

# Zaštita od poplava na neregularnim dijelovima vodotoka

---

Prišlić, Sara

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:205643>

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

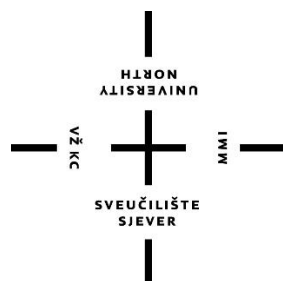
Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



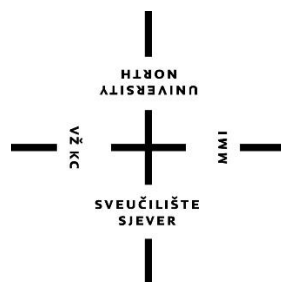


# Sveučilište Sjever

**Završni rad br. 262/GR/2016**

## **Zaštita od poplava na nereguliranim dijelovima vodotoka**

Varaždin, srpanj 2016. godine



**Sveučilište  
Sjever**

## **Odjel Graditeljstvo**

*Završni rad br. 262/GR/2016*

### **Zaštita od poplava na nereguliranim dijelovima vodotoka**

**Studentica:**

Sara Prišlić, 5168/601

**Mentor**

dr.sc. Matija Orešković, dipl.ing.grad.

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za biomedicinske znanosti		
PRISTUPNIK	Sara Prišlič	MATIČNI BROJ	5168/601
DATUM	08.07.2016.	KOLEGIJ	Regulacije i melioracije
NASLOV RADA	Zaštita od poplava na nereguliranim dijelovima vodotoka		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Protection against flood on unregulated parts of the watercourse		

MENTOR	Matija Orešković, Ph.D.	ZVANJE	Viši predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. Aleksej Aniskin, viši predavač		
	2. Matija Orešković, Ph.D. viši predavač		
	3. Željko Kos, predavač		
	4. Prof.dr.sc. Božo Soldo		
	5. _____		

## Zadatak završnog rada

BROJ	262/GR/2016
OPIS	U regulacijskom i zaštitnom sustavu uređenja režima voda uz postojeće izvedene objekte koje treba održavati, predviđene su radnje na nereguliranim vodotocima ili nereguliranim dijelovima vodotoka, uz dogradnju ili rekonstrukciju postojećih građevina. Prioritetne aktivnosti odnose se na sanaciju, održavanje postojećih objekata obrane od poplave (nasipi, obaloutvrde, kanali, retencija), te realizacija planiranih akumulacija.
Rad se treba sastojati od:	
Uvod	
Zaštita doline od vanjskih voda	
Odvodnja	
Održavanje odvodnih sustava	
Neregulirani vodotoci	
Primjer izgradnje kanala radi zaštite naselja od velikih voda	
Tehničko rješenje zaštite	
Geotehnička istraživanja lokacije	
Zaključak	

ZADATAK URUČEN

11.07.2016.



*[Handwritten signature]*



**IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

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

Ja, SARA PRIŠLIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom ZAŠTITA OD POPLAVA NA NEREGULIRANIM DJELOVIMA VODOTOKA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Sara Prišić  
(vlastoručni potpis)

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

Ja, SARA PRIŠLIĆ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom ZAŠTITA OD POPLAVA NA NEREGULIRANIM DJELOVIMA VODOTOKA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Sara Prišić  
(vlastoručni potpis)

## Sadržaj

1. ODVODNJA .....	7
2. MREŽA KANALA ZA ODVODNJU .....	9
3. HIDROLOŠKO – HIDRAULIČKE KARAKTERISTIKE DRENAŽE .....	11
4. PLANIRANJE I PROJEKTIRANJE ODVODNIH SUSTAVA - OSNOVNI PRINCIPI IZRADE TEHNIČKE DOKUMENTACIJE.....	13
5. TIPOVI ODVODNJE I NAVODNJAVANJA .....	17
5.1. ODVODNJA OTVORENOM DRENAŽOM .....	17
5.2. ODVODNJA PODZEMNOM DRENAŽOM .....	18
5.3. ODVODNJAVANJE OKOMITOM DRENAŽOM .....	22
5.4. CRPNA POSTAJA .....	23
5.5. NAVODNJAVANJE .....	25
5.6. METODE NAVODNJAVANJA.....	29
5.7. NAVODNJAVANJE BRAZDAMA .....	30
5.8. PRELIJEVANJE .....	31
5.9. NAVODNJAVANJE KIŠENJEM .....	32
5.10. PODZEMNO NAVODNJAVANJE (SUBIRIGACIJA) .....	33
5.11. NAVODNJAVANJE KAP PO KAP .....	35
6. AGRONOMSKI ASPEKT GRAĐEVINSKIH RADOVA .....	38
7. ODRŽAVANJE ODVODNIH SUSTAVA.....	39
8. PRIMJER IZGRADNJE KANALA RADI ZAŠTITE NASELJA OD VELIKIH VODA.....	41
8.1. VRSTA RADOVA .....	41
8.2. LOKACIJA .....	41
8.3. POSTOJEĆE STANJE NA LOKACIJI .....	42
8.4. NAMJENA I DIJELOVI UREĐENJA POTOKA PEĆNI JARAK .....	42
8.5. USKLAĐENOST PROJEKTA S PROSTORNIM PLANOM .....	42
8.6. TEHNIČKO RJEŠENJE .....	43

8.7.	NOVA TRASA POTOKA PEĆNI JARAK .....	43
8.8.	CESTOVNI KANAL.....	45
8.9.	MJERE ZAŠTITE OKOLIŠA .....	48
8.10.	GEOTEHNIČKO IZVJEŠĆE O PROVEDBI ISTRAŽNOG BUŠENJA NA KANALSKOJ TRASI .....	49
8.10.1.	OPĆA MORFOLOŠKA I GEOLOŠKA OBILJEŽJA LOKACIJE .....	49
8.10.2.	TERENSKI ISTRAŽNI RADOVI .....	55
9.	ZAKLJUČAK:.....	62
10.	LITERATURA:.....	64

# 1. ODVODNJA

*Odvodnja viška vode sa zemljišta* je skup tehničkih mjera kojima se voda prihvaća s površine i iz podzemlja, provodi i upušta u glavni prijamnik za prihvata voda. Odvodnja kao melioracijska mjera druga je faza osposobljavanja površina za sigurnu i visokoproduktivnu proizvodnju. Prvu fazu obično čini sustav za zaštitu od vanjskih voda, odnosno obranu od poplave, a sastoji se od uređenja prirodnih vodotoka za prihvata velikih voda, gradnje nasipa, retencija, akumulacija i obodnih kanala. Treća je faza natapanje. Pošto je osigurana zaštita od vanjskih voda, problem viška vode rješava se izgradnjom sustava odvodnje. Izbor sustava ovisi o pedološkim, hidrološkim i topografskim prilikama te o tehnološkim i proizvodnim ciljevima uzgoja poljoprivrednih kultura. Svrha odvodnjavanja je ostvarenje povoljnog zračno-vodnog režima u tlu koji omogućuje visoku i stabilnu poljoprivrednu proizvodnju, koja je potrebna zbog povećanja stanovništva na Zemlji i zbog toga što je danas veliki dio stanovništva u najmanje razvijenim područjima nedovoljno ishranjen. Stanje se može poboljšati većom proizvodnjom na već iskorištavanim poljoprivrednim površinama i povećanjem poljoprivrednih površina odvodnjavanjem i navodnjavanjem.

Kad se utvrđuju raspoložive obradive površine, računavaju se i ona tla koja nemaju povoljna fizikalna svojstva. Površina tih tla najčešće je veoma velika. Ta se svojstva mogu popraviti odvodnjavanjem. Danas se, naime, smatra da je opravdano odvodnjavati dreniranjem i ona tla za koja se do nedavno smatralo da su dobro drenirana. Upotreba teških strojeva za obradu zemljišta traži bolje odvodnjeno tlo nego što je bilo potrebno kad su polja bila obrađivana konjskim i volovskim zapregama.

Velike površine potencijalno plodnih tla danas praktički nisu plodna zemljišta. To u prvom redu vrijedi za hidromorfna tla u kojima višak vode onemogućuje povećanje poljoprivredne proizvodnje, pa se nastojanja usmjeravaju na obranu od poplava i na odvodnjavanje hidromorfni tla.

Uređenje vodnog režima u melioracijskom području može se provesti na dva potpuno različita načina:

- gradnjom odvodnog sustava
- kolmacijom zemljišta



Odvodni sustav meliorativnog područja sastoji se od vodnih tokova većeg ili manjeg presjeka i objekata na tim vodotocima. Ti vodotoci se nazivaju kanali a manji jarci. Ispuštanje ili prebacivanje vode iz meliorativnog područja u recipijent određuje tip odvodnog ustava (gravitacijska, intermitentna i odvodnja mješovitog tipa).

Melioracija kolmiranjem zove se tip odvodnje kada se tlo nasipanjem diže za određenu visinu, čime se omogućuje normalna odvodnja gravitacijom. Kolmacija se može postići na dva načina:

- Prirodnim putem kolmacija se postiže ispuštanjem riječnih voda sa znatnim sadržajem nanosa, usporavanjem voda s taloženjem nanosa u lagunama te ispuštanjem istaloženih voda u recipijent. To je vrlo jeftin ali dugotrajan proces pa se sve manje primjenjuje.
- Umjetnim putem kolmacija se postiže dovozom ili dopremom materijala iz pozajmišta. Koristi se samo za manje površine uz vodotoke ili na specifičnim lokalitetima i to obično kad a se raspolaže viškom iskopa.

Cilj odvodnje vode iz tla je evakuacija (uklanjanje) suvišne vode iz aktivnog profila zemljišta. Aktivni profil obuhvaća dio tla u kojemu se razvija glavni dio korijena. Odvodnja suvišne vode obuhvaća zaštitu melioriranih područja od voda izvan toga područja, evakuacija viška vode s područja odvodnjavanja i detaljno odvodnjavanje s poljoprivrednih površina.



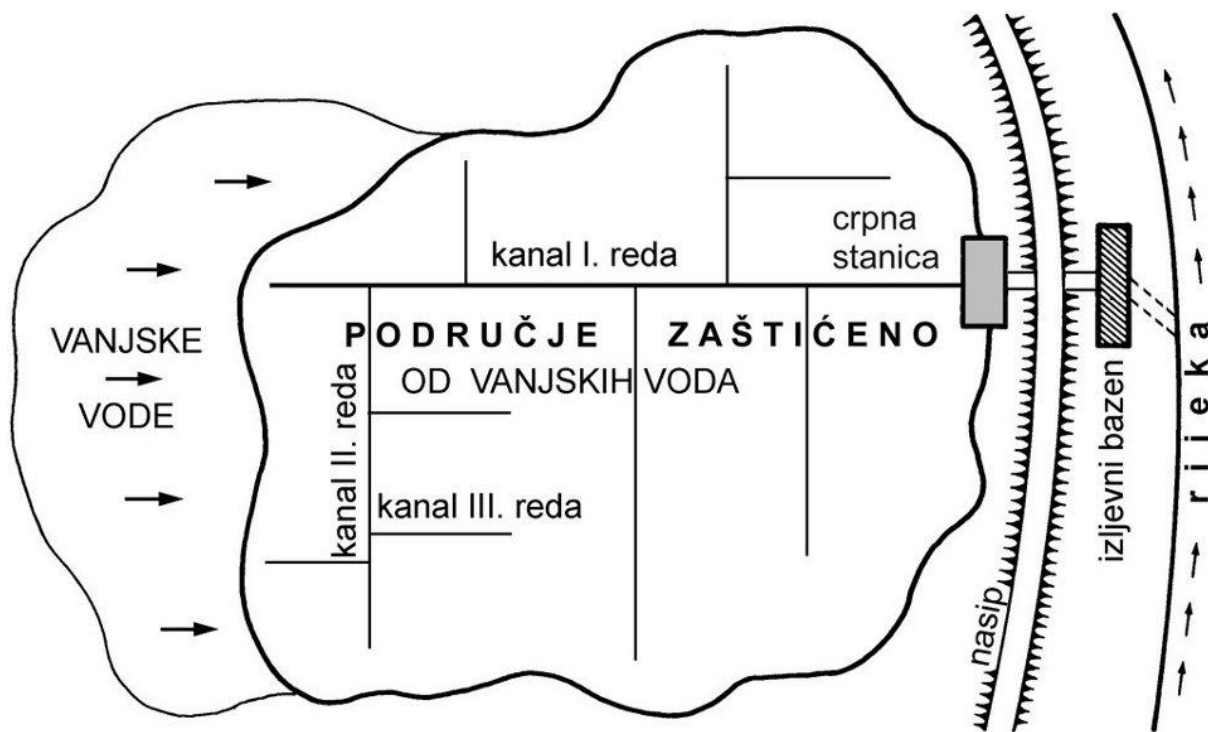
Slika 1.1 Primjer odvodnje viška vode

## 2. MREŽA KANALA ZA ODVODNJU

U mnogim slučajevima zadovoljavajuće hidrološko uređenje tla bit će moguće postići mrežom otvorenih kanala koji se sastoji od osnovnog i detaljnog sustava. U teškim tlima sitne teksture površinske vode nisu uvijek i glavni problem odvodnje, već je to sniženje zasićenja tla i razine podzemne vode. Tada je odvodnja nužna ne samo sa površine tla nego i na određenoj dubini (ispod žilnog sustava), što je moguće efikasno postići kombiniranom mrežom za površinsku i podzemnu odvodnju (drenaža). To su česti slučajevi u gotovo svim aluvijalnim dolinama uz vodotoke. Dakle, sustav za odvodnjavanje može biti:

- površinski
- podzemni i
- kombinirani (najčešći).

Mreža većeg hidromelioracijskog sustava se sastoji od glavnog sabirnog kanala koji uzduž toka prima veći broj sekundarnih kanala, oni pak tercijarne itd.

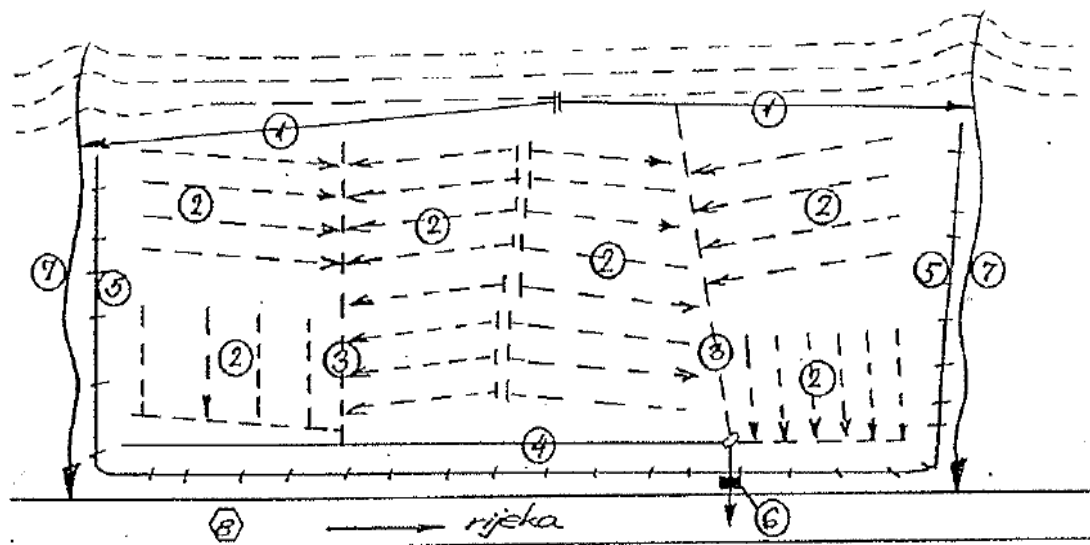


Slika 2.1 Mreža hidromelioracijskog sustava odvodnje

Osnovna odvodna mreža je sastavljena od otvorenih kanala s tokom sa slobodnim vodnim licem. Po pravilu, ti se kanali ne oblažu, iskopani su u materijalu polja i najčešće su trapeznog

oblika. Detaljna mreža prikuplja vodu direktno s obrađenog poljoprivrednog tla i predaje je u kanale. Objekti koji su zajednički svim sustavima za odvodnjavanje su kanali i jarci.

Na slici 2.2 je prikazana skica uobičajene mreže sustava za odvodnju.



Slika 2.2 Mreža odvodnje

- 1- Zaštitni otvoreni kanal u podnožju brda
- 2- Ukopani drenažni kanal
- 3- Kolektor
- 4- Glavni odvodni kanal
- 5- Obrambeni nasip
- 6- Crpna postaja
- 7- Pritok
- 8- Rijeka (glavni prijemnik)

### 3. HIDROLOŠKO – HIDRAULIČKE KARAKTERISTIKE DRENAŽE

Osnovne hidrotehničke veličine koje mora definirati svaki projekt drenaže su:

- razmak i dubina drenova
- specifični protok drenova
- uvjeti toka vode u drenovima.

Da bi smo iste mogli razmatrati potrebno je prethodno podsjetiti se osnovnih pojmova kao što su hidraulički tlak, hidraulički gradijent, propusnost porozne sredine. **Hidraulički tlak** je ukupna energija toka koja se za uvjete tečenja u zasićenoj sredini sastoji od potencijalne i pijezometarske visine, budući da se treći član Bernoullijeve jednadžbe (kinetička energija) zanemaruje zbog malih brzina tečenja.

**Hidraulički gradijent** ili hidraulički pad je razlika hidrauličkih tlakova dvaju razmatranih točaka, podijeljena međusobnim razmakom koji se mjeri po liniji toka. Svaka čestica vode u zasićenoj sredini ima određenu vrijednost hidrauličkog tlaka. Ako sve točke istog tlaka spojimo krivuljom ili plohom, dobit ćemo ekvipotencijalnu krivulju, odnosno ekvipotencijalnu površinu. Tečenje vode se zbiva u smjeru najvećeg pada, odnosno okomito na ekvipotencijalnu površinu. Na površini razine podzemne vode komponenta tlaka  $P/\gamma$  jednaka je nuli, pa je ukupan tlak jednak geodetskoj visini  $z$ . Kod malih vrijednosti hidrauličkog gradijenta može se uzeti da je on jednak nagibu površine podzemne vode. Kod izotropnih tala, tj kod tala koja imaju jednaku hidrauličku provodljivost u svim smjerovima, linije toka će se poklapati s pravcem sila hidrauličkoga gradijenta i biti okomite na ekvipotencijalnu plohu .

**Hidraulička provodljivost** ili koeficijent filtracije po Darcyju određuje kvantitativnu veličinu vodopropusnosti i obično se označava slovom  $k$ . Darcyjev zakon glasi :

$$v = -k \cdot i \quad [m/s]$$

pri čemu je:

$v$ - efektivna brzina u odnosu na ukupnu poroznu površinu – hidraulička provodljivost  $k$  ima dimenziju brzine (bezdimezionalan broj),  
 $i$  – hidraulički gradijent,

$$i = \Delta H/L$$

Međutim, Darcyeva jednadžba mogla bi se dosljedno primijeniti za proračun drenova kad bi se mogle prikupiti sve podloge koje definiraju režim toka. Budući da je to nemoguće, pribjegava se uvođenju određenih pretpostavki i pojednostavljenja.

Teorija horizontalnog dotoka vode u drenove temelji se na pretpostavci

- da su linije toka horizontalne i da su brzine uzduž tih linija proporcionalne padu slobodne površine i neovisne o dubini propusnog sloja
- da je tok vode stacionaran i
- da priliv vode dolazi iz oborina.

Po njima se mogu izračunati intenzitet oborine koja ulazi u tlo i razmak između kanala (Pronalazak ovog postupka se pripisuje različitim autorima npr. Colding, Rothe, Kozenyev i dr.)

Radijalni tok vode u dren polazi od pretpostavke da su ekvipotencijalne krivulje kružnice sa središtem u osovini drene i da se ukupan dotok dijeli u gornji dio koji predstavlja horizontalnu komponentu i donji (ispod ravnine drene) koji predstavlja radijalnu komponentu.

Ako dren ne seže do nepropusnog sloja, linije toka neće biti ni paralelne ni horizontalne, već će radijalno konvergirati drenu. Tada se tečenje ne može aproksimirati horizontalnim tokom zbog većeg odstupanja. Radijalni tok produžuje linije toka, povećava hidrauličke gubitke, te povećava brzinu vode u blizini drene. Zato je razina vode na utoku u dren za iste uvjete viša kod cijevne drenaže nego kod otvorenog rova. Hooghoudt (1940) je izradio jednadžbu toka u kojoj je polje dotoka podijelio na horizontalni i radijalni tok. Kombinaciju ova dva toka je analitički riješio Kirkham 1958.godine. Ernst je razradio metodu proračuna za dvoslojnu sredinu. Njezina prednost, u usporedbi s ostalim metodama, jest to što granica između slojeva različite propusnosti može biti iznad i ispod razine drenova. Vrlo je podesna kada je gornji sloj puno manje propustan od donjega. Slično kao Hoodghoutova formula i Ernstova se sastoji od zbroja hidrauličkih tlakova različitih komponenata na koje može biti shematski raščlanjen tok prema drenu. Prema Ernstovoj metodi proračun za razmak drenova može se provesti direktno analitički ili pomoću nomograma. Analitički obračun se obično provodi po fazama.

## 4. PLANIRANJE I PROJEKTIRANJE ODVODNIH SUSTAVA - OSNOVNI PRINCIPI IZRADA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

Potrebe realizacije plana odvodnje obično se pojavljuju zajedno sa programom razvoja ostalih grana i djelatnosti u suvremenim planovima razvoja nekog područja. To se osobito odnosi na obranu od poplava, vodoopskrbu, poljoprivredu i infrastrukturu i drugo. Vrste stupanj i opseg tehničke dokumentacije variraju ovisno o situaciji odnosno kompleksnosti zadatka. No općenito ona se može podijeliti (prema domaćoj terminologiji i zakonodavstvu) u tri faze:

- idejna studija
- idejni projekt
- glavni (izvedbeni) projekt.

**Idejna studija** treba odgovoriti na osnovna pitanja o izvodivosti predloženog projekta sa tehničkog i ekonomskog stajališta. Ona mora odgovoriti na ova pitanja:

- koja će se površina/površine uključiti u plan odvodnje
- koje se prednosti/nedostatci mogu očekivati promjenom stanja
- koje su sve moguće varijante razvoja
- koje su tehničke i organizacijske mjere moraju poduzeti za ostvarivanje predloženih varijanti
- koji se ekonomski i socijalni efekti mogu očekivati od svake predložene varijante?

Obrada ove dokumentacije temelji se na:

- aerofotogrametrijskim snimkama
- svim vrstama karata (topografskih, geoloških, pedoloških...)
- podacima o tlu i istraživanju tla, podzemnim vodama, klimi, usjevima dr.

Bitan dio idejne studije je izrada karte područja koje se odvaja s međom melioracijskog područja i granicom glavnog i svih parcijalnih slivova. Također je važno analizirati hidrološke karakteristike područja. Izradom studije ili tehničkog izvještaja prikazat će se svi važni podaci o tom problemu te dati alternativna rješenja. Proračun troškova će biti izražen po jedinici površine ili dužine i bit će temeljen na iskustvenim podacima.

**Idejni projekt** s pripadnim investicijskim programom izrađen na osnovi prikupljenih i obrađenih podloga i terenskih predradnji navedenih u studiji, detaljniji je od idejne studije.

On je detaljno razrađen da bi se što točnije izradio predračun troškova. Troškovi građenja i pripadni račun rentabilnosti moraju biti izrađeni na osnovi stvarnih količina radova uz mjerodavne lokalne cijene. Idejni projekt s pripadnom ekonomskom dokumentacijom mora odgovoriti na tri pitanja:

- kakav se sustav mora graditi,
- do kojeg stupnja treba taj sustav sagraditi i koje su dimenzije pojedinih elemenata u njemu
- kako se koristiti sustavom, odnosno potrebno je propisati pravila upotrebe.

Faza **glavnog projekta** obrađuje odabranu alternativu. Prije početka njegove izrade treba donijeti odluku o gradnji i osigurati potrebna sredstva . Glavni projekt čine detaljni nacrti objekata, a na temelju njih i definitivan predračun radova na temelju stvarnih dokaznica mjera i analiza cijena. Ovisno o veličini sustava i objekata mjerila crteža variraju, pa tako situacioni nacrt se izrađuje u mjerilima od 1:10 000 do 1:2 500, a nacrti objekata u mjerilu od 1:50 do 1:200.

U procesu planiranja i projektiranja odvodnih (i dovodnih) sustava nužno je dakle ;

- proučiti i analizirati hidrološke i meteorološke podloge,
- analizirati oborine
- izvršiti određivanje evapotranspiracije
- izvršiti hidropedološka istraživanja
- izvršiti ostala eventualna potrebna istraživanja...

**Analiza oborina** je određivanje mjerodavnih protoka za dimenzioniranje nekog odvodnog sustava. Svugdje gdje je to moguće protoke treba odrediti direktnom metodom, tj. mjerenjem na vodotoku koji je predmet razmatranja. Ako to nije moguće pribjegava se indirektnoj metodi.

**Evapotranspiracija** je kombinirani efekt isparavanja vode s površine vlažnog zemljišta, kao i sa lisne površine biljke. Ona ovisi o brojnim meteorološkim, fizičkim i biološkim faktorima a za njezino određivanje koriste se brojne metode. U sklopu analize vodne bilance melioracijskog područja pojavljuju se dva pojma:

- potencijalna evaporacija je moguća količina vodene pare koju određeno područje može prenijeti u atmosferu uz svoje meteorološke uvjete;

- stvarna evaporacija je količina vodene pare koju to područje isporučuje u atmosferi, što ne ovisi samo o meteorološkim uvjetima već i o raspoloživoj količini vode te sposobnosti bilja da vodu izvuče iz tla.

**Hidropedološka istraživanja** opisuju potencijalne mogućnosti tla. Ovisno o mogućnosti plodnosti i upotrebljivosti tla, planirat će se adekvatni radovi za hidromelioracijske radove. Pitanja na koja ta istraživanja trebaju odgovoriti su:

- gdje se pojavljuje višak vode
- u koje se doba godine pojavljuje višak vode
- koja područja imaju zaslanjena tla i da li je tome uzrok višak površinske ili podzemne vode
- koje su osnove topografske karakteristike područja i da li je projekt odvodnjavanja izvodljiv
- kako će odvodnja utjecati na karakteristike i plodnost tla.

Osnovni sustavi odvodnje su otvoreni kanali, drenaža i kombinirana odvodnja. Osim toga, sustav odvodnjavanja obuhvaća crpne stanice, mostove, propuste, ustave i ostale hidrotehničke građevine. Detaljni sustav za odvodnjavanje neposredno prima višak vode s obrađenih površina i predaje je osnovnom sustavu .

*Otvoreni kanali* uglavnom se izrađuju za prikupljanje površinskih voda, koje se slijevaju po površini tla do parcelnih kanala (kanali IV. reda). Iz njih se voda provodi kanalima III., II., i naposljetku I. reda, kojim se odvodi iz poljoprivrednog područja. Uglavnom su trapezna profila s nagibom pokosa od 1 : 1 do 1 : 2, a izmjere im ovise o predviđenome protoku i redu kanala. Razmak parcelnih kanala je od 150 do 500 m, a u nekim slučajevima i manji od 150 m.





Slika 4.1 Otvoreni kanal

Danas se općenito smatra da drenovi imaju određene prednosti pred otvorenim odvodnim jarcima. Međutim otvoreni kanali mogu dobro poslužiti kao hvatala jednostavnog drenskog sustava. Drenaža (cijevna s ukopanim drenažnim cijevima, ili krtična s podzemnim rovovima) upotrebljava se za reguliranje viška vode u tlu, odnosno za sniženje previsoke razine podzemne vode (drenaža). Kombinirana odvodnja izvodi se radi reguliranja površinske i podzemne vode, te vodozračnoga režima u tlu.

Kombinirani mogu biti:

- otvoreni kanali s cijevnom drenažom;
- otvoreni kanali s krtičnom drenažom;
- cijevna i krtična drenaža;
- otvoreni kanali s cijevnom drenažom i podrivanjem tla;
- otvoreni kanali s oranjem na slogove.

## 5. TIPOVI ODVODNJE I NAVODNJAVANJA

### 5.1. ODVODNJA OTVORENOM DRENAŽOM

Otvoreni kanali i cijevna drenaža primjenjuju se na površinama na kojima je potrebno regulirati površinsku vodu i vodozračni režim u tlu.

Prednosti otvorene mreže su:

- mogu služiti za prihvata podzemnih i površinskih voda
- minimalan pad potreban za normalan odvod vode je u prosjeku manji kod jarka nego kod podzemnih drenova
- jednostavno se nadziru.

Nedostatci otvorene mreže su:

- velik gubitak tla , osobito na zemljištu gdje je za stabilnost potreban veći nagib pokosa,
- množenje i rast vegetacije i erozija, što iziskuje čišćenja i poskupljuje održavanje,
- stvaranje teškoća u unutrašnjem saobraćaju i obradi zbog većeg broja manjih parcela.

Otvoreni kanali i krtačna drenaža uglavnom se primjenjuju na težim tlima, tj. ondje gdje je, uz reguliranje suvišne površinske vode, potrebno urediti vodozračni režim i vodopropusnost tla. Najintenzivniji način uređenja vodozračnoga režima poljoprivrednih površina postiže se kombinacijom otvorenih kanala s cijevnom drenažom i rahljenjem tla. Sustav otvorenih kanala s oranjem na slogove primjenjuje se na težim tlima koja imaju nedovoljan pad i višak površinske vode. Slogovi su u obliku izduženih uzvisina, a mogu biti različite širine (najčešće 20 do 40 m). Pad im iznosi do 4%, kako bi se površinske vode što prije odvele u otvorene kanale. Ukoliko jarci služe kao hvatala razmak je među njima obično 200-500 m. Ako je poznat protok, zahtijevana razina vode i vrsta zemljišta, dimenzije jaraka određuju se kao i dimenzije kanala osnovne sabirne mreže. Takve dimenzije bit će u pravilu mnogo manje. Uobičajene dimenzije jaraka u funkciji hvatala podzemnih drenova su:

- širina dna 0,40-0,60 m
- dubina 0,40 – 0,50 ispod ispusta drena, tj. ukupna dubina je 1,40 – 1,80 m
- nagib pokosa ovisi o vrsti materijala npr.
  - a) za čvrstu glinu 1:0,5
  - b) za pjeskovito tlo 1:1
  - c) za nestabilni materijal 1:1,5.

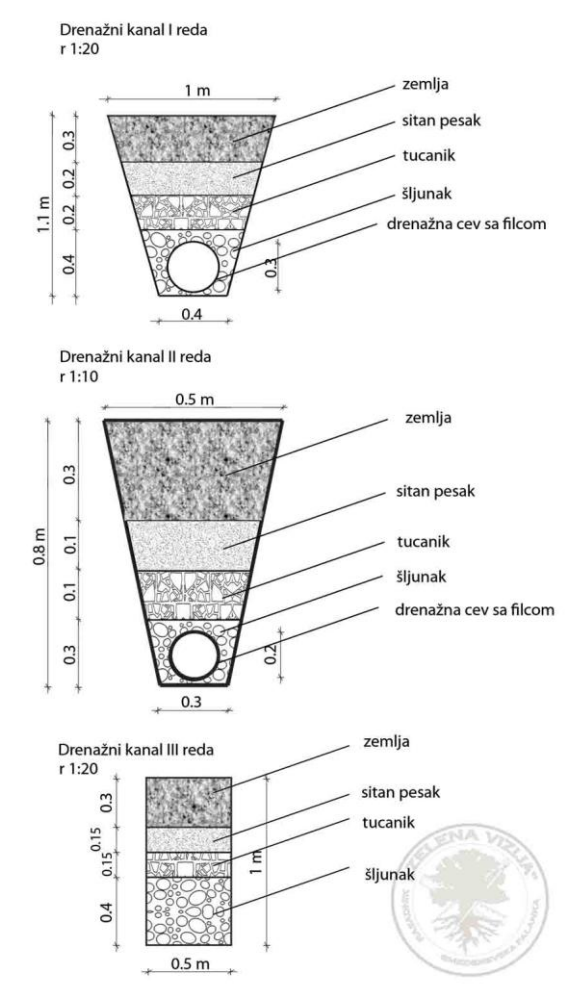
## 5.2. ODVODNJA PODZEMNOM DRENAŽOM

Pri projektiranju cijevne drenske mreže osnovni elementi koje treba odrediti su:

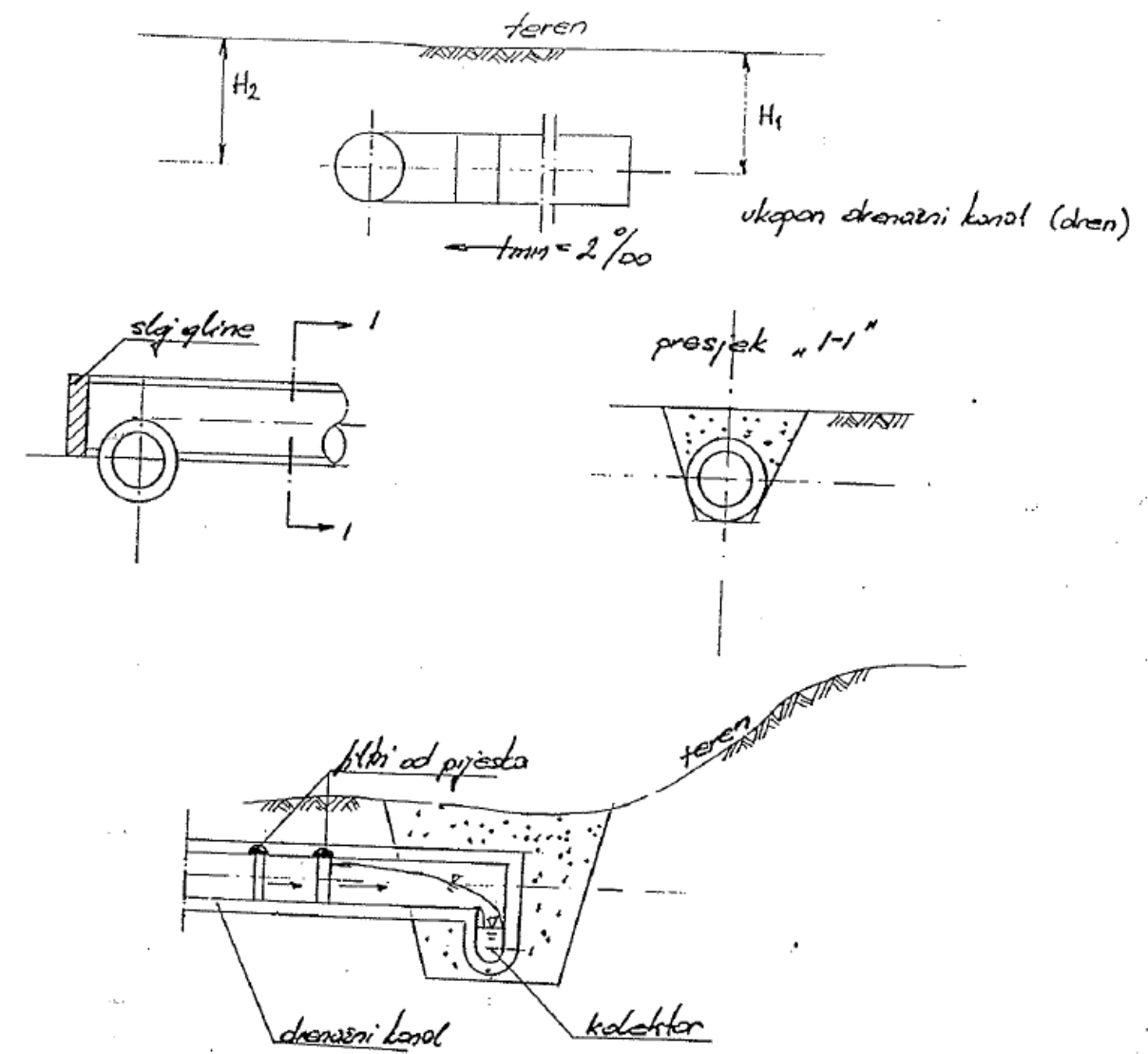
- razmak i dubina drenova, čime se postiže traženo sniženje razine podzemne vode,
- polumjer i pad drenova, čime se osigurava adekvatno evakuiranje vode koja pritiče u drenove
- izbor tipa drenske mreže koja odgovara postojećoj topografiji terena.

Proračun promjera i pada drena može se provesti uz različito pretpostavljen režim toka (jednolično tečenje, nejednolično tečenje, smanjenje kapaciteta zbog taloženja mulja, povećanjem promjera zbog povećanja protoka u smjeru toka).

Pri izvedbi cijevnih drenova treba nastojati da se postigne željeni efekt polaganja s najmanjim opsegom zemljanih radova.



Slika 5.1 Drenažni kanali-presjek



Slika 5.2 Denažni kanali

Ručno polaganje cijevnih drenova obično zahtijeva relativno velike zemljane radove za iskop rovova. Iza 60-tih godina 20. stoljeća, naglo se povećala upotreba strojeva za postavljanje cijevne drenske mreže. Danas se upotrebljavaju specijalni drenopolagači, koji na sat mogu položiti 2000 do 8000 m drenova.

Dubina i nagib nivelete drena, najčešće se kontrolira uređajem na osnovi laserskih zraka. Prednosti ovakva dreniranja su:

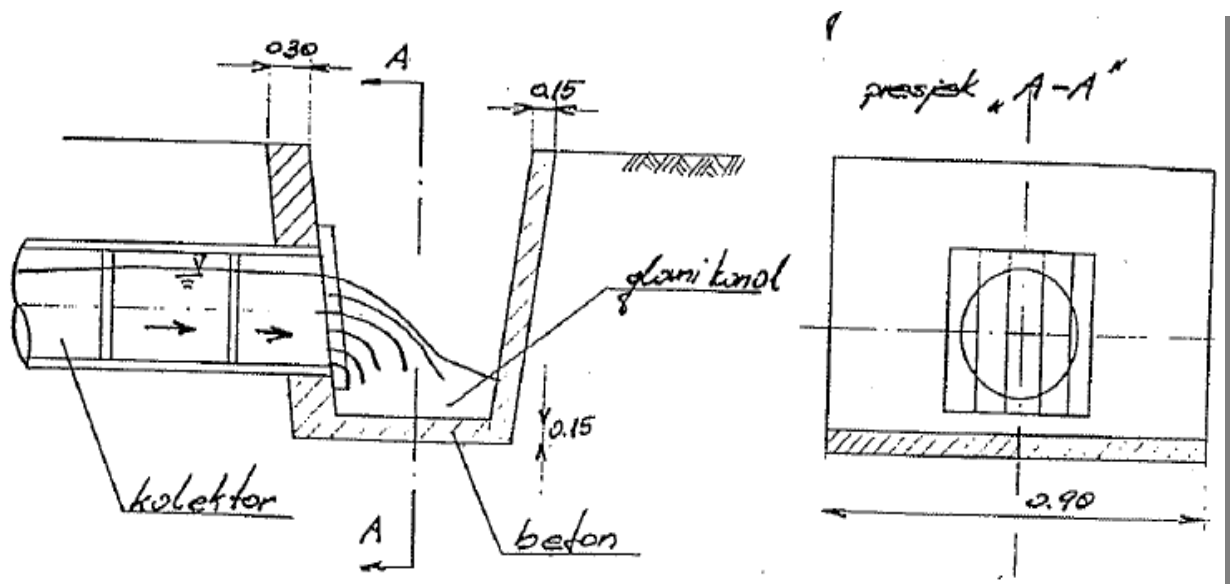
- relativno jednostavan stroj,
- mogućnost korištenja traktora,

- brzina kretanja je veća od brzine rovokopača, tj. efektivno polaganje drenskog cjevovoda je 600-700 m/sat.

Nedostatci ovakva dreniranja su:

- Što je zemljište pjeskovitije potrebna je veća vučna snaga stroja.
- Zbijanje zemljišta u okolišu drena, kao i mogućnost ugradnje filtarskog sloja, izuzevši montiranog na samoj cijevi.

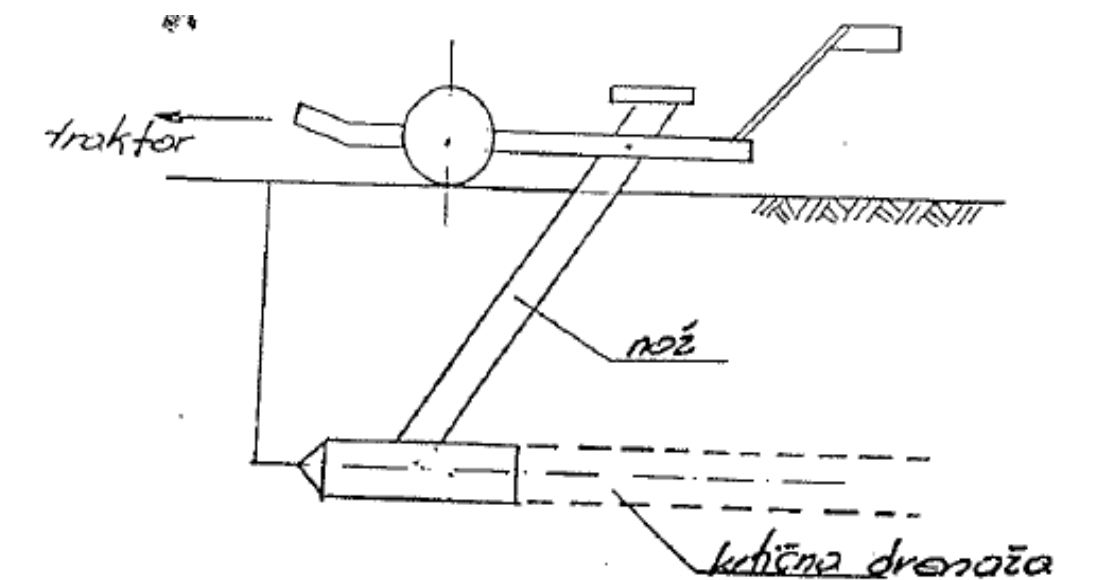
Na sl. 5.3 prikaz je (u presjeku) mjesta gdje voda ulazi u glavni kolektor:



Slika 5.3 Glavni kolektor - presjek

Rovovi krtične drenaže izvode se svakih 2 do 5 godina plugom krtičnjakom. Zemljani (krtični) dren, zapravo je podzemni necijevni dren izrađen posebnom vrstom pluga na relativno maloj dubini. Najčešće se koriste kao sekundarni a promjer im je 5 do 10 cm. .

Na slici 5.4 je prikazana drenaža izvedena tako da se u otvor traktora uvlači polietilenska cijev ili se ona vuče iza valjka kojom će prilikom oranja nastati brazde u zemlji. One će omogućiti tzv. krtičnu drenažu.



Slika 5.4 Izrada zemljanog drena

Danas je velik broj tipova plugova za izradu zemljanih drenova. Iz slike 5.4 je vidljivo da su osnovni dijelovi takva pluga: radni cilindar sa zašiljenim vrhom na koji se nastavlja ekspander-kugla ili valjak nešto većeg promjera od cilindra koji „glača“ izrađeni otvor. Radni cilindar je spojen na vertikalni nož-nosač, tzv. „crtalo“, koje je priključeno na traktorsku vuču.

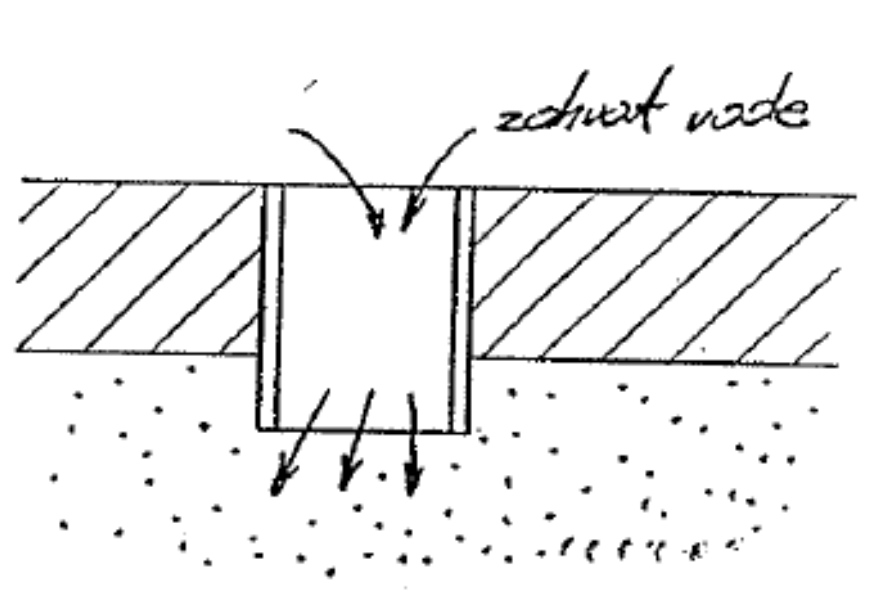
Pri izradi tog drena treba imati na umu da redovito nije moguće za vrijeme rada podešavati dubinu drena, pa se preporučuje prije početka tih radova dobro isplanirati površinu tla. Važno je da stanje vlažnosti tla bude povoljno za izvođenje radova. Ako je vlažnost tla prevelika, zemljište u okolici drena neće se rahliti ni raspucati, što nepovoljno utječe na dotjecanje vode u dren. Ako je tlo presuho, pukotine će biti preguste i prevelike pa će se dren brzo začepiti.

Dakle, zemljani dren traje relativno kratko, a ovisi o kvaliteti izvedbe i vrst tla u kojem je sagrađen.

### 5.3. ODVODNJAVANJE OKOMITOM DRENAŽOM

Okomita drenaža. je relativno novija metoda sniženja razine podzemne vode , crpljenjem iz bunara, a koristi tamo gdje ne postoje uobičajeni uvjeti za površinsku odvodnju vode (zatvorena dolina, rijeka udaljena od površine). Vertikalna drenaža u odnosu na gravitacijski tip ima sljedeće prednosti:

- Gradnja sustava površinske odvodnje kod razvijenije topografije (valovito tlo) s čestim lokalnim depresijama zahtijeva velike zemljane radove i skupu odvodnu mrežu te nameće teškoće pri organizaciji obrade tla. Sustav vertikalne drenaže uz odvod suvišne vode cjevovodima **isključuje najveći dio svih neprilika i ograničenja.**
- Troškovi održavanja cijevne mreže mogu biti bitno niži od troškova održavanja otvorene detaljne i osnovne odvodne mreže.
- Tom metodom može se mnogo više sniziti razina podzemne vode nego površinskom mrežom, što omogućuje veću akumulaciju viška vode u tlu.
- Ako se na dubiti 5 ili više metara pojavljuju propusniji slojevi nego na površini i ako su zasićeni vodom, onda se takvo područje kvalitetno može odvodnjavati samo vertikalnom drenažom.
- Ako je drenirana voda dobre kvalitete, može se upotrijebiti za natapanje.



Slika 5.5 Bunar

Mane vertikalne odvodnje su:

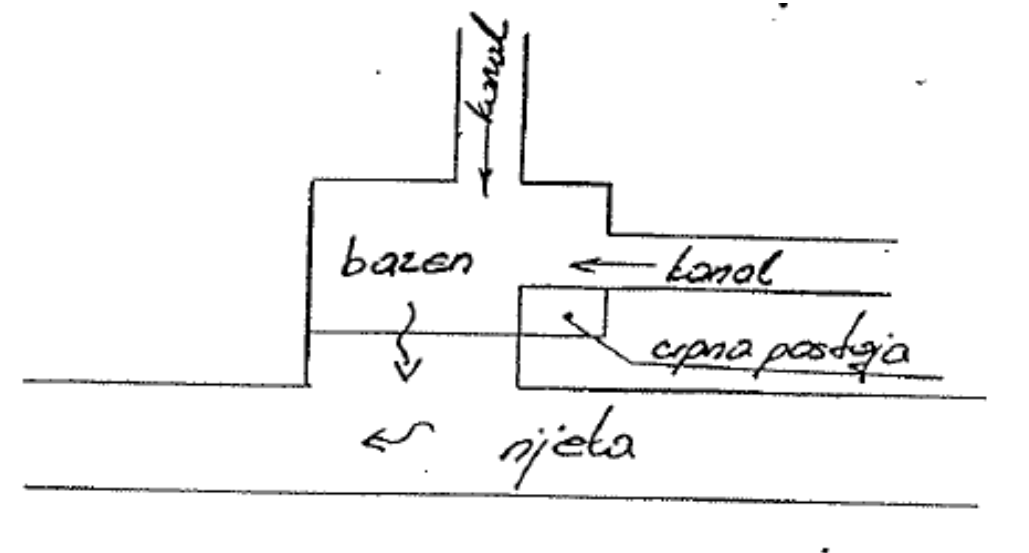
- Skupoća i složenost gradnje bunara u odnosu na sustav površinske ili podzemne odvodnje.
- Pogon takve mreže zahtijeva značajan trošak energije, što poskupljuje proizvodnju.
- Nasuprot gravitacijskom tipu, odvodnja vertikalnom drenažom nije podesna za male hidromelioracijske sustave, jer se tada crpi i značajan dio vode iz okolnih-obodnih površina.
- U područjima gdje su moguće obilne oborine, odnosno gdje su u određenim razdobljima godine oborine intenzivne, ovaj način odvodnje neće biti rentabilan jer će se zahtijevati gusta mreža bunara.
- Vertikalna se drenaža može rentabilno primijeniti samo kad hidrogeološke prilike u podzemlju osiguravaju njezinu kvalitetnu primjenu.
- Ova metoda nije ni ekonomski ni tehnički izvodljiva u područjima gdje je arteški tlak vode jak.

U pravilu, za primjenu vertikalne drenaže nužno je da debljina propusnog vodenog sloja bude veća od 15 m, koeficijent filtracije veći od 5m/dan, a specifična izdašnost jednaka ili veća od 100 m<sup>2</sup>. Uz sustav vertikalne drenaže koji naizmjenično služi za odvodnjavanje i natapanja potrebni su još npr. tlačni cjevovodi, crpne stanice, sabirni bazeni i vodospreme, agregati za natapanje i drugo.

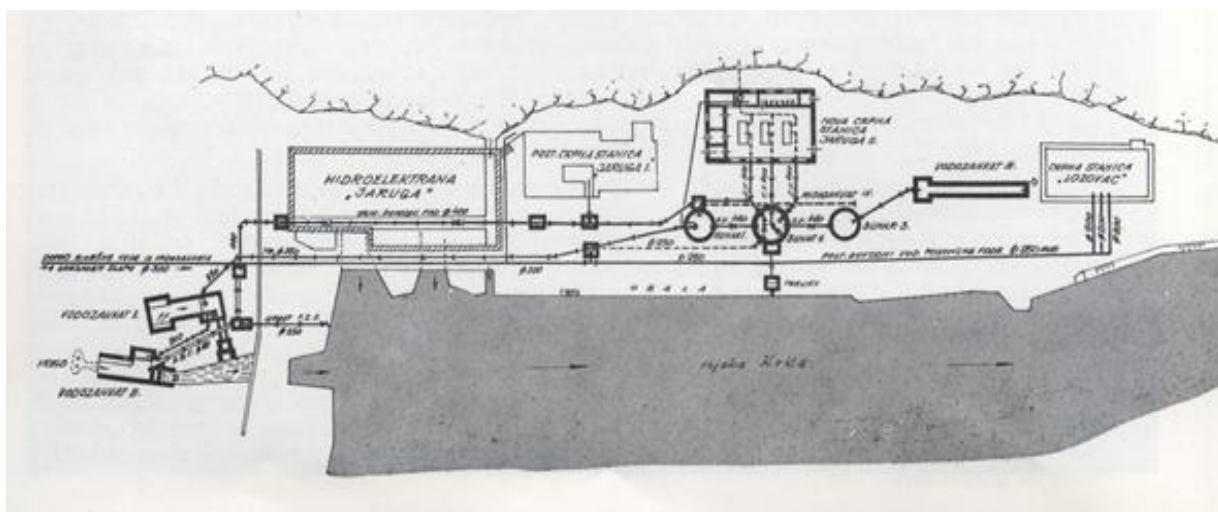
#### **5.4. CRPNA POSTAJA**

Kada je odvodnjavano područje niže od prijemnika, tada se ispuštanje obavlja preko crpnih postaja





Slika 5.6 Skica crpne stanice



Slika 5.7 Izvorište "Jaruga" s vodozahvatima I, II, III, IV, bunarima 1, 2, 3, spojnim vodovima i crpnim stanicama "Jaruga I i II"



Slika 5.8 Crpna stanica "Jaruga I" s dogradnjom

## 5.5. NAVODNJAVANJE

**Natapanje (irigacija, navodnjavanje)** je melioracijsko-agrotehnička mjera kojom se, u razdoblju nedostatnih oborina, voda umjetno dodaje tlu kako bi se osigurao visok urod poljoprivrednih kultura. Za natapanje se upotrebljava voda iz vodotoka, jezera, akumulacija i podzemna voda.

Osnovni načini natapanja su:

- površinsko (prelijevanje, plavljenje i natapanje u brazdama ),
- podzemno,
- natapanje kapanjem
- natapanje kišenjem.

Navodnjavanje je melioracijski postupak kojim se voda dodaje u tlo u razdoblju kad je nema dovoljno, odnosno kad je uzgajane biljke nemaju dovoljno za normalan rast i razvoj. U aridnim područjima pojavljuje se stalan nedostatak vode za uspješan uzgoj većine poljoprivrednih kultura, pa je tamo navodnjavanje prijeko potrebno. U područjima s dovoljnim ali nepovoljno raspoređenim oborinama potrebno je dopunsko navodnjavanje. Na približno 55% od površine kontinenta na Zemlji prosječne su godišnje oborine manje od 500mm (aridna i semiridna područja) , pa pokazuje koliku bi površinu trebalo navodnjavati. Primjenom navodnjavanja, naime, mogu se postići viši, stabilniji i kvalitetniji prinosi poljoprivrednih kultura. Površinsko natapanje najstariji je sustav. Kod njega se razlikuju: prelijevanje, plavljenje i natapanje u brazdama.

### **Potrebna voda**

Voda je potrebna biljkama radi evapotranspiracije. Evapotranspiracija se može odrediti eksperimentalno ili indirektnim metodama na osnovi klimatskih elemenata. Eksperimentalni postupak, međutim, nije jednostavan zbog potrebe opreme i održavanja točno određenih uvjeta tokom eksperimenata. Zbog toga se najčešće primjenjuju indirektno metode koje uzimaju u obzir temperaturu zraka, deficit vlažnosti zraka, veći broj klimatskih elemenata, te klimatske elemente s koeficijentom pojedinih kultura.

### **Raspoloživa voda**

Voda u tlu koja je na raspolaganju biljkama tokom vegetacije potječe od:

- vode koja se nalazila u tlu na početku vegetacije,
- vode od oborina i
- podzemne vode koja se kroz kapilare tla podigla od vegetacijske zone.

Prema tome raspoloživa je voda (mm)

$$P = r + h + w$$

gdje je

**r** (mm) - rezerva vode u tlu na početku promatranog razdoblja,

**h** (mm) – razina korisne oborine koje je upilo zemljište,

**w** (mm) - voda koja je kroz kapilare dospjela u vegetacijsku zonu.

Raspoloživa voda određuje se za vegetacijsko razdoblje ili za mjesec, pa se na promatrano razdoblje odnose i vrijednosti za  $h$  i  $w$ . Postoje, međutim, teškoće da se precizno odredi raspoloživa količina vode, pogotovo je teško točno odrediti korisne oborine i utjecaj podzemne vode.

Norma navodnjavanja je ukupna količina vode koju treba dodati tlu navodnjavanjem u vegetacijskom razdoblju.

### **Uvjeti za primjenu navodnjavanja**

Za uspješnu primjenu navodnjavanja potrebno je da se ispunjeni klimatski i pedološki uvjeti, da je uređen vodni režim, da je uređeno zemljište i da je osiguran izvor kvalitetne vode. Proizvodne površine moraju biti branjene od poplavnih voda i mora postojati sustav odvodnje suvišnih vlastitih voda. Osim toga, potrebno je oblikovati proizvodne jedinice atlas izravnanim površinama. Izbor poljoprivrednih strojeva, način obrade i gnojidbe, vrste poljoprivrednih kultura i načina uzgoja treba prilagoditi uvjetima navodnjavanja.

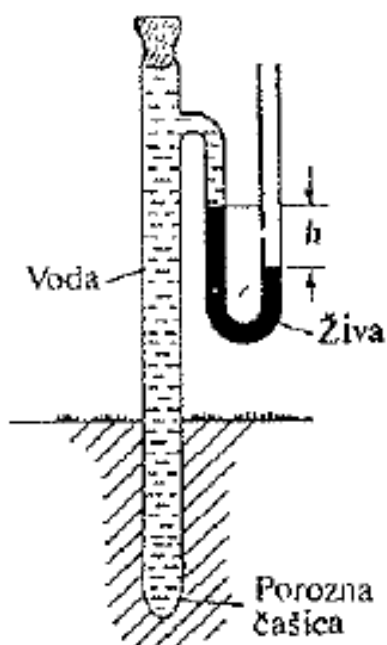
### **Mjerenje vlažnosti tla**

Osnova je za racionalno navodnjavanje. Vlažnost tla se mjeri u prvom redu na dubini na kojoj se nalazi najaktivniji dio korijena. Točnije stanje vlažnosti tla dobiva se ako se mjeri u području glavne mase korijena, i to na svakih 10 cm dubine. Na temelju tih mjerenja određuje se početak i obrok navodnjavanja (količina vode koja se dodaje jednokratnim navodnjavanjem). Vlažnost se najjednostavnije i najbrže mjeri na polju. Postoje instrumenti za neposredno i posredno mjerenje vlažnosti. Za neposredno mjerenje vlažnosti služe tenzometri, dok se posredno mjerenje osniva na mjerenju električnog otpora tla.

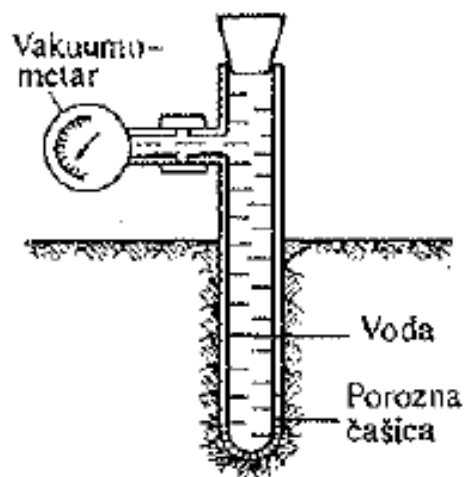


Slika 5.9 Tenzometri za namakanje

Postoje tenzometri sa živom i vakumometrom. Njima se mjeri napetost u kapilarnom prostoru tla. Tenzometar se sastoji od staklene ili metalne cijevi koja na dnu ima poroznu čašicu od keramičkog materijala. Prilikom postavljanja tenzometra u tlo porozna čašica mora biti u neposrednom kontaktu s tлом. Kad se cijev postavi u tlo, ona se napuni vodom i na vrhu se hermetički zatvori. Kad se tlo suši, u njemu se napetost povećava, pa voza iz tla prodire u čašicu. Obrnuto je kad se povećava vlažnost tla, pa tada voda iz čašice prodire u tlo. Zbog toga raste, odnosno smanjuje se tlak u cijevi koji se registrira kao razlika razine žive u cijevi oblika slova U ili kao položaj kazaljke vakumometra. Tenzometrima se mogu mjeriti tlakovi od 0,09 Mpa.



Sl. 31. Tenzionetar sa živom za mjerenje vlažnosti tla



Sl. 32. Tenzionetar s vakuumometrom za mjerenje vlažnosti tla

Slika 5.11 Tenzometri za mjerenje vlažnosti tla

## 5.6. METODE NAVODNJAVANJA

U praksi se provodi nekoliko različitih metoda navodnjavanja i to;

- površinskim natapanjem,
- kišenjem,
- subirigacijom i
- kapanjem.

Da bi smo odabrali odgovarajuću metodu navodnjavanja moramo, dakle uzeti u obzir potrebnu i raspooživu vodu na području koje treba meliorirati , vlažnost tla tog područja i dr uvjete.

Pri tom treba znati da odabir primjenjene metode navodnjavanja ovisi i o:

- -vrsti uzgajane kulture,

- svojstvima tla,
- klimatskim uvjetima,
- reljefu terena,
- porijekla vode i
- svrsi proizvodnje

Od površinskih metoda navodnjavanja najviše se primjenjuje navodnjavanje brazdama, dok se preplavlivanje ili potapanje primjenjuje za uzgoj riže.

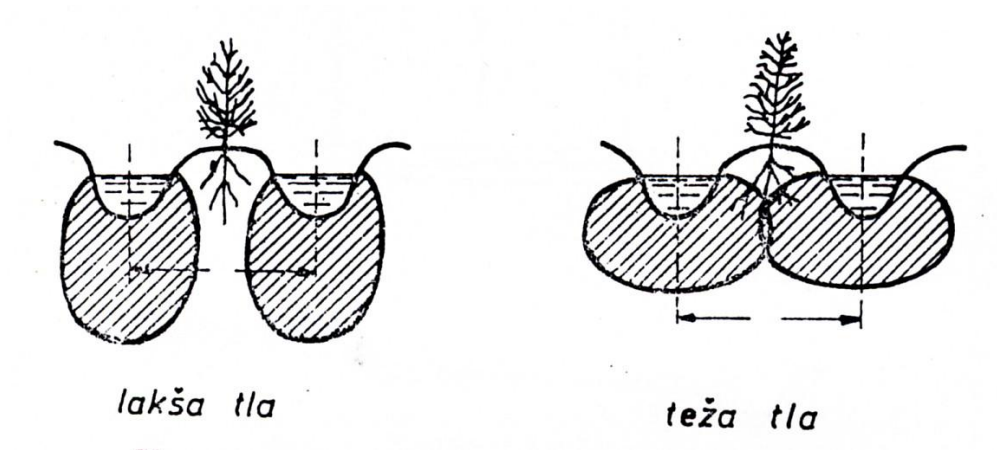
## 5.7. NAVODNJAVANJE BRAZDAMA



Slika 5.12 i slika 5.13 Navodnjavanje brazdama

Natapanje u brazdama je najstariji način navodnjavanja, primjenjuje se u nasadima sađenima u redove (povrće, okopavine, voćnjaci). Voda se pušta u brazde duboke 10 do 20 cm, ovisno o nasadu, razmaknute 60 do 150 cm. Sustav navodnjavanja brazdama sastoji se od dovodnog i razdjelnih kanala, razdjelnih brazda, brazda za natapanje i prenosivih ustavica (provizornih brana). Razdjelne brazde mogu se zamijeniti plastičnim, gumenim ili metalnim cijevima pomoću kojih se voda prebacuje u brazde za natapanje. Sustav se može poboljšati upotrebom prenosivog cjevovoda. Tada se dovodni i razdjelni kanali te razdjelne brazde, ili samo razdjelni kanali i razdjelne brazde, zamjenjuju cijevima. Cijevi su od lakog materijala radi lakšeg prenošenja. Promjer cijevi obično iznosi 15 cm. Cijevi koja zamjenjuju razdjelne kanale i brazde imaju otvore koji se mogu zatvoriti, što omogućuje izbor brazda u koje se

dodaje voda. Prenosivim sustavom cijevi osigurava se bolja raspodjela i kontrola dodavanja vode, smanjuju se gubici vode zbog filtracije, pa se mogu smanjiti i obroci navodnjavanja, omogućuje se navodnjavanje i na neravnim terenima, povećava se obradiva površina jer nisu potrebni stalni kanali i razdjelne brazde, te se poboljšavaju radni uvjeti. Na tlu je tada potrebno samo načiniti brazde za natapanje, a sva se razdjelna mreža kanala i brazda zamjenjuje cijevima.



Manji razmak

Veći razmak

Slika 5.14 grafički prikaz (u presjeku) razmaka između brazdi

## 5.8. PRELIJEVANJE

Prelievanje se primjenjuje na nagnutim terenima, a voda se u tankom sloju pušta preko tla. Dijelovi zemljišta različite veličine i nagiba mogu biti ograđeni niskim nasipom. Intenzitet natapanja određuje se količinom vode te nagibom i duljinom parcele. Na kraju se preostala voda sabire i odvodi plitkim kanalima (brazdama) te ponovno koristi. Metoda je pogodna za kulture gustoga sklopa. *Plavljenje* se također primjenjuje na nagnutim zemljištima, na kojima se niskim nasipima ograde vodoravne, stubaste površine (kasete). Veličina kasete ovisi o nagibu zemljišta. One se pune vodom u sloju od 10-ak cm, a tlo ju lagano upija. Taj se način koristi uglavnom pri uzgoju riže.



## 5.9. NAVODNJAVANJE KIŠENJEM

Kišenje je sustav dovođenja vode cijevima pod tlakom i prskanjem kroz posebne mlaznice, statično ili pokretno raspoređene po oranici. Postoje različita tehn. rješenja, a za uspostavljanje tlaka u mlaznicama potrebna je dodatna energija.



Slika 5.15 i slika 5.16 Plantaže koje se navodnjuju kišenjem

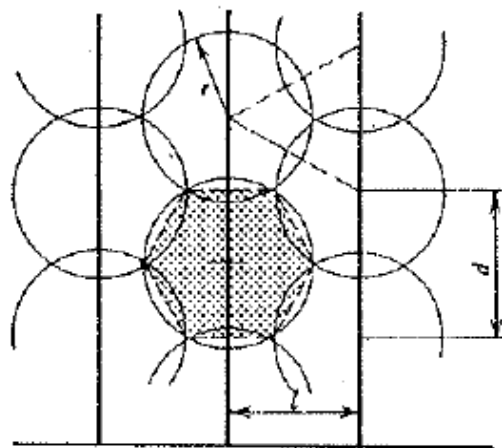
Pri navodnjavanjem kišenjem voda se raspodjeljuje po površini tla u obliku kapljica kao umjetna kiša pomoću rasprskavala. Ta je metoda navodnjavanje jedna od najmlađih, a proširila se poslije drugog svjetskog rata. Mnoge su prednosti navodnjavanja kišenjem:

- moguća je primjena u različitim topografskim uvjetima,
- nepotrebni su ili su potrebni vrlo mali pripremni radovi na zemljištu,
- ne smanjuju se obradive površine,
- moguće je precizno dozirati vodu za navodnjavanje,
- minimalno se pogoršavaju fizikalna svojstva tla,
- mogu se navodnjavati sve vrste tla i u svim fazama razvoja biljaka uz istodobno dodavanje fertilizatora,
- može se primijeniti i kad je visoka razina podzemne vode.

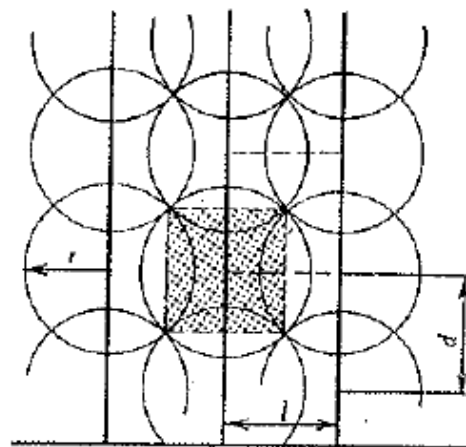
Navodnjavanje kišenjem, međutim ima i nedostataka. To su:

- visoka cijena uređaja,
- visoki pogonski troškovi,
- neravnomjerna raspodjela pri jakom vjetru,

- zrak nad tlom postaje vlažniji, što pogoduje razvoju biljnih bolesti,
- relativno su veliki gubici vode zbog ishlapljivanja,
- teško je prenositi cijevi kad su visoki usjevi.



Sl. 36. Raspored rasprskavala u vrhovima istostraničnih trokuta



Sl. 37. Raspored rasprskavala u vrhovima kvadrata

Slika 5.17 i slika 5.18 Raspored prskanja

## 5.10. PODZEMNO NAVODNJAVANJE (SUBIRIGACIJA)

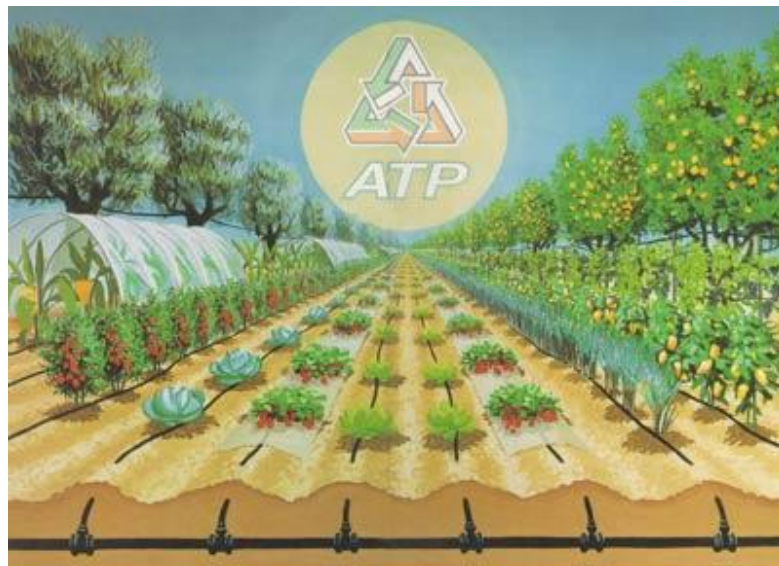
Provodi se dovođenjem vode kroz tlo, pomoću izbušenih cijevi ukopanih u tlo. Razina dodane vode nadzire se otvorenim kanalima. Cijevi se postavljaju na dubinu od 0,5 – 1,5 m. Voda u tlo ulazi kroz rupice ili pore, već prema vrsti cijevi, a u njemu se širi kroz kapilare na sve strane. Što je tlo vlažnije, prima manje vode iz cijevi, a kad je zasićeno vodom, otvara se ventil na kraju cijevi, pa se voda odvodi u odvodni kolektor.



Slika 5.19 Kopanje brazda



Slika 5.20 Polaganje cijevi po brazdama



Slika 5.21 Subirigacija u vrtu i voćnjaku

## 5.11. NAVODNJAVANJE KAP PO KAP

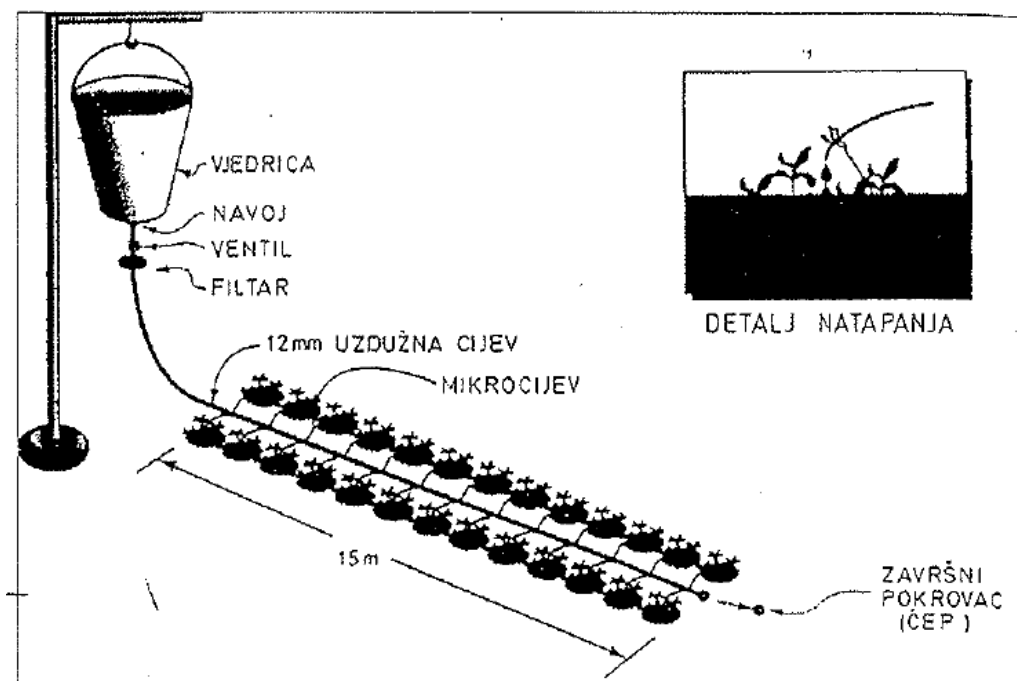
### NAVODNJAVANJE KAPANJEM

“ KAP  
PO  
KAP “

Dovođenje malih  
količina vode svakoj  
biljci pojedinačno.  
Najekonomičnija  
potrošnja vode i energije  
sa najvećim učinkom

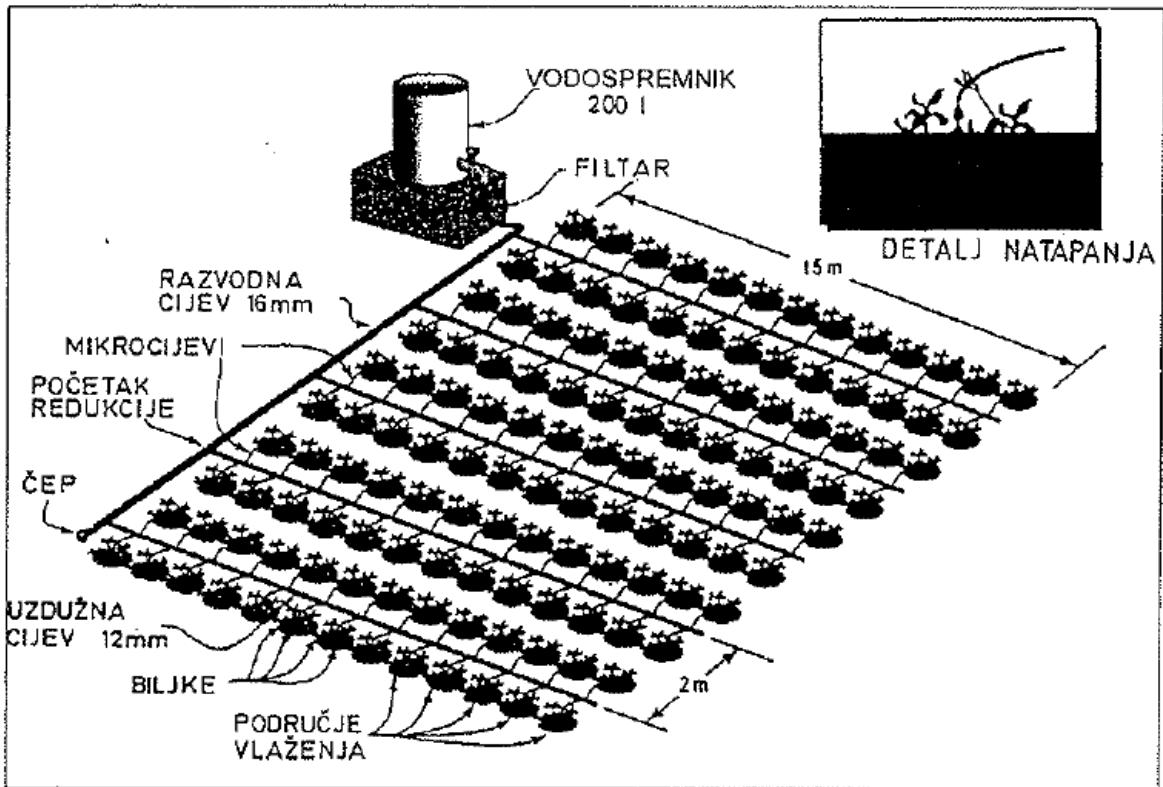


*Natapanje kapanjem* provodi se cijevima, postavljenima uzduž redova nasada. Na cijevima su mali otvori koji lagano, kap po kap, ispuštaju vodu u blizini korijena biljke. To je najekonomičniji način natapanja jer troši najmanje vode, a i tlak je u sustavu nizak pa za njegovo održavanje ne treba dodatna energija. Pogodan je za primjenu u povrćarstvu i voćarstvu.

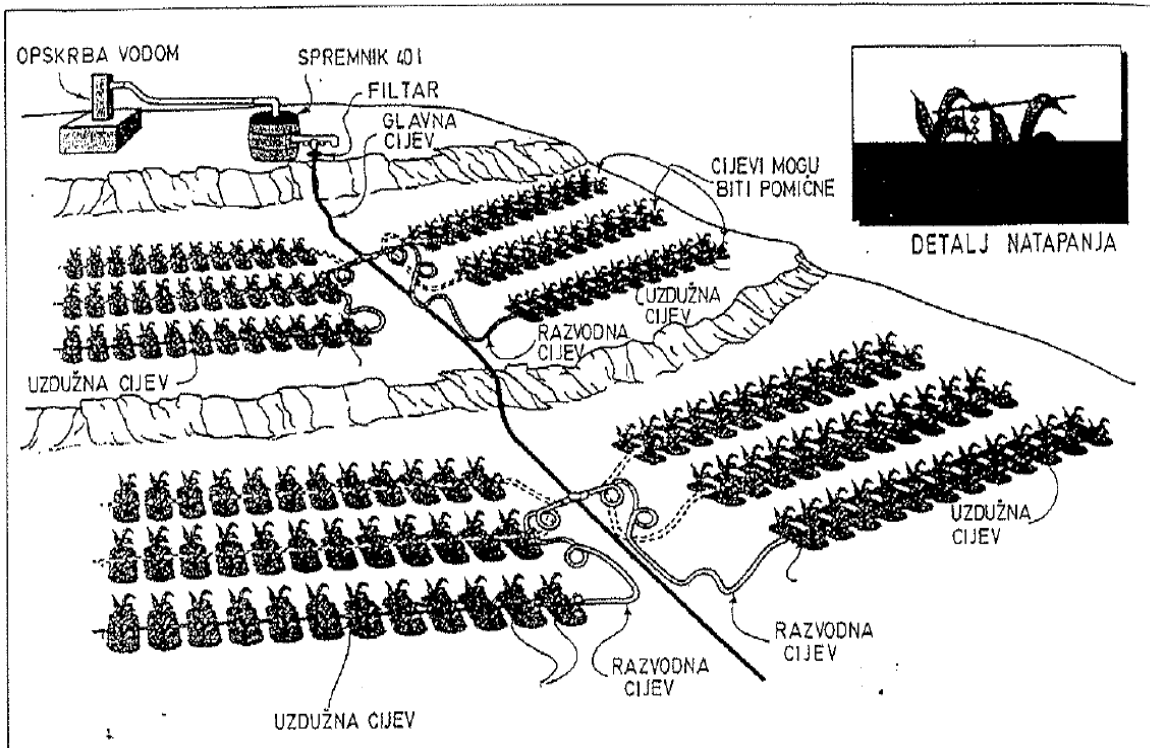


Slika 1.

Slika 5.22 Natapanje kapanjem



Slika 2.



Slika 3.

Slika 5.23 Mreža cjevovoda u postupku natapanja kapanjem



Slika 5.24 Cijevi u polju



Slika 5.25 Cijevi u polju

Rad je potpuno automatiziran, ne zahtijeva prisustvovanje čovjeka. Uređaj štedi vodu i sa minimalnim količinama vode postiže maksimalne učinke. Dodaju se male količine vode i održava se vlažnosti tla oko poljskog vodnog kapaciteta.

## 6. AGRONOMSKI ASPEKT GRAĐEVINSKIH RADOVA

Cilj svih radova hidrotehničkih melioracija, kako pri odvodnjavanju tako i pri navodnjavanju je osposobljavanje poljoprivrednog i nepoljoprivrednog tla za racionalno i rentabilno iskorištavanje za uzgoj kulturnog bilja u suvremenim uvjetima. Prema tome melioracije treba shvatiti kao skup združenih teorijskih i empirijskih znanja iz područja hidrotehnike i poljoprivrede. Zato je na ovom području suradnja i djelatnost stručnjaka hidrotehnike i agronomije nužna.

Agronomski aspekt drenažnih radova, radi racionalne postavke i rješenja problema, očituje se ponajprije u:

- dubini prodiranja žilnog aparata različitih vrsta kulturnog bilja,
- položaju razine podzemne vode prema tom aparatu,
- otpornost bilja na povremena poplavljanja (ili uzdizanja razine vode),
- u propusnosti tla i dr.

Dubina prodiranja žilnog aparata je jedan od najbitnijih elemenata za utvrđivanje dubine i gustoće drenaže. Visinski položaj drena mora osigurati kroz cijeli vegetacijski ciklus održanje razine podzemne vode na određenoj visini i time osloboditi pedološki sloj tla od viška vlage. Potrebna optimalna dubina drenaže za većinu kulturnog bilja iznosi 100 – 120 cm, s manjim izuzecima. Te dubine su najčešće u praksi primjenjivane. Dubina i režim podzemne vode za vegetacijskog razdoblja ovise o vrsti biljke, tj. dubini njezinog korijena, te o sastavu odnosno teksturi tla. U svrhu određivanja dubine podzemne vode izrađene su tablice optimalne dubine vode temeljene ne samo na znanju nego i empiriji ali je različito u mnogim krajevima svijeta.

Dopustivo vrijeme potapanja treba definirati na temelju računa rentabilnosti, tj. ekonomičnosti poslovanja, ovisno o uložnim sredstvima za određeni stupanj dreniranosti.

## 7. ODRŽAVANJE ODVODNIH SUSTAVA

Nagli razvoj odvodnih sustava od 1960. godine omogućio je brzi razvoj tehnologije i tehnike. Sigurno je da više nego kod bilo koje druge građevine, njihovo redovito održavanje uvjet za planiranu efikasnost njihova rada i vijeka trajanja.

Održavanje odvodnih sustava možemo podijeliti na:

- mehaničko održavanje otvorenih kanala
- kontrolu vegetacije kemijskim sredstvima i
- održavanje cijevnih drenova.

Mehaničko održavanje otvorenih kanala obuhvaća:

- košnju vegetacije na pokosima
- košnju vegetacije u vodi i
- čišćenje mulja i uređenje profila.

Kontrolu vegetacije kemijskim sredstvima potrebno je provoditi s velikom dozom opreza zbog stalne neizvjesnosti u svezi sa toksičnim utjecajem na pojedine organizme, a time i na život i zdravlje čovjeka.

Održavanje cijevnih drenova potrebno je zbog mogućnosti pojave otežanog protoka kroz njih, a može biti od:

- premalog promjera cijevi,
- oštećenja cjevovoda,
- začepjenja cjevovoda zbog nataloženog mulja,
- začepjenja cjevovoda zbog kemijskih inkrustacija,
- začepjenja zbog prodora žila korijenja.

Zato je potrebno kod hvatala i ostalih odvodnih kolektora spojeve glinenih i betonskih cjevovoda brtviti, te upotrijebiti plastične neperforirane cijeve. Da bi se omogućilo uklanjanje mulja, treba na svim građevinama hvatala predvidjeti taložnice, a protjecajnu brzinu, po mogućnosti, planirati bar sa 0,35 m/sek.

Najčešći uzročnici začepjenja drenskih cijevi zbog kemijskih reakcija jesu različite soli željeza ili mangana. Reakcije mogu biti ubrzane aktivnošću nekih bakterija, utjecajem temperature i



pH-vrijednosti.

Što se tiče čišćenja taložina u drenskim cijevima primjenjuju se uglavnom dvije metode i to struganje i ispiranje. Struganje se izvodi različitim četkama a ispiranje se fleksibilnim crijevima na čijem je kraju specijalna sapnica za izbacivanje mlaza vode pod visokim tlakom. Sapnice mogu biti visokotlačne i niskotlačne.



Slika 7.1 Primjeri mehaničkog održavanja otvorenih kanala



Slika 7.2 Primjeri mehaničkog održavanja otvorenih kanala

## 8. PRIMJER IZGRADNJE KANALA RADI ZAŠTITE NASELJA OD VELIKIH VODA

### 8.1. VRSTA RADOVA

Idejni projekt za ishođenje lokacijske dozvole uređenja potoka Pećni Jarak u svrhu zaštite od poplava naselja Donji Miklouš.

### 8.2. LOKACIJA

Naselje Donji Miklouš nalazi se u Bjelovarsko bilogorskoj županiji na njenom jugozapadnom dijelu. Sam potok ima izvor na obroncima Moslavačke gore, dok se samo mjesto Donji Miklouš smjestilo u podnožju, u dolini potoka Grabovnice, koji u neposrednoj blizini naselja nastaje spajanjem potoka Mlinska i Srednja. Administrativno, kao što je vidljivo iz slike u nastavku preuzete iz prostornog plana Bjelovarsko-bilogorske županije, nalazi se u sastavu grada Čazme, u blizini naselja Vučani, Gornji Miklouš i Novo Selo. Prema popisu stanovništva iz 2001. godine, naselje ima 261 stanovnika te 94 obiteljskih kućanstava.



Slika 8.1 Teritorijalno-politički ustroj okolice Donjeg Miklouša

### **8.3. POSTOJEĆE STANJE NA LOKACIJI**

U vrijeme većih količina padalina, događaju se učestala plavljenja kuća nizvodno od cestovnog propusta u naselju Donji Miklouš na dijelu na kojem korito potoka Pećni jarak paralelno prati već spomenutu cestu. Potok je uglavnom zarastao u vegetaciju te zbog smanjenog proticajnog profila nije u mogućnosti odvesti svu pristiglu oborinsku vodu.

### **8.4. NAMJENA I DIJELOVI UREĐENJA POTOKA PEĆNI JARAK**

Namjena uređenja potoka Pećni jarak je zaštita nekolicine obiteljskih kuća smještenih nizvodno od cestovnog propusta od učestalog plavljenja. Uređenje se sastoji od:

- izmještanja donjeg dijela trase potoka i njegovo upuštanje u potok Grabovnicu najkraćom mogućom rutom
- zatrpavanja dijela postojećeg korita
- prenamjena ostatka korita u cestovni kanal uz dodatno izmuljivanje i uređenje
- izrada propusta sa žabljim poklopcem na nizvodnom kraju cestovnog jarka kako bi se onemogućio prodor velikih voda iz potoka Grabovnica

### **8.5. USKLAĐENOST PROJEKTA S PROSTORNIM PLANOM**

Sva je projektna dokumentacija u skladu s Prostornim planom uređenja grada Čazme (Službeni vjesnik Grada Čazme, broj 28/03, 19/06, 30/11, 18/12), odnosno s točkom 95. istoga.

Točka 95. „ U regulacijskom i zaštitnom sustavu uređenja režima voda uz postojeće izvedene objekte koje treba održavati, predviđene su radnje na nereguliranim vodotocima ili nereguliranim dijelovima vodotoka, uz dogradnju ili rekonstrukciju postojećih građevina.“

Prioritetne aktivnosti odnosit će se na sanaciju, održavanje postojećih objekata obrane od poplave (nasipi, obaloutvrde, kanali, retencija), te realizaciju planiranih akumulacija (u svrhu obrane od brdskih voda planirane su tri retencije na području naselja D.Miklouš)....

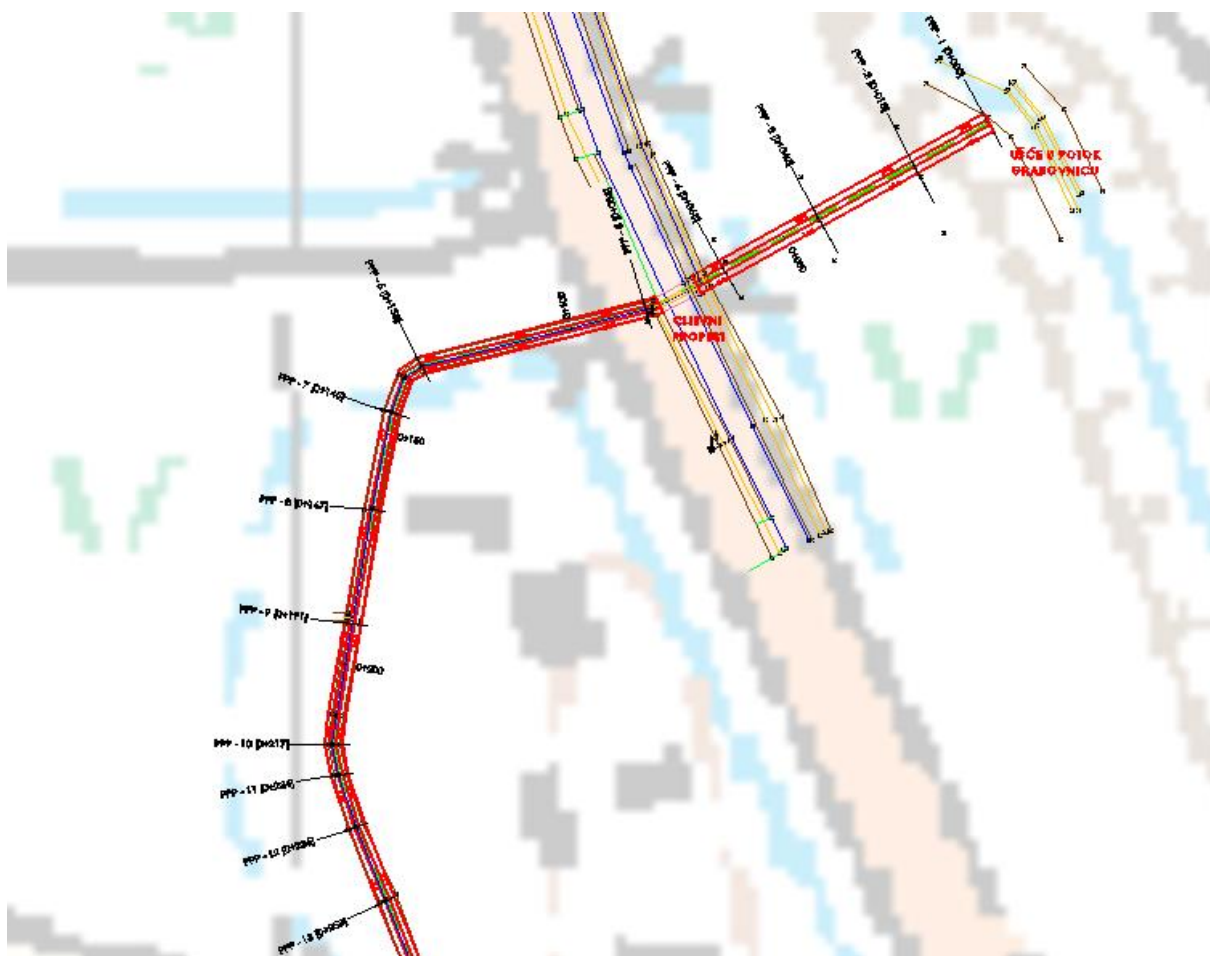
## 8.6. TEHNIČKO RJEŠENJE

Projektant predlaže izmiještanje donjeg dijela trase potoka Pećni jarak i njegovo upuštanje u potok Grabovnicu najkraćom mogućom rutom. Na taj način potok više neće teći paralelno s cestom u duljini od cca. 680 m, nego će se izgradnjom novog korita duljine cca. 75 m upustiti u Grabovnicu.

## 8.7. NOVA TRASA POTOKA PEĆNI JARAK

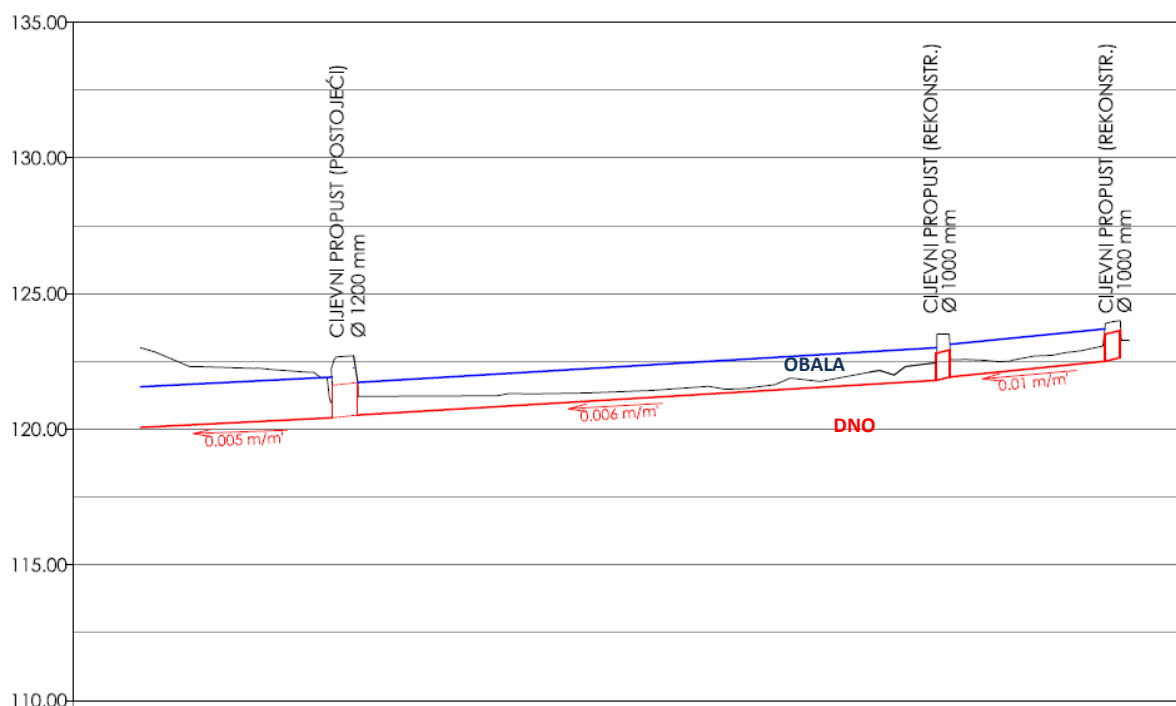
Novo korito na taj način će imati i veći uzdužni pad koji će između ostalog omogućiti neometano upuštanje velikih voda povratnog perioda 50 godina potoka Pećni jarak u potok Grabovnicu. Hidrauličkom analizom u nastavku isto se i dokazuje.

Na slici u nastavku je prikazana situacija projektiranog korita potoka Pećni jarak.



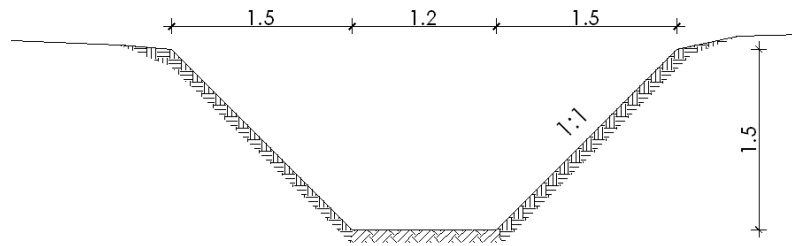
Slika 8.2 Situacija projektiranog korita

Iterativnim postupkom prilikom hidrauličke analize za različite dimenzije korita došlo se do korita koje je za projektirani pad (prikazan na uzdužnom profilu projektiranog stanja u nastavku) u stanju propustiti velike vode povratnog perioda 50 godina.



Slika 8.3 Uzdužni profil projektiranog stanja

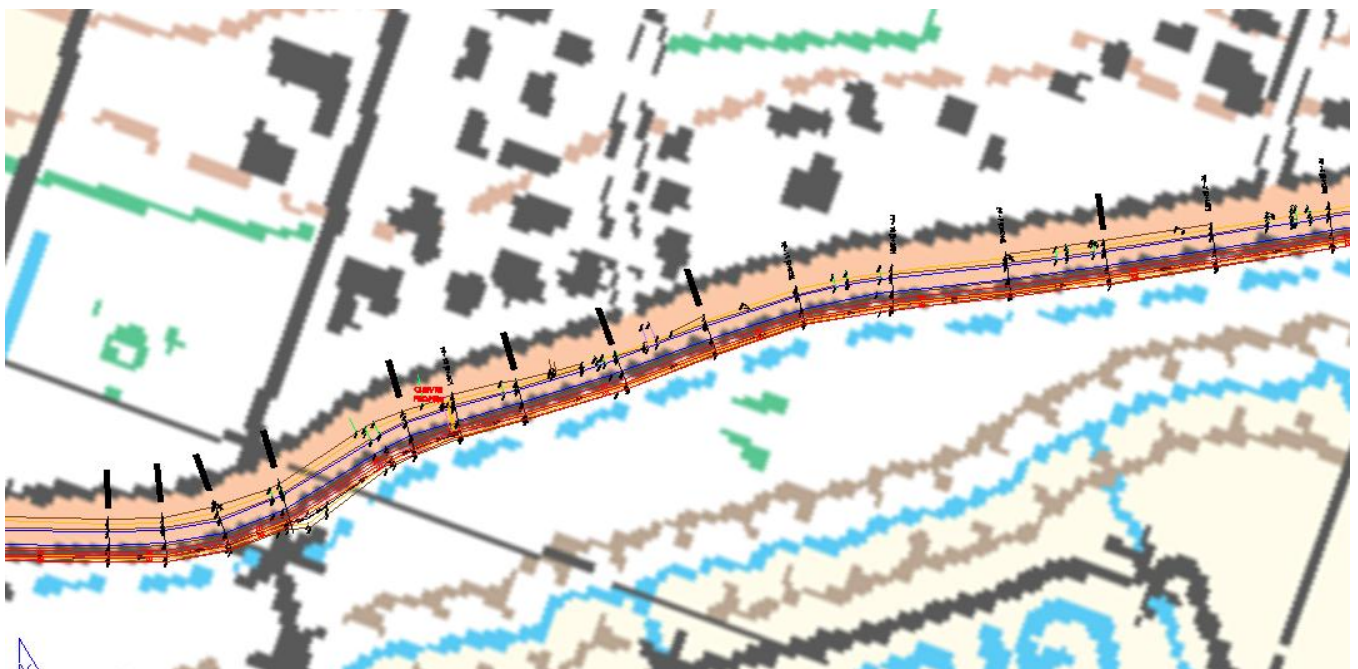
Projektirano korito dijela nizvodno od cestovnog cijevnog propusta trapeznog je oblika, dna širine 1.2 m i pokosa obala 1:1. Sama visina trapeza varira, odnosno prilagođava se postojećem terenu, budući da je razlika u visinama, između projektiranog dna korita i okolnog terena, veća od potrebne za propuštanje projektom predviđenih velikih voda. Prosječna visina trapeza je oko 1.5 m.



Slika 8.4 Normalni profil korita nizvodno od cijevnog propusta

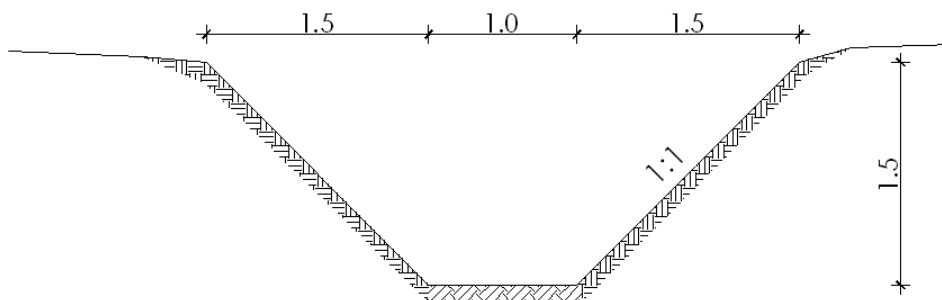
## 8.8. CESTOVNI KANAL

Postojeće korito koje se izmiještanjem trase potoka Pećni jarak napušta, morat će se fizički odvojiti od novog korita potoka (zatrpati na kraćem potezu), te će služiti za odvod voda sa ceste uz koju se proteže, odnosno manjeg sliva koji mu pripada (u nastavku: cestovni kanal). Također ga je potrebno izmuljiti i dodatno urediti.



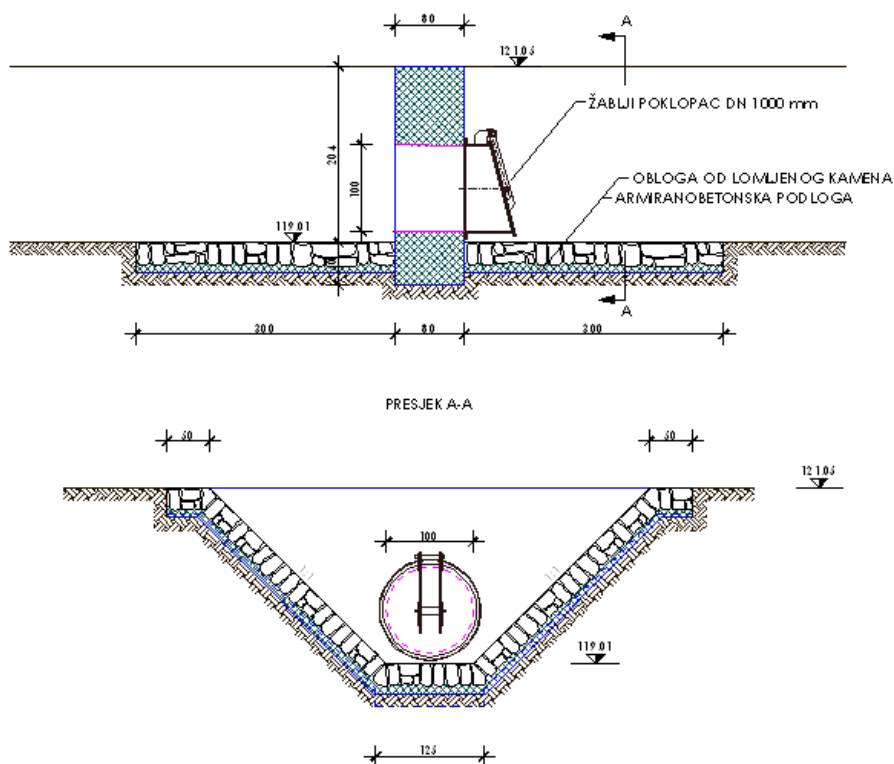
Slika 8.5 Situacija uređenja cestovnog kanala

Uređeno korito kanala trapeznog je oblika, dna širine 1.0 m i pokosa obala 1:1. Prosječna visina trapeza je oko 1.5 m.



Slika 8.6 Normalni profil cestovnog kanala

Na nizvodnom kraju cestovnog kanala izvesti će se propust sa žabljim poklopcem koji će onemogućiti prodor velikih voda potoka Grabovnica u kanal, te ugrožavanje kuća od strane potoka Grabovnica. Kao što je već ranije u sklopu hidrološke analize navedeno, velike vode potoka Grabovnicva povratnog perioda 50 godina, na lokaciji ušća cestovnog kanala u Grabovnicu (odnosno starog ušća potoka Pećni jarak) imaju u razinu 121.02 m n.m. Stoga će se spomenuti propust izvesti do razine 121.05 m n.m. Sam izgled propusta je prikazan na slici u nastavku.



Slika 8.7 Poprečni i uzdužni presjeci propusta s žabljim poklopcem

Budući da duljina cestovnog kanala i dalje ostaje cca. 650 m, potrebno je proračunati hoće li za velikih kiša u slučaju zatvorenog žabljeg poklopca na njegovom kraju (zbog istovremene pojave velikih voda potoka Grabovnice) doći do plavljenja kuća.

Hidrološka analiza njegovog novog sliva se provodi, te je za vodu povratnog perioda 50 godina koja daje maksimalni protok dobiven i volumen vodnog vala koji iznosi 1250 m<sup>3</sup> (on za kišu trajanja 60 minuta iznosi 1590 m<sup>3</sup>, kišu trajanja 120 minuta 2340 m<sup>3</sup> itd.). Za pretpostaviti je da će za kiše duljeg trajanja koje ujedno daju i vodne valove većeg volumena zbog njihovog trajanja doći i do djelomičnog istjecanja voda u potok Grabovnicu zbog različitih vremena koncentracija slivova potoka Grabovnica i cestovnog kanala. Ako uzmemo u obzir duljinu kanala i njegov karakteristični poprečni presjek (površina normalnog profila iznosi 3.75 m<sup>2</sup>, a duljina mu je preko 600 m), te postojanje nešto manjeg kanala s druge strane ceste, zaključujemo da je isti u stanju 'retencirati' vode svog novog sliva do otvaranja žabljeg poklopca, odnosno smanjenja razina voda potoka Grabovnice



## 8.9. MJERE ZAŠTITE OKOLIŠA

Mjere zaštite prije početka građenja:

- putem sredstava javnog informiranja obavijestiti zainteresirano pučanstvo o izgradnji planiranog zahvata i očekivanim utjecajima koje može polučiti planirana gradnja
- osigurati odgovarajuću lokaciju za smještaj mehanizacije, opreme za građenje i održavanje opreme i strojeva. Izbor lokacije izvršiti u Glavnom projektu. Na tom prostoru treba osigurati nepropusnu podlogu s odgovarajućim prihvatnim kapacitetom za pojedinog potencijalnog onečišćivača,
- osigurati odgovarajuću lokaciju za odlaganje viška iskopanog materijala
- obilježiti gradilište i osigurati odgovarajuću zaštitu trase i svih instalacija na trasi
- na početku radova izvijestiti konzervatorsku ustanovu, radi nadzora tijekom radova zbog mogućnosti nailaska na arheološka nalazišta.
- na razini Glavnog projekta izraditi mjere rekultivacije devastiranih površina i tehničko rješenje privremene regulacije prometa kojim će se omogućiti sigurno odvijanje prometa tijekom izvođenja radova

Mjere zaštite tijekom građenja:

- razinu buke potrebno je kontrolirati shodno zakonskoj regulativi. Primijeniti uređaje koji neće proizvoditi buku veću od dozvoljene u radnim i vanjskim prostorima.
- tijekom građenja poduzimati zaštitne mjere kojima će sprječavati, odnosno smanjivati stvaranje prašine, te onečišćenje atmosfere. Redovito polijevati gradilišne i pristupne putove, te otvorene površine vodom, te spriječiti raznošenje prašine i njeno taloženje na okolnoj vegetaciji
- tijekom obilnih kiša obvezno je zaustavljanje radova i zaštita postojećih lokacija radova od poplavlivanja ili od ispiranja. Završetkom svake faze radova dovršene zemljane dijelove građevine treba zaštititi od erozije.
- zbrinuti sanitarne i potencijalno zauljene otpadne vode s gradilišta putem ovlaštene tvrtke

- ne obavljati remont strojeva i izmjenu ulja na gradilištu
- provoditi redovitu kontrolu građevinskih strojeva te zabraniti rad onih strojeva kod kojih dolazi do prokaplivanja goriva i/ili maziva.
- zaštititi sva stabla i biljke, koje nije nužno posjeći za smještaj građevina
- višak iskopanog materijala odvesti odmah na deponij, ili osigurati od ispiranja i raznošenja po okolnom terenu. Nakon izgradnje planiranog zahvata, izvoditelj radova treba očistiti gradilište od svih otpadnih tvari, uključujući i konačni višak iskopanog, a ne utrošenog materijala, te prostor vratiti u prvobitno stanje. Sav otpad nastao tijekom građenja zbrinuti u skladu sa Zakonom o otpadu i podzakonskim aktima. Strogo se zabranjuje zakapanje ili spaljivanje otpada na lokaciji gradilišta.
- prilikom vršenja zemljanih radova potrebno je provoditi stalan nadzor te u slučaju arheološkog nalazišta (otkrića nekih objekata ili predmeta) prijaviti nadležnom Konzervatorskom odijelu Ministarstva kulture
- za zaštitu biljnog i životinjskog svijeta morska osnovna mjera je redovita kontrola ispravnosti rada sustava odvodnje

## **8.10. GEOTEHNIČKO IZVJEŠĆE O PROVEDBI ISTRAŽNOG BUŠENJA NA KANALSKOJ TRASI**

### **8.10.1. OPĆA MORFOLOŠKA I GEOLOŠKA OBILJEŽJA LOKACIJE**

#### **Područje istraživanja**

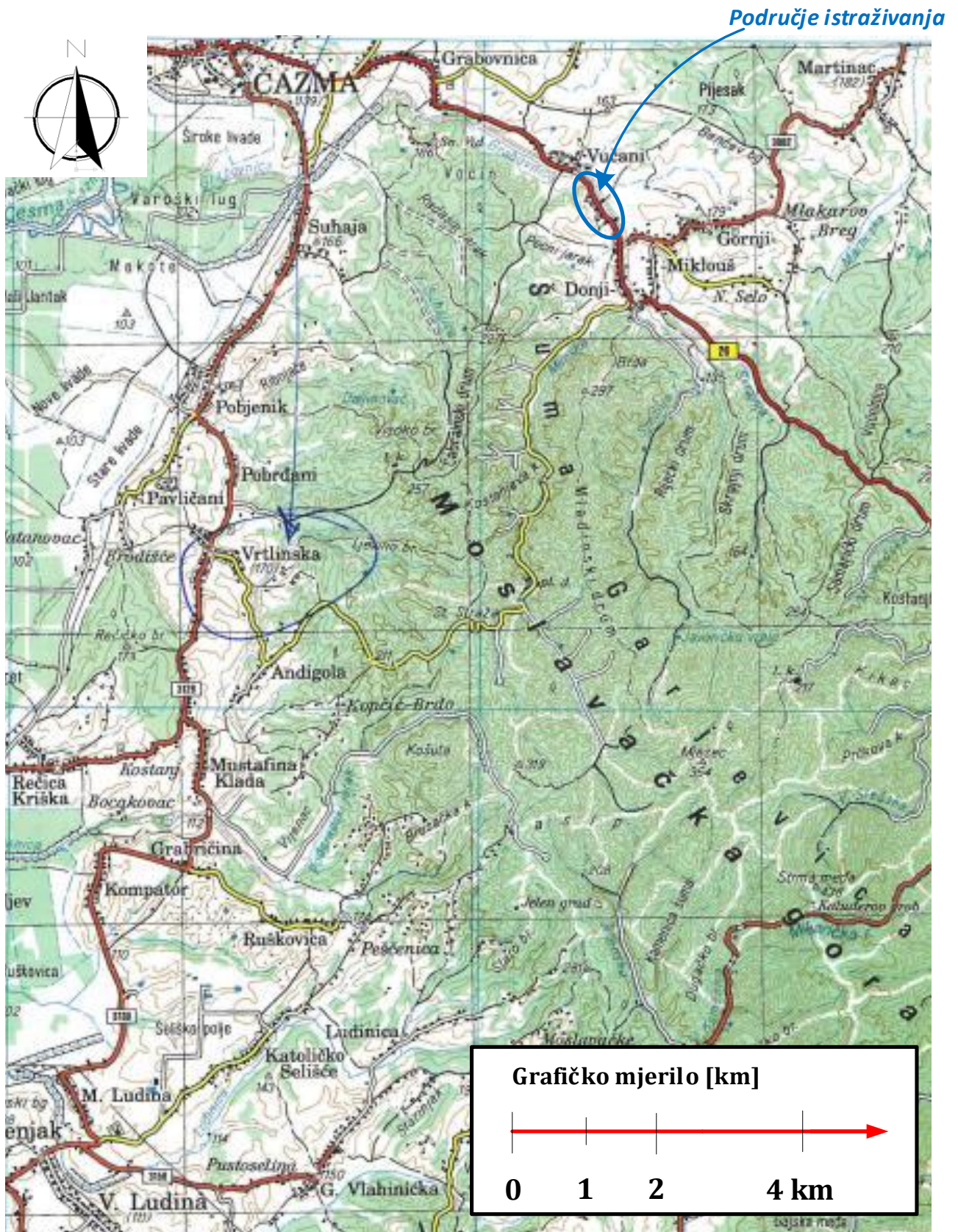
Nepunih 10-ak kilometara jugoistočno od središta Čazme smješteno je naselje Miklouš, koje se sastoji od dva dijela, Gornji Miklouš (oko crkve Sv. Nikole) i donji Miklouš (uz potok koji mještani nazivaju Mlinska). Područje geotehničkog istraživanja bilo je uz cestu koja vodi od Donjeg Miklouša prema naselju Vučani, tj. u smjeru prema Čazmi.



Slika 8.8 Romanička crkva Sv. Marije Magdalene (iz XIII. st.) u središtu Čazme

### **Morfologija terena**

.. Već se na turističkoj karti (koja je postavljena na panou u središtu Čazme – slika 8.10) može vidjeti da je osnovno obilježje cestovne prometnice koja povezuje Donji Miklouš sa Vučanima (a potom i s naseljem Grabovnicom) pružanje te ceste niz vodotok kojeg u Mikloušu nazivaju Mlinska da bi kasnije (vjerojatno kod Vučana) promijenio ime u Grabovnica. Na općoj topografskoj karti (slika 8.9) jasno je vidljivo da se spomenuto područje nalazi na krajnjim sjeveroistočnim pristrancima Moslavačke gore, tj. na sjeveroistočnom rubu šume Garljevice. Riječ je o kotlinastom prostoru u kojeg se slijevaju brdski potoci koji potom Grabovnicom otječu do riječice Čazme, jugozapadno od središnjeg mjesta Čazme (slika 8.9).



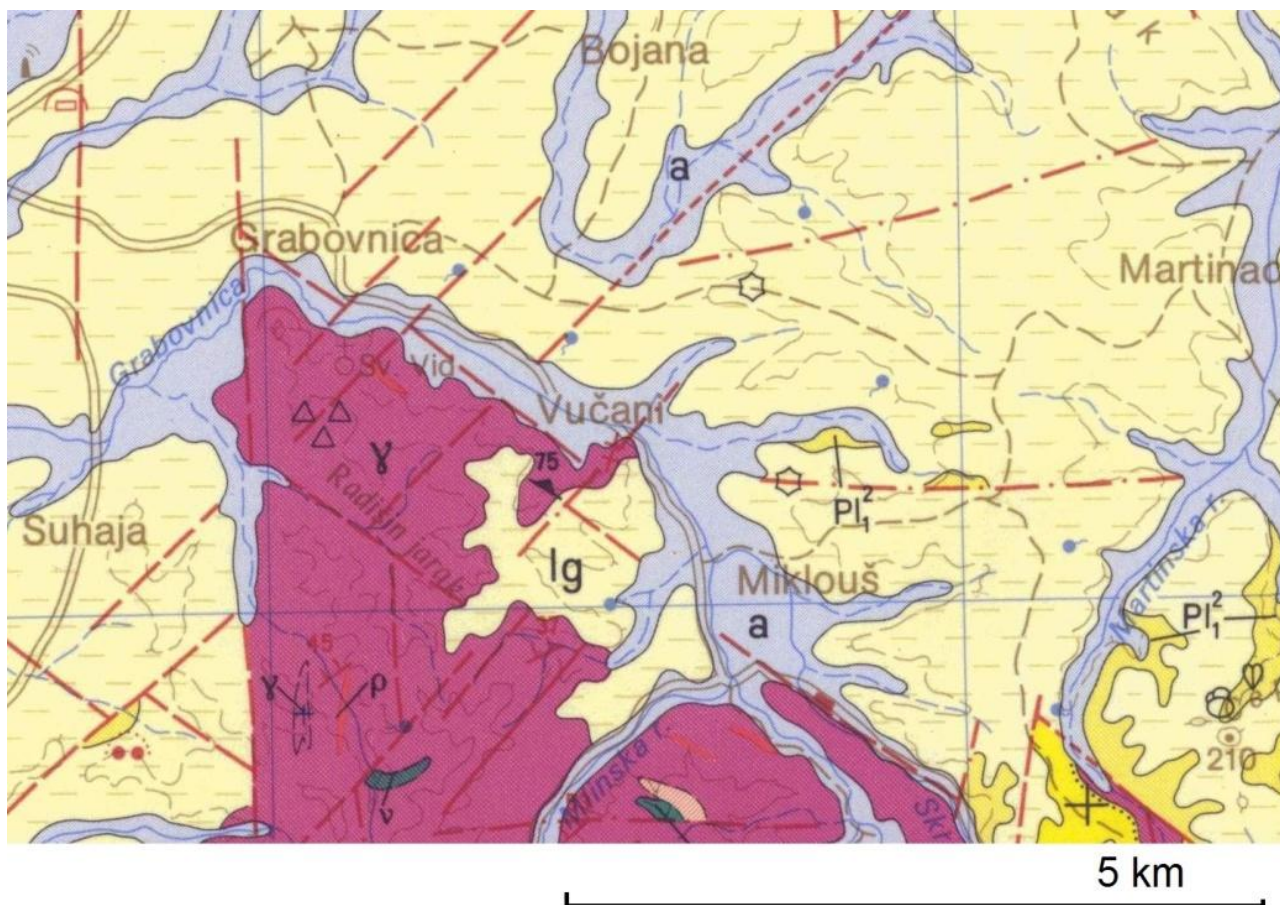
Slika 8.9 Topografska karta s prikazom područja geotehničkog istraživanja



Slika 8.10 Prikaz dijela turističke karte od D. Miklouša do Grabovnice

## Geološka obilježja

Kao što se na priloženoj geološkoj karti može vidjeti (slika 8.11) moslavački graniti i granodioriti upravo dosežu do potoka Grabovnice između Vučana i naselja Grabovnice.



### Legenda kartiranih jedinica:

#### Kvartar



aluvij recentnih tokova



bezkarbonatni glinoviti silt vlažnih područja

#### Pliocen



pijesci, pjeskoviti lapori i ugljen (gornji pont)

#### Paleozoik



pegmatiti i apliti



moslavački graniti i granodioriti

#### Prekambrij



amfibolitski gabro

### Legenda standardnih oznaka



normalna granica: utvrđena i pokrivena ili aproksimativno locirana



erozijska ili tektonsko-erozijska granica:



elementi pada folijacije, pojedinačno mjerenje; vertikalna folijacija



elementi pada pukotine; verikalna pukotina



rasjed bez oznake karaktera: utvrđen, pokriven ili nesigurno lociran, pretpostavljen i fotogeološki osmatran



makrofauna: marinska, bočata i slatkovodna



mikrofauna i mikroflora



ležište kvarcnog pijeska



glinište

Slika 8.11 Isječak osnovne geološke karte list Bjelovar (B. Korolija i J.Crnko; 1975-1985 g.) s pripadnom legendom

Ako se cestom ide od Vučana prema D. Mikloušu, tada se po izlasku iz Vučana, tj. na desnoj okuci ceste može vidjeti blokovito eruptivno stijenje u vertikalnom zasjeku (slika 8.12), koji vjerojatno predstavlja ostatak nekog starog kamenoloma.



Slika 8.12 Eruptivno stijenje u vertikalnom zasjeku

Nešto južnije od tog izdanka nalazi se kvartarni „džep“ (na geološkoj karti opisan je kao bezkarbonatni glinoviti silt vlažnih područja) koji je „usađen“ u masiv eruptivnog stijenja. Istočno od tog područja plavkasto-sivom bojom naznačen je aluvij (slika 8.13) recentnih tokova (a), unutar kojeg je i provedeno istražno bušenje, kao i geotehnička prospekcija terena.



Slika 8.13 Korito Mlinske/Grabovnice usječeno u aluvijalne naslage na zaravnjenom arealu Donjeg Miklouša

## 8.10.2. TERENSKI ISTRAŽNI RADOVI

### Istražno bušenje

Kao što se na prilogu P1 može vidjeti dvije su istražne bušotine (B1 i B2) pozicionirane na krajnjim odsječcima budućeg kanala, tj. B1 se nalazi na uzvodnoj poziciji (slika 8.14<sup>a</sup>), dok se B2 nalazi na nizvodnoj poziciji (slika 8.14<sup>b</sup>), tj. blizu ušća cestovne grabe u potok Mlinsku/Grabovnicu (slika 8.15).



(a)



(b)

Slika 8.14 Pozicije dviju istražnih bušotina (vidjeti prilog P1)

(a) Bušotina B1

(b) Bušotina B2



Slika 8.15 Pogled duž korita Mlinska prema jugu. Glavna matica (Mlinska) dolazi s lijeva a na samom pregibu, pridružuje joj se s desna cestovna graba koja će se kanalizirati



Obje istražne bušotine dubine su 5 m ( $2 \times 5 = 10$  m) a izvedene su 25.III.2015. Osnovni elementi sondažnog bušenja prikazani su u Tablici 1.

**TABLICA 1**  
Lokacija: DONJI MIKLOUŠ – Kanalska trasa  
OSNOVNI ELEMENTI SONDAŽNOG BUŠENJA

Tablica popunjena: dne. 25.III.2015.

OZNAKA SONDE	KARAKTERISTIČNA DUBINA (m)				SPP			UZORCI (kom)				
	Ukupna	Podzemna voda		kom.	dub.	N n=nož š=šiljak	PU		NU			
		PPV	NPV				PU <sub>SPP</sub>	PU <sub>jez</sub>				
<b>B1</b>	5,0	25.III.2015. 1,80	25.III.2015. 1,80 (?)	3	1,5 - 1,8 3,0 - 3,3 4,7 - 5,0	6 n 3 n 6 n	3	1,5 - 1,8 3,0 - 3,3 4,7 - 5,0	-	--	-	--
<b>B2</b>	5,0	25.III.2015. 2,30	25.III.2015. 2,30 (?)	3	1,5 - 1,8 3,0 - 3,3 4,7 - 5,0	4 n 2,5 n 13 n	2	1,5 - 1,8 4,7 - 5,0	-	--	-	--
	<b>10,0 m</b>	<b>cca 2,0 m</b>		<b>6 kom</b>				<b>5 kom.</b>	<b>0 kom.</b>	<b>0 kom.</b>		

Kratice za karakteristične dubine označuju:

PPV = pojava podzemne vode prilikom bušenja

NPV = nivo podzemne vode

ppc = postupno pricjeđivanje PV u bušotinu

Kratice za vrste uzoraka označuju:

PU = poremećeni uzorak

(PU<sub>jez</sub> = poremećeni uzorak uzet iz jezgre

PU<sub>SPP</sub> = poremećeni uzorak uzet SPP cilindrom)

NU = neporemećeni uzorak

SPP = standardni penetracijski pokus

N = registrirani broj standardnih udaraca s kojima se postigne penetracija standardnog cilindra (tj. „noža“) n, ili standardnog šiljka š za dubinu jedne anglosaksonske stope (30,48 cm). Podaci N<sub>i</sub> preračunavaju se na N<sub>n</sub> prema izrazu:

$$N_n = 0,70 \text{ do } 0,75 N_i$$

Tijekom sondažnog bušenja kontinuirano se provodila determinacija nabušene jezgre, opažala se i dubina pojave podzemne vode (PPV) te je proveden standardni penetracijski pokus (SPP – slika 8.16).



Slika 8.16 Provedba SPP-a na istražnoj bušotini B2

Rezultati terenskih radova sastoje se u sljedećem:

### **Bušotina B1**

Početak radova: 10:30  
Završetak radova: 11:30

0,0 – 0,4	humusno tlo	smeđa glina
0,4 – 2,0	CL	smeđa glina, vrlo prahovita, niske plastičnosti, srednje plastičnog konzistentnog stanja
2,0 – 2,4	CH	siva glina, prahovita, visoke plastičnosti, srednje plastičnog konzistentnog stanja
2,4 – 4,7	SM/SC	sivi pijesak sa prekomjerno praha, u izmjeni s pijeskom s prekomjerno gline, vrlo rahli, u intervalu od 4,0 – 4,7 sa komadima drveta
4,7 – 5,0	SW/SM	sivi pijesak, dobro graduiran, sitnozrni do krupnozrni, u izmjeni sa pijeskom s prekomjerno praha, mjestimice i s prahom, rahli

PPV: 1,8 m

NPV: 1,8 m

PU:	1,5 – 1,8 – od SPP-a	SPP:	1,5 – 1,8	6 n
	3,0 – 3,3 – od SPP-a		3,0 – 3,3	3 n
	4,7 – 5,0 – od SPP-a		4,7 – 5,0	6 n



Slika 8.17 Jezgra sondažne bušotine B1

## Bušotina B2

Početak radova: 11:30  
Završetak radova: 12:50

0,0 – 0,4	humusno tlo	smeđa glina
0,4 – 2,3	CL	smeđa glina, vrlo prahovita, niske plastičnosti, srednje plastičnog konzistentnog stanja
2,3 – 3,7	SM/SC	smeđi pijesak sa prekomjerno praha, u izmjeni s pijeskom s prekomjerno gline, vrlo rahli
3,7 – 4,3	SM	sivi pijesak s prekomjerno praha, vrlo rahli
4,3 – 5,0	SW/SM	sivi pijesak, dobro graduiran, sitnozrni do krupnozrni, u izmjeni sa pijeskom s prekomjerno praha, mjestimice i s prahom, srednje zbijen, sa komadima drveta

PPV: 2,3 m

NPV: 2,3 m

PU: 1,5 – 1,8 – od SPP-a  
3,0 – 3,3 – od SPP-a  
4,7 – 5,0 – od SPP-a

SPP: 1,5 – 1,8 4 n  
3,0 – 3,3 2,5 n  
4,7 – 5,0 13 n



Slika 8.18 Jezgra sondažne bušotine B2

Sondažni profili iscrtani su i prikazani na priložima P1 i P2.



Slika 8.19 Istražni radovi završili su 25.III.2015. oko 13<sup>h</sup> (zatrpavanje bušotine B2).

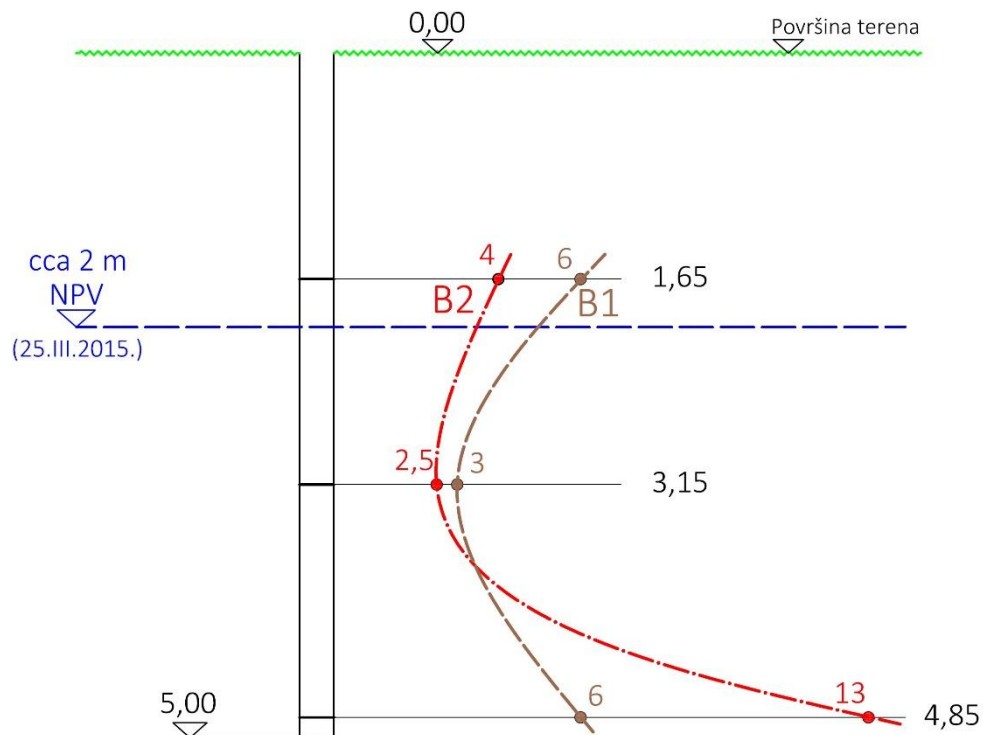
## Standardni penetracijski pokus (SPP)

Tijekom sondažnog bušenja u svakoj od 2 istražne bušotine provedena su po 3 penetracijska pokusa. Premda su rezultati tih pokusa obuhvaćeni u Tablici 1, zbog njihove važnosti navest ćemo ih posebno i u Tablici 2.

Tablica 2 Rezultati SPP-a;  $N \left[ \frac{\text{udar}}{\text{stopa}} \right]$

Dubina [m]	Bušotine	
	B1	B2
1,50 - 1,80 (1,65)	6n	4n
3,00 - 3,30 (3,15)	3n	2,5n
4,70 - 5,00 (4,85)	6n	13n

Iskazano grafički (slika 8.20), mogu se uspostaviti vizualne komparacije dviju bušotinskih pozicija.



Slika 8.20 Grafički prikaz SPP rezultata

Iz grafikona na slici 8.20 proizlazi da su s aspekta mehaničke otpornosti do dubine cca 3,5 m obje lokacije vrlo slične, a nakon te dubine mehanička otpornost na poziciji B2 raste znatno

brže (do SPP  $N=13$  na srednjoj dubini 4,85 m) nego li na poziciji bušotine B1 (do SPP  $N=6$  na srednjoj dubini 4,85 m).

Sloj najmanje otpornosti ( $2,5 \leq N \leq 3$  udar/stopa) nalazi se otprilike na dubini od 2,5 do 4,5 m, tj. debljine je cca 2 m. Imajući u vidu da je i pojava podzemne vode (PPV) registrirana na prosječnoj dubini cca 2 m, proizlazi očigledno da spomenuti sloj predstavlja vrlo nepovoljno **meko plastično konzistentno stanje**, tj. rahli razmočeni materijal koji je najvjerojatnije veći dio godine potpuno saturiran podzemnom vodom.

## Geotehničke karakteristike kanalske trase

Geotehničkim rekognosciranjem terena u širem koridoru kroz kojeg će se provući buduća kanalska trasa donjeg toka potoka Brezibare, tj. „cestovne grabe“ a osobito na osnovi podataka prikupljenih istražnim bušenjem na pozicijama B1 i B2 (prilog P1 i slika 8.21<sup>a</sup> i 8.21<sup>b</sup>) može se konstatirati da će kanal prolaziti kroz aluvijalno tlo, čije karakteristike ćemo ukratko opisati u nastavku.



(a)



(b)

Slika 8.21 Nabušena jezgra iz istražnih bušotina (B1, lijevo i B2, desno)

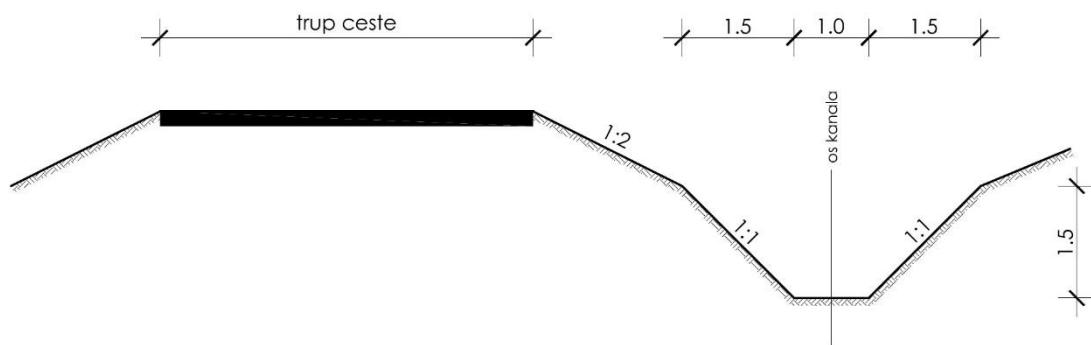
Mehanička svojstva nabušenog tla (dubina bušenja iznosila je 5 m) mogu se po dubini podijeliti u tri zone:

- od površine terena do dubine cca 2,5 m, prašnasto su glinoviti materijali koje karakterizira SPP podatak  $N \cong 5$  udar/stopa
- od 2,5 m do 4,5 m nalazi se meki i gotovo saturirani slabokoherentni materijal kojeg karakterizira SPP podatak  $N \cong 3$  udar/stopa
- dublje od 4,5 m javljaju se materijali sa znatno uvećanim postotkom pijeska (ima i fragmenata istrulog drveta!) a čini se da na bušotini B2 postoje naznake da se brzo iza 5 m dubine prostire šljunčani sloj, možda čak i raspadnuta stijena. Podaci SPP-a ponovo rastu, a na bušotini B2 dosegli su čak iznos:  $N \cong 13$  udar/stopa.

Da bi se pojednostavila geotehnička slika terena, uzimajući u obzir planirani oblik budućeg kanala i njegovo zadiranje u tlo (slika 8.22), uzet će se da je tlo do dubine od 4,5 m kvazihomogeno (jer prilično je loše u pojasu od 2,5 do 4,5 m) i da njegove karakteristike reprezentira SPP podatak  $N = 4 \text{ udar/stopa}$ .

Za  $N = 4 \text{ udar/stopa}$  mogu se na osnovi empirijskih korelacija iskazati sljedeći parametri tla (uz napomenu da se razmatra koherentno tlo):

$$N = 4 \rightarrow I_c = 0,5 \rightarrow q_u = 50 \text{ kN/m}^2$$



Slika 8.22 Poprečni presjek cestovnog kanala, M 1:100

Sažeto rečeno, za geotehničke se analize preporuča koristiti za dotično tlo sljedeće parametre:

$$\varphi = 22^\circ$$

$$c = 15 \text{ kN/m}^2$$

## 9. ZAKLJUČAK:

Tijekom povijesti voda je bila odlučujući čimbenik u razvoju poljoprivrede i ljudske civilizacije. Zahvaljujući obilju vode za natapanje, prve su civilizacije nastajale oko rijeka Eufrata i Tigrisa (šumerska), Inda (indijska), Žute rijeke (kineska) i Nila (egipatska). Razvojem poljoprivrede te su civilizacije zadovoljile svoje potrebe za hranom i oslobodile dio svojega društva za druge djelatnosti te time još više ubrzale svoj razvoj. Svim tim, međusobno udaljenim civilizacijama, bili su zajednički visoki kulturni razvoj i konačno, propast društva. Oboje je bilo uvjetovano vodom. Pozitivni učinci natapanja odmah su vidljivi, dok se oni negativni pokazuju tek nakon više stoljeća. Svaka kopnena slatka voda, naime, sadrži otopljene kalcijeve, magnezijeve, kalijeve i natrijeve sulfate, karbonate i kloride, pa se intenzivnim natapanjem, u današnjim tehnološkim uvjetima, tlu godišnje dodaje i do pet tona tih soli po hektaru. Posljedica je zaslanjivanje, koje ubrzo uzrokuje smanjenje plodnosti, pa i potpunu neplodnost tla. I danas se procjenjuje da zaslanjivanje tla širom svijeta godišnje umanjuje dohodak za približno 11 mlrd. USD. Problem se pokušava riješiti desalinizacijom vode, ali je voda iz takvih postrojenja preskupa pa njezina primjena nije ekonomski opravdana.

Drugi, aktualni problem, vezan uz natapanje ograničene su rezerve vode na Zemlji. Podzemne rezerve vode nestaju jer su neobnovljive, a za natapanje npr. samo California koristi 1,6 mlrd. m<sup>3</sup> vode godišnje, što je 15% ukupno korištenih podzemnih voda u SAD-u. U vrijeme naglašene potrebe zauzimanja za održivi razvoj, natapanje, iako trenutačno vrlo isplativa agrotehničkih mjera, ne može ga osigurati.

Procjenjuje se da je vrijednost uroda s natapanih površina oko 625 USD po hektaru godišnje, dok je ona s nenatapanih površina između 17 i 95 USD po hektaru godišnje. Ulaganja u opremu za natapanje također su velika. Prema podacima Svjetske banke (1995) prosječna cijena postrojenja za natapanje iznosi 4800 USD po hektaru godišnje (s rasponom od 1370 do 18 300 USD po hektaru godišnje). Cijena novih sustava za natapanje u stalnom je porastu, pa je tako u Indiji i Indoneziji od 1970. do danas udvostručena. Kako je natapanje kapitalna investicija, ono može biti opravdano samo uz visoko usavršenu tehnologiju poljoprivredne proizvodnje.

Danas oko 40% svjetske proizvodnje hrane dolazi s natapanih oranica, a 60% sustava za natapanje mlađe je od 50 god., što govori o iznimno brzom razvoju i širenju tehnika natapanja. SAD, trenutno najveći proizvođač i izvoznik hrane, intenzivno natapa 11% poljoprivrednih površina s približno 10 tisuća tona vode po hektaru godišnje.

U Hrvatskoj se natapa manje od 1% (oko 5500 ha) ukupnih poljoprivrednih površina (Istra, dolina Neretve, okolica Zadra i Benkovca, Slavonija). U bližoj budućnosti planira se povećanje natapanih površina na 30 tisuća hektara.

Kod izmještanja trasa potoka i nereguliranih vodotoka bitno je osim geografsko-lokacijskih značajki pozornost obratiti da se prilikom hidrauličke analize za različite dimenzije korita dođe do korita koje je za projektirani pad u stanju propustiti velike vode povratnog perioda 50 godina. Također je potrebno onemogućiti prodor velikih voda iz potoka u kanal, te zaštititi ugrožene kuće od strane potoka.

Prije izrade glavnog projekta potrebno je geotehnički istražiti lokaciju gdje se uz osnovni pregled i rekognosciranje lokacije provedu istražna bušenja s provedbom SPP pokusa i laboratorijskom obradom uzoraka s terena. Pri tome na mehanička svojstva nabušenog tla najbolje govore o njegovoj kvaliteti za polaganje nove trase vodotoka. Krajnji dobiveni parametri čvrstoće ( $c$  i  $f_i$ ) ključni su faktori za daljnju analizu u glavnom projektu.



## 10. LITERATURA:

1. Prof. dr. Kos Ž. dipl. ing. građ., Hidrotehničke melioracije tla-odvodnjavanje, Zagreb, Školska knjiga, 1989.
2. Prof. dr. Vukelić Z., Hidrotehničke melioracije
3. *Melioracije*, Hrvatska enciklopedija, Hrvatski leksikografski zavod, Zagreb
4. Prof. dr. sc. Ivšić T. ,*Nasipi i brane*, Zagreb, Građevinski fakultet, 2012.
5. Dr. sc. Dubravka Mlinarić, *Privatni projekti isušivanja i melioracije tla u Dalmaciji i Istri od ranoga novog vijeka do 20. stoljeća* , Institut za migracije i narodnosti . 2009. UDK/UDC 553.623 (497.5-37)
6. Prof. dr. Kos Z., Hidrotehničke melioracije,Zagreb, Školska knjiga, 1987.g.
- 7.[www.slobodnadalmacija.hr/Hrvatska/tabid/66/articleType/ArticleView/articleId/46198/Default.aspx](http://www.slobodnadalmacija.hr/Hrvatska/tabid/66/articleType/ArticleView/articleId/46198/Default.aspx)
8. [www.metkovic.hr/default.asp?izb=novosti/pp\\_podloga.asp](http://www.metkovic.hr/default.asp?izb=novosti/pp_podloga.asp)
9. [www.orion-produkt.hr/veneroni/veneroni-mobilne-foto.htm](http://www.orion-produkt.hr/veneroni/veneroni-mobilne-foto.htm)
10. <http://huzn.hr/?p=2340>
11. <http://croinfo.net/vijesti-regija/7932-zaboravljene-obljetnice-100-godina-hidrotehnikog-tunela-jezero-njivice-more.pdf>
12. [www.marovt-sistemi.si/tenziometri-za-namakanje.html](http://www.marovt-sistemi.si/tenziometri-za-namakanje.html)
13. Nordsee-Luftbilder DSCF8997CC-BY-SA-3.0-de, 2012-05-13