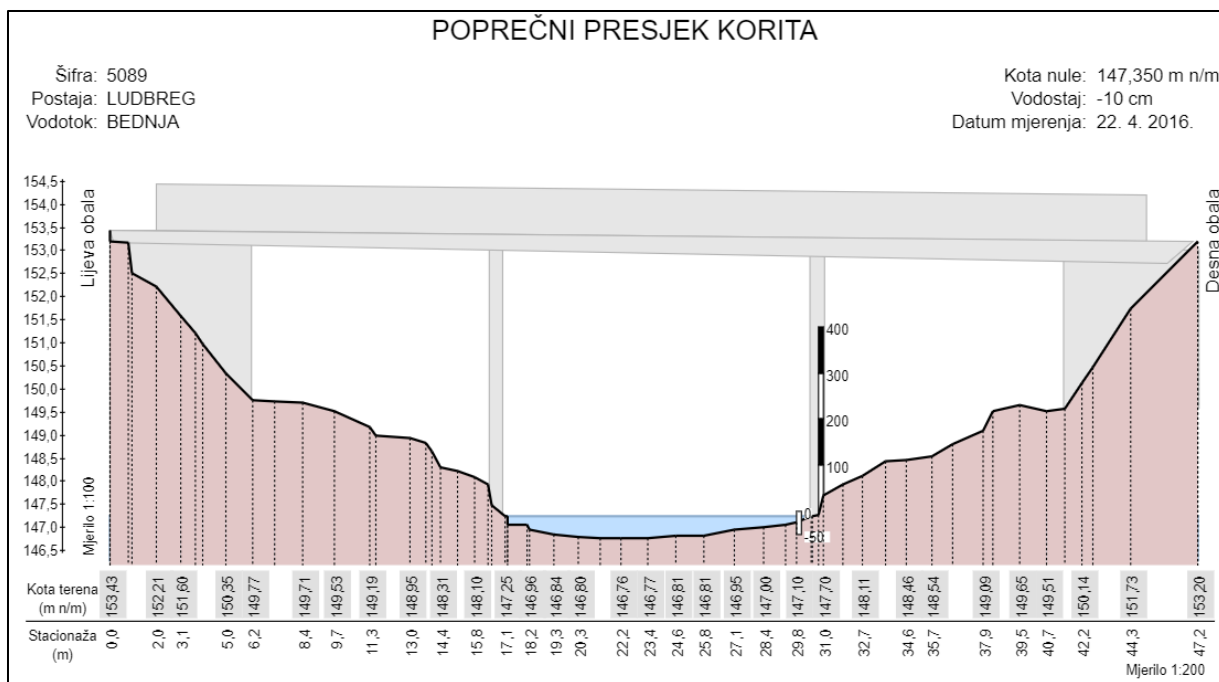


Slika 3.35. Protoci postaje Ludbreg za 2022. godinu [17].

Kao što je bio slučaj i na mjernim postajama Željeznica i Ključ, tako se i za mjernu postaju Ludbreg može uočiti sličnost nivograma i hidrograma prikazanih na slikama 3.33. i 3.35., što potvrđuje međusobnu ovisnost između vodostaja i protoka.

Prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda na postaji Željeznica do sada je izvršeno 7 mjerenja profila korita. Jedno takvo mjerenje, odnosno prikaz poprečnog presjeka korita prikazan je na slici 3.36. Mjerenje je izvršeno 22.4.2016. godine, a u tom trenutku vodostaj je bio prilično nizak i iznosio je - 10 cm.

Važno je istaknuti i da je određena kota nule na 147,350 m n/m, što je važno za usporedbu s drugim mjernim postajama. Analizirajući tri mjerne postaje na rijeci Bednji (Željeznicu, Ključ i Ludbreg) može se uočiti postepeni pad nadmorske visine usporedbom nadmorske visine kote nule na svakoj postaji. Od mjerne postaje Željeznica (kota nule na 196,828 m n/m) preko postaje Ključ (kota nule na 173,090 m n/m) nadmorska visina kote nule pada na već spomenutih 147,350 m n/m na postaji Ludbreg. Obzirom da je dužina toka rijeke Bednje od mjerne postaje Željeznica do postaje Ludbreg jednaka 58,8 km na toj dionici prosječan pad dna korita rijeke iznosi 84 cm [17].



Slika 3.36. Poprečni presjek korita na postaji Ludbreg [17].

### 3.4.2. Izvršena mjerenja na postaji Ludbreg

Mjerenje na postaji Ludbreg izvršeno je na 15 točaka duž odabranog poprečnog presjeka korita, a ukupna udaljenost između krajnjih mjernih točaka iznosila je 14,0 m, dok je prosječni interval mjerenja iznosio 40 s, što je prikazano i u općim informacijama o mjerenju na slici 3.37.

Od ostalih općih informacija o mjerenju vrijedi izdvojiti sljedeće podatke:

- maksimalna dubina: 1,020 m
- srednja dubina: 0,711 m
- maksimalna brzina: 0,654 m/s
- srednja brzina: 0,502 m/s
- srednja temperatura vode: 16,997 °C
- površina poprečnog presjeka korita: 9,950 m<sup>2</sup>
- protok: 4,995 m<sup>3</sup>/s



FlowTracker2		Discharge Measurement Summary																																		
<b>Site name</b>	Bd.ludb																																			
<b>Site number</b>	1																																			
<b>Operator(s)</b>	Petra																																			
<b>File name</b>	20210604-125916_Bd_ludb.ft																																			
<b>Comment</b>																																				
<b>Start time</b>	4.6.2021. 12:06	<b>Sensor type</b>	Top Setting																																	
<b>End time</b>	4.6.2021. 12:57	<b>Handheld serial number</b>	FT2H2025030																																	
<b>Start location latitude</b>	46,247	<b>Probe serial number</b>	FT2P2024010																																	
<b>Start location longitude</b>	16,619	<b>Probe firmware</b>	1.30																																	
<b>Calculations engine</b>	FlowTracker2	<b>Handheld software</b>	1.6.4																																	
<b># Stations</b>	<b>Avg interval (s)</b>	<b>Total discharge (m<sup>3</sup>/s)</b>																																		
15	40	4,995																																		
<b>Total width (m)</b>	<b>Total area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Wetted Perimeter (m)</b>																																		
14,000	9,950	14,319																																		
<b>Mean SNR (dB)</b>	<b>Mean depth (m)</b>	<b>Mean velocity (m/s)</b>																																		
34,658	0,711	0,502																																		
<b>Mean temp (°C)</b>	<b>Max depth (m)</b>	<b>Max velocity (m/s)</b>																																		
16,997	1,020	0,654																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Discharge Uncertainty</th> </tr> <tr> <th>Category</th> <th>ISO</th> <th>IVE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Accuracy</td> <td>1,0 %</td> <td>1,0 %</td> </tr> <tr> <td>Depth</td> <td>0,2 %</td> <td>2,9 %</td> </tr> <tr> <td>Velocity</td> <td>0,4 %</td> <td>2,3 %</td> </tr> <tr> <td>Width</td> <td>0,2 %</td> <td>0,2 %</td> </tr> <tr> <td>Method</td> <td>1,1 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td># Stations</td> <td>3,3 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>Overall</b></td> <td><b>3,7 %</b></td> <td><b>3,8 %</b></td> </tr> </tbody> </table>		Discharge Uncertainty			Category	ISO	IVE	Accuracy	1,0 %	1,0 %	Depth	0,2 %	2,9 %	Velocity	0,4 %	2,3 %	Width	0,2 %	0,2 %	Method	1,1 %		# Stations	3,3 %		<b>Overall</b>	<b>3,7 %</b>	<b>3,8 %</b>	<table border="1"> <tbody> <tr> <td><b>Discharge equation</b></td> <td>Mid Section</td> </tr> <tr> <td><b>Discharge uncertainty</b></td> <td>IVE</td> </tr> <tr> <td><b>Discharge reference</b></td> <td>Rated</td> </tr> </tbody> </table>		<b>Discharge equation</b>	Mid Section	<b>Discharge uncertainty</b>	IVE	<b>Discharge reference</b>	Rated
Discharge Uncertainty																																				
Category	ISO	IVE																																		
Accuracy	1,0 %	1,0 %																																		
Depth	0,2 %	2,9 %																																		
Velocity	0,4 %	2,3 %																																		
Width	0,2 %	0,2 %																																		
Method	1,1 %																																			
# Stations	3,3 %																																			
<b>Overall</b>	<b>3,7 %</b>	<b>3,8 %</b>																																		
<b>Discharge equation</b>	Mid Section																																			
<b>Discharge uncertainty</b>	IVE																																			
<b>Discharge reference</b>	Rated																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Data Collection Settings</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Salinity</b></td> <td>0,000 PSS-78</td> </tr> <tr> <td><b>Temperature</b></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td><b>Sound speed</b></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td><b>Mounting correction</b></td> <td>0,000 %</td> </tr> </tbody> </table>				Data Collection Settings		<b>Salinity</b>	0,000 PSS-78	<b>Temperature</b>	-	<b>Sound speed</b>	-	<b>Mounting correction</b>	0,000 %																							
Data Collection Settings																																				
<b>Salinity</b>	0,000 PSS-78																																			
<b>Temperature</b>	-																																			
<b>Sound speed</b>	-																																			
<b>Mounting correction</b>	0,000 %																																			
<b>Summary overview</b>																																				
No changes were made to this file																																				
Quality control warnings																																				

Slika 3.37. Mjerenje na postaji Ludbreg – opće informacije [18].

Na slici 3.38. prikazani su grafički rezultati mjerenja na mjernoj postaji Ludbreg.

Prvi graf prikazuje podatke o izmjenom protoku za svaku od 15 mjernih točaka. Približavajući se od lijeve i desne obale prema sredini rijeke vrijednosti protoka postepeno rastu, a u blizini osi riječnog korita, na mjernoj točki broj 8 izmjeren je najveći protok: 0,618 m<sup>3</sup>/s. Zbrajanjem vrijednosti protoka izmjerenih na svakoj mjernoj točki duž poprečnog presjeka korita dobije se ukupna vrijednost protoka na odabranom mjernom profilu: 4,995 m<sup>3</sup>/s.



Drugi graf prikazuje podatke o izmjerenoj brzini strujanja vode kroz odabrani poprečni presjek korita, također za svaku od 15 mjernih točaka. Najveća izmjerena brzina iznosila je 0,654 m/s i također je izmjerena u blizini osi riječnog korita.

Treći graf prikazuje izmjerene dubine korita na mjernim točkama. Dubina korita se povećava približavajući se od lijeve i desne obale prema osi riječnog korita, a u njoj blizini je izmjerena i najveća dubina korita od 1,020 m.



Slika 3.38. Grafički prikazi rezultata mjerenja na mjernoj postaji Ludbreg [18].

Tablično su prikazani na slici 3.39. rezultati mjerenja na mjernoj postaji Ludbreg.

U ovom konkretnom slučaju, točke broj 0 i 14 nalaze se na dubini 0 m, jer je rub obale uz sam kontakt vodnog lica.

Na većini mjernih točaka, u konkretnom slučaju, mjerenja su vršena na dvije različite dubine (metoda 0,2/0,8), dok su samo za dvije mjerne točke mjerenja izvršena po metodi 0,6 (odnosno na samo jednoj dubini), s obzirom na preporuku koju je definirao softver mjernog uređaja.

Usporedbom dviju mjernih točaka (broj 1 i 13) na kojima je mjerenje vršeno na samo jednoj dubini vidi se da su dobivene približno jednake vrijednosti brzine. Obje mjerne točke nalaze se na udaljenosti 1 m od obale. Na mjernoj točki broj 1 mjerenje je izvršeno na dubini 11,4 cm i izmjerena je brzina strujanja vode od 0,172 m/s. Na mjernoj točki broj 13 mjerenje je izvršeno gotovo na istoj dubini, na 10,8 cm i izmjerena je brzina strujanja vode od 0,196 m/s. Nešto veća brzina izmjerena je na točki broj 13 iz razloga jer udaljujući se od ove točke prema sredini rijeke dolazi do naglog pada dna korita rijeke, dok se kretanjem od točke 1 prema sredini rijeke nailazi na postepeni pad dna korita rijeke [18].

Usporede li se izmjerene brzine na mjernim točkama gdje se mjerenje izvršilo metodom 0,2/0,8 na dvije različite dubine, vidi se da je jedino na mjernoj točki broj 6 izmjerena veća brzina strujanja vode na većoj dubini, dok je na svim ostalim točkama mjerenja veća brzina strujanja vode izmjerena na manjoj dubini. Tako je na mjernoj točki broj 6 izvršeno mjerenje brzine na dubini 18,8 cm i dobivena je brzina od 0,615 m/s. Zatim je na istoj točki, ali na drugoj dubini (ovaj puta na 75,2 cm dubine) ponovno izvršeno mjerenje brzine i dobivena je vrijednost od 0,654 m/s. Općenito, najveće su brzine većinom bliže površini što je dokazano i ovim mjerenjem. Međutim, što je protjecajni profil nepravilniji, to je nepravilnija i raspodjela brzina. U nepravilnom riječnom koritu raspodjela se brzina može odrediti samo mjerenjem. Ona ovisi o mnogo različitih čimbenika, npr. o padu, dubini vode, hrapavosti korita, o obliku poprečnog presjeka [8], [18].

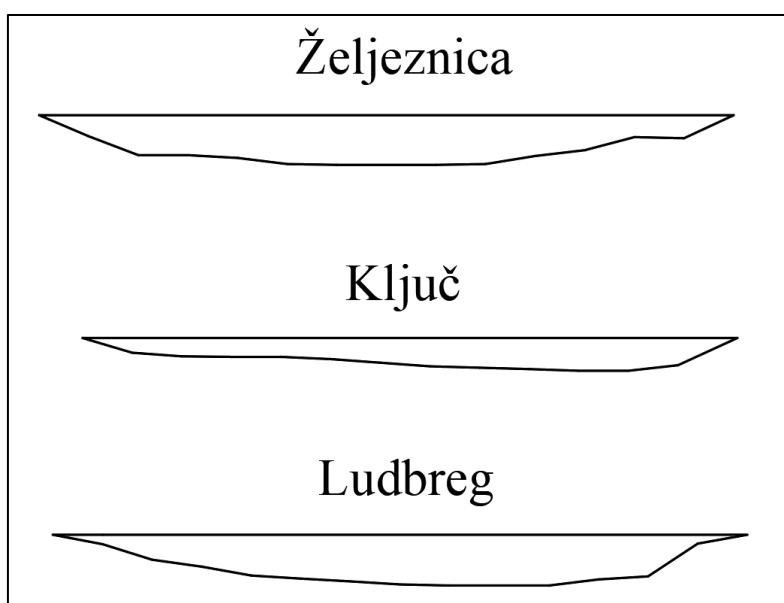
Measurement results														
St#	Time	Location (m)	Method	Depth (m)	%Depth	Measured Depth (m)	Samples	Velocity (m/s)	Correcti on	Mean Velocity (m/s)	Area (m <sup>2</sup> )	Flow (m <sup>3</sup> /s)	%Q	
0	12:06	0,000	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,172	0,000	0,000	0,000	✓
1	12:08	1,000	0,6	0,190	0,600	0,114	80	0,172	1,000	0,172	0,190	0,033	0,653	✓
2	12:12	2,000	0,2/0,8	0,500	0,200	0,100	80	0,445	1,000	0,392	0,500	0,196	3,925	✓
2	12:12	2,000	0,2/0,8	0,500	0,800	0,400	80	0,339	1,000	0,392	0,500	0,196	3,925	✓
3	12:17	3,000	0,2/0,8	0,640	0,200	0,128	80	0,465	1,000	0,398	0,640	0,255	5,105	✓
3	12:17	3,000	0,2/0,8	0,640	0,800	0,512	80	0,332	1,000	0,398	0,640	0,255	5,105	✓
4	12:22	4,000	0,2/0,8	0,820	0,200	0,164	80	0,580	1,000	0,438	0,820	0,359	7,195	✓
4	12:22	4,000	0,2/0,8	0,820	0,800	0,656	80	0,296	1,000	0,438	0,820	0,359	7,195	✓
5	12:26	5,000	0,2/0,8	0,880	0,200	0,176	80	0,619	1,000	0,571	0,880	0,503	10,061	✓
5	12:26	5,000	0,2/0,8	0,880	0,800	0,704	80	0,524	1,000	0,571	0,880	0,503	10,061	✓
6	12:29	6,000	0,2/0,8	0,940	0,200	0,188	80	0,615	1,000	0,634	0,940	0,596	11,933	✓
6	12:29	6,000	0,2/0,8	0,940	0,800	0,752	80	0,654	1,000	0,634	0,940	0,596	11,933	✓
7	12:33	7,000	0,2/0,8	1,000	0,200	0,200	80	0,618	1,000	0,590	1,000	0,590	11,822	✓
7	12:33	7,000	0,2/0,8	1,000	0,800	0,800	80	0,563	1,000	0,590	1,000	0,590	11,822	✓
8	12:37	8,000	0,2/0,8	1,020	0,200	0,204	80	0,632	1,000	0,606	1,020	0,618	12,376	✓
8	12:37	8,000	0,2/0,8	1,020	0,800	0,816	80	0,580	1,000	0,606	1,020	0,618	12,376	✓
9	12:41	9,000	0,2/0,8	1,020	0,200	0,204	80	0,609	1,000	0,563	1,020	0,574	11,488	✓
9	12:41	9,000	0,2/0,8	1,020	0,800	0,816	80	0,516	1,000	0,563	1,020	0,574	11,488	✓
10	12:45	10,000	0,2/0,8	1,020	0,200	0,204	80	0,593	1,000	0,503	1,020	0,513	10,280	✓
10	12:45	10,000	0,2/0,8	1,020	0,800	0,816	80	0,413	1,000	0,503	1,020	0,513	10,280	✓
11	12:47	11,000	0,2/0,8	0,900	0,200	0,180	80	0,564	1,000	0,460	0,900	0,414	8,295	✓
11	12:47	11,000	0,2/0,8	0,900	0,800	0,720	80	0,357	1,000	0,460	0,900	0,414	8,295	✓
12	12:51	12,000	0,2/0,8	0,840	0,200	0,168	80	0,448	1,000	0,366	0,840	0,308	6,162	✓
12	12:51	12,000	0,2/0,8	0,840	0,800	0,672	80	0,285	1,000	0,366	0,840	0,308	6,162	✓
13	12:54	13,000	0,6	0,180	0,600	0,108	80	0,196	1,000	0,196	0,180	0,035	0,706	✓
14	12:57	14,000	None	0,000	0,000	0,000	0	0,000		0,196	0,000	0,000	0,000	✓

Slika 3.39. Tablični prikaz rezultata mjerenja na mjernoj postaji Ludbreg [18].

## 4. Analiza poprečnih presjeka

Na osnovu dijagrama dubina dobivenih mjerenjima na rijeci Bednji, na mjernim postajama Željeznica, Ključ i Ludbreg (potpoglavlja 3.2.2., 3.3.2. i 3.4.2.) u ovom će se poglavlju pomoću računalnog programa Autodesk AutoCad 2021 prikazati i analizirati dobiveni poprečni presjeci korita.

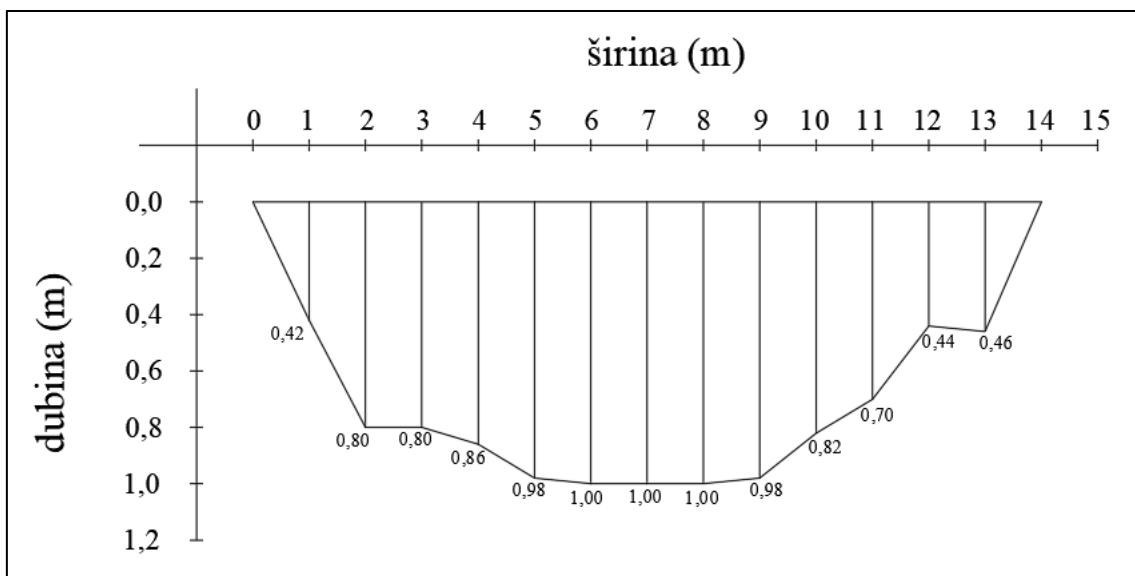
Na slici 4.1. prikazani su u stvarnom odnosu (omjer širine i dubine korita 1:1) poprečni presjeci korita dobiveni mjerenjima na mjernim postajama Željeznica, Ključ i Ludbreg. Mjerenje u Željeznici izvršeno je dana 11.5.2021., u Ključu 2.6.2021., a u Ludbregu 4.6.2021.



*Slika 4.1. Poprečni presjeci korita na lokacijama Željeznica, Ključ i Ludbreg.*

Slika 4.2. prikazuje poprečni presjek korita na lokaciji Željeznica u prilagođenom mjerilu (omjer širine i dubine korita 5:1) zbog bolje preglednosti izmjerenih dubina korita.

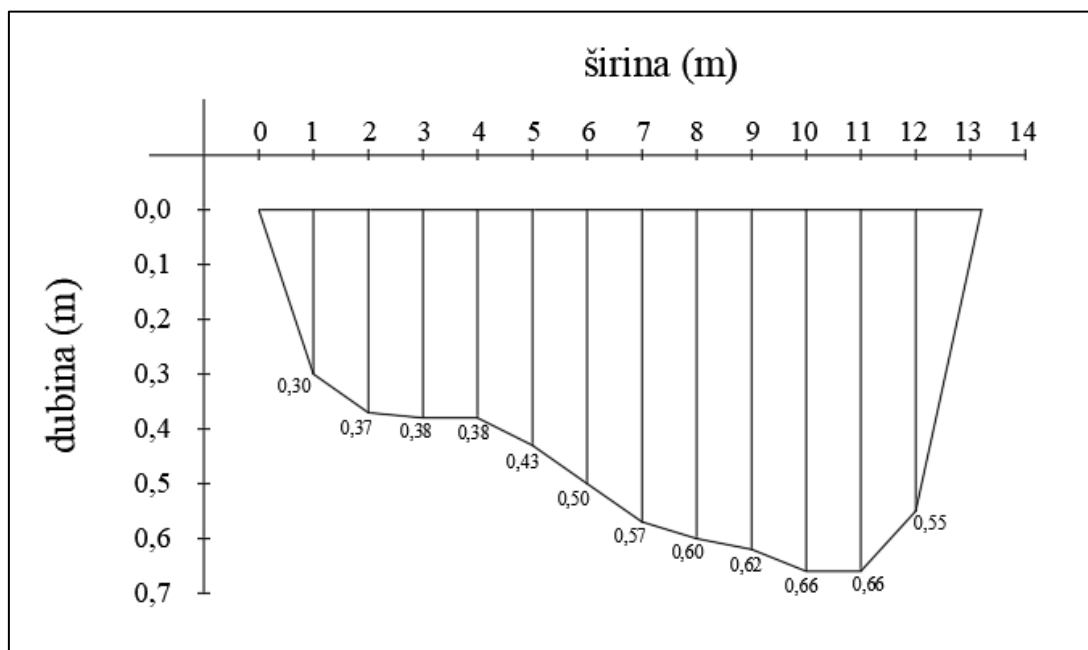
Kao što je već detaljnije opisano u trećem poglavlju ovoga rada, hidrometrija na mjernoj postaji Željeznica je izvršena na 15 mjernih točaka duž odabranog profila korita na međusobnom razmaku 1 m. Mjerne točke broj 0 i 14 nalaze se na dubini 0 m jer je rub obale uz sam kontakt vodnog lica. Polazeći od točke 0 prema točki 2 dolazi do naglog pada dna korita pa je izmjerena dubina na mjernoj točki 2 već 80 cm. Najveća izmjerena dubina nije određena samo za jednu mjernu točku, već je čak na tri uzastopne mjerne točke (broj 6, 7 i 8) izmjerena jednaka najveća dubina korita, točno 1 m. Kada bi se izvršila detaljna izmjera dna korita vjerojatno bi se dobila najveća dubina samo u jednoj točki i premašila bi sada mjerodavnih 1,00 m.



Slika 4.2. Prikaz poprečnog presjeka korita na lokaciji Željeznica.

Na slici 4.3. prikazan je poprečni presjek korita na lokaciji Ključ, također u prilagođenom mjerilu (omjer širine i dubine korita 10:1) zbog bolje preglednosti izmjerenih dubina korita.

Hidrometrija na mjernoj postaji Ključ izvršena je na 14 mjernih točaka duž odabranog profila korita na ukupnoj širini korita od 13,2 m. Međusobna udaljenost između mjernih točaka iznosi 1 m, dok samo udaljenost između mjerne točke 12 i 13 iznosi 1,2 m. Mjerne točke broj 0 i 13 nalaze se na dubini 0 m jer je rub obale uz sam kontakt vodnog lica. Najveća izmjerena dubina nije određena samo za jednu mjernu točku, već je na dvije uzastopne mjerne točke (broj 10 i 11) izmjerena jednaka najveća dubina korita, 66 cm.

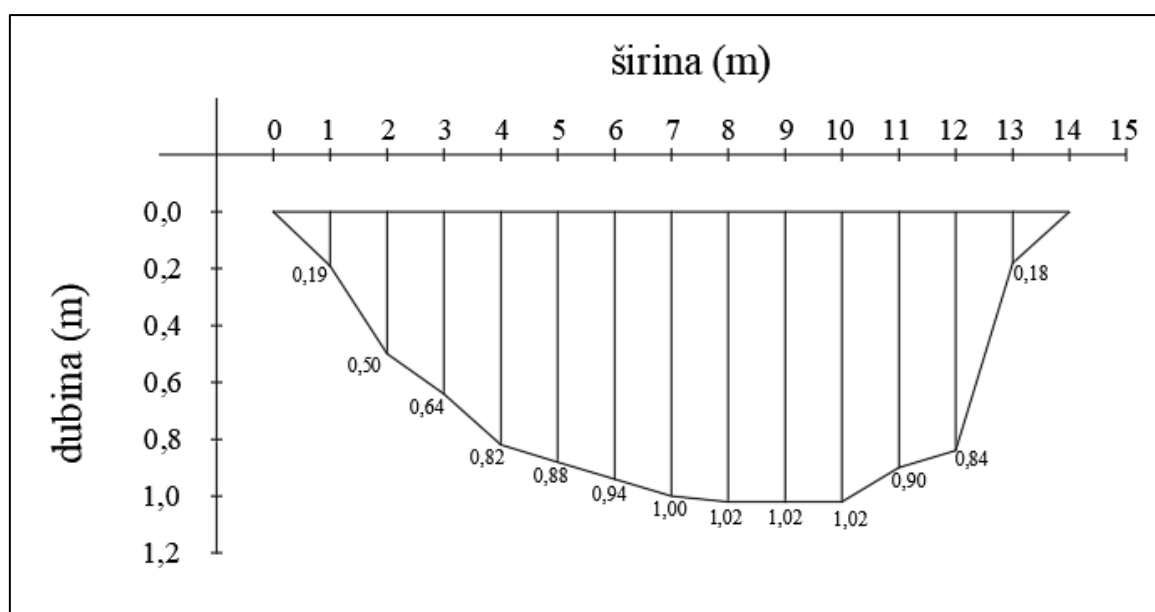


Slika 4.3. Prikaz poprečnog presjeka korita na lokaciji Ključ.



Slika 4.4. prikazuje poprečni presjek korita na lokaciji Ludbreg u prilagođenom mjerilu (omjer širine i dubine korita 5:1).

Hidrometrija na mjernoj postaji Ludbreg je izvršena, kao i na postaji Željeznica, na 15 mjernih točaka duž odabranog profila korita na međusobnom razmaku 1 m. Promatrani poprečni presjek korita je nepravilan i dubina dna korita se ne mijenja simetrično s obzirom na os riječnog korita. Najveća izmjerena dubina nije određena samo za jednu mjernu točku, već je čak na tri uzastopne mjerne točke (broj 8, 9 i 10) izmjerena jednaka najveća dubina korita i to 1,02 m. Može se utvrditi da, kao što je bio slučaj i za Željeznicu, ukoliko bi se izvršila detaljna izmjera dna korita vjerojatno bi se dobila najveća dubina samo u jednoj točki i premašila bi sada mjerodavnih 1,02 m.



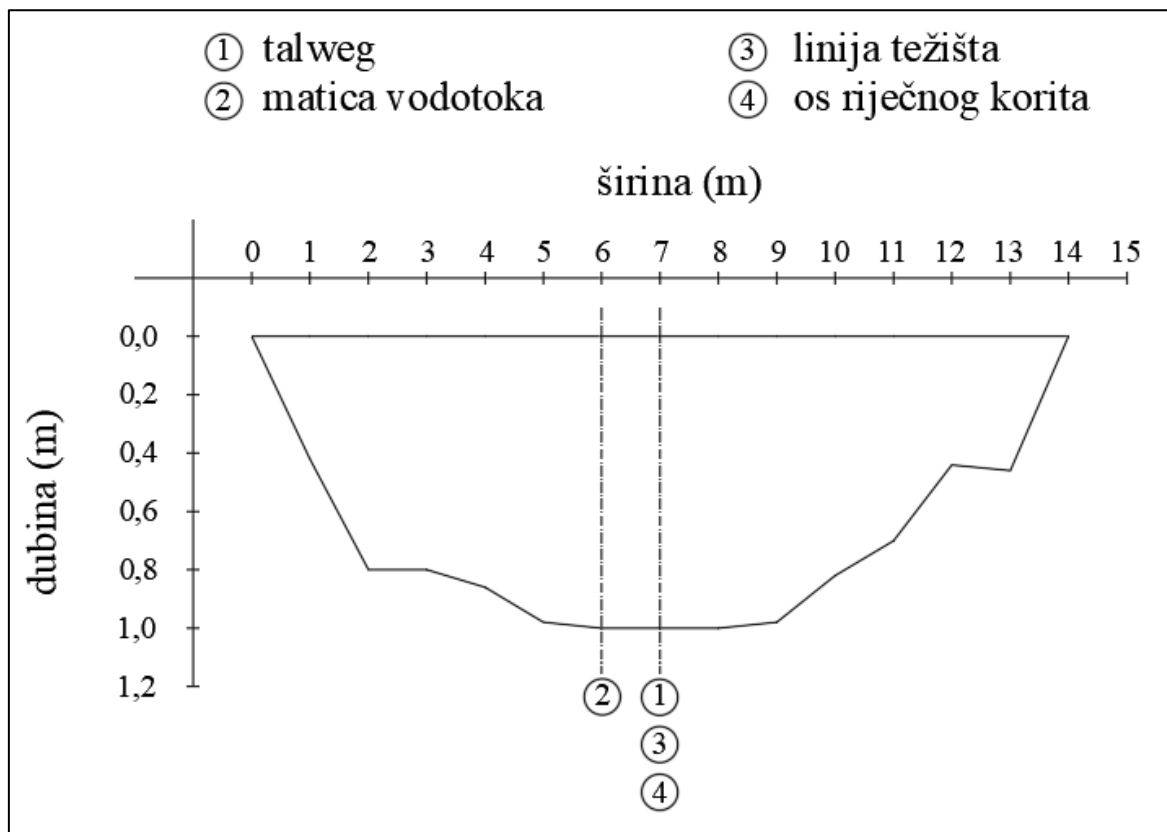
Slika 4.4. Prikaz poprečnog presjeka korita na lokaciji Ludbreg.

Na slikama koje slijede prikazat će se za sve tri analizirane lokacije (slika 4.5. za lokaciju Željeznica, slika 4.6. za lokaciju Ključ i slika 4.7. za lokaciju Ludbreg), odnosno za svaki poprečni presjek korita, 4 karakteristične točke važne kod morfološke analize vodotoka. Te karakteristične točke, već spomenute u drugom poglavlju ovoga rada, su: talweg, matica vodotoka, linija težišta i os riječnog korita.

Talweg, odnosno točka najveće dubine nalazi se u blizini osi riječnog korita, no prema podacima dobivenim mjerenjem čak tri točke u ovom poprečnom profilu imaju jednaku vrijednost najveće dubine te bi se moralo izvršiti detaljno mjerenje da se dobije točan podatak. Isti je slučaj i za poprečne profile na lokacijama Ključ i Ludbreg.

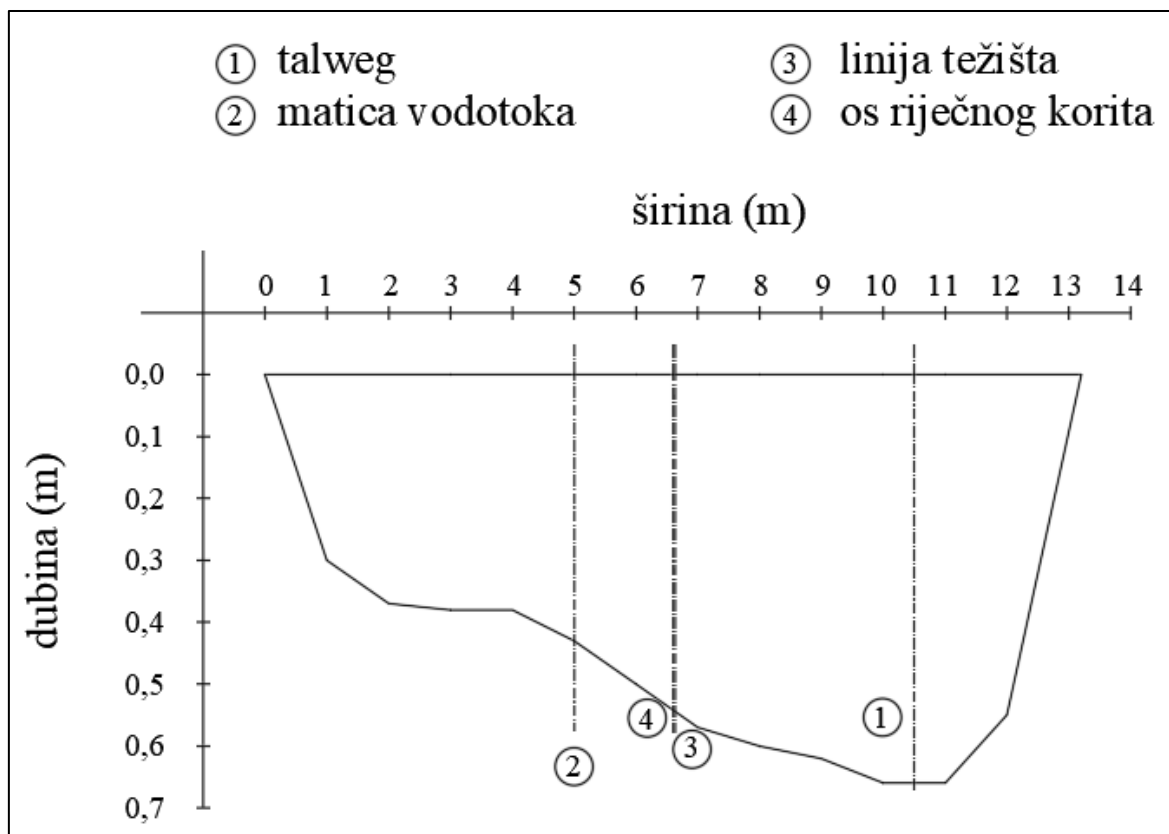
U ovom je slučaju točka najveće brzine (matica vodotoka) izmjerena u blizini osi riječnog korita.

Unatoč nepravilnom dnu na ovom poprečnom profilu, linija težišta se gotovo poklapa s osi riječnog korita. Izračunom je dobiveno da se linija težišta nalazi samo 4,65 mm od osi riječnog korita, ali treba uzeti u obzir činjenicu da je to izračun s padom dna korita u pravcu, što u stvarnosti nije slučaj.



Slika 4.5. Poprečni presjek korita na lokaciji Željeznica s karakterističnim točkama.

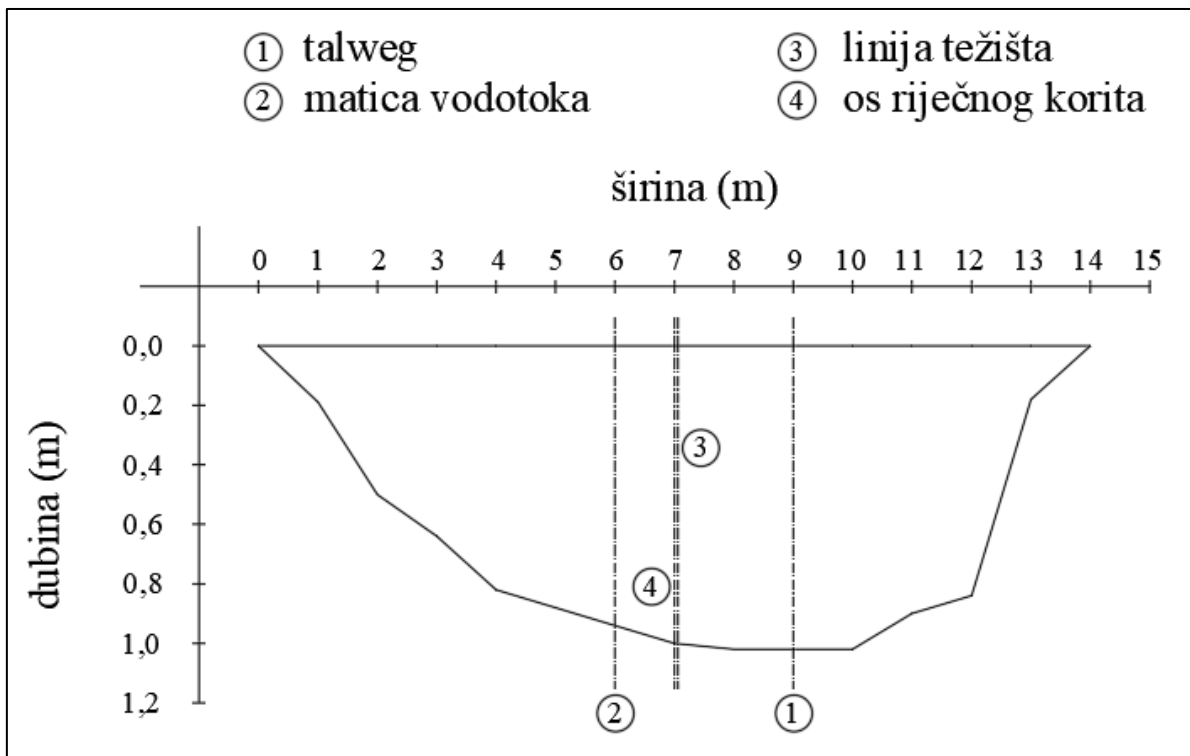
Kod analize poprečnog presjeka na lokaciji Ključ dobiveno je izračunom da se linija težišta ponovno nalazi vrlo blizu osi riječnog korita, ovaj puta na udaljenosti samo 3,83 cm.



Slika 4.6. Poprečni presjek korita na lokaciji Ključ s karakterističnim točkama.

Matica vodotoka na poprečnom profilu mjerne postaje Ludbreg se nalazi, kao i na lokacijama Željeznica i Ključ, nedaleko osi riječnog korita. Međutim, to ne mora biti uvijek slučaj. Raspodjelu brzina u poprečnom profilu korita rijeke jest nepravilna i ovisi o mnogo čimbenika, a što je protjecajni profil nepravilniji, to je nepravilnija i raspodjela brzina.

Kod analize poprečnog presjeka na lokaciji Ludbreg dobiveno je izračunom da se linija težišta nalazi blizu osi riječnog korita (kao i na mjernim postajama Željeznica i Ključ), ovaj puta na udaljenosti od 6,37 cm.



Slika 4.7. Poprečni presjek korita na lokaciji Ludbreg s karakterističnim točkama.

Također je važno spomenuti da kod mjerenja u obzir treba uzeti i činjenicu da se zbog nanosa, ali i zbog ispiranja može mijenjati geometrija poprečnog, kao i uzdužnog presjeka korita. Uz to, kao smetnje prilikom mjerenja na dnu korita može se naći i razno smeće bačeno u rijeku ili različita vegetacija te se po potrebi prije mjerenja može izvršiti čišćenje dna korita [18].

## 5. Zaključak

Morfologija vodotoka bavi se opisivanjem i objašnjavanjem osnovnih značajki prirodnih korita vodotoka. Morfološke značajke uvjetovane su trodimenzionalnim (uzdužnim, poprečnim i vertikalnim), vremenski promjenjivim strujanjem vode u pokretnom dnu.

Na rijeci Bednji nalazi se pet hidrometrijskih postaja na kojima se pomoću digitalnih mjernih uređaja vrši mjerenje vodostaja i protoka. U ovome radu detaljno su analizirane postaje Željeznica, Ključ i Ludbreg. Jasno je da je bez poznavanja režima voda, odnosno bez mjerenja vodostaja, nezamislivo bilo kakvo gospodarenje vodama. U kombinaciji s određivanjem (ili mjerenjem) protoka, vodostaj daje kompletnu sliku stanja nekog vodotoka. Vrijednosti protoka i vodostaja, kao i njihov međusobni odnos (protočna krivulja), predstavljaju stoga temelj na osnovu kojega se provode sve aktivnosti vezane uz vodu. Ove pak aktivnosti obuhvaćaju široki skup djelatnosti vezanih uz energetiku, poljoprivredu, ekologiju i vodno gospodarstvo.

Usporedbom nivograma i hidrograma na svakoj od tri analizirane hidrometrijske postaje na rijeci Bednji utvrđena je međusobna ovisnost između vodostaja i protoka. To su proporcionalne veličine, dakle s porastom vodostaja bit će veći i protok. Nadalje, usporedbom nivograma na postajama Željeznica, Ključ i Ludbreg, za promatrano razdoblje od siječnja do prosinca 2022. godine, zaključak je da se dobije gotovo identičan graf te je potvrđena očekivana međuovisnost visine izmjerenog vodostaja na različitim hidrometrijskim postajama istog vodotoka, u ovom slučaju na rijeci Bednji.

Analizom poprečnih presjeka korita dobivaju se važne informacije o različitim karakterističnim veličinama vezanim uz vodotoke (dubina, brzina strujanja, protok, temperatura vode itd.). Matica vodotoka na poprečnom profilu mjerne postaje Ludbreg se nalazi, kao i na lokacijama Željeznica i Ključ, nedaleko osi riječnog korita. Međutim, to ne mora biti uvijek slučaj. Raspodjelu brzina u poprečnom profilu korita rijeke jest nepravilna i ovisi o mnogo čimbenika, a što je protjecajni profil nepravilniji, to je nepravilnija i raspodjela brzina. Na sve tri lokacije linija težišta gotovo se poklapa s osi riječnog korita, iako je geometrija poprečnih profila nepravilna.

Svrha analize je odrediti koji dio korita, odnosno poprečnog presjeka je izloženiji eroziji, a koji taloženju, odnosno zarušavanju u konačnici. Navedeno je bitno zbog planiranja regulacijskih zahvata, određivanja lokacija na kojima su moguće poplave, mogućnosti navodnjavanja te planiranja građenja malih hidroelektrana.



## 6. Literatura

- [1] Kafol Z., Činjenice na dohvat ruke, Mozaik knjiga, Zagreb, 2007., str. 42-43
- [2] Đurin B., predavanja iz kolegija Regulacije i melioracije na 3. godini Stručnog preddiplomskog studija Graditeljstva, Sveučilište Sjever, ak. god. 2022./2023.
- [3] Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet,  
[http://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/tvz/mel\\_reg/reg\\_predavanja/RegulacijePredavanje\\_02\\_V.pdf](http://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/tvz/mel_reg/reg_predavanja/RegulacijePredavanje_02_V.pdf), datum pristupa 26.7.2023.
- [4] Priroda Hrvatske – dinamika rijeka, <https://priodahrvatske.com/dinamika-rijeka/>, datum pristupa 26.7.2023.
- [5] Priroda Hrvatske – prijenos sedimenta,  
<https://priodahrvatske.com/2018/02/17/prijenos-sedimenta/#>, datum pristupa 26.7.2023.
- [6] Enciklopedija, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=28306>, datum pristupa 5.8.2023
- [7] Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Thalweg#/media/File:Thalweg.svg>, datum pristupa 5.8.2023.
- [8] Hrvatska tehnička enciklopedija,  
[https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/regulacija\\_vodotoka.pdf](https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/regulacija_vodotoka.pdf), datum pristupa 5.8.2023.
- [9] Dokumenti tips, <https://dokumen.tips/documents/g-04-hidrotehnicke-regulacije.html?page=17>, datum pristupa 9.8.2023.
- [10] Priroda Hrvatske – rukavci, <https://priodahrvatske.com/rukavci/>, datum pristupa 9.8.2023.
- [11] Međimurska priroda, <https://www.medjimurska-priroda.info/znacajni-datumi/obljetnica-proglasenja-zastite-znacajnog-krajobraza-rijeke-mure/>, datum pristupa 9.8.2023.
- [12] Priroda Hrvatske – mrtvi rukavci, <https://priodahrvatske.com/mrtvi-rukavci/>, datum pristupa 9.8.2023.
- [13] Općina Bednja, <http://www.bednja.hr/prirodne-znamenitosti>, datum pristupa 21.8.2023

- [14] Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bednja\\_%28rivi%C3%A8re%29.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bednja_%28rivi%C3%A8re%29.png), datum pristupa 21.8.2023.
- [15] Državni hidrometeorološki zavod (2023.), poprečni profili i protoci rijeke Bednje na lokacijama mjernih postaja.
- [16] Enciklopedija, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=25426>, datum pristupa 21.8.2023.
- [17] Državni hidrometeorološki zavod – hidrologija, <https://hidro.dhz.hr/>, datum pristupa 21.8. 2023.
- [18] Bigor P.: Potencijal rijeke Bednje za korištenje hidrotehničkih turbina, Diplomski rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2021.

## 7. Popis slika

Slika 1.1. Tipični tokovi rijeke sa svojim karakterističnim presjecima [2], [3].	1
Slika 1.2. Taloženje sedimenta [4].	2
Slika 2.1. Osnovni pojmovi morfoloških elemenata vodotoka [3].	4
Slika 2.2. Prikaz elemenata vodotoka u poprečnom presjeku [2].	5
Slika 2.3. Prikaz talwega na dionici vodotoka [7].	5
Slika 2.4. Raspodjela brzina u profilu vodotoka (brzine u m/s) [8].	6
Slika 2.5. Prikaz osi težišta [8].	6
Slika 2.6. Prikaz taloženja i erozije, tlocrtno i u poprečnom presjeku [3].	7
Slika 2.7. Meandriranje riječnog korita [3].	8
Slika 2.8. Rukavac nastao kao stari meandar kroz koji rijeka još uvijek teče [11].	9
Slika 2.9. Primjer mrtvice rijeke [12].	10
Slika 3.1. Tok rijeke Bednje [14].	11
Slika 3.2. Srednji dnevni protoci s mjernih postaja na rijeci Bednji [15].	11
Slika 3.3. Pozitivni i negativni vodostaji [17].	13
Slika 3.4. Vodokazni profili [17].	14
Slika 3.5. Lokacija postaje Željeznica [17].	15
Slika 3.6. Satelitska snimka lokacije postaje Željeznica [17].	15
Slika 3.7. Osnovni podaci mjerne postaje Željeznica [17].	16
Slika 3.8. Prikaz postaje Željeznica [17].	16
Slika 3.9. Ekstremi mjerenja vodostaja i protoka na postaji Željeznica [17].	17
Slika 3.10. Vodostaji postaje Željeznica za 2022. godinu [17].	18
Slika 3.11. Protoci postaje Željeznica za 2022. godinu [17].	19
Slika 3.12. Poprečni presjek korita na postaji Željeznica [17].	20
Slika 3.13. Mjerenje na postaji Željeznica - opće informacije [18].	22
Slika 3.14. Grafički prikazi rezultata mjerenja na mjernoj postaji Željeznica [18].	23
Slika 3.15. Tablični prikaz rezultata mjerenja na mjernoj postaji Željeznica [18].	24
Slika 3.16. Lokacija postaje Ključ [17].	25
Slika 3.17. Satelitska snimka lokacije postaje Ključ [17].	25
Slika 3.18. Osnovni podaci mjerne postaje Ključ [17].	26
Slika 3.19. Prikaz postaje Ključ [17].	26
Slika 3.20. Ekstremi mjerenja vodostaja i protoka na postaji Ključ [17].	27

Slika 3.21. Vodostaji postaje Ključ za 2022. godinu [17].	28
Slika 3.22. Protoci postaje Ključ za 2022. godinu [17].	29
Slika 3.23. Poprečni presjek korita na postaji Ključ [18].	30
Slika 3.24. Mjerenje na postaji Ključ - opće informacije [18].	31
Slika 3.25. Grafički prikazi rezultata mjerenja na mjernoj postaji Ključ [18].	32
Slika 3.26. Tablični prikaz rezultata mjerenja na mjernoj postaji Ključ [18].	33
Slika 3.27. Lokacija postaje Ludbreg [17].	34
Slika 3.28. Satelitska snimka lokacije postaje Ludbreg [17].	34
Slika 3.29. Osnovni podaci mjerne postaje Ludbreg [17].	35
Slika 3.30. Prikaz postaje Ludbreg [18].	35
Slika 3.31. Ekstremi mjerenja vodostaja na postaji Ludbreg [17].	36
Slika 3.32. Ekstremi mjerenja protoka na postaji Ludbreg [17].	36
Slika 3.33. Vodostaji postaje Ludbreg za 2022. godinu [17].	37
Slika 3.34. Usporedba nivograma postaja Željeznica, Ključ i Ludbreg [17].	38
Slika 3.35. Protoci postaje Ludbreg za 2022. godinu [17].	39
Slika 3.36. Poprečni presjek korita na postaji Ludbreg [17].	40
Slika 3.37. Mjerenje na postaji Ludbreg - opće informacije [18].	41
Slika 3.38. Grafički prikazi rezultata mjerenja na mjernoj postaji Ludbreg [18].	42
Slika 3.39. Tablični prikaz rezultata mjerenja na mjernoj postaji Ludbreg [18].	44
Slika 4.1. Poprečni presjeci korita na lokacijama Željeznica, Ključ i Ludbreg.	45
Slika 4.2. Prikaz poprečnog presjeka korita na lokaciji Željeznica.	46
Slika 4.3. Prikaz poprečnog presjeka korita na lokaciji Ključ.	46
Slika 4.4. Prikaz poprečnog presjeka korita na lokaciji Ludbreg.	47
Slika 4.5. Poprečni presjek korita na lokaciji Željeznica s karakterističnim točkama.	48
Slika 4.6. Poprečni presjek korita na lokaciji Ključ s karakterističnim točkama.	49
Slika 4.7. Poprečni presjek korita na lokaciji Ludbreg s karakterističnim točkama.	50