

# Dimenzioniranje hidrotehničkih objekata unutar sustava odvodnje u dolini rijeke Neretve

---

Rubčić, Ema

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:191984>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET

**Dimenzioniranje hidrotehničkih objekata unutar  
sustava odvodnje u dolini rijeke Neretve**

DIPLOMSKI RAD

Ema Rubčić

Zagreb, rujan, 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:

Poljoprivredna tehnika - Melioracije

**Dimenzioniranje hidrotehničkih objekata unutar  
sustava odvodnje u dolini rijeke Neretve**

DIPLOMSKI RAD

Ema Rubčić

Mentor:

Doc. dr. sc. Marina Bubalo Kovačić

Zagreb, rujan, 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA  
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Ema Rubčić** JMBAG 0178119381, rođen/a 07.04.2000. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila/izradio diplomski rad pod naslovom:

**Dimenzioniranje hidrotehničkih objekata unutar sustava odvodnje u dolini rijeke  
Neretve**

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica/jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata/upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
*Potpis studenta / studentice*

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZVJEŠĆE  
O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA**

Diplomski rad studenta/ice **Ema Rubčić**, JMBAG 0178119381, naslova

**Dimenzioniranje hidrotehničkih objekata unutar sustava odvodnje u dolini rijeke**

**Neretve**

obranjen je i ocijenjen ocjenom \_\_\_\_\_, dana \_\_\_\_\_.

Povjerenstvo:

potpisi:

- |    |                                    |        |       |
|----|------------------------------------|--------|-------|
| 1. | doc. dr. sc. Marina Bubalo Kovačić | mentor | _____ |
| 2. | izv. prof. dr. sc. Monika Zovko    | član   | _____ |
| 3. | izv. prof. dr. sc. Gordon Gilja    | član   | _____ |



# Sadržaj

1.	Uvod .....	1
1.1.	Cilj istraživanja .....	1
2.	Pregled dosadašnjih istraživanja .....	2
2.1.	Sustavi odvodnje.....	2
2.1.1.	Građevine za obranu od poplava.....	6
2.1.2.	Podzemni sustavi odvodnje .....	12
2.1.3.	Površinski sustavi odvodnje.....	19
3.	Materijali i metode.....	41
3.1.	Opis doline rijeke Neretve .....	41
3.2.	Postojeći sustav u dolini rijeke Neretve .....	44
3.3.	Metode prikupljanja podataka .....	49
4.	Rezultati i rasprava.....	54
4.1.	Razine vodostaja.....	54
4.1.1.	Glavni kanal 1 .....	54
4.1.2.	Glavni kanal 2 .....	56
4.1.3.	Glavni kanal 3 .....	58
4.1.4.	Sabirni kanal .....	60
4.2.	Iščišćeni nizovi razina vodostaja .....	62
4.2.1.	Glavni kanal.....	62
4.2.3.	Sabirni kanal.....	62
4.3.	Korelacija izmjerenih vrijednosti vodostaja glavnog i sabirnog kanala za 2021. i 2022. godinu.....	63
4.4.	Postupak proračuna protoka u sabirnom kanalu .....	66
4.5.	Prijedlog alternativnog rješenja .....	70
5.	Zaključak .....	72
6.	Popis literature.....	73
7.	Životopis .....	78





# Sažetak

Diplomskog rada studenta/ice **Eme Rubčić**, naslova

## **Dimenzioniranje hidrotehničkih objekata unutar sustava odvodnje u dolini rijeke Neretve**

Cilj ovog istraživanja je predložiti mjere optimizacije postojećeg sustava odvodnje u dolini rijeke Neretve temeljem podataka o razinama vodostaja u glavnom i sabirnom kanalu poldera Vidrice. Podaci o vodostaju prikupljeni su putem automatskog monitoringa, dok su vrijednosti protoka u sabirnom kanalu dobivene hidrauličkim proračunom. Analizom vodostaja i provođenjem hidrauličkog proračuna utvrđeno je da neodržavanje sabirnog kanala dovodi do smanjenja protoka i protočne površine, što negativno utječe na hidrološki režim i smanjuje funkcionalnost samog kanala. Ključna mjera za optimizaciju sustava je rekonstrukcija sabirnog kanala, koja uključuje iskop (izmuljivanje) dna kanala i uklanjanje obrasle vegetacije. Osim toga, u radu se opisuju općenito površinski i podzemni sustavi odvodnje, te se detaljno opisuje postojeći sustav odvodnje u dolini rijeke Neretve.

**Ključne riječi:** površinska odvodnja, automatizirani sustav kontinuiranog monitoringa, protok, hidraulički proračun

# Summary

Of the master's thesis – student **Ema Rubčić**, entitled

## **Dimensioning of hydrotechnical facilities within the drainage system in the Neretva river valley**

The aim of this research is to suggest optimization measures for the existing drainage system in the Neretva River valley based on data regarding water levels in the primary and secondary channels of the Vidrice polder. Water level data was collected through automated monitoring, while flow values in the secondary channel were determined through hydraulic calculations. Through the analysis of water levels and the implementation of hydraulic calculations, it has been determined that the lack of maintenance of the secondary channel results in reduced flow and flow area, negatively affecting the hydrological regime and diminishing the functionality of the channel itself. The primary measure for system optimization is the reconstruction of the collecting channel, involving excavation (dredging) of the channel bottom and removal of overgrown vegetation. Additionally, this work provides a general overview of surface and subsurface drainage systems, along with a detailed description of the existing drainage system in the Neretva River valley.

**Keywords:** surface drainage, Automated Continuous Monitoring System, flow, hydraulic calculation

# 1. Uvod

Odvodnjom iz tla uklanja se višak vode i otopljenih soli kako bi se osigurali optimalni uvjeti za rast i razvoj poljoprivrednih kultura. Ovaj proces pomaže održavanju povoljnog vodnog režima u tlu, što zauzvrat pridonosi poboljšanju plodnosti tla i povećanju prinosa poljoprivrednih usjeva. S obzirom na lokaciju samog sustava odvodnje razlikuju se površinski i podzemni sustavi odvodnje. Glavna svrha površinskog sustava odvodnje u biljnoj proizvodnji je pomoću melioracijskih kanala brzo i efikasno evakuirati suvišne unutrašnje vode, koje uglavnom pritječe s obližnjih poljoprivrednih površina, do odgovarajućeg vodoprijemnika (recipijenta) u određenom vremenskom razdoblju. Podzemni sustavi odvodnje obuhvaćaju uklanjanje viška potpovršinskih voda iz tla poljoprivrednih površina putem drenažnih cijevi i regulaciju razina podzemnih voda u tlu. Na području Republike Hrvatske, od ukupne površine za melioraciju na kojoj je potrebna izgradnja sustava za površinsku odvodnju (1.673.792 hektara), potpuno su izgrađeni sustavi 43,3% ukupne površine, djelomično su izgrađeni sustavi na 19,4% ukupne površine i na preostalih 37,3% ukupne površine sustavi nisu izgrađeni (Šoštarić J. i sur., 2016).

Dolina rijeke Neretve predstavlja jedno od područja u Republici Hrvatskoj s izuzetno intenzivnom poljoprivrednom proizvodnjom, a istodobno je područje koje je izrazito regulirano u pogledu upravljanja vodnim režimom. Ukupni sustav regulacije vodnih tijela temelji se na sustavu odvodnje, koji ovisi o radu niza crpnih stanica. Te crpne stanice obično djeluju prema unaprijed definiranom rasporedu, a ne uzimaju u obzir promjene u razini vode. Zbog intenzivnog poljoprivrednog uzgoja postoji i potreba za korištenjem sustava navodnjavanja, a primijećeno je da crpljenje vode iz kanala značajno utječe na vodni režim kanala, posebno tijekom ljetnih mjeseci. S ciljem unaprjeđenja trenutnog sustava, na referentnoj lokaciji doline rijeke Neretve, implementiran je napredni sustav za nadzor, predviđanje i izvješćivanje o stanju ekosustava riječke doline, koji se većinom koristi u poljoprivredi. Automatskim monitoringom omogućeno je praćenje kvalitete vode, nadzor razine soli u tlu, proučavanje režima površinske vode i bilježenje vremenskih uvjeta predmetnog područja. Analizom dobivenim vrijednostima monitoringa ustanovljeno je da je tijekom 2021. i 2022. godine na sabirnom kanalu u polderu Vidrice smanjena protočna površina vode što povisuje visinu vode u kanalu i smanjuje protok vode. S obzirom na navedeno, postoji potreba za optimizacijom cijelog sustava kako bi se bolje uskladili zahtjevi poljoprivrede i očuvanje vodnih resursa. Mjere optimizacije mogu uključivati izgradnju dodatnih hidrotehničkih objekata i/ili provesti mjere rekonstrukcije kanala.

## 1.1. Cilj istraživanja

Ovaj rad ima za cilj provesti analizu funkcionalnosti postojećeg sustava odvodnje unutar poldera Vidrice i pružiti preporuke za poboljšanje učinkovitosti i funkcionalnosti sustava odvodnje u navedenom području, s posebnim naglaskom na sanaciju sabirnog kanala kako bi se osigurala bolja kontrola vode i očuvala hidrološka ravnoteža u dolini rijeke Neretve.

## 2. Pregled dosadašnjih istraživanja

Pod utjecajem različitih geomorfoloških, hidropedoloških i klimatskih čimbenika na određenim melioracijskim područjima može doći do pojave suvišnih voda čija prisutnost negativno utječe na prinos poljoprivrednih kultura te otežava izvođenje agrotehničkih zahvata. Prema Petošiću i sur. (2015.) najvažniji klimatski čimbenici koji utječu na količinu suvišne vode su količina, intenzitet i raspored oborina te uvjeti koji utječu na njihovi potrošnju. U južnoj jadranskoj regiji Republike Hrvatske koristeći Thorntweit-ovu metodu za proračun bilance vode, količina godišnjeg viška vode u predmetnoj regiji iznosi od 350 do 600 mm koja s obzirom na ranije navedene čimbenike te tipu prekomjernog vlaženja može biti površinska i potpovršinska (Tomić 1988., Tomić i Petošić 1989., Tomić 1993. i Petošić i Tomić 2011.). Potpovršinske vode saturiraju određeni profil tal povremeno ili trajno te se dijele na sporoprocjedne i stagnirajuće (razlikuju se u brzini procjeđivanja vode kroz gornji solum tla unutar 100 cm dubine) te podzemne vode koja ispunjava sve pore tla u određenom sloju profila te se nalazi ispod vodnog lica. S obzirom na razinu dizanja vodene plohe, podzemna voda dijeli se na vrlo plitku (< 0,25 m), plitku (0,25-0,5 m), srednje duboku (0,5-1 m), duboku (1,0-1,5 m) i vrlo duboku (> 1,5 m). Pojava površinskih suvišnih voda nastaje u uvjetima kada intenzitet i količina oborina nadmašuje vrijednosti njihove moguće potrošnje, odnosno gubitka, kroz procese evapotranspiracije, upijanja i procjeđivanja u dublji profil tla (Petošić i Tomić 2011.), a prema podrijetlu dijele se na vlastite (oborinske) i vanjske (strane) koje mogu dotjecati s okolnih povišenih područja ili poplavljivati iz postojećih vodotoka melioracijskog područja.

Pojavom suvišne vode u tlu, mikropore i makropore su ispunjene vodom čime dolazi do smanjenja količine kisika u tlu ili potpunog nedostatka istog. Takvi uvjeti u tlu dovode do redukcije procesa respiracije korijena prilikom čega se narušavaju i ostali procesi potrebni za normalno funkcioniranje biljaka. Saturirani uvjeti mijenjaju se redoks potencijal tla te u korijenu i okolnom tlu dolazi do proizvodnje i nakupljanja fitotoksičnih spojeva. Takvi uvjeti u tlu otežavaju kretanje mehanizacije, onemogućuju pravovremeno izvođenje agrotehničkih zahvata te izravno utječu na gubitak prinosa kultura. U svrhu postizanja optimalnih uvjeta za uzgoj poljoprivrednih kultura potrebno je zaštititi melioracijsko područje od vanjskih voda te osigurati adekvatan sustav odvodnje.

### 2.1. Sustavi odvodnje

Smatra se da su počeci izgradnje sustava odvodnje započeli istovremeno s izgradnjom sustava za navodnjavanje. Prema Luthin J. N. (1957.) današnji sustavi odvodnje razvili su se iz ranije poznatih metoda odvodnje suvišne vode iz razdoblja rane Mezopotamije te Helenističke i Kineske civilizacije. Uslijed zabrinutosti od neučinkovitog sustava navodnjavanja, na području nekadašnje Mezopotamije 4000 godine pr. Kr. razvile su se tehnike za kontrolu razine podzemne vode (Valipour M. i sur. 2020.). Petošić i Tomić 2011. smatraju da su u Europu znanja iz šireg područja melioracija prenijeli Feničani, dok su najstariji sustavi za odvodnju bili izgrađeni u Grčkoj (1000 godina pr. Kr.), kada je isušeno i Korajsko jezero površine oko 25000 ha. Grčki povjesničar iz 5. stoljeća pr. Kr., Herodot, također je zapisao informacije o drenažnim

radovima koje je prvi kralj ujedinjenog Egipta Min izveo radi obrane glavnog grada Memphisa od poplava. Nadalje, tijekom 16., 17., i 18. stoljeća razne tehnike odvodnje proširile su se Europom, Rusijom i Sjedinjenim Američkim Državama (Wooten H.H. i Jones L.A 1955.), a izum parnog stroja početkom 19. stoljeća omogućio je povećanje kapaciteta crpljena vode što je rezultiralo obnavljanjem velikih jezera, na primjer 1852. godine - obnovljen je polder Haarlemmermeer u Nizozemskoj (Bos M.G. i sur. 2006.).

Na vodnim područjima u Hrvatskoj, u razdoblju od 1870. do 1890. godine izvedeni su značajni hidrotehnički zahvati na obrani od poplava i odvodnji suvišnih voda, a na području Zagreba, Siska i Karlovca, uslijed velikih poplava 1960-ih godina, izrađeni su temeljni projekti s rješenjima obrana od poplava (Petošić i sur. (2015.)). Nadalje, tijekom Domovinskog rata, poslovi održavanja prethodno izgrađenih melioracijskih sustava nisu obavljani što je rezultiralo u stalnom smanjenju protjecajnog profila melioracijskih kanala te cijevnih i pločastih propusta na njima. Posljedica navedenog je prekomjerno zadržavanje i povišenje razine vode u njima te usporo djelovanje podzemne odvodnje što je istovremeno dovelo do sporijeg prihvaćanja vode s poljoprivrednih zemljišta i smanjenja prinosa biljnih kultura (Šoštarić J. i sur. 2016.). Visina štete nastale tijekom 1991. i 1992. godine na zaštitnim i odvodnim objektima procjenjuje se na 190 905 200 HRK ili 25 352 616 € (Marušić 1994.), obnova većine nastradalih crpnih stanica provodila se od 1997. do 2001. godine.

Procesom odvodnje uklanja se višak vode i otopljenih soli iz tla čime se osiguravaju optimalni uvjeti za rast i razvoj poljoprivrednih kultura. Valipour M. i sur. 2020. (Prema ICID-u (*International Committee of Irrigation and Drainage*)) navode kako je odvodnja uklanjanje viška površinske ili potpovršinske vode bilo iz kojeg područja, prirodno kanalima ili umjetno pomoću drenova. Četiri su glavne funkcije odvodnje: stvaranje dobro dreniranih obradivih površina, sprječavanje zaslanjivanja tla, smanjenje podzemne vode i uklanjanje akumuliranih soli ili toksičnih elemenata. Kako bi se sve navedene funkcije ostvarile, sustavi odvodnje trebaju ispunjavati tri temeljna kriterija: potrebno vrijeme odvodnje, hidromodul odvodnje i normu odvodnje. Potrebno vrijeme odvodnje predstavlja racionalno vrijeme za evakuaciju utvrđene količine suvišnih voda iz određenog agroekosustava i ovisi o vrsti uzgajane kulture, njezinoj fenofazi rasta/razvoja i osjetljivosti na suvišnu vodu, tijekom plavljenja i fizikalno-kemijskim obilježjima suvišnih voda koje uzrokuju plavljenje (Petošić i sur. 2015.). U jednadžbi 2.1. prikazana je veza između gubitka prinosa i trajanja plavljenja.

$$Y = (10 - T)^2 \quad (\text{jedn 2.1.})$$

gdje su: Y – prinos žitarica u %

T – trajanje plavljenja usjeva u danima

Hidromodul odvodnje predstavlja količinu suvišne vode koju je potrebno odvesti s određene površine u određenoj jedinici vremena, a ovisi o obilježjima tla, osjetljivosti uzgajane kulture na suvišnu vodu, količini i intenzitetu oborina, padu terena, obliku i veličini sliva te visini podzemne vode (Petošić i sur. 2015.). Razlike u vrijednosti hidromodula odvodnje ovise o vrsti sustava odvodnje. U sustavu podzemne odvodnje, hidromodul predstavlja količinu suvišne vode koja se odvodi s melioracijskog područja drenažnim cijevima. Osim o ranije navedenim parametrima, ovisi i o dodatnim agromelioracijskim mjerama. Prema Petošiću (1993.), na

području Republike Hrvatske utvrđene su vrijednosti drenažnog hidromodula od 0,4 do 5,51 l/s/ha. Vrijednosti hidromodula mogu se i približno odrediti ovisno o teksturnom sastavu tla (tablica 2.1.).

Tablica 2.1. Vrijednosti drenažnog hidromodula odvodnje (Marjanov, 1964.)

Sadržaj čestica tla <0,002 mm	q mm/dan	q l/s/ha
>60%	2,5-5,2	0,3-0,6
60-40%	5,2-7,0	0,6-0,8
40-30%	7,0-17,3	0,8-2,0
30-20%	17,3-25,9	2,0-3,0
<20%	25,9-43,2	3,0-5,0

Hidromodul površinske odvodnje u slučaju poznavanje vrijednosti količine suvišne vode, može se izračunati prema sljedećem izrazu (Rudić i Đurović, 2006.):

$$q = \frac{vv \times 10^4}{T \times 86400} \quad (\text{jedn. 2.1.})$$

gdje su: q – hidromodul odvodnje [l/s/ha];

vv – višak vode [mm];

T – vrijeme odvodne [dan].

Osim navedene jednadžbe, mjerodavni hidromodul površinskog otjecanja može se odrediti i matematičkim proračunom (programski paketi, na primjer HEC-HMS) ili drugim empirijskim formulama. Na području Republike Hrvatske primjenjuje se 4 jednadžbe. Hidromodul odvodnje na području sliva Dunava, Drave i Save određuje se jednadžbom po Kostjakovu (jedn. 2.2.) ili jednadžbom po Bellei (jedn. 2.3), na području Jadranskog sliva jednadžbom po Turazzau (jedn. 2.4.) i u dolini Črnec-polja Srebrenovićevom jednadžbom (jedn. 2.5.).

$$q_{mj} = 2,80 \frac{\sigma \times h}{t_k} \left( \frac{K}{A} \right) \quad (\text{jedn. 2.2.})$$

gdje su: q – hidromodul površinske odvodnje [l/s/ha];

$\sigma$  – mjerodavni koeficijent otjecanja [0,20-0,40];

$t_k$  – trajanje mjerodavne oborine [24-48 sati];

h – visina mjerodavne oborine [mm];

K – koeficijent hidrograma mjerodavnog otjecanja;

A – koeficijent koji ovisi o terenskim uvjetima otjecanja suvišne vode;

$\frac{K}{A}$  – koeficijent zakašnjenja sliva melioracijskih kanala.

$$q = \alpha \times h \left( 20 + 2 \times J + \frac{100}{F} \right) \quad (\text{jedn. 2.3.})$$

gdje su: q – hidromodul površinske odvodnje [l/s/ha];

$\alpha$  – koeficijent propusnosti tla [0,40-0,80];

H – visina mjerodavne godišnje oborine [m];

J – projekčan pad slivne površine [cm/km];

F – površina slivnog područja [km<sup>2</sup>].

$$q = 0,1157 \frac{\sigma \times K \times h}{t_k + t_c} \quad (\text{jedn. 2.4.})$$

gdje su: q – hidromodul površinsk eodvodnje [l/s/ha];

$\sigma$  – koeficijent otjecanja;

0,1157 – bezdimenzionalan broj;

h – visina mjerodavne oborine [mm] 1-2-dnevna;

$t_k$  – trajanje mjerodavne oborine [dani];

$t_c$  – vrijeme koncentracije [dana];

K – koeficijent hidrograma površinskog otjecanja [1,25-1,50 za hidrogram po „trokutu“ i „trapezu“ i manje slivne površine.

$$q = 2,78 \times \left\{ \frac{A \times H \times \left[ \left( \frac{V}{A \times H} \right)^B + t_c \right]^C}{t_c} \right\} \quad (\text{jedn. 2.5.})$$

gdje su: A,B,C – koeficijenti;

H – srednja godišnja oborina sliva [m];

V – sposobnost akumulacije tla [mm];

$t_c$  – vrijeme koncentracije [sati].

Tablica 2.2. vrijednosti A, B i C koeficijenta ovisno o povratnom periodu (Gilja 2022.)

<b>POVRATNI PERIOD (god.)</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>5</b>	28,37	3,165	0,316
<b>10</b>	39,35	3,682	0,272
<b>20</b>	49,16	4,065	0,246
<b>25</b>	52,42	4,156	0,240
<b>50</b>	61,66	4,419	0,226
<b>100</b>	72,85	4,630	0,216

Norma odvodnje ovisi o pedološkim karakteristikama i vrsti uzgajane kulture, predstavlja dubinu na koju je potrebno sniziti razinu podzemne vode i u izravnom je odnosu s dubinom cijevne drenaže i visinom podzemne vode iznad cijevne drenaže (jedn 2.6.).

$$a = t - h \quad (\text{jedn. 2.6.})$$

gdje su: a – norma odvodnje [m];

t – dubina cijevne drenaže [m];

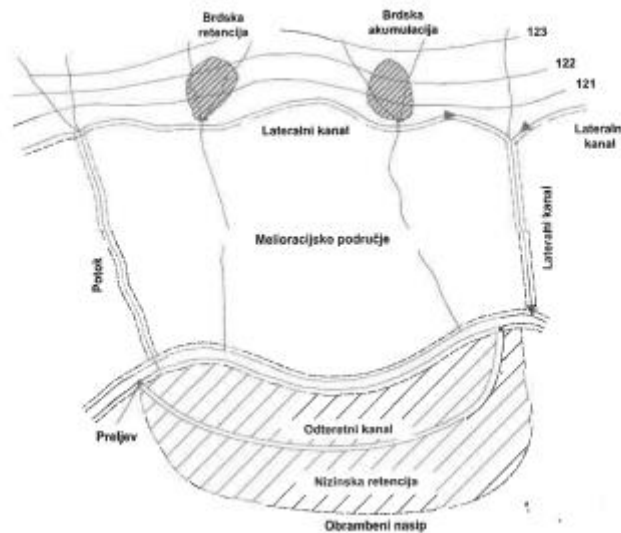
h – visina podzemne vode iznad cijevne drenaže na sredini njihova razmaka [m].

### 2.1.1. Građevine za obranu od poplava

Uslijed intenziviranja biljne proizvodnje u riječnim dolinama, posebice u inundacijskim područjima javila se potreba za učinkovitom zaštitom poljoprivredne površine od vanjskih voda te je ista postignuta izgradnjom regulacijskih i zaštitnih objekata. Zaštita od vanjskih voda najčešće podrazumijeva obranu od poplava koje su Brezak i sur. 2010. definirali kao pojavu neuobičajeno velike količine vode na određenom mjestu zbog djelovanja prirodnih sila ili drugih uzroka pri čemu je zemljište na kojem obično nema vode, privremeno pokriveno vodom. Prema nastanku mogu biti prirodne ili umjetno izazvane te u oba slučaja ugrožavaju živote i sigurnost ljudi ali i okoliš te izazivaju velike materijalne štete koje mogu ozbiljno ugroziti gospodarski razvoj i potkopati gospodarske aktivnosti zajednice (Kuspilić N. 2008.). S obzirom na to da poplave najčešće nastaju prirodnim putem te ih se ne može u potpunosti spriječiti, stalnim razvojem sustava za obranu može se značajno umanjiti njihovo štetno djelovanje (Andjelkovic I. 2001.). S obzirom na pristup gradnji hidrotehničkih građevina za zaštitu od poplava postoje pasivne i aktivne hidrotehničke građevine. Sustav za pasivnu zaštitu od poplava predstavlja zaštitu od poplavljanja područja, tako da kada hidrološki ciklus uzrokuje pojavu velikog vodnog vala, isti se mora propustiti koritom vodotoka tako da ne poplavi okolno



područje. Sustav za aktivnu zaštitu utječe na sam uzrok pojave velikog vodnog vala tako da se raznim zahvatima utječe na promjenu oblika vodnog vala koji se mijenja vremenskom i/ili prostornom preraspodjelom vodnih količina (Kuspilić N. 2008.). Najznačajnija građevina pasivne obrane od poplava su hidrotehnički nasipi, a u aktivnoj zaštiti najčešće se koriste lateralni (obodni) kanali, oteretni kanali, brdske retencije/akumulacije i nizinske retencije/akumulacije (slika 2.1.).



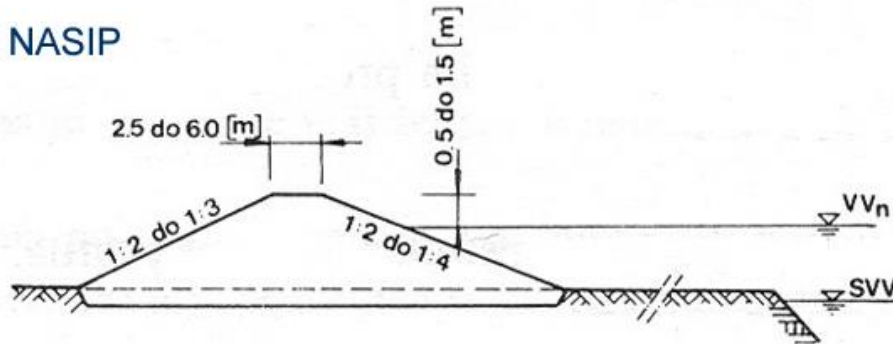
Slika 2.1. Shematski prikaz zaštite melioracijskog područja od vanjskih voda (izvor: Petošić i Tomić 2011.)

## HIDROTEHNIČKI NASIPI

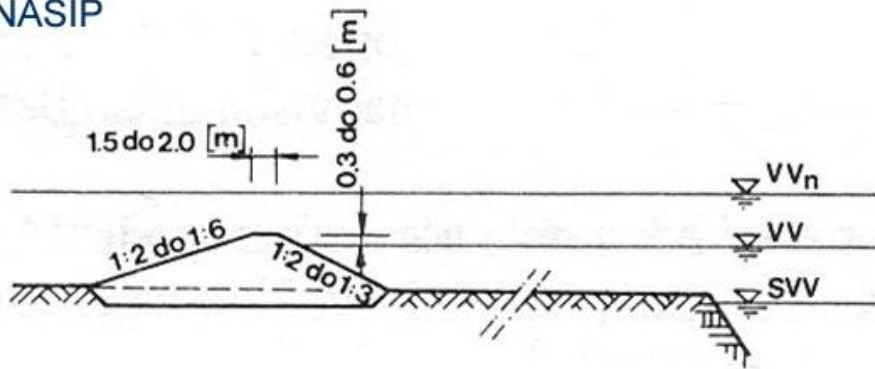
Hidrotehnički nasipi su građevine od zemljanog materijala iznad prirodnog terena, a rade se nasipavanjem, ravnanjem i zbijanjem u horizontalnim slojevima u punoj širini pri čemu debljina slojeva ovisi o vrsti zemljanog materijala i strojevima za zbijanje (Cerić A. i Kuspilić N., 2022.). Prema funkciji razlikuju se regulacijski nasipi, kojima se formira korito za veliku vodu tako da se omogućuje pravilno protjecanje vode i pravilan pronos nanosa, i obrambeni nasipi. Za razliku od regulacijskih, glavna zadaća obrambenih nasipa je sprječavanje poplavljanje područja prilikom čega voda teče nesmetano, ne obazire se na utjecaj pronosa nanosa (Kuspilić N. 2008.). Prilikom dimenzioniranja nasipa potrebno je definirati njegov profil, presjek i trasu. Profil nasipa okarakteriziran je širinom i visinom krune te nagibom pokosa, a prema Kuspilić N. (2008.) ovisi o namjeni nasipa, hidrauličkom proračunu za mjerodavnu veliku vodu, vrsti materijala, presjeku nasipa, hidrauličkom proračunu procjeđivanja, geomehaničkom proračunu stabilnosti pokosa, trajanju visokih vodostaja, pojavi valova i ostalim posebnim zahtjevima (slika 2.2.). Ovisno o vrsti nasipa, širina krune može varirati od 0,5 m do 6 m dok visina krune ovisi o željenoj sigurnosti obrane od poplave. Nagibi pokosa kreću se u granicama 1:1 do 1:6

(najčešće 1:2). Kod "preljevni nasipa" su blaži sa zaobalne, a kod "nepreljevni" s vodne strane (Cerić A. i sur. 2022.).

## GLAVNI NASIP



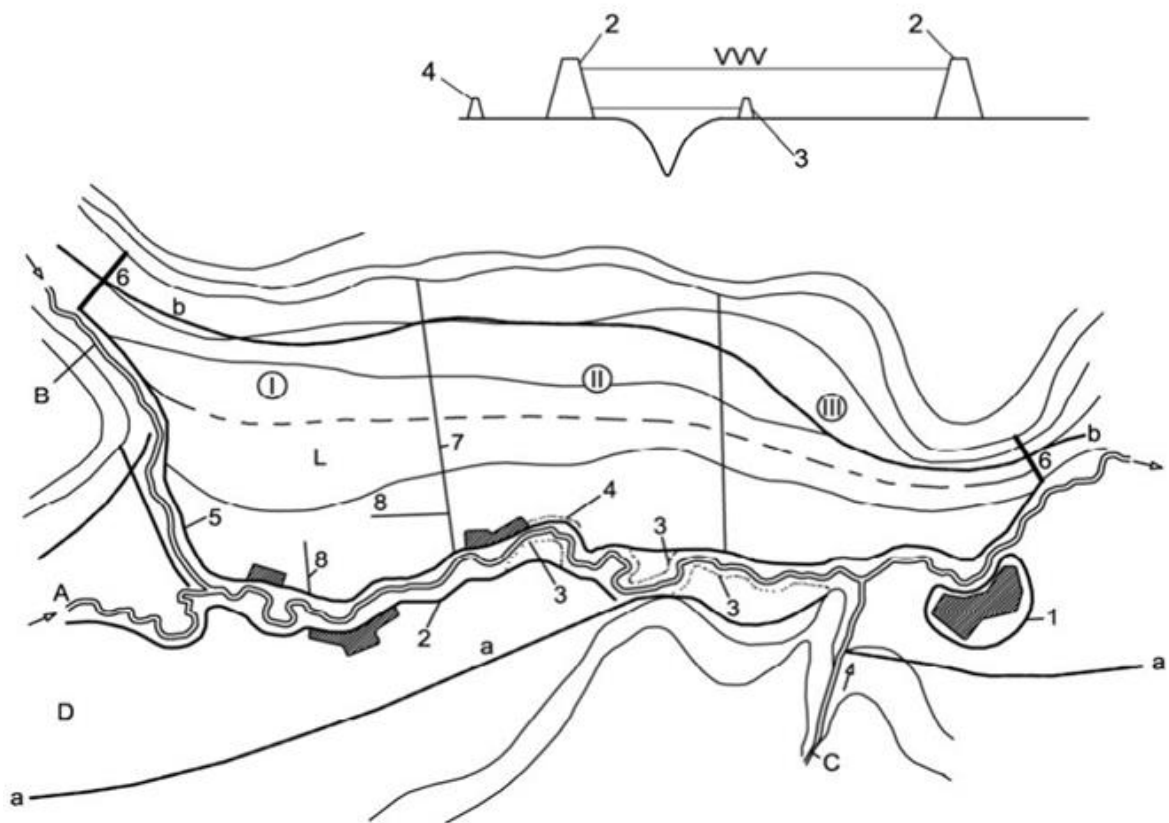
## LJETNI NASIP



Slika 2.2. Profili glavnog i ljetnog nasipa (izvor: Kuspilić N. 2008.)

Vrsta, kvaliteta te debljina pojedinog sloja materijala određena je presjekom nasipa čija je glavna zadaća odlijevanje hidrostatičkim i hidrodinamičkim djelovanjima vode (Kuspilić N., 2008.). Složenost samog presjeka nasipa ovisi o kvaliteti i propusnosti materijala izrade. U slučaju korištenja lakopropusnih materijala na nasipima gdje je pojava velikih voda kratkog trajanja, nasip je potrebno izgraditi s nepropusnom jezgrom čija je funkcija sprječavanje procjeđivanje vode kroz tijelo nasipa. U slučaju pojave velikih voda dugog trajanja uz nasip je potrebno konstruirati i drenažni sustav. S obzirom na trasu nasipa, nasipi mogu biti (slika 2.3.):

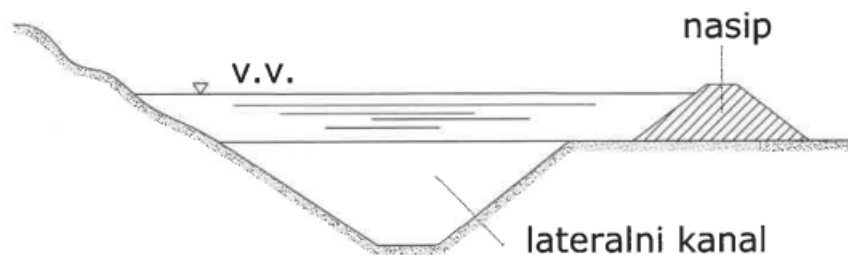
1. obuhvatni nasip,
2. glavni regulacijski nasip,
3. ljetni nasip,
4. dolmica,
5. usporni nasip,
6. priključni nasip,
7. transverzalni nasip,
8. pristupni nasip.



Slika 2.3. Shema nasipa s obzirom na trasu: A – rijeka; B i C – pritoci; D i L – inundacijska područja; a i b – granica prirodna inundacije; I, II i III – branjene kasete; 1 - obuhvatni nasip, 2 – glavni nasip, 3 – ljetni nasip, 4 – dolmica, 5 – usporni nasip, 6 – priključni nasip, 7 – transverzalni nasip, 8 – pristupni nasip. (izvor: Cerić A. i sur. 2022.)

## LATERALNI (OBODNI) KANALI

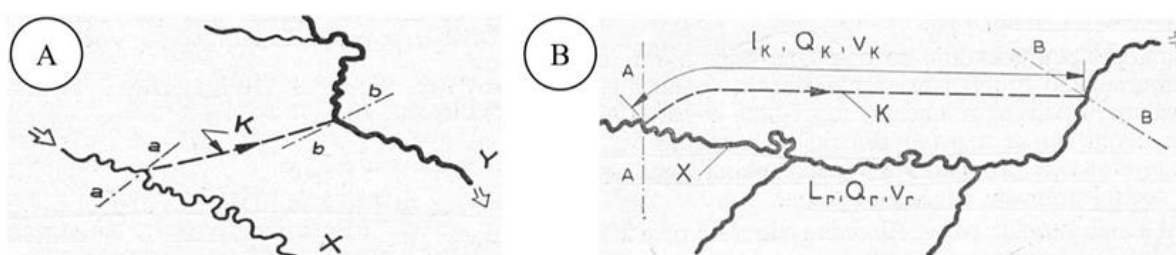
Lateralni kanali smješteni su neposredno uz kontaktnu liniju brdskog i ravničarskog dijela sliva tako da su približno paralelni s glavnim recipijentom, a poprečni na brdske protoke. Glavna im je funkcija zaštita poljoprivrednih područja od suvišnih slivnih brdskih voda te velikih količina nanosa od erozije tla tako da prihvaćaju velike brdske vode i odvođe ju u glavni recipijent nizvodno od branjenog područja. Prema Petošiću i sur. (2015.) poprečni presjek obodnih kanala redovito je dvostruki trapez i određuje se na temelju velikih voda, prema povišenom dijelu sliva je otvoren, a prema nizinskom melioracijskom području omeđen je nasipom (slika 2.4.). U ovisnosti konfiguracije terena, lateralni kanali mogu se projektirati tako da suvišnu vodu odvođe u drugi sliv ili se grade u kombinaciji s brdskim retencijama (Petrović N. i sur., 2020.). S obzirom na to da se količina zaprimljene vode u lateralnom kanalu povećava od njegovog početka pa do ušća u glavni recipijent, dimenzije poprečnog presjeka trebale bi pratiti predmetno povećanje.



Slika 2.4. Shematski prikaz poprečnog presjeka lateralnog kanala (izvor: Petošić D. i Tomić F., 2011.)

## OTERETNI KANALI

Oteretni ili odušni kanal je umjetni vodotok za zaštitu urbanih, industrijskih ili drugih gospodarskih područja od poplava. Glavna funkcija oteretnog kanala je smanjenje količine maksimalnog protoka u odnosu na prirodni uz isto trajanje. Dio vodnog toka uzvodno od poplavnog područja preusmjerava se u oteretni kanal čime se osigurava uzvodno rasterećenje vodnog vala te ga svodi na razinu koju je korito vodotoka s inundacijskim prostorom u mogućnosti prihvatiti (Petrović N. i sur., 2020.). Razlikuju se paralelni i poprečni oteretni kanali (slika 2.5.). Poprečnim oteretnim kanalom višak vode odvodi se u drugi vodotok, a poprečnim oteretnim kanalom suvišak vode odvodi se nizvodno od branjenog područja ponovno u glavni vodotok. U nizinskim područjima oteretni kanali mogu se kombinirati s izgradnjom nizinskih retencija, a radi dodatnog poboljšanja vodnog režima cjelokupnog oteretnog sustava mogu se izgraditi preljevi ili ustave.

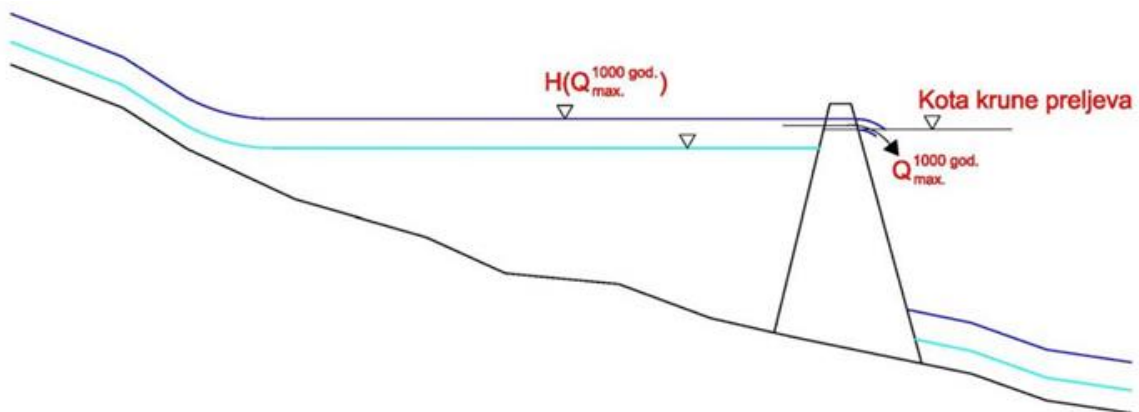


Slika 2.5. Shematski prikaz oteretnog kanala. A – poprečni, B – paralelni (izvor: Petrović N. i sur., 2020.)

## AKUMULACIJE I RETENCIJE

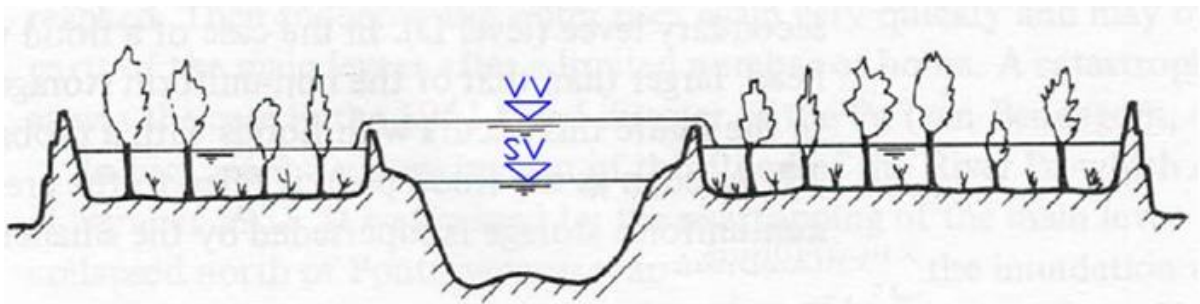
Regulacija vodnog režima postiže se i izgradnjom akumulacija i retencija. Akumulacije su hidrotehničke građevine koje zadržavaju vodu kroz duži vremenski period u za to predviđenim prostorima. Osim regulacije vodnog režima, prema Roje-Bonacci T. i Bonacci O. (2016.) akumulacije omogućavaju korištenje voda za razne namjene (hidroenergetika, navodnjavanje, snabdijevanje naselja i industrije vodom), ublažavaju valove velikih voda i smanjuju poplave. Retencije, kao i akumulacije reguliraju vodni režim vodotoka, ali su predviđene za zadržavanje vode na kraći vremenski period. Učinak retencija i akumulacija očituje se smanjivanjem

maksimalnog protoka koji prolazi vodotokom na nizvodnom području i produljivanjem trajanja velikih voda, odnosno isti volumen vode se kroz vodotok propušta dulje vrijeme (Kuspilić N. 2008.). Prema Petošiću i sur. (2015.) povremeno retenciranje ili dugotrajno akumuliranje suvišnih voda iz brdskog dijela sliva postiže se odgovarajućom branom. U hrvatskoj se praksi, za brane akumulacija primjenjuje deterministički pristup prema kojem je mjerodavna razina vode određena kotom krune preljeva i vodostajem koji se ostvaruje evakuacijom preko preljeva obično 1000-godišnje velike vode (Pavlin Ž. i Kuspilić N. 2018.). Prema kriteriju koji je dao Nonveiller (1983.), najviša razina vode određena je kotom krune preljeva i vodostajem pri evakuaciji preljevom 1000-godišnje ili 10000-godišnje velike vode, ovisno o naseljenosti nizvodnog područja i potrebi postizanja sigurnosti uslijed mogućeg rušenja brane (slika 2.6.). Preljev na akumulaciji (retenciji) je građevina građena na brani, uz branu ili na podesnom mjestu na rubu akumulacije i/ili retencije, a koja služi za prelijevanje visokih voda iz akumulacije ili retencije u nizvodno područje (Cerić i sur. 2022.).



Slika 2.6. Uzdužni presjek kroz akumulaciju (izvor: Kuspilić N. 2008.)

Ovisno o načinu punjenja i pražnjenja retencija, dijelimo ih na čeone i bočne retencije. Čeone retencije izvedene su tako da se ne kontrolira ulaz vode nego samo izlaz vode, a kod bočnih retencija punjenje i pražnjenje je kontrolirano (slika 2.7.). Izlaz vode iz retencije regulira se pomoću zatvarača tako da se kontrolira najveći protok koji se ispušta nizvodno od pregrade. Punjenje retencija obavlja se ili prelijevanjem preko bočnog preljeva na nasipu, rušenjem privremenih nasipa ili otvaranjem zapornica na ustavama u nasipu (Kuspilić N. 2008.).



Slika 2.7. Shematski prikaz bočne retencije (izvor: Kuspilić N. 2008.)

## 2.1.2. Podzemni sustavi odvodnje

Podzemni sustavi odvodnje podrazumijevaju odvodnju suvišnih potpovršinskih voda iz tla poljoprivrednih područja pomoću drenažnih cijevi te regulaciju razina podzemnih voda u tlu. Ovisno o trajanju saturiranosti tla, potpovršinske vode dijele se na stagnirajuće suvišne i podzemne vode. Oborine, kao najčešći izvor stagnirajućih potpovršinskih voda, uslijed prisutnosti slabo propusnih horizonata zadržavaju se u gornjem solumu tla prilikom čega se mikro i makropore tla pune vodom te stvaraju anaerobne uvijete u tlu. Javljaju se redukcijски procesi koje nepovoljno utječu na strukturu tla i mijenjaju boju tla u plavo-zelenu prilikom čega podzemna voda u potpunosti saturira tlo do vrijednosti maksimalnog kapaciteta tla za vodu. Nakon saturiranja površinskog sloja tla sva voda koja dolazi od oborina ili pritječe sa strane procjeđuje se kroz makropore do nepropusnog sloja i popunjavajući sve pore formira podzemnu vodu (Tomić F. 1987.). Prema Marušiću (1987.) glavna zadaća podzemne odvodnje je da se sustavom drenskih cijevi stvara i održava optimalni vodozračni režim u tlu prema zahtjevima racionalne i stabilne proizvodnje poljoprivrednih kultura što rezultira povećanjem prinosa kultura. Uz povećanje prinosa stvaraju se i uvjeti za pravovremenu pripremu zemljišta za sjetvu te je omogućeno racionalnije korištenje mehanizacije tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja. Prema Kaliti i sur. (2007.) potpovršinska odvodnja smanjuje transport sedimentnih čestica i gubitak fosfora iz tla, ali povećava koncentracije nitratnog dušika u krajnjim recipijentima. Glavni preduvjeti za izgradnju podzemnih sustava odvodnje su prethodno izgrađeni i kvalitetno održavani hidrotehnički sustavi za obranu od poplava i površinski sustavi odvodnje te istraživanja, detaljna terenska snimanja i kvalitetna priprema terena (Marušić J. 1987. i Šošćarić J. i sur. 2016.). S obzirom na kvalitetu tla i problematiku podzemnih voda u Republici Hrvatskoj potrebno je provesti sustave podzemne odvodnje na 822 350 ha melioracijskih površina prilikom čega su do danas u potpunosti izvedeni na 121 484 ha (14,8%), djelomično su izvedeni na 27 169 ha (3,3%) a na čak 673 697 ha (81,9%) nisu izvedeni (Šošćarić J. i sur. 2016.). Uslijed neredovitog održavanja, devastacije i zapuštenosti, što uzrokuje smanjenu funkcionalnost sustava, trenutno stanje drenažnih sustava u Republici Hrvatskoj je iznimno loše. Prema Petošiću i sur. (2022.) postoje dva temeljna oblika devastacije sustava. Prvi oblik je devastacija uslijed zapuštenosti cjelovitog sustava površinske i podzemne melioracijske odvodnje zbog dugogodišnjeg neredovitog održavanja, a dugi oblik je devastacija drenažnog sustava učinjena u obnovi i redovitom održavanju sustava površinske melioracijske odvodnje. Kako bi sustav drenaže funkcionirao potrebna je pravilna priprema, izvedba i kontrola funkcionalnosti kao i redovito održavanje kompletnog sustava.

U počecima instalacije drenažnih sustava, najčešći materijali izrade drenažnih cijevi bili su glina i beton. Od 1960-ih godine počinje proizvodnja polivinilkloridnih cijevi čija je, u odnosu na glinene i betonske, glavna prednost mala težina po jedinici duljine što smanjuje troškove transporta i troškove radne snage koja je potrebna za njihovo postavljanje. Prema Styutu i sur. (2005.) glavne prednosti PVC cijevi u odnosu na glinene i betonske su mala težina; fleksibilnost; veća i ravnomjernije raspoređena površina perforacija koja olakšava pristup vodi; manji intenzitete rada prilikom postavljanja i posljedično niži trošak rada za proizvodnju, rukovanje, transport i ugradnju; inertne na sve uobičajene kemikalije tla.

Perforacije na rebrastim cijevima nalaze se u utorima i najčešće su izvedene izduženog oblika duljine otprilike 5 mm. Prema Styutu i sur. (2005.) kako bi se osigurala učinkovita odvodnja, perforacije trebaju biti ravnomjerno raspoređene tako da pokrivaju najmanje 1200 mm<sup>2</sup> po metru cijevi. Isti autori kao glavne nedostatke valovitih PCV cijevi navode sljedeće: osjetljivost na propadanje uslijed dugotrajnog UV-zračenja i povećani rizik od deformacije pri visokim temperaturama i prekomjernom istezanju tijekom instalacije; povećana lomljivost na niskim temperaturama; manji transportni kapacitet za isti unutarnji promjer i neotpornost na vatru. Prilikom dimenzioniranja sustava cijevne drenaže potrebno je odrediti njezine temeljne elemente, to jest dubinu postavljanja cijevne drenaže, razmak i promjer drenažnih cijevi te pad, duljinu i smjer postavljanja drenova. Dubina postavljanja drenova ponajprije ovisi o dubini zakorjenjivanja poljoprivrednih kultura, stratigrafiji tla, mogućnosti uspostavljanja oplavi i eventualnim potrebama za izvođenje dodatnih agrotehničkih mjera te razmaku cijevne drenaže. Na području Hrvatske prosječna dubina cijevne drenaže iznosi 0,7-0,8 m za povrtlarske kulture, 0,8-1,1 m za ratarske kulture i 1,2-1,6 m za višegodišnje drvenaste kulture (Tomić F. 1987.). Općenito, minimalna dubina postavljanja cijevi ne bi trebala biti manja od 0,6 m i veća od 2 m, a u tablici 2.3. prikazane su mjerodavne vrijednosti dubine cijevne drenaže za mineralna tla.

Tablica 2.3. Mjerodavne vrijednosti dubine cijevne drenaže za mineralna tla (Hunkeler i sur. 1970.)

Dubina cijevi (m)	Korištenje
0,8-1,0	U ratarstvu na teškim i/ili laganim tlima
0,7-1,0	Trajne livade i pašnjaci
1,0-1,2	U ratarstvu na srednje teškim tlima općenito
1,2-1,4	U ratarstvu na srednje teškim tlima; kulture s dubokim korijenom
1,8-2,0	U ratarstvu na srednje teškim tlima i u uzgoju hmelja i repice

Promjer cijevi ovisi o maksimalnoj količini vode (maksimalnom protoku) koji u određenom trenutku protječe kroz cijev (l/s). S obzirom na promjer cijevi razlikuju se tri kategorije: sisala, hvatala i kolektori. S obzirom na to da sisala neposredno primaju vodu iz tla i kroz njih protječu relativno male količine vode, ona se najčešće ne dimenzioniraju već se uzimaju standardni promjeri vrijednosti 50, 65 i 80 mm. Hvatala su cijevi koje prihvaćaju vodu iz sisala i vode u recipijent. Razlika između hvatala i kolektora je u promjeru cijevi. U pravilu, promjer hvatala najčešće je 100, 125 i 160 mm dok kolektori imaju promjer veći od 160 mm. Uslijed većeg protoka vode koja prolazi kroz hvatala i kolektore te radi učinkovitog funkcioniranja cjelokupnog sustava, cijevi većeg promjera potrebno je dimenzionirati pomoću matematičkih proračuna. Najčešće korišteni proračuni su Prandtl-Celebrokova jednadžba (jedm. 2.7.) ili formula po Gauckler-Manning-Strickleru (jedm. 2.8.).

$$Q = -\frac{d^2 \times \pi}{2} \times \sqrt{2 \times q \times I r \times d} \times \log \left( \frac{2,51 \times v}{d \times \sqrt{2 \times q \times I r \times d}} + \frac{kr}{3,71 \times d} \right) \quad (\text{jedm. 2.7.})$$

gdje su: Q – protok [l/s];

v – srednja brzina vode [m/s];

q – akceleracija sile teže [9,81 m/s<sup>2</sup>];

d – promjer drenažne cijevi [m];  
 Ir – pad drenažnih cijevi [m/m];  
 Kr – koeficijent otpora pri tečenju (0,002).

$$V = k_s \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \quad (\text{jedn. 2.8.})$$

gdje su: V – srednja brzina vode u cijevi [m/s];  
 $k_s$  – pokazatelj otpora i hrapavosti cijevi, najčešće [ $k_s = 75$ ];  
 R – promjer drenažne cijevi [m];  
 I – pad drenažnih cijevi [m/m].

Na temelju prethodnih jednadžbi izrađeni su nomogrami pomoću kojih je omogućeno brže proračunavanje unutarnjeg promjera drenažnih cijevi. Na slici 2.8. prikazan je nomogram određivanja kapaciteta drenskih cijevi za rebraste cijevi s punim tečenjem.

Dužina cijevi izravno je povezana s razmakom kanala IV. reda, rijetko prelazi 200 m, a u pravilu iznosi između 120-150 m (Petošić F. i sur. 2015.). Odnos dužine sisala i hvatala je obrnuto proporcionalan, odnosno povećanjem dužine sisala smanjuje se dužina hvatala i kolektli otvorenih kanala IV. reda (Šimunić I. i Špoljar A. 2007.). Pad postavljanja drenažnih cijevi ovisi o promjeru drena i brzini tečenja vode unutar cijevi i računa se prema sljedećem izrazu (jedn. 2.11.):

$$I = \frac{v^2}{c^2 \times R} \quad (\text{jedn. 2.11.})$$

gdje je: I – relativni pad cijevi [m/m];  
 v – brzina vode u cijevi [m/s];  
 c – koeficijent brzine vode;  
 R – hidraulički radijus [m].

Hidraulički radijus određuje se prema sljedećoj jednadžbi (jedn. 2.12.):

$$R = \frac{F}{O} = \frac{\frac{d^2 \times \pi}{4}}{d \times \pi} = \frac{d}{4} \quad (\text{jedn. 2.12.})$$

gdje je: F – omočena površina [ $m^2$ ],  $F = \frac{d^2 \times \pi}{4}$

O – omočeni obod [m],  $O = d \times \pi$

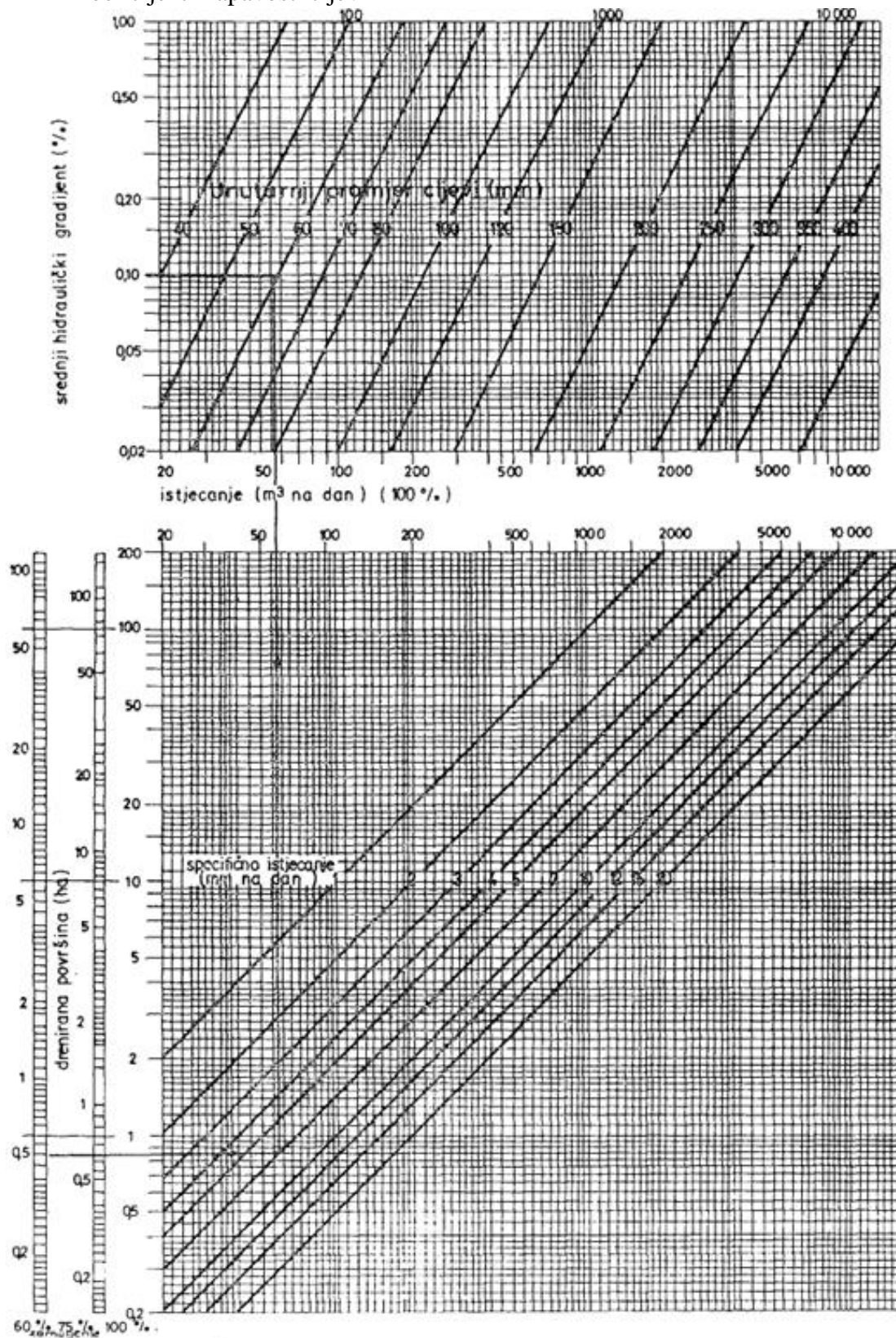
Koeficijent brzine vode ovisi o hidrauličkom radijusu i hrapavosti cijevi, a računa se prema formuli (jedn. 2.13.):

$$c = \frac{100 \times \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \quad (\text{jedn. 2.13.})$$



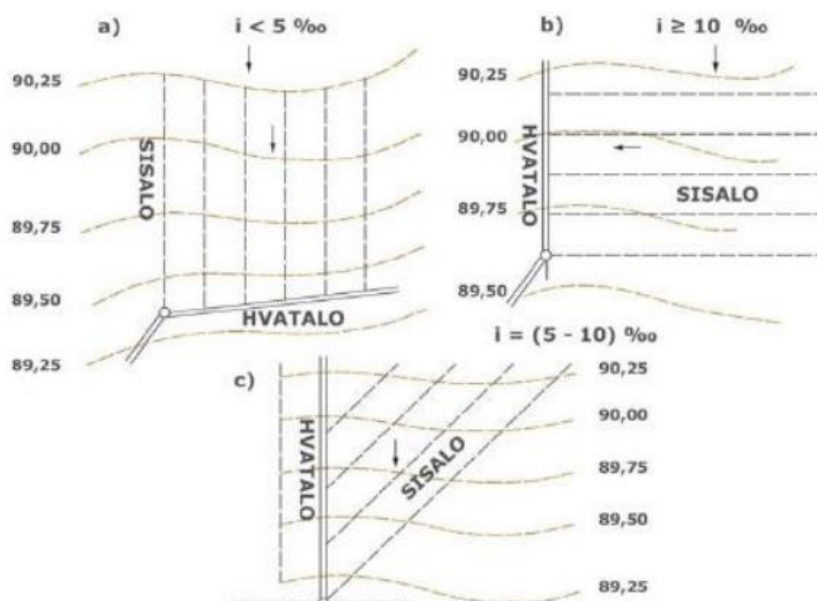
gdje je: R – hidraulički radijus [m];

m – koeficijent hrapavosti cijevi



Slika 2.8. Nomogram određivanja kapaciteta drenskih cijevi za rebraste cijevi s punim tečenjem prema Manningovoj jednadžbi [ $Q = 38 \times d^{2.67} \times I^{-0.5}$ ] (izvor: Tomić F. 1987.)

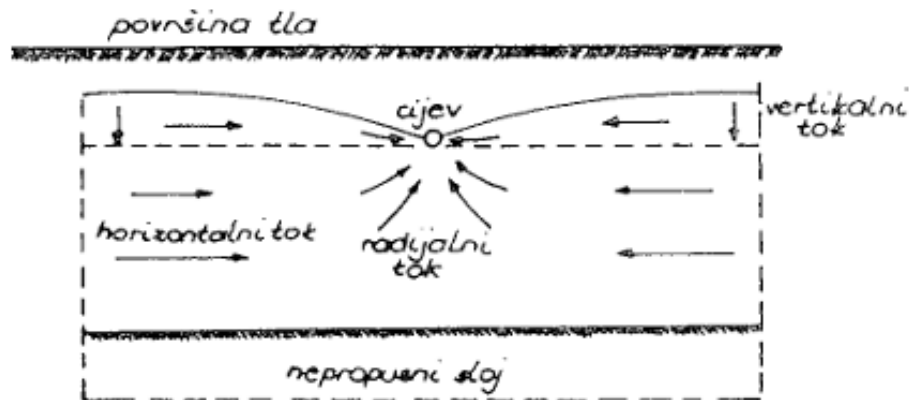
Minimalna brzina vode u drenažnim cijevima trebala bi biti 0,25 m/s, a maksimalna 1,0 m/s. U slučaju da je brzina tečenja vode u cijevima izvan optimalnih granica povećava se mogućnosti zamuljivanja cijevi što rezultira smanjenom učinkovitosti cijelog sustav. Da bi se postigle optimalne brzine vode, pad sisala trebao bi iznositi 1,5-3,0 ‰, a pad hvatala od 1,0 ‰ do 2,0 ‰. Smjer postavljanja drenskih cijevi ovisi o padu terena odnosno o smjeru gibanja podzemne vode. S obzirom na pad terena, cijevi se mogu postaviti uzdužno, okomito ili koso (slika 2.9.). Uzdužna drenaža postavlja se na nagibima terena koja su oko 5 ‰ tako da se sisala postavljaju uzduž pada terena, okomito na izohipse i približno s pravcem generalnog toka vode. Glavna prednost ovog načina postavljanja cijevi je maksimalno korištenje nagiba terena pri otjecanju sakupljene vode. Nedostatak uzdužne drenaže je mala širina utjecaja drenaže, odnosno mali razmak između cijevi jer je tok vode paralelan s položajem cijevi. Okomita drenaža postavlja se na nagibima terena većih od 10‰. Sisala se postavljaju okomito na pad terena. Takvim pozicioniranjem cijevi sijeku tokove suvišnih voda i povećava se efikasnost sustava. Negativna strana izgradnje ovakvih sustava je potreba za osiguravanjem minimalnog umjetnog pada drenažnih cijevi. Najpovoljniji je kosi položaj drenova jer dobro sakuplja i odvodi sakupljenu vodu izvan odvodnjenog područja, a izvodi se tako da se sisala slažu koso prema izohipsama kod nagiba terena od 5-10 ‰ (Gilja 2022.).



Slika 2.9. Prikaz različitih smjerova postavljanja sisala: a) uzdužni; b) okomiti i c) kosi (izvor: Petošić i Tomić 2011.)

Učinkovita funkcionalnost drenažnog sustava uvelike ovisi o gustoći, odnosno razmaku postavljanja cijevne drenaže i mjeri se računskim metodama dokazanih formula ili nomogramima. Veliki broj pristupa za utvrđivanje razmaka cijevne drenaže temelji se na postavkama Hooghoudta i Ernsta (Srebrenović 1981.), a one se odnose na uvjete stacionarnog toka. Iako je u tlu češći nestacionarni tok, radi jednostavnosti računanja uzima se pretpostavka da u tlu vlada ravnoteža između intenziteta ulaza i intenziteta izlaza vode u sustavu, odnosno da voda ima stacionarni tok. U stacionarnom toku primjenjuju se tri teorije proračuna drenaže:

teorija vertikalnog toka, teorija horizontalnog toka i teorija kombiniranog horizontalnog i radijalnog toka (slika 2.10.)



Slika 2.10. Vertikalni, horizontalni i radijalni tok vode (izvor: Tomić 1987.)

Vertikalni tok vode obično je vrlo mali pa na dotok vode prema cijevima uglavnom utječe horizontalna i radijalna komponenta (Petošić i sur. 2015.). Teorija horizontalnog toka ograničena je na relativno plitke propusne slojeve i vrijedi jedino ako je dno drena na nepropusnom sloju ili u njegovoj neposrednoj blizini. Temelji se na dvjema osnovnim pretpostavkama: sve linije toka u sistemu gravitacijskog tečenja su horizontalne i brzine uzduž tih linija su proporcionalne padu slobodne površine, ali su neovisne o dubini propusnog sloja (Gilja 2022.). U slučaju kada je nepropusni sloj na dubini većoj od dubine cijevne drenaže prevladava radijalni tok vode. Pretpostavka radijalnog toka vode je da su drenovi postavljeni u homogeno izotropno tlo neograničene dubine i da je nivo podzemne vode horizontalan. Kombinirani tok vode koristi se kad se nepropusni sloj nalazi ispod drenažne cijevi. Prema Gilji 2022. zbog konvergencije toka u okolišu drena, linije toka bit će duže nego u horizontalnom tečenju i kao posljedica bit će i veći gubitak hidrauličkog tlaka nego u čistom horizontalnom toku. Ovisno o uslojenosti tla i propusnosti tla za vodu, Hooghoudt i Ernst su razvili matematička rješenja razmaka drenažnih cijevi za četiri tipična slučajeve.

#### JEDNADŽBA PO HOOGHOUTD-U ZA HOMOGENO TLO

$$L = \sqrt{\frac{8 \times k \times h \times d}{q} + \frac{4 \times k \times h^2}{q}} \quad (\text{jedn. 2.14.})$$

gdje su:  $q$  – hidromodul cijevne drenaže [m/dan];

$k$  – horizontalna vodopropusnost tla u profilu od površine do nepropusnog sloja [m/dan];

$L$  – razmak cijevne drenaže [m];

$h$  – maksimalno dopuštena visina dizanja razine podzemne vode u tlu, na sredini između dvije drenažne cijevi [m];

$d$  – ekvivalentna dubina [m].

## JEDNADŽBA PO HOOGHOUDT-U ZA DVOSLOJNO TLO

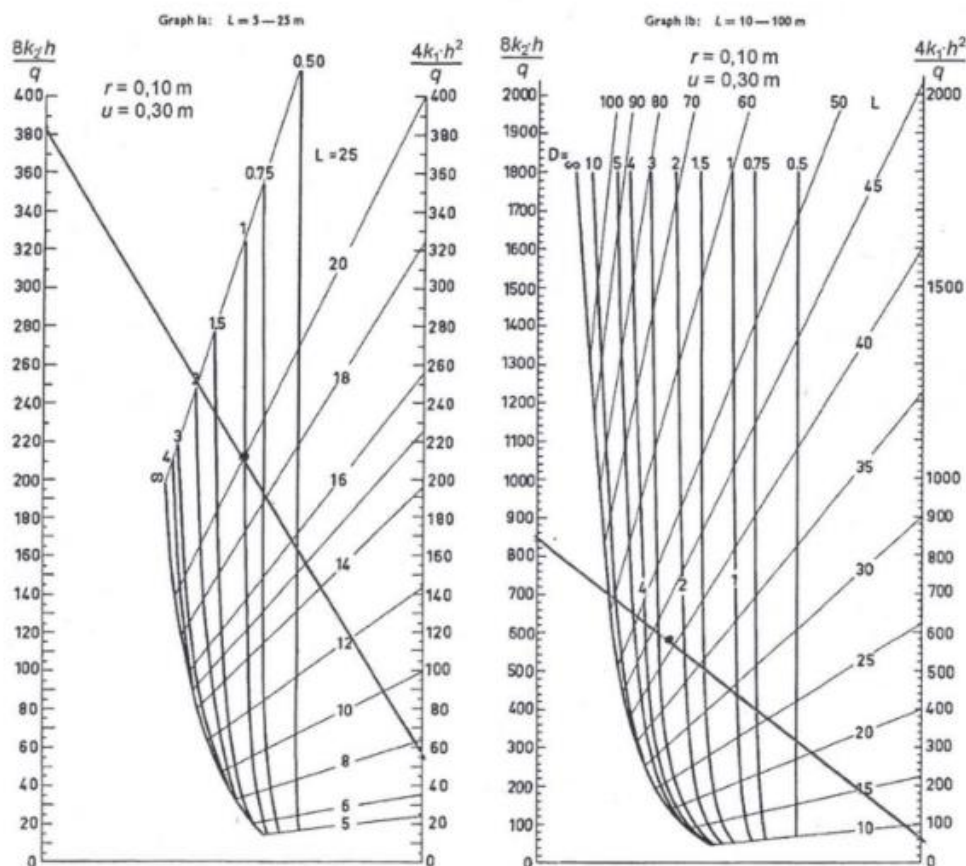
$$L = \sqrt{\frac{8 \times k_2 \times h \times d}{q} + \frac{4 \times k_1 \times h^2}{q}} \quad (\text{jedn. 2.15.})$$

gdje je:  $k_1$  - horizontalna vodopropusnost tla iznad cijevne drenaže [m/dan];  
 $k_2$  - horizontalna vodopropusnost tla ispod cijevne drenaže [m/dan].

## JEDNADŽBA PO HOOGHOUDT-U ZA CIJEVNU DRENAŽU NA NEPROPUSNOM SLOJU

$$L = \sqrt{\frac{4 \times k \times h^2 - d^2}{q}} \quad (\text{jedn. 2.16.})$$

Kao i promjer drenažnih cijevi, razmak se također može odrediti pomoću nomograma. Na slici 2.11. prikazan je nomogram prema van Bers-u koji se temelji na proračunu razmaka cijevne drenaže po Hooghoudt-u.



Slika 2.11. Nomogram za određivanje razmaka cijevne drenaže kod tala s podzemnom vodom (izvor: Beers, W.F.J., 1969.)

### 2.1.3. Površinski sustavi odvodnje

Odvodnja suvišne vode površinskim sustavima jedna je od najstarijih metoda reguliranja suvišnih voda tla. Prema Matkoviću (1971.) sustavi površinske odvodnje primjenjivali su se još u doba starih Rimljana. Površinski sustavi pretežno se koriste u ravničarskim područjima s manjom mogućnošću prirodnog dreniranja kako bi se uklonio višak skupljene vode na površini u uvjetima kada je količina padalina veća od kapaciteta infiltracije tla (Fausey N. R., 2004). Tla sa smanjenom mogućnošću prirodnog dreniranja teške, odnosno tla slabije propusnosti imaju teški teksturni sastav i imaju nepovoljan odnos mikro i makro pora što rezultira pojavom suvišnih površinskih i stagnirajućih voda u zoni rizosfere. Suvišna površinska voda predstavlja vodu koja stagnira na površini tla, a prema porijeklu razlikuju se oborinske/vlastite i vanjske/strane (slika 2.12.). Oborinske vode potječu od oborina koje padnu na melioracijsko područje. Prema Petošiću i Tomiću (2011.) pojava ovog oblika suvišnih površinskih voda vezana je za specifične klimatske, topografsko-geološke i hidropedološke uvjete područja i nastaje u uvjetima kada je intenzitet i količina oborina nadmašuje vrijednosti njihove moguće potrošnje kroz procese evapotranspiracije, upijanja i procjeđivanja u dublji profil tla. Vanjske vode na melioracijsko područje dotječu izvana i u slučaju kada se voda površinski ili kroz tlo slijeva s viših susjednih područja na poljoprivredno područje javljaju se slivne suvišne površinske vode. Poplavne suvišne vanjske vode javljaju se za vrijeme visokih vodostaja obližnjih prirodnih ili umjetnih vodotoka kada količina vode premašuje kapacitet korita vodotoka te dolazi do izlivanja vode u okolna melioracijska područja (slika 2.13.). Prema Easton Z. M. (2017.) površinski sustavi mogu se još primjenjivati i na tlima s plitkim nepropusnim slojem. Glavna zadaća površinskog sustava odvodnje u biljnoj proizvodnji je da suvišnu unutrašnju vodu pretežito površinskog podrijetla s određenih proizvodnih poljoprivrednih površina najkraćim putem, i u potrebnom vremenskom razdoblju, odvede do krajnjeg vodoprijemnika (recipijenta) (Jakić A., 2016.) tako da se ubrzavanjem protoka vode do krajnjeg recipijenta spriječi dugotrajno zasićenje tla vodom bez izazivanja erozije tla i zamuljivanja (Jha M. K., Yellareddy K. 2020.). Isti autori također navode negativne posljedice loše izvedene površinske odvodnje, a koje utječu na poljoprivrednu proizvodnju: poplavljanje usjeva što dovodi do deficitarnog rasta biljaka, nedostatak kisika u području rizosfere koje onemogućava pravovremeno klijanje i otežava apsorpciju hranjivih tvari, onemogućava se prolaz mehanizacije kroz poljoprivrednu površinu i smanjivanje temperature tla.



Slika 2.12. Suvišne vanjske poplavne vode (izvor: Petošić D. i Tomić F. 2011.)



Slika 2.13. Suvišna površinska oborinska voda na poljoprivrednom zemljištu (izvor: Petošić D. i Tomić F. 2011.)

U Hrvatskoj je 1954. godine donesen Zakon o komasaciji zemljišta kojim su stvoreni preduvjeti i norme provođenja programa hidromelioracija. Svrha donesenog zakona je optimizacija vodnog režima kako bi poljoprivredne kulture ostvarile više i stabilnije prinose te se provodio na svim društvenim i privatnim površinama na području jedne ili više katastarskih općina. Provedbom planova komasacija i hidromelioracija oblikuju se pravilne poljoprivredne parcele većih površina s kvalitetnim tehničkim rješenjima mreže melioracijskih kanala, puteva i pripadajućih hidrotehničkih objekata (Marušić i sur., 1998.). Od ukupno provedenih komasacija zemljišta u Hrvatskoj, na području Slavonije i Baranje provedeno je 490 484 ha (72,1%), a hidromelioracije na 490 484 ha – što je 77,7% od ukupnih površina s izgrađenim melioracijskim sustavom površinske odvodnje u Hrvatskoj (Marušić, 1994.). Od ukupnih melioracijskih površina na kojima je potrebna izgradnja hidromelioracijskih sustava za površinsku odvodnju na 1.673.792 ha oni su: potpuno izgrađeni na 724 749 ha (43,3%), djelomično izgrađeni na 324 662 ha (19,4%), a nisu izgrađeni na 624381 ha (37,3%) (Šoštarić J. i sur., 2016.). S obzirom na to da se od 1991. godine pojavila poteškoća nedostatka financijskih sredstava za održavanje i izgradnju novih sustava, u narednih 15 godina na području Republike Hrvatske nije provedena rekomesacija zemljišta i izgradnja novih hidromelioracijskih objekata te površinskih sustava općenito. Osim izgradnje novih, kako bi se održala funkcionalnost postojećih sustava odvodnje potrebno je provođenje radova održavanja sustava. Prema (Marušić J., 1983.) vrsta i količina radova ovise o sljedećem: projektno-izvedbenim elementima kanala i objekata na kanalima, gustoći kanalske mreže, godini izvođenja (starosti hidromelioracijskog sustava i stupnju izgrađenosti i održavanja), konfiguraciji terena i vegetaciji područja, hidropedološko-pedološkim svojstvima tla, stupnju sigurnosti zaštite od vanjskih voda, mogućnosti gravitacijske odvodnje, stupnju reguliranosti glavnih recipijenata – utjecaju uspornih voda i načinu obrade i strukturi sjetve poljoprivrednih kultura.

Prije izgradnje hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje potrebno je definirati kriterije i norme, uzeti u obzir sve vanjske utjecaje i zahtjeve proizvodnje poljoprivrednih kultura kako bi se prilikom izgradnje koristile odgovarajuće metode i modeli. Uz osnovni, plan izgradnje

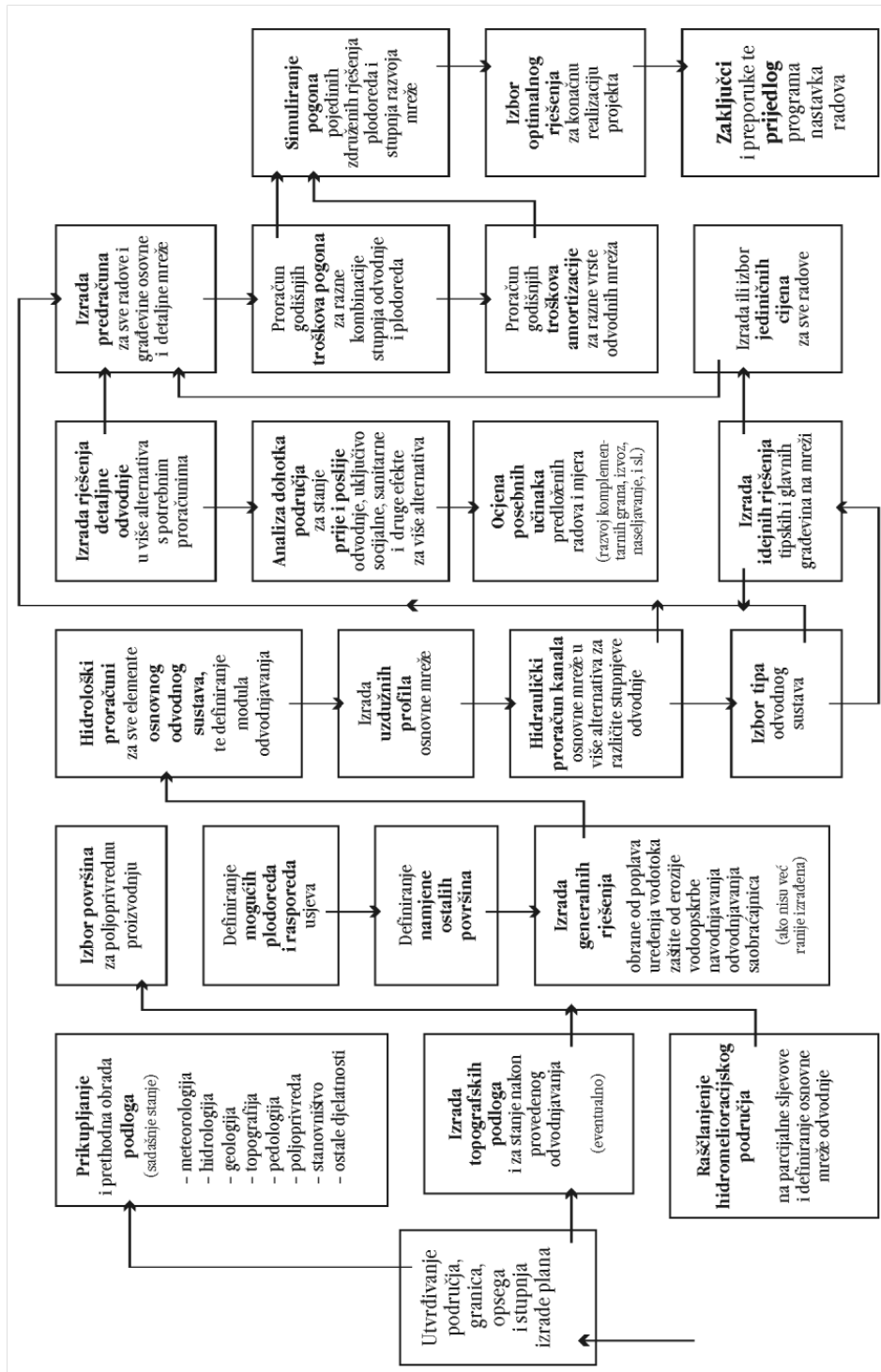
treba sadržavati i alternativne mjere i radove koje je potrebno izvoditi. Broj alternativnih rješenja, koja treba razraditi u pojedinim procesu planiranja i realizacije, ovisi o komponentama ili sukobu između utvrđenih komponenata ciljeva, o kapacitetima resursa te o tehničkim i ekonomskim mogućnostima (Marušić J., 1989.). Također, prilikom projektiranja bitna je i ekonomsko-financijska opravdanost projekta, odnosno hoće li korist cjelokupnog sustava biti veća od ukupnih troškova izgradnje i održavanja. Sukladno navedenom, u izradi hidromelioracijskog sustava površinske odvodnje potrebno je provesti sljedeće radove (Marušić J., 1989.):

1. Utvrđivanje ciljeva;
2. Provedba istražnih radova i izrada podloga;
3. Izrada varijantnih projektno-izvedbenih rješenja;
4. Definiranje tehničko-financijskih pokazatelja izgradnje hidromelioracijskih sustava;
5. Izrada blok-dijagrama proizvodnog procesa kod izgradnje hidromelioracijskih sustava.

Blok-dijagram proizvodnog procesa kod izgradnje hidromelioracijskog sustava površinske odvodnje prikazan je na grafu 2.1.

U hidromelioracijske objekte površinske odvodnje ubrajaju se kanali, tipski cijevni i pločasti propusti na kanalima, betonske stepenice, sifoni, kaskade, crpne stanice, brane i ustave. S hidromelioracijske prakse mreža kanala dijeli se na osnovnu i detaljnu kanalsku mrežu. Osnovnu kanalsku mrežu čine kanali I. i II. reda, najčešće su neobloženi i trapeznog oblika te se na njima ugrađuju različiti hidromelioracijski objekti (crpne stanice, ustave, akumulacije) koji omogućuju učinkovito odvođenje ukupne suvišne vode s cijelog melioracijskog područja do glavnog recipijenta. Melioracijski kanali I. reda (glavni sabirni kanal) najčešće su prirodni regulirani vodotoci koji su ujedno i glavni recipijenti suvišne vode melioracijskog područja. S obzirom na velike protoke i visoke vodostaje voda na kanalima I. reda predviđena je i izgradnja hidrotehničkih objekata (crpne stanice i ustave) i obrambenih nasipa od poplava koje se mogu pojaviti u povratnom periodu od 5 do 10 godina. Hidrauličke dimenzije (dubina, širina vodnog lica, širina dna) glavnih sabirnih kanala ovise o veličini slivne površine i mjerodavnom hidromodulu površinske odvodnje, odnosno maksimalnim protocima (Petošić D. i Tomić F., 2011.). Uvijek se projektiraju na najnižim dijelovima terena, prosječna dužina je od 2 do 10 km, a širina vodnog lica varira od 10 do 30 m. Najčešće su trapeznog oblika s nagibom pokosa 1:2 ili 1:1,5. U njih se ulijeva sakupljena voda iz sekundarnih kanala ili kanala II. reda koji prihvaćaju vodu iz kanala III. reda. Ti kanali imaju ulogu glavnog recipijenta suvišne vode s manjih hidromelioracijskih cjelina („kasete“) koje čine cjelovito šire melioracijsko područje. S obzirom na to da su kanali II. reda isključivo umjetno izgrađeni, najčešće su trapeznog oblika i nagib pokosa im je kao i kod glavnih sabirnih kanala 1:1 ili 1:1,5. Minimalni pad nivelete dna kanala iznosi oko 0,2-0,3 ‰, a ostale hidrotehničke dimenzije određuju se ovisno o maksimalnom protoku kroz kanal. Prema Marušiću (1985.) prosječne vrijednosti osnovnih hidrauličkih dimenzija kanala II. reda su: širina dna od 3,0 do 10,0 m, dubina kanala 3,0-3,5-5,0 m, pokos nagnutih stranica  $m = 1,5-2,0-2,5-3,0$ . Detaljnu kanalsku mrežu čine srednje duboki, odnosno kanali III. i IV. reda čija je temeljna zadaća da višak vode s poljoprivrednih površina u toku mjerodavnog vremena odvede u kanale osnovne odvodnje I. i II. reda (Petošić i Tomić, 2011.). Tercijarni kanali sabiru suvišnu vodu iz kanala IV. reda i odvedu ju u kanale II. reda. S obzirom na to da ovim kanalima protječe relativno manja količina vode, isti se ne

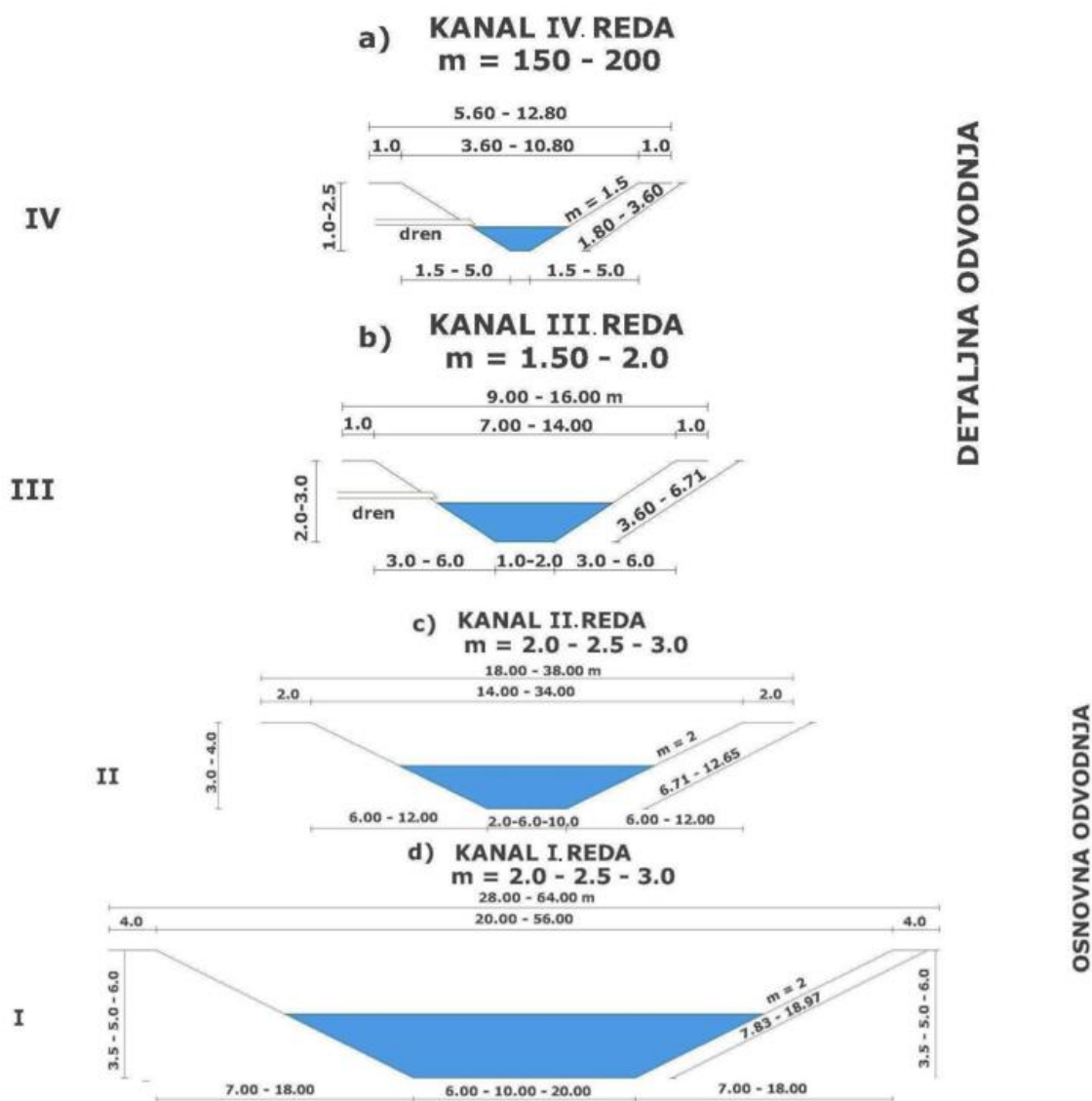
dimenzioniraju na temelju maksimalnog protoka i povratnog razdoblja već je prema Marušiću (1985.) širina dna kanala od 1,0 do 3,0 m, dubina od 2,0-3,0-3,5 m, pokos stranica  $m = 1,5-2,0-2,5$ , a u našoj melioracijskog praksi dužina kanala varira od 1.500 do 2.000 m. Uz kanale III. reda često se postavljaju i trase poljoprivrednih puteva kojima se pristupa poljoprivrednim parcelama.



Graf 2.1. Suvremeni pristupi problematiki hidromelioracijskih sustava u svijetu (izvor: Kos Z., 2003. u: Ožanić, N. (ur.) Priručnik za hidrotehničke melioracije, Kolo III, Knjiga I: Suvremeni pristupi i metode planiranja i upravljanja hidromelioracijskim sustavima, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci)



Kanali IV. reda ili kanali sisavci kanali su najmanjih dimenzija, sabiru površinsku vodu direktno s poljoprivredne površine i odvođe ju u kanale III. reda. Predmetni kanali od velikog su značaja jer omogućuju pravovremenu evakuaciju suvišne vode s poljoprivredne površine te time smanjuju mogućnosti smanjenja prihoda poljoprivrednih kultura. Hidrotehnički elementi i dimenzije kanala sisavaca direktno ovise o topografskim elementima područja, hidrološkim i pedološkim karakteristikama tla, zahtjevima obrade tla i poljoprivredne proizvodnje općenito te o razni podzemne vode koja se u kombiniranoj odvodnji može regulirati drenažnim cijevima. Prosječne vrijednosti hidrotehničkih dimenzija su prema Marušiću (1985.) sljedeće: širina dna kanala od 0,50-0,60-0,80 m, dubina od 1,50-2,0-2,50, pokos stranica  $m = 1,25-1,50-1,75-2,00$ , dužina kanala od 500-800-1000-1200 m, minimalan pad  $J = 0,4 ‰$  i razmak kanala od 180 do 350 m. Na slici 2.14. prikazani su prosječni presjeci osnovnih i detaljnih kanala kanalske mreže sustava površinske odvodnje.



Slika 2.14. Karakteristični poprečni presjeci kanala: a) kanal IV. reda; b) kanal III. reda; c) kanal II. reda; d) kanal I. reda (izvor: Petošić i Tomić, 2011.)

Kako bi se postigla maksimalna funkcionalnost sustava površinske odvodnje, s obzirom na količinu oborina, poljoprivrednu kulturu i utjecaja podzemne drenaže potrebno je optimalno dimenzioniranje kanala IV. reda. Općenito, količina iskopa obrnuto je proporcionalna razmaku kanala koji ovisi o hidropedološkim svojstvima tla, oborinskim prilikama i zahtjevima poljoprivredne tehnike, a određuje se prema izrazu A. N. Kostajkov-a (jedm. 2.19.). Predmetna jednadžba koristi se na melioracijskim područjima s relativno malim padovima terena ( $I = 0,5-2,0 \text{ ‰}$ ).

$$L = \frac{0,5 \times C \times t_0^2 \times [(\sigma \times i)^{0,75} + 4 \times K_i]^2}{\sigma \times i} [m] \quad (\text{jedm. 2.19})$$

Gdje su:  $C$  – koeficijent (ovisi o načinu obrade i prosječnom padu terena)

$t_0$  [h] – mjerodavno vrijeme otjecanja suvišne vode s parcele

$\sigma$  – koeficijent površinskog otjecanja (0,25-0,35)

$i$  [mm/h] – intenzitet mjerodavne oborine

$K_i$  [mm/h] – koeficijent infiltracije tla

$$C = \alpha \times \sqrt{I} \quad (\text{jedm. 2.20.})$$

Gdje su:  $I$  [m/m] – prosječni pad terena slivne površine

$\alpha$  – koeficijent obrade tla (karakterizira terenske uvjete otjecanja)

$$\alpha = \frac{87}{\gamma} \quad (\text{jedm. 2.21.})$$

Gdje su:  $\gamma$  – koeficijent površinske hrapavosti: mjerodavne vrijednosti

1. Orađeno, brazde u smjeru pada  $\gamma = 2$

2. Oranice, bez brazda  $\gamma = 3,5$

3. Pašnjaci  $\gamma = 4$

4. Prirodne livade  $\gamma = 6$  do 8

5. Neravne površine  $\gamma = 8$  do 15

$$t_0 = \frac{1,333 \times \sigma \times i}{(\sigma \times i)^{0,75} + 4 \times K_i} \times t_k [h] \quad (\text{jedm. 2.22})$$

Gdje je:

$$i = \frac{h_k}{t_k} [mm/h] \quad (\text{jedm. 2.23.})$$

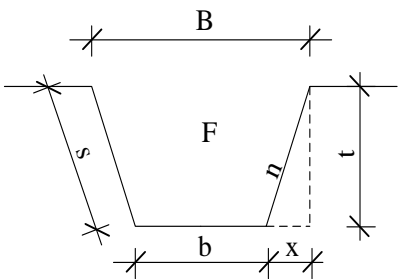
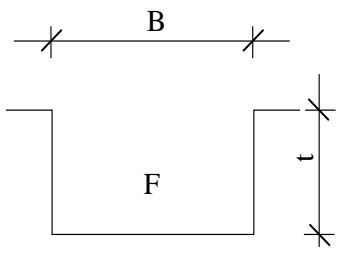
Gdje su:  $h_k$  [mm] – mjerodavna oborina  
 $t_k$  [h] – mjerodavno trajanje kiše

$$h_k = a \times t_k^n \text{ [mm]} \quad (\text{jedn. 2.24.})$$

Gdje je: a, n – koeficijenti klimatske funkcije oborine.

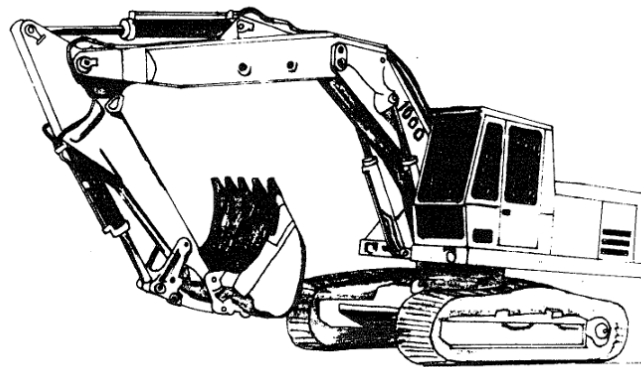
Izrazi za dimenzioniranje ostalih hidrotehničkih elemenata, a ovisno o obliku poprečnog presjeka kanala računaju se prema formulama prikazanim u tablici 2.3.

Tablica 2.3. Jedandžbe za izračun hidrotehničkih elemenata prilikom dimenzioniranja kanala ovisno o obliku poprečnog presjeka

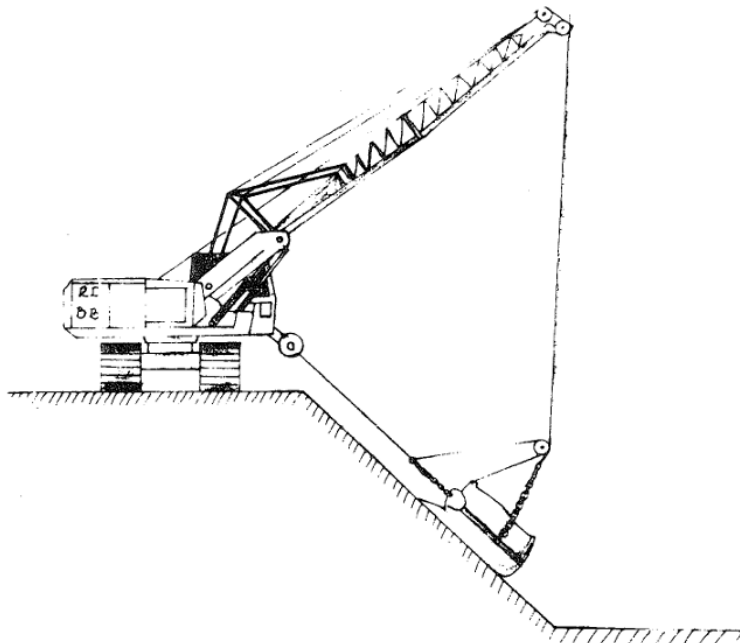
NAZIV HIDRAULIČKOG ELEMENTA	Poprečni presjek kanala	
		
1. PROTOK (Q)	$Q = F \cdot v$ [l/s ili m <sup>3</sup> /s]	$Q = F \cdot v$ [l/s ili m <sup>3</sup> /s]
2. POPREČNI PRESJEK VODOTOKA (F)	$F = \frac{B+b}{2} \cdot t$ [m <sup>2</sup> ]	$F = \frac{B+b}{2} \cdot t$ [m <sup>2</sup> ]
3. SREDNJA BRZINA VODE (v)	$v = c \cdot \sqrt{R \cdot I}$ [m/s]	$v = c \cdot \sqrt{R \cdot I}$ [m/s]
4. KOEFICIJENT BRZINE VODE (c)	$c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$ [-]	$c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$ [-]
5. HIDRAULIČKI RADIJUS VODOTOKA (R)	$R = \frac{F}{O}$ [m]	$R = \frac{F}{O}$ [m]
6. OMOČENI OBOD VODOTOKA (O)	$O = 2 \cdot s + b$ [m]	$O = 2 \cdot s + b$ [m]
7. NAJPOVOLJNIJI HIDRAULIČKI RADIJUS VODOTOKA	$B = 2 \cdot s$ [m]	$B = 2 \cdot s$ [m]
8. DUŽINA POKOSA (s)	$s = \sqrt{t^2 + x^2}$ [m]	
9. NAGIB POKOSA (n)	$n = \frac{x}{t}$ [-]	

Kako bi se ubrzao proces izgradnje kanala i radi smanjenja količine fizičkog rada čovjeka, sustavi kanalske mreže površinske odvodnje danas se izvode u potpunosti automatizirano pomoću specijaliziranih strojeva koji se dijele na strojeve za kopanje i utovar materijala (bageri) i na strojeve za odguravanje, razgrtanje i poravnavanje iskopanog materijala (dozeri). Bageri su strojevi koji svojom vlastitom snagom vrše otkop ili grabljenje zemljanog, kamenog ili drugog materijala, pa tako otkopani materijal odlaže na manjoj ili većoj udaljenosti od sebe ili

ga utovara u transportno sredstvo (Marin A., 1989.). Mogu biti pogonjeni parom, motorom s unutrašnjim sagorijevanjem, električnim motorima ili kombinacijom električnog i motora s unutarnjim izgaranjem. S obzirom na to da je mehanički prijenos snage motora tehnički i izvedbeno kompliciraniji danas se gotovo više ne koristi. Većina bagera izvedena je s hidrauličkim prijenosom koji snagu pogonskog motora pretvara u potencijalnu energiju stlačene tekućine (hidraulično ulje) koja se razvođenjem do radnih dijelova mehanizacije pretvara u mehanički rad . Ovisno o redu kanala koji se kopa razlikuje se i način vješanja oruđa za rad pa se tako za iskop kanala IV. reda koriste se hidraulični bageri s krutom kinematskom vezom (slika 2.15.), a za iskop ostalih redova kanala koriste se hidraulični bageri s povlačnom kašikom ili dreglajn bageri (slika 2.16.). Na bagere s krutom kinematskom vezom se za potrebe iskopa kanala postavlja odgovarajuće oruđe, trapezna kašika koja automatski oblikuje kanal prema prethodno određenim dimenzijama.

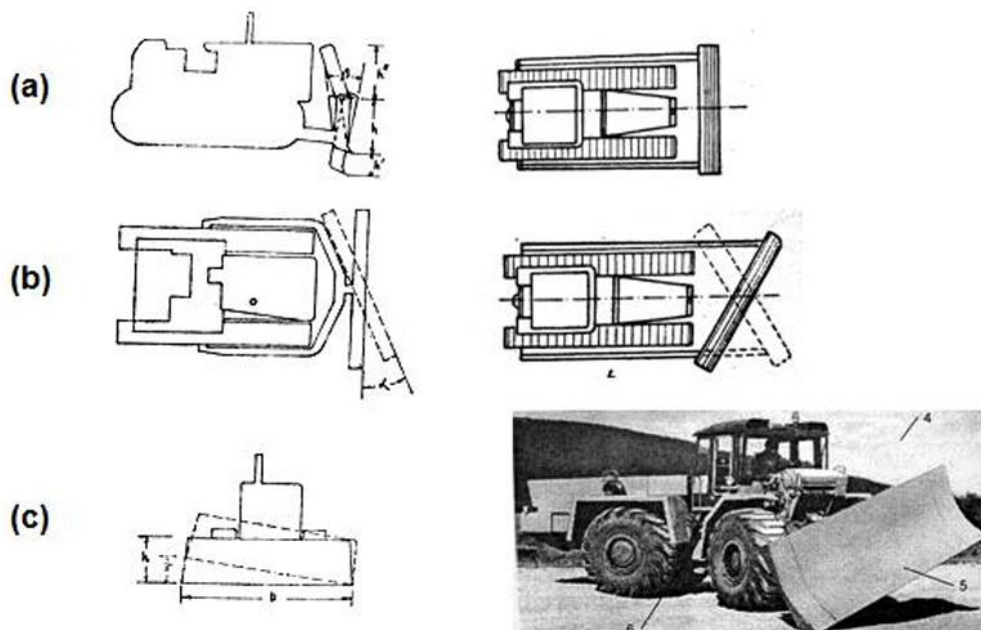


Slika 2.15. Hidraulični bageri s krutom kinematskom vezom (izvor: Marin A., 1989.)



Slika 2.16. Hidraulični bageri s povlačnom kašikom ili dreglajn bageri (izvor: Marin A., 1989.)

Prema Linariću (2007.) dozera su tipični građevinarski strojevi koji se koriste za masovni iskop tla i trošne stijene struganjem i njihov transport guranjem te za razastiranje i grubo planiranje sipkih zemljanih i kamenih gradiva dok u melioracijskoj uporabi služe za razgrtanje iskopane zemlje i formiranje nasipa različitih oblika. Prema položaju dozerskog noža i njegovom obliku razlikuju se tri vrste dozera, buldožeri, angldozeri i tiltdozeri (slika 2.17.). Dozerski nož kod buldožera postavljen je okomito na uzdužnu os samog stroja i kruto je vezan za noseći okvir. Posljedica takve konstrukcije je pomicanje noža isključivo u vertikalnom smjeru, odnosno nož se može samo podizati i spuštati. Kod angldozera radno oruđe može se zakretati za određeni kut oko svoje poprečne osi i kretati se po vertikali. U odnosu na uzdužnu os stroja, radno oruđe kod angldozera postavlja se pod kutem od  $65^\circ$  zbog čega materijal koji se gura djelomično bočno klizi. Takov način guranja materijala potreban je kod razgrtanja zemlje iz melioracijskog kanala. Karakterizira ih bolja pokretljivost i manevarska sposobnost nego kod buldožera zbog čega se i najviše primjenjuju u izvođenju kanalske mreže. Tiltdozeri su strojevi kod kojih se radno oruđe može zakretati oko vlastite poprečne osi i može se za određeni kut zakretati i u vertikalnoj ravnini. Prema Marinu (1989.) ovaj tip strojeva praktičan je za iskop kanala s manjim pokosom (do  $30^\circ$ ).

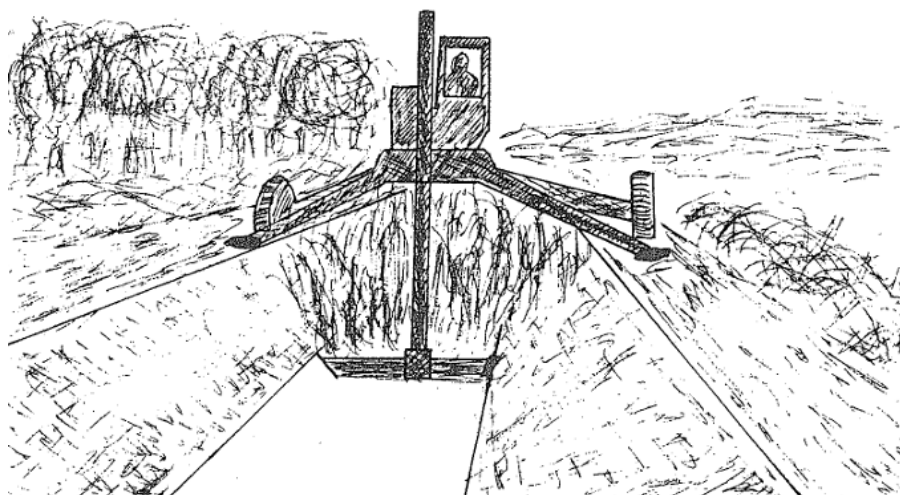


Slika 2.17. Tipovi dozera prema položaju dozerskog noža: a) buldozer; b) angldozer; c) tiltdozer (izvor: Bošnjak P., 2017.)

Kako bi se održala glavna funkcija i efikasnost kanala predviđena istraživačko-projektnom dokumentacijom, iste je potrebno održavati. Na području Republike Hrvatske najčešći je slučaj neodržavanja sustava uslijed čega dolazi do zapuštenosti i smanjenja funkcionalnosti kanala. U slučaju da se održavanje ipak provodi, ono zna biti nekontinuirano, nekvalitetno i nepravilno provedeno što može rezultirati i uništavanjem dijelova sustava. Na primjer, paljenjem pokosa kanala vegetacija je u potpunosti uništena što može rezultirati urušavanjem pokosa. Također, u slučaju da se u kanala slijeva voda iz suvišnih cijevi, moguće je i spaljivanje njihovih završetaka. Korisnici melioriranih površina zaraslu vegetaciju kanala također tretiraju

kemijskih sredstvima. Takav način tretiranja može dovesti do zagađenja vodotoka, ali i uništavanja okolne flore i faune ekosustava. Kako bi se izbjegnulo zapuštanje kanalske mreže, potrebno je redovito svake godine (jedanput do dvaput godišnje) provoditi gospodarske mjere održavanja koje prema Pravilniku (1998.) obuhvaćaju redovnu kontrolu odvodnje, kontrolu rasta vegetacije, odstranjivanje raslinja i manjih količina nanosa u vodotocima sustava, popravke manjih oštećenja objekata te ostale radove kojima se osigurava normalan rad objekta i pogonska ispravnost hidrotehničke i ostale u njih ugrađene opreme. U istom Pravilniku (1998.) tehničke mjere održavanja potrebno je provoditi u vremenskim razmacima od svakih 5 do 8 godina ili nakon nepogode koja je bila uzrok većeg trajnog poremećaja rada objekta. To su radovi u melioracijskim vodotocima, kanalima i objektima kojima je cilj obnavljanje projektno izvedbenih čimbenika otjecanja i tečenja, kada su ti čimbenici bitno poremećeni korištenjem sustav ili nastupom izuzetno nepovoljnih hidroloških prilika. Poslovima košnje uklanja se različita biljna i drvenasta vegetacija s dna, površine, pokosa i bankine kanala. Sakupljeni mulj na dnu kanala predstavlja idealni supstrat za razvoj podvodne vegetacije jer se u mulju talože sastojci umjetnih gnojiva ispravnih s obradivih površina. Dno kanala može se koristiti ručno ili strojno (samohodna kosilica, kosa pogonjena hidromotorom). Samohodnom kosilicom čili je kos na donjem kraju povijen osim vegetacije ne dnu, djelomično kosi i pokos kanala. Princip rada je takav da prolaskom stroja uzduž osi kanala, radno oruđe kosilice u hođu uklanja zaraslu vegetaciju dna kanala. Druga izvedba uređaja za košnju je kosa koji se, umjesto redovno postavljenog noža, nalazi na donjem rubu posebno oblikovanog radnog oruđa (kašike). Takva kosa pogonjena je hidraulikom, a izvor snage za pokretanje noževa kose je hidromotor univerzalnog stroja. Košnja pokosa i bankine također se može provoditi ručno ili mehanizirano. Ručni način košnje primjenjuje se isključivo na područjima gdje nije moguća primjena mehaniziranih uređaja. Kao i kod košnje dna, pokosi se kose samohodnim kosilicama na vlastiti pogon. Takve kosilice imaju specijalnu, zglobno pokretljivu konstrukciju, kosu koja se nalazi na kranu kosilice i treći kotač koji se vozi po pokosu kanala. Bankine kanala kose se čeonim kosilicama koje su najčešće izvedene kao samohodni strojevi koji za radno oruđe imaju uređaj za košenje širine od 1 do 1,5 m. U praksi, čeone kosilice i samohodni uređaju za košnju pokosa koriste se simultano tako da najprije čeona kosilica očisti put za prolaz samohodne kosilice za košnju pokosa kanala. Pokošeni materijali najčešće se ostavljaju na pokošnim površinama kako bi se razgradili prirodnim procesima. Mulj u kanalima nanesen je vjetrom, vodenim nanosom i ispiranjem vlastitih pokosa oborinama (Martin A., 1989.) i predstavlja sve ono što je uzdignuto iznad prvobitno projektirane dubine kanala. Izmuljivanje kanala I. i II. reda provodi se bagerima sajlašima prilikom čega se zamuljeni dio dna kanala grabi s korpom (kašikom) bagera, izvlači na površinu te se tamo i deponira uslijed čega se gubi obradiva površina i dolazi do zakrčenja okolnog prostora. Kanali III. i IV. reda izmuljuju se hidrauličkim bagerima s krutom kinematikom oruđa (kašika za izmuljivanje). Takovom kinematikom, podizni krak, greda i poluga bagera i mogućnošću zakretanja kašike na kinematskim mehaničkim vezama, ovakav način izmuljivanja omogućava funkcionalno i estetski ponovno oblikovati dno i donji dio pokosa kanala u onakav oblik kakav je bio u trenutnu prvog izvođenja objekta (Martin A., 1989.). Osim s navedenim bagerima, dno kanala se može izmuljavati i bagerima kanaločistačima (slika 2.18.) koje karakterizira njihova mala masa i manja potrošnja energije te četiri noge koje su postavljene umjesto četiri kotača. Radno oruđe ovog stroja je profilna kašika koja prolaskom kroz kanal, osim što uklanja mulj, ujedno obavlja i

rekonstrukciju kanala. Prednost ovih strojeva je u tome što ne gaze po obradivoj površini nego se kreću po bankini ili pokosu kanala. Izmuljena masa također se deponira uz kanal smanjujući veličine obradivih površina i eventualno ometa prolazak druge mehanizacije tijekom vegetacijskog razdoblja. Kako bi se izbjeglo deponiranje izmuljene mase pored obradivih površina, koriste se i strojevi koji na osovinskom pogonskom motoru imaju alate koji nataloženi materijal na dnu kanala kontinuirano izbacuju u tankom sloju na obradive površine. Ti alati priključuju se najčešće na samohodne traktore ili bagere koji moraju imati poseban hidraulički izvor snage za pogon dodatnog oruđa i prilagođen pogon za spori hod uređaja.



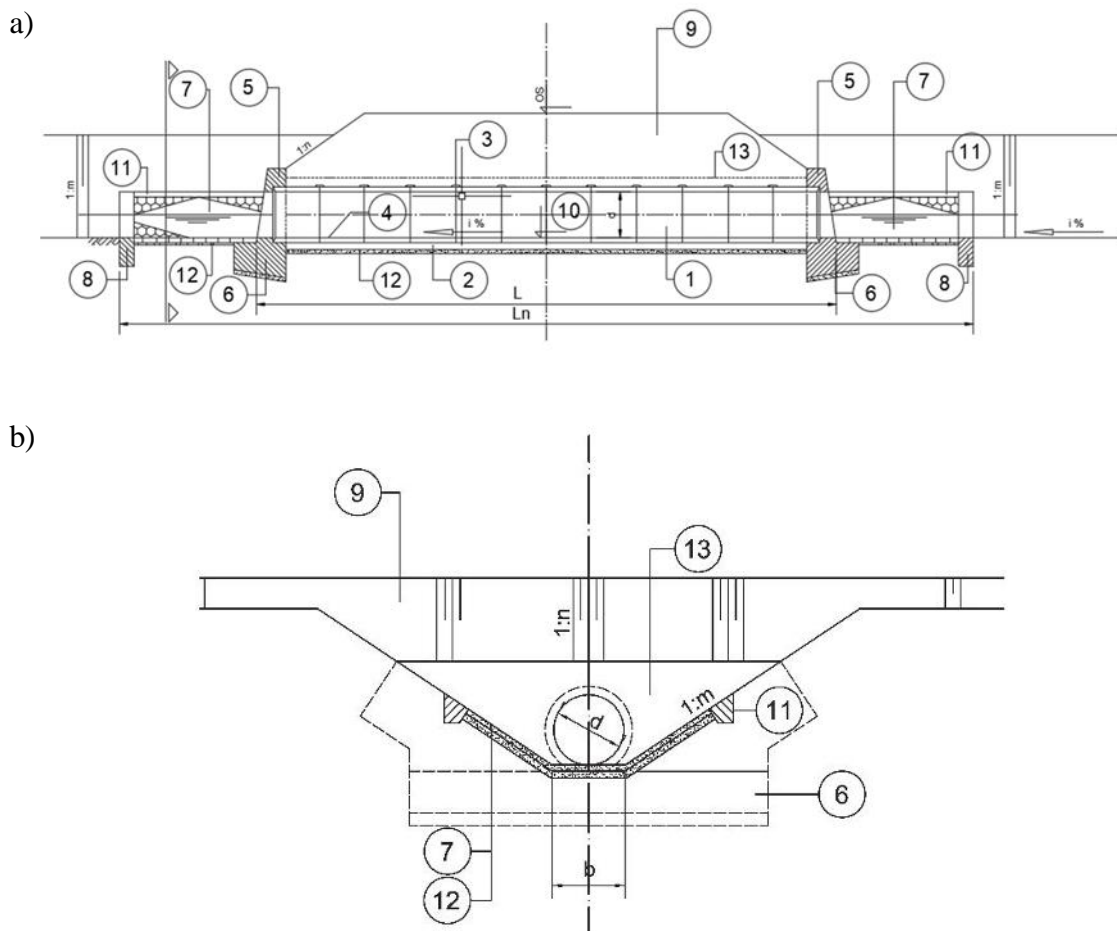
Slika 2.18. Bager kanaločistač (izvor. Marin A., 1989.)

U slučaju dužeg neodržavanja kanalske mreže u vodotocima i kanalima izrast će drvenasto raslinje koje onemogućuje normalno funkcioniranje sustava površinske odvodnje. Takvo raslinje uklanja se radnjama krčenja alatima za rezanje odnosno odsijecanje. Sitnije raslinje uklanja se motoriziranim uređajima motornim pilama, točnije specijaliziranim pilama krčilicama kod kojih se prijenos snage s motora preko kardanske osovine prenosi do izvršnog elementa (pila) na kraju osovine stroja. Kako bi se povećao radni učinak krčenja na većim površinama i kod većeg raslinja, krčenje se provodi pomoću alata montiranih na traktore ili bagere. Priključni radni alat na takvim stajevima je košara koja s donje strane ima rezu letvu s ojačanim noževima kako bi mogli sjeći drvenasto raslinje promjera do 2 cm, a na pogonski stroj povezan je pomoću zglobnog kranskog konzolnog nosača. Kada je raslinje većeg promjera od 2 cm, kao radni alat koristi se kružna pila promjera 1 m. Nakon provedenog krčenja, preostalu masu potrebno je naknadno ukloniti s poljoprivredne površine što povećava troškove izvođenja radova. Kako bi se navedeno izbjeglo, postupkom tarupiranja iskrčena masa se usitnjava i razbacuje po poljoprivrednoj površini u tankom, neprimjetnom sloju. Postupak se provodi pomoću uređaja mlatilice koji je priključen na bager s pneumaticima. Oruđe se kreće poprečno na os kanala, a kako bi se omogućio što veći dohvat prilikom rada, potrebna je dogradnja postojeće krute kinematike u smislu produženja, ili se može ići na kompletnu novu dogradnju kinematike bagera (Marin A., 1989.). Kako bi efikasnost kanala i ostalih objekata hidromelioracijskog sustava bila maksimalna, isti moraju zadovoljiti sljedeće uvjete i zahtjeve (Marušić J., 1985.):

- efikasne odvodnje suvišnih voda;
- oblikovanja pravilnih parcela prema zahtjevu suvremene poljoprivredne obrade;
- optimalne putne mreže;
- geomehaničke, statičke i hidrauličke sigurnosti;
- optimalna količina odgovarajućih radova s obzirom na cijenu koštanja izvođenja i korištenja;
- rekonstrukcije pojedinih objekata i kompletnih hidromelioracijskih sustava.

U hidrotehničke građevine površinskih sustava odvodnje ubrajaju se propusti, čepovi, hidrauličke stepenice, sifoni, ustave, crpne stanice i zaštite dna i pokosa kanala. Prilikom projektiranja takvih građevina potrebno je uzeti u obzir vrijeme trajanja kompletnog sustava te prethodno provesti detaljna terenska istraživanja, izrada hidrauličkih, hidroloških, geomehaničkih i statičkih proračuna te definiranje konačne tehnologije i troškovnika rada. Hidrotehnički propusti su građevine kojima se voda kanala (vodotoka) propušta ispod nasipa ili neke druge zapreke, pri čemu se bitno ne mijenja niveleta dna kanala (vodotoka) kojim teče ta voda, a izvode se kao cijevni propusti, pločasti propusti ili u tipu svođenog propusta (Cerić i sur., 2022). Najčešći tip propusta uključenih u melioracijsku mrežu su cijevni propusti od gotovih betonskih cijevi čiji promjer ovisi o tipu kanala i mjerodavnom protoku vode koja prolazi kroz njih. Najčešći promjer koji se koristi u praksi iznosi 80 cm, a može varirati od 60 do 200 cm. U obzir prilikom projektiranja je također potrebno uzeti i mjerodavna opterećenja (vertikalno, pokretno i bočno) na cijevi, debljinu i vrstu materijala nadsloja te općenito elemente kolničke konstrukcije. Kako bi se spriječili lomovi odnosno pucanja cijevi uslijed velikih opterećenja, preporuka je prilikom izrade cijevi iste armirati ili projektirati odgovarajuću debljinu stijenki (u pravilu iznosi 10-12 % od ukupnog promjera cijevi). Zamuljivanje cijevnih propusta također je jedan od problema koji se može pojaviti kao posljedica neodržavanja kanala, nepravilnog spajanja betonskih cijevi ili nepravilno oblikovanih pokosa i bankina kanala. S obzirom na navedeno potrebno je odrediti pravilan odnos širine dna kanala i donje širine protjecajnog profila kako bi se održala pravilna hidraulika tečenja te prije spajanja cijevi, poravnavanja i zbijanje posteljice. Osim zamuljenja cijevi, zbog lošeg izvedenih spojeva cijevi moguća je pojava ekscentričnog položaja i nepotrebnih opterećenja na cijevi što opet može rezultirati lomovima. Zamjena oštećenih cijevi zahtjeva velike troškove obnove i zamjene koji se mogu izbjeći pravilnim izvođenjem radova prilikom postavljanja. Ulaz i izlaz cijevnih propusta može biti izveden bez ili s vertikalnim ili kosim betonskim krilima (čeonim zidovima) koja osiguravaju stabilnost propusta i puta iznad njega (najčešće u slučaju kada je put bez stabilne kolničke konstrukcije). U slučaju izvedbe propusta bez čeonih zidova, početni troškovi izgradnje su manji, ali sami troškovi održavanja su zbog manje stabilnosti veći. O čeonim zidovima, vrsti kolničke konstrukcije, širini krune puta te značenju i kategoriji puta ovisi broj cijevi, odnosno dužina cijevnog propusta. Na slici 2.19. prikazan je poprečni i uzdužni presjek cijevnog propusta s glavnim konstrukcijskim elementima.

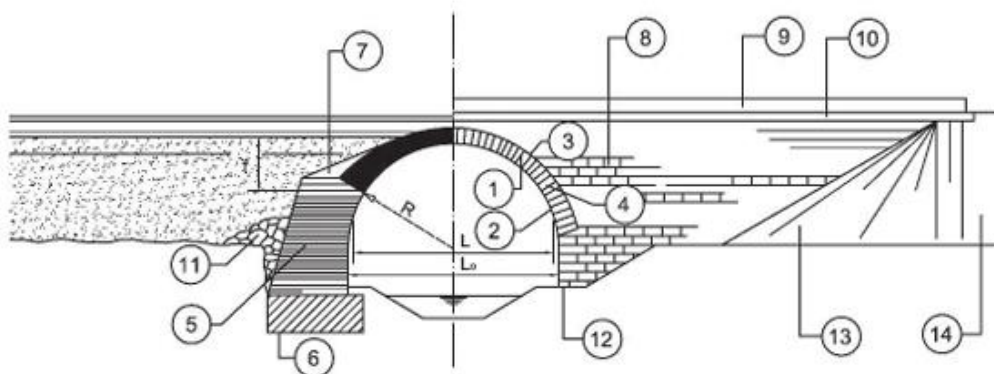




Slika 2.19. Presjeci cijevnog propusta: a) uzdužni presjek, b) poprečni presjek (1 – cijev; 2 – podloga; 3 – spoj cijevnih elemenata; 4 – niveleta, dno propusta; 5 – čeonii zid; 6 – temelj čeonog zida; 7 – obloga kanala; 8 – prag; 9 – trup prometnice; 10 – kota dna propusta; 11 – pasica; 12 – posteljica; 13 – betonska ovojnica cijevnog propusta; L – duljina cijevnog propusta;  $L_n$  – duljina građevine;  $i$  – uzdužni pad nivelete;  $d$  – promjer cijevi;  $b$  – širina dna kanala) (Izvor: Cerić i sur. 2022.)

Pločasti propusti su u pravilu većih dimenzija od cijevnih te se projektiraju na sabirnim kanalima III. i II. reda. Prema Marušiću (1985.) dimenzije pločastih propusta uvjetovane su prema propusnoj moći kanala, a zajedno s elementima kolničke konstrukcije puta određuju dimenzije armirano-betonske ploče. Takve ploče ili armirano-betonske grede s betonskim pločama preko kojih se polaže kolnička konstrukcija predstavljaju nosače za neposredno ili posredno prenošenje opterećenja (Epet B., 2016.). Tečenje ispod propusta je sa slobodnim vodnim licem, a kako bi se omogućio mjerodavniji protok kroz profil propusta i manji troškovi izgradnje, preporuka je projektirati propust s većim dimenzijama otvora i manjim upornjacima i krilima objekta. Duljina propusta je ograničena na 10 m te ovisno o širini dna kanala varira između 2 i 10 m. Svi pločasti propusti raspona većeg od 10 m smatraju se mostovima. S obzirom na to da je preko armirano-betonskih ploča odnosno kolnikom iznad propusta predviđen prolazak cestovnih vozila (uključujući i poljoprivrednu mehanizaciju) potrebno je izgraditi zaštitnu ogradu kako bi se promet osigurao od eventualnih nezgoda. Svođeni i parabolični propusti ne mogu se izvoditi kao tipske građevine već zahtijevaju zasebnu izradu projekta i posebnu tehnologiju izvođenja. Prema Marušiću (1985.) izvode se kao rješenja u pjeskovitim i slabo nosivim tlima gdje su neophodna prethodna geomehanička ispitivanja i posebna rješenja

temeljenja radi osiguranja stabilnosti projekta. Nosiva konstrukcija sastavljena je od temeljne ploče i gornjeg dijela u obliku svoda, a razlika paraboličnih i svođenih propusta je u veličini otvora i vrsti dna. Veličina otvora paraboličnih propusta varira od 100/150 do 200/300 cm i izvode se s betoniranim dnom dok se svođeni propusti izvode s otvorom od 200 do 400 cm s posebnim temeljenjem ili slobodnim dnom što omogućava naknadno snižavanje nivelete kanala, ali je potrebno dodatno osiguranje stabilnosti upornjaka svođenih propusta (Marušić 1985.). Minimalna visina između gornjeg ruba svoda i površine planuma ne bi trebala iznositi manje od 0,8 m, a zbog velike duljine svođenih propusta isti se projektiraju i izrađuju u dijelovima (kampadama) duljine od 4 do 8 m kako bi se zbog mogućih promjena u veličini opterećenja i razlika u nosivosti ili kvaliteti tla u kojem su temeljeni onemogućilo stvaranje pukotina u njima (Hrgić D., 2016.). Na slici 2.20. prikazan je poprečni presjek svođenog propusta s odgovarajućim elementima. Kod svih tipova propusta moguća je pojava oštećenja uslijed nanosa koji dolaze s velikim vodama prilikom čega dolazi do zatvaranja profila, stvaranja umjetnih brana i njihovim probojem do oštećenja temelja propusta (Kolovrat I., 1991.). Oštećenja također nastaju najčešće za vrijeme prolaska velikih voda, U tom slučaju je potrebno pratiti situaciju te po potrebi zaštititi temelje i upornjake vrećama pijeska ili zemljanim materijalima.



Slika 2.20. Poprečni presjek svođenog propusta (elementi: 1 – svod; 2 – intrados; 3 – ekstrados; 4 – peta svoda; 5 – upornjak; 6 – temelj; 7 – nazidak; 8 – čeonu zid; 9 – ograda; 10 – vijenac; 11 – kameni nabačaj; 12 – profil kanala; 13 – čunj; 14 – prilaz mostu; L – raspon svoda;  $L_0$  – otvor propusta; r – radijus zakrivljenosti svoda; f – strelica svoda) (Izvor: Cerić i sur., 2022.)

Prilikom dimenzioniranja propusta melioracijskih kanala potrebno je odrediti količinu vode koja će prolaziti kroz predmetni propust, a isto se može odrediti metodama za proračun kanalizacije, empirijskim hidrološkim metodama ili na osnovi inženjerske analize. Kapacitet protjecanja propusta ovisi o razlici energije koja se pojavljuje između ulaza i izlaza propusta, a koja može biti umanjena uslijed hidrauličkih gubitaka. Postoje tri tipa hidrauličkih gubitaka: lokalni gubitci na ulazu koji su posljedica sužavanja poprečnog presjeka, promjene nagiba i hrapavosti; linijski gubitci u unutrašnjosti propusta s konstantnim presjekom koji ovisi o hrapavosti zidova propusta i lokalni gubitci na izlazu koji se javljaju kao posljedica proširenja, promjene dubine i hrapavosti (JPCF BIH, 2005.). U obzir prilikom projektiranja uzima se i nagib propusta, oblikovanje ulaza i unutrašnjosti propusta, izlaz iz propusta te sigurnosnu visinu. Nagib propusta melioracijskih kanala određuje se uvijek u smjeru izlaza vode s obzirom na karakteristike terena. Oblikovanje ulaza s hidrauličkog gledišta bitno je zbog mogućih lokalnih gubitaka koji ovise o obliku ulazne glave i kosim krilima, a povećavaju se u slučaju

naglih suženja ili izbočenja glave propusta. Kod manjih dimenzija propusta, brzina toka vode je relativno mala te ne utječe u velikoj mjeri na lokalne gubitke prilikom ulaza vode u propust. Na izlazu iz propusta prisutna je veća brzina vode i samim time i veća kinetička energija koja može uzrokovati pojavu erozije. U takvim slučajevima potrebno je predvidjeti i rješenja koja će neutralizirati povećanu kinetičku energiju i smanjiti utjecaj erozije. Sigurnosna visina predstavlja najmanju udaljenost između najviše kote nivoa vode i najniže kote donjeg ruba konstrukcije. Kod ulaznih i izlaznih glava propusta potrebno je izgraditi s bočnim krilima koja osiguravaju bolje usmjeravanje vode u propust, brže otjecanje vode iz propusta i sprječavaju urušavanje pokosa u korito vodotoka (JPCF BIH, 2005.). Proračun tečenja kroz propust izračunava se Bernoullijevom jednadžbom (jedm. 2.25.).

$$z_i + h_i + \frac{\alpha \times v_i^2}{2g} + \Delta h_e = z_{i+1} + h_{i+1} + \frac{\alpha \times v_{i+1}^2}{2g} \quad (\text{jedm. 2.25.})$$

Gdje su:  $z_i, z_{i+1}$ - kota dna kanala na nizvodnom i uzvodnom profilu, slijedom [m.n.m.];  
 $h_i, h_{i+1}$ - dubina toka u kanalu na nizvodnom i uzvodnom profilu, slijedom [m];  
 $v_i, v_{i+1}$ - srednja brzina toka na nizvodnom i uzvodnom profilu, slijedom [m/s];  
 $\Delta h_e$ - ukupni gubici između dva profila [m];  
 $\alpha$ - Corilisonov koeficijent korekcije brzine.

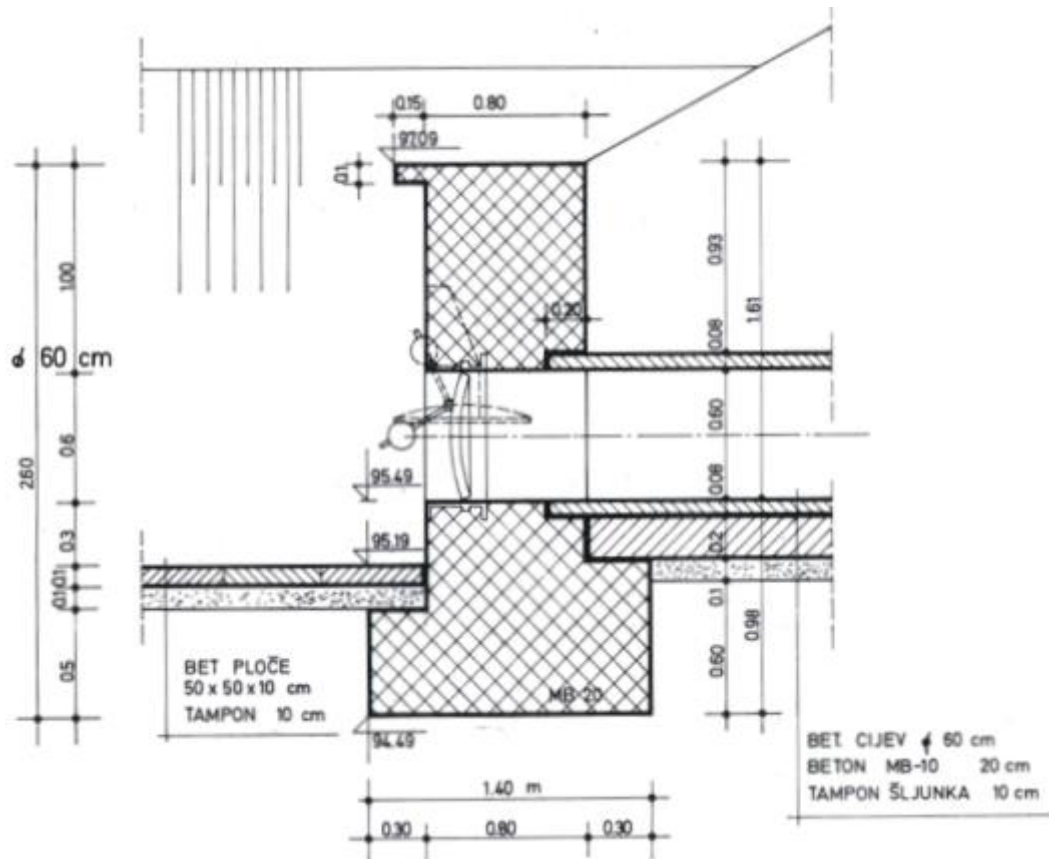
Prethodno spomenuti gubici računaju se prema sljedećem izrazu (jedm. 2.26.).

$$\Delta h_e = \Delta h_{LIN} + \Delta h_{LOK} = \Delta L \times I_e + \xi \times \left| \frac{\alpha \times v_i^2}{2g} - \frac{\alpha \times v_{i+1}^2}{2g} \right| \quad (\text{jedm. 2.26.})$$

Gdje su:  $\xi$  – koeficijent lokalnog gubitka između dva profila;  
 $I_e$ - prosječni nagib energetske linije [m/m].

U slučaju niskih i srednjih vodostaja, voda iz kanala višeg reda gravitacijski otječe u kanal nižeg reda. Prilikom pojave visokih vodostaja voda javlja se povratni tok vode iz kanala višeg reda u kanale nižeg reda. Kako bi se navedena situacija spriječila, izvode se posebni objekti, automatski čepovi, koji onemogućuju povratni tok vode. Automatski čepovi ili žablji poklopci su lijevanoželjezni dio opreme koji se postavlja na izlaznom čeonom zidu, a konstruiran je tako da dozvoljava jednosmjerno tečenje (istjecanje), a sprečava povrat voda (Cerić i sur.. 2022.). Za potrebe izgradnje čepova s povratnim poklopcima potrebno je imati geodetske podatke o visinama dna kanala i razini relevantne vode u kanalu, plan slivne melioracijske površine, podatke o maksimalnim oborinama i trajanje visokog vodostaja uslijed kojeg je mogući povratni tok voda. Osim trenerskih istraživanja, potrebno je provesti hidrauličke i statičke proračune, pravilno izvođenje temeljenja objekta, betonskih krila, osiguranje dna, pokosa i kosina kanala ispred i iza čepa te stabilno. S obzirom na to da je čep izrađen lijevanog željeza, od velike važnosti je kvalitetna izvedba spojeva i brtvljenja betonskih cijevi čepa. Na samom ulaznu glavu propusta moguće je i postavljanje metalne rešetke koja sprječava ulaz nečistoća

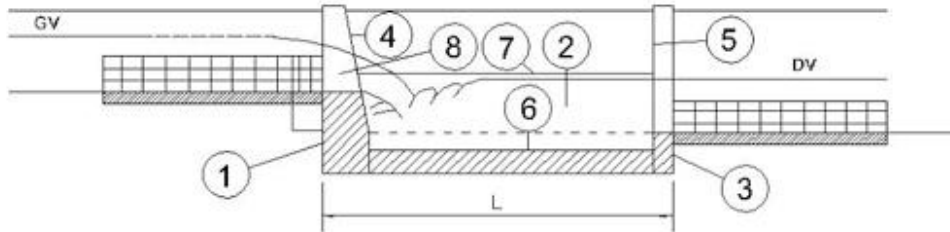
većih veličina i samim time smanjuje mogućnost začepljenja propusta. Na slici 2.21. prikazan je detalj uzdužnog presjeka automatskog čepa.



Slika 2.21. Detalj uzdužnog presjeka automatskog čepa (izvor: Gilja G., 2022.)

Hidrotehničke stepenice su vodograđevine koja se izvode na mjestima denivelacije dna vodotoka kada je uzdužni pad kanala manji od uzdužnog pada terena. Glavna svrha im je zaštita korita od pojačanog erozijskog djelovanja na tim područjima te izvode se od različitih materijala (beton, kamen, drvo). Ove vodograđevine se izvode kako bi se iskoristila koncentracija energetske pada, odnosno promjene visine vodotoka na tom mjestu. Cilj je smanjiti erozijsko djelovanje vode na korito i očuvati stabilnost vodotoka tako da usporavaju protok vode, smanjuju energiju udara i raspodjeljuju silu tečenja na veću površinu. Stepenice se projektiraju i izvode na temelju hidrauličkih proračuna i analiza, uzimajući u obzir karakteristike vodotoka, protok vode, brzinu tečenja i uvjete okoline. Osim detaljnog proračuna, ključna je kvalitetna izvedba kako glavnog praga stepenice, tako i slapišta, te uzvodnog i nizvodnog praga, odnosno početka i završetka cijelog objekta. Kvalitetna izvedba i njeno redovito održavanje osiguravaju sigurnost, funkcionalnost i dugotrajnost stepenice te su ključni faktori za dugoročnu zaštitu korita vodotoka od erozije i očuvanje prirodnog okoliša. Glavni prag stepenice treba biti pravilno dimenzioniran i izgrađen kako bi omogućio pravilan protok vode preko stepenica, bez stvaranja turbulencija ili prekomjernog usporavanja protoka. Važno

je pridržavati se propisanih standarda i smjernica za izgradnju glavnog praga kako bi se osigurala sigurnost i spriječile nepoželjne situacije, poput stvaranja vrtložnih strujanja ili naglog pada vode. Na slici 2.22. prikazan je uzdužni prikaz hidrauličke stepenice s pripadajućim elementima.



Slika 2.22. Uzdužni presjek hidrauličke stepenice s pripadajućim elementima: 1 – preljevni zid stepenice; 2 – slapište; 3 – nizvodni prag stepenice; 4 – krilni zid preljevnog praga; 5 – krilni zid negativnog praga; 6 – dno slapišta; 7 – bokovi slapišta; 8 – usta slapišta; L – dužina slapišta; GV – gornja voda i DV – donja voda (izvor: Cerić i sur. 2022.)

Osnovne pretpostavke za proračun hidrotehničkih stepenica su mirni režim tečenja nizvodno, siloviti režim tečenja uzvodno, pojava vodnog skoka i dovoljna visinska razlika između dna kanala, a računa se prema sljedećim jednadžbama:

$$D_r = \frac{q^2}{g \times d^3} \quad (\text{jedn. 2.27.})$$

Gdje su:  $D_r$  – broj vodnog skoka  
 $q$  – jedinični protok [ $m^2/s$ ]  
 $d$  – visina stepenice [m]  
 $g$  – ubrzanje sile teže [ $m/s^2$ ]

$$L_j = 6,9 \times (y_2 - y_1) \quad (\text{jedn. 2.28.})$$

Gdje je:  $L_j$  - duljina vodnog skoka [m]

$$\frac{y_1}{d} = 0,54 \times D_r^{0,425} \quad (\text{jedn. 2.29.})$$

$$\frac{y_2}{d} = 1,66 \times D_r^{0,27} \quad (\text{jedn. 2.30.})$$

Gdje su:  $y_1$  i  $y_2$  – spregnute dubine

$$\frac{L_b}{d} = 4,3 \times D_r^{0,27} + \frac{L_j}{d} \quad (\text{jedn. 2.31.})$$

Gdje je:  $L_b$  - duljina umirujućeg bazena [m]

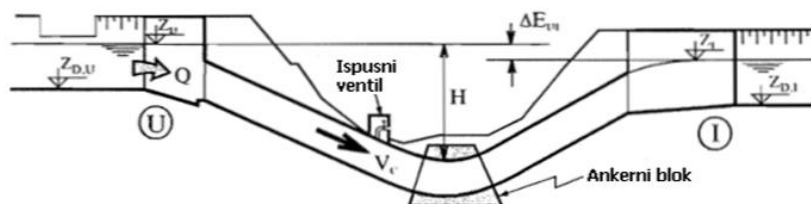
$$\frac{Y_p}{d} = D_r^{0,22} \quad (\text{jedn. 2.32.})$$

Gdje je:  $Y_p$ - dubina vode u bazenu ispod mlaza [m]

Hidrotehnički sifoni su vodne građevine kojima se voda gravitacijski provodi kroz tlačnu cijev ispod prometnica, drugih vodotoka ili depresija ili kod križanja vodotoka i prometnica na različitim razinama mjerodavnih niveleta. Ova građevina omogućuje transport vode ispod prepreka ili prometnih putova, čime se osigurava neprekidnost protoka vode i sprječava prekidanje ili smetanje prometa ili drugih vodotoka. Prije izvođenja radova, potrebno je provesti detaljna terenska ispitivanja, kao i geomehaničke, hidrauličke i statičke proračune za sve moguće slučajeve u njihovom korištenju. To uključuje sljedeće situacije:

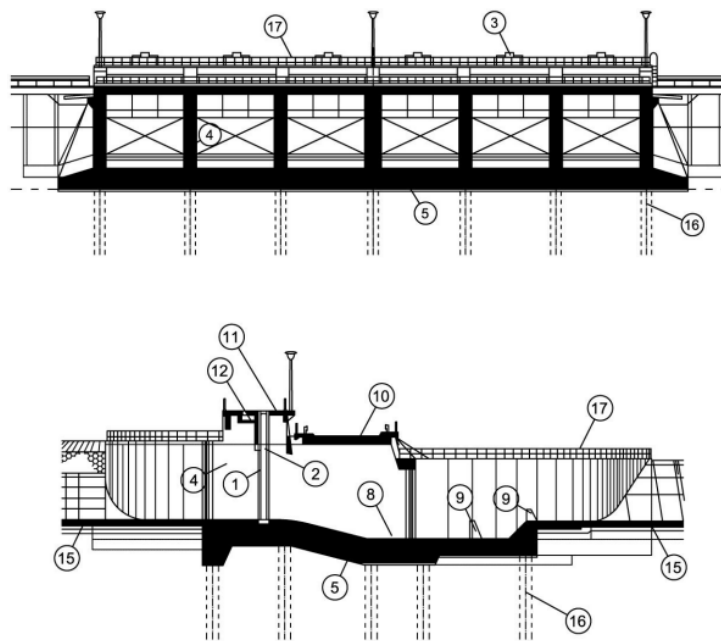
1. Cijev sifona koja je puna vode s praznim vodotokom iznad objekta: u ovoj situaciji, cijev sifona je ispunjena vodom, dok je vodotok iznad sifona suh ili ima vrlo nizak vodostaj. Voda u cijevi sifona gravitacijski protječe kroz objekt, koristeći svoju težinu i hidrostatički tlak.
2. Cijev sifona koja je prazna s maksimalnim vodostajem vodotoka iznad sifona: ova situacija se javlja kada je vodotok iznad sifona poplavljen ili ima vrlo visok vodostaj. U ovom slučaju, cijev sifona je prazna, ali voda iz vodotoka gravitacijski ulazi u cijev i protječe kroz objekt.
3. Djelovanje uzgona na punu i praznu cijev sifona: uzgon se javlja kada je vodostaj u vodotoku iznad razine vode u cijevi sifona. U slučaju pune cijevi sifona, uzgon može djelovati na vodu u cijevi, što može utjecati na protok kroz objekt. U slučaju prazne cijevi sifona, uzgon također može utjecati na protok vode, stvarajući otpor i moguće turbulencije.

Kako bi se osigurala sigurna i učinkovita operacija sifona, potrebno je pažljivo proračunati hidrauličke karakteristike u svim navedenim situacijama. Ove karakteristike uključuju protok vode, brzinu tečenja, hidrostatički tlak i djelovanje uzgona. Na temelju tih proračuna, objekt sifona može se pravilno dimenzionirati i projektirati kako bi se osigurala njegova funkcionalnost i sigurnost. Posebna pažnja treba biti posvećena izvedbi ulaznog i izlaznog dijela sifona, uzimajući u obzir nanose i pravilnost protjecanja vode. Kod sifona koji se koriste kao privremene hidrotehničke građevine, prihvatljivo rješenje za smanjenje uvlačenja krupnijeg nanosa u cijev je i postavljanje dna cijevi sifona iznad dna prelaznice. Također, bitno je i osigurati dovoljnu visinu vode iznad ulaza u sifonsku cijev kako bi se onemogućio ulaz zraka u sifon. U slučaju ulaza zraka, iznad sifona postavljaju se cijevi za prikupljanje i izbacivanje uvučenog zraka. Tijekom izgradnje i korištenja sifona, važno je provesti kontrole i redovito održavanje kako bi se osigurala ispravna operacija i spriječile eventualne probleme ili oštećenja uslijed promjena u vodostaju ili drugih uvjeta. Na slici 2.23. prikazan je uzdužni presjek sifona.



Slika 2.23. Uzdužni presjek sifona (Izvor: Suljić, pristupljeno 12.07.2023.: <http://www.nedim-suljic.mojweb.ba/file/5-objekti-na-dovodima/46>)

Ustave su specijalizirani objekti koji omogućuju kontrolirano propuštanje vode kroz vodotok ili ispuštanje u drugi vodotok, retencijski prostor i slično, uz pomoć zatvarača, a izvode se samostalno ili kao dio crpnih postrojenja. Projektiranje ustava zahtijeva detaljne hidrološke, hidrauličke i statičke proračune, uz detaljna projektirana rješenja. Osim građevinskog dijela, važna je izvedba i funkcionalnost mehanizma za otvaranje i zatvaranje zapornica. Praćenje unutarnjih i vanjskih vodostaja glavnih vodotoka također je važno kako bi se moglo pravovremeno otvarati ili zatvarati pojedine zapornice. Osnovne dimenzije ustava ovise o odnosu vanjskih i unutarnjih vodostaja, relevantnim protocima te potrebnom vremenskom zadržavanju ili ispuštanju vodnih količina. Na slici 2.24. prikazani su elementi poprečnog presjeka ustave.



Slika 2.24. Elementi poprečnog presjeka ustave: 1 – pločasti zatvarač; 2 – utori zatvarača; 3 – uređaj za podizanje zatvarača; 4 – pregradni zidovi; 5 – temeljna ploča; 6 – ulazni dio; 7 – izlazni dio; 8 – slapište; 9 – disipatori energije; 10 – most; 11 – poslužni mostić; 12 – kanal za energetske kablove; 13 – krilni zidovi; 14 – cesta; 15 – obloga dna i pokosa ulaznog i izlaznog dijela; 16 – piloti i 17 – ograda (izvor: Cerić i sur. 2022.)

Tri glavna elementa ustava su: zatvarač, ugrađeni dijelovi i upravljački uređaji. Zatvarač je pokretni dio vrata koji služi kao prepreka za kontrolu protoka vode. Sastoji se od limene ploče koja je odgovorna za stvaranje vodonepropusne brane. Obično se na limenu ploču pričvršćuju gumene trake kako bi se osigurala vodonepropusnost. Ugrađeni dijelovi su komponente koje su ugrađene u betonsku konstrukciju kako bi vodile i smjestile list vrata. Također pomažu u raspodjeli sila koje djeluju na vrata i pružaju zaštitu betonskim rubovima. Glavne komponente ugrađenih dijelova uključuju donju gredicu (donji horizontalni element), tračnice za kotače ili klizne staze (elementi potpore za kotače ili valjke), bočne vodilice, protuvodilice, nadgreda (koristi se kod potopljenih vrata), sjedala brtve i eventualno obloge utora. Upravljački uređaj odgovoran je za otvaranje i zatvaranje vrata. Neka vrata se pokreću pomoću vodnog tlaka, dok druga zahtijevaju upravljačke dizalice. Aisenbrey i sur. (1978.) navode različite širok raspon primjene ustava u hidrotehnici. Neke od glavnih upotreba uključuju zaštitu od poplava, zaštitu opreme (hitna vrata postavljena uzvodno od turbina), kontrolu razine u akumulacijama namijenjenim rekreaciji ili smještene blizu stambenih ili naplavnih područja, održavanje

konstantne razine u akumulacijama, čišćenje akumulacija (vrata za ispuštanje plutajućih predmeta poput grana, trupaca i leda), regulaciju protoka u brana, održavanje opreme (ustavljajući postavljene nizvodno od turbina, uzvodno od vrata za prelijevanje itd.), zatvaranje cijevi za preusmjerenje rijeka, usisni objekti hidroelektrana, vodoopskrbni sustavi, namakanje poljoprivrednih površina, kontrola izljeva s dna akumulacija te navigacijske brane (brava, sustavi punjenja i pražnjenja).

Mehanička odvodnja, odnosno odvodnja crpnim stanicama javlja se u sljedećim situacijama:

1. Sezonske visoke vode: Mehanička odvodnja obično je potrebna tijekom kratkih intervala u godini kada se javljaju sezonske visoke vode na poljoprivrednim površinama ili kada su prisutni visoki vodostaji u glavnom recipijentu. Ova vrsta odvodnje omogućuje uklanjanje viška vode s površine kako bi se spriječila šteta na usjevima i drugim infrastrukturnim objektima.
2. Regulacija podzemnog vodnog režima: Mehanička odvodnja može se koristiti za učinkovitu regulaciju podzemnog vodnog režima i njegovog nivoa. Ovim se postupkom može smanjiti prekomjerno zasićenje tla vodom i osigurati povoljni uvjeti za rast i razvoj biljaka.
3. Nizinska područja melioracije: Mehanička odvodnja često je potrebna na nizinskim lokacijama melioracijskih područja gdje je gravitacijska odvodnja neadekvatna ili nemoguća. U takvim slučajevima, crpne stanice se izgrađuju kako bi se voda crpila i podizala na potrebnu tlačnu visinu, omogućavajući isušivanje i odvodnju područja.
4. Kombinirana gravitacijsko-mehanička odvodnja: Čest slučaj je izgradnja objekta koji kombinira gravitacijsku i mehaničku odvodnju unutar melioracijskog sustava. Ova kombinacija omogućuje optimalno isušivanje i odvodnju vode s površine, uzimajući u obzir prirodni gravitacijski tok i potrebu za dodatnim crpljenjem u određenim situacijama.

Crpne stanice predstavljaju hidrotehničke građevine s pripadajućom elektrostrojarskom opremom koja služi za crpljenje i podizanje određene količine vode na potrebnu tlačnu visinu u glavni recipijent, a najčešće se gradi na kraju sustava melioracijske odvodnje. Na točnu lokaciju gradnje utječe topografija sliva i uklapanje u podzemni vodni režim na poljoprivrednoj površini, temeljenje objekta (provođenje detaljne geotehničke analize tla kako bi se osigurala stabilnost i sigurnost temeljenja, posebno na lokacijama s različitim geološkim uvjetima), povezivanje na elektroenergetski i prometni sustav kako bi se olakšao transport opreme i održavanje stanice, oscilacije podzemnog vodnog režima i trasa obrambenog nasipa u slučaju da se crpna stanica koristi i za obranu od poplava. Za projektiranje crpnih stanica potrebno je izraditi posebnu projektno-tehničku i investicijsku dokumentaciju s ciljem postizanja optimalnog tehničko-ekonomskog rješenja koje će zadovoljiti potrebe korisnika, biti održivo i minimalno utjecati na okoliš. Za postizanje optimalnog tehničko-ekonomskog rješenja crpnih stanica, potrebno je zadovoljiti sljedeće zahtjeve:

1. Zahtjevi funkcionalnosti: Crpna stanica treba zadovoljavati funkcionalne zahtjeve, što uključuje učinkovito crpljenje i podizanje određene količine vode na potrebnu tlačnu visinu u glavni recipijent. Stanica mora biti projektirana tako da može nositi s promjenjivim protocima i uvjetima rada.
2. Konstruktivni zahtjevi: Konstrukcija crpne stanice treba biti čvrsta, stabilna i dugotrajna. Građevinski materijali i elementi moraju biti odabrani i dimenzionirani u skladu s opterećenjima i zahtjevima okoline. Također se moraju uzeti u obzir posebni uvjeti tla i hidrogeoloških karakteristika lokacije.



3. Ekonomičnost izgradnje: Pri planiranju crpne stanice važno je razmotriti ekonomičnost izgradnje, odnosno postizanje optimalnog omjera troškova i koristi. Treba uzeti u obzir troškove građevinskih radova, nabave opreme i instalacija, kao i operativne troškove tijekom životnog vijeka stanice.

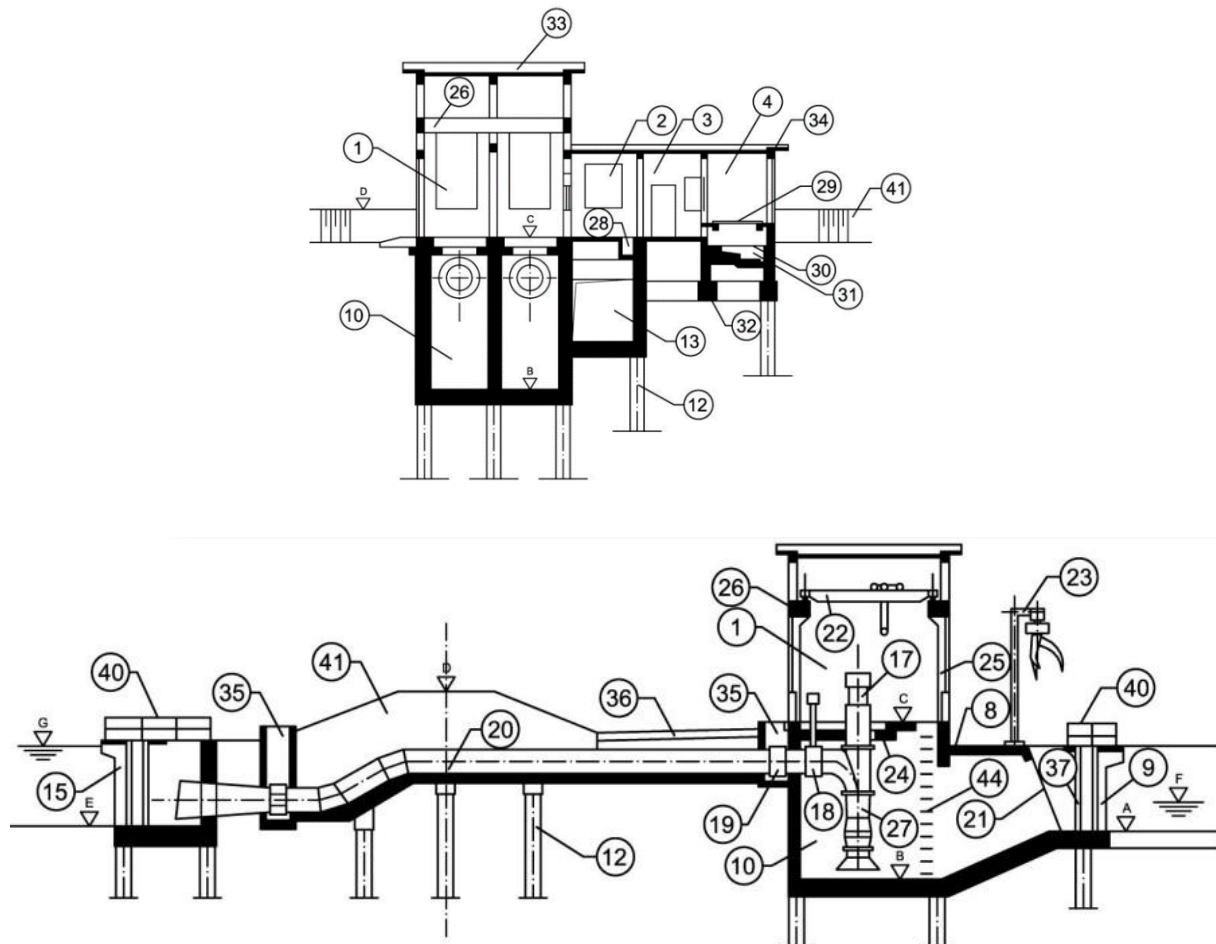
4. Pouzdanost u korištenju: Crpna stanica mora biti pouzdana i pružati kontinuiranu uslugu crpljenja vode. Stoga je važno odabrati kvalitetnu opremu i provesti redovito održavanje kako bi se osigurala sigurna i pouzdana operacija.

5. Zahtjevi održavanja: Prilikom projektiranja crpne stanice, treba uzeti u obzir zahtjeve održavanja. Stanica treba biti pristupačna za održavanje i popravke, s osiguranim pristupom svim ključnim dijelovima i komponentama. Također se trebaju osigurati jasni postupci održavanja i redovno provjeravati stanje opreme.

6. Zaštita okoliša: Pri planiranju crpne stanice potrebno je voditi računa o negativnim utjecajima na okoliš. To uključuje primjenu mjera zaštite vodnih i prirodnih resursa, smanjenje buke, kontrolu ispuštanja otpadnih voda i primjenu ekološki prihvatljivih materijala i tehnologija.

Crpna stanica se konstruira ovisno o namjeni, tipu pogona (motori s unutarnjim sagorijevanjem ili električni), tipu i broju crpki te kapacitetu. Umjesto da se dimenzioniraju za maksimalni protok koji se rijetko događa, radi veće ekonomičnosti i manjih troškova izgradnje i održavanja, crpne stanice najčešće se projektiraju na manji kapacitet od maksimalnog protoka ( $Q_{max}$ ). Važno je napomenuti da se prilikom projektiranja crpnih stanica uzimaju u obzir i moguće varijacije protoka vode te se dimenzioniraju prema sigurnosnim faktorima kako bi se osigurala adekvatna operativnost u slučaju neočekivanih situacija ili povećanog protoka. Crpke su hidraulični strojevi kojima se fluid dobavlja na višu razinu ili područje višeg tlaka a to postižu prijenosom energije na tekućine, koristeći mehanički rad pogonskog stroja. U crpnim stanicama najčešće se upotrebljavaju centrifugalne crpke koje se sastoje od dva osnovna dijela: radnog kola (impelera ili propelera) koje tjera vodu koju tlačimo u rotacijsko kretanje i kućišta koje usmjerava vodu na radno kolo, i odvod. Prema specifičnom broju okretaja dijele se na radijalne ( $N_s = 35 - 80$  [1/min]), poluaksijalne (aksijalno radijalne) ( $N_s = 80 - 160$  [1/min]) i aksijalne (propelerne) ( $N_s = 200 - 400$  [1/min]). Broj crpnih agregata u crpnoj stanici određuje se na temelju veličine poljoprivrednog područja i intenziteta poljoprivredne proizvodnje. U smislu pogonske učinkovitosti i sigurnosti, često je bolje i pouzdanije, iako skuplje, odabrati više crpki manjeg kapaciteta umjesto samo jedne crpke potrebne veličine. Čak i kod najmanjih poljoprivrednih pogona, preporučuje se ugradnja barem dva crpna agregata s istim karakteristikama. Jedan od njih je radni agregat koji se koristi za redovni rad, dok je drugi agregat rezervni. Rezervni agregat je osmišljen da preuzme funkciju radnog agregata u slučaju kvara ili potrebe za održavanjem radnog agregata. Na taj način se osigurava neprekidan rad crpne stanice čak i u slučaju problema s jednim agregatom. Samo postrojenje sastoji se od tri glavne funkcionalne cjeline: ulazne građevine, strojarnice i izlazne/izljevne građevine. Prema Cerić A. i sur. (2022.) ulazna građevina je dio crpne stanice koji služi za usmjeravanje vode prema crpkama i obično sadrži odgovarajuće otvore ili kanale za prihvat vode i njeno vođenje prema crpkama. Strojarnica je građevina u kojoj se nalazi crpno postrojenje i ostala oprema potrebna za rad crpne stanice. U strojarnici se smještaju crpke, pogonski motori, instrumenti za kontrolu i praćenje rada crpnog postrojenja te ostala oprema potrebna za održavanje i servisiranje opreme. U većim crpnim stanicama mogu postojati i pomoćne prostorije poput radionica za servisiranje opreme, prostorije za automatiku pogona i praćenje pogonskih

elementa, sanitarni čvorovi za osoblje, čuvarske prostorije, uredske prostorije i sl. Izljevna građevina je dio crpne stanice koji se koristi za usmjeravanje vode prema prijemniku ili odvodnom sustavu. Ovdje se nalaze završni dijelovi tlačnog cjevovoda, poput izlaznih difuzora, koji reguliraju protok i pritisak vode pri izlasku iz crpne stanice prema van. Na fotografiji 2.25. prikazani su elementi crpne stanice.



Slika 2.25. Elementi crpne stanice: 1 – strojarnica; 2 – komandna prostorija; 3 – soba strojara, 4 – transformator I; 5 – transformator II; 6 – Prostorija za visokonaponske uređaje, 7 – wc; 8 – poslužni most; 9 – ulazna građevina; 10 – usisni bazen; 11 – spremnik za smeće; 12 – piloti; 13 – gravitacijski ispust; 14 – okno ustave; 15 – izljevna građevina; 16 – krilni zidovi izljevne građevine; 17 – elektromotor; 18 – okrugli zasun; 19 – kompenzator; 20 – tlačni cjevovod; 21 – rešetka; 22 – kran; 23 – čistač rešetek; 24 – nosač crpke; 25 – okvir strojarnice; 26 – kranska staza i 27 – crpka (izvor. Cerić i sur. 2022.)

### 3. Materijali i metode

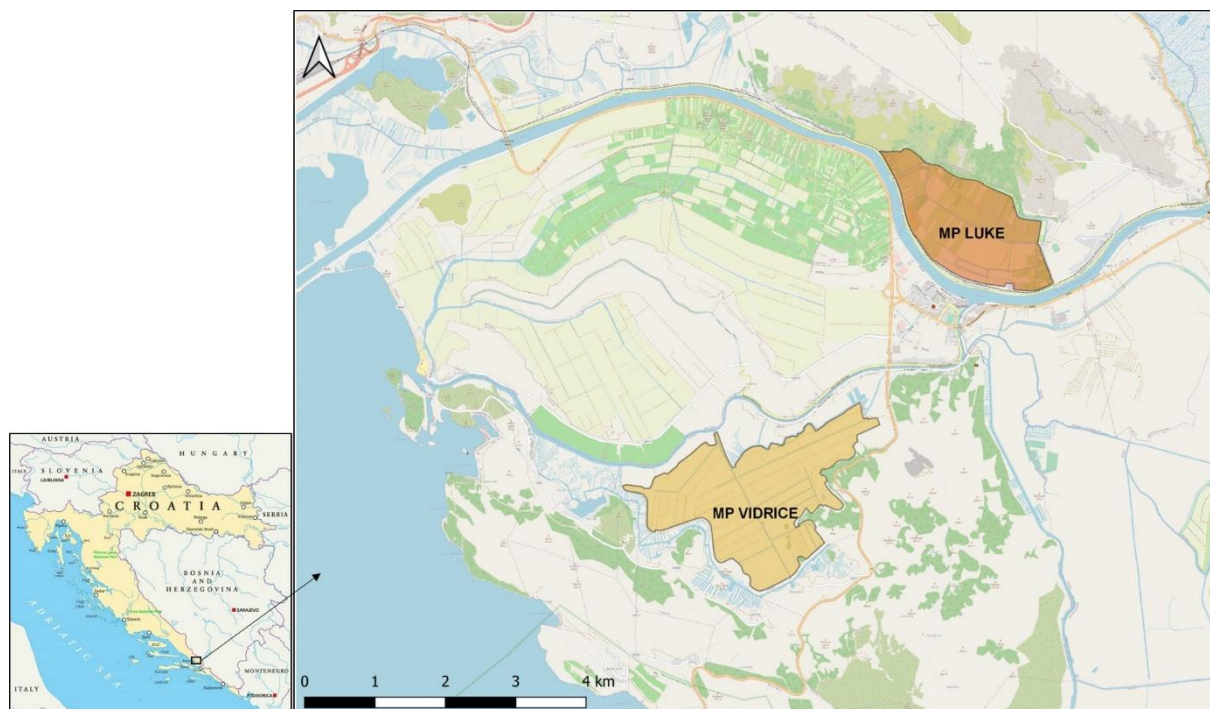
#### 3.1. Opis doline rijeke Neretve

Neretvanska riječna delta smještena je na južnoj obali Jadranskog mora u Hrvatskoj, na koordinatama 43°00 S i 17°30 I i obuhvaća površinu od preko 12.000 hektara, od čega je otprilike 5000 hektara pretvoreno u poljoprivredno zemljište kroz različite kompleksne projekte melioracije tijekom vremena. To je rezultiralo stvaranjem zemljišta tipa polder koje se uglavnom koristi za uzgoj agruma i povrća. (Romić D. i sur., 2012.). Polder predstavlja teritorij koji se nalazi ispod razine mora ili rijeka, a koji je zaštićen nasipima, branama ili drugim oblikom zaštite od poplava, a glavna im je svrha osigurati suho poljoprivredno zemljište i naseljeno područje u niskim priobalnim regijama koje bi inače bilo podložno redovitim poplavama. Iako polderi igraju ključnu ulogu u sprječavanju poplava i omogućavanju poljoprivrede u niskim područjima, oni su također osjetljivi na promjene u razini mora i klimatske promjene. Porast razine mora, koji je posljedica klimatskih promjena, može povećati rizik od poplava u polderima te može uzrokovati prodor morske vode i zaslanjivanja površinskih i podzemnih voda, što može uzrokovati degradaciju tla.

Neretvanska depresija je oblikovana tektonički kao kršna depresija, prilikom čega se erodirani materijal transportiran od rijeke uzvodno tijekom geološkog vremena taložio na vapnenačkom stijenovitom podlođu (Romić D. i sur., 2012.). Isti autori navode kako je dolina je formirana na dvije vrste naslaga: mezozojskim i paleogenskim karbonatnim stijenama s nekim paleogenskim flišom, te kvartarnim sedimentima i slabije litificiranim naslagama. Karbonatne stijene su izrazito propusne i omogućavaju akumulaciju podzemnih voda, dok su fliš naslage su nepropusne i sprečavaju protok podzemnih voda. Današnja dolina Neretve formirana je krajem pleistocena (Ledeno doba), kada se posljednjim ciklusom promjene razine mora ono podignulo za otprilike 100 m. Također, u pleistocenu je počelo i spuštanje tog područja, a koje traje i danas (Deković J., 2015.)

Predmetno područje ima mediteransku klimu s vrućim, suhim ljetima i blagim, vlažnim zimama. Meteorološka postaja u Pločama bilježi prosječnu godišnju količinu oborina od 1077 mm, pri čemu većina padalina pada između listopada i travnja. Prosječna godišnja temperatura zraka iznosi 15.9 °C, a najhladniji mjesec je siječanj s temperaturama oko 7.0 °C, dok je srpanj najtopliji mjesec sa srednjom temperaturom od 25.7 °C. (Reljić M. i sur., 2023.). Protok Neretve varira između 40 m<sup>3</sup>/s i 1800 m<sup>3</sup>/s, s dugoročnim prosjekom od 355 m<sup>3</sup>/s. Ljubljenkov i Vranješ (2004.) zaključili su da slani klin u Neretvi seže sve do Metkovića pri protocima slatke vode do približno 180 m<sup>3</sup>/s, do Opuzena za protoke približno 280 m<sup>3</sup>/s, do Rogotina kod protoka od približno 450 m<sup>3</sup>/s, a da kod protoka većih od 500 m<sup>3</sup>/s ne dolazi do intruzije morske vode u korito rijeke. Najveći problem je tijekom ljetnih mjeseci kada protok Neretve padne ispod 100 m<sup>3</sup>/s pa je razina vode u dolini pod utjecajem plimnih oscilacija, što stvara povoljne uvjete za prodor slane vode u podzemlje i soljenje tla (Gilja G. i sur., 2023.). Ovdje se nalaze različiti tipovi ekosustava, uključujući površinske vodotoke unutar riječne delte, krške vodonosnike i podzemne vode, raznolika poljoprivredna zemljišta s različitim stupnjem

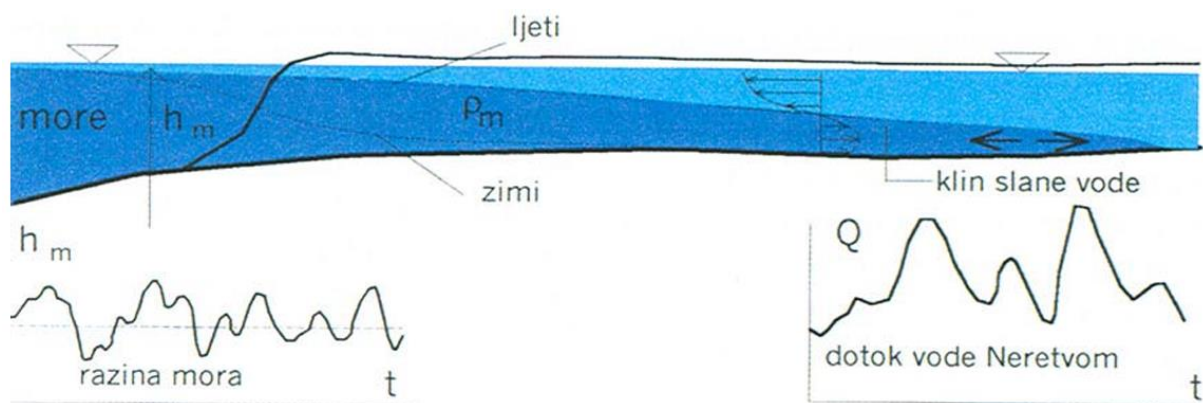
uređenosti, zaštićena močvarna staništa i priobalno more. S ciljem boljeg upravljanja vodom i zaštite ovog osjetljivog ekosustava, provodi se praćenje i analiza različitih parametara vodnog režima, uključujući razine vode, solinizaciju tla i kvalitetu vode. Kroz detaljno praćenje ovih parametara, nastoji se bolje razumjeti promjene u vodnom okolišu i identificirati strategije kako ublažiti negativne utjecaje klimatskih promjena na deltirano područje rijeke Neretve. Prvi radovi na uređenju toka rijeke Neretve izvedeni 1841. godine i podrazumijevaju visinsku izmjeru uz rijeku od Metkovića do ušća te je predložena mjera kolmiranja doline. Četrdesetak godina kasnije izvedeni su prvi značajniji hidrotehnički radovi: izgradnja nasipa i korekcija korita rijeke s ciljem omogućivanja plovnosti puta od ušća do Metkovića. Početkom 1990-ih godina, ponovno se počelo razmatrati pitanje poboljšanja uvjeta u Donjoj Neretvi. Razvijen je niz projekata, a na kraju je usvojen "Projekt regulacije toka rijeke Neretve", kojeg su 1963. godine izradili stručnjaci Organizacije za hranu i poljoprivredu Ujedinjenih naroda (FAO). Melioracija se temeljila na isušivanju močvara, zatvaranju rukavaca i korištenju umjetnog ili prirodnog navodnjavanja. Odvodnja unutarnjih voda riješena je crpljenjem. Tijekom 1960-ih i 1970-ih radovi na području delte rezultirali su melioriranjem područja Modrič, izgradnjom nasipa, crpnih stanica i melioracijske infrastrukture općenito čime je smanjen nivo podzemnih voda i stvoreni su uvjeti za započinjanje modernog/rentabilnog poljoprivrednog uzgoja. (Lovrinović I. i sur., 2021.). Tijekom 1970-ih godina, uz izgradnju nasipa i povišenja obale Neretve, izgrađene su i dvije brane s ustavama na Maloj Neretvi. Jedna je brana izgrađena uzvodno na početku toka u Opuzenu, dok je druga izgrađena nizvodno na samom ušću u more. Mala Neretva je najveći rukavac koji ima ulogu odteretnog kanala za visoke vodostaje rijeke Neretve i služi kao rezervoar slatke vode za ljetno navodnjavanje.



Slika 3.1.. Položaj istraživanih poldera Luke i Vidrice (izvor: Reljić M. i sur. 2023.)

Dva proučavana područja ovog rada su polderi Luke i Vidrice (slika 3.1.). Na desnoj obali rijeke Neretve nalazi se polder Luke koji je napravljen tijekom 1960-ih godina pa se smatra jednim

od prvih poldera Neretvanske delte (Reljić i sur., 2023.). Zauzima površinu od 290 hektara i većinski je zastupljen uzgoj povrćarskih kultura. Nažalost, danas su mnoga poljoprivredna zemljišta napuštena zbog nerazriješenih pitanja vlasništva, degradacije uzrokovane salinizacijom vode i tla ili imaju nisku intenzivnost poljoprivredne proizvodnje (Romić i sur., 2022.). Nadmorska elevacija poldera Luke varira između 3,04 i 0,63 m iznad nivoa mora, a prosječna nadmorska elevacija poldera je -1,37 m, s najnižom točkom -3,04 m. Elevacija površine zemljišta najviša je duž obala rijeke i fluvijalnih terasa duž glavnih vodenih tokova, opadajući prema nekadašnjem močvarnom području. U ovom polderu, potonuće zemljišta je najizraženije, što dodatno ubrzava prodor podzemnih voda i utječe na kvalitetu površinske vode (Gilja G. i sur., 2023.). Kako bi se područje predmetnog poldera zaštitilo od poplava i osiguralo da nivo podzemnih voda ostane ispod pedološkog sloja, voda se crpi iz poldera kroz crpnu stanicu Luke s instaliranom snagom od 2,45 m<sup>3</sup>/s, do dijela rijeke Neretve nizvodno od poldera (Lovrinović I. i sur., 2021.). Salinizacija vode u Lukama proizlazi iz klina slane vode u rijeci Neretvi, za razliku od drugih poldera gdje slana voda prodire u podzemne vode kroz karstificirani akvifer. Solni klin (slika 3.2.) utječe na kvalitetu vode u polderu tijekom cijele godine, posebno ljeti kada je dotok iz sliva nizak; potreba za navodnjavanjem je najveća.



Slika 3.2. Prodor klina slane vode u korito rijeke (izvor: Samokovlija Dragičević J., 2023.)

Područje Vidrice je izdvojeni podsustav melioracije (580 ha), smješten na jugu rijeke Mala Neretva, okružen krškim brdima na istoku, jugu i zapadu. Duž područja nadmorska visina terena varira između -1,50 i 1,00 metar nadmorske visine i većina poljoprivrednih parcela u Vidričkom polderu koristi se za intenzivnu uzgoj agruma (uglavnom mandarina). Za razliku od poldera Luke, Vidrice su jedino područje gdje kvaliteta podzemnih voda opada tijekom kišne sezone zbog prisutnosti saliniziranih izvora i činjenice da se područje nalazi ispod prosječne razine mora (Lovrinović I. i sur., 2023.). Također, zbog svoje lokacije, Vidrički polder je pod snažnim utjecajem Jadranskog mora, s direktnim prodorom morske vode u duboki i plitki akvifer (Lovrinović I. i sur., 2021.) koja dalje prodire u mrežu odvodnih kanala. Na ovom području prisutna je velika bioraznolikosti - kanalska mreža unutar delte uključuje površinsku mrežu za navodnjavanje i odvodnjavanje, kršni akvifer koji je pod utjecajem plimnog režima, ali se također obnavlja slatkovodnom vodom iz riječnog toka uzvodno i zahvaćenom bočatom vodom iz nekoliko manjih kraških izvora (Gilja G. i sur., 2023.). Mala Neretva danas je zatvoren sustav, sa zapornicama postavljenim uzvodno u gradu Opuzenu i nizvodno na ušću. Smještena uz obalu rijeke Male Neretve, crpna stanica je koncipirana da ispušta manje zagađene

vode u tu rijeku. S druge strane, tijekom ljetnih mjeseci, kada se javlja visoka razina zagađenja, planirano je da se izuzetno zagađene vode ispuštaju sifonom u kanalsku mrežu koja vodi prema Glogačkom jezeru, te dalje prema crpnoj stanici Modrič. Međutim, do danas navedeni plan nije realiziran, te se sve količine voda, uključujući i one s visokim stupnjem zagađenja, i dalje direktno ispuštaju u rijeku Malu Neretvu (Hrvatske vode 2014.). Također, izvorno je Mala Neretva osmišljena za zaštitu od poplava, ali do danas je njen dominantni funkcija pružanje jedinog izvora slatke vode za navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta nizvodno od Opuzena tijekom sušnih perioda, kada voda dolazi iz uzvodnog područja, blizu granice s Bosnom i Hercegovinom. Sušenje Vidričkog poldera izvedeno je putem mreže kanala koja obuhvaća jedan glavni odvodni i 9 sekundarnih kanala, a nivo vode ispod zone rizosfere u predmetnom polderu održava se konstantnim crpljenjem putem crpne stanice Prag koja ima instaliranu snagu od 6,45 m<sup>3</sup>/s prilikom čega se višak vode pumpa u rijeku Mala Neretva.

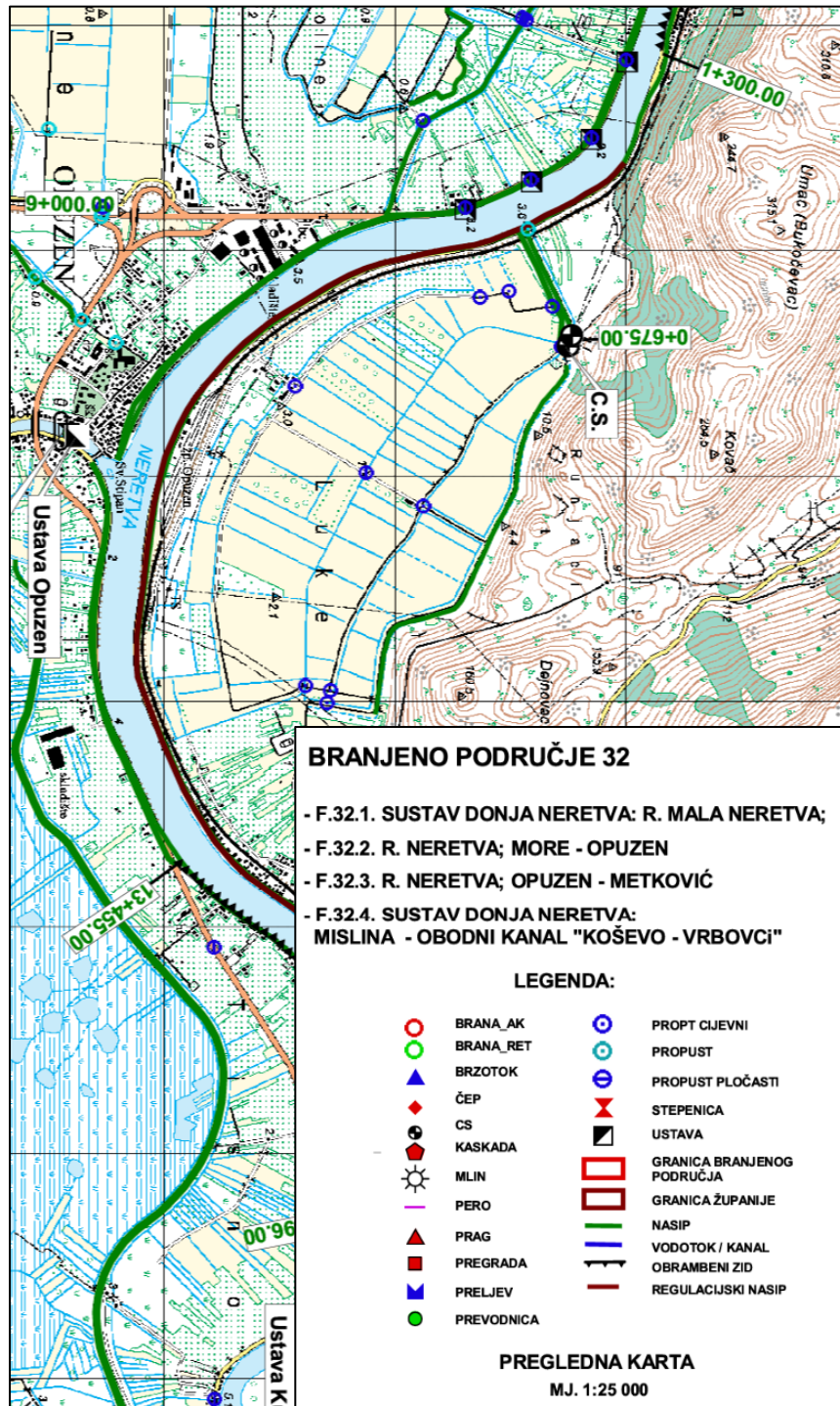
### **3.2. Postojeći sustav u dolini rijeke Neretve**

Na delti rijeke Neretve postoji dobro uspostavljena mreža drenažnih kanala s glavnim ciljem prikupljanja viška vode koji proizlazi iz površinskog i potpovršinskog otjecanja i infiltracije slane vode kroz akvifer s poljoprivrednih zemljišta, a konstruiran je kako bi se unaprijedili uvjeti za uzgoj različitih poljoprivrednih kultura. Sustav melioracije delte rijeke Neretve je strukturiran u nekoliko manjih podsustava, svaki s vlastitom mrežom kanala za odvodnju. Ovi kanali su usmjereni prema crpnim stanicama, gdje se voda iz njih izvlači i preusmjerava prema dijelovima rijeke Neretve koji se protežu prema moru. Na ovaj način se postiže precizna regulacija razine vode u poljoprivrednim područjima i održava se uravnoteženost vodnog režima. Važno je napomenuti da kroz ovu mrežu kanala također prodire slana voda putem akvifera, što ima nepoželjan utjecaj na usjeve i biljni svijet. Ovo je posebno problematično jer se voda iz kanala trenutno koristi za navodnjavanje. Stoga, nužno je da cijeli sustav djeluje optimalno kako bi se očuvala slatka voda kao izvor za navodnjavanje (Gilja G. i sur., 2023.). Ova situacija stvara izazov u očuvanju kvalitete tla, održivosti poljoprivrede te u upravljanju vodom na tom području. Važno je održavati ravnotežu između slatke i slane vode kako bi se sačuvala plodnost tla i održivost agroekosustava.

#### Hidromelioracijski sustav Luke

Među proučavanim područjima ističe se meliorirano područje s desne strane rijeke Neretve, čiji je karakterističan oblik uvjetovan samim smještajem odvodnog kanala. Područje poldera Luke osigurano je od potencijalnih poplava rijeke Neretve zahvaljujući regulacijskom nasipu. U tom nasipu je napravljen otvor, nazvan Luke (km 9+766), kako bi se omogućilo puštanje vode iz zaobalnih područja u glavni odvodni kanal koji vodi do rijeke Neretve. Zbog mogućnosti da velike količine vode rijeke Neretve prodiru kroz ovaj otvor, dodatna zaštita područja Luke osigurana je izgradnjom obrambenog nasipa koji se prostire paralelno s glavnim odvodnim kanalom. Hrvatske vode (2014.) navode kako predmetni obrambeni nasip ima krunu smještenu na visini od +3.00 metara nad morem, što je otprilike 70 centimetara iznad očekivane najviše razine vode na toj dionici rijeke. Dužina nasipa iznosi 675 metara, dok je širina krune nasipa 3

metra. Unutarnji nagib nasipa je 1:1.5, dok je vanjski nagib 1:2. Ovaj nasip ima ključnu ulogu u zaštiti područja Luke od potencijalnih poplava i osigurava stabilnost i integritet kanalskog sustava u okruženju rijeke Neretve. Također, nasipi uz korito rijeke Neretve na dionicama Rijeka Neretva More - Opuzen i početna dionica nasipa Rijeka Neretva Opuzen – Metković imaju ključnu ulogu u pružanju sveobuhvatne zaštite meliorirane zone Luke.



Slika 3.3. Pregledna karta poldera Luke s legendom (izvor: Hrvatske vode, 2014.)

Glavni središnji odvodni kanal ima duljinu od otprilike 2.3 kilometra, a kanale prvog reda predstavljaju dva paralelna kanala koja prate glavni odvodni kanal. Detaljni kanali su postavljeni okomito na ovu osnovnu mrežu kanala. Važno je napomenuti da ova mreža (slika 3.3.) također uključuje odvodnju dijela voda s brdskih područja. Crpna stanica, izgrađena 1956. godine, ima ključnu ulogu u odvodnji suvišne vode poldera Luke čija površina gravitira oko 290 hektara. Prvobitni kapacitet crpne stanice od 900 l/s je povećan instalacijom nove crpke, koja je postavljena na nižu kotu radi bolje učinkovitosti. Crpna stanica je oslonjena na stijenu, a polder je namijenjen za kontrolu vode i ljetnu poljoprivrednu proizvodnju. Također, izgrađene su dvije plivajuće crpke unutar istog crpnog bazena. S obzirom na potrebe za optimalnom odvodnjom i gospodarenjem vodom, implementirana su odgovarajuća tehnička rješenja kako bi se osigurala učinkovita upotreba resursa i minimalizirali potencijalni problemi vezani uz vodu. Prema Hrvatskim vodama (2014.) karakteristike crpki su sljedeće:

- Stabilna crpna stanica 2: crpna agregata po  $Q = 300$  l/sec,  $N = 12$  kW, 1 crpni agregat po  $Q = 750$  l/sec,  $N = 55$  kW, 730 o/min;
- Plivajuća crpna stanica 1: crpni agregat,  $Q = 800$  l/sec,  $N = 90$  kW, 1 crpni agregat  $Q = 200 - 500$  l/sec,  $N = 32$  kW.

#### Hidromelioracijski sustav Vidrice

Lijevo zaobalje Male Neretve, polder Vidrice, zaštićeno je „zečjim nasipom“ koji ima svrhu suzbijanja poplavnih voda. Paralelno s tim, područje se dodatno štiti od izvorskih i brdskih voda putem obodnog kanala i nasipa. Širina krune ovog nasipa varira između 3,5 i 4 metra, nagib pokosa nasipa oblikovan u rasponu od 1:2 do 1:3, proteže se na duljini od 5 kilometara, a postavljen je tako da se nalazi 50 centimetara iznad predviđene razine velikih voda unutar vlastitog sliva i velikih voda Male Neretve s vjerojatnošću pojave od 5% (Hrvatske vode, 2014.). Ovaj sveobuhvatni sustav zaštite igra ključnu ulogu u osiguravanju stabilnosti i sigurnosti područja Vidrice, te se vodi računa o različitim potencijalnim prijetnjama poplavama s različitih izvora. Glavni odvodni kanal proteže se sredinom tog područja odvodnje u smjeru istok-zapad. S obzirom na to da je početak glavnog kanala lociran na nekadašnjem tresetnom tlu koje je bilo loše kvalitete, početak glavnog kanala širi nego njegov kraj, doseže dubinu do 5 metara i širinu do 30 metara. Cjelokupna mreža kanala (3.4.) predmetnog poldera sastoji se od glavnog odvodnog kanala O-II, koji je dug 9,4 kilometara, te devet sekundarnih kanala s ukupnom duljinom od 20,64 kilometra, prilikom čega se kanali prvog reda pružaju okomito na glavni kanal, dok su kanali drugog reda i detaljni kanali postavljeni paralelno s kanalima prvog reda u obliku slova "T". Njegova pravolinijska trasa završava na crpnoj stanici koja je opremljena s ukupno tri instalirane pumpe snage 420 kW i kapacitetom do 7,5 m<sup>3</sup>/s, ovisno o visini vodostaja. Ovaj sustav mreže kanala i crpnih stanica ima ključnu ulogu u odvodnji Vidričkog poldera, omogućujući kontrolu vodostaja i održavanje optimalnih uvjeta za korištenje tog poljoprivrednog područja.

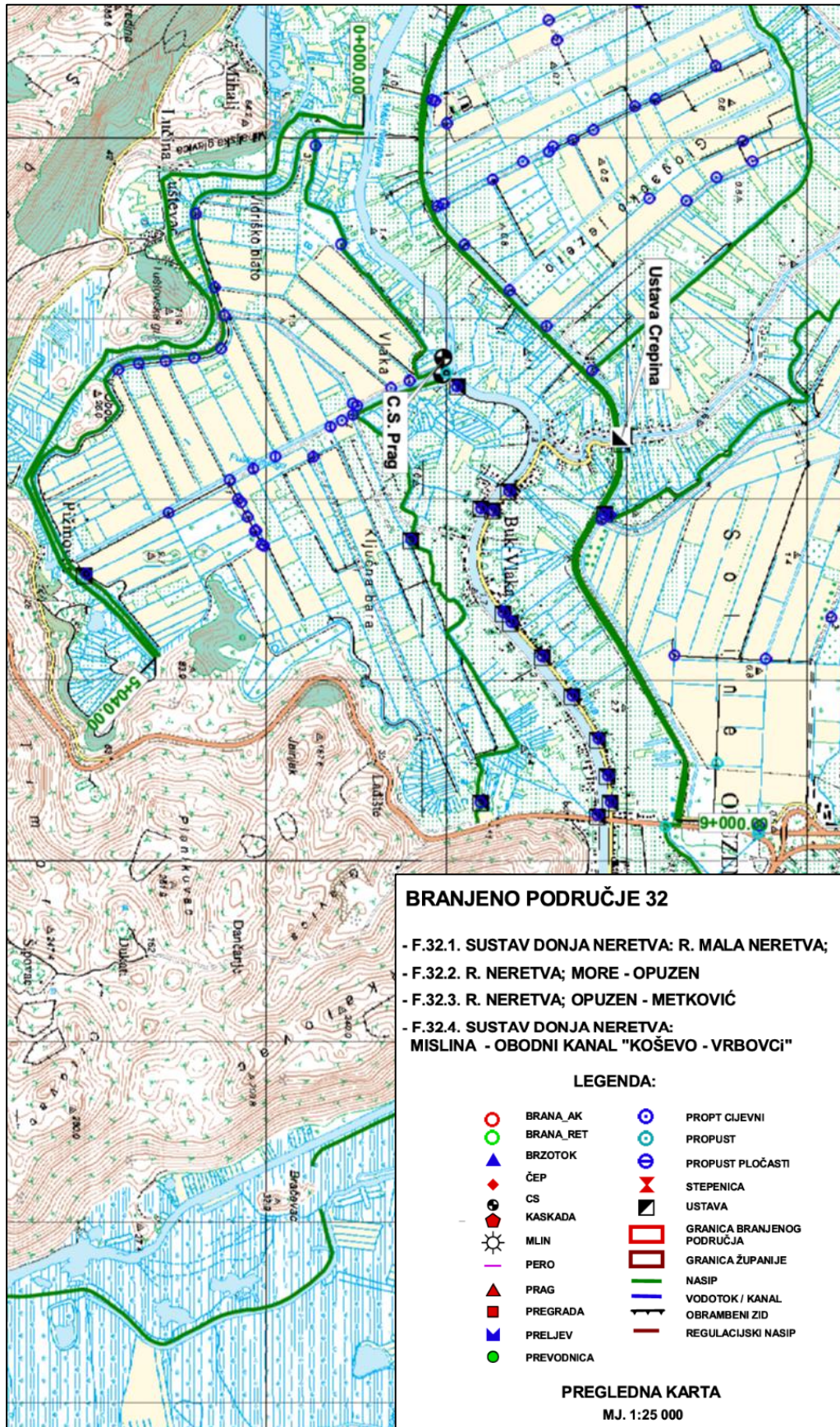
Crpna stanica Prag, igra ključnu ulogu u uklanjanju viška vode s terena i održavanju optimalne razine vode ispod rizosfere. Odvodnjava površinu od oko 500 hektara koja obuhvaća sliv brdskih voda, oborinske vode s tog područja i procjedne vode s lijeve obale rijeke Male Neretve nizvodno od Opuzena. Izgrađena je 1975. godine, a operativna razina crpne stanice smještena



je na visini od +2.20 metara nad morem, dok se dno crpnog bazena nalazi na dubini od -4.0 metra ispod razine mora. Lovrinović i sur. (2023.) navode kako CS Prag ima kapacitet od je 6.45 do 7.5 m<sup>3</sup>/s koji ovisi o vodostajima u području i u Maloj Neretvi i koristi se za regulaciju nivoa podzemnih voda unutar područja Vidrice putem crpljenja u rijeku Mala Neretva. Unutar crpne postaje nalaze se tri agregata, čije karakteristike navode Hrvatske vode (2014.):

- Crpni agregat br. 1:  $Q = 875 - 900 - 1450$  l/sec,  $H = 5.0-4.5-3.0$  m,  $N = 51-47-86$  kW, proizvodnja: Jugoturbina, motor: 50 kW. Crpka je s promjenjivim nagibom lopatica. Predviđen je ispust sifonom ispod Male Neretve na ovom agregatu;
- Crpni agregat br. 2 i 3:  $Q = 2600 - 2500$  l/sec,  $H = 2.5-4.0$  m,  $N = 105-125$  kW, proizvodnja: Jugoturbina, motor: 160 kW. Režim rada: maksimalni nivo u kanalima +1.20 mnm, minimalni nivo u kanalima -3.50 mnm, radni nivo u crpnom bazenu -3 do -1.5 mnm, maksimalni nivo oteretnog kanala Male Neretve (recipient) +1.70 mnm, najniži nivo Male Neretve 0.0 do -0.3 mnm.

Prema utvrđenom Planu upravljanja rizikom od poplava, režim crpljenja je precizno definiran na sljedeći način: maksimalna razina vode u glavnom kanalu je postavljena na -1,2 metra iznad razine mora (masl), dok minimalna razina vode iznosi -3,5 masl. Osim toga, odgovarajuće razine vode u sabirnom bazenu su -1,5 masl i -3,0 masl. Izlaz crpke je konstruiran kao sifon i može se aktivno koristiti za nivo vode u prijemnom bazenu koji se kreću između 1,7 masl i -0,3 masl. Što se tiče operativnog vremena, crpna stanica djeluje prema cikličkom obrascu tijekom noći, od 22:00 do 07:00 sati, osim u iznimnim situacijama kada postoje prekomjerne oborine koje zahtijevaju drugačiji pristup. (Gilja G. i sur. 2023.).



Slika 3.4. Pregledna karta poldera Vidrice s legendom (izvor: Hrvatske vode, 2014.)

### 3.3. Metode prikupljanja podataka

Prema Strobl-u i sur. (2008.) praćenje kvalitete vode definira se kao sakupljanje reprezentativnih informacija o različitim karakteristikama vodenih tijela i uključuje fizikalne (temperatura, mutnoća, boja, električna vodljivost, suspendirane čestice i sedimente), kemijske aspekte (pH vrijednost, otopljeni kisik, biokemijska potrošnja kisika, hranjive tvari te organske i anorganske spojeve) i biološke elemente (alge, bakterije i virusi). Praćenje kvalitete vode provodi se kroz dvije različite strategije. Klasičan pristup uključuje uzorkovanje vode i kompleksne laboratorijske analize te se i dalje najčešće koristi pri praćenju kvalitete vode. S druge strane, kako bi se smanjili troškovi, potrebna radna snaga te omogućilo prikupljanje podataka visoke frekvencije, moderni pristup koristi automatizirane uređaje poput senzora, sonde za praćenje kvalitete vode i čak tehnologiju daljinskog promatranja. Iako uzimanje uzoraka radi analize ima svoju svrhu u općem opisivanju kvalitete vode te otkrivanju dugoročnih trendova i sezonalnih promjena, automatizirano praćenje visoke frekvencije omogućuje kvantificiranje ekstremnih događaja, kratkoročnih trendova i promjena parametara kvalitete vode tijekom dana (Halliday i sur., 2012.). Uvođenjem automatiziranih uređaja (senzora i uređaja za automatizirano prikupljanje i prijenos podataka) započinje proces automatizacije sustava za praćenje kvalitete vode što omogućava kontinuirano praćenje i prikupljanje velike količine podataka. Kao takvo može se koristiti za razvoj modela za predviđanje parametara kvalitete vode i za izradu smjernica za buduće upravljanje. (Reljić i sur., 2023.)

U dolini rijeke Neretve je implementiran kompleksan sustav za praćenje koji se sastoji od više komponenti. Ovaj sustav obuhvaća praćenje kvalitete vode, nadzor razine soli u tlu, proučavanje režima površinske vode te bilježenje vremenskih uvjeta pomoću niza senzora. Praćenje slanosti tla i vode provodi se u četiri ključna poldera (Vrbovci, Luke, Vidrice i Opuzen ušće), kao i na nekoliko dodatnih lokacija izvan poldera. Uzorci površinske vode sakupljaju se s četiri glavna vodotoka, četiri crpne stanice i sedam drenažnih kanala dok se uzorci podzemne vode prikupljaju se iz sedam plitkih piezometara smještenih u središtu svakog poldera i na dodatne dvije lokacije (Reljić i sur., 2023.).

U predmetnom radu, prati se automatski monitoring postavljen na polderima Luke i Vidrice u sklopu projekta Napredni sustavi motrenja agroekosustava u riziku od zasljanjivanja i onečišćenja (DeltaSal). Na polderu Luke automatski sustav monitoringa sastoji se od senzora za praćenje zasljanjenosti tla, senzora (višeparameterska sonda) za praćenje zasljanjenosti površinske vode i senzora (višeparameterska sonda) za praćenje zasljanjenosti podzemne vode. Na polderu Vidrice, uz senzore za praćenje zasljanjenosti tla, površinske i podzemne vode, postavljeni su i senzori (beskontaktni radarski sustav) za praćenje površinske brzine i razine vode u otvorenim vodotocima te senzori za praćenje meteorološki pokazatelja (agrometeorološka stanica). Podaci iz svakog senzora su prikupljeni gotovo u realnom vremenu s visokom vremenskom preciznošću te su upravljani putem nedavno razvijene baze podataka i web portala koji je dostupan za različite dionike projekta. Za mjerenje zasljanjenosti podzemne vode postavljeni su piezometri (dubine 4 m i profila 110 mm) u kojima se nalaze višenamjenske sonde koje su također postavljene u melioracijskim kanalima radi praćenja zasljanjenosti površinskih voda. Višeparameterske sonde omogućuju mjerenje širokog raspona fizikalno-kemijskih pokazatelja, uključujući dubinu (m) i temperaturu (°C) vode, pH vrijednost i

oksidacijsko-redukcijski potencijal (mV), električnu vodljivost (mS cm<sup>-1</sup>), ukupnu otopljenu krutinu (ppm), specifičnu gustoću morske vode ( $\sigma T$ ), salinitet (PSU), otpornost ( $\Omega$  cm) te otopljeni kisik (%) (Reljić i sur., 2022.).

U neposrednoj blizini piezometara postavljeni se senzori za praćenje zaslanjenosti tla na četiri dubine razmaknute svakih 25 cm, do ukupne dubine od 1 m. Ovi senzori su opremljeni sposobnošću mjerenja temperature (°C), udjela vlage u tlu (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) i električne vodljivosti (mS/cm). U tablicama 2.4., 2.5., 2.6. i 2.7. prikazani su detalji predmetnih senzora i uređaja automatskog monitoringa.

Tablica 2.4. Senzori za praćenje zaslanjenosti tla poldera Luke i Vidrice (izvor: <https://deltasal.hr/>, pristupljeno 09.08.2023.)

Senzor	Pokazatelj	Mjerna jedinica	Dubina
TEROS 12	Temperatura tla	°C	25 cm; 50 cm; 75 cm; 100cm
	Sadržaj vlage tla	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	
	EC <sub>b</sub> tla	mS/cm	
TEROS 21	Vodni potencijal tla	kPa	25 cm; 50 cm

Tablica 2.5. Sonda za praćenje zaslanjenosti površinskih i podzemnih voda poldera Luke i Vidrice (izvor: <https://deltasal.hr/>, pristupljeno 09.08.2023.)

Senzor	Pokazatelj	Mjerna jedinica
AP 5000	Dubina vode	cm
	Temperatura vode	°C
	EC vode (25°C)	dS/m
	pH (25°C)	-
	ORP	mV
	Slanost	PSU
	TDS	mg/l
	SSG	$\Omega$ cm
	Otpornost	$\sigma T$
	Otopljeni kisik	%

Tablica 2.6. Agrometeorološka stanica na polderu Vidrice (izvor: <https://deltasal.hr/>, pristupljeno 09.08.2023.)

Senzor	Pokazatelj	Mjerna jedinica
Pinova meteo	Temperatura zraka	°C
	Relativna vlažnost zraka	%
	Brzina vjetra	m/s
	Maksimalna brzina vjetra	m/s
	Globalno zračenje	W/m <sup>2</sup>
	Oborine	mm(l/m <sup>2</sup> )
	Vlažnost lista	%
	Temperatura tla	°C
	Vlažnost tla	cb

Tablica 2.7. Beskontaktni radarski sustav za praćenje površinske brzine i razine vode u otvorenim vodotocima poldera Vidrice (izvor: <https://deltasal.hr/>, pristupljeno 09.08.2023.)

Senzor	Pokazatelj	Mjerna jedinica
RSS-2-300 W	Površinska brzina vode	m/s
LX-80	Razina vode	cm

Višenamjenske sonde za mjerenje zaslanjenosti tla i površinskih i podzemnih voda, Aquaread AP 5000, konstruirane su od aluminijske otpornosti na koroziju s dodatnom zaštitom anodizacijom, osiguravajući otpornost i na biološke naslage. Ova sonda je sposobna za rad u širokom temperaturnom rasponu od  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Reljić i sur., 2023.). Isti autori navode da se kalibracija izvodi prema specifikacijama proizvođača, pridržavajući se mjesečnog ritma kalibriranja (jednom mjesečno od svibnja do rujna radi prevencije biološke naslage uslijed rasta algi, te dvaput mjesečno od listopada do travnja kad su niže temperature i smanjen rast algi na sondama). Za kalibraciju elektroda pH i EC koriste se komercijalne puferne otopine s certifikatom, s navedenom nesigurnošću standardnih pufera (pH 4,01, 7,00 i 10,00 te  $1413\text{ }\mu\text{S/cm}$  za EC), dok se umjeravanje ORP provodi na  $+250\text{ mV}$ . Svaka pojedinačna sonda je povezana s vlastitim modemom koji omogućuje prikupljanje i slanje podataka putem bežične podatkovne veze u GSM mrežu, a prikupljeni podaci obično se prenose krajnjem korisniku e-poštom putem GDT Servera. Cijeli sustav, koji uključuje sondu i modem, je potpuno autonomno napajan putem solarnog panela i setom baterija, koji služi kao rezervno napajanje u slučaju problema s panelom. Interval prikupljanja podataka postavljen je na jedan sat.

U polju Vidrice kretanja površinske vode prate se pomoću 4 postavljene lokacije monitoringa. Tri sonde su postavljene duž glavnog kanala O-II i njihove pozicije su usklađene s ključnim ulaznim točkama iz sekundarnih kanala. Četvrta sonda je smještena unutar sekundarnog kanala, koji je reprezentativan za kanal uz obradive površine (Gilja G. i sur., 2023.). Za potrebe monitoringa koriste se komercijalno dostupne stanice HydroStations (proizvođač: Geolux) koje se napajaju solarnim panelima i opremljene su senzorom LX-80 Radar Level, čija rezolucija iznosi  $0,5\text{ mm}$ , a točnost je  $\pm 2\text{ mm}$ . Za mjerenje brzine površinske vode koristi se radar RSS-2-300 W s rasponom od  $0,02\text{ m/s}$  do  $15\text{ m/s}$ , rezolucijom od  $0,001\text{ m/s}$  te točnošću od  $1\%$ . Sva mjerenja se prikupljaju i sinkroniziraju u intervalima od 15 minuta, a prijenos podataka u stvarnom vremenu omogućen je putem SmartObserver Dataloggera. Svi podaci pohranjuju se u normaliziranu bazu podataka kojoj je moguće javno pristupiti i dohvatiti podatke putem online portala. Gilja G. i sur. (2023.) objašnjavaju kako je radi prilagodbe zahtjevnim intervalima od 15 minuta i popunjavanja vremenskih nizova, provedena početna analiza podataka gdje su višestruke i duplicirane vrijednosti unutar intervala eliminirane. Zatim je primijenjena metoda praga faznog pomaka kako bi se identificirali podaci koji su odstupali, posebno za podatke visoke frekvencije turbulencije. Naposljetku, izgubljene i filtrirane vrijednosti podataka su obnovljene pomoću metode polinomne interpolacije. To je omogućilo stvaranje vremenskih nizova s intervalima od 15 minuta za zadanu promatračku periodu ili korištenjem najbliže vrijednosti ako je unutar tolerancije od  $\pm 5$  minuta u odnosu na referentno označeni vremenski interval od 15 minuta.

Na polderu Vidrice unutar mandarinskog nasada postavljena je automatska meteorološka stanica za poljoprivredu Pinova Meteo koja ima sposobnost praćenja različitih parametara,

uključujući temperaturu zraka (°C), vlažnost zraka (%), brzinu vjetra (m/s), globalnu radijaciju (W/m<sup>2</sup>) i količinu oborina (mm) u intervalima od 10 minuta. Osim navedenih parametara, predmetna meteorološka stanica pruža informacije i o potencijalnoj evapotranspiraciji. Opremljena je solarnim panelom koji omogućuje vlastito napajanje i ima mogućnost slanja prikupljenih podataka na radnu površinu ili mobilnu aplikaciju koju je pružio proizvođač.

Reljić M. i sur. (2023.) navode kako je svaki od mjernih uređaja u mogućnosti poslati podatke visoke vremenske rezolucije (najmanje svakih 10 minuta) putem GSM mreže. Svaki sustav također ima vlastitu web aplikaciju koja omogućuje pregled i preuzimanje podataka. Uvedena je mreža online senzora s četiri različita dobavljača, a svaki od njih ima svoj protokol za prijenos podataka. Dobavljači Pinova, METER i Geolux pružaju vlastite web stranice s API (application programming interface) sučeljima za dohvaćanje trenutnih mjerenja. METER i Pinova pružaju podatke u JSON (JavaScript Object Notation) objektima, svaki u svojem formatu, dok Geolux podatke dostavlja u CSV (comma-separated values) formatu. Dobavljač Eijkelkamp (Aquaread) koristi e-mail za redovno slanje podataka, s prijenosom privitaka u CSV formatu. Radi omogućavanja pristupa prikupljenim podacima dionicima projekta, implementirana je baza podataka koja omogućava kontinuirano ažuriranje novim informacijama putem višejezičnog programske platforme (slika 3.5.). Ova platforma uključuje administrativno sučelje za upravljanje te javno sučelje za ovlaštene korisnike koje omogućava vizualizaciju lokacija mjerenja na karti te pregled grafova odabranih parametara na odabranim lokacijama unutar određenog vremenskog razdoblja. (Reljić M. i sur. 2022.).

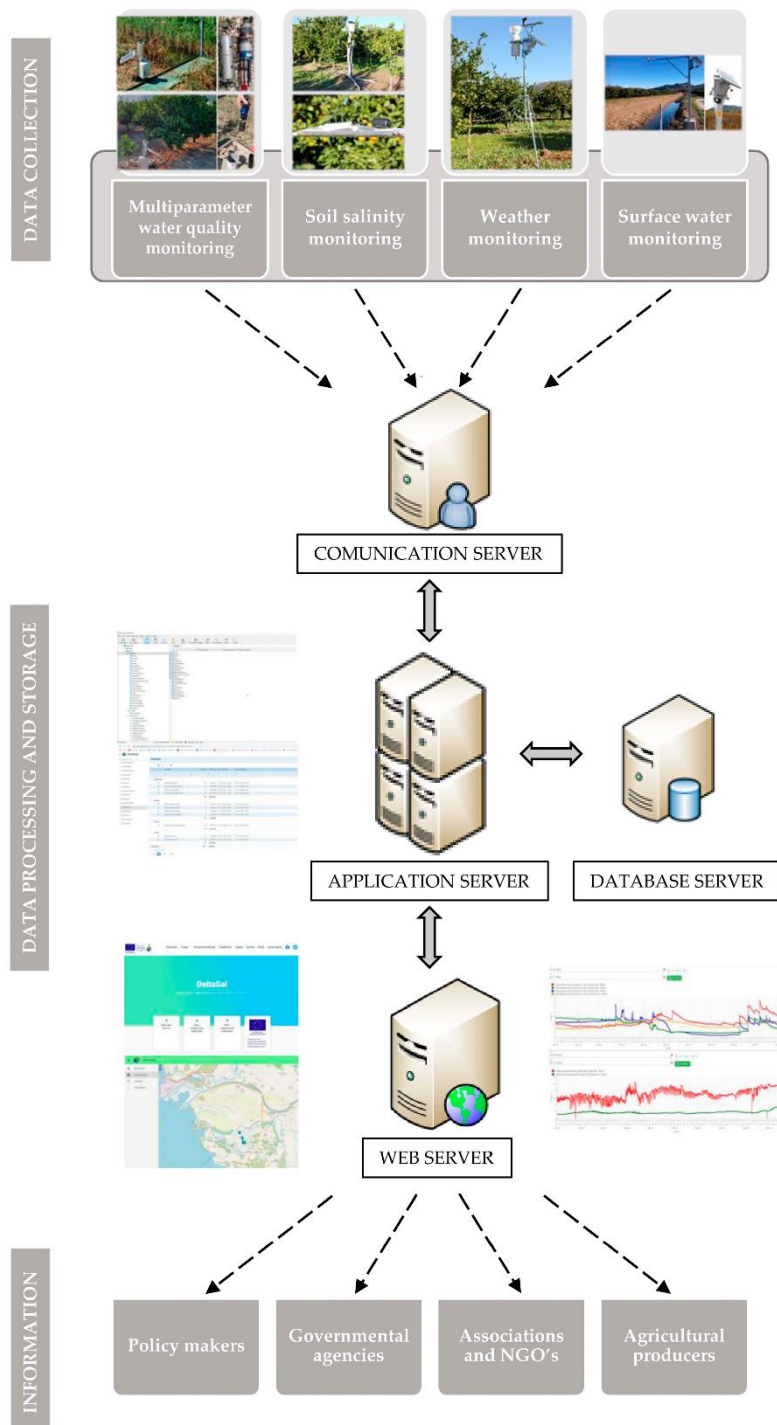
U nastavku su navedene prednosti automatskog monitoringa:

- automatski sustav monitoringa omogućava prikupljanje podataka u stvarnom vremenu, periodički i pouzdano;
- višeparametarske sonde pružaju pouzdan način otkrivanja anomalija u vodnim sustavima i istovremeno mjere više parametara;
- sustavi se mogu jednostavno nadograditi dodavanjem dodatnih senzora, a prikupljeni podaci mogu doprinijeti multidisciplinarnim istraživanjima;
- automatsko prikupljanje podataka visokim vremenskim frekvencijama, za razliku od tradicionalnog mjesečnog uzorkovanja, omogućava otkrivanje naglih promjena parametara kvalitete vode uslijed prirodnih i antropogenih utjecaja;
- iako je početni trošak takvog sustava možda veći, dugoročno se može smanjiti smanjenjem analiza u laboratorijima i terenskih posjeta;
- podaci senzora također se mogu koristiti kao zamjena za mjerenje drugih parametara pomoću regresijske analize kako bi se pružile procjene.

Nedostaci automatskog monitoringa su sljedeći:

- jedan od glavnih faktora koji ograničava kontinuirano praćenje kvalitete vode svakako je biofouling senzora, jer smanjuje osjetljivost senzora i ometa njihova očitavanja;
- redovite terenske posjete uz održavanje i kalibraciju su važne kako bi se pregledala moguća oštećenja instrumenata, kontrolirao drift instrumenata, izbjeglo fizičko i kemijsko miješanje te biofouling;
- ograničeni broj parametara koji se mogu pouzdano i precizno mjeriti;

- prikupljanje podataka visoke vremenske razlučivosti također može predstavljati značajne izazove za pohranu i obradu podataka;
- pogrešni i izgubljeni podaci nisu rijetkost u automatskim sustav monitoringa te ih je potrebno pratiti i ispraviti putem automatskih algoritama;
- udaljene lokacije možda nisu prikladne za prijenos podataka putem telemetrije zbog niskog ili nepostojećeg signala, ali se i dalje u takvim slučajevima može razmotriti prikupljanje podataka na licu mjesta.

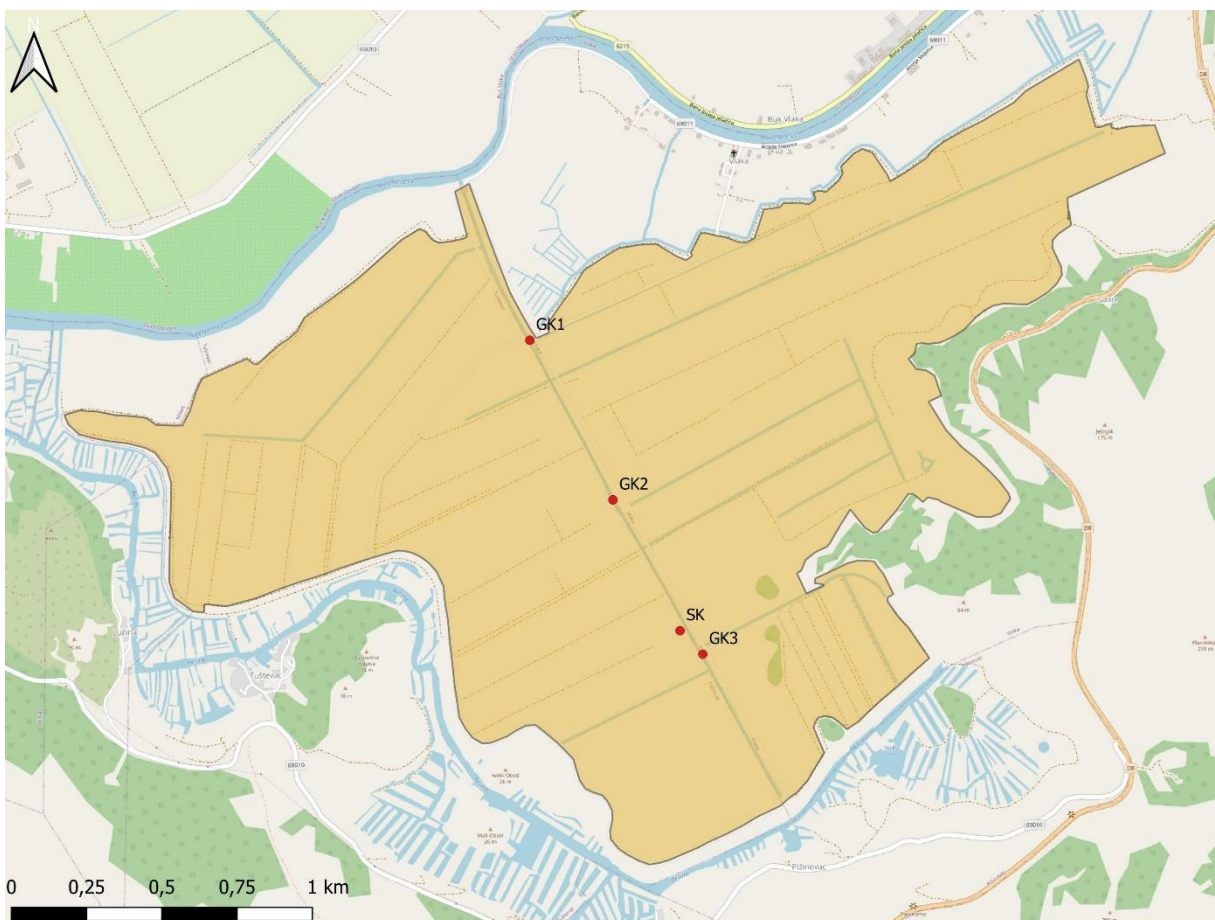


Slika 3.5 . Shematski prikaz uspostavljenog višejezičnog sustava (izvor: Reljić M. i sur. 2023.)

## 4. Rezultati i rasprava

### 4.1. Razine vodostaja

Tijekom 2021. i 2022. godine, dnevne razine vodostaja su bilježene pomoću senzora LX-80 na četiri postaje monitoringa (GK 1, GK 2, GK 3 i SK) koje se nalaze u području poldera Vidrice, a prikazane su na fotografiji 4.1. Postaje monitoringa GK 1, GK 2 i GK 3 smještene su duž glavnog odvodnog kanala, pri čemu se prva postaja monitoringa nalazi blizu crpne stanice. Postaja monitoringa SK smještena je u sabirnom kanalu koji se ulijeva u glavni kanal neposredno prije postaje monitora GK 3. Podaci o razinama vode u otvorenim vodotocima bilježeni su svakih 15 minuta i prikazani su putem linijskih grafikona.



Slika 4.1. Položaj postaja monitoringa GK1, GK2, GK3 i SK (izvor: autor)

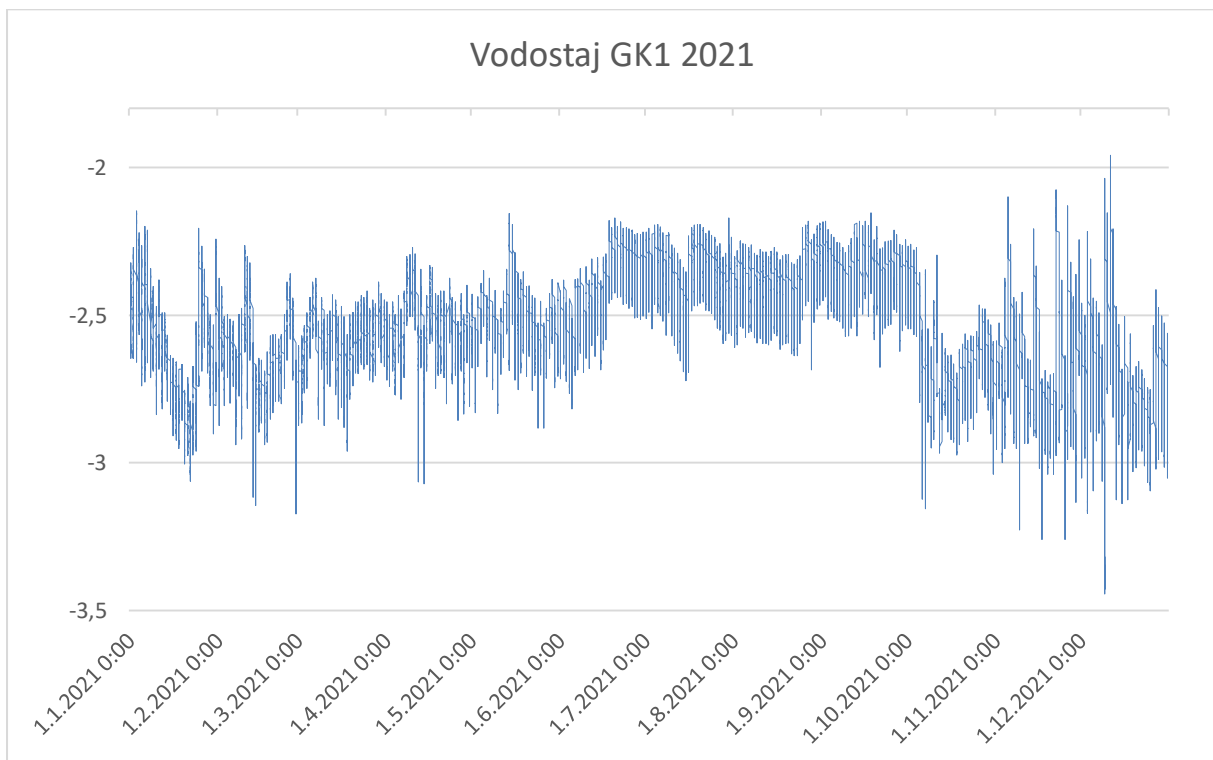
#### 4.1.1. Glavni kanal 1

Tijekom 2021. godine, bilježimo značajne fluktuacije u razini vodostaja u otvorenom glavnom kanalu na 1. postaji monitoringa (graf 3.1.). Prosječna razina vode tijekom te godine iznosila je -2.545 metara. Međutim, najniži zabilježeni vodostaj evidentiran je 9. prosinca 2021. godine u 06:00 sati kada je iznosio samo -3.443 metara. S druge strane, najviša razina vode zabilježena

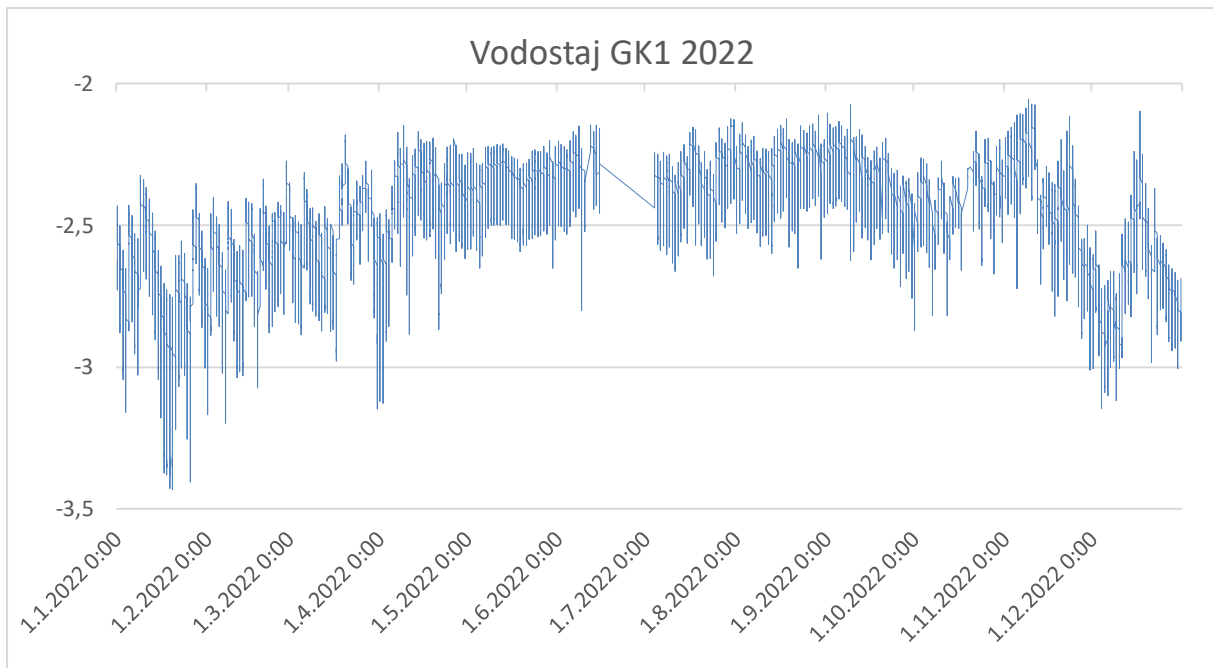


je 11. prosinca 2021. godine u 21:00 sati i tada je iznosila -1.96 metara. Ove značajne promjene u vodostaju bile su najizraženije tijekom listopada, studenog i prosinca, a bile su rezultat povećane količine oborina i rada crpne stanice. Državni hidrometeorološki zavod zabilježio je značajno veće oborine tijekom zimskih mjeseci u usporedbi s ljetnim mjesecima. Primjerice, na meteorološkoj stanici Ploče zabilježeno je 150,4 mm padalina tijekom listopada 2021. godine. U studenom je zabilježeno čak 354,9 mm oborina, dok je u prosincu palo 169,2 mm kiše. U ljetnom periodu, od lipnja do rujna, ukupna količina oborina iznosila je samo 67,7 mm.

Na grafu 3.2. prikazane su razine vodostaja na postaji monitoringa GK 1 tijekom 2022. godine. U toj godini je prosječna razina vode u otvorenom glavnom kanalu na prvoj postaji monitoringa bila viša za 0,059 metara u usporedbi s 2021. godinom i iznosila je -2.486 metara. Najviši vodostaj zabilježen je 9. studenog 2022. godine u 21:30 sati, dok je najniži vodostaj evidentiran 20. siječnja 2022. godine u 5:00 sati. Najveće fluktuacije vodostaja dogodile su se početkom i krajem godine, posebno tijekom siječnja, veljače, travnja i prosinca, kada je zabilježeno povećano oborinsko opterećenje. Slično kao i u 2021. godini, tijekom ljetnih mjeseci, razine vodostaja uglavnom su ostale iznad -2,5 metara. Važno je napomenuti da su početni neobrađeni podaci imali brojne pogreške u mjerenju, što je rezultiralo nedostatkom podataka o vodostaju u razdoblju od 15. lipnja 2022. godine (23:15 sati) do 4. srpnja 2022. godine (10:00 sati), što se na grafu vidi kao ravna opadajuća linija.



Graf 3.1. Razine vodostaja na postaji monitoringa GK 1 tijekom 2021. godine



Graf 3.2. Razine vodostaja na postaji monitoringa GK 1 tijekom 2022. godine

#### 4.1.2. Glavni kanal 2

Na grafu 3.3. prikazane su vrijednosti razine vode u otvorenom glavnom kanalu na drugoj postaji monitoringa. Tijekom 2021. godine zabilježen je velik broj grešaka prilikom mjerenja vodostaja. Senzori su početkom godine periodično do ožujka evidentirali nagle skokove vodostaja. Od 14. ožujka 2021. godine (16:45 sati) do 29. travnja 2021. godine (16:25 sati), zabilježen je konstantan visoki vodostaj kolebanja u rasponu od 0.665 m do 1.658 m. U razdoblju od 11. lipnja 2021. godine do 3. svibnja 2021. godine, također su zabilježena dnevna velika kolebanja vodostaja. U tom razdoblju, u vremenskom periodu od 30 minuta, vodostaj je porastao s prosječne vrijednosti od -2 m na 1.85 m. Nagli skok vodostaja na 1.85 m također je zabilježen:

- 29. svibnja 2021. godine u 13:00 sati,
- 5. rujna 2021. godine u 06:45 sati,
- 9. prosinca 2021. godine u 08:30 sati.

S obzirom na neispravnost senzora i bilježenje pogrešnih vrijednosti vodostaja u ovom radu, za drugu postaju monitoringa tijekom 2021. godine, nije se računala točna prosječna razina vodostaja. U slučaju kada bi se iz početnih podataka zanemarile sve krivo izmjerene vrijednosti, prosječan vodostaj na predmetnoj postaji monitoringa iznosio bi -1.8252 m.

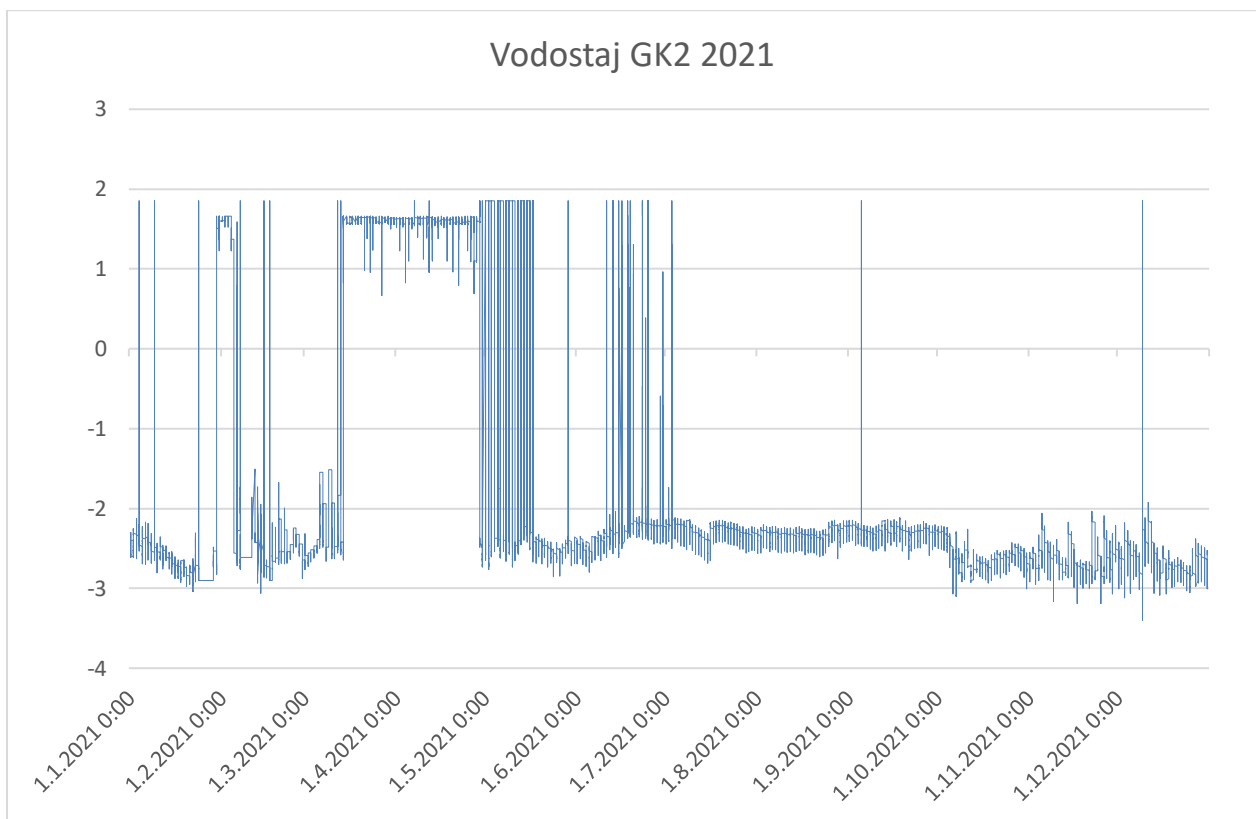
Tijekom 2022. godine, razine vodostaja su bile podvrgnute mjerenju u vremenskom periodu od 1. siječnja 2022. godine do 11. kolovoza 2022. godine u 19:30 sati. No, vrijedi napomenuti da u određenim vremenskim razdobljima nije bilo zabilježenih izmjerenih vrijednosti vodostaja:

- Od 16. lipnja (05:00 sati) do 4. srpnja (07:45 sati),
- Od 19. srpnja (17:00 sati) do 21. srpnja (14:30 sati),

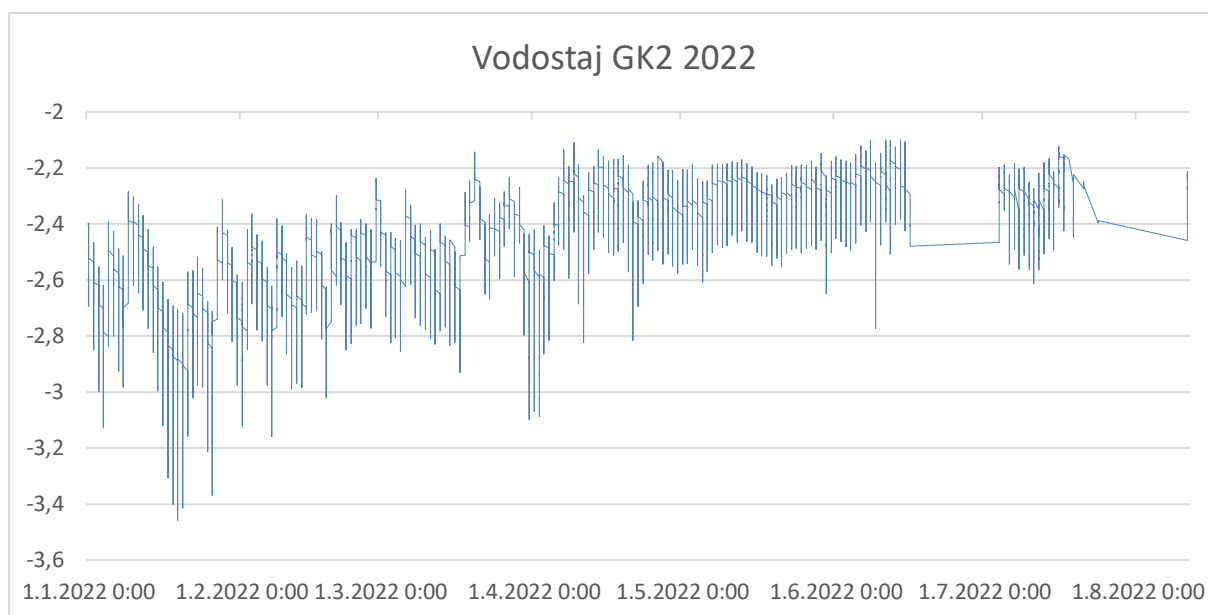
- Od 21. srpnja (16:00 sati) do 24. srpnja (14:16 sati), i
- Od 24. srpnja (14:31 sati) do 11. kolovoza (06:45 sati).

Među izmjerenim vrijednostima, najniži zabilježen vodostaj zabilježen je 19. siječnja 2022. godine u 06:00 sati, a iznosio je -3.457 m. S druge strane, najviši vodostaj zabilježen je 11. lipnja 2022. godine u 22:15 sati, a iznosio je -2.099 m. Na temelju izmjerenih podataka, prosječna razina vodostaja tijekom prvih 8 mjeseci 2022. godine iznosila je -2.4633 m. Veća kolebanja vodostaja na početku godine povezana su s radom crpne stanice, dok tijekom kasnog proljeća i ljeta veća odstupanja vodostaja nisu zabilježena, s razinama koje variraju između -2.1 m i -2.8 m.

S obzirom na činjenicu da su izmjereni podaci razine vodostaja na drugoj postaji monitoringa u glavnom kanalu tijekom 2021. i 2022. godine bili nepotpuni ili neispravni, zaključujemo da ovi podaci nisu prikladni za daljnje analize u okviru ovog istraživanja.



Graf 3.3. Razine vodostaja na postaji monitoringa GK 2 tijekom 2021. godine



Graf 3.4. Razine vodostaja na postaji monitoringa GK 2 tijekom 2022. godine

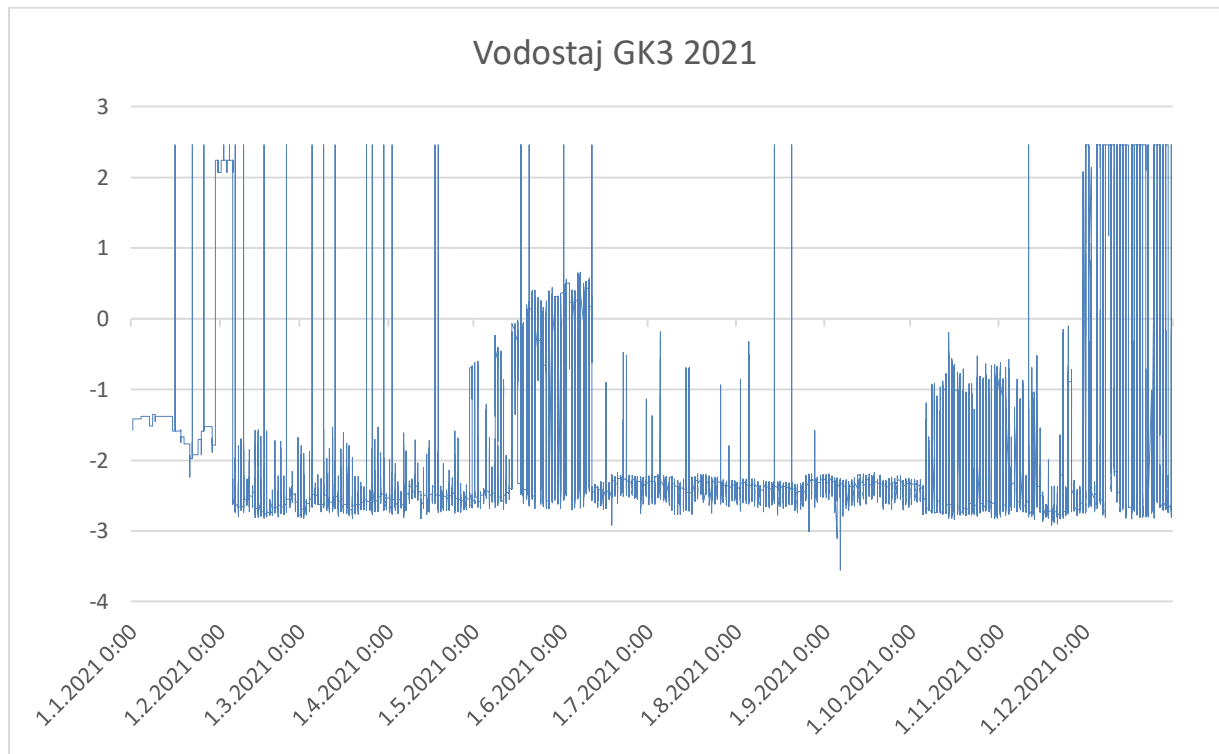
### 4.1.3. Glavni kanal 3

Tijekom 2021. godine na trećoj postaji monitoringa koja je smještena na glavnom odvodnom kanalu, kao i na GK2, evidentirane su znatne pogreške u zabilježenim vrijednostima visine vodostaja. Tijekom cijele godine, s naglascima na početak i kraj godine, bilježeni su iznenadni skokovi vodostaja s normalnih vrijednosti (koje se kreću u rasponu od -1.5 m do -2 m) na vrijednosti od 2.46 m što se karakterizira kao pogreška u mjerenju. Tijekom listopada i studenog, vidljiv je porast vodostaja uzrokovan povećanom količinom oborina u tom razdoblju. Ako bismo zanemarili pogreške u mjerenju i uzeli u obzir samo stvarne vrijednosti vodostaja, prosječni vodostaj na GK3 tijekom 2021. godine iznosio bi -1.9626 m. Najniži zabilježeni vodostaj bio je 6. rujna 2021. godine u 22:30 sati. Slično kao i kod drugih mjernih postaja, tijekom ljetnih mjeseci kada je količina oborina smanjena i vodostaj je reguliran radom crpne stanice, zabilježene su najmanje fluktuacije u vodostaju.

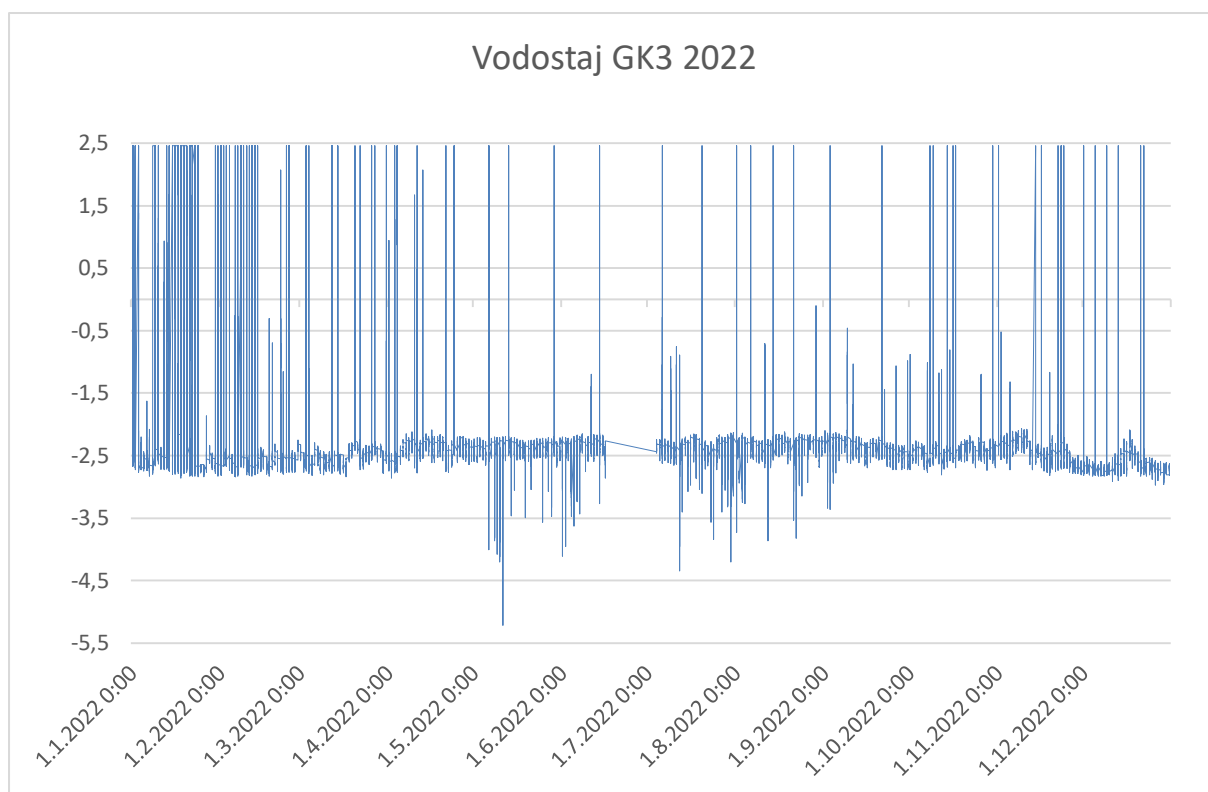
Tijekom 2022. godine na trećoj postaji monitoringa, također su zabilježene značajne pogreške u izmjerenim vrijednostima razine vodostaja. Tijekom cijele godine, senzori su bilježili iznenadni porast vodostaja na visinu od 2.46 m, a najveći broj neispravnih podataka zabilježen je početkom godine. Slično kao i tijekom 2021. godine, najviše pogrešaka u mjerenju senzor je evidentirao tijekom zimskog razdoblja, od kraja studenog 2021. godine do kraja veljače 2022. godine. Osim toga, tijekom cijele godine, a često tijekom ljetnih mjeseci, evidentirane su dodatne pogreške u mjerenjima. Iste se na grafu 3.6. mogu prepoznati kao nagli porast i pad vodostaja u vrlo kratkom vremenskom intervalu, često unutar 15 minuta, s razlikom u vodostaju i do 1.5 m. Također, zbog nedostatka podataka, u razdoblju između 16. lipnja 2022. godine (18:15 sati) i 4. svibnja 2022. godine (10:16 sati) nisu dostupne vrijednosti vodostaja. Kada bismo izostavili navedene pogreške u mjerenju i uzeli u obzir realne vrijednosti vodostaja u

rasponu od -1.5 m do -3.5 m, prosječni vodostaj na GK3 tijekom 2022. godine iznosio bi -2.3113 m.

S obzirom na visok broj pogrešaka u mjerenju tijekom 2021. i 2022. godine na trećoj postaji monitoringa na glavnom odvodnom kanalu, slično kao i na GK2, zaključujemo da podaci nisu prikladni za daljnju analizu u okviru ovog istraživanja.



Graf 3.5. Razine vodostaja na postaji monitoringa GK 3 tijekom 2021. godine



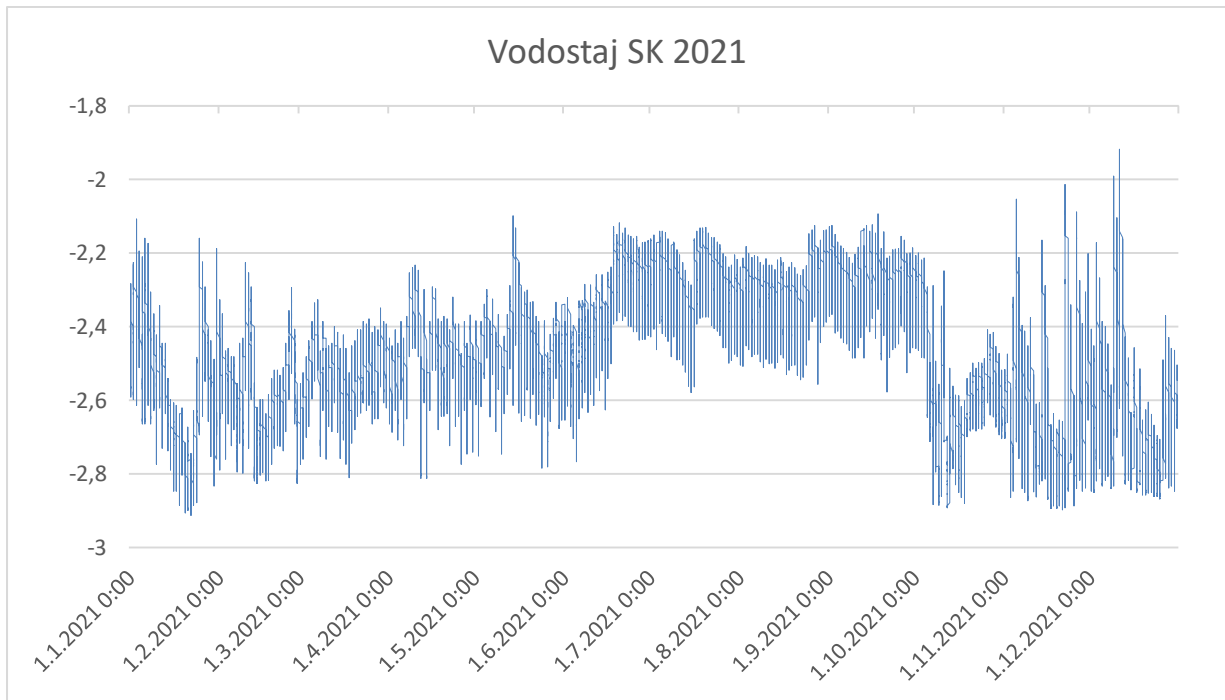
Graf 3.6. Razine vodostaja na postaji monitoringa GK 3 tijekom 2022. godine

#### 4.1.4. Sabirni kanal

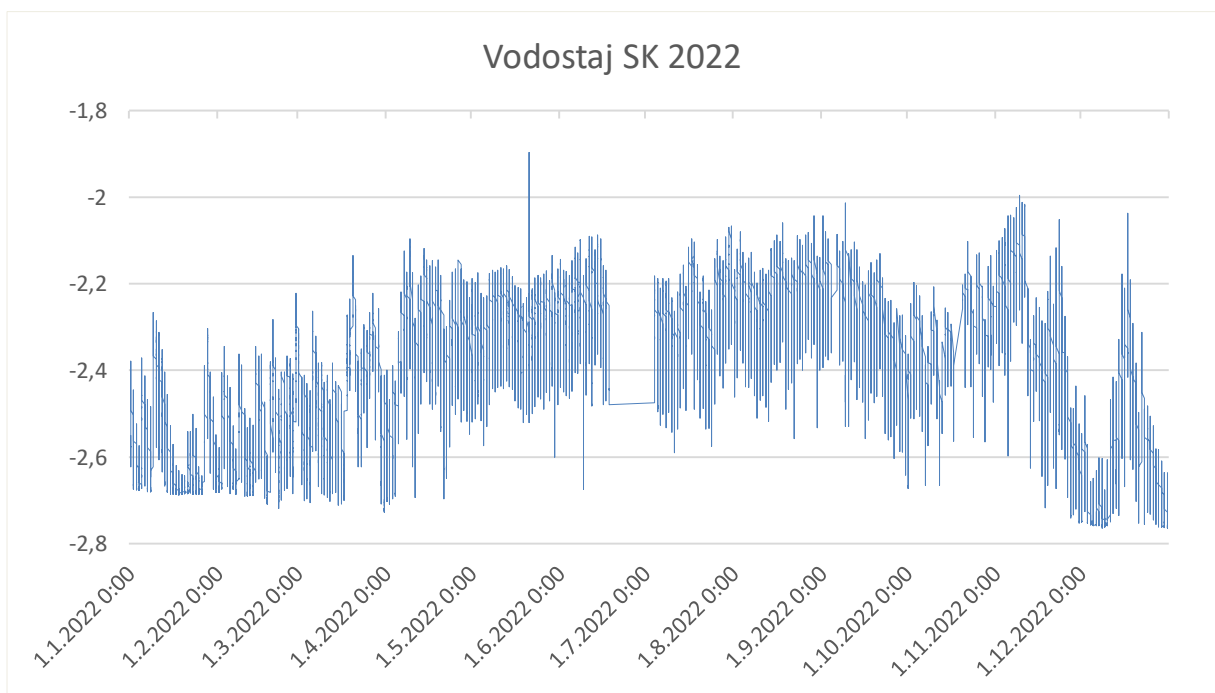
S obzirom na poziciju postaje monitoringa u sabirnom kanalu, odnosno s obzirom na to da se voda u glavni kanala ulijeva iz sabirnog kanala visina vodostaja sabirnog kanala treba biti viša nego razina vodostaja u glavnom kanalu. Tako je prosječna visina vodostaja tijekom 2021. godine viša je nego prosječna visina vodostaja na postaji monitoringa GK1 i iznosi -1.632 metara. Najniža vrijednost vodostaja zabilježena je 22. siječnja 2021. godine u vremenskom periodu od 06:00 sati do 09:00 sati i iznosi -2.913 metara, što je niže u odnosu na postaju monitoringa GK1. Najviši vodostaj zabilježen je 11. prosinca 2021. godine u 21:00 sati. Najveća fluktuacija vodostaja također se dogodila tijekom zimskih mjeseci, s napomenom da su razine vodostaja tijekom cijele godine općenito niže nego razine vodostaja u GK1. Također, 9. prosinca 2021. godine u 13:15 sati zabilježena je vrijednost vodostaja od 1.52 metra, koja se smatra pogreškom u mjerenju i nije uključena u izradu grafa 3.7.

Sljedeće godine, prosječna razina vodostaja sabirnog kanala iznosila je -2.4059 metara. Niži vodostaj sabirnog kanala u usporedbi s 2021. godinom može se pripisati manjoj količini oborina te godine, koja je prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda za 2022. godinu iznosila 934,9 mm. Najniži vodostaj zabilježen je 8. prosinca 2022. godine u 04:30 sati i 31. prosinca 2022. godine u 08:30 sati, kada je iznosio -2.764 metara. Najviši vodostaj evidentiran je krajem svibnja (21.05.2022. godine u 23:30 sati) i iznosio je -1.896 metara. Također, na grafu 3.8., u periodu od 18. lipnja 2022. godine (7:45 sati) do 4. srpnja 2022. godine (7:31 sati),

vidljiva je ravna padajuća linija koja ukazuje na pogreške u mjerenju, odnosno u tom razdoblju nisu dostupni podaci o razinama vodostaja u sabirnom kanalu. Općenito, dnevna kolebanja vodostaja sabirnog kanala tijekom 2022. godine su veća nego tijekom 2021. godine. Također, početkom prosinca zabilježen je nagli pad vodostaja, što je posljedica rada crpne stanice.



Graf 3.7. Razine vodostaja na postaji monitoringa SK tijekom 2021. godine



Graf 3.8. Razine vodostaja na postaji monitoringa SK tijekom 2022. godine

## **4.2. Iščišćeni nizovi razina vodostaja**

Od sirovih podataka, a zbog ranije nabrojanih nepravilnosti mjerenja, kako bi se izračunala korelacija vodostaja na glavnom i sabirnom kanalu tijekom 2021. i 2022. godine podaci su iščišćeni tako da su uklonjene duplicirane izmjerene vrijednosti za oba kanala te su uklonjene izmjerene vrijednosti koja tijekom razdoblja istraživanja nisu izmjerene na oba kanala.

### **4.2.1. Glavni kanal**

Tijekom 2021. godine makimalan broj mogućih mjerenja (ako se vrijednosti bilježe u 15 minutnom intervalu) je 35040. Nakon čišćenja podataka, na glavnom kanalu su izmjerene 34973 vrijednosti, što čini 99.81 % od makimalnog broja. Najniža razina vodostaja izmjerena je 9. prosinca 2021. godine u 06:00 sati i iznosila je na -3.443 m. Najviša vrijednost vodostaja iznosila je -1.960 m i izmjerena je 11. prosinca 2021. godine u 21:00 sati. S obzirom na navedene minimalne i maksimalne vrijednosti vodostaja, izračunata prosječna vrijednost iznosi -2.545 m, a standardna devijacija 0.187.

Sljedeće godine, uslijed većeg broja nepodudaranosti ulaznih podataka, nakon iščišćavanja istih broj ulaznih podataka u statističku analizu iznosio je 25334 što je 27.51 % manje izmjerenih podataka nego 2021. godine. Tijekom 2022. godine, 20. siječnja 2022. godine u 05:00 sati zabilježenja je minimalna vrijednost vodostaja -3.431 m dok je maksimalna vrijednost izmjerena 09. studenog 2022. godine u 21:45 sati i iznosila je -2.057 m. Prosječna vrijednost vodostaja glavnog kanala predmetne godine iznosi -2.491 m, a vrijednost standardne devijacije je 0.209.

### **4.2.3. Sabirni kanal**

Kao i kod glavnog kanala, broj izmjerenih razina vodostaja sabirnog kanala kroz 2021. godinu iznosi 34973. Minimalna razina vodostaja, u odnosu na glavni kanala viša je za 0.53 m i iznosi -2.913 m. Najviša razina vodostaja izmjerena je 11. prosinca 2021. godine u 21:00 sati i iznosi -1.917 m. Izračunata prosječna vrijednost visine vodostaja je -2.482 m, a standardna devijacija iznosi 0.179.

Tijekom 2022. godine, vrijednosti i minimalne i maksimalne razine vodostaja su u odnosu na glavni kanala više. Najniža zabilježena vrijednost minimalnog vodostaja u sabirnom kanalu je za 0.667 m viša nego u glavnom kanalu iste godine i iznosi -2.764 m dok je najviša zabilježena vrijednost, u odnosu na glavni kanal, viša za 0.161 m i iznosi -1.896 m. S obzirom na navedene minimalne i maksimalne vrijednosti vodostaja, izračunata prosječna vrijednost iznosi - 2.411 m, a standardna devijacija 0.172.



### 4.3. Korelacija izmjerenih vrijednosti vodostaja glavnog i sabirnog kanala za 2021. i 2022. godinu

Korištene statističke metode obrade iščišćenih podataka vodostaja glavnog i sabirnog kanala tijekom 2021. i 2022. godine ubrajaju se u metode deskriptivne statistike. Deskriptivna statistika je grana statistike koja se bavi organiziranim prikupljanjem podataka, metodama njihove prezentacije i njihovom analizom kako bi pružila jasne, koncizne i točne informacije o istraživanoj pojavi. Ova vrsta statistike fokusira se na opisivanje podataka i njihovih osnovnih karakteristika bez izvođenja zaključaka ili generalizacija o populaciji na temelju uzorka, a glavni ciljevi deskriptivne statistike uključuju: prikupljanje podataka, prezentaciju podataka, mjeru središnje tendencije, mjeru raspršenosti, grafičke prikaze i opisnu statistiku.

Korelacija, statistička mjera korištena u radu, koristi se za procjenu jačine i smjera veze između dvije varijable i pomaže odrediti je li ta veza pozitivna (kada rast jedne varijable obično prati rast druge), negativna (kada rast jedne varijable obično prati pad druge), ili nema značajne veze između tih varijabli, a najčešći način za ocjenjivanje korelacije između dvije varijable je korištenje grafikona, posebno dijagram raspršenosti (scatter plot). Korelacija između dvije varijable često se i numerički izražava pomoću koeficijenta korelacije, pri čemu su najčešće korišteni Pearsonov i Spearmanov koeficijent korelacije. Ovi koeficijenti pružaju kvantitativnu mjeru jačine i smjera veze između varijabli. Pearsonov koeficijent korelacije ( $r$ ) koristi se za mjerenje linearne korelacije između dvije kontinuirane varijable i njegova vrijednost može varirati između  $-1$  i  $+1$ . Ako je koeficijent blizu  $+1$ , to ukazuje na jaku pozitivnu linearnu korelaciju, dok blizu  $-1$  ukazuje na jaku negativnu linearnu korelaciju. Vrijednost blizu  $0$  znači da nema značajne linearne veze između varijabli.

Procjena Pearsonovog koeficijenta korelacije računa se prema jednadžbi 3.1. (općenito):

$$r = \frac{1}{n-1} \times \frac{\sum_i (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{S_X \times S_Y} \quad (\text{jedn. 3.1.})$$

gdje su:  $n$  – veličina uzorka

uzorak –  $(X_n, Y_n)$

$S_X = \sqrt{S^2_X}$  – procjena standardne devijacije za varijablu X

$S_Y = \sqrt{S^2_Y}$  – procjena standardne devijacije za varijablu Y

Spearmanov koeficijent korelacije se koristi kada veza između varijabli nije nužno linearne prirode, odnosno kada se promjene u varijablama ne prate strogo linearno. Spearmanov koeficijent korelacije se bazira na rangiranju podataka i može detektirati i druge vrste veza osim linearne. Vrijednost Spearmanovog koeficijenta također varira između  $-1$  i  $+1$ . S obzirom na to da su iščišćeni podaci u linearnom odnosu, u radi se za izračun korelacije koristio Pearsonov koeficijent.

U tablici 3.1. prikazan je Pearsonov koeficijent korelacije razine vodostaja na glavnom i sabirnom kanalu tijekom 2021., a u tablici 3.2. tijekom 2022. godine.

Tablica 3.1. Pearsonov koeficijent korelacije razine vodostaja glavnom i sabirnog kanala tijekom 2021. godine  
(izvor: autor)

Variables	GK2021	SK 2021
GK 2021	<b>1</b>	0.986
SK 2021	0.986	<b>1</b>

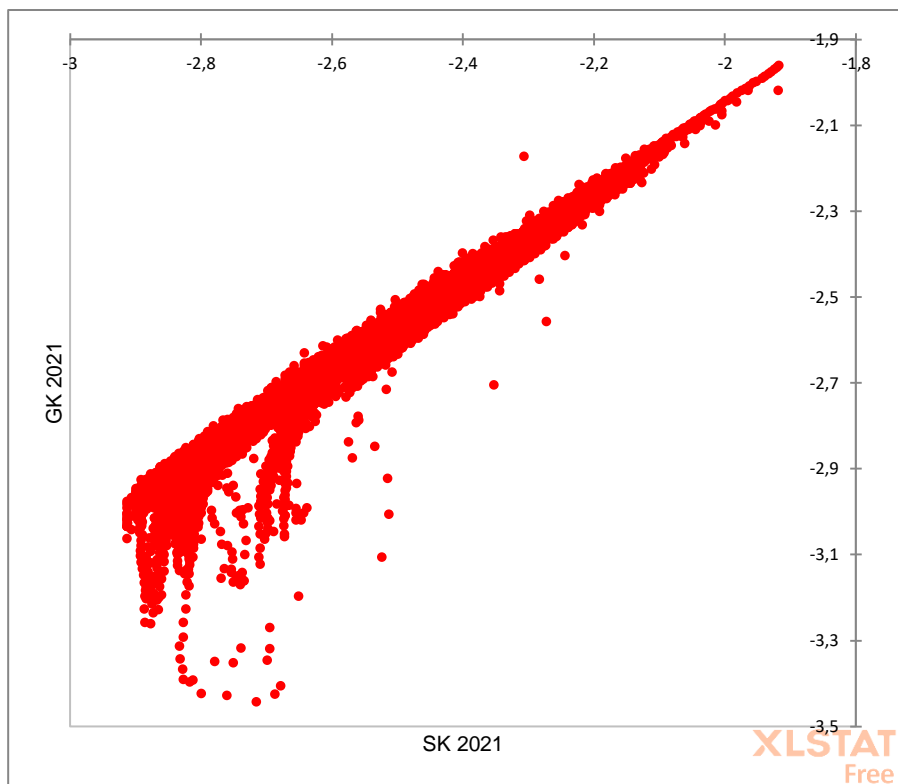
Tablica 3.2. Pearsonov koeficijent korelacije razine vodostaja glavnom i sabirnog kanala tijekom 2022. godine  
(izvor: autor)

Variables	GK2022	SK2022
GK2022	<b>1</b>	0.957
SK2022	0.957	<b>1</b>

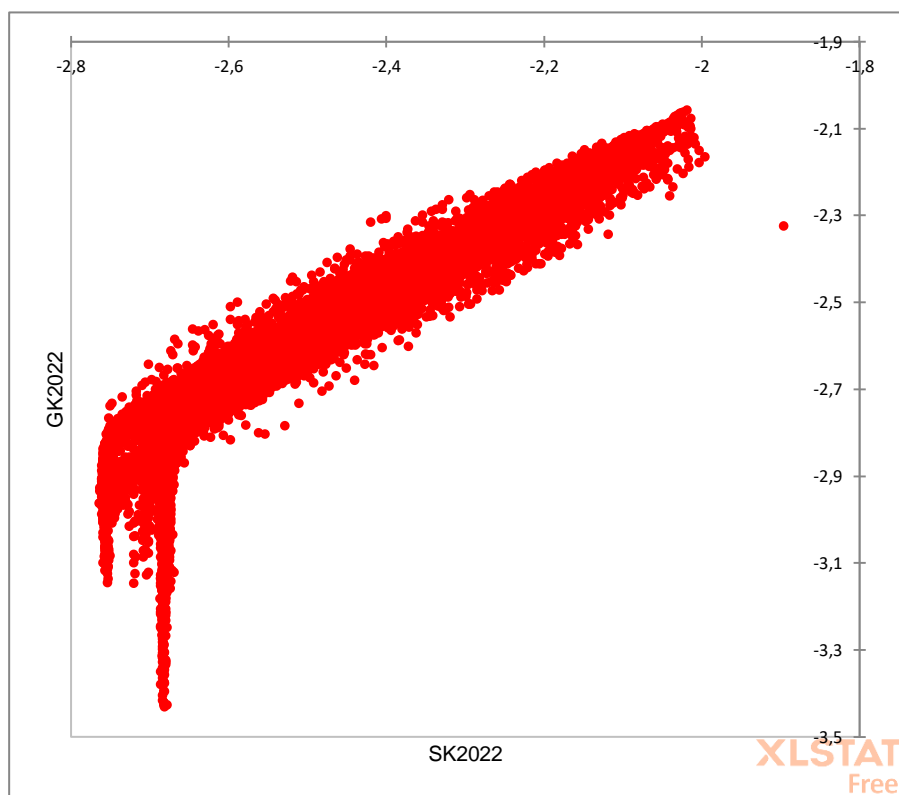
Jačina povezanosti dvije varijable Pearsonovim koeficijentom očitava se iz sljedećih vrijednosti:

- od 0 do 0.25 – slaba linearna korelacija
- od 0.25 do 0.64 – korelacija srednje jačine
- od 0.64 do 1 – čvrsta korelacija

Iz analize Pearsonovog koeficijenta korelacije između razine vodostaja na glavnom kanalu (GK) i sabirnom kanalu (SK) za 2021. i 2022. godinu, vidljivo je da postoji jaka pozitivna korelacija između dviju predmetnih varijabli (rast razine vodostaja na glavnom kanalu obično prati rast razine vodostaja na sabirnom kanalu). Konkretno, Pearsonov koeficijent korelacije za 2021. godinu iznosi 0.986, dok za 2022. godinu iznosi 0.957. Ovi visoki koeficijenti ukazuju na čvrstu povezanost između ove dvije varijable tijekom oba godišta mjerenja. Osim numeričke analize, i grafički prikazi dijagrama raspršenosti potvrđuju tu pozitivnu korelaciju. Na grafikonima za oba razdoblja (2021. i 2022.), može se primijetiti da postoji jasna tendencija gdje se rast razine vodostaja na GK podudara s rastom razine vodostaja na SK. Ovi grafikoni također ukazuju na postojanje snažne korelacije između ovih varijabli sve dok vrijednosti razine vodostaja ne padnu ispod određenih pragova (npr. -2.7 za 2021. i -2.6 za 2022.), nakon čega se jačina korelacija smanjuje. Ovi rezultati sugeriraju da postoji konzistentna pozitivna veza između razine vodostaja na glavnom kanalu i sabirnom kanalu tijekom obiju godina mjerenja, pri čemu se promjene u razini vodostaja na GK često podudaraju s promjenama u razini vodostaja na SK.



Graf 3.9. Grafički prikaz korelacija razine vodostaja glavnom i sabirnog kanala tijekom 2021. godine (izvor: autor)



Graf 3.10. Grafički prikaz korelacija razine vodostaja glavnom i sabirnog kanala tijekom 2022. godine (izvor: autor)

## 4.4. Postupak proračuna protoka u sabirnom kanalu

Sabirni kanal u predmetnom istraživanju nalazi su u sklopu poldera Vidrice i s lijeve strane omeđen je poljoprivrednim površinama katastarskih čestica od 1748 do 1752 katastarske općine 337153 Vlaka-Tuštevac te s desne strane poljoprivrednim površinama katastarskih čestica od 1754 do 1761 iste katastarske općine. Ukupna dužina predmetnog kanala iznosi 795,31 m s blagim padom dna kanala u smjeru otjecanja od 0,0005 m/m. S obzirom na vanjske utjecaje sama geometrija kanala je tijekom vremena promijenjiva, a za potrebe rada uzete su sljedeće vrijednosti:

- širina dna kanala = 3,15 m
- širina otvora kanala = 8 m
- nagib pokosa kanala = 1,5
- dubina kanala = 1,6 m
- duljina pokosa kanala = 2,9 m.

Hidrauličkim proračunom sabirnog kanala određivao se maksimalan protok u idealnom isprojektiranom stanju kanala i određen je protok vode kanala u zatečenom stanju. Jednadžba izračuna protoka (jedn. 3.2.) glasi:

$$Q = A \times v \quad (\text{jedn. 3.2.})$$

Gdje su:  $Q$  – protok [ $m^3/s$ ],

$A$  – površina poprečnog presjeka od dna kanala do vodnog lica [ $m^2$ ],

$v$  – brzina toka vode u kanalu [ $m/s$ ].

Površina poprečnog presjeka od dna kanala do vodnog lica računa se prema sljedećoj jednadžbi (jedn. 3.3.):

$$A = h \times (b + m \times h) \quad (\text{jedn. 3.3.})$$

Gdje su:  $A$  - površina poprečnog presjeka od dna kanala do vodnog lica [ $m^2$ ],

$h$  - visina vode u kanalu od dna kanala do vodnog lica [ $m$ ],

$b$  - širina dna kanala [ $m$ ],

$m$  - nagib pokosa kanala [-].

Brzina toka vode u kanalu izražena je jednadžbom (jedn. 3.4.):

$$v = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \quad (\text{jedn. 3.4.})$$

Gdje su:  $v$  – brzina toka vode u kanalu [ $m/s$ ],

$n$  - Manningov koeficijent hrapavosti [ $s/m^{\frac{1}{3}}$ ],

R - hidraulički radijus kanala [m],  
 I - uzdužni pad kanala [m/m].

Hidraulički radijus jednak je omjeru površine poprečnog presjeka od dna kanala do vodnog lica i opsega trapeza koji predstavlja visinu vode u kanalu i izražava se jednadžbom (3.5.):

$$R = \frac{A}{O} \quad (\text{jedn. 3.5.})$$

Gdje su: R - hidraulički radijus kanala [m],  
 A - površina poprečnog presjeka od dna kanala do vodnog lica [m<sup>2</sup>],  
 O - opseg trapeza koji predstavlja visinu vode u kanalu [m].

Opseg trapeza koji predstavlja visinu vode u kanalu ovisi o širini dna kanala, visini vode u kanalu od dna kanala do vodnog lica i nagibu pokosa kanala (jedn. 3.6.).

$$O = 2 + 2h\sqrt{1 + m^2} \quad (\text{jedn. 3.6.})$$

Gdje su: O - opseg trapeza koji predstavlja visinu vode u kanalu [m],  
 h - visina vode u kanalu od dna kanala do vodnog lica [m],  
 m - nagib pokosa kanala [-].

Proces proračuna započinje unošenjem ulaznih parametara u predložak proračuna koji je kreiran u Microsoft Excelu, a kako bi se izračunao maksimalni protok vode u kanalima. U ovom istraživanju, poznati ulazni parametri su geometrija kanala, Manningov koeficijent hrapavosti, pad kanala i visina vode u kanalu od dna kanala do vodnog lica dobivena iz iščišćenih podataka vodostaja tijekom 2021. i 2022. godine. Vrijednost visine vode (h) dobivena je u programu Microsoft Excel tako da je izračunata apsolutna vrijednost razlike nadmorske visine dna kanala i visine vodostaja u kanalu. Minimalna, maksimalna i prosječna visina vode u kanalu izračunata za 2021. i 2022. godinu prikazana je u tablici 3.3. Minimalna visina vode u 2021. godini zabilježena je 22. siječnja u vremenskom periodu od 06:00 do 09:00 sati, a maksimalna visina 11. prosinca u 21:00 sati. Tijekom 2022. godine minimalna i maksimalna visina vode u kanalu viša je u odnosu na prethodnu godinu. Minimalna visina vode zabilježena je 8. prosinca u 16:15 sati i iznosi 0.596 m dok je najviša razina vode izmjerena 21. svibnja u 23:30 sati i isnosi 1.464 m.

Tablica 3.3. Izračunate minimalne, maksimalne i prosječne visine vode u sabirnom kanalu tijekom 2021. i 2022. godine (izvor: autor)

	2021. godina	2022. godina
<b>Minimalna visina vode [m]</b>	0.447	0.596
<b>Maksimalna visina vode [m]</b>	1.443	1.464
<b>Prosječna visina vode [m]</b>	0.878	0.949

Dobivene minimalne i maksimalne vrijednosti visine vode od dna kanala do vodnog lica u kanalu tijekom 2021. i 2022. godine korištene su kao smjernica za odabrani raspon pretpostavljene visine vode ( $h$ ) koja se koristi u hidrauličkom proračunu za dobivanje isnosa maksimalnog portoka ( $Q$ ). U tablici 3.4. prikazan je hidraulički proračun protoka sabirnog kanala. Iz unesenih pretpostavljenih visina voda ( $h_p$ ), prema ranije navedenim jednadžbama, izračunata je površina poprečnog presjeka od dna kanala do vodnog lica i brzina toka vode u kanalu čiji omjer odgovara protoku vode u sabirnom kanalu. Uzevši u obzir maksimalnu visinu vode tijekom 2021. i 2022. godine, prosječna maksimalna visina vode u kanalu iznosi 1.4535 m i ukupna površina poprečnog presjeka od dna kanala do vodnog lica za navedenu vrijednost iznosi 7.721 m<sup>2</sup>. Predmetna površina predstavlja maksimalnu površinu poprečnog presjeka od dna kanala do vodnog lica u slučaju kada kanal nije obrastao vegetacijom i nema zabilježene prisutnosti mulja na dnu kanala. Omjer dobivene površine i izračunate brzine vode u kanalu odgovara maksimalnom protoku kanala u iznosu od 2.160 m<sup>3</sup>/s. Prosječna minimalna visina vode u kanalu tijekom 2021. i 2022. godine iznosi 0.5251 m kada je i minimalni protok vode u vrijednosti 0.309 m<sup>3</sup>/s. Prema dobivenoj prosječnoj visini vode tijekom istraživanog razdoblja, prosječan protok u sabirnom kanalu iznosi 0.881 m<sup>3</sup>/s.

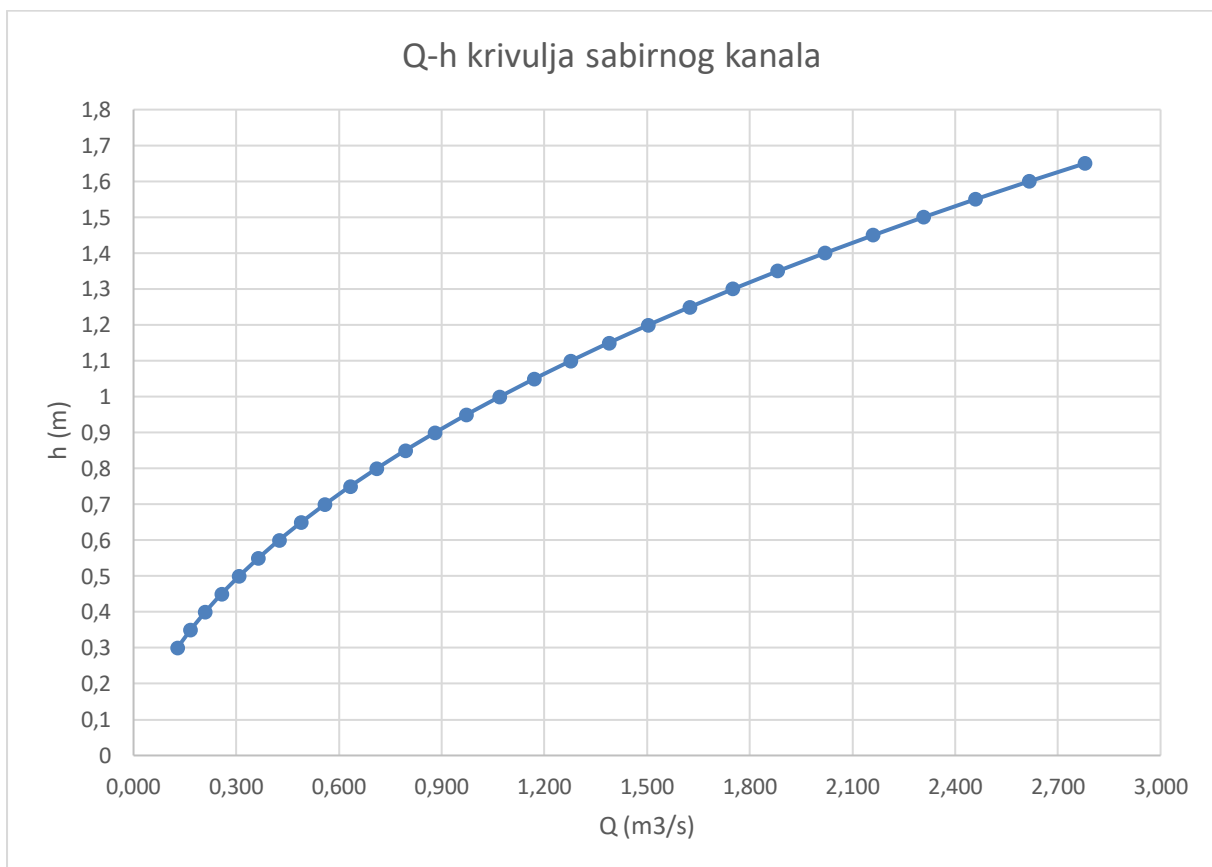
Tablica 3.4. Hidraulički proračun protoka sabirnog kanala (izvor: autor)

$h_p$ (m)	A (m <sup>2</sup> )	O (m)	R (m)	v (m/s)	$Q_p$ (m <sup>3</sup> /s)
<b>0.3</b>	1.080	4.232	0.255	0.118	0.128
<b>0.35</b>	1.286	4.412	0.292	0.129	0.166
<b>0.4</b>	1.500	4.592	0.327	0.140	0.209
<b>0.45</b>	1.721	4.772	0.361	0.149	0.257
<b>0.5</b>	1.950	4.953	0.394	0.158	0.309
<b>0.55</b>	2.186	5.133	0.426	0.167	0.365
<b>0.6</b>	2.430	5.313	0.457	0.175	0.425
<b>0.65</b>	2.681	5.494	0.488	0.183	0.490
<b>0.7</b>	2.940	5.674	0.518	0.190	0.559
<b>0.75</b>	3.206	5.854	0.548	0.197	0.633
<b>0.8</b>	3.480	6.034	0.577	0.204	0.711
<b>0.85</b>	3.761	6.215	0.605	0.211	0.794
<b>0.9</b>	4.050	6.395	0.633	0.218	0.881
<b>0.95</b>	4.346	6.575	0.661	0.224	0.973
<b>1</b>	4.650	6.756	0.688	0.230	1.070
<b>1.05</b>	4.961	6.936	0.715	0.236	1.171
<b>1.1</b>	5.280	7.116	0.742	0.242	1.277
<b>1.15</b>	5.606	7.296	0.768	0.248	1.389
<b>1.2</b>	5.940	7.477	0.794	0.253	1.504
<b>1.25</b>	6.281	7.657	0.820	0.259	1.625
<b>1.3</b>	6.630	7.837	0.846	0.264	1.751
<b>1.35</b>	6.986	8.017	0.871	0.269	1.882
<b>1.4</b>	7.350	8.198	0.897	0.275	2.019
<b>1.45</b>	7.721	8.378	0.922	0.280	2.160
<b>1.5</b>	8.100	8.558	0.946	0.285	2.307
<b>1.55</b>	8.486	8.739	0.971	0.290	2.459
<b>1.6</b>	8.880	8.919	0.996	0.295	2.616
<b>1.65</b>	9.281	9.099	1.020	0.299	2.779

Odnos između protoka ( $Q$ ) i visine vode ( $h$ ) u vodotoku, izražava se i preko Q-H krivulja (konsumpcijska krivulja). Odnos predmetnih varijabli se može mijenjati iz različitih razloga, uključujući:

1. Eroziiju i nasipavanje koji značajno utječe na geometriju vodotoka što može rezultirati promjenama u protoku i dubini vode;
2. Ljudski utjecaj: radovi koje čovjek izvodi uzvodno ili nizvodno u slivu ili koritu kanala, kao što su izgradnja brana, crpnih stanica ili drugih infrastrukturnih objekata, također mogu značajno promijeniti karakteristike vodotoka. To može utjecati na protoke i dubinu vode;
3. Prirodne promjene: promjene u prirodi, kao što su sezonske padaline, topljenje snijega ili ekstremni vremenski događaji, također mogu izazvati promjene u dubini vode i protoku.

Osnovni preduvjet za pouzdano definiranje Q-H krivulje je posjedovanje dovoljnog broja stvarnih mjerenja protoka i dubine vode u različitim uvjetima. Ova mjerenja omogućuju izradu grafikona ili krivulje koja ilustrira odnos između protoka i dubine vode u konkretnom vodotoku. Takva krivulja koristi se za razumijevanje kako se protok mijenja s promjenom dubine vode. Odnos protoka i visine vode u sabirnom kanalu prikazan je pomoću Q-h krivulje (graf 3.11.).



Graf 3.11. Konsumpcijska krivulja sabirnog kanala (izvor: autor)

S obzirom na to da trenutna geometrija kanala ne odgovara početno postavljenim vrijednostima, kako bi se izračunao trenutni protok vode sabirnog kanala, izračunata je površina koju unutar kanala zauzima obrasla vegetacija i nakupljeni mulj na dnu kanala. Debljina izmjenjenog sloja nakupljenog mulja na dnu kanala iznosi 0,5 m, a obrasla vegetacija sa svake strane smanjuje

širinu otvora kanala za 0,2 m. Zamuljena površina i površina obrasla vegetacijom dobivena je pomoću izračuna (jedn. 3.7.) i iznosi 2.93 m<sup>2</sup>.

$$A_1 = 0,5 \times 3,15 + \frac{2 \times 0,5 \times 2,43}{2} + 0,2 \times 0,36 \times 2 = 2,93 \quad (\text{jedn. 3.7.})$$

Trenutna protočna površina jedna je razlici maksimalne protočne površine i površine koju zauzimaju mulj i obrasla vegetacija te iznosi 4.791 m<sup>2</sup>. Iz hidrauličkog pororačuna vidljivo je da maksimalan protok koji može proteći navedenom površinom iznosi približno 1.100 m<sup>3</sup>/s što je za 1.06 m<sup>3</sup>/s manje od maksimalnog mogućeg protoka vode sabirnog kanala.

## 4.5. Prijedlog alternativnog rješenja

S obzirom na to da je uslijed neodržavanja sabirnog kanala smanjena njegova funkcionalnost i visina vode se diže skoro do ruba sabirnog kanala, glavni prijedlog rješenja je njegova rekonstrukcija. Mjere rekonstrukcije obuhvaćaju izmuljivanje dna kanala i uklanjanje zarasle vegetacije na pokosima i dnu kanala i eventualno promjena nagiba kojim bi se omogućilo brže otjecanje vode prema glavnom kanalu.

Izmuljivanje dna i donjeg dijela korita kanala, uz privremeno odlaganje zemlje uz rub korita, obavlja se korištenjem različitih građevinskih strojeva. Uobičajeni strojevi koji se koriste za ovakve radove uključuju bagera gusjeničara s povlačnom košarom i bagere s krutim ili teleskopskim kranom, opremljenim odgovarajućim dubinskim košarama. Također, za ovakve radove moguće je i korištenje specijaliziranih strojevi kao što su bageri kanaločistači i strojevi za neprekinuti iskop i razastiranje zemlje. Ovi strojevi omogućuju učinkovito uklanjanje nakupljene zemlje, mulja ili drugih nečistoća s dna korita vodotoka ili kanala, čime se osigurava slobodan protok vode i očuvanje hidrauličkih performansi. Radove je potrebno izvoditi pažljivo i u vrijeme bez oborina kako bi se izbjegle štete na okolnim usjevima i zemljištu. Preporuka za izvođenje mjere izmuljivanja je trenutak kada se u kanalu nakupi više od 20 cm nečistoća. S obzirom na to da je u sabirnom kanalu debljina sloja nakupljenog mulja 0,5 m, predemtna mjera rekonstrukcije neophodna je za daljnje normalno funkcioniranje sabirnog kanala.

Radovi uklanjanja zarasle vegetacije obavljaju se uz upotrebu odgovarajuće opreme i strojeva, a obuhvaćaju sljedeće aktivnosti:

1. Kontrola i suzbijanje rasta trave i korova košnjom koristeći raznu opremu, uključujući priključne kosilice, samohodne kosilice različitih konstrukcija i veličina. Nakon košnje, pokošenu vegetaciju potrebno je sušiti, skupiti, spaliti ili odvesti, ovisno o postupku odlaganja otpada. Radove je potrebno obaviti na bankinama i pokosima ili u dnu kanala, kako u suhom tako i u vodi u razdoblju od svibnja do listopada.
2. Sječenje (krčenje) šiblja i raslinja uključuje uklanjanje šiblja i raslinja čiji promjer ne prelazi 5 centimetara. Sječenje se obavlja strojnim motornim pilama (krčilicama) ili drugim strojevima za lomljenje i usitnjavanje drvene mase. Nakon sječe, materijal je potrebno skupiti, odvojiti



izvan područja podložnih poplavama ili spaliti ako se drveni materijal ne lomi ili ne usitnjava. Predmetne radove potrebno je provesti tijekom zime ili u proljeće, prije nego što počne vegetacijsko razdoblje.

3. Vađenje i odstranjivanje korjenja i žilja nakon sječe šiblja koje obuhvaća uklanjanje korijena i podzemnih žila koje ostaju nakon sječe šiblja i raslinja. Vađenje se obavlja uz pomoć strojeva, dok se sakupljanje i odstranjivanje obavljaju ručno.

## 5. Zaključak

U istraživanju provedenom na području poldera Vidrice praćena je razina vodostaja na četiri monitoring postaje, nazvane GK1, GK2, GK3 i SK, tijekom razdoblja od 2021. do 2022. godine. Ovo praćenje izvršeno je korištenjem beskontaktnog radarskog sustava (LX-80 Radar Level Sensor) koji omogućava praćenje površinske brzine i razine vode u otvorenim vodotocima. Senzori su bilježili razinu vodostaja u intervalima od 15 minuta, a prijenos podataka u stvarnom vremenu ostvaren je putem SmartObserver Dataloggera. Da bi se osigurala kvaliteta podataka, svi višestruki i duplicirani podaci unutar istog intervala su eliminirani i dalje su korišteni kako bi se uspostavila korelacija između glavnog kanala (GK) i sabirnog kanala (SK). Izmjereni vodostaji u sabirnom kanalu koristili su se za izradu hidrauličkog proračuna protoka u predmetnom kanalu, a rezultati tog proračuna upotrijebljeni su za predlaganje mogućih optimizacija sustava.

Analizom prikupljenih podataka tijekom razdoblja od 2021. do 2022. godine i provedbom hidrauličkog proračuna protoka u sabirnom kanalu, došlo se do sljedećih zaključaka:

- s obzirom na veliku količinu pogrešaka u mjerenju senzora preporuka je iste kalibrirati tako da senzori mogu samostalno prepoznati abnormalnosti u mjerenju i iste automatski eliminirati ili na jednoj mjernoj postaji postaviti dva senzora koji bi međusobno kontrolirali izmjerene podatke;
- na razinu vodostaja u kanalima u najvećoj mjeri utječe količina palih oborina i rad crpne stanice;
- hidrotehničkim proračunom sabirnog kanala ustanovljeno je da trenutna geometrija kanala ne odgovara predviđenoj geometriji uslijed čega dolazi do smanjenje protočne površine i smanjenja protoka;
- smanjenje protočne površine i protoka umanjuje funkcionalnost kanala i podiže visinu vode u kanalu skoro do vrha otvora kanala čime je povećana opasnost od izlivanja vode na okolne poljoprivredne površine;
- alternativne mjere optimizacije uključuju mjere rekonstrukcije kanala (izmuljivanje i uklanjanje obrasle vegetacije) i eventualno promjenu nagiba čime bi se omogućilo brže otjecanje.

## 6. Popis literature

1. Aisenbrey Jr., A. J., Hayes, R. B., Warren, H. J. i dr. (1978) Design of Small Canal Structures, United States Department of the Interior – Bureau of Reclamation
2. Andjelkovic, I. (2001). Guidelines on non-structural measures in urban flood management, IHP-V, Technical Documents in Hydrology, No. 50. Paris: UNESCO.
3. Bezak, S. i sur. (2010.). Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu, knjiga 1: Gradnja i održavanje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina i vodnih građevina za melioracije, 0. poglavlje: Opće odredbe. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet i IGH d.d.
4. Bos, M.G.; Boers, T.M. Chapter 1. Land Drainage: Why and How? In Drainage Principles and Applications, 3rd ed.; Ritzema, H.P., Ed.; ILRI Publication: Wageningen, Alterra, 2006; Volume 1125, pp. 23–31.
5. Bošnjak P. (2017.) Učinci građevinskih strojeva u kamenolomu, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet u Osijeku.
6. Cerić A., Gilja G., Ocvirk E. (2022.). Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu, Prilog B: Vodne građevine za melioracije. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Institut IGH d.d. i Centar Građevinskog fakulteta d.o.o.
7. Cerić A., Kuspilić N. (2022). Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu, 14. poglavlje: Regulacijski radovi na vodotocima. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Institut IGH d.d. i Centar Građevinskog fakulteta d.o.o.
8. Cerić A., Kuspilić, N., Gilja G. (2022.). Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu, Prilog A: Regulacijske i zaštitne građevine. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Institut IGH d.d. i Centar Građevinskog fakulteta d.o.o.
9. Deković, J. (2015). Interpretacija mjerenja na području Opuzen-ušće i Vidrice iz 2014. godine, diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Katedra za privrednu hidrotehniku.
10. Easton, Z. M., Bock, E., & Collick, A. S. (2017). Factors when considering an agricultural drainage system. Virginia Polytechnic Institute and State University, Publication BSE-208.
11. Epet B. (2016.) Unutranja i vanjska odvodnja prometnica. Završni rad, Sveučilište Sjever, odjel: Graditeljstvo, Varaždin
12. Fausey, N.R. (2004.) Drainage, surface and subsurface. U: Encyclopedia of Soils in the Environment. Rosenzweig, C., Powlson, D.S., Scow, K.M., Singer, M.J., Sparks, D.L., Hatfield, J., editors. Oxford, UK: Elsevier Ltd. str. 409-413.
13. Gilja G. (2022.) Podzemna drenaža (bilješke s predavanja Hidrotehnika u poljoprivredi).
14. Gilja, G., Kuspilić N., Lacko M., and Romić D. (2023.) Reconstruction of Recharge and Discharge Pattern in the Polder Drainage Canal Network, Hydrology 10, no. 3: 60.

15. Halliday, S.J.; Wade, A.J.; Skeffington, R.A.; Neal, C.; Reynolds, B.; Rowland, P.; Neal, M.; Norris, D. (2012.) An Analysis of Long-Term Trends, Seasonality and Short-Term Dynamics in Water Quality Data from Plynlimon, Wales. *Sci. Total Environ*, 434, 186–200.
16. Hrgić D. (2016.) Sanacija cestovnog klizišta i rekonstrukcija trupa ceste kroz primjenu programa "Plateia". Završni rad, Sveučilište Sjever, odjel: Graditeljstvo, Varaždin
17. Hrvatske vode (2014). Provedbeni Plan Obrane od Poplava Branjenog Područja Sektor F - Južni Jadran. Branjeno Područje 32: Područja Malih Slivova Neretva - Korčula i Dubrovačko Primorje i Otoci. Hrvatske Vode: Zagreb, Hrvatska.
18. International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). Available online: [https://www.icid.org/res\\_drainage.html](https://www.icid.org/res_drainage.html) (pristupljeno 7. svibnja 2023. godine).
19. Jakić A. (2016.) Dvonamjenski lateralni kanal Kneževi vinogradi – Zmajevac, Završni rad, Sveučilište Josipa Juraja Strossmayera u Osijeku, Osijek.
20. Kalita P. K., Cooke R. A. C., Anderson S. M., Hirschi M. C. i Mitchell J. K. (2007.) Subsurface Drainage and Water Quality: The Illinois Experience, *Transactions of the ASABE*. 50(5): 1651-1656. (doi: 10.13031/2013.23963)
21. Kolovrat I. (1991.) Održavanje objekata na hidromelioracijskim sustavima površinskog odvodnjavanja. U: Priručnik za hidrotehničke melioracije. I. Kolo Odvodnjavanje, Knjiga 6. Građenje, Kos Z. (ur.), Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.
22. Kuspilić, N. (2008). Hidrotehničke građevine – dio 2: Građevine na vodotocima. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet.
23. Linarić Z. (2007.) Leksikon strojeva i opreme za proizvodnju građevinskih materijala. Zagreb: Business Media Croatia, (Leksikon)
24. Lovrinović I, Bergamasco A, Srzić V, Cavallina C, Holjević D, Donnici S, Erceg J, Zaggia L, Tosi L. (2021.) Groundwater Monitoring Systems to Understand Sea Water Intrusion Dynamics in the Mediterranean: The Neretva Valley and the Southern Venice Coastal Aquifers Case Studies. *Water*. 13(4):561.
25. Lovrinović I., Srzić V., Aljinović I. (2023.) Characterization of seawater intrusion dynamics under the influence of hydro-meteorological conditions, tidal oscillations and melioration system operative regimes to groundwater in Neretva valley coastal aquifer system, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Volume 46.
26. Luthin, J.N. Drainage of Irrigated Lands. In *Drainage of Agricultural Lands*; Luthin, J.N., Ed.; American Society of Agronomy: Madison, WI, USA, 1957; Volume 620, pp. 344–371.
27. Ljubenković I., Vranješ M. (2004.) Numerički model uslojenog tečenja – primjer zaslanjivanja korita rijeke Neretve, *Građevinar* 2/12, 2012.
28. Marin A. (1989.) Strojevi za izgradnju hidromelioracijskih sustava površinskog odvodnjavanja. U: Priručnik za hidrotehničke melioracije. I. Kolo Odvodnjavanje, Knjiga 5. Građenje, Kos Z. (ur.), Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.
29. Marjanov M. (1964.) Premer i melioracije zemljišta, Univerzitet u Novom Sadu, Građevinska knjiga, Beograd.

30. Marušić J. (1985.) Objekti hidromelioracijskih sustava odvodnje. U: Priručnik za hidrotehničke melioracije. I. Kolo Odvodnjavanje, Knjiga 3. Osnovna mreža, Kos Z. (ur.), Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.
31. Marušić J. (1987.) Potreba i značenje izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja. U: Priručnik za hidrotehničke melioracije. I. Kolo Odvodnjavanje, Knjiga 4. Detaljna mreža, Kos Z. (ur.), Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.
32. Marušić J. (1987.) Potreba i značenje izvedbe sustava podzemnog odvodnjavanja. U: Priručnik za hidrotehničke melioracije. I. Kolo Odvodnjavanje, Knjiga 4. Detaljna mreža, Kos Z. (ur.), Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.
33. Marušić J. (1989.) Organizacija građenja hidromelioracijskih sustava za odvodnjavanje. U: Priručnik za hidrotehničke melioracije. I. Kolo Odvodnjavanje, Knjiga 5. Građenje, Kos Z. (ur.), Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.
34. Marušić J., (1994). Ratne štete, obnova i održavanje hidromelioracijskih sustava za odvodnju, Stručno-znanstveni simpozij, „Poljoprivreda i gospodarenje vodama“, Bizovačke Toplice, str. 317-336.
35. Marušić J., Mađar S., Tomić F. (1998). Hidromelioracijski sustavi za odvodnju, sjetvene površine i prinosi pšenice i kukuruza u Hrvatskoj od 1976. do 1996. g. Hrvatske vode, 6, 22, Zagreb, str. 1- 20
36. Marušić J.. (1983.) Problemi i zadaci izvedbe i održavanja hidromelioracijskih sustava. U: Priručnik za hidrotehničke melioracije. I. Kolo Odvodnjavanje, Knjiga 1. Opći dio, Kos Z. (ur.), Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.
37. Matković J. (1971.) Regulaciona odvodnja, Savjetovanje o Posavini, Poljoprivredni fakultet, Zagreb.
38. Narodne novine (1998.) Pravilnik o tehničkim, gospodarskim i drugim uvjetima za uređenje sustava melioracijske odvodnje, te osnovama za tehničko i gospodarsko održavanje sustava, Zagreb: Narodne novine d.d., NN 4/1998
39. Nonveiller, E. (1983.). Nasute brane, projektiranje i građenje, Školska knjiga, Zagreb.
40. Pavlin Ž. i Kuspilić N. (2018.). Mjerodavni vodostaji za dimenzioniranje hidrotehničkih nasipa i nasutih brana. Grđevinar 70 (2018) 3, str. 225-233
41. Petošić D. (1993.) Funkcionalnost sustava detaljne odvodnje u Posavini. Doktorska disertacija, Agronomski fakultet, Zagreb.
42. Petošić D., Tomić F., Filipović V. (2015.) Problem suvišnih voda. U: Voda u agroekosustavu, Ondrašek, G. (ur.) Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet 165 – 256
43. Petošić D., Mustać I. i Bakić Begić H. (2022.) Stanje i perspektiva cijevne drenaže poljoprivrednog zemljišta Republike , Hrvatske vode 30 (2022), 121, str. 207-220
44. Petrović N., Božić B. i Kereži P. (2020.). Građevine za zaštitu od poplava. Zbornik radova 13. međunarodne znanstveno-stručne konferencije Dani kriznog upravljanja. Veleučilište Velika Gorica, str. 355-368.
45. Reljić M., Zovko M., Bubalo – Kovačić M., Kuspilić N., Gilja G., Mornar v., Bagić Babac m., Romić D. (2022.) PRIMJENA AUTOMATSKOG MONITORINGA ZASLANJIVANJA VODA I TLA U DOLINI RIJEKE NERETVE. U Okrugli stol, Akutualni izazovi razvoja hidrotehničkih melioracija u Hrvatskoj, Poreč, str. 155-164.

46. Reljić, M., Romić M., Romić D., Gilja G., Mornar V., Ondrašek G., Bubalo Kovačić M., Zovko M. (2023). Advanced Continuous Monitoring System—Tools for Water Resource Management and Decision Support System in Salt Affected Delta, *Agriculture* 13, no. 2: 369.
47. Roje-Bonacci T. i Bonacci O. (2016.). Višenamjenski hidrotehnički sustavi. *Vodoprivreda*, 0350-0519, Vol. 48 (2016), No. 279-281, str. 75-85.
48. Romić, D.; Romić, M.; Zovko, M.; Bakić, H.; Ondrašek, G. (2012.) Trace Metals in the Coastal Soils Developed from Estuarine Floodplain Sediments in the Croatian Mediterranean Region. *Environ. Geochem. Health*, 34, str. 399–416.
49. Romić, D.; Zovko, M.; Romić, M.; Bubalo Kovačić, M.; Reljić, M.; Ondrašek, G.; Kranjceč, F.; Maurović, N.; Igrc, M.D.; Atljija, B. i sur. (2022.) Monitoring of Water and Soil Salinisation in the Neretva River Valley: 2021 Annual Report; Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb, Hrvatska.
50. Samokovlija Dragičević J. (2003.) Kakvoća vode i uređenje delte i sliva rijeke Neretve, *Građevinar* 55/12, 2003.
51. Strobl, R.O.; Robillard, P.D. (2008.) Network Design for Water Quality Monitoring of Surface Freshwaters: A Review. *J. Environ. Manag*, 87, 639–648.
52. Stuyt L. C. P. M., Dierickx W., Martínez Beltrán J. (2005.) Materials for Subsurface Land Drainage Systems, FAO Irrigation and drainage paper, 60 Rev. 1 , Rim.
53. Šimunić I. i Špoljar A. (2007.) Tloznanstvo i popravak tla (2. dio), skripta. Visoko gospodarsko učilište u Križevcima.
54. Šoštarčić J., Romić D., Marušić J., Josipović M. i Petošić D. (2016.) Stanje melioracijskih sustava za odvodnju i navodnjavanje u Republici Hrvatskoj. Zbornik radova 51. hrvatskog i 11. međunarodnog simpozija agronoma, Sveučilište u Zagrebu . Agronomski fakultet i Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 15. – 18. veljače 2016. godine, Opatija, Hrvatska, str. 10-18.
55. Tomić F. (1987.) Sistemi detaljne odvodnje za reguliranje suvišnih voda u tlu. U: Priručnik za hidrotehničke melioracije. I. Kolo Odvodnjavanje, Knjiga 4. Detaljna mreža, Kos Z. (ur.), Društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske, Zagreb.
56. Tomić F. (1988.) Navodanjvanje, Savez poljoprivrednih inženjera i tehničara Hrvatske, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb
57. Tomić F. i Petošić D. (1989.) Dosadašnja iskustva i potrebe detaljnog uređenja zemljišta u Posavini, Zbornik radova savjetovanja JAZU (Rijeka Sava, zaštita i korištenje voda), str. 121-132.
58. Van Schilfgaard J. (1971.) Drainage yesretday, today and tomorrow, Proc. ASAE Nat. Drain. Symp. St. Joseph, MI, United States
59. Wooten, H.H.; Jones, L.A. The History of Our Drainage Enterprises. In *Water, the Yearbook of Agriculture*; U.S. Department of Agriculture: Washington, DC, USA, 1955; pp. 478–491.

### **Popis korištenih izvora – poveznica:**

1. Jha M. K., Yellareddy K. 2020. Drainage Engineering, AgriMoon.Com, (<https://agrimoon.com/wp-content/uploads/Drainage-Engineering-.pdf>) – pristup 12. lipnja 2023. godine
2. Javno preduzeće Ceste Federacije Bosne i Hercegovine d.o.o. (2005.) Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima. Knjiga I: Projektovanje, Dio 3: Projektovanje konstrukcija na putevima. Projektantska smjernica (PS 1.3.2.) Poglavlje 2. Propusti ([https://www.jpautoceste.ba/doc/3-2\\_Redovno\\_odrzavanje.pdf](https://www.jpautoceste.ba/doc/3-2_Redovno_odrzavanje.pdf)) – pristup 29. lipnja 2023. godine

## **Životopis**

Ema Rubčić, rođena 07.04.2000. godine u Zagrebu završila je Osnovnu školu Sesvetska sela i Gimnaziju Sesvete. Prediplomski studij Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu uspisala je 01. listopada 2018. godine i u kolovozu 2021. godine stekla titulu sveučilišna prvostupnica (baccalaureus/baccalaurea) inženjerka agronomije. Iste godine upisuje diplomski sveučilišni studij Poljoprivredna tehnika – Melioracije. Tijekom studiranja, zapošljava se kao student u Generali odiguranju d.d. i u Hrvatskoj akademskoj i istraživačkoj mreži – CARNET.