Analiza povećanja učinkovitosti sustava navodnjavanja Poljoprivrednog instituta Osijek u kontekstu korištenja voda

Devčić, Dorotea

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:442247

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AGRONOMSKI FAKULTET

ANALIZA POVEĆANJA UČINKOVITOSTI SUSTAVA NAVODNJAVANJA POLJOPRIVREDNOG INSTITUTA OSIJEK U KONTEKSTU KORIŠTENJA VODA

DIPLOMSKI RAD

Dorotea Devčić

Zagreb, rujan, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:

Poljoprivredna tehnika-melioracije

ANALIZA POVEĆANJA UČINKOVITOSTI SUSTAVA NAVODNJAVANJA POLJOPRIVREDNOG INSTITUTA OSIJEK U KONTEKSTU KORIŠTENJA VODA

DIPLOMSKI RAD

Dorotea Devčić

Mentor: doc. dr.sc. Duška Kunštek, dipl. ing. građ.

Zagreb, rujan, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, Dorotea Devčić, JMBAG 0069050472, rođena 14.04.1990. u Rijeci, izjavljujem da sam samostalno izradila/izradio diplomski rad pod naslovom:

ANALIZA POVEĆANJA UČINKOVITOSTI SUSTAVA NAVODNJAVANJA POLJOPRIVREDNOG INSTITUTA OSIJEK U KONTEKSTU KORIŠTENJA VODA

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 **Dorotea Devčić**, JMBAG 0069050472, naslova

ANALIZA POVEĆANJA UČINKOVITOSTI SUSTAVA NAVODNJAVANJA POLJOPRIVREDNOG INSTITUTA OSIJEK U KONTEKSTU KORIŠTENJA VODA

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana _____ .

Povjerenstvo: potpisi:

1. doc.dr.sc. Duška Kunštek _____
2. prof.dr.sc. Davor Romić _____
3. prof.dr.sc. Gabrijel Ondrašek _____

Sadržaj

Sažetak

1. Uvod ... **1**

1.1. Cilj rada ... 1

2. Pregled literature ... **2**

3. Poboljšanje efikasnosti sustava za navodnjavanje ... **3**

3.1. Mjere poboljšanja sustava za navodnjavanje u cilju smanjenja gubitaka vode ... 4

3.1.1. Upravljanje sustavom za navodnjavanje ... 4

3.1.2. Mjerenje vode ... 5

3.1.3. Regulacijske građevine ... 5

3.1.4. Recirkulacija vode ... 6

3.1.5. Preoblikovanje polja u svrhu boljeg navodnjavanja ... 6

3.1.6. Smanjenje gubitaka pri transportu vode ... 7

4. Upravljanje drenažnom vodom (drainage water managment-DWM) ... **7**

4.1. Elementi upravljanja drenažnom vodom ... 8

4.1.1. Sisala i hvatala ... 8

4.1.1.1. Dubina cijevne drenaže ... 10

4.1.1.2. Razmak cijevne drenaže ... 11

4.1.1.3. Promjer drenažnih cijevi ... 16

4.1.1.4. Pad i duljina drenažnih cijevi ... 17

4.1.2. Kontrolna građevina ... 18

4.2. Način rada sustava ... 19

4.3. Način upravljanja sustavom ... 20

4.4. Prednosti drainage water managment-a ... 22

4.5. Nedostaci drainage water managment-a ... 22

4.6. Učinak drainage water managment-a na poljoprivrednu proizvodnju ... 23

5. Biljni uređaji za pročišćavanje voda ... **24**

5.1. Procesi pročišćavanja ... 25

5.2. Objekt prethodnog pročišćavanja ... 26

5.3. Oblikovanje biljnih uređaja ... 27

5.3.1. Biljni uređaji s vertikalnim potpovršinskim tokom ... 27

5.3.2. Biljni uređaji s horizontalnim potpovršinskim tokom ... 28

5.4. Filterski materijal (supstrat) ... 29

5.5. Biljke ... 30

6. Lokacija poljoprivrednog dobra Poljoprivrednog instituta Osijek i zona obuhvata navodnjavanja 31

6.1. Poljoprivredna proizvodnja 33

6.1. Postojeći sustav navodnjavanja 34

7. Tehnički opis implementacije DWM-a na pokusnoj parceli u sklopu poljoprivrednog dobra Poljoprivtednog instituta Osijek 39

7.1. Proračun sisala i hvatala 41

7.2. Proračun kontrolne građevine 51

7.3. Proračun biljnog pročišćivača (CW-a) 58

8. Zaključak 61

9. Literatura 62

Životopis

Sažetak

Diplomskog rada studentice Dorotee Devčić, naslova

ANALIZA POVEĆANJA UČINKOVITOSTI SUSTAVA NAVODNJAVANJA POLJOPRIVREDNOG INSTITUTA OSIJEK U KONTEKSTU KORIŠTENJA VODA

Potreba za proizvodnjom hrane na svjetskoj razini raste svake godine. Kako bi se osigurala stabilna poljoprivredna proizvodnja, u sve ekstremnijim klimatskim prilikama, kulturama je potrebno osigurati dovoljne količine vode. Jedan od načina povećanja efikasnosti sustava navodnjavanja je implementacija drainage water managmenta (DWM) na proizvodne površine. Ono nam omogućuje zadržavanje vode u tlu, te na taj način smanjuje količine vode kojima je potrebno navodnjavati kulture.

Ključne riječi: navodnjavanje, drainage water managment (DWM), efikasnost

Summary

Of the master`s thesis- student Dorotea Devčić, entitled

ANALIZA POVEĆANJA UČINKOVITOSTI SUSTAVA NAVODNJAVANJA POLJOPRIVREDNOG INSTITUTA OSIJEK U KONTEKSTU KORIŠTENJA VODA

The need for world-wide food production grows every year. In order to ensure stable agricultural production, in the increasingly extreme climate conditions, cultures need to be provided with sufficient quantities of water. One of the ways to increase the efficiency of the irrigation system is the implementation of drainage water management (DWM) on production surfaces. It allows us to retain water in the soil and reduce the amount of water needed to irrigate the crop.

Keywords: irrigation, drainage water managment (DWM), efficiency

1. Uvod

Od ukupne površine planete Zemlje oko 71% čini voda, ali samo mali dio tog postotka je slatka voda (2,4%). Najveći dio slatke vode čine led na polovima, glečerima ili u zamrznutom tlu, te samo 0,3% vode stoji na raspolaganju za piće, industriju ili navodnjavanje u poljoprivredi. Od pedesetih godina prošlog stoljeća rast svjetskog stanovništva je ekspandirao. Po nekim procjenama do 2054. na Zemlji će živjeti oko devet milijardi ljudi. Već sada je došlo do drastičnog smanjenja raspoloživih količina pitke vode po stanovniku, a taj trend će se nastaviti i u budućnosti. Rast svjetske populacije doveo je i do rasta poljoprivredne proizvodnje.

Poljoprivreda je u svijetu najveći potrošač pitke vode (oko 70% na globalnoj razini, a u zemljama u razvoju čak 90%). Ona je ujedno i jedan od najvećih zagađivača vode (upotreba prevelikih količina mineralnih i organskih gnojiva, te pesticida). Iz godine u godinu svjedoci smo sve ekstremnijih klimatskih promjena (suše, poplave, toplinski valovi, polarne hladnoće). Upravo radi sve jačih suša potreba za navodnjavanjem poljoprivrednih površina u svijetu je sve veća kako bi se mogle osigurati dovoljne količine hrane za stanovništvo.

1.1. Cilj rada

Cilj ovog diplomskog rada je prikazati metodu upravljanja drenažnom vodom (drainage water managment, DWM) kojom bi se povećala učinkovitost sustava navodnjavanja, te njenu implementaciju na dio proizvodnih površina kojima upravlja Poljoprivredni institut u Osijeku. Drainage water managment predstavlja manipulaciju podzemne i podpovršinske vode modifikacijom sustava drenaže. Cilj je zadržati oborinsku ili dodanu vodu navodnjavanjem na parceli, u tlu, pomoću kontrolnih građevina instaliranih na krajevima drenažnog sustava kako bi poljoprivredna proizvodnja bila što neovisnija o klimatskim prilikama. Osim toga, sagledati će se i aspekt održivog gospodarenja, odnosno način kojim se voda ekološkim putem može pročistiti prije puštanja u recipijent (biljni pročišćivači).

2. Pregled literature

Tema ovog diplomskog rada je unaprjeđenje postojećeg sustava navodnjavanja na dobru Poljoprivreddnog instituta u Osijeku. Cilj je povećati efikasnost sustava navodnjavanja, te učinkovitije koristiti vodne resurse implementacijom DWM-a. U svijetu, naročito u SAD-u, provode se brojna istraživanja koja prate učinak DWM-a na prinos kultura i njegov utjecaj na kakvoću vode.

Studija provedena u Sjevernoj Karolini (SAD) u razdoblju od 1990. do 2011. godine došla je do rezultata da je prosječan prinos porastao za 10-11% (ovisno o kulturi, vremenu sjetve, klimatskim prilikama) korištenjem DWM-a (C.A. Poole i sur., 2013.).

Ovaj način upravljanja drenažnom vodom osim povećanja prinosa kultura može pomoći u smanjenju onečišćenja vode nitratima iz poljoprivredne proizvodnje.

Onečišćenje nitratima i visok stupanj eutrofije u Meksičkom zaljevu, koje je prouzročila poljoprivredna proizvodnja na području rijeke Mississipi, dovelo je do osnivanja 2003. radne skupine pod vodstvom USDA (U. S. Department of Agriculture). Glavni zadatak skupine bilo je pronalaženje rješenja kako smanjiti onečišćenje nitratima iz poljoprivrede. Rješenje su pronašli u izgradnji DWM-a. Njegova implementacija u cilju smanjenja onečišćenja polučila je velike uspjehe. To je dovelo do osnivanja grupe NAWM (National Agricultural Water Managment) od strane NRCS (Natural Resources Conservation Service) 2009. godine, čiji je zadatak pomoći saveznim državama u Americi u implementaciji DWM-a u cilju smanjenja onečišćenja i zaštiti vodnih resursa (R. Wayne Skaggs i sur., 2012.).

3. Poboljšanje efikasnosti sustava za navodnjavanje

Svaki sustav navodnjavanja ima određene gubitke. Gubici vode bitan su pokazatelj prilikom određivanja efikasnosti sustava navodnjavanja, te oni direktno ili indirektno ulaze u proračune. Prilikom navodnjavanja (Ondrašek i sur., 2015.) postoje tri glavne vrste gubitaka vode: evaporacija (s lisne površine, iz akumulacija-bazena ili spremnika, evapotranspiracijom korova), perkolacija (dok se voda dovodi do parcele, na samoj parceli i kroz tlo), te višak vode (tj. površinsko otjecanje vode sa površine tla radi krive procjene vremena navodnjavanja). Ti gubici se događaju u dvije faze navodnjavanja – pri transportu vode i samom navodnjavanju parcele. Ovaj rad proučava povećanje učinkovitosti sustava navodnjavanja pomoću drainage water managment-a (DWM) o kojem će više biti rečeno u poglavlju 4..

Jedna od definicija je da je efikasnost sustava za navodnjavanje bezdimenzionalni parametar kojim se određuje učinkovitost navodnjavanja, a ono ovisi o mnogim parametrima (npr. tip tla, način navodnjavanja, dubina polja). Upravo zbog mnogih parametara o kojima efikasnost sustava ovisi, u literaturi ne postoje standardizirane oznake i definicije efikasnosti već samo interpretacije mnogih autora. Tako Israelsen (1944.) definira učinkovitost primjene vode kao ″omjer količine vode koja se pohranjuje u zoni korijena biljaka te na kraju potroši (evapotranspirira)″. Kruse (1978.) definirao je učinkovitost navodnjavanja kao ″omjer volumena vode korišten od usjeva i volumena vode primjenjen za navodnjavanje″. Prema nekim suvremenim autorima (Seckler i sur., 2003.) pojmovi efikasnosti dijele se na klasične (gdje su objašnjene i određene efikasnosti po pojedinim kategorijama) i neoklasične pojmove (čime se prijašnji pojmovi proširuju).

Ovisno o načinu gledišta (ekonomski, inženjerski, agronomski, itd.) na efikasnost navodnjavanja stvaraju se pojmovi ovisno o potrebnom tipu pokazatelja. U agronomiji je bitan omjer dobivenog prinosa i uložene vode (kg usjeva/m^3 vode), projektantima sustava za navodnjavanje bitnija je učinkovitost sustava kao bezdimenzionalnog parametra, dok je s ekonomskog gledišta bitan omjer dobitka i troška (Ahad, 2012.).

3.1. Mjere poboljšanja sustava za navodnjavanje u cilju smanjenja gubitaka vode

Mjere za poboljšanje efikasnosti sustava za navodnjavanje temelje se na poznavanju parametara kao što su potreba biljaka za vodom, kapacitet tla za vodu, donja granica vlage u tlu za svaku vrstu usjeva, količina vode koja se primjenjuje na polju. U obzir treba uzeti i efektivne oborine, te prilagoditi raspored navodnjavanja. Prakse koje se predlažu za povećanje efikasnosti navodnjavanja su: upravljanje sustavom, mjerenje vode, regulacijske građevine, recirkulacija vode, preoblikovanje polja u svrhu boljeg navodnjavanja i smanjenje gubitaka pri transportu vode.

3.1.1. Upravljanje sustavom za navodnjavanje

Kako bi upravljanje sustavom navodnjavanja omogućilo kontrolu potrebnu za smanjenje gubitaka vode u sustavu i učinkovitije korištenje vodnih resursa svaki korisnik sustava treba znati (Bajić, 2015.):

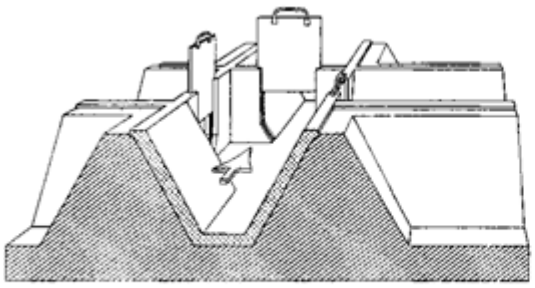
- utvrditi kada treba primijeniti vodu za navodnjavanje, ovisno o stopi korištenja vode sa strane usjeva i o fazi rasta biljaka
- izmjeriti ili procijeniti količinu vode potrebne za svako navodnjavanje, uključujući potrebe ispiranja
- odrediti uobičajeno vrijeme potrebno tlu za apsorpciju određene količine vode, kapacitet infiltracije tla
- prilagoditi protok, brzinu primjene ili vrijeme navodnjavanja potrebno za za zadovoljenje Eta i nadoknadu gubitaka otjecanjem iz područja navodnjavanja
- prepoznati erozije uzrokovane navodnjavanjem
- procijeniti količinu otjecanja navodnjavanja iz područja
- procijeniti ujednačenost primjene vode.

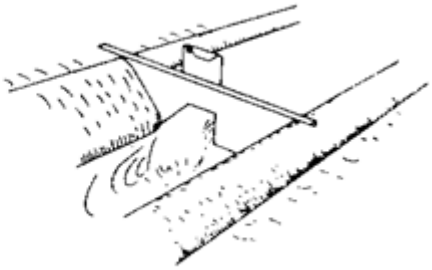
3.1.2. Mjerenje vode

Mjerni uređaj treba biti instaliran na ulazu navodnjavanog područja, između točke skretanja i vodoopskrbnog sustava. Najčešće se primjenjuju sljedeći uređaji: letva za mjerenje razine vode u kombinaciji sa preljevnim profilom, mjerač protoka vode instaliran u cjevovodu ili jarku (Bajić, 2015.).

3.1.3. Regulacijske građevine

Regulacijske građevine su sve građevine koje mogu olakšati upravljanje sustavom navodnjavanja na način da se poveća učinkovitost distribucije vode- regulacijski kanali, nasipi na rubovima parcele i zasunska okna (slika 1.) (Bajić, 2015.).

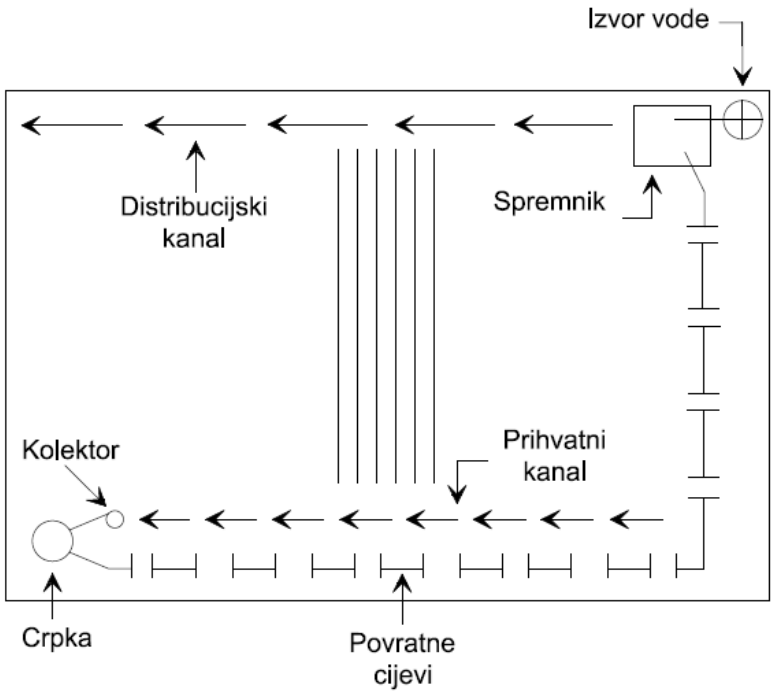




Slika 1. Regulator protoka na razini tri kanala Zasunsko okno
Izvor: Brouwer

3.1.4. Recirkulacija vode

Izgradnjom odvodnih kanala i drenažnog sustava ″izgubljena″ voda može se zahvatiti i akumulirati u spremnicima. Korištenje te vode povećalo bi učinkovitost sustava navodnjavanja smanjenjem potreba za vodom (slika 2.). Reciklirana voda može doseći od 40% do 70% vode izgubljene perkolacijom i otjecanjem (ovisno o drenažnom sustavu i propusnosti tla) (Bajić, 2015.).



Slika 2. Shema procesa recirkulacije vode unutar sustava za navodnjavanje
Izvor: Dressing

Još jedan od načina recirkulacije vode je upravljanje drenažnom vodom (DWM-drainage water managment), koji je tema ovog rada, o kojemu će više biti rečeno u narednom poglavlju.

3.1.5. Preoblikovanje polja u svrhu boljeg navodnjavanja

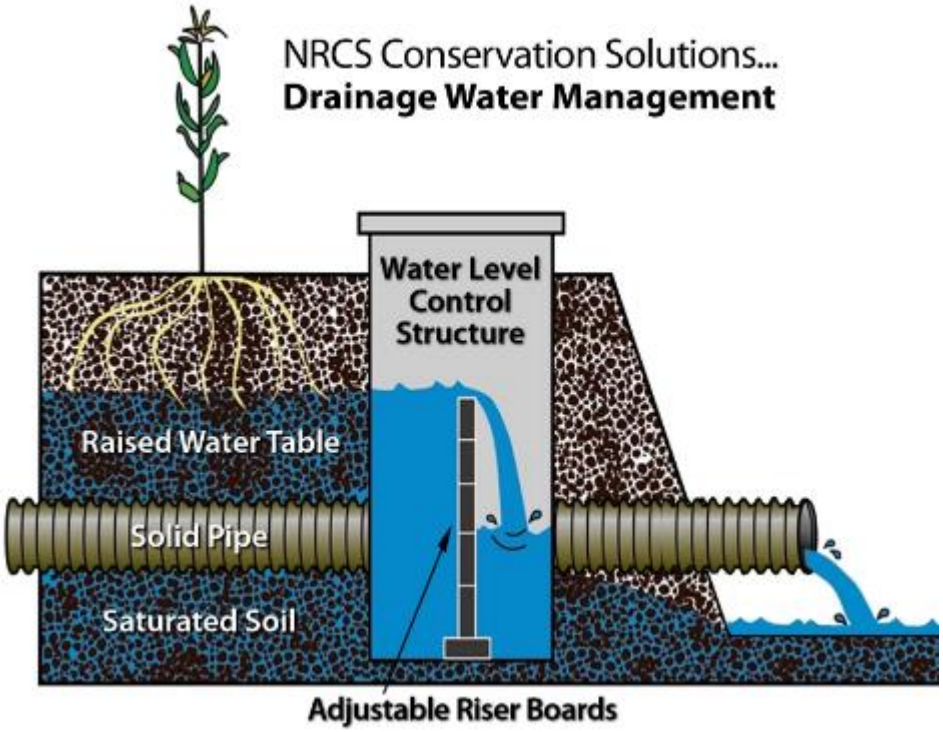
U slučaju da infiltracija na parceli nije zadovoljavajuća treba preoblikovati površinu zemljišta tako da nagib terena bude pogodan ravnomjernoj razini infiltracije (Bajić, 2015.).

3.1.6. Smanjenje gubitaka pri transportu vode

Transportni sustavi navodnjavanja od zahvata vode do navodnjavane površine mogu predstavljai značajne gubitne vode, te mogu biti uzrok degradacije površinskih i podzemnih voda. Gubici se mogu smanjiti oblaganjem dna kanala nepropusnim slojevim i materijalima, izgradnjom sustava transporta cijevima, te redovitim održavanjem sustava (Bajić, 2015.).

4. Upravljanje drenažnom vodom (drainage water managment-DWM)

Upravljanje drenažnom vodom (eng. drainage water managment-DWM) je praksa kod koje se ispust klasičnog sustava drenaže pregradi kontrolnom građevinom koja se ugrađuje u sustav kao linijska brana (slika 3.).



Slika 3. Kontrolna građevina
Izvor: http://cornandsoybeandigest.com

Kontrolna građevina omogućuje da se razina drenažne vode, pomoću zapornica, može zadržati od površine tla do dna drenažnih cijevi ovisno o potrebi. Praksom upravljanja drenažnom vodom mogu se postići agronomski (veći prinos) i/ili ekološki (kvaliteta vode) ciljevi. Osnovni elementi upravljanja drenažnom vodom su sisala, hvatala i kontrolne građevine.

4.1. Elementi upravljanja drenažnom vodom

Kako je već navedeno, osnovni elementi DWM-a su drenažne cijevi sisala i hvatala, te kontrolne građevine.

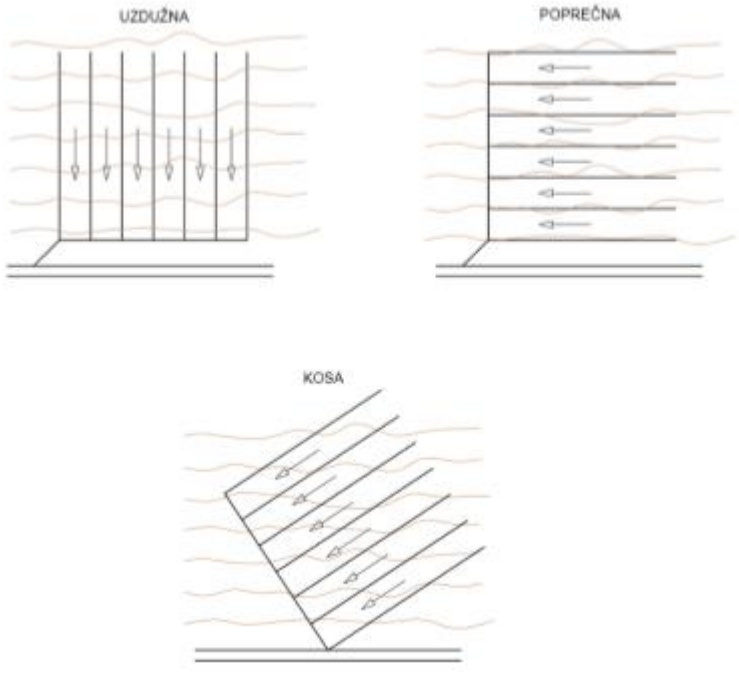
4.1.1. Sisala i hvatala

Suvremene drenažne cijevi izrađene su od PVC-a koje funkcioniraju na način da suvišna površinska i/ili podzemna voda ulazi u njih kroz perforirane otvore (slika 4.). Kako bi se suvišna voda uspješno drenirala perforacija cijevi ne smije biti manja od 4-10 cm^2/m.



Slika 4. Drenažne cijevi
Izvor: https://stuklopechat.com

Sisala (sabirači) su drenažne cijevi standardnih promjera (50, 65 i 80mm) čija je osnovna funkcija preuzimanje vode iz tla i odvodnja do hvatala. Ovisno o postavljanju sisala na generalni pad terena razlikujemo tri tipa (načina) drenaže: uzdužna, okomita i kosa (slika 5.).



Slika 5. Tipovi drenaže
Izvor: Petošić

Kod uzdužnog tipa drenaže sisala se postavljaju niz pad terena (okomito na slojnice). Ovaj način je prikladan za terene s nagibom do 5‰. Prednost ovog tipa je maksimalno korištenje nagiba pri otjecanju vode. Sisala se postavljaju na manji razmak pošto su paralelna s tokom vode, pa imaju utjecaj na malu širinu.

Kod okomitog tipa sisala se postavljaju približno okomito na generalni pad. Ovaj način je učinkovitiji od uzdužnog jer cijevi sijeku tokove suvišnih voda. Pošto se pri gradnji sustava treba osigurati minimalni umjetan pad cijevi problem nastaje njihovim bržim zamuljivanjem.

Kod kosog tipa sisala se postavljaju koso (pod kutem 30-40°) na generalni pad terena. Koristi se na terenima nagiba 5-10‰. Ovaj način smatra se najboljim jer dobro sakuplja i odvodi suvišnu vodu.

Hvatala su drenažne cijevi većih profila (100, 125 i 160 mm promjera). Za spajanje cijevi sisala i hvalata koriste se sljedeće armature: T komadi, koljena, spojnice, itd. (slika 6).



Slika 6. Armature
Izvor: Petošić

Na pravilno funkcioniranje drenaže utječu dubina, razmak, promjer, pad i duljina postavljanje drenažnih cijevi (Petošić, 2015).

4.1.1.1. Dubina cijevne drenaže

Kako bi se cijevi drenaže postavile na odgovarajuću dubinu potrebno je obratiti pozornost na niz međusobno povezanih čimbenika, a neki od njih su: uzgajana kultura, uslojenost (stratigrafija) tla, mogućnost uspostavljanja dobrog otjecanja sakupljene vode, razmak cijevne drenaže. U kontinentalnom dijelu Hrvatske minimalna dubina postavljana drenova je 0,6m kako ne bi došlo do smrzavanja cijevi. Maksimalna dubina postavljana cijevi

iznosi od 1,7 do 2,2m, što je vezano za tehničke uvjete drenažnog sloja (″drenmastera″). U tablici 1. prikazane su preporuke za dubinu cijevne drenaže prema njemačkim inženjerskim normativima (DIN 1185).

Tablica 1. Preporuke za dubinu cijevne drenaže prema DIN-u 1185

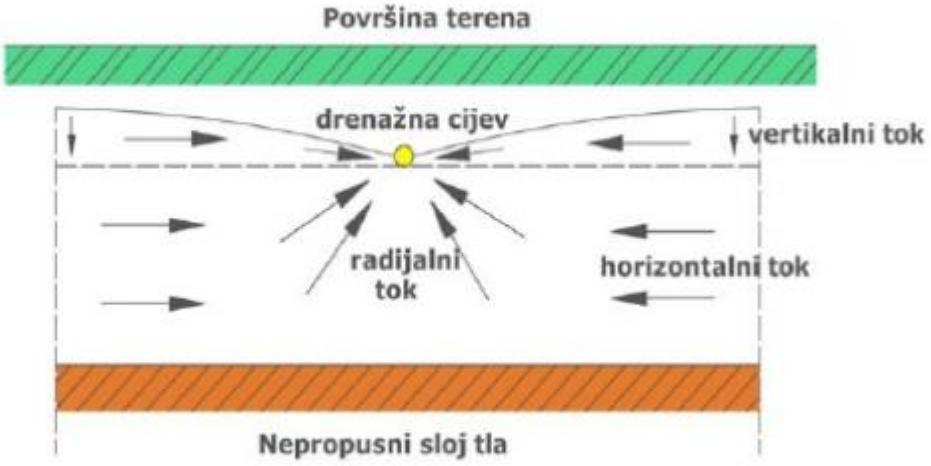
Uvjeti	Dubina cijevi (m)
Slabo propusna tla	0,8-1,0
Močvarno-poplavna tla	0,7-1,1
Propusna tla	1,0-1,2
Kulture s dubokim korijenom (lucerna, repica, vinova loza)	1,3-1,5
Hmelj	1,5-1,8
Zaslanjena tla	>1,8

Izvor: Petošić

Prema Tomiću, 1987., prosječna dubina na koju se polažu cijevi za ratarske kulture iznosi 0,8-1,1m, za većinu povrtlarskih kultura i neke krmne dubina je 0,7-0,8m, a za višegodišnje drvenaste 1,2-1,6m (Petošić, 2015) .

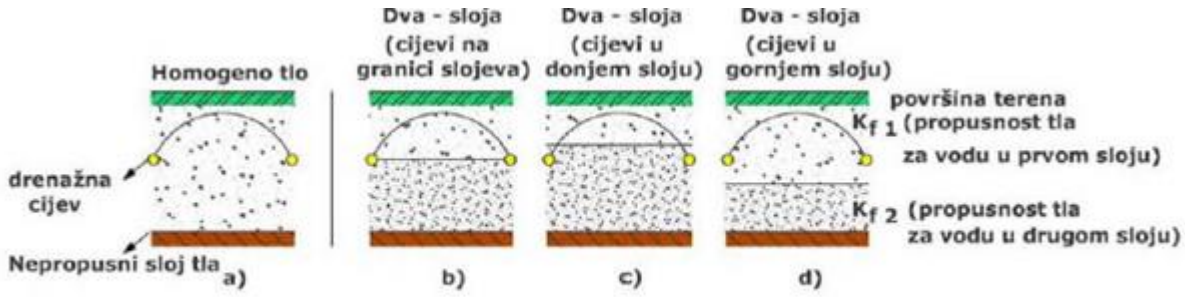
4.1.1.2. Razmak cijevne drenaže

Jedan od najvažnijih elemenata cijevne drenaže je razmak na koji je potrebno ugraditi drenažu. Razmak se može odrediti eksperimentalnim istraživanjima u prirodnim uvjetima koja zahtjevaju višegodišnja istraživanja, te se stoga razmak najčešće određuje na temelju dokazanih računskih metoda. Za primjenu računskih metoda vrlo je bitno poznavati načine prekomjernog vlaženja tla, stratigrafiju tla i osnove hidrauličko-fizikalnih obilježja (vodopropusnost, teksturni sastav tla, stabilnost strukture). U melioracijskoj praksi Hrvatske kod određivanja razmaka drenažnih cijevi uglavnom se razmatra problematika hidromorfnih tala (tla pod utjecajem podzemnih, stagnirajućih površinskih i/ili potpovršinskih voda, te njihove kombinacije). Proračun razmaka cijevne drenaže na tlima s podzemnom vodom uglavnom se temelji na postavkama Hooghoudta i Ernsta. Na temelju dokazanih jednadžbi za stacionarno tečenje vode u tlu iznad nepropusnog sloja računa se razmak drenaže. Stacionarno tečenje vode u tlu uzima u obzir tri komponente njena tečenja prema cijevi (slika 7.): vertikalnu, horizontalnu i radijalnu. Na dotok vode prema cijevi uglavnom utječu horizontalna i radijalna komponenta toka, pošto je vertikalna obično veoma mala.



Slika 7. Shematski prikaz vertikalnog, horizontalnog i radijalnog toka vode prema drenažnim cijevima
Izvor: Petošić

Hidromorfna tla vlažena podzemnom vodom imaju veoma različita fizikalno-kemijska svojstva, te osim položaja nepropusnog sloja pozornost treba obratiti na uslojenost tla i propusnost tla za vodu. Hooghoudt (1940.) i Ernst (1954.) su mogućnosti različite uslojenosti hidromorfnih tala aproksimirali na četiri tipična slučaja i za njih dali matematičke solucije za proračun razmaka drenažnih cijevi (slika 8.).



Slika 8. Shematski prikaz mogućih položaja drenažnih cijevi u uvjetima homogenog i dvoslojnog tla prema Hooghoudtu i Ernstu
Izvor: Petošić

Proračun razmaka cijevne drenaže po Hooghoudtu za homogeno tlo (jedn. 1.):

jedn. 1.

$$L = \sqrt{\frac{8 \cdot k \cdot h \cdot d}{q} + \frac{4 \cdot k \cdot h^2}{q}}$$

gdje je:

L - razmak drenažnih cijevi (sisala), (m),

k - horizontalna vodopropusnost tla u profilu od površine do nepropusnog sloja (m/dan),

d - ekvivalentna dubina (m), tablica 2.,

D - udaljenost od dubine drenažnih cijevi do nepropusnog sloja tla (m),

h - maksimalno dopuštena visina dizanja razine podzemne vode u tlu, na sredini između dvije cijevi, (m),

n - visina dizanja razine podzemne vode iznad drenažne cijevi (m); redovito n=0,

f - dopustiva dubina razine podzemne vode mjereno od površine tla, na sredini između dviju drenažnih cijevi (m); predstavlja zapravo potrebnu normu odvodnje drenažnog sustava,

q - količina oborina (m/dan) koju treba odvesti sustavom cijevne drenaže, odnosno hidromodul drenažne odvodnje ili specifični drenažni istek,

r - promjer drenažne cijevi (m).

Tablica 2. Vrijednosti ekvivalentnih dubina (d) u formuli Hooghoudta (za r = 0,1 m, D i L (m))

D (m)	5	7,5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,47	0,48	0,49	0,49	0,49	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,75	0,6	0,65	0,69	0,71	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76
1	0,67	0,75	0,8	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,96	0,96
1,25	0,7	0,82	0,89	1	1,05	1,09	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15
1,5	0,71	0,88	0,97	1,11	1,19	1,25	1,28	1,31	1,34	1,35	1,36
1,75	0,71	0,91	1,02	1,2	1,3	1,39	1,45	1,49	1,52	1,55	1,57
2	0,71	0,93	0,08	1,28	1,41	1,5	1,57	1,62	1,66	1,7	1,72
2,5	0,71	0,93	1,14	1,38	1,57	1,69	1,79	1,87	1,94	1,99	2,02
3	0,71	0,93	1,14	1,45	1,67	1,83	1,97	2,08	2,16	2,23	2,29
3,5	0,71	0,93	1,14	1,5	1,75	1,93	2,11	2,24	2,35	2,45	2,54
4	0,71	0,93	1,14	1,53	1,81	2,02	2,22	2,37	2,51	2,62	2,71
5	0,71	0,93	1,14	1,53	1,88	2,15	2,38	2,58	2,75	2,89	3,02
¥	0,71	0,93	1,14	1,53	1,89	2,24	2,58	2,91	3,24	3,56	3,88

Izvor: Petošić

Ova Hooghoudtova formula može se primjeniti i na dvoslojna tla (drenažne cijevi polažu se na približnu dubinu koja odgovara granici između dva sloja), koja je modificirana u pokazatelju horizontalne vodopropusnosti tla (jedn. 2.):

$$L = \sqrt{\frac{8 \cdot k_2 \cdot h \cdot d}{q} + \frac{4 \cdot k_1 \cdot h^2}{q}}$$

jedn. 2.

gdje je:

k_1 - horizontalna vodopropusnost tla za gornji sloj tla (iznad drenažnih cijevi), (m/dan),

k_2 - horizontalna vodopropusnost tla za donji sloj tla ispod drenaže, (m/dan).

Proračun razmaka cijevne drenaže za homogeno tlo po Ernstu (jedn. 3.):

$$h = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot k \cdot D_1} + \frac{q \cdot L}{\pi \cdot k} \ln \frac{\mathrm{Do}}{\mathrm{U}}$$

jedn. 3.

gdje je:

h - visina podzemne vode iznad drenažne cijevi u sredini između dvije cijevi (m),

q - specifični istek ili drenažno otjecanje (m/dan),

L - razmak drenažnih cijevi (m),

k - horizontalna vodopropusnost tla (m/dan),

D_0 - dubina nepropusnog sloja ispod cijevi (m),

U - opseg cijevi (m), (2r*p),

$D_1 = D_0 + 0{,}5$ h.

Ernst je posebice razradio metodu (jedn. 4.) za proračun razmaka drenažnih cijevi za dvoslojnu sredinu (slučajevi b, c i d; slika 1.):

$$h = q\frac{D_v}{K_v} + q\frac{L^2}{8\Sigma / KD/_h} + q\frac{L}{\pi K_r}\ \ln\frac{aDr}{u}$$

jedn. 4.

gdje je:

h - ukupni hidraulički tlak/visina vode iznad drenažnih cijevi na sredini razmaka (L/2) (m),

q - specifičan dotok vode po jedinici površine (m/dan),

L - razmak drenažnih cijevi (m),

K_r - hidraulička provodljivost u sloju radijalnog toka (m/dan),

K_v - hidraulička provodljivost u sloju vertikalnog toka (m/dan),

D_v - debljina sloja vertikalnog toka (m),

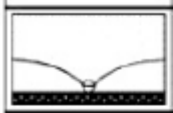
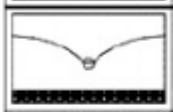
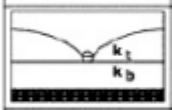
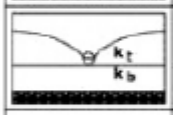
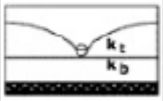
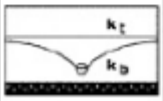
D_r - debljina sloja radijalnog toka (m),

$\Sigma/KD/_h$ - vodopropusnost sloja tla u domeni horizontalnog toka (m/dan),

u - omočeni obod drenažne cijevi (m),

a - faktor u radijalnom toku ovisan o uvjetima protjecanja vode.

Osim računskih metoda po Hooghoudtu i Ernstu, razmak cijevne drenaže može se odrediti i pomoću nomograma. Na slici 9. prikazan je pregled formula za proračun razmaka cijevne drenaže za različite uslojenosti i vodopropusnost tla po Ernstu i Hooghoudtu (Petošić, 2015) .

Shema	Profil tla	Drenaža	Teorija	Formula
	homogen	na nepropusnom sloju	HOOGHOUDT/ DONNAN	$q = \frac{4 \cdot k \cdot (H^2 - D^2)}{L^2}$
	homogen	iznad nepropusnog sloja	HOOGHOUDT	$q = \frac{8 \cdot k \cdot d \cdot h + 4 \cdot k \cdot h^2}{L^2}$
	dva sloja	na granici slojeva	HOOGHOUDT (ERNST)	$q = \frac{8 \cdot k_2 \cdot d \cdot h + 4 \cdot k_1 \cdot h^2}{L^2}$
	dva sloja ($k_1 > k_2$)	u gornjem sloju	HOOGHOUDT (ERNST)	$q = \frac{8 \cdot k_1 \cdot d_1 \cdot h + 4 \cdot k_1 \cdot h^2}{L^2}$
	dva sloja ($k_1 < k_2$)	u gornjem sloju	ERNST	$h = q \cdot \left(\frac{D_v}{k_1} + \frac{L^2}{8 \cdot (k_1 \cdot D_1 + k_2 \cdot D_2)} + \frac{L}{\pi \cdot k_1} \cdot \ln\left(\frac{\alpha \cdot D_r}{u} \right) \right)$
	dva sloja ($k_1 < k_2$)	u donjem sloju	ERNST	$h = q \cdot \left(\frac{D_v}{k_1} + \frac{L^2}{8 \cdot k_2 \cdot D_2} + \frac{L}{\pi \cdot k_1} \cdot \ln\left(\frac{D_r}{u} \right) \right)$

Slika 9. Prikaz formula za proračun razmaka cijevne drenaže po Ernstu i Hooghoudtu za različite uslojenosti i vodopropusnosti tla
Izvor: Petošić

4.1.1.3. Promjer drenažnih cijevi

Promjer drenažnih cijevi određuje maksimalna količina protoka koja u određenom trenutku treba proći kroz cijev. Sisala se rijetko dimnezioniraju budući da kroz njih obično protječu male količine vode (1-5l/s), te se uzimaju cijevi standardnih promjera 50, 65 ili 80mm. Dimenzioniranje se vrši za hvatala, pošto ona imaju znatno veće protoke, te se promjer određuje na temelju matematičkog protoka (Petošić, 2015) .

U Hrvatskoj se za dimenzioniranje češće koriste pojednostavljene formule po Gauckler-Manning-Strickleru (jedn. 5.):

$$V = k_s \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad \text{(m/s)}$$ jedn. 5.

gdje je:

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).

4.1.1.4. Pad i duljina drenažnih cijevi

U tablicama 3. i 4. prikazane su mjerodavne vrjednosti prema DIN-u 1185, za pad i duljinu drenažnih cijevi, koje se uzimaju kao temeljna načela pri planiranju i izgradnji sustava.

Tablica 3. Temeljna načela za vrijednosti pada i duljine sisala (prema DIN-u 1185) pri planiranju i izgradnji drenažnih sustava

Pad i duljina cijevi u različitim uvjetima drenažnog sustava	Oznaka	Jedinica mjere	Cijevna drenaža	
			Mineralno tlo	Tresetno tlo
Minimalni pad	I min.	%	0,3	0,3
Optimalni pad	I opt.	%	1,0-3,0	0,3-0,5
Maksimalni pad	I max.	%	8,0	1,0
Maksimalna duljina cijevi				
Okomiti tip drenaže	L max	m	200	150
Uzdužni tip drenaže	L max	m	150	150
U uvjetima pogodnim za okerizaciju cijevi	L max	m	100	100

Izvor: Petošić

Tablica 4. Temeljna načela za vrijednosti pada i duljine hvatala (prema DIN-u 1185) pri planiranju i izgradnji drenažnih sustava

Pad i duljina cijevi u različitim uvjetima drenažnog sustava	Oznaka	Jedinica mjere	Cijevna drenaža	
			Mineralno tlo	Tresetno tlo
Minimalni pad cijevi				
Pjeskovita i praškasta tla	I min.	%	0,45	-
Tla bogata željezom	I min.	%	0,30	0,30
Praškasto ilovasta tla	I min.	%	0,25	-
Pjeskovito ilovasta tla	I min.	%	0,20	-
Glinovito ilovasta tla	I min.	%	0,15	-
Maksimalni pad cijevi	I max.	%	8,00	4,00
Makismalna duljina cijevi bez ugradnje šahtova	L max.	m	500	400

Izvor: Petošić

U melioracijskoj praksi Hrvatske prihvaćeno je načelo da minimalni pad sisala u mineralnim tlima ne bi smio biti manji od 0,3 % (3,0 ‰), a hvatala 0,2 % (2,0 ‰). Najčešća duljina sisala iznosi 120-150 m (maksimalno 200m) ovisno o razmacima otvorenih kanala IV. reda (250-300 m), dok duljina hvatala najčešće iznosi 200-500m (Petošić, 2015) .

4.1.2. Kontrolna građevina

Kontrolna građevina (slika 10.) je permanentna građevina koja se dodaje u sustav cijevne drenaže (na najnižoj točki sistema, kraj ispusta) kako bi se moglo upravljati razinom potpovršinske i/ili podzemne drenažne vode. Građevine su standardiziranih dimenzija, ali se po narudžbi mogu izraditi i u drugim veličinama. Stranice uređaja izrađene su od hrapavog PVC-a debljine 12,7 mm, te su međusobno povezane vijcima od nehrđajučeg čelika i anodiziranim aluminijskim kutnicima, što daje čvrstoću i dugotrajnost građevini. Svaka građevina ima plastični poklopac koji se može zaključati. Fleksibilne spojnice omogućuju jednostavno spajanje na cijevi drenaže. Pločaste zapornice, kojima se može upravljati automatski ili ručno, za reguliranje razine vode izrađene su također od PVC-a, te dolaze u visini od 12,7 cm i 17,7

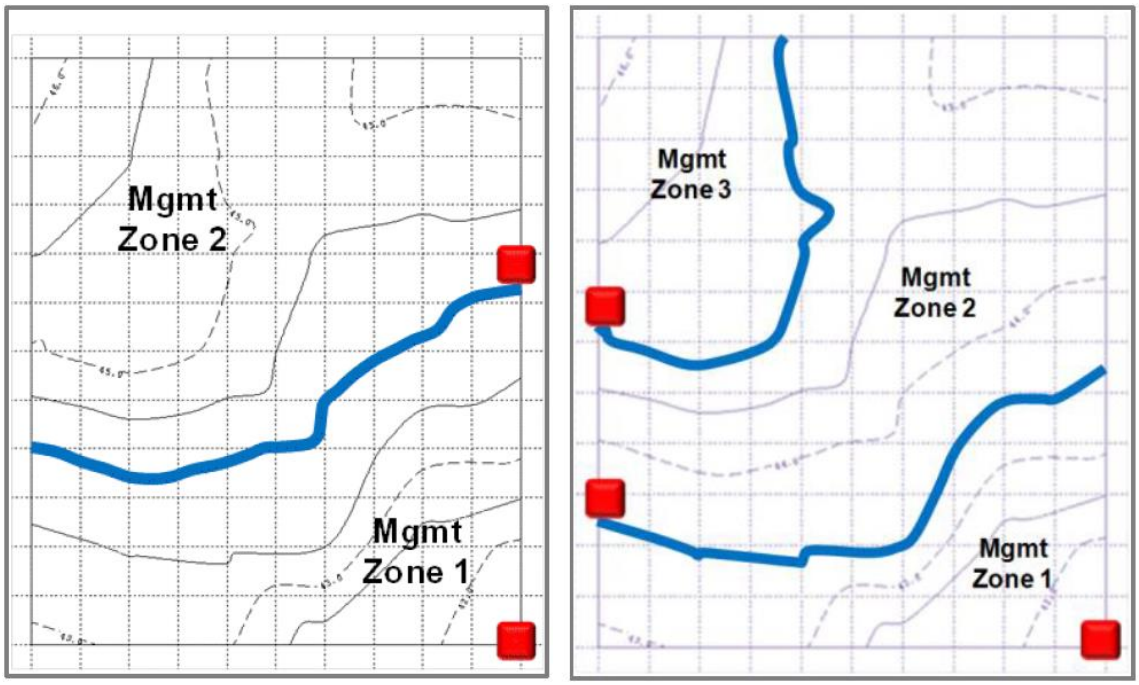
cm. Njima se može upravljati ručno ili automatski. Zapornice se postavljaju u utore kojima klize, a gumene brtve sprječavaju propuštanje vode u utorima. Održavanje brtvi vrši se podmazivanjem posebnim mazivom (J. Frankenberger i sur., 2004.).



Slika 10. Kontrolna građevina
Izvor: https://brownfieldagnews.com

4.2. Način rada sustava

Kako bi upravljanje drenažnom vodom bilo učinkovito topografija terena treba biti ujednačena i ravna, odnosno nagib terena ne smije biti veći od 0,5 %. Poljoprivredno zemljište podjeli se u zone (slika 11.), te svakom zonom upravlja jedna kontrolna građevina.



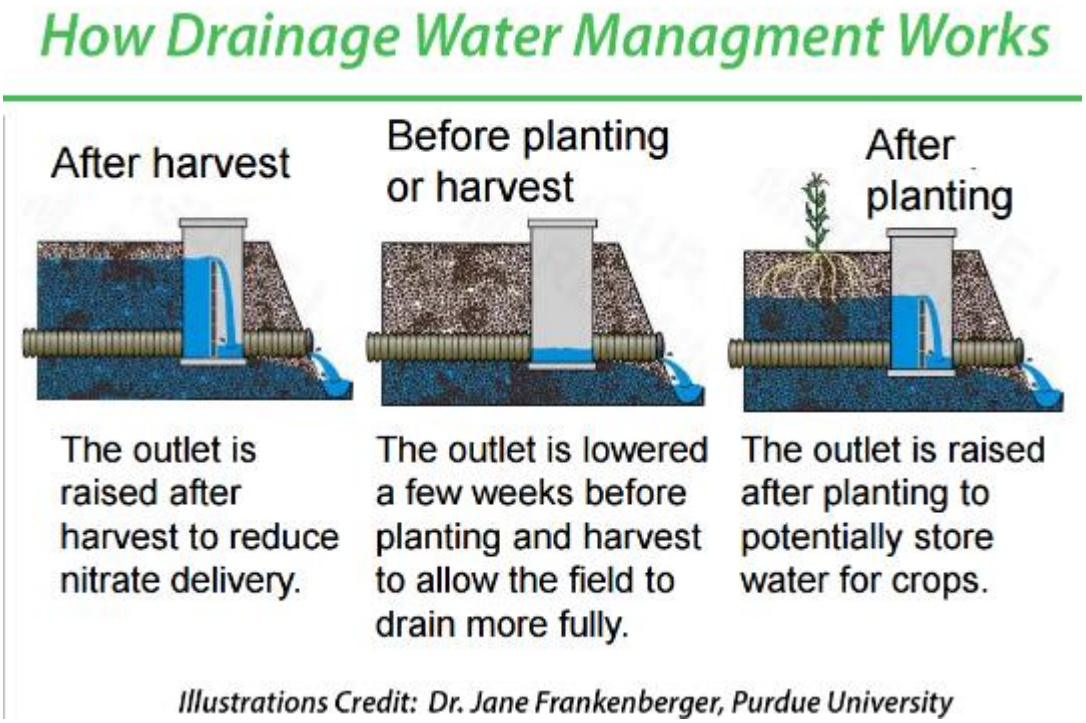
Slika 11. Podjela zemljišta po zonama
Izvor: Višnjić

Zone su međusobno odjeljene željenom visinskom razlikom koja odgovara ujednačenosti upravljanja drenažnom vodom, npr. kako bi se održala razina vode unutar 30 cm od željene dubine kontrolnu građevinu potrebno je postaviti u određenoj zoni na 30 cm ili manjoj razlici u visini. Jedna kontrolna građevina minimalno kontrolira od 4 do 8 ha. Upravljanje će biti ekonomski isplativije što je površina kojom upravlja jedna građevina veća (J. Frankenberger i sur., 2004.).

4.3. Način upravljanja sustavom

Prije žetve u jesen potrebno je sniziti razinu drenažne vode, te se zapornice vade iz kontrolne građevine desetak dana prije radova. Upravljanje razinom drenažne vode za vrijeme zimskog perioda zahtjeva odmah po završetku svih agrotehničkih radova na poljoprivrenom

zemljištu u jesen stavljanje zapornica u građevinu. Razinu vode treba održavati na dubini od 0,15 cm od površine tla. Upravo u tom periodu (jesen-proljeće) najviše vode protiče kroz drenažni sustav, te se i najviše nitrata ispire. Desetak dana prije početka proljetnih radova potrebno je izvaditi zapornice (nije potrebno ukloniti sve) kako bi se tlo prosušilo. Odmah po završetku sjetve ili sadnje, te ostalih agrotehničkih radova potrebno je vratiti zapornice u kontrolnu građevinu, te održavati razinu vode na 0,6 m ispod površine tla kako bi se voda kapilarnim putem digla do zone korijena. Nakon sjetve ili sadnje potrebno je upravljati razinom drenažne vode radi kvalitete vode i povećanja prinosa kultura (J. Frankenberger i sur., 2004.). Na slici 12. je prikazano upravljanje razinom drenažne vode tokom godine.



Slika 12. Upravljanje razinom drenažne vode
Izvor: Frankenberger

4.4. Prednosti drainage water managment-a

Upravljanje drenažnom vodom ima sljedeće značajnije prednosti: potencijal za rast prinosa usjeva, smanjenje količine nitrata koji se ispuštaju u recipjent, te mogućnost stvaranja staništa za divlje životinje (naročito ptice močvarnih područja). Pokusi na poljima u Sjevernoj Karolini (SAD) gdje se koristio DWM pokazali su rast prinosa usjeva u prosjeku od 5%, s tim da je u kišnijim godinama rast prinosa bio i veći. Studije su pokazale da se godišnja količina nitrata u drenažno isteku smanjila od 15% do 75% (ovisno o lokaciji, klimi, tipu tla, uzgojnim mjerama). Taj postotak ne predstavlja smanjenje koncentracije nitrata u drenažnoj vodi, već količine (smanjenjem količine isteka vode iz drenažnog sustava, smanjila se ukupna količina nitrata ispuštena u recipijent). Kako smanjiti koncentraciju nitrata prije puštanja u recipijent biti će rečeno u narednom poglavlju. Prilikom provođenja studija o kvaliteti tla na parcelama gdje se koristi DWM zapaženo je da se količina organske tvari lagano povisila, ali istraživanja na polju na tu temu još nisu provedena.

4.5. Nedostaci drainage water managment-a

Najznačajniji nedostaci upravljanja drenažnom vodom su: dodatni troškovi, mogućnost instalacije samo na određene terene (topografija), te je potreban dodatni rad (upravljanje sustavom). Cijena jedne građevine i njena instalacija koštaju od 500$ do 2000$ (ovisno o visini građevine, veličini zapornica, da li je građevina automatizirana). DWM može utjecati na količinu glista u tlu, pošto ne opstaju u prevlažnom tlu. Studije na tu temu su tek u početnoj fazi, te pokušavaju odrediti koliko vode je previše za opstanak glista i koje vrste bolje podnose veće količine vode u tlu. Radi nestručnog upravljanja DWM-om može doći do zbijanja tla, ako se krene sa radovima u polju prije nego se tlo dovoljno prosuši.

4.6. Učinak drainage water managment-a na poljoprivrednu proizvodnju

Istraživanje provedeno u Sjevernoj Karolini (SAD) u razdoblju od 1990. do 2011. godine pokazalo je benefite korištenja DWM-a na porast prinosa kultura u odnosu na slobodnu drenažu. Istraživanje je provedeno na različitim lokacijama, tipovima tla, klimi i kulturama. Podaci su prikupljeni sa dvije pokusne lokacije. Prva lokacija nalazi se u Tidewater Research Station-u u blizini Plymouth-a (Sjeverna Karolina, SAD), a druga u sjeveroistočnom Beaufort County-u u blizini Bath-a (Sjeverna Karolina, SAD).

Dvogodišnji plodored sačinjavale su sljedeće kulture: kukuruz (*Zea mays* L.), nakon čega se sijala pšenica (*Triticum aestivum* L), a nju je pratila soja (*Glycine max* L.).

DWM nije pokazao utjecaj na prinos pšenice. Razlog tomu je što se u Sjevernoj Karolini uzgaja ozima pšenica u najhladnijem i najkišovitijem dijelu godine, te u tom periodu ni nema potrebe za DWM-om. Kod uzgoja kukuruza uočen je prosječan porast prinosa od 11% korištenjem DWM-a u odnosu na slobodnu drenažu, a kod soje prosječan porast od 10% (C.A. Poole i sur., 2013.).

Ti podaci nam ukazuju da će implementacija DWM-a na poljoprivredna površine smanjiti potrebe za korištenjem vode za navodnjavanje, a ujedno će se ostvariti porast prinosa.

5. Biljni uređaji za pročišćavanje voda

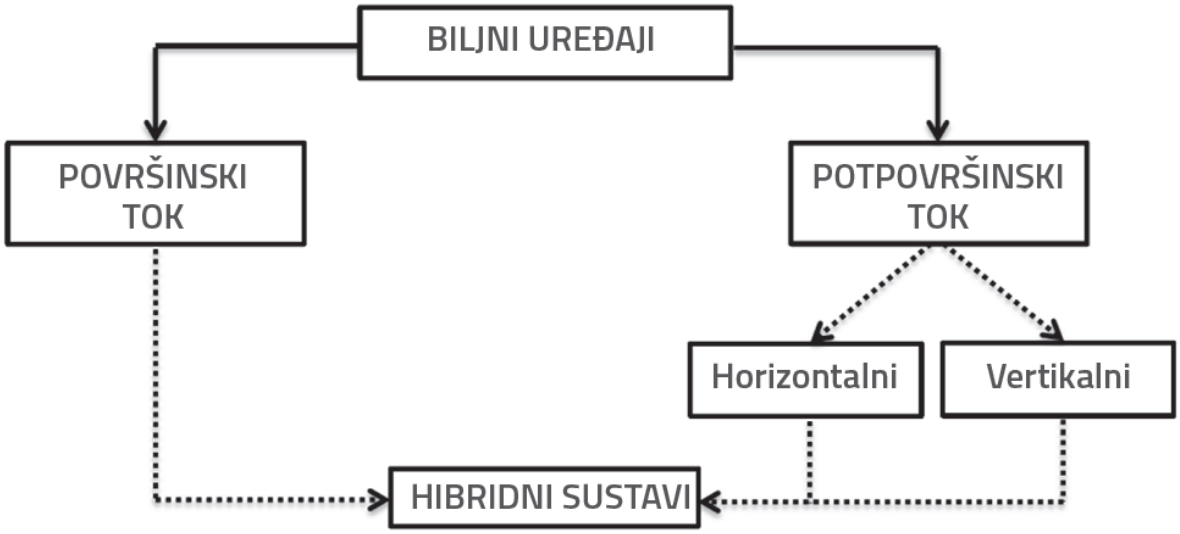
Biljni uređaji (″građene močvare″, eng. constructed wetlands) su svi uređaji (slika 13.) kod kojih biljke imaju određenu ulogu u pročišćavanju otpadnih voda. Prilikom obrade otpadnih voda odvijaju se različiti biološki i fizikalni procesi (adsorpcija, filtracija, dekompozicija, nitrifikacija, itd.).



Slika 13. Biljni uređaj za pročišćavanje voda
Izvor: http://www.kilianwater.nl

Primjena biljnih uređaja je široka: obrada ili pročišćavanje komunalnih otpadnih voda i otpadnih voda pojedinačnih kućanstava, naknadna obrada otpadnih voda pročišćenih na konvencionalnim uređajima za pročišćavanje, obrada određenih tehnoloških otpadnih voda (procjedne vode odlagališta otpada, otpadne vode rafinerija i poljoprivredne proizvodnje, itd.), odvodnja i mineralizacija mulja izdvojenog iz procesa pročišćavanja otpadnih voda , te obrada i privremeno retenciranje oborinskih voda. Biljni uređaji mogu se kvalificirati prema vrsti biljaka, režimu tečenja (slobodno vodno lice, potpovršinski tok-horizontalni, vertikalni), tipovima konfiguracije biljnih uređaja (hibridni, jednostupanjski ili višestupanjski sustavi), vrsti otpadne vode koja se obrađuje, razini obrade otpadne vode (I. stupanj, II. stupanj., III. stupanj, dezinfekcija), tipu prethodnog pročišćavanja, vrsti supstrata (pijesak, šljunak, sl.), te načinu

distribucije otpadne vode (kontinuirana ili isprekidana). Najčešći kriterij za kvalifikaciju je režim tečenja (slika 14.), te se prema tome biljni uređaji razvrstavaju na dva osnovna tipa – uređaji sa slobodnim vodnim licem i s potpovršinskim tokom (vertikalni i horizontalni tok). U Hrvatskoj, kao i u Europi, većinom se koriste uređaji s potpovršinskim tokom (D. Stanković, 2017.).



Slika 14. Klasifikacija biljnih uređaja prema režimu tečenja
Izvor: Stanković

5.1. Procesi pročišćavanja

Biljnim uređajima s potpovršinskim tokom uklanjaju se suspendirane tvari, hranjive tvari (dušik i fosfor), patogeni mikroorganizmi, teški metali, organska onečišćenja i organske tvari izražene kao biološka (BPK) ili kemijska (KPK) potreba kisika. Pročišćavanje otpadnih voda u biljnim uređajima rezultat je složenih interakcija filtracijskih zona. U uređaju su prisutne zone s različitim razinama kisika što dovodi do različitih procesa degradacije i uklanjanja onečišćavajućih tvari. Biljni uređaji djeluju kao mehanički i biološki filtar. U tablici 5. prikazani su procesi uklanjanja onečišćenja u biljnim uređajima s potpovršinskim tečenjem.

Tablica 5. Pregled procesa uklanjanja onečišćenja u biljnim uređajima s potpovršinskim tečenjem

ONEČIŠĆENJE	PROCES PROČIŠĆAVANJA
Organska tvar (izražena kao BPK ili KPK)	Neotopljena organska tvar uklanja se taloženjem i filtracijom, te se pretvara u otopljeni BPK. Biofilm fiksira otopljenu organsku tvar koju uklanjaju pričvršćene bakterije.
Suspendirane tvari	Filtracija. Razgradnja specijalnim bakterijama u tlu tijekom dugog vremena zadržavanja.
Dušik	Nitrifikacija i denitrifikacija u biofilmu. Unos u biljke.
Fosfor	Zadržavanje u tlu (adsorpcija). Obaranje s kalcijem, aluminijem i željezom. Unos u biljke.
Patogeni mikroorganizmi	Filtracija. Adsorpcija. Odumiranje tijekom dugog vremenskog zadržavanja.
Teški metali	Obaranje i adsorpcija. Unos u biljke.
Organska onečišćenja	Adsorpcija na biofilm i čestice gline. Moguća razgradnja uslijed dugog vremena zadržavanja s pomoću specijaliziranih bakterija u tlu.

Izvor: Stanković

Mikrobiološke krutine i suspendirane tvari otpadnih voda zadržavaju se mehanički, a otopljene organske tvari apsorbiraju se i fiksiraju biofilmom. U dugom vremenskom razdoblju organske tvari razgrađuju se i stabiliziraju biološkim procesima koji su potaknuti djelovanjem mikroorganizama (aerobne i fakultativne bakterije), koji rastu na površini korijena i čestica supstrata tvoreći aktivni ″biofilm″ (D. Stanković, 2017.).

5.2. Objekt prethodnog pročišćavanja

Prethodno pročišćavanje je neophodno kako bi se osigurala dugoročna funkcionalnost biljnih uređaja. Njihova svrha je zadržavanje krutih i suspendiranih tvari, ulja i masnoća, te se na taj način izbjegavaju potencijalni problemi u radu (naročito začepljivanju) biljnih uređaja. Ovisno o supstratu koji se namjerava upotrijebiti u biljnom uređaju ovisiti će zahtjevnost učinka prethodnog pročišćavanja, odnosno što je supstrat sitnozrniji (finiji) učinak prethodnog pročišćavanja treba biti veći kako ne bi došlo do začepljenja. Postupci koji se najčešće koriste kod ovog pročišćavanja su taloženje u septičkim tankovima, taložnim lagunama i Imhoffovim

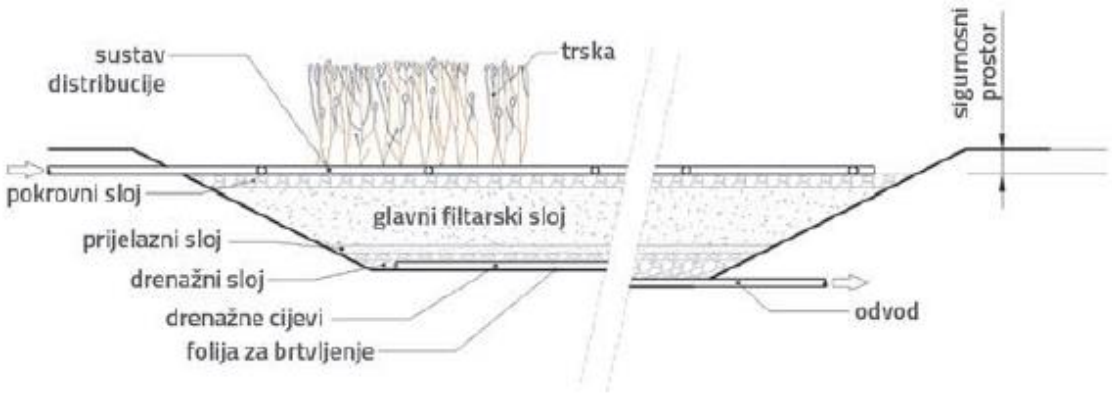
taložnicama. Na odabir svakog postupka utječe niz čimbenika, naročito veličina (opterećenje) biljnog uređaja i raspoloživ prostor (D. Stanković, 2017.).

5.3. Oblikovanje biljnih uređaja

U Hrvatskoj najčešće se koriste biljni uređaji s potpovršinskim tokom. Neovisno o smjeru tečenja (vertikalni ili horizontalni tok) otpadne vode glavni dijelovi uređaja su uljevni, središnji (filterski) i izljevni dio.

5.3.1. Biljni uređaji s vertikalnim potpovršinskim tokom

Otpadna voda kod uređaja s vertikalnim potpovršinskim tokom distribuira se po površini filterskog sloja, te zatim vertikalno protječe kroz supstrat (tijelo) uređaja. Za biljni uređaj s vertikalnim tokom, za uobičajeni supstrat od pijeska, radi se oblikovanje sigurnosnog prostora, biljaka, pokrovnog sloja, glavnog filterskog sloja, prijelaznog sloja, drenažnog sloja, zaštitnog sloja folije za brtvljenje, folija za brtvljenje ili brtva od prirodnog materijala, sloj za poravnanje od pijeska ili zaštitni sloj folije za brtvljenje (slika 15.).



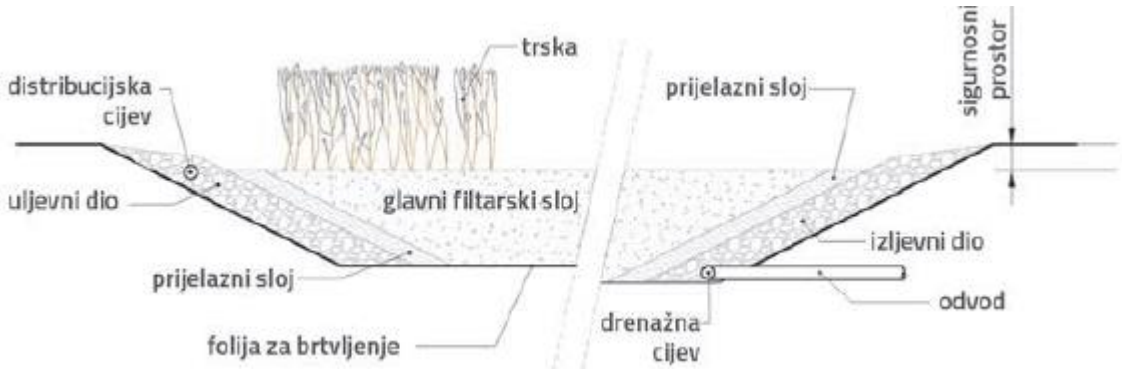
Slika 15. Shematski prikaz oblikovanja vertikalnog filtra
Izvor: Stanković

Sigurnosni prostor (20-30 cm) označava visinu od gornjeg ruba spremnika do površine gredice čiji je osnovni zadatak sprječavanje površinskog izljevanja u slučaju smanjenog intenziteta procjeđivanja otpadnih voda (npr. radi kolmatacije, zaleđivanja površine), te omogućuje

namjerno potapanje površine gredice radi uklanjanja korova. Biljke dugoročno osiguravaju funkcionalnost biljnog uređaja i održavaju propusnost njegova tijela. Ujedno, manjim dijelom, doprinose poboljšanju učinka pročišćavanja. Pokrovni sloj štiti filtersku površinu od ispiranja za vrijeme distribucije otpadne vode, te služi kao zaštita od isparavanja neugodnih mirisa. Ne preporuča se korištenje oštrobridnih materijala ili prevelikih debljina sloja kako se ne bi omeo rast biljaka. Najčešće se upotrebljava šljunak u debljini od 5 do 10 cm. Debljina glavnog filterskog sloja, u kojem se odvija većina procesa pročišćavanja otpadnih voda, mora iznositi minimalno 50cm. Njegova površina treba biti horizontalna i ravna kako bi raspodjela otpadne vode bila ujednačena i ne bi došlo do stvaranja lokvi na površini. Prijelazni sloj se postavlja kako bi se spriječilo ispiranje finijeg materijala iz glavnog filterskog u drenažni. Drenažni sloj prozračuje glavni filterski sloj s donje strane i odvodnjava biljni uređaj. Preporučuju se pravilni oblici biljnog uređaja koji osigurava jednoliku distribuciju otpadne vode po cijeloj površini. Za pogon vertikalnog filtera najčešće je potrebna upotreba energije (crpke) (D. Stanković, 2017.).

5.3.2. Biljni uređaji s horizontalnim potpovršinskim tokom

Otpadna voda se kod ovog tipa biljnog uređaja raspodjeljuje na uljevnom dijelu po jednoj stranici gredice, zatim kroz filtersko tijelo struji u horizontalnom smjeru ka izljevnom dijelu. Horizontalni filter se oblikuje prema sljedećim dijelovima: uljevni dio, prijelazni sloj, izljevni dio, folija za brtvljenje ili brtva od prirodnog materijala, sloj za poravnavanje od pijeska ili zaštitni sloj folije za brtvljenje (slika 16.).



Slika 16. Shematski prikaz oblikovanja horizontalnog filtera
Izvor: Stanković

Potrebno je ostaviti sigurnosni prostor (20-30 cm) kako bi se spriječilo površinsko izljevanje spremnika i omogućilo plansko potapanje gredice. Uloga biljaka je jednaka onoj kao kod verikalnih filtera, poboljšavaju učinak pročišćavanja i osiguravaju funkcionalnost. Uljevni dio sastoji se od grubljeg materijala kako ne bi došlo do kolmatacije na prijelazu između ulaznog dijela i filterskog tijela koristi se promjenjiva granulacija, te se na taj način izbjegava nagla promjena propusnosti. U glavnom filterskom sloju odvijaju se procesi pročišćavanja otpadnih voda, te se mora osigurati dovoljno dugo vremensko razdoblje zadržavanja voda. Između filterskog sloja i izljevnog dijela postavlja se prijelazni sloj koji osigurava filtersku stabilnost između različitih granulacija kako ne bi došlo do iznošenja finijih čestica kroz izlazni dio. Izlazni dio služi za odvodnju horizontalnog filtera. Najčešće je napravljen od šljunka, te se na dno polaže drenažna cijev. Kako bi se filterski sloj mogao u potpunosti prazniti dno gredice postavlja se u padu prema izlaznom dijelu, te nije potrebna uporaba crpnih stanica (D. Stanković, 2017.).

5.4. Filterski materijal (supstrat)

Kako bi došlo do kemijskih, bioloških i mehaničkih procesa pročišćavanja otpadnih voda potreban je dovoljno dug doticaj filterskog materijala i vode, te radi toga strujanje kroz filter treba biti jednoliko i mora se osigurati dovoljno dugo vremensko razdoblje zadržavanja voda. To se osigurava dovoljno propusnim filterskim materijalom. Grubljim supstratom postiže se visoka propusnost, ali je vrijeme zadržavanja vode kratko i ukupna površina zrna, koja utječe na razvoj mikroorganizama u filteru, je manja. Kao filterski materijal najčešće se koriste šljunak i pijesak. Šljunak se upotrebljava tamo gdje se zahtjeva visoka hidraulička propusnost (k_f > 10-3 m/s), ali je potrebno konstrukcijskim mjerama osigurati duže zadržavanje otpadnih voda. Za vertikalne i horizontalne filtere najčešće se koriste pijesci hidrauličke propusnosti k_f = 10-3 do 10-4 m/s, te se preporučuje upotreba pijeska s većim udjelom okruglih zrna. Kako bi se osigurala optimalna hidraulička propusnost filtera bitna je pravilna ugradnja supstrata, te je potrebno izbjegavati njegovo zbijanje (D. Stanković, 2017.) .

5.5. Biljke

Glavni zadatak biljaka u biljnim uređajima je održavanje propusnosti filterskog tijela. Rastom korijenja i rizoma, te gibanjem stabljika pod utjecajem vjetra biljke sprječavaju začepljenje filtera, a područje oko korijena povoljno je za razvoj i rast mikroorganizama. Najčešće se koriste biljke močvarne vegetacije- trska, rogoz, oblič i dr. (D. Stanković, 2017.).

6. Lokacija poljoprivrednog dobra Poljoprivrednog instituta Osijek i zona obuhvata navodnjavanja

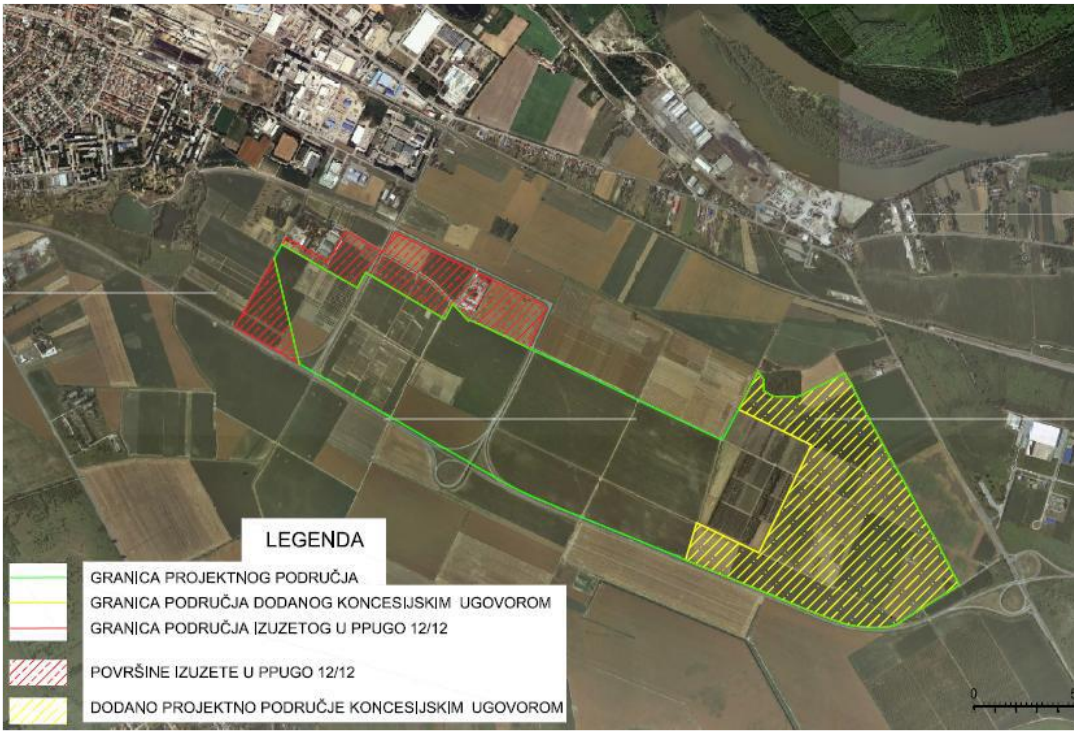
Poljoprivredno dobro instituta Osijek (slika 17.) nalazi se na jugoistočnom dijelu grada Osijeka. Rijeka Drava udaljena je oko 1 km. Proizvodna površina na južnoj strani graniči s osječkom obilaznicom i prometnim čvorom ″Elektroslavonija″. U blizini se nalaze Termoelktrana-toplana (TE-TO) i Šećerana Osijek, koje su razmatrane za korištenje infrastrukture postojećih zahvata vode iz rijeke Drave prilikom navodnjavanja poljoprivrednog dobra. Pošto se u pregovorima vođenim 2008. godine nije pronašlo rješenje zajedničkog korištenja postojeće infrastrukture ssa navedenim poduzećima ta varijanta nije se dalje analizirala. Izgradnja vlastitog vodozahvata na rijeci Dravi pokazala se ekonomski neisplativom, te je za navodnjavanje površine odlučeno koristiti podzemni izvor u vidu bušenih zdenaca.



Slika 17. Lokacija poljoprivrednog dobra Poljoprivrednog instituta u Osijeku
Izvor: Perić

Poljoprivredni institut u Osijeku uključio se u državni projekt navodnjavanja NAPNAV. Obuhvat sustava od 202 ha s mogućnošću proširenja odredila je županijska radna grupa. Od strane Agronomskog fakulteta u Zagrebu načinjena je

″Hidropedološka studija s idejnim rješenjem navodnjavanja proizvodnih površina Poljoprivrednog instituta Osijek″, te se ona koristila kao podloga za izradu projektnog rješenja. Idejni projekt, broj: 120-S-368/11 izrađen je 2011. godine na Građevinskom fakultetu u Zagrebu (projektant: doc. dr. sc. Duška Kunštek, dipl. ing. građ.), te je na osnovi njega ishodovana građevinska dozvola 2013. (Klasa: UP/I-350-05/11-01/117; Urbroj: 2158/01-12-01/04-13-23). U toku iste godine institutu je izdvojena poljoprivredna površina u vlasništvu Republike Hrvatske (oko 35 ha). Radi toga izrađen je novi Idejni projekt, broj: 120-S-188/14, u listopadu 2014. godine (projektant: doc. dr. sc. Duška Kunštek, dipl. ing. građ.). Na temelju toga izdana je Izmjena i/ili dopuna lokacijske dozvole 16.07.2015. (Klasa: UP/I-350-05/15-01/000004; Urbroj: 2158/01-12-00/05-15-0005) čime se promijenila podtočka 4.2. lokacijske dozvole (Klasa: UP/I-350-05/11-01/117; Urbroj: 2158/01-12-01/04-13-23) iz lipnja 2013. godine tako da glasi: Površina obuhvata iznosi cca 174 ha. Glavni projekt sustava navodnjavanja područja Poljoprivrednog instituta u Osijeku (broj: 120-S-188/15) izrađen je u rujnu 2015. na temelju pozitivnog rješenja na Idejni projekt. Proširenje područja (slika 18.) ostvareno je potpisivanjem koncesijskih ugovora za nova 74 ha,te ukupna površina obuhvata sustava sada iznosi 211,5 ha (Perić, 2016.).



Slika 18. Granice zahvata SN PIO na DOF karti (211,5 ha)
Izvor: Perić

6.1. Poljoprivredna proizvodnja

Na proizvodnim površinama Poljoprivrednog instituta u Osijeku u razdoblju od 2003. do 2005. godine pretežito se je uzgajao kukuruz (15-32% od ukupno zasijanih površina), pšenica (3-36%) i soja (18-46%). U tablici 6. prikazana je trogodišnja struktura sjetve, odnosno sadnje, na proizvodnim parcelama (D. Romić i sur., 2006.).

Tablica 6. Trogodišnja struktura sjetve/sadnje na proizvodnim površinama Poljoprivrednog instituta Osijek (2003.-2005.)

PARCELA	2003.			2004.			2005.		
	KULTURA	Površina		KULTURA	Površina		KULTURA	Površina	
		ha	%		ha	%		ha	%
T-1,17	SOJA	6,8	3,9	PŠENICA	6,8	4,1	SOJA	6,8	3,9
T-XI,XII,XIII	OZIMI JEČAM	6,5	3,7	PŠENICA	6,5	3,9	SOJA	6,5	3,7
T-XIV,XV,XXIV,XXIII	OZIMI JEČAM	8,5	4,8	ORANICA		0,0	SOJA	8,5	4,8
T-XXII,XXI,XX	JARI GRAŠAK	6,3	3,6	OZ. JEČAM	6,3	3,8	ORANJE	6,3	3,6
T-21	SOJA	9,7	5,5	OZ. JEČAM	9,7	5,8	OZ. JEČAM	9,7	5,5
T-22	JARI GRAŠAK	9,1	5,2	JARI JEČAM	9,1	5,4	PŠENICA	9,1	5,2
T-23	LUCERNA	7,7	4,4	LUCERNA	7,7	4,6	KUKURUZ	7,7	4,4
T-26	SOJA	10,6	6,0	PŠENICA	10,6	6,3	OZ. PŠENICA	10,6	6,0
T-27	SOJA	10,9	6,2	OZ. JEČAM	10,9	6,5	OZ. PŠENICA	10,9	6,2
T-28	PŠENICA	10,9	6,2	SOJA	10,9	6,5	OZ. PŠENICA	10,9	6,2
T-29	SOJA	8,5	4,8	PŠENICA, SOJA	8,5	5,1	OZ. PŠENICA	8,5	4,8
T-30	KUKURUZ	9,7	5,5	GRAŠAK	9,7	5,8	KUKURUZ	9,7	5,5
T-31	SOJA	9,4	5,3	PŠENICA	9,4	5,6	KUKURUZ	9,4	5,3
T-6	KUKURUZ	5,8	3,3	SOJA	5,8	3,5	KUKURUZ	5,8	3,3
T-5	KUKURUZ	3,0	1,7	SOJA	3,0	1,8	KUKURUZ	3,0	1,7
T-6	KUKURUZ	3,0	1,7	PŠENICA	3,0	1,8	KUKURUZ	3,0	1,7
T-7	KUK., SUNCOK.	7,9	4,5	PŠENICA	7,9	4,7	KUKURUZ	7,9	4,5
T-8	KUKURUZ	7,5	4,3	PŠENICA	7,5	4,5	KUKU. SOJA	7,5	4,3
T-13	SOJA	7,2	4,1	KUKURUZ	7,2	4,3	GRAŠAK	7,2	4,1
T-14	SOJA	7,2	4,1	KUKURUZ	7,2	4,3	GRAŠAK	7,2	4,1
T-I,II,III,IV	KUKURUZ	10,0	5,7	SOJA	10,0	6,0	KRUMPIR	10,0	5,7
T-V,VI,VII, dio T-39	SOJA	10,0	5,7	KUKURUZ	10,0	6,0	SOJA	10,0	5,7
	UKUPNO	**176**	**100**		**168**	**100**		**176**	**100**

Izvor: Romić

6.1. Postojeći sustav navodnjavanja

Na površini od 211,5 ha kojim upravlja Poljoprivredni institut Osijek projektiran je sustav navodnjavanja na temelju proračunatog bruto hidromodula navodnjavanja od 0,48 l/s/ha za 18 satni obrok navodnjavanja. Sustavom Typhoon predviđeno je navodnjavanje na 128,74 ha, Linearom na 62,6 ha i sustavom kap na kap na 20,16 ha (slika 19.). Pošto su Linear i Typhoon zahtjevniji po pitanju protoka i tlakova sustav je dimenzioniran prema ta dva načina, te se navodnjavanje kap na kap može primjeniti bilo gdje na sustavu.

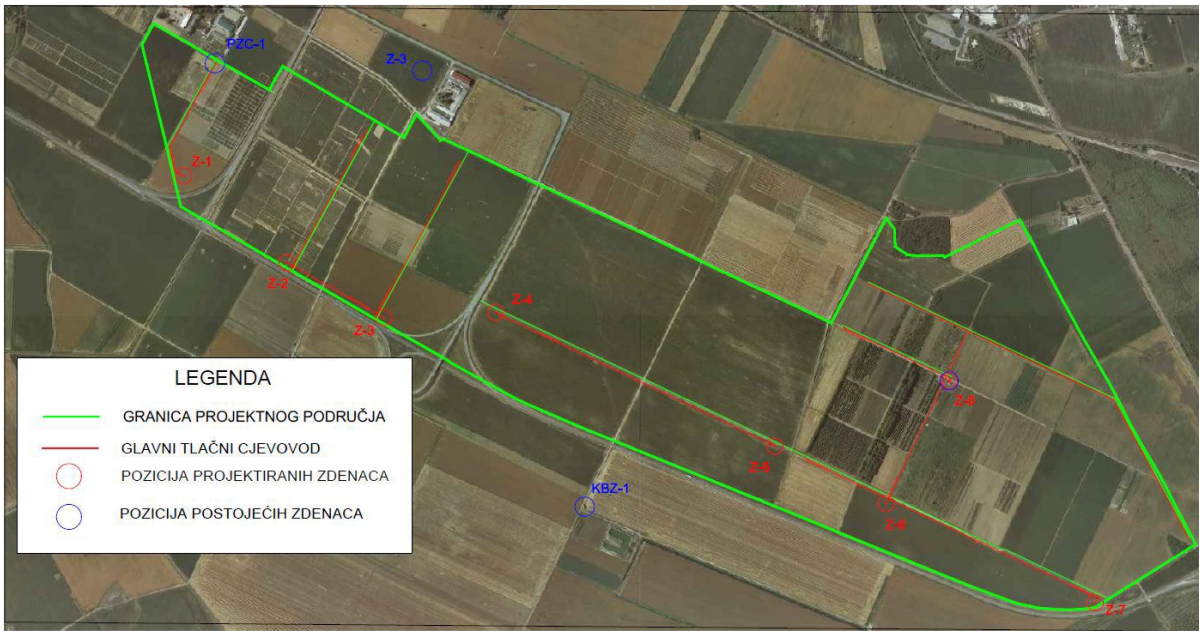
Sustav je razdjeljen na visokotlačni dio (visoki tlak-VT ~8 bara), s obzirom da sustav Typhoon zahtjeva veće radne tlakove (max 11 bara) jer mora raspršivati vodu visoko u zrak, te niskotlačni dio (niski tlak-NT ~2 bara) u koji ubrajamo navodnjavanje sustavom Linear i kap na kap. Sustav je dimenzioniran pomoću hidrauličkog modela tečenja pod tlakom izrađenom u kompjuterskom programu EPANET. Za hidrauličko dimenzioniranje sustava navodnjavanja Typhoon korištena je, kao mjerodavna, grupa od 5 uređaja sa ukupnim protokom 76,6 l/s, a za sustav Linear jedan uređaj sa ukupnim protokom 23 l/s. Svi slučajevi manje potrošnje će zadovoljavati po pitanju potrebnih tlakova, tako da nisu posebno analizirani.



Slika 19. Prikaz površina pod sustavima Typhon, Linear i kap na kap
Izvor: Perić

Sustav navodnjavanja obuhvaća 8 zdenaca i isto toliko crpki, 60 zasunskih okana, 5810 m cijevi, 5 zasunskih komora i 10 muljnih ispusta. Sustav je podjeljen na četiri podsustava (tri VT i jedan NT) budući da je projektiran prema izdašnosti bunara i maksimalnim mogućnostima opskrbljivanja pojedine razgranate mreže.

Izvor vode dobiven je iz podzemlja pomoću bušenih zdenaca, te je za potrebe navodnjavanja ukupno predviđeno osam zdenaca od kojih su tri postojeća (slika 20.). Kapaciteti zdenaca su procijenjeni na osnovu izdašnosti postojećih zdenaca koji su u upotrebi (zdenac Z-8 i zdenac PZC-1) i izdašnosti izvedenih istražno-eksploatacijskih zdenaca (zdenac KBZ-1 i zdenac Z-3) koji se nalaze van granica zahvata. U zdence se ugrađuju vertikalne bunarske višestupanjske crpke za pitke vode od nehrđajućeg čelika sa potopnim motorom za maksimalne temperature vode do 30 °C.



Slika 20. Pozicija postojećih i projektiranih zdenaca
Izvor: Perić

Na visokotlačnom dijelu predviđeno je navodnjavanje sustavom Typhon korištenjem uređaja Bauer Rainstar Typhon Serie E11, tip 100/380, Vector control A280 (slika 21.). Za dimenzioniranje sustava korištena je grupa od pet uređaja sa ukupnim protokom 76,6 l/s.

Navodnjavanje bi se vršilo ravnomjerno raspoređenim uređajima duž cijelog polja na način da je bar jedan uređaj opterećenje po zdencu. Visokotlačni sustav ima predviđene PEHD cijevi Ø200mm (NP10) čija dubina ukopa mora biti veća od 1 m radi zaštite cijevi od mehanizacije. Za priključak Typhon sustava predviđeno je 54 nadzemnih zasunskih okna na razmaku od 75 m (srednja širina trake koju navodnjava uređaj pri jednom prolazu), smještenih unutar betonske cijevi Ø1000mm koji će ujedno služiti i za odzračivanje sustava. Na visokotlačnom dijelu predviđeno je pet muljnih ispusta na najnižim kotama cjevovoda koji se ručno odmuljavaju (Perić, 2016.).



Slika 21. Typhoon uređaj
Izvor: Perić

Na niskotlačnom dijelu koristi se uređaj Linear Valley, Universal (slika 22.). Za hidrauličko dimenzioniranje sustava korišten je jedan uređaj sa ukupnim protokom od 23l/s. Kod

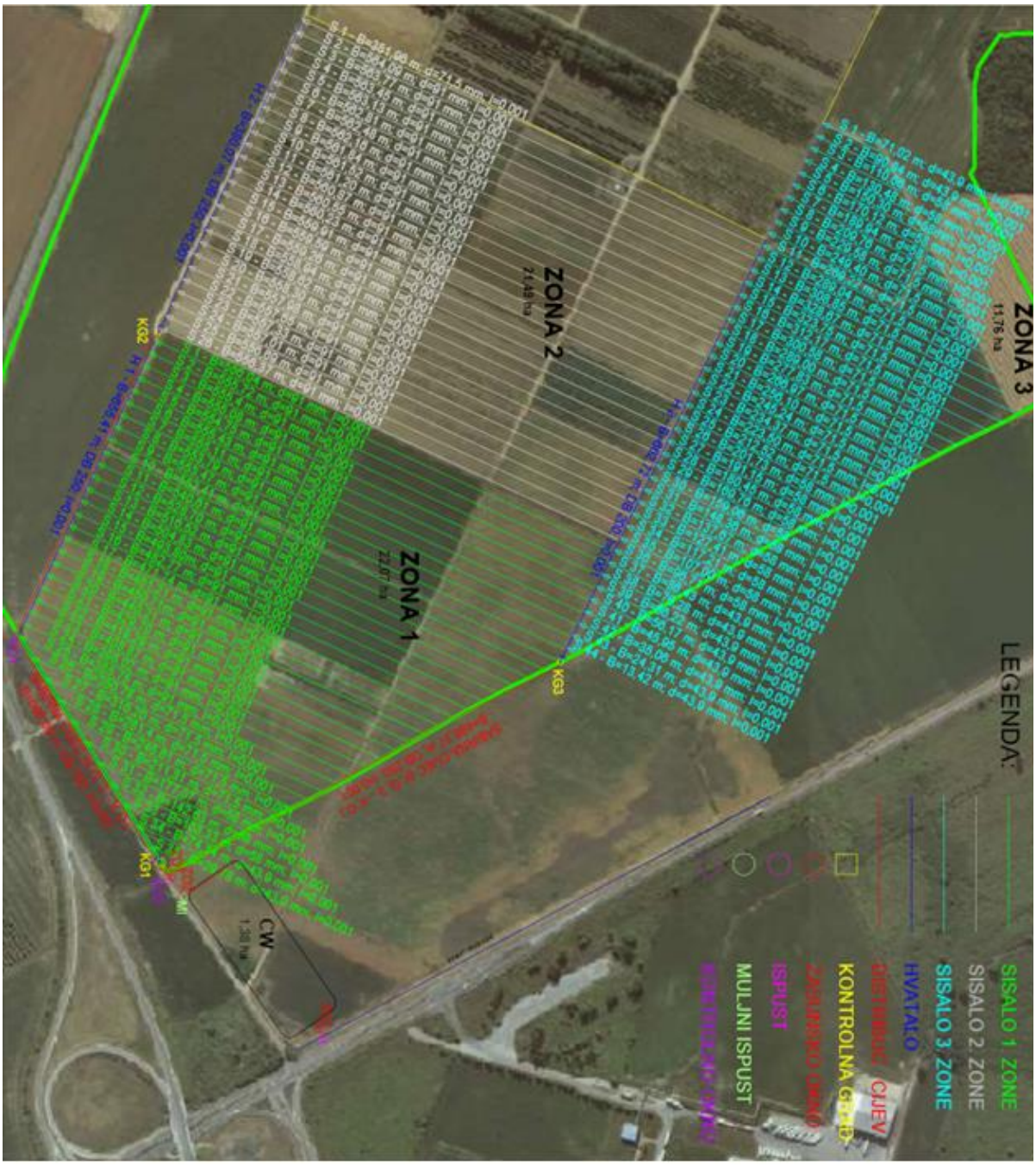
niskotlačnog sustava predviđene su cijevi PEHD Ø160mm (NP10), te isto kao i kod visokotlačnog sustava cijevi moraju biti ukopane na dubini većoj od 1 m. Kod ovog sustava predviđeno je pet zasunskih okna na razmaku od 225 m (razmak koji zahtjeva dužinu cijevi od okna do Lineara, minimalno 112,5 m), te će okna ujedno služiti i za odzračivanje sustava. Predviđen je jedan muljni ispust na najnižoj koti cjevovoda (Perić, 2016.) .



Slika 22. Linear uređaj
Izvor: Perić

7. Tehnički opis implementacije DWM-a na pokusnoj parceli u sklopu poljoprivrednog dobra Poljoprivtednog instituta Osijek

Poljoprivredni institut Osijek raspolaže dobrom veličine oko 211,5 ha na kojemu se pretežito uzgaja kukuruz, pšenica i soja. Sustavom Typhoon predviđeno je navodnjavanje na 128,74 ha, Linearom na 62,6 ha i sustavom kap na kap na 20,16 ha. Za dio od ukupne površine, odnosno za 55,32 ha, izrađen je idejni projekt kojim se unaprijeđuje taj sustav. Na toj parceli vršit će se ispitivanje povećanja učinkovitosti sustava navodnjavanja. Kombinacijom navodnjavanja, odvodnje i DWM želi se smanjiti rizik od različitih klimatskih nepogoda (suša, poplava) koje mogu ugroziti stabilnu poljoprivrednu proizvodnju, povećati prinos kultura, te smanjiti količine vode potrebne za navodnjavanje. Izgradnjom DWM-a želi se zadržati voda (padaline, navodnjavanje) u tlu koja bi biljkama osigurala dovoljne količine vode za rast i razvoj u sušnim periodima, te se želi smanjiti količina vode za navodnjavanje korištena iz izvora (zdenaca). Odvodnja vode s tog područja vrši će se prema potrebi za vrijeme dugih kišnih razdoblja, te prije puštanja u recipijent će biti pročišćena u CW-u. Predviđena površina podjeljena je u tri zone: ZONA 1=22,07ha, ZONA 2= 21,49ha i ZONA 3= 11,76ha (slika 23.). U slučaju da se implementacija DWM u postojeći sustav navodnjavanja na pokusnoj površini pokaže ekonomski isplativom, ono će se primjeniti i na ostalim površinama.



Slika 23. Situacija
Izvor: Višnjić

7.1. Proračun sisala i hvatala

Na svaku zonu ugrađeni su drenovi sisala i hvatala, te svakom od njih upravlja jedna kontrolna građevina. Razmak sisala i hvatala (kao i svi ostali parametri sisala i hvatala) dobiveni su Hooghoudt-Ernest-ovom formulom, te su jednaki za sve zone unutar sustava (Višnjić, 2017.). U tablici 7. dani su ulazni parametri za proračun razmaka sisala.

Tablica 7. Ulazni parametri za proračun razmaka sisala

propusnost iznad osi drena (m/dan)	K_{s1}	0,10
propusnost ispod osi drena (m/dan)	K_{s2}	0,10
dozvoljena visina vodnog lica iznad osi drena (m)	h	1,20
faktor nivoa nepropusnog sloja i drena (m)	D	6,00
mjerodavna oborina za podzemnu odvonju (m/dan)	O	0,0088

Izvor: Višnjić

U nastavku je dan proračun (tablica 8.) razmaka drenova po formuli Hooghoudt / Ernest-a.

Tablica 8. Proračun razmaka drenova po formuli Hooghoudt / Ernest-a

pretpostavljeni razmak kanala (m)	L	10	14	15
faktor u metrima (iz tablica)	d	1,13	1,442	1,52
razmak drenažnih cijevi (m)	L	14	15	15

Izvor: Višnjić

Tablica 9. Proračun promjera cijevi i ostalih parametara za sisala za zonu 1

ZONA 1		S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
duljina drena (m)	*B*	553,47	552,41	540,61	528,7	516,52	504,83	493,8	482,77
pretpostavljeni promjer cijevi	*d*	75	75	74	74	73	72	72	71
Mannigov koeficijent	*n*	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
pad terena (m/m)	*I*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
protočna površina (m2)	*A*	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
omočeni obod (m)	*O*	0,236	0,236	0,232	0,232	0,229	0,226	0,226	0,223
hidraulički radijus (m)	*R*	0,019	0,019	0,019	0,019	0,018	0,018	0,018	0,018
protok (m3/s)	*Q*	0,00062	0,00062	0,00059	0,00059	0,00057	0,00055	0,00055	0,00053
		0,00085	0,00084	0,00083	0,00081	0,00079	0,00077	0,00075	0,00074
odabrani promjer cijevi (mm)	*d*	91	91	91	91	91	91	91	91
kontrola duljine drena (m)	*Bmax*	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53

ZONA 1		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
duljina drena (m)	*B*	556,04	555,72	555,4	555,08	554,75	554,43	554,11	553,79
pretpostavljeni promjer cijevi	*d*	75	75	75	75	75	75	75	75
Mannigov koeficijent	*n*	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
pad terena (m/m)	*I*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
protočna površina (m2)	*A*	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
omočeni obod (m)	*O*	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236
hidraulički radijus (m)	*R*	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
protok (m3/s)	*Q*	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062
		0,00085	0,00085	0,00085	0,00085	0,00085	0,00085	0,00085	0,00085
odabrani promjer cijevi (mm)	*d*	91	91	91	91	91	91	91	91
kontrola duljine drena (m)	*Bmax*	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53

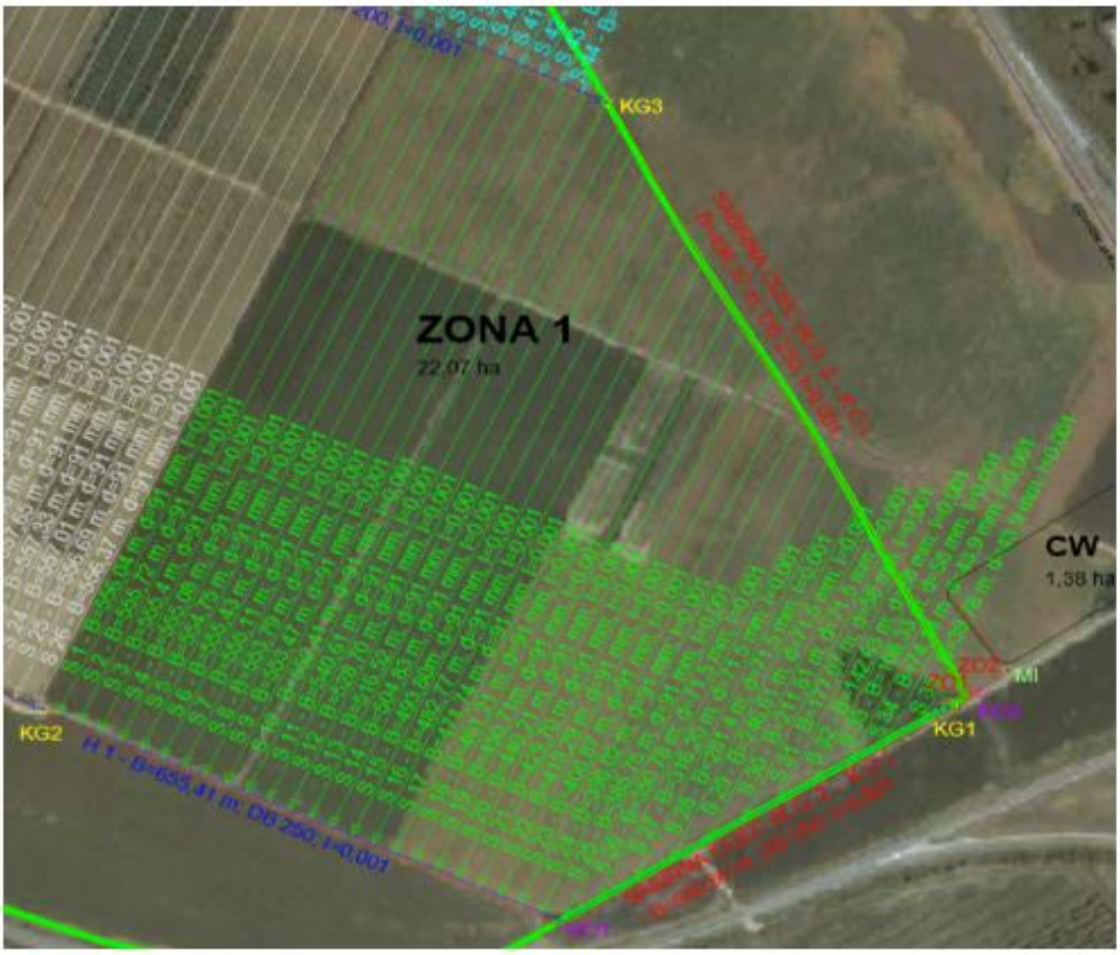
ZONA 1		S25	S26	S27	S28	S29	S30
duljina drena (m)	*B*	385,75	350,78	316,2	281,4	246,61	211,81
pretpostavljeni promjer cijevi	*d*	66	64	61	58	56	52
Mannigov koeficijent	*n*	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
pad terena (m/m)	*I*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
protočna površina (m2)	*A*	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002
omočeni obod (m)	*O*	0,207	0,201	0,192	0,182	0,176	0,163
hidraulički radijus (m)	*R*	0,017	0,016	0,015	0,015	0,014	0,013
protok (m3/s)	*Q*	0,00044	0,0004	0,00036	0,00031	0,00028	0,00023
		0,00059	0,00054	0,00048	0,00043	0,00038	0,00032
odabrani promjer cijevi (mm)	*d*	91	71,5	71,5	71,5	71,5	71,5
kontrola duljine drena (m)	*Bmax*	675,53	355,1	355,1	355,1	355,1	355,1

ZONA 1		S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24
duljina drena (m)	*B*	471,74	461,21	450,71	440,21	429,7	419,29	408,87	398,02
pretpostavljeni promjer cijevi	*d*	70	70	69	69	68	68	67	67
Mannigov koeficijent	*n*	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
pad terena (m/m)	*I*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
protočna površina (m2)	*A*	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
omočeni obod (m)	*O*	0,220	0,220	0,217	0,217	0,214	0,214	0,21	0,21
hidraulički radijus (m)	*R*	0,018	0,018	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
protok (m3/s)	*Q*	0,00051	0,00051	0,00049	0,00049	0,00047	0,00047	0,00046	0,00046
		0,00072	0,0007	0,00069	0,00067	0,00066	0,00064	0,00062	0,00061
odabrani promjer cijevi (mm)	*d*	91	91	91	91	91	91	91	91
kontrola duljine drena (m)	*Bmax*	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53

ZONA 1		S31	S32	S33	S34	S35
duljina drena (m)	*B*	177,07	142,63	108,33	74,14	39,78
pretpostavljeni promjer cijevi	*d*	49	46	42	36	29
Mannigov koeficijent	*n*	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
pad terena (m/m)	*I*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
protočna površina (m2)	*A*	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
omočeni obod (m)	*O*	0,154	0,145	0,132	0,113	0,091
hidraulički radijus (m)	*R*	0,012	0,012	0,011	0,009	0,007
protok (m3/s)	*Q*	0,0002	0,00017	0,00013	0,00009	0,00005
		0,00027	0,00022	0,00017	0,00011	0,00006
odabrani promjer cijevi (mm)	*d*	58	58	58	43,9	43,9
kontrola duljine drena (m)	*Bmax*	203,24	203,24	203,24	96,7	96,7

Izvor: Višnjić

U nastavku je dan prikaz (slika 24.) zone 1.



Slika 24. Prikaz zone 1
Izvor: Višnjić

Tablica 10. Proračun promjera cijevi i ostalih parametara za sisala za zonu 2

ZONA 2		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
duljina drena (m)	*B*	351,96	564,09	563,77	563,45	563,13	562,81	562,48	562,16
pretpostavljeni promjer cijevi	*d*	63	75	75	75	75	75	75	75
Mannigov koeficijent	*n*	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
pad terena (m/m)	*I*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
protočna površina (m2)	*A*	0,003	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
omočeni obod (m)	*O*	0,198	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236
hidraulički radijus (m)	*R*	0,016	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
protok (m3/s)	*Q*	0,00039	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062
		0,00054	0,00086	0,00086	0,00086	0,00086	0,00086	0,00086	0,00086
odabrani promjer cijevi (mm)	*d*	71,5	91	91	91	91	91	91	91
kontrola duljine drena (m)	*Bmax*	355,1	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53

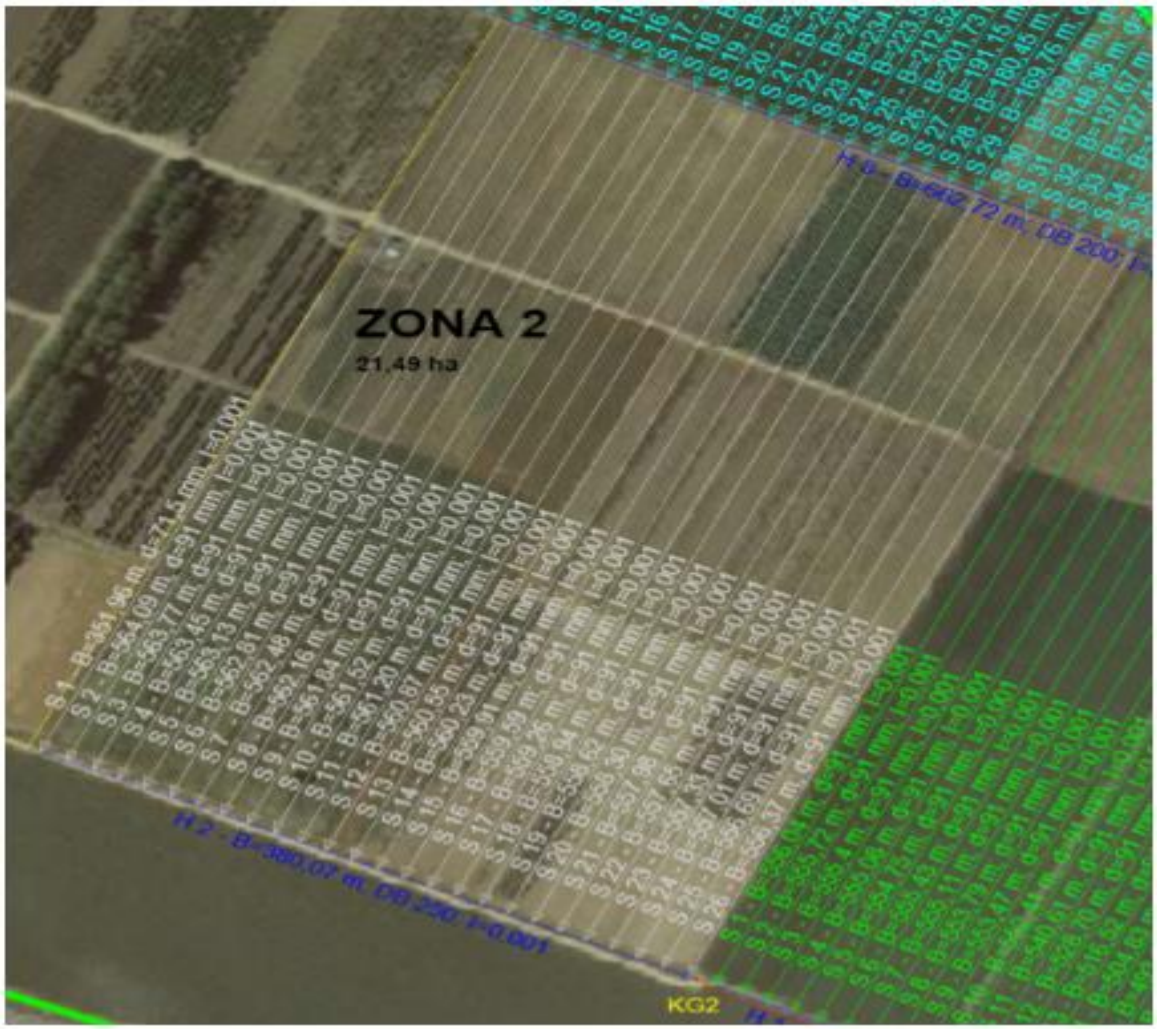
ZONA 2		S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
duljina drena (m)	*B*	561,84	561,52	561,2	560,87	560,55	560,23	559,91	559,59
pretpostavljeni promjer cijevi	*d*	75	75	75	75	75	75	75	75
Mannigov koeficijent	*n*	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
pad terena (m/m)	*I*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
protočna površina (m2)	*A*	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
omočeni obod (m)	*O*	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236
hidraulički radijus (m)	*R*	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
protok (m3/s)	*Q*	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062
		0,00086	0,00086	0,00086	0,00086	0,00086	0,00086	0,00086	0,00085
odabrani promjer cijevi (mm)	*d*	91	91	91	91	91	91	91	91
kontrola duljine drena (m)	*Bmax*	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53

ZONA 2		S22	S23	S24	S25	S26
duljina drena (m)	*B*	557,65	557,33	557,01	556,69	556,37
pretpostavljeni promjer cijevi	*d*	75	75	75	75	75
Mannigov koeficijent	*n*	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
pad terena (m/m)	*I*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
protočna površina (m2)	*A*	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
omočeni obod (m)	*O*	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236
hidraulički radijus (m)	*R*	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
protok (m3/s)	*Q*	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062
		0,00085	0,00085	0,00085	0,00085	0,00085
odabrani promjer cijevi (mm)	*d*	91	91	91	91	91
kontrola duljine drena (m)	*Bmax*	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53

ZONA 2		S17	S18	S19	S20	S21
duljina drena (m)	*B*	559,26	558,94	558,62	558,3	557,98
pretpostavljeni promjer cijevi	*d*	75	75	75	75	75
Mannigov koeficijent	*n*	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
pad terena (m/m)	*I*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
protočna površina (m2)	*A*	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
omočeni obod (m)	*O*	0,236	0,236	0,236	0,236	0,236
hidraulički radijus (m)	*R*	0,019	0,019	0,019	0,019	0,019
protok (m3/s)	*Q*	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062	0,00062
		0,00085	0,00085	0,00085	0,00085	0,00085
odabrani promjer cijevi (mm)	*d*	91	91	91	91	91
kontrola duljine drena (m)	*Bmax*	675,53	675,53	675,53	675,53	675,53

Izvor: Višnjić

U nastavku je dan prikaz (slika 25.) zone 2.



Slika 25. Prikaz zone 2
Izvor: Višnjić

Tablica 11. Proračun promjera cijevi i ostalih parametara za sisala za zonu 3

ZONA 3		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
duljina drena (m)	*B*	71,02	90,84	110,66	130,48	150,3	170,12	189,94	209,76
pretpostavljeni promjer cijevi	*d*	36	39	42	43	46	48	50	52
Mannigov koeficijent	*n*	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
pad terena (m/m)	*I*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
protočna površina (m2)	*A*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
omočeni obod (m)	*O*	0,113	0,123	0,132	0,135	0,145	0,151	0,157	0,163
hidraulički radijus (m)	*R*	0,009	0,01	0,011	0,011	0,012	0,012	0,013	0,013
protok (m3/s)	*Q*	0,00009	0,00011	0,00013	0,00014	0,00017	0,00019	0,00021	0,00023
		0,00011	0,00014	0,00017	0,0002	0,00023	0,00026	0,00029	0,00032
odabrani promjer cijevi (mm)	*d*	43,9	43,9	58	58	58	58	58	71,5
kontrola duljine drena (m)	*Bmax*	96,7	96,7	203,24	203,24	203,24	203,24	203,24	355,1

ZONA 3		S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
duljina drena (m)	*B*	229,58	249,4	269,22	289,04	308,85	328,67	323,75	312,17
pretpostavljeni promjer cijevi	*d*	54	56	57	59	60	62	61	61
Mannigov koeficijent	*n*	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
pad terena (m/m)	*I*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
protočna površina (m2)	*A*	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
omočeni obod (m)	*O*	0,17	0,176	0,179	0,185	0,188	0,195	0,192	0,192
hidraulički radijus (m)	*R*	0,014	0,014	0,014	0,015	0,015	0,016	0,015	0,015
protok (m3/s)	*Q*	0,00026	0,00028	0,0003	0,00032	0,00034	0,00037	0,00036	0,00036
		0,00035	0,00038	0,00041	0,00044	0,00047	0,0005	0,00049	0,00048
odabrani promjer cijevi (mm)	*d*	71,5	71,5	71,5	71,5	71,5	71,5	71,5	71,5
kontrola duljine drena (m)	*Bmax*	355,1	355,1	355,1	355,1	355,1	355,1	355,1	355,1

ZONA 3		S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24
duljina drena (m)	*B*	300,58	289	277,83	266,97	256,1	245,24	234,37	223,5
pretpostavljeni promjer cijevi	*d*	60	59	58	57	56	56	55	54
Mannigov koeficijent	*n*	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
pad terena (m/m)	*I*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
protočna površina (m2)	*A*	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002
omočeni obod (m)	*O*	0,188	0,185	0,182	0,179	0,176	0,176	0,173	0,17
hidraulički radijus (m)	*R*	0,015	0,015	0,015	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
protok (m3/s)	*Q*	0,00034	0,00032	0,00031	0,0003	0,00028	0,00028	0,00027	0,00026
		0,00046	0,00044	0,00042	0,00041	0,00039	0,00037	0,00036	0,00034
odabrani promjer cijevi (mm)	*d*	71,5	71,5	71,5	71,5	71,5	71,5	71,5	71,5
kontrola duljine drena (m)	*Bmax*	355,1	355,1	355,1	355,1	355,1	355,1	355,1	355,1

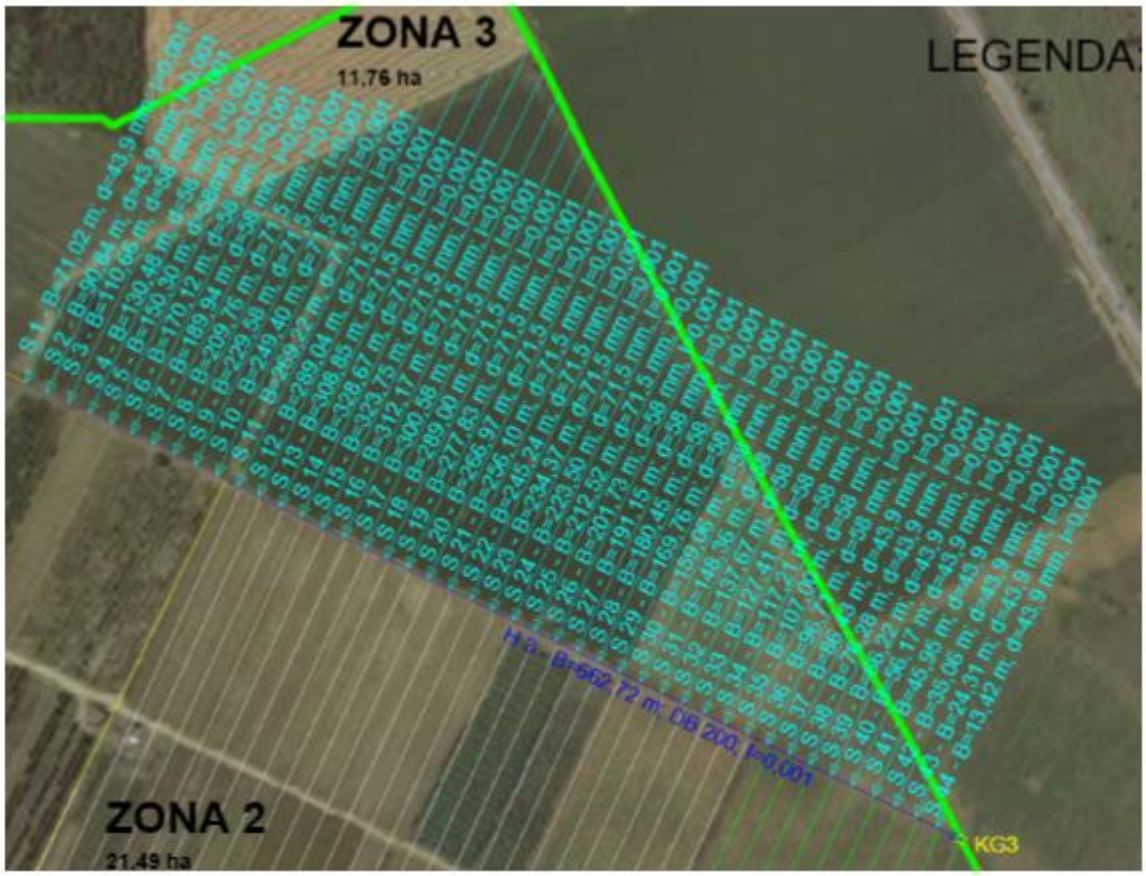
ZONA 3		S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32
duljina drena (m)	*B*	212,52	201,73	191,15	180,45	169,76	159,06	148,36	137,67
pretpostavljeni promjer cijevi	*d*	52	52	51	50	49	47	46	45
Mannigov koeficijent	*n*	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
pad terena (m/m)	*I*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
protočna površina (m2)	*A*	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
omočeni obod (m)	*O*	0,163	0,163	0,16	0,157	0,154	0,148	0,145	0,141
hidraulički radijus (m)	*R*	0,013	0,013	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012	0,011
protok (m3/s)	*Q*	0,00023	0,00023	0,00022	0,00021	0,0002	0,00018	0,00017	0,00016
		0,00032	0,00031	0,00029	0,00028	0,00026	0,00024	0,00023	0,00021
odabrani promjer cijevi (mm)	*d*	71,5	58	58	58	58	58	58	58
kontrola duljine drena (m)	*Bmax*	355,1	203,24	203,24	203,24	203,24	203,24	203,24	203,24

ZONA 3		S33	S34	S35	S36	S37	S38
duljina drena (m)	*B*	127,41	117,21	107	96,71	86,43	76,28
pretpostavljeni promjer cijevi	*d*	44	43	42	41	40	39
Mannigov koeficijent	*n*	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
pad terena (m/m)	*I*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
protočna površina (m2)	*A*	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
omočeni obod (m)	*O*	0,138	0,135	0,132	0,129	0,126	0,123
hidraulički radijus (m)	*R*	0,011	0,011	0,011	0,01	0,01	0,01
protok (m3/s)	*Q*	0,00015	0,00014	0,00013	0,00012	0,00012	0,00011
		0,00019	0,00018	0,00016	0,00015	0,00013	0,00012
odabrani promjer cijevi (mm)	*d*	58	58	58	58	43,9	43,9
kontrola duljine drena (m)	*Bmax*	203,24	203,24	203,24	203,24	96,7	96,7

ZONA 3		S39	S40	S41	S42	S43	S44
duljina drena (m)	*B*	66,22	56,17	45,95	35,06	24,31	13,42
pretpostavljeni promjer cijevi	*d*	36	34	32	29	27	24
Mannigov koeficijent	*n*	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
pad terena (m/m)	*I*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
protočna površina (m2)	*A*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
omočeni obod (m)	*O*	0,113	0,107	0,101	0,091	0,085	0,075
hidraulički radijus (m)	*R*	0,009	0,009	0,008	0,007	0,007	0,006
protok (m3/s)	*Q*	0,00009	0,00007	0,00006	0,00005	0,00004	0,00003
		0,0001	0,00009	0,00007	0,00005	0,00004	0,00002
odabrani promjer cijevi (mm)	*d*	43,9	43,9	43,9	43,9	43,9	43,9
kontrola duljine drena (m)	*Bmax*	96,7	96,7	96,7	96,7	96,7	96,7

Izvor: Višnjić

U nastavku je dan prikaz (slika 26.) zone 3.



Slika 26. Prikaz zone 3
Izvor: Višnjić

Tablica 12. Proračun promjera cijevi i ostalih parametara za hvatala

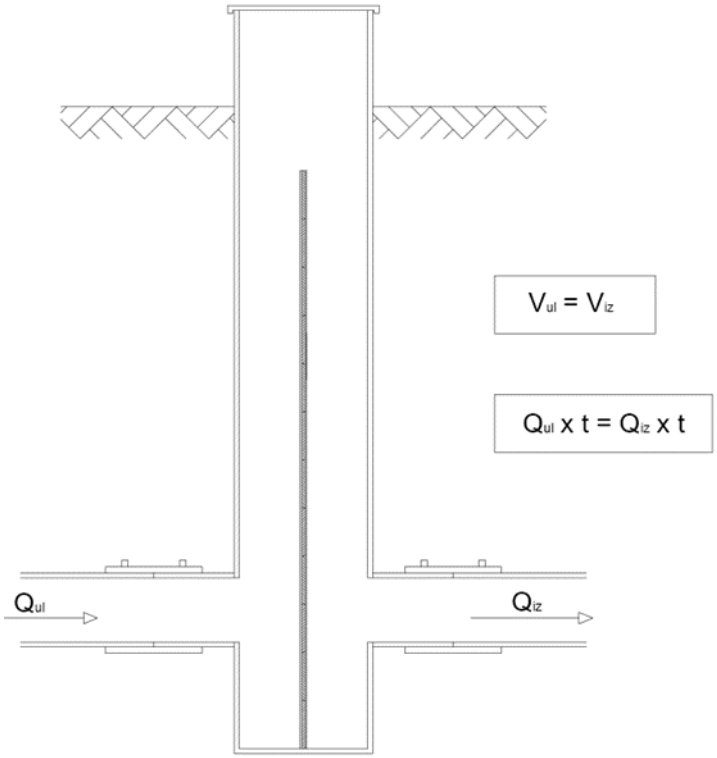
čvor	hvatalo	duljina (m)	protok (l/s)	visinska kota terena (m.n.m.)	odabrana dubina cijevi odvodnje (m.n.m.)
K.G. 1	Z1	655,41	22,04	90	88,10
K.G. 2	Z2	380,07	21,94	90	88,35
K.G. 3	Z3	662,72	11,89	90	88,53

čvor	hvatalo	nagib nivelete (m/m)	odabrana cijev PEHD	odabrani profil D_u (mm)	brzina tečenja (m/s)	visina punjenja (mm)
K.G. 1	Z1	0,001	DN 250	250	0,56	186
K.G. 2	Z2	0,001	DN 250	250	0,56	185
K.G. 3	Z3	0,001	DN 200	200	0,48	146

Izvor: Višnjić

7.2. Proračun kontrolne građevine

Za svaku zonu, radi različitih karakteristika, kontrolne građevine (slika 27.) izvedene su zasebno. Njihova duljina je 40 cm, širina 30 cm, a visina ovisi o dubini hvatala. Sve građevine napravljene su od tvrdog PVC-a debljine 15mm, a zapornice su visoke 30 cm (D. Višnjić, 2017.).



Slika 27. Kontrolna građevina
Izvor: Višnjić

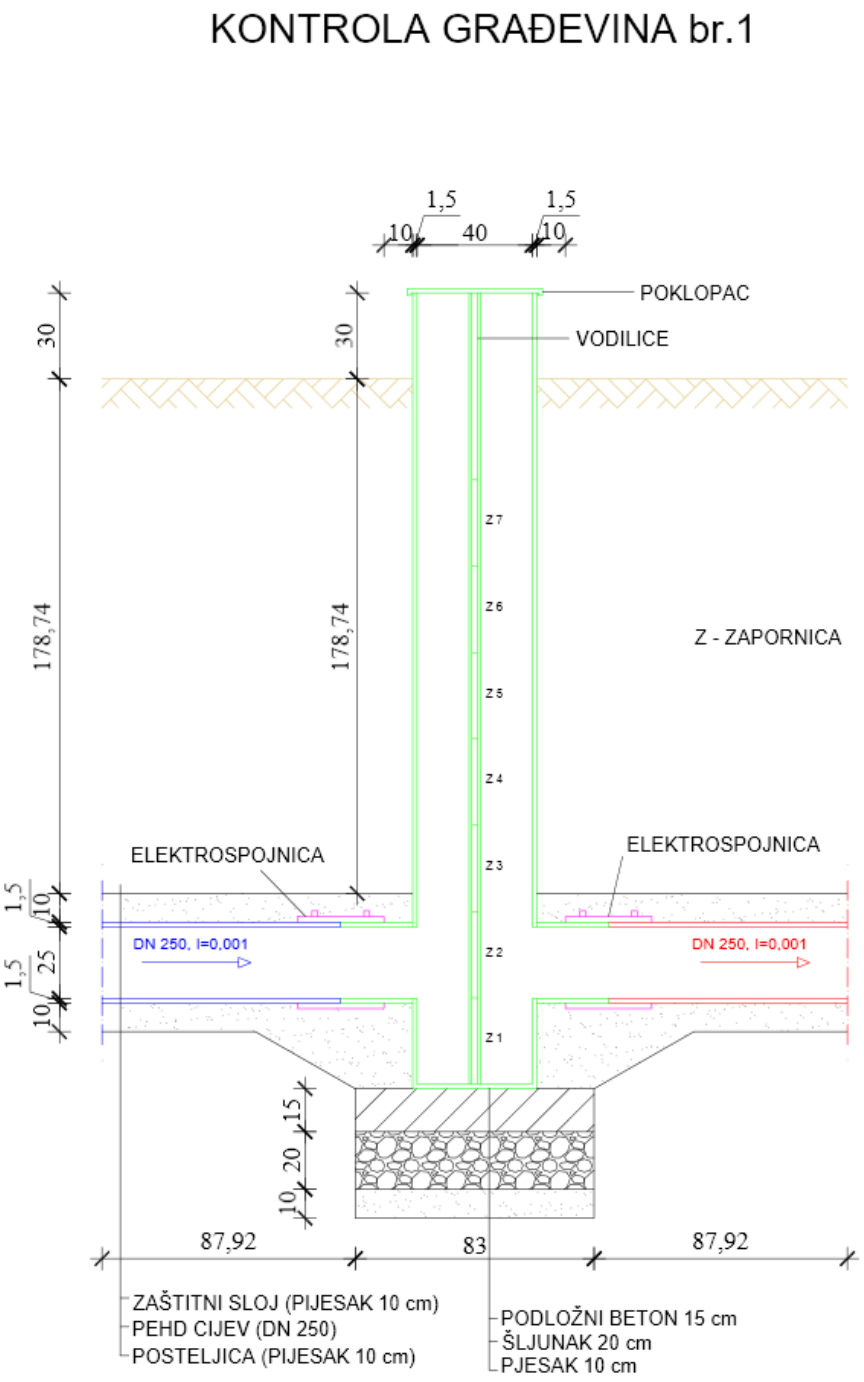
U tablici 13. dani su proračuni parametara za kontrolnu građevinu u zoni 1.

Tablica 13. Proračun parametara za kontrolnu građevinu 1

KONTROLNA GRAĐEVINA 1			
širina (m)	š	0,4	
duljina (m)	d	0,3	
visina (m)	v	2,25	
volumen (m^3)	V	0,27	0,135
protok (m^3/s)	Q	0,02204	
brzina (m/s)	v	0,56	
vrijeme punjena (s)	t	6,13	
potrebna površina izlazne cijevi (m^2)	A	0,039357	
minimalni promjer (mm)	d	224	
odabran promjer (mm)	d_{od}	250	

Izvor: Višnjić

U nastavku je dan prikaz (slika 28.) kontrolne građevine 1.



Slika 28. Prikaz kontrolne građevine 1
Izvor: Višnjić

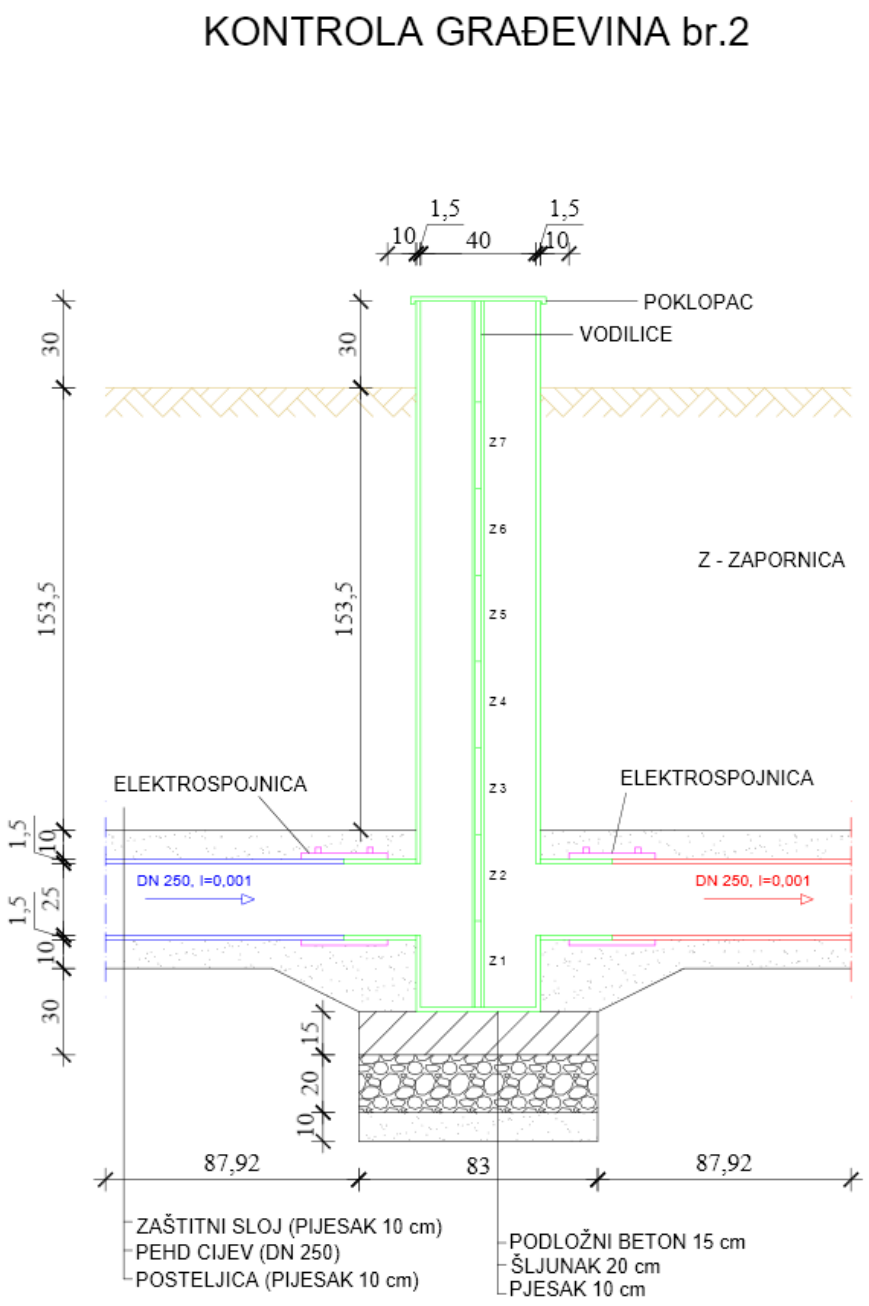
U tablici 14. dani su proračuni parametara za kontrolnu građevinu u zoni 2.

Tablica 14. Proračun parametara za kontrolnu građevinu 2

KONTROLNA GRAĐEVINA 2			
širina (m)	š	0,4	
duljina (m)	d	0,3	
visina (m)	v	1,95	
volumen (m^3)	V	0,234	0,117
protok (m^3/s)	Q	0,02194	
brzina (m/s)	v	0,56	
vrijeme punjena (s)	t	5,33	
potrebna površina izlazne cijevi (m^2)	A	0,039179	
minimalni promjer (mm)	d	223	
odabran promjer (mm)	d_{od}	250	

Izvor: Višnjić

U nastavku je dan prikaz (slika 29.) kontrolne građevine 2.



Slika 29. Prikaz kontrolne građevine 2
Izvor: Višnjić

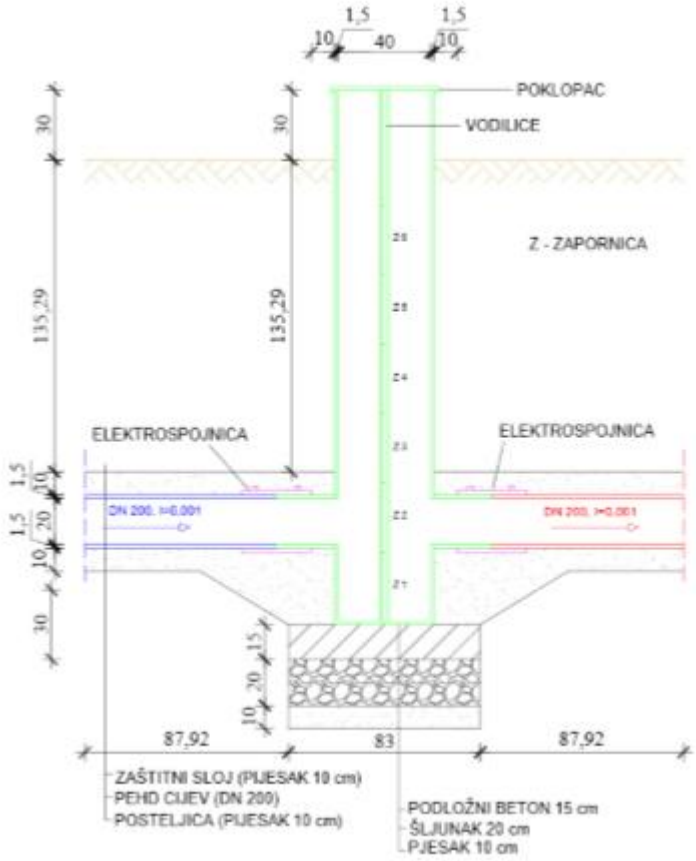
U tablici 15. dani su proračuni parametara za kontrolnu građevinu u zoni 3.

Tablica 15. Proračun parametara za kontrolnu građevinu 3

KONTROLNA GRAĐEVINA 3			
širina (m)	š	0,4	
duljina (m)	d	0,3	
visina (m)	v	1,8	
volumen (m^3)	V	0,216	0,108
protok (m^3/s)	Q	0,01189	
brzina (m/s)	v	0,48	
vrijeme punjena (s)	t	9,08	
potrebna površina izlazne cijevi (m^2)	A	0,024771	
minimalni promjer (mm)	d	178	
odabran promjer (mm)	d_{od}	200	

Izvor: Višnjić

U nastavku je vidljiv nacrt kontrolne građevine 3 (slika 30.).



Slika 30. Prikaz kontrolne građevine 3
Izvor: Višnjić

Prije ispuštanja u recipijent voda se distribucijskim cijevima odvodi do CW-a.

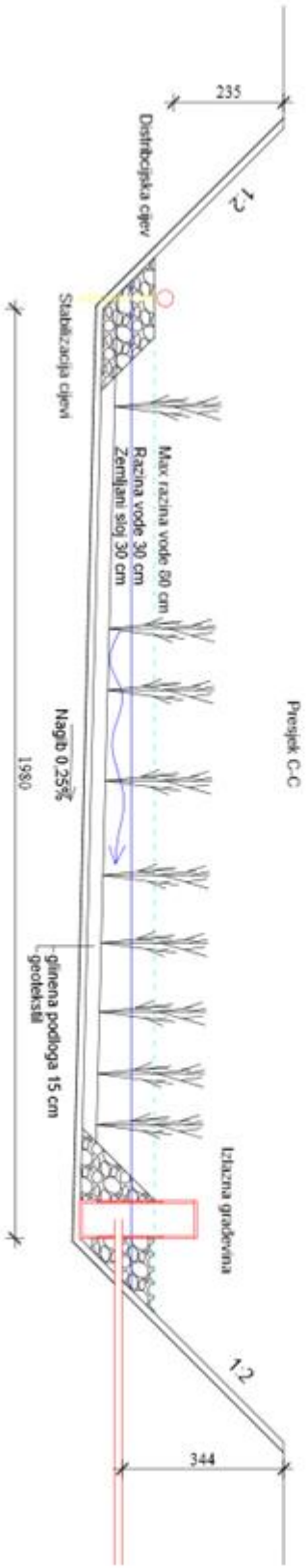
7.3. Proračun biljnog pročišćivača (CW-a)

Zadaća biljnog pročišćivača (CW-a) je odgovarajuće pročišćavanje procjedne vode (sadrži nitrate, fosfor i ostake pesticida) s proizvodnog prostora prije ispuštanja u recipijent. Ova vrsta pročišćivača je odabrana radi želje da se voda tretira na ekološki način. Pročišćivač (slika 31.) je pravokutnog oblika s zaobljenim rubovima ukopan u tlo, površine od 1,38 ha, a nagib pokosa iznosi 1:2. Pokosi i dno obloženi su geotekstilom na kojem se nalazi glineni sloj debljine 15 cm, čime se želi spriječiti prodiranje vode u podzemlje i omogućiti zakorjenjivanje vegetacije. Na ulazu u bazen nalazi se dovodna perforirana cijev koja ravnomjerno distribuira dotok vode, te kameni nabačaj koji dodatno raspršuje dotok. Voda zatim teče kroz vegetaciju u bazenu. Razina vode u prosjeku iznosi 30 cm, a maksimalno je predviđeno 80 cm. Prije ispusta u recipijent nalazi se plastična struktura koja na sebi ima ureze, te ona štiti cijev ispusta od začepljenja biljkama (D. Višnjić, 2017.). U tablici 16. dani su osnovni parametri biljnog pročišćivača.

Tablica 16. Prikaz osnovnih parametara biljnog pročišćivača

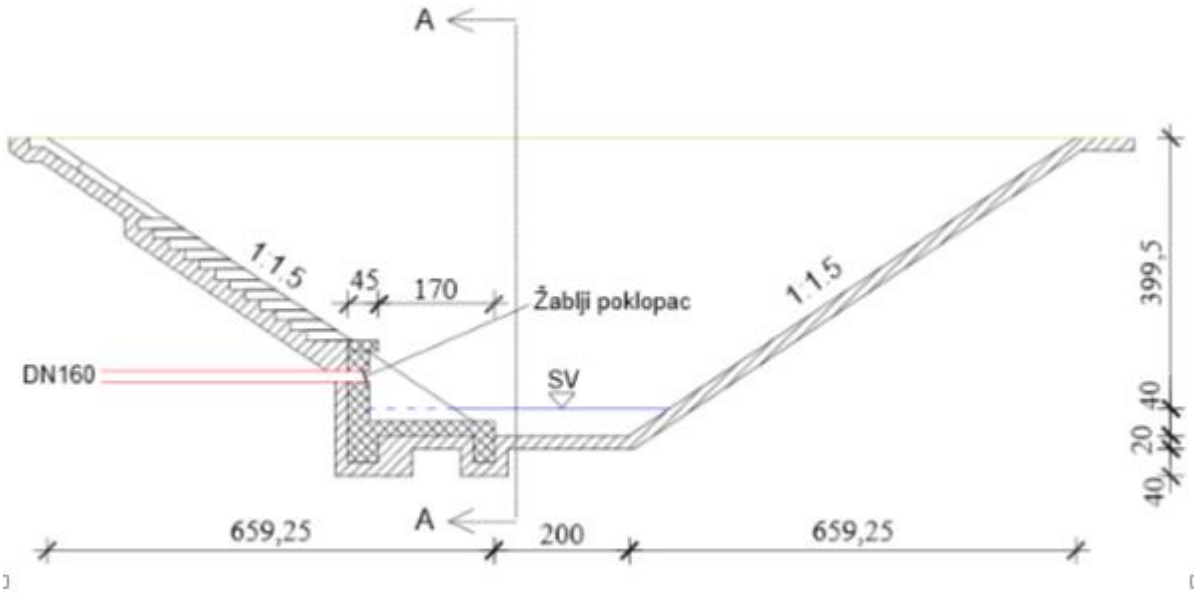
površina zahvata (ha)	55,32
postotak izgrađenosti močvare s obzirom na površinu zahvata (%)	2,5
ukupni protok (m^3/s)	0,05586
površina močvare (m^2)	13830
duljina (m)	198
širina (m)	70
visina vode (m)	0,3
volumen vode u močvari (m^3)	4149
vrijeme punjenja (h)	20,63

Izvor: Višnjić



Slika 31. Uzdužni presjek biljnog pročišćivača
Izvor: Višnjić

Na slici 32. vidimo presjek ispusta.



Slika 32. Presjek ispusta
Izvor: Višnjić

8. Zaključak

Jedan od načina kako bi poljoprivredna proizvodnja bila samoodrživa je povećanje efikasnosti navodnjavanja. U ovom radu je prikazan sustav upravljanja drenažnom vodom (drainage water managment, DWM) pomoću kojega se voda može zadržati u tlu i na taj način se mogu ublažiti posljedice ekstremnih klimatskih prilika (suše, vrućine) na usjeve. Kontrolna građevina instalirana na kraju hvatala omogućava jednostavnu manipulaciju procjedne, podpovršinske ili podzemne vode pomoću zapornica. U kišnijim periodima godine zapornice se miču kako bi prekomjerna količina vode, pomoću drenažnog sustava, istekla s proizvodne površine. U sušnijim periodima dodavanjem zapornica u kontrolnu građevinu diže se razina vode u tlu koja tada osigurava usjevu dovoljne količine vode za rast i razvoj. Glavna prednost drainage water managment-a je ta šta zadržavanjem vode u tlu se biljkama može osigurati voda kada im je najpotrebnija. Na taj način se smanjuju količine pitke vode uzete iz izvora, te energija potrebna za rad sustava. Kako je već rečeno, poljoprivreda je jedan od najznačajnijih zagađivača vode (mineralna i organska gnojiva, pesticidi). Radi toga, da bi sustav bio ekološki prihvatljiv, razmatrana je i izgradnja biljnih pročišćivača. Gradnjom bazena za pročišćavanje, prije ispuštanja vode u recipijent, omogućava se uklanjanje nitrata, fosfora i ostataka pesticida koji uzrokuju zagađivanje pitkih resursa vode.

Ovakav održivi način gospodarenja vodom u poljoprivredi tek je u začecima, ali vjeruje se da će se zbog svoje jednostavnosti i ekološke prihvatljivosti u budućnosti sve više koristiti u poljoprivrednoj proizvodnji.

9. Literatura

Ahad, R., Samani, Z., Skaggs, R., 2012., Evaluating on - farm irrigation efficiency across the watershed: A case study of New Mexico's Lower Rio Grande Basin, Civil Engineering Dept., New Mexico State University, Las Cruces, NM 88003, United States.

Bajić, M., Analiza efikasnosti sustava za navodnjavanje, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet

Israelsen, O.W. et al., 1944., Water application efficiencies in irrigation. Agricultural Experiment Station Bulletin 311. Utah State Agricultural College, 55 p.

Kruse, G., 1978., Describing irrigation efficiency and uniformity. ASCE Journal of theIrrigation and Drainage Division 104 (1), 35–41.

Ondrašek, G., i sur., 2015., Voda u agroekosustavima, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, 344. str.

Perić, J., 2016., Izrada projektnog rješenja proširenja sustava navodnjavanja Poljoprivrednog instituta Osijek, Građevinski fakultet, Zagreb.

Petošić, D., 2015., Drenaža, sveučilišni udžbenik, Agronomski fakultet, Zagreb.

Romić, D., i sur., 2006., Hidropedološka studija s idejnim rješenjem navodnjavanja proizvodnih površina Poljoprivrednog instituta Osijek, Agronomski fakultet, Zagreb.

Seckler, D., Molden, D, Sakthivadivel, R., 2003., The Concept of Efficiency in Water Resources Management and Policy, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

Skaggs, R.W., Fausey, N.R., Evans, R.O., 201., Drainage water managment, Journal od Soil and Water Conesrvation vol. 67., no. 6, str. 167A-172A.

Stanković, D., 2017., Biljni uređaji za pročišćavanje, Građevinar 69(2017)8, str. 639-652.

Višnjić, D., 2017., Analiza povećanja učinkovitosti sustava navodnjavanja Poljoprivrednog instituta Osijek u kontekstu korištenja voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet

Životopis

Dorotea Devčić rođena je 14.04.1990. u Rijeci. Pohađala je Prvu sušačku hrvatsku gimnaziju u Rijeci od 2005. do 2009. godine. Na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu 2015. završava preddiplomski sveučilišni studij biljnih znanosti. Daljnje obrazovanje nastavlja na diplomskom studiju poljoprivredne tehnike, usmjerenja melioracije, na Agronomskom fakultetu u Zagrebu.