

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Jurjevec, K., 2016. Drenažni sistemi in njihov vpliv na vodni režim. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šraj, M.): 90 str.

Datum arhiviranja: 05-07-2016

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Jurjevec, K., 2016. Drenažni sistemi in njihov vpliv na vodni režim. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šraj, M.): 90 pp.

Archiving Date: 05-07-2016

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM VODARSTVO IN  
KOMUNALNO INŽENIRSTVO**

Kandidat:

**KAREL JURJEVEC**

**DRENAŽNI SISTEMI IN NJIHOV VPLIV NA VODNI  
REŽIM**

Diplomska naloga št.: 286/VKI

**DRAINAGE SYSTEMS AND THEIR INFLUENCE ON  
WATER REGIME**

Graduation thesis No.: 286/VKI

**Mentorica:**

doc. dr. Mojca Šraj

**Somentor:**

prof. dr. Mitja Brilly

Ljubljana, 20. 06. 2016

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

**IZJAVE**

Spodaj podpisani študent KAREL JURJEVEC, vpisna številka 26104324, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: DRENAŽNI SISTEMI IN NJIHOV VPLIV NA VODNI REŽIM

**IZJAVLJAM**

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

Na: Vačah

Datum: 6.6.2016

Podpis študenta: Karel Jurjevec

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK/UDC:</b>	<b>556.32:626.86(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Karel Jurjevec</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Mojca Šraj</b>
<b>Somentor:</b>	<b>prof. dr. Mitja Brilly</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Drenažni sistemi in njihov vpliv na vodni režim</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga – Univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>90 str., 11 pregl., 35 sl., 7. graf., 15 en., 6 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>Drenažni sistemi, uravnavanje nivoja podtalnice, drenažni materiali, razmik cevi, globina cevi, vrste drenažnih cevi, DRAINMOD</b>

### **Izvleček**

Načrtovanje in izbira ustreznega drenažnega sistema mora vključevati različne dejavnike klimatskih pogojev, izhlapevanja, lastnosti zemljine in nenazadnje tudi poljščin. Na podlagi posameznih kompleksnih izračunov, ki upoštevajo vse te parametre, se določi ustrezna globina in razmik med drenažami ali drenažnimi kanali, ki lahko v določenem času ob določenih pogojih učinkovito odvajajo površinsko vodo in ustrezno uravnajo nivo podtalnice. Pregled raznolikosti sistemov in njihovih lastnosti je predstavljen v teoretičnem delu diplomskega dela. Hkrati pa so izpostavljene tudi njihove prednosti in slabosti.

Za potrebe načrtovanja drenažnega sistema in analizo vpliva izbire posameznega drenažnega sistema na vodni režim oz. njegovo učinkovitost smo v diplomski nalogi uporabili računalniški model DRAINMOD in na izbrani testni površini ugotavljali njihov vpliv. Rezultat večkratne simulacije modela z različnimi parametri je najbolj ustrezna globina in razmik med drenažami. Poleg hidrološkega modela nam DRAINMOD omogoča številne druge možnosti simuliranja drenažnih sistemov. Velja izpostaviti modeliranje slanosti, kroženje nitratov in pa poljedelske donose.

Glede na raznolike nastavitve modelov DRAINMOD ter širok razpon parametrov se program izkaže za izredno uporabno in tehnično izpopolnjeno orodje za izvedbo konkretnega načrta drenažnega sistema. Za testno površino bi glede na bližino reke Save verjetno najbolj ustrezala izbira drenažnega sistema v kombinaciji z namakanjem.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDK/UDC:** 556.32:626.86(043.2)  
**Author:** Karel Jurjevec  
**Supervisor:** assist. prof. Mojca Šraj, Ph.D.  
**Cosupervisor:** prof. Mitja Brilly, Ph.D.  
**Title:** Drainage systems and their influence on water regime  
**Document type:** Graduation Thesis – University studies  
**Scope and tools:** 90 str., 11 pregl., 35 sl., 7. graf., 15 en., 6 pril.  
**Keywords:** Drainage systems, groundwater management, drainage materials, drain spacing, drain depth, drainage pipe types, DRAINMOD

**Abstract**

Design and selection of proper drainage system must include a variety of factors such as climatic conditions, evaporation, soil characteristics and ultimately planted crops. Based on the individual complex calculations that take into account all these parameters, appropriate depth and spacing of drainage pipes or ditches is set for effective surface water discharge and groundwater level regulation. An overview and diversity of systems and their characteristics are presented in the theoretical part of the thesis. At the same time their advantages and disadvantages are presented.

For the purpose of drainage system planning and analysis of individual system influence or effectiveness on water regime in this thesis, we used computer model DRAINMOD to estimate their influence on the selected test area. The result of multiple model simulations with different parameters is the most appropriate depth and spacing of drainage. In addition to the hydrological model DRAINMOD offers also other options for drainage system simulation. Salinity, nitrogen and crop yield are worth mentioning.

On account of DRAINMOD models diversity and a wide range of available parameters, program turns out to be extremely useful and technically advanced tool for carrying out a concrete plan of the drainage system. The most suitable choice for testing surface due to proximity of river Sava waterway is drainage system in combination with irrigation.

## **ZAHVALA**

Za pomoč, podporo in vse pozitivne vzpodbude pri nastajanju diplomskega dela, se iskreno zahvaljujem mentorici dr. Mojci Šraj. Iskrena zahvala za vso podporo ob študiju velja staršema ter sestri, ki so potrpežljivo čakali na končni izdelek in brez katerih bi bilo vse skupaj nemogoče. Hvala tudi tebi Kaja, ker si me vseskozi vzpodbujala, me motivirala ter verjela, da lahko dosežem ta cilj.

**KAZALO VSEBINE**

IZJAVE .....	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK .....	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT .....	III
ZAHVALA .....	V
KAZALO SLIK .....	VIII
KAZALO PREGLEDNIC .....	X
KAZALO GRAFIKONOV .....	XI
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1 Cilji diplomske naloge .....	2
<b>2 DRENAŽNI SISTEMI .....</b>	<b>3</b>
2.1 Okoljski vidiki načrtovanja drenažnih sistemov .....	5
2.1.1 Okoljska problematika .....	5
2.1.2 Ohranjanje kvalitete in prečiščevanje vode .....	7
2.1.2.1 Izboljšave namakalnih sistemov .....	7
2.1.2.2 Vzdrževanje nivoja podtalnice .....	7
2.1.2.3 Ponovna uporaba drenažne vode .....	8
2.1.2.4 Nadzorovanje nivoja podtalnice .....	9
2.1.2.5 Opuščanje zemljišč in suhe drenaže .....	10
2.1.2.6 Biološke drenaže .....	10
2.1.3 Načini zmanjševanja drenažnega izpusta .....	11
2.1.3.1 Izpusti v morje in vodna telesa s plimovanjem .....	12
2.1.3.2 Izpusti v jezera .....	13
2.1.3.3 Izpusti v reke .....	13
2.1.3.4 Ribniki za izhlapevanje .....	14
2.1.3.5 Umetna mokrišča in sorodni sistemi .....	14
2.1.3.6 Podzemni napajalni vodnjaki .....	16
2.1.4 Postopki čiščenja drenažnih voda .....	16
2.2 Sestavni elementi drenažnih sistemov .....	18
2.2.1 Tlorisni načrt .....	19
2.2.2 Kanali in jarki .....	20
2.2.3 Mostovi in akvadukti .....	23
2.2.4 Cevni prepusti .....	23
2.2.5 Pragovi in kaskadne strukture .....	24
2.2.6 Črpališča in zaježitve .....	25
2.2.7 Povezave s poljskimi dreni .....	26
2.3 Zahteve in kriteriji načrtovanja .....	26
2.3.1 Ustrezni nivo vode .....	26
2.3.2 Specifični izpust .....	27
2.3.3 Načrtovanje izpusta iz kanalov .....	27
2.3.4 Izredni izpust .....	28
2.3.5 Hidravlični gradient in tlačne razlike .....	28
2.3.6 Vzдолžni profil .....	29
2.4 Materiali, oprema in načini vgradnje .....	29
2.4.1 Materiali in posamezni elementi za vgradnjo .....	30
2.4.1.1 Glinene cevi .....	30
2.4.1.2 Betonske cevi .....	31
2.4.1.3 Plastične cevi .....	31
2.4.1.4 Cevni ovoj .....	32
2.4.1.5 Različni cevni dodatki .....	34
2.4.2 Oprema in načini vgradnje talnih drenažnih sistemov .....	35
2.4.2.1 Ročna vgradnja .....	36



2.4.2.2	Kombinirana vgradnja.....	37
2.4.2.3	Mehanska vgradnja .....	38
2.5	Površinsko dreniranje.....	39
2.5.1	Površinski drenažni sistemi na položnih površinah.....	40
2.5.2	Drenažni sistemi na pobočjih in neravninah .....	44
2.5.3	Prečni prerezi drenažnih jarkov.....	45
2.5.4	Načrtovanje izpustov .....	45
2.6	Podpovršinska drenaža.....	48
2.6.1	Tlorisna zasnova podpovršinskih drenaž .....	48
2.6.2	Parametri načrtovanja.....	50
2.6.3	Drenažni kriteriji .....	51
2.6.4	Sistemske parametri .....	51
2.6.5	Prestrezna in vertikalna drenaža.....	54
<b>3</b>	<b>PROGRAM DRAINMOD.....</b>	<b>57</b>
3.1	Predstavitev .....	57
3.2	Namestitev programa in posebnosti .....	57
3.3	Razvoj in komponente modela.....	58
3.4	Metodologija uporabe modela.....	61
3.5	Uporabniški vmesnik.....	62
3.6	Osnovne funkcije programa .....	63
3.7	Upravljanje vhodnih datotek in podatkov .....	64
<b>4</b>	<b>PRIMER IZRAČUNA NA TESTNI POVRŠINI.....</b>	<b>68</b>
4.1	Izbira lokacije.....	68
4.2	Priprava podatkov in njihova razpoložljivost.....	71
4.2.1	Klimatski podatki .....	71
4.2.2	Podatki o zemljini.....	74
4.2.3	Pridelki .....	77
4.2.4	Parametri sistemskega načrta .....	79
4.3	Zagon simulacije .....	80
<b>5</b>	<b>ANALIZA IN PRIMERJAVA REZULTATOV .....</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČKI.....</b>	<b>87</b>
<b>VIRI.....</b>		<b>89</b>

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Cilji dreniranja so naslednji: (a) odvajanje odvečne vode, (b) kontrola slanosti ter (c) vzdrževanje nivoja višine vode v tleh (prirejeno po Nijland in sod., 2005:16).....	4
Slika 2: Poljedelsko - gozdarski sistem za odstranjevanje soli in kemikalij (prirejeno po Shannon in sod., 1997:35).....	15
Slika 3: Oblike tlorisne zasnove drenažnih sistemov (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:64) .	19
Slika 4: Prečni prerez odprtega jarka in večjega kanala (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:65) .....	21
Slika 5: Pragovi in kaskadne strukture (Van der Molen in sod., 2007:67).....	24
Slika 6: Ovojni materiali (Nijland in sod., 2005:81) .....	33
Slika 7: Različne izvedbe cevnih zaključkov (prirejeno po Stuyt in sod., 2005:9) .....	35
Slika 8: Specialno orodje, razvito posebej za ročno vgradnjo drenov (prirejeno po Nijland in sod., 2005:116).....	37
Slika 9: Shematski prikaz posebnega rovokopača (ang. trencher) (prirejeno po Nijland in sod., 2005:239).....	38
Slika 10: Shematski prikaz vertikalnega pluga (prirejeno po Nijland in sod., 2005:272) .....	39
Slika 11: Shematični prikaz povezave med brazdo in kolektorjem (Van der Molen in sod., 2007:75)	41
Slika 12: Tlorisna postavitve drenažnega sistema s konveksno dvignjenimi gredami ter brazdami z detajlom izseka A-A (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:75) .....	42
Slika 13: Tloris vzporednih poljskih drenaž (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:76) .....	42
Slika 14: Tloris drenažnega sistema z manjšimi vzporednimi jarki (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:77) .....	43
Slika 15: Prečni prerez dveh primerov prehodnega drenažnega kanala (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:80) .....	45
Slika 16: Hidrogram površinskega odtoka (Van der Molen, 2007:82).....	47
Slika 17: Tlorisna zasnova podpovršinskega drenažnega sistema z vzporednimi drenažami (prirejeno po Martinez Beltran, 1999:444).....	49
Slika 18: Prečni prerez dveh cevi drenažnega sistema (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:90)	50
Slika 19: Prestrezna drenaža na pobočju (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:99) .....	54
Slika 20: Vertikalna drenaža (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:100).....	55
Slika 21: Shema potovanja vode skozi sistem z drenažami ali jarki (prirejeno po Skaggs, 1980:2.2)..	58

Slika 22: Osnovna orodna vrstica programa DRAINMOD .....	63
Slika 23: Projektno okno programa DRAINMOD.....	63
Slika 24: Fotografija obravnavane površine v smeri od gasilskega doma proti reki Savi (foto: Jurjevec, 2016) .....	68
Slika 25: Izbrana testna površina med Zg. in Sp. Hotičem z robnimi točkami in dvema pedološkima enotama (ARSO, 2016).....	69
Slika 26: Podrobni lokacijski podatki za točko 1 (ARSO, 2016).....	69
Slika 27: Različne opcije za pripravo datotek klime v DRAINMOD formatu .....	71
Slika 28: Primer strukture vhodnih podatkov za izdelavo .TEM datoteke. (Vir podatkov ARSO, 2015) .....	72
Slika 29: Podrobnejša struktura kreirane datoteke .TEM na podlagi vhodnih podatkov s portala ARSO (ARSO, 2015) .....	73
Slika 30: Nastavitev pripravljenih datotek s podatki o padavinah, minimalnih in maksimalnih dnevnih temperaturah ter PET .....	74
Slika 31: Sloj pedološke karte v merilu 1:250.000 v Atlasu okolja (ARSO, 2016).....	75
Slika 32: Nastavitev parametrov prehodnosti obdelovalnih površin za spomladansko in jesensko obdobje.....	78
Slika 33: Nastavitve posameznih parametrov načrta drenažnega sistema .....	79
Slika 34: Pripomoček za urejanje grafičnega prikaza različnih podatkovnih nizov.....	81
Slika 35: Nastavitve za simuliranje različnih tipov in večjega razpona parametrov in možnost nastavitve za avtomatsko shranjevanje izhodnih datotek.....	82

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Razvrstitev kakovosti drenažne vode in njena ustreznost uporabe za namakanje (Van Der Molen in sod., 2007: 14).....	9
Preglednica 2: Maksimalna povprečna hitrost toka in naklon brežin jarkov (prirejeno po Van Der Molen in sod., 2007: 150).....	23
Preglednica 3: Različni primeri globin stranskih drenaž (Van Der Molen in sod., 2007:95).....	52
Preglednica 4: $S_{av}$ in porni tlak glede na teksturne razrede zemljin (Rawls in sod., 1983, cit. po Drainmod, 2013b).....	60
Preglednica 5: Pregled lokacijskih podatkov za vse robne točke drenažne površine (ARSO, 2016)....	70
Preglednica 6: Vhodni podatki za vodne značilnosti zemljine tipa Rains na podlagi laboratorijskih raziskav (Skaggs, 1980).....	76
Preglednica 7: Povezani vhodni podatki zemljine "Rains" za drenirani volumen in kapilarni dvig v odvisnosti od višine podtalnice (Skaggs, 1980) .....	76
Preglednica 8: Vhodni podatki infiltracije – Green-Amptovi parametri (Skaggs, 1980).....	77
Preglednica 9: Vodoravna nasičena hidravlična prevodnost (Skaggs, 1980).....	77
Preglednica 10: Globine koreninskega sistema za koruzo skozi obdobje rasti (Skaggs, 1980) .....	77
Preglednica 11: Kombinacije vhodnih parametrov globine in razmika drenaž in rezultati analize za celotno leto .....	83

## **KAZALO GRAFIKONOV**

Grafikon 1: Primerjava globine podtalnice in drenirane količine vode v odvisnosti od časa .....	84
Grafikon 2: Primerjava globine podtalnice z dnevnimi padavinami .....	84
Grafikon 3: Primerjava infiltracijskih podatkov z dnevnimi padavinami .....	85
Grafikon 4: Primerjava globine osušene cone in padavin .....	85
Grafikon 5: Primerjava drenirane količine vode in skupnih vodnih izgub .....	85
Grafikon 6: Vpliv površinskega odtoka na skupne vodne izgube .....	86
Grafikon 7: Evapotranspiracija in globina podtalnice .....	86

»Ta stran je namenoma prazna«

## 1 UVOD

Število človeške populacije se dnevno povečuje in že presega 7,4 milijona<sup>1</sup> ljudi. Posledično se s tem močno povečuje potreba po pridelavi hrane, ki bi zadostila celotni populaciji oziroma njenemu čim večjemu delu. S pravilnimi tehničnimi posegi v pripravo zemljišča za namene poljedelstva, to je z uporabo namakalnih in drenažnih sistemov, se lahko kvaliteta in kvantiteta pridelkov precej poveča. To velja tako za območja, ki so se predhodno že uporabljala kot poljedelske ali kmetijske površine, kot tudi za tiste, ki jih z določenimi tehničnimi posegi in pravilnim pristopom načrtovanja lahko tehnično opremimo za izsuševanje in namakanje in s tem omogočimo novo vrsto rabe.

Zmotno je prepričanje, ki smo ga dobili po pogovoru z nekaj poljedelci in kmeti v našem kraju, da se uporaba obeh sistemov medsebojno izključuje. S kombinacijo namakanja in dreniranja lahko dosežemo, da v sušnih obdobjih na obdelovalne površine zagotovimo zadostne količine vode, ki omogočajo rastlinam nemoten razvoj in s tem višjo donosnost. V obdobju presežnih padavin in celo v primeru poplavljanj pa z dobro urejenim sistemom drenaž dosežemo hitrejše zniževanje nivoja podtalne vode in zasičenosti zemljine z vodo. Na ta način se koreninski sistem v veliko manjši meri izpostavlja kritičnim pogojem, ki lahko precej znižajo donosnost poljščin.

Ker gre za dve precej obsežni področji, se bomo v tem diplomskem delu posvetili predvsem drenažnim sistemom, njihovim lastnostim in preverili, kateri parametri vplivajo na izbiro posameznega sistema. Glavni cilj takšnega sistema, ki lahko zajema različna klimatska območja, je nadzorovanje višine podtalne vode v določenem času ob določenih pogojih, pričakovani rezultati implementacije primerne drenažnega sistema pa so (Van der Molen in sod., 2007):

- Na vlažnih in namočenih območjih zmerne klime, kjer je glavna težava zasičenost zemljine z vodo, se s primerno drenažo izboljša zračnost zemljine in prehodnost ter prevoznost po pridelovalni površini, povrh vsega pa se lahko znatno podaljša obdobje rasti pridelka.
- Na namakalnih površinah sušnih in pol-sušnih območij je glavna težava slanost zemljine, le to pa lahko s podzemno drenažo preprečimo ali precej omilimo upad pridelka.
- V pol-vlažnih in vlažnih tropskih regijah je drenažni razvoj manj intenziven kot v prej omenjenih območjih, a kljub temu ne bi smel biti zanemarljiv iz dveh razlogov. Prvi je ta, da je med namakalno sezono potrebno nadzorovati vsebnost soli v zemljini, drugi pa nadzor nivoja podtalnice in zasičenosti zemljine z vodo v času monsunskega deževja. Pomemben element izgradnje drenažnega sistema na teh območjih je tudi varstvo pred poplavami, ki tako bolj uspešno ščiti živež in podeželsko prebivalstvo. Pogosto težavo v ravninskih delih teh območij predstavljajo organska tla ali kislo sulfatne zemljine (npr. šota), ki zahtevajo še posebej pozorno obravnavo.

V novejšem obdobju uspešna implementacija drenažnega sistema ne pomeni zgolj vgradnje cevi v zemljino in njeno osuševanje ter s tem spreminjanje prvotne funkcije, ampak teži k čim bolj trajnostni rabi površin. Izgradnja sistema naj ne bi preveč rušila biotske raznovrstnosti, temveč se mora izvesti kot zelo premišljen poseg v prostor, ki bo koristen tako za potrebe kmetijstva (širjenje pridelovalnih območij in izboljšanje donosov) kot tudi za izboljšanje biotopa za rastlinske in živalske vrste (Van der Molen in sod., 2007).

---

<sup>1</sup> Trenutno število svetovnega prebivalstva znaša že preko 7,41 milijarde, največji delež od tega je prebivalcev Kitajske, to je 1,4 milijarde. Sledijo Indijci s skoraj 1,3 milijarde prebivalcev, na tretjem mestu pa že krepko zaostajajo ZDA s 323 milijona prebivalcev (<http://www.worldometers.info/world-population/> pridobljeno 24.3.2016)

## 1.1 Cilji diplomske naloge

V prvem delu naloge bomo podrobneje predstavili in analizirali vrste drenažnih sistemov, kriterije za izbiro ter njihove prednosti in slabosti. V praktičnem delu naloge pa bomo s pomočjo računalniškega programa DRAINMOD za izbrano testno površino ugotavljali vpliv izbire posameznega drenažnega sistema na vodni režim oz. njegovo učinkovitost.

Odgovoriti bomo poizkušali na naslednja vprašanja:

- kakšni so kriteriji pri načrtovanju drenažnih sistemov,
- kako vpliva posamezni drenažni sistem na vodni režim in kakšna je njegova učinkovitost,
- kateri sistemi so bolj učinkoviti in kateri manj,
- izpostaviti želimo prednosti in slabosti posameznih izbranih sistemov,
- kakšne so možnosti načrtovanju s pomočjo računalniškega programa Drainmod.

Testna površina bo v našem primeru območje v kraju Spodnji Hotič, ki je razpeto med reko Savo ter magistralno cesto od Ljubljane proti Zasavju. Teren je enakomerno nagnjen in rahlo razgiban, tako da bi v primeru dejanske izvedbe projekta morali v strošek vključiti zemeljska dela za izravnavo. Trenutna raba zemljišč je poljedelska, večinoma gre za travniške površine in pridelavo hlevske krme. Fizične ovire predstavljajo posamezna drevesa in pa trasa daljnovoda, tako a bi se bilo ob trasiranju drenaž potrebno prilagoditi tem prostorskim elementom.



## 2 DRENAŽNI SISTEMI

Osnovna naloga drenažnega sistema po Tajnerju (2006) je odvajanje odvečne vode iz tal z namenom izboljšanja lastnosti tal, na katerih bomo pridelovali kulturne rastline. Pri tem se hkrati premeščajo v vodi raztopljene mineralne snovi, kar ima lahko različne posledice.

Zapisi iz starih Indskih civilizacij (tj. iz mest Mohendžo-daro in Harappa<sup>2</sup>) kažejo, da začetki obdelovanja območij ob reki Ind s pomočjo drenažnih posegov segajo v leta okrog 2500 p. n. št. S pomočjo padavinskih in poplavnih voda so kmetje vzgajali pšenico, sezam, datlje ter bombaž. Poznali so že uporabo poljščin, ki so zniževale nivo podtalne vode in preprečevale nasičenje zemljine s solmi s pomočjo kapilarnega dviga. Z rastjo števila prebivalcev so se večale potrebe po hrani, s tem pa se je širila izgradnja namakalnih sistemov tudi drugje po svetu, na primer v Mezopotamiji in Egiptu okrog 3000 p. n. št., na Kitajskem pa od 2627 p. n. št. (Bos in Boers, 1994).

Učinkoviti sistemi pregrad in kanalov, ki so jih poznale prve visoke civilizacije, se je skozi daljše obdobje konkretno spremenil šele v času Rimljanov. Takrat že lahko govorimo o osuševanju tal v pravem pomenu besede, saj so v večjem obsegu izsuševali močvirja za potrebe kmetijstva. Italijanske reke, ki so poplavljalne velike površine rodovitnih tal, so skušali zaježiti na različne načine (stopničasta korita, odvodni kanali, podzemne drenaže...) (Miličić, 2007).

V obdobju srednjega veka velja izpostaviti območje okrog Severnega morja, kjer so ljudje intenzivneje začeli z osuševanjem močvirskih območij in dreniranjem vode skozi sistem jarkov. Okrog leta 1600 se je na Nizozemskem začela uporaba mlinov na veter za črpanje vode. Ta je omogočila osuševanje globljih jezer v polderje. Beseda izvira iz nizozemščine in predstavlja nizko ležečo površino, ki je obdana z nasipi, na njej pa lahko nadzorujemo vodni nivo neodvisno od višine nivoja vode zunaj te površine (Bos in Boers, 1994).

Bos in Boers (1994) navajata še en zelo pomemben mejnik v razvoju drenažnih sistemov. Iznajdba bencinskih motorjev v 20-tem stoletju je močno pospešila vgradnjo cevi z različnimi oblikami rovokopačev. Ta razvoj je spremljala tudi sprememba v uporabljenih materialih, kjer so gladke in težje glinene cevi z debelimi stenami počasi začele nadomeščati lahke in tanjše rebraste PVC<sup>3</sup> cevi (že okrog leta 1940) in polietilenske cevi (po letu 1960). Globina vgradnje cevi z modernejšo mehanizacijo se je spremljala z uporabo laserskih merilnikov. Hitrejša vgradnja drenažnih cevi je še posebej pomembna zato, ker je na nekaterih območjih število delovnih dni omejeno zaradi intenzivnega namakanja in vzgajanja pridelka skozi celo leto.

Kot navaja Ritzema s sod. (1996) bi lahko drenažni sistem razdelili na naslednje komponente:

- poljski drenažni sistem, ki preprečuje zadrževanje površinske vode na površini in nadzoruje višino podtalne vode,

---

<sup>2</sup> Mohendžo-daro in Harappa sta bili starodavni mesti Indskih civilizacij, ki sta ležali na aluvialnih nanosih reke Ind na območju današnjega Pakistana. Arheološke izkopanine mesta Mohendžo-daro zaradi njegove velike vrednosti od leta 1980 spada pod Unescovo svetovno dediščino (<http://www.britannica.com/place/Mohenjo-daro> pridobljeno 24. 3. 2016).

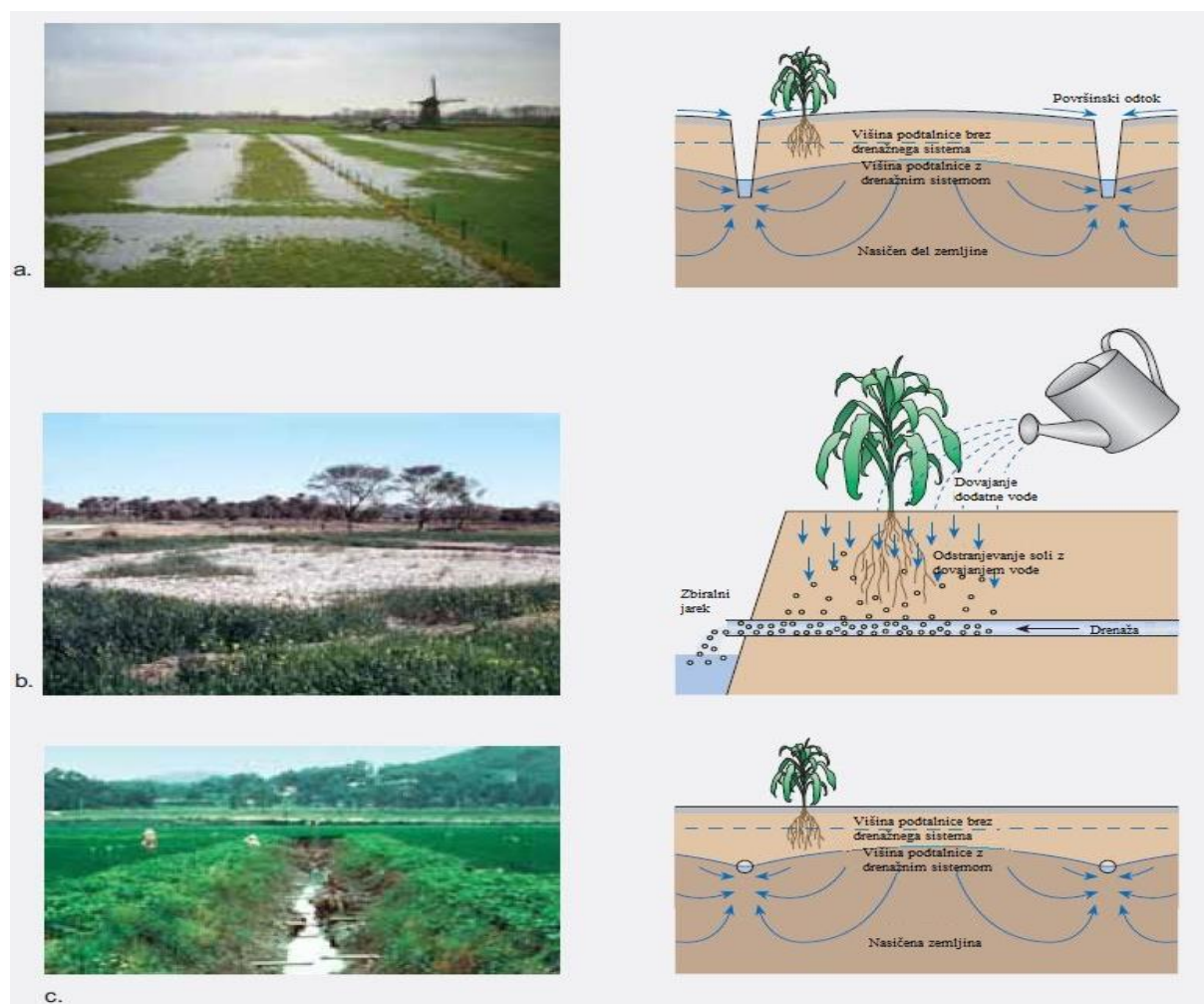
<sup>3</sup> PVC je kratica za polivinilklorid, ki je široko uporabna sintetična snov. Zaradi posebnih lastnosti (neprepustnosti, odpornosti proti večini kislin in lugov, neprevodnosti, upogljiv...) ter cenovne dostopnosti je predvsem pri manjših premerih povsem nadomestil betonske in ostale vrste cevi, ki se uporabljajo pri izvedbi drenažnih sistemov.

- glavni drenažni sistem oz. zbiralni kanal, ki odvaja vodo z obdelovalne površine,
- ter izpust, ki predstavlja točko, kjer voda zapuša sistem.

Poljski drenažni sistem je mreža, ki s pomočjo vgrajenih drenaž zbira odvečno vodo z zemljišča (površinsko dreniranje), z dodatnimi posegi pa lahko odtok do drenaž po potrebi pospešimo (podpovršinske drenaže). Ta del drenaže je za poljedelce bistvenega pomena (Ritzema in sod., 1996).

Glavni drenažni sistem služi kot zbiralnik vode, ki prispe iz poljskega drenažnega sistema, površinskega odtoka in podzemnega toka ter zbrano vodo odvaja vse do točke izpusta. Glavni drenažni sistem lahko sestavljajo posamezne zbiralne drenaže oz. kolektorji in glavni drenažni kanal. Kolektorji, lahko so to kanali ali pa drenažne cevi, dovajajo vodo iz poljskih drenaž do glavnega kanala (Ritzema in sod., 1996)

Izpust je končna točka celotnega drenažnega sistema, kjer se voda izliva v reko, jezero ali morje. Možni sta dve izvedbi: gravitacijski izpust ali črpališče. Gravitacijski izpust z zapornicami je drenažni element na območju, kjer se zunanji nivo gladine vodnega telesa dviguje in spušča. Na tej točki voda lahko izteka, ko je vodostaj nizek. Na območju rečnih delt je gravitacijski izpust možen le nekaj ur dnevno, ko nastopi oseka. V zgornjem delu vodotokov v času visokega vodostaja se lahko zgodi, da gravitacijski izpust ni možen tudi več tednov. Kjer pa je točka izpusta vedno nižja od vodostaja vodnega telesa, pa je potrebno črpališče (Ritzema in sod., 1996).



Slika 1: Cilji dreniranja so naslednji: (a) odvajanje odvečne vode, (b) kontrola slanosti ter (c) vzdrževanje nivoja višine vode v tleh (prirejeno po Nijland in sod., 2005:16)

Poglavitni cilji drenaže na poljedelskih površinah, kot del upravljanja z vodnimi viri, je povečanje pridelka in vzdrževanje produktivnosti zemljine. Neposredni cilji (slika 1), ki jih želimo doseči so (Nijland in sod., 2005):

- odvajanje odvečne površinske in podtalne vode,
- odvajanje presežne vode in odvečnih raztopljenih soli iz drenažnega profila zemljine,
- vzdrževanje zelenega nivoja talne vode.

Potreba po drenažnih sistemih se pojavi, ko naravno dreniranje zemljine ne zadostuje poljedelskim zahtevam. Kot navaja Nijland s sod. (2005), se območja, potrebna dodatnega dreniranja, nahajajo na obalnih ravninah, rečnih dolinah, večjih ravninah v notranjosti s presežkom padavin nad izhlapevanjem ali na nerodovitnih območjih, kjer je neustrezno namakanje povzročilo zasičenost zemljine z vodo in sekundarno zasoljevanje. Cevni drenažni sistemi so se izkazali kot bistvena in cenovno relativno ugodna metoda za povrnitev produktivnosti poljedelskih površin, še posebej v slabo rodovitnih in nerodovitnih območjih. Ti drenažni sistemi (ceveni) se lahko uporabijo za:

- osuševanje novih površin, kjer je talna voda in vsebnost soli previsoka,
- vzdrževanje nivoja talne vode na primerni globini in vsebnosti zemeljskih soli na zeleni ravnini,
- obnovitev produktivnosti površin, ki so bila prepojene z vodo in različnimi solmi.

Pri vsakem projektu, ki vključuje zemeljske drenaže, Van der Molen s sod. (2007) priporoča izvedbo s pričetkom v spodnjem delu sistema in nadalje v smeri po toku navzgor. Torej je najprej potrebno zagotoviti mesto izpusta, nato pa se po potrebi konstruira sistem odprtih kanalov in jarkov, ki to vodo zbira do mesta izpusta. Od tu dalje se načrtujejo sistemi poljskih drenaž, ki so sestavljeni večinoma iz podzemnih drenov, delno lahko tudi z odprtimi jarki, ki lahko služijo tudi za nadzor višine podtalnice.

Z dobrim načrtovanjem in pravnimi posegi lahko izboljšamo dostopnost do obdelovalnih površin s kmetijsko mehanizacijo (pred posegom je bilo to zaradi mehke površine skorajda nemogoče), letni donos poljščin pa se lahko znatno poveča. Sprememba lastnosti zemljine nam omogoči, da lahko na pridobljeni površini razširimo nabor poljščin, ki dosegajo primerne donose tako po količini kot tudi po odkupni ceni.

Stroški izdelave cevne drenažnega sistema se razlikujejo od kraja do kraja, odvisni pa so od lokalnih fizičnih in ekonomskih pogojev. Splošno gledano lahko strošek drenažnega sistema za večje območje variira nekje med 750 € in 1500 € po ha (Nijland in sod., 2005).

V nadaljevanju bomo podrobneje predstavili različne tipe drenažnih sistemov ter okoljske vidike načrtovanja drenažnih sistemov. Pregledali bomo možnosti uporabe različnih materialov za vgradnjo ter ročno, strojno orodje ter mehanizacijo za izgradnjo drenažnih sistemov.

## **2.1 Okoljski vidiki načrtovanja drenažnih sistemov**

### **2.1.1 Okoljska problematika**

Pri načrtovanju drenažnih sistemov je potrebno posebno pozornost nameniti varovanju okolja in ohranjanju ravnovesja različnih ekosistemov. Tu želimo izpostaviti nezaželene spremembe v hidroloških pojavih (npr. visoke vode), skrb za kvaliteto vode, zaščito pred erozijo in ohranjanje zemeljske prsti ter nenazadnje ohranjanje mokrišč in ostalih občutljivih ekosistemov.

S časom imajo lahko hidrološke spremembe odtoka tako pozitivne kot negativne posledice na okolje. Proces analize in načrtovanja mora identificirati potencialne spremembe pogojev in njihove posledice. Če vzamemo za primer vlažna tropska območja, je povezava med varstvom pred poplavami in drenažno komponento planiranja močno povezana. V takšnih primerih so glavni kanali namenjeni tako odvajanju poplavnih in drenažnih vod, v sušnem obdobju pa so lahko namenjeni dovajanju vode za

potrebe namakanja. Močan vpliv na okolje imajo tudi spremembe klimatskih pogojev, ali neposredno ali preko vodnega pretoka (Van der Molen in sod., 2007).

Z razvojem in izgradnjo vodnega projekta vplivamo tako na kvaliteto vode znotraj projektnega območja kot tudi navzdol po vodotoku. Zato je kontrola kvalitete vode pomemben faktor, ki ga moramo upoštevati pri načrtovanju tovrstnih sistemov. Pri izpustu drenažne vode v vodotok je vpliv navadno negativen. Posebna pozornost je potrebna na tistih mestih, kjer se bo vzdolž toka voda uporabljala za namakanje, napajanje mestnih vodovodnih sistemov ali pa vodno telo poteka skozi naravne rezervate ali habitate za divje živali, ki so še posebno občutljivi na vodno onesnaženje. Zato je mesto izpusta drenažne vode izrednega pomena v procesu kontrole kvalitete vode (Van der Molen in sod., 2007).

Iz različnih vidikov je pri načrtovanju drenažnega sistema potrebno posebno znanje o kvaliteti talne vode. Ritzema s sod. (1996) navaja naslednje:

- Vsako zniževanje nivoja podtalnice lahko izzove vdor slane podtalnice iz bližnjih območij, globljih plasti ali iz morja. Drenirano območje in njegov površinski vodni sistem bosta posledično vsak dan napajana z znatno količino raztopljenih soli.
- Odlaganje slane drenažne vode v sladkovodne potoke lahko povzroči okoljske in ostale težave, še posebno, če se ta voda uporablja za namakanje ali celo pitje.
- V sušnih in pol-sušnih območjih je vsebnost soli v tleh neposredno povezana z globino podtalnice in njene slanosti.
- Kvaliteta podtalnice, še posebno tiste z visoko vsebnostjo sulfatov, narekuje izbiro vrste cementa, ki se bo uporabil za hidravlične elemente.
- Količina in kvaliteta pridelka močno vpliva od kvalitete podtalnice in višine oziroma oddaljenosti od koreninskega sistema.

Tudi na ravninskih območjih obstaja možnost, da površinski odtok povzroči erozijo zemljine. Posebna nevarnost obstaja predvsem pri izpustu iz drenažnega sistema. Brežine odprtih kanalov so posebno občutljive na vodno erozijo na tistih mestih, ki niso močneje poraščena z vegetacijo. Dodatna težava, ki jo povzroča erozija zemljine, nastane na mestih, kjer se erozijski delci sedimentirajo v kanalih in s tem zmanjšajo hidravlično kapaciteto (Van der Molen in sod., 2007).

Pri načrtovanju in vzdrževanju izpusta površinskega in podpovršinskega drenažnega sistema je bistvenega pomena ohranjanje zemljine, zato moramo zagotoviti varen in čim manj škodljiv izpust drenažne vode. Pri načrtovanju individualnih drenažnih sistemov je pomembna klančina brežine, ki jo dodatno zaščitimo z naravno vegetacijo. V sušnih predelih je primerno pokritost z zarastjo težje zagotoviti, kar je dodaten razlog za uporabo kombiniranih drenažnih sistemov s podzemnimi zbiralniki. V takih primerih postane glavna skrb predvsem vzdrževanje glavnih kanalov, še posebno na točkah izpusta (Van der Molen in sod., 2007).

Pri gradnji novega ali dopolnitvi obstoječega drenažnega sistema je potrebno posebno skrb nameniti ohranitvi dragocenih ekosistemov. Po vsem svetu se nahajajo naravna okolja, kjer ob neprimernih posegih lahko nastane velika škoda. Spremembe v rabi zemljišča ali poseg v obstoječi vodni nivo lahko ogrozijo tipično vegetacijo na lokalnem in favno na širšem območju. Zaradi vseh teh nevarnosti, ki jih prinaša izgradnja sistema, je potrebna izdelava presoje vplivov na okolje (angl. *EIA – Environmental Impact Assessment*). Okoljski načrti bi vsekakor morali vsebovati ukrepe za varstvo in zaščito občutljivih območij, zanje pa bi moral biti odgovoren okoljski strokovnjak in ne inženir, ki projektira drenažo (Van der Molen in sod., 2007).

V Sloveniji so z Zakonom o varstvu okolja jasno določeni postopki v zvezi s presojo vplivov na okolje. Kot pravi 51. člen tega zakona se v postopku presoje vplivov na okolje ugotovijo in ocenijo dolgoročni, kratkoročni, posredni ali neposredni vplivi nameravanega posega v okolje na človeka, tla, vodo, zrak, biotsko raznovrstnost in naravne vrednote, podnebje in krajino, pa tudi na človekovo nepremično premoženje in kulturno dediščino, ter njihova medsebojna razmerja. Za določene vrste

posegov v okolje je zaradi njihove velikosti, obsega, lokacije ali drugih značilnosti, ki lahko vplivajo na okolje, presoja vplivov na okolje obvezna (ZVO-1, 2006).

### **2.1.2 Ohranjanje kvalitete in prečiščevanje vode**

Najbolj učinkovit način preprečevanja poslabšanja kvalitete vode je ta, da v čim večji meri zmanjšamo onesnaževanje in degradacijo vode v celotnem sistemu. Posamezni učinki se po celotnem sistemu seštevajo in na točki izpusta še toliko bolj škodljivo delujejo na vodno telo, v katerega se izliva drenažna voda. Pri kmetovanju je bistvenega pomena zavedanje o pametni rabi gnojil in pesticidov ter preprečevanje zemeljske erozije. V kolikor se na drenažnem sistemu uporabljajo vodni zadrževalniki, iz katerih se vrši namakanje rastlin, je to zaradi ponovne rabe predhodno morebiti onesnažene vode še toliko bolj pomembno. Zaradi tega so včasih ustrezni že manjši posegi, ki vodo prečistijo do te mere, da nima škodljivih učinkov na pridelek (Van der Molen in sod., 2007).

V nadaljevanju bomo predstavili nekaj metod oziroma tehničnih posegov, s katerimi lahko znatno izboljšamo kvaliteto vode in njeno ponovno uporabnost.

#### **2.1.2.1 Izboljšave namakalnih sistemov**

Povečanje učinkovitosti namakanja znotraj projektnega območja lahko zmanjša količino odvedene drenažne vode. Pametna uporaba namakanja je potrebna za zmanjšanje izgub pri površinskem odtoku. Globoko pronicanje lahko zmanjšamo tako, da rastlinam konstantno dovajamo ravno pravšnjo količino vode in hkrati zagotavljamo, da ne pride do zasičenosti z različnimi solmi (Van der Molen in sod., 2007).

Van der Molen s sod. (2007) navaja, da je v različnih namakalnih shemah dovolj prostora za izboljšanje z naslednjimi postopki:

- izboljšanje lokalnega in regionalnega načrtovanja namakalnih zalog;
- izboljšanje namakalne prakse z namenom preprečevanja površinskega odtoka;
- zagotavljanje enotnega dovajanja vode na celotnem območju namakanja;
- uravnavanje potreb po namakanju glede na potrebe izhlapevanja, upoštevanje kapacitete vlažnosti zemljine ter hkrati zagotavljanje prepustnosti za potrebe kontrole nivoja soli;
- zagotavljanje optimalne rabe padavin pri letni vodno/solni bilanci z namenom zmanjšanja potreb po namakanju v sušnih obdobjih;
- izboljšanje obstoječih površinskih namakalnih sistemov;
- zamenjava obstoječih sistemov v tlačne, kot so na primer pršilci in kapljični namakalni sistemi.

Z nadgrajevanjem namakalnega sistema predvsem za namene varčevanja vode, je potrebno zagotoviti zadosten nivo izpiranja raztopljenih soli, ki se dovajajo z namakanjem. To je še posebno pomembno v sušnih predelih (Van der Molen in sod., 2007).

#### **2.1.2.2 Vzdrževanje nivoja podtalnice**

Na relativno vlažnih območjih s prepustnimi zemljinami, kjer se ob visoki podtalnici blizu površja nahaja dokaj sveža voda, je možno z reguliranjem višine podtalnice zmanjšati težave s kakovostjo vode na točki izpusta. Tovrstno reguliranje je možno tudi na območjih z manj prepustnimi glinastimi zemljinami, a so tveganja in težave veliko bolj verjetne. Z reguliranjem nivoja podtalnice lahko v veliki meri prispevamo k nadzoru onesnaženja z nitrati in pesticidi. Hkrati se lahko zmanjša potreba po namakanju, posledično na ta način prihranimo svežo vodo in jo lahko uporabimo za druge namene (Van der Molen in sod., 2007).

V preteklosti so se drenažni sistemi v glavnem načrtovali tako, da se je odstranjevalo globoko pronicanje na območju namakalnih sistemov ter preprečevalo prodiranje vode iz sosednjih območij ali globine. Na območjih s slano podtalnico je globina in razmik med dreni še toliko bolj pomembna, da se čim bolj zmanjša vpliv kapilarnega dviga le-te do koreninskega sistema. Koncept nadzorovane podzemne drenaže se je najprej razvil na vlažnih območjih. Omenjeni koncept deluje po načelu zmanjševanja drenažnega odtoka s pomočjo vgrajenega jaška, v katerem s pomočjo zapornice nadzorujemo višino podtalnice (Tanji in sod., 2002).

S tehniko kontrolirane drenaže se nivo podtalnice umetno nadzoruje. V sušnih obdobjih se drenažni izpust omejuje in s tem ohranimo nivo podtalnice dovolj visoko v bližini dna koreninskega sistema, ki se iz podzemnih drenov lahko napaja s pomočjo kapilarnega dviga. V vlažnem obdobju pa lahko s polnim izpustom iz sistema zagotavljamo nivo podtalnice dovolj nizko, da zagotovimo zračnost predvsem v območju koreninskega sistema (Van der Molen in sod., 2007).

Sistemi za nadzorovanje nivoja podtalnice vključujejo naslednje elemente (Van der Molen in sod., 2007):

- zatiče in kolena pri stranskih izpustih enostavnih drenažnih sistemov ali v vodnih zbiralnikih pri bolj kompleksnih drenažnih sistemih;
- pregrade oz. jezovi za nadzorovanje višine vode v sistemih z odprtimi kanali;
- avtomatski sistemi na nadzor nivoja vode na črpališčih.

Kvaliteta vode je glavni problem pri uravnavanju nivoja podtalnice. Na vlažnih območjih je vzdrževanje primerne nivoja podtalnice (z izjemo površin za gojenje riža) lahko zelo nevarno z vidika prevelike prisotnosti raztopljenih soli. Če je podtalnica slana, se bodo soli s pomočjo kapilarnega dviga hitro nabrale v koreninskem sistemu. Zaradi tega takšni sistemi niso primerni na vlažnih območjih razen v primerih, ko gre za trajno obdelane površine (npr. dolina in delta reke Nil). Na območjih, kjer se akumulirane soli lahko intenzivno spirajo tekom deževnega obdobja (območja monsunske klime) ali s pomočjo namakanja v obdobju po žetvi oz. pobranem pridelku, je potrebna posebna skrb med obdobjem namakanja, da ostanejo soli v zemljini pod nivojem pridelka (Van der Molen in sod., 2007).

### 2.1.2.3 Ponovna uporaba drenažne vode

V današnjem času je zaradi precejšnje porabe vode na različnih področjih (kmetijstvo, industrija, gospodinjstva) zaželeno, da se le ta po uporabi prečisti do te mere, da je primerna za ponovno uporabo. Z okoljsko osveščenostjo se predvsem v kmetijstvu zmanjšuje uporaba onesnaževal in čedalje bolj uveljavlja ekološka uporaba. S tem se povečuje tudi možnost za ponovno uporabo vode brez dodatnega čiščenja. Van der Molen s sod. (2007) poudarja pomembnost ponovne uporabe drenažne vode za potrebe namakanja ali neposredno ali pa z mešanjem drenažne vode ter vode za namakanje, ki je boljše kvalitete.

Ustreznost vode za ponovno uporabo je v veliki meri odvisna od vsebnosti soli in onesnaževal, ki jih le ta vsebuje. V preglednici 1 je prikazana ustreznost vode in njena uporaba glede na izmerjeno električno prevodnost. Vode z nižjo prevodnostjo imajo manjšo vsebnost soli, s tem pa so tudi bolj ustrezne za ponovno črpanje iz jarkov in namakanje. Prisotnost elementa dušika (N) je lahko koristna, saj predstavlja dragocen vnos hranil, s tem pa se zmanjša dodaten vnos gnojil. Na drugi strani pa prevelika prisotnost nitratov preprečuje uporabo vode za pitje ali napajanje živali. Podobno velja za vode, ki so onesnažene zaradi intenzivne rabe pesticidov, gnojevke ali razlitja industrijskih vod (Van Der Molen in sod., 2007).



*Preglednica 1: Razvrstitev kakovosti drenažne vode in njena ustreznost uporabe za namakanje (Van Der Molen in sod., 2007: 14)*

Kakovost	EP – električna prevodnost (dS/m)	Uporaba
Zelo dobra	< 1	vse kulture
Dobra	1-2	večina kultur
Srednja	2-3	odporne kulture
Slaba	3-6	odporne rastline, potrebno več izpiranja
Zelo slaba	> 6	ni priporočljiva

V primerih, ko so vode bolj onesnažene ali vsebujejo prevelike količine soli, jih lahko zmešamo s svežo vodo, da zagotovimo sprejemljivo kvaliteto za potrebe namakanja. Druga možnost je, da svežo vodo uporabljamo v obdobju, ko so rastline bolj občutljive na vsebnost soli in pa obratno, da uporabimo drenažno vodo za namakanje, ko so rastline manj občutljive. Običajno so rastline najbolj občutljive v obdobju kaljenja in v začetni fazi rasti, zato je takrat bistvenega pomena, da je nivo vsebnosti soli v semenski postelji čim nižji. Kakorkoli, do težav v strukturi zemljine lahko pride, ko namakanju z drenažnimi vodami z visoko vsebnostjo natrija sledi namakanje s svežo vodo. V praksi so takšni sistemi težje izvedljivi in zahtevajo posebno infrastrukturo ter znatna prizadevanja upravljalcev javnih voda. Boljša rešitev, ki se čedalje bolj uporablja v praksi, je uporaba rastlin, ki so bolj odporne na vsebnost soli v zemljini (Van Der Molen in sod., 2007).

Velike količine drenažne vode, ki ni primerna za namakanje poljščin s suhim koreninskim sistemom, lahko uspešno uporabimo za stoječe vode pri pridelavi riža ob pogoju, da dovajamo tudi določeno količino sveže vode in na ta način vzdržujemo ustreznih nivo slanosti (Van Der Molen in sod., 2007).

Ponovna uporaba drenažne vode znotraj projektnega območja zmanjša količino izpusta, a se na drugi strani zato koncentrira vsebnost soli in različnih onesnaževal, čeprav je lahko skupno breme onesnaževal malce zmanjšano. Konec koncev je tudi zmanjšani izpust drenažne vode iz sistema neizbežen. Velja še dodati, da je v primeru gospodinjstev in industrijskih odpadnih vod onesnaženje glavna težava. Posledično je čiščenje teh voda neizbežno, da bi dosegli varno ponovno rabo. Za namakanje poljščin, ki niso namenjena neposredni porabi, se očiščena voda lahko uporablja neposredno. Za te namene je zadostno že pretakanje vode skozi umetno zgrajena mokrišča in ribnike s trsjem in rogozom. Za ostale namene pa so potrebne bolj napredne metode čiščenja (Van Der Molen in sod., 2007).

#### **2.1.2.4 Nadzorovanje nivoja podtalnice**

Učinkovita metoda za nadzorovanje nivoja podtalnice ter vsebnosti soli je črpanje vode iz cevni vodnjakov, njegova uporaba pa je pogosta v Pakistanu. Na sladkovodnih območjih so vodnjaki koristni predvsem z vidika dodatnih količin vode, ki jo lahko uporabimo za potrebe namakanja. V primeru, ko je voda malce slana, jo lahko zmešamo s svežo vodo in na ta način dosežemo ustreznost za namakanje. V nasprotnem primeru ponovna uporaba ni primerna, saj ponovna uporaba slane vode s črpanjem postopoma povečuje nivo slanosti v sami zemljini in tudi vodnem telesu. V primeru črpanja slane vode kot odpadnega produkta le to ni ekonomično, razen v primeru zagotovljenega neposrednega in varnega izpusta (Van Der Molen in sod., 2007).

Čeprav je na začetku lahko način črpanja vode iz vodnjakov zelo uspešen, se lahko s časom zgodi, da pride iz večjih globin do vdiranja morske vode, kar povzroča kompleksne težave pri namakanju in otežuje varni izpust vode. Zato je izrednega pomena, da preučimo hidravlično sposobnost transportiranja soli iz večjih globin. Posebna vrsta vodnjakov (*»skimming«* vodnjaki) ali dvojno črpanje tako morske vode iz globine, kot tudi plitvejših sladke vode, lahko preprečijo tovrstno mešanje. Za doseg tega so potrebne zahtevne operacije in vzdrževanje, povrh vsega pa z dvojnimi črpanjem in posledično slano vodo ustvarjamo težavo za izpust iz sistema. Kritična komponenta za spremljanje

kvalitete vode je sistematična kontrola. Kjer se pojavijo spremembe, je potrebna prilagoditev v načrpanih količinah, da zagotovimo vzdržen nivo. Zatorej je na takšnih območjih potrebno razmisliti o izgradnji vodoravnih cevni drenaž, ki bi izboljšale trajnost projekta in zmanjšale problem odlaganja slane vode (Van Der Molen in sod., 2007).

### 2.1.2.5 Opuščanje zemljišč in suhe drenaže

Pri razvoju novih osuševalnih sistemov se je zaradi stranskih učinkov prisotnosti in transporta soli v zemljini potrebno izogibati območij, kjer so zemljine bogate s solmi in se na teh površinah ne izvaja namakanje. Iz istega razloga prihaja do opuščenja pridelave pridelka na takšnih površinah, še posebej, ko jih nadomestijo na novo osušene površine, kjer takšno tveganje ne obstaja (Van Der Molen in sod., 2007).

Izvedba suhih drenaž je vprašljiv koncept, ki vključuje izgradnjo odtočnih neobdelanih območij kot nekakšne neobdelane pasove med obdelanimi površinami. Funkcionirajo kot kotanje za izhlapevanje odtoka ter zbiranje toka in soli z bližnjih območij. Proces se že izvaja samodejno na opuščenih poljedelskih površinah, ki so prizadeta z zasoljenostjo. Ta delujejo kot zbiralniki soli v naravi, npr. nizko ležeča resasta oz. pahljačasta območja aluvialnih nanosov ali območja rečnih delt v sušnih predelih, kot so Tunuyan v argentinski provinci Mendoza, območje Garmsar v Iranu, ravan Indus v Pakistanu in Mezopotamija<sup>4</sup> v Iraku (Van Der Molen in sod., 2007).

Potencial za uporabo tovrstnih drenaž je na opuščenih površinah in kjer je količina vode omejena za namakanje celotne namakalne površine. V primeru peščenih viharjev ali poplav med redkim močnejšim deževjem pa imajo takšne drenaže lahko na sosednja območja negativen učinek. Dodatno težavo lahko povzroči še sprememba gostote toka v globini. Zaradi tega je potrebno na opuščenih in nerodovitnih površinah skrbeti za primerno raven soli s strani javnih ali zasebnih vodooskrbnih podjetij, ki lahko zagotovijo varno in vztrajnostno obliko rabe površin, kot so na primer vzgajanje halofitov<sup>5</sup> (oz. slanuše) za pridelavo lesa ali naravno zaščito (Van Der Molen in sod., 2007).

### 2.1.2.6 Biološke drenaže

Koncept bioloških drenaž (biodrenaž) temelji na evapotranspiraciji rastlin, kjer zasajeni pasovi dreves prestrezajo padavine in odvajajo odvečno vodo iz zemljine. Drevesa lahko absorbirajo vodo iz nenasičene cone in s tem zmanjšajo vpliv pronicanja globinskih voda. Neposredno lahko absorbirajo tudi vodo s kapilarnega roba nasičene cone. Na ta način se znižuje nivo podtalnice pod nivo koreninskega sistema, prestreza se vdor podtalnice s sosednjih območij, lahko pa se tudi pospešuje pretok podzemnih tokov in uravnava nivo podtalnice tudi za sosednja območja na globini, primerni za različne pridelke. Za biodrenaže so primerne predvsem rastline z visoko stopnjo transpiracije (Van Der Molen in sod., 2007).

---

<sup>4</sup> Mezopotamija (grško, »medrečje«) je pokrajina med Evfratom in Tigrisom. Politično pripada glavni del (rečna oaza s staro poselitveno poplavno ravnino in notranjo delto na JV) Iraku, majhen del na SZ (puščavska stepa) pa Siriji. Obdelovati je mogoče samo rečno oazo in namakalna območja (težave z zasoljevanjem prsti), drugod je suha nomadska pokrajina. Že v 5. t. pr. n. š. se je v Mezopotamiji razvilo poljedelstvo. V 3. in 2. t. pr. n. š. nastanek prvih držav: Sumerije in Babilonije na J, Asirije na SV, države Mitani na SZ (Veliki splošni leksikon, elektronska izdaja v1.0. DZS, 1997).

<sup>5</sup> Halofiti oz. slovensko slanuše so rastline, ki uspevajo na zaslanjenih tleh, kot npr. morska obrežja, soline, slane stepe (Veliki splošni leksikon, elektronska izdaja v1.0. DZS, 1997).



Biodrenažni proces bi lahko klasificirali na podlagi rabe površin. Heuperman s sod. (2002) razlikuje med sušnimi območji, ki so napajana z dežjem ter območji rabe z namakalnimi sistemi, upoštevajoč naslednje mehanizme upravljanja biodrenaž:

- Sistemi na sušnih območjih, ki se napajajo z dežjem:
  - o kontrola ponovnega polnjenja,
  - o prestrezanje podvodnih tokov,
  - o povečanje izpusta.
- Območja namakalnih sistemov:
  - o nadzor nivoja podtalnice,
  - o prestrezanje pronicanja s kanali,
  - o konvencionalni biodrenažni sistemi.

Glede na specifične potrebe nadzora višine vode Van der Molen s sod. (2007) predlaga sistematične ureditve zasaditve dreves za naslednja območja:

- na mestih, kjer se podtalnica nahaja globoko, a vseeno obstaja nevarnost pronicanja in dviga nivoja zasičenosti;
- vzdolž pobočij za prestrezanje bočnega pronicanja iz višje ležečih območij v nižino;
- vzdolž namakalnih kanalov za prestrezanje bočnega pronicanja, ki je posledica uhajanja vode;
- na ravninskih delih z vzporedno ureditvijo, ki je podobna talnim drenažnim sistemom.

Na sušnih območjih, kjer je višina podtalnice globoka, so lahko drevesne plantaže posebno koristne za zmanjšanje napajanja in trajnostne, če se naravno ravnovesje soli ne spremeni. Na območjih, kjer je vsebnost soli ali škodljivih snovi v zgornjem sloju zemljine visoka, lahko zmanjšanje pronicanja prepreči transport teh snovi. Ker pa ima vpeljava neavtohtonih rastlin (še posebno invazivnih) lahko negativne učinke na pokrajino, je potrebna previdna izbira drevesnih vrst (Van Der Molen in sod., 2007).

Pod posebnimi pogoji lahko zasajena drevesa učinkovito prestrezajo bočno pronicanje vode na pobočnih površinah in še posebej vzdolž namakalnih kanalov v odvisnosti od količine pronicane vode in vsebnosti soli kanalske vode. Seveda je potrebno upoštevati določena tveganja, kot so vplivi na okolje in tveganje dodatnega uhajanja vode iz kanala, saj se hidravlični gradient poveča zaradi znižanega nivoja podtalnice. Iz teh razlogov je priporočljiva analiza stroškov in koristi, da bi lahko biodrenažo primerjali s kakšno drugo inženirsko alternativo, kot je npr. gradnja kanala ali vgradnja prestrezne drenaže (Van Der Molen in sod., 2007).

Biodrenažni sistemi lahko veliko prispevajo k nadzorovanju nasičenosti zemljine z vodo ter zmanjševanju količine drenažne vode, ki bi jo načeloma izpustili skozi izpust običajnega drenažnega sistema. Ne moremo pa z njimi zagotoviti dolgoročnega nadzora nad vsebnostjo soli, ki je najbolj pereča v sušnih predelih, kjer se uporabljajo namakalni sistemi. Tovrsten nadzor je posebej pomemben, kjer je podtalnica plitva in slana, prisotnost soli v območju koreninskega sistema pa je neizbežna. V tem primeru je potrebno akumulirane soli izločiti, zato so dodatno potrebni tradicionalni drenažni sistemi. Z naraščanjem nivoja slanosti se zmanjšuje transpiracija rastlin, s tem pa je zmanjšan učinek biodrenaže. Dodatno oviro za postavitev vzporednih drevesnih pasov v ravninskih obdelovalnih površinah predstavlja tudi pomanjkanje prostora (Van Der Molen in sod., 2007).

Predvsem iz tega zadnjega razloga, je izvedba biodrenaž precej otežena, saj je na ravninskih delih vsak kos obdelovalne površine zelo dragocen. Samo načrtovanje in izvedba morata biti zato natančna in premišljena, upoštevati je potrebno precej različnih parametrov, nenazadnje tudi metode vzdrževanja in vse večja odstopanja parametrov od povprečja zaradi velikih klimatskih sprememb v današnjem času.

### 2.1.3 Načini zmanjševanja drenažnega izpusta

Kritična točka vsakega drenažnega projekta je izpust vode iz sistema. Razloge za to lahko iščemo predvsem v kakovosti vode vzdolž vodotoka in tudi zaradi funkcioniranja samega sistema, kjer vsako zastajanje toka v kanalih povzroča težave po toku navzgor. Zato je potrebno predvideti, kje lahko pričakujemo površinsko erozijo in posledično načrtujemo izpuste na mestih, kjer je možnost za to najmanjša. Poleg vsega je potrebno zmanjšati negativne učinke na zaloge vode, ribji živež, obrežne habitate, mokrišča in vse ostale dragocene ekosisteme (Van Der Molen in sod., 2007).

Na nekaterih območjih, posebno v vlažnih in tropskih pasovih, lahko hidrološke spremembe na rečnem sistemu povečajo možnosti za poplavne dogodke ali znatnejše spremembe v glavnem toku. Zato rečni hidrološki sistem, ki je povezan s projekti in skupinami predlaganih projektov, potrebuje hidrološko oceno. V fazi planiranja je zato potrebno oceniti količino in kvaliteto drenažnega iztoka in učinke, ki jih bo imel vzdolž vodnih sistemov. Potrebno je preučiti še prednosti in slabosti alternativnih izpustov ter presoditi ali so le ti primerni. V končni fazi je najpomembnejše, da drenažno vodo izpustimo na čim bolj varen način. Običajno ta teče v morje ali plimi izpostavljena vodna telesa, v jezera ali v reke (Van Der Molen in sod., 2007).

Van der Molen s sod. (2007) omenja še druge možnosti za izpust drenažne vode, kjer je zmanjšan protiučinek na nižje ležeče vodne vire:

- ribniki za izhlapevanje,
- umetna mokrišča in sorodni sistemi,
- podtalnica preko napajalnih vodnjakov.

V nadaljevanju bomo podrobneje predstavili vsako od teh možnosti s svojimi prednostmi in slabostmi. Izpostavili bomo tudi možne težave in zaplete.

### 2.1.3.1 Izpusti v morje in vodna telesa s plimovanjem

Glede na ogromne količine morske vode vpliv projekta na morje ali na njegovo okolje ne more biti velik v primerjavi z ostalimi lokacijami za izpust. Čeprav soli ne onesnažujejo morja, lahko druga onesnaževala spremenijo obalni ekosistem, še posebej območja estuarjev<sup>6</sup>. Iz okoljskega vidika je zaželeno, da se drenažna voda spušča neposredno v morje, a je le to navadno omejeno na obalna območja, razen če se izkopljejo dolgi glavni drenažni kanali, ki služijo kot oddaljena območja drenažnih rezervoarjev npr. izlivni kanal levega in desnega brega porečja reke Ind<sup>7</sup> v Pakistanu in glavni drenažni kanal Bahr el Baqr delte reke Nil v Egiptu (Van Der Molen in sod., 2007).

Izpust v morje in povezane vode dosežemo (Van Der Molen in sod., 2007):

- neposredno s pomočjo gravitacije skozi odtočne drene s prostim izpustom,
- skozi zaklopna vrata ali poplavne zapornice, ko je izpust možen ob oseki,
- skozi črpališče.

---

<sup>6</sup> Estuarij (tudi estuar) je cevasto ali lijakasto razširjeno ustje reke, kamor seže morsko plimovanje, npr. ob izlivu Temze, Labe in Garone (Veliki splošni leksikon, elektronska izdaja v1.0. DZS, 1997).

<sup>7</sup> Reka Ind, tibetansko tudi Sindhu, se razteza vse od Himalaje do Arabskega morja, poteka pa od izvira na Kitajskem delu Himalaje skozi Indijo in nato največji del skozi Pakistan. Spada med najdaljše reke na svetu z dolžino okrog 3.200 km. Njeno celotno drenažno območje se razteza na 1.165.000 km<sup>2</sup>, od tega 453.000 km<sup>2</sup> leži v predgorju Himalaje (Hindu Kush in gorovje Karakoram). Ostala ležijo na pol-sušnem območju Pakistanskih ravnin. Letni pretok znaša približno 243 km<sup>3</sup>, torej dvakrat več kot pri letnem rečnem pretoku reke Nil (<http://www.britannica.com/place/Indus-River>, pridobljeno 14.3.2016).

Prosti oz. gravitacijski izpusti lahko povzročajo poplavljanje po toku navzgor, zato je ta izbira možna samo na mestih, kjer je točka drenaže precej višje od točke visoke plime ob dodatnem upoštevanju izgub v samem sistemu. Tudi v teh primerih lahko težja slana voda prepotuje znatne razdalje po toku navzgor vzdolž dna izpustnega kanala. Poleg tveganja za vdor slane vode obstajajo še druge nevarnosti za proste izpuste, ki so odvisne predvsem od vodnih tokov v morju. Zaradi obrežnih naplavin obstaja možnost zamašitve izpusta in pa do erozijskih dejavnikov vzdolž obale, ki so posledica valovanja. Ukrepi proti tem dejavnikom so lahko izredno dragi, včasih tudi neizvedljivi. Možna rešitev je izgradnja obalnih nasipov in pa intenzivno izkopavanje oz. čiščenje rečnega dna, da bi zagotovili prost izpust (Van Der Molen in sod., 2007).

V primerih, ko je točka izpusta pod nivojem najvišje plime, je potrebna izgradnja črpališča in posebnih objektov z zadostno kapaciteto shranjevanja drenažnih voda za čas, ko izpust ni možen in je nivo morske vode višji od točke prostega izpusta. Takšna območja se nahajajo v ravninskih obalnih delih in so občasno prizadeta z močnimi deževji, ki so značilnost monsunske podnebja (Van Der Molen in sod., 2007).

Zaklopna vrata ali poplavne zapornice lahko zadržujejo plimo in omogočajo izpust, ko je oseka (zapiranje in odpiranje je avtomatizirano). Zapornice so nameščene v nekakšno zajezo ali pa prepust in so namenjene predvsem manjšim pretokom, zaklopna vrata pa so predvidena za višje pretoke. Kombinirana so z nasipi, ki zadržujejo visok nivo voda na zunanji strani. Zaradi tega je potrebno v višje ležečih legah zadržati in akumulirati del odtoka ali načrtovati poplavna območja, ki preprečujejo poplavljanje obdelovalnih površin v času zaprtih zapornic. Navkljub zapornicam in zaklopnim vratom pa vseeno obstaja možnost vdora slane vode s podzemnimi tokovi v kanal. Najbolj ustrezna lokacija za umestitev iztoka so estuarji, kjer so plimovanja višja kot na odprtem morju in obalah jezer, nudijo pa boljšo zaščito pred ekstremnimi morskimi pojavi in hkrati nudijo primerno lokacijo za izgradnjo vodnih zadrževalnikov (Van Der Molen in sod., 2007).

Črpališča so običajno predvidena za obalna območja, kjer zapornice ne morejo zagotoviti zadostnega dviga za varni neposredni izpust. Uporabljajo se v kombinaciji z nasipi, ki ščitijo pred poplavnimi vodami. Investicija in izvedba projekta zahtevata višje stroške, vdor morske vode v izpustni kanal pa v tem primeru ni možen (Van Der Molen in sod., 2007).

### **2.1.3.2 Izpusti v jezera**

Pri projektih, kjer izpust načrtujemo v jezera in je le-ta zajeten čas izpostavljen zraku, se bo voda do neke mere očistila. Številna jezera se izlivajo v reke in te nadalje v morja. V teh primerih je kvaliteta vode pomembna na točkah izpusta v reke ali morja, še posebno tam, kjer so jezera plitva ali manjša. Obstaja tudi možnost, da v primeru varovanja kvalitetnega režima jezera in prevelikih sprememb zagotovimo obvod in neposreden izpust v reko ali morje (Van Der Molen in sod., 2007).

Jezera brez izpusta, ki se pogosto nahajajo v sušnih regijah, se obnašajo povsem drugače. Tu so dotoki precej bolj izraziti. Občutljivo ravnovesje jezera med izhlapevanjem in dotokom lahko zlahka porušimo, to pa je v že kar nekaj primerih pripeljalo do prelivanja ali osuševanja in hitrega povečevanja slanosti (npr. jezero Qarun v Egiptu, Aralsko jezero v Kazahstanu ter jezero Manchchar v Pakistanu). V skoraj vseh primerih se vsebnost soli hitro poveča, višja je vsebnost rastlinskih hranil, mulja ter onesnaževal, kar lahko močno vpliva na celotni ekosistem, brez da sprejmemo posebne zaščitne ukrepe. Če to ni sprejemljivo, je potrebno zagotoviti alternativna mesta izpusta, kot so npr. ribniki za izhlapevanje. Dodatna mera pozornosti velja tudi z vidika konstantnega nivoja gladine jezera in posledično poplavne ogroženosti dol-vodno (Van Der Molen in sod., 2007).

### **2.1.3.3 Izpusti v reke**

V številnih razvojnih shemah se izpust drenažne vode v rečni sistem izvaja neposredno ali včasih skozi umetno zgrajena mokrišča. V obeh primerih izpuščena voda predstavlja del vodnih zalog za porabnike vode po toku navzdol, s tem pa potencialno predstavlja vir morebitnega onesnaženja. Izpust v reke je lahko še posebej problematičen pri manjših rekah, saj lahko zelo spremeni vodni režim reke, v katero izpuščamo drenažno vodo. Potencialno nevarnost predstavljajo tako vsebnost soli kot tudi različnih hranil in onesnaževal. Posebno pozornost velja nameniti spremembam v rečni morfologiji, ki jo povzroča erozija in zamuljenost toka. Da bi se izognili onesnaženju v primeru velikih projektov (npr. že prej omenjeni levi in desni breg kanala reke Ind v Pakistanu ali drenažni kanal Bahr el Baqr v delti reke Nil v Egiptu), je potrebna izgradnja drenažnih objektov večjih dimenzij (Van Der Molen in sod., 2007).

Večina rek poplavlja, nekatere sezonsko, druge krajše obdobje, vsekakor pa to lahko traja več dni skupaj. Pri odprtih izpustih lahko poplavne vode prodrejo nazaj v sistem, kar običajno ni sprejemljivo. Na mestih, kjer je izpust zaščiten z zapornicami ali pregrado ima lahko gor-vodni izpust enak učinek. Za enostavne primere lahko s pomočjo računalniškega programa pridobimo indikacije o teh povratnih učinkih. Ena izmed možnih rešitev je podaljšan izpust po toku navzdol. Precej je odvisno tudi od lokalnih okoliščin, še posebej rečnega gradienta in trajanja visokih vod, ki preprečujejo drenažni izpust (Van Der Molen in sod., 2007).

#### **2.1.3.4 Ribniki za izhlapevanje**

Na sušnih območjih se ribniki za izhlapevanje uporabljajo za izpuščanje slane drenažne vode, kjer ne obstajajo druge možnosti za izpust. Lahko se uporabijo naravne depresije, pogosteje pa so takšna mesta umetno zgrajena. Če je možno, se kaskadno med sabo poveže več ribnikov s stalno višino gladine, da zagotovimo primerno okolje za vodne ptice. Sestava vode, ki jo dovajamo mora biti poznana, poplavno območje pa mora biti preračunano na podlagi vodnega ravnovesja, da zagotovimo primerno koncentracijo soli v ribniku. V tem primeru lahko vodo iz ribnika v času sušnega obdobja ponovno uporabimo pod pogojem, da zaradi prenizkega nivoja bližnjih rek ni potrebno le-te spuščati nazaj (Van Der Molen in sod., 2007).

Slabe strani takšnih ribnikov, ki jih navaja Van der Molen s sod. (2007) so naslednje:

- neizbežno je, da tovrstni ribniki postanejo slana jezera, kjer se koncentrira tudi nivo ostalih onesnaževal;
- nekatera onesnaževala so za živalske vrste izjemno strupena in se lahko akumulirajo v njihovih telesih preko prehranske verige;
- pronicanje nekvalitetne vode lahko onesnaži visoko podtalnico in kasneje z močnejšimi tokovi globlje vodonosnike, zato se za podlago uporablja neprepustne materiale;
- pronicanje skozi tla lahko povzroči zasičenost z vodo in zasoljenost na sosednjih območjih;
- v primeru izsušitve ribnika obstaja tudi možnost peščene nevihte.

V odsotnosti strupenih elementov lahko ribniki za izhlapevanje postanejo zanimiva mokrišča, čeprav niso trajna. V nasprotnem primeru je potrebno najti ali zagotoviti alternativne habitate za vodni živež in s tem čim bolj zmanjšati negativne vplive. Zatorej je smiselno, da se ribnikov za izhlapevanje poslužujemo samo v primerih, ko ni možno varno izpuščanje drenažne vode. Tehnična, ekonomska in okoljska izvedljivost je odvisna predvsem od kvalitete drenažne vode ter topografskih in geohidroloških značilnosti razpoložljivega območja. Primer takšnega območja lahko najdemo v dolini San Joaquin v ZDA (Van Der Molen in sod., 2007).

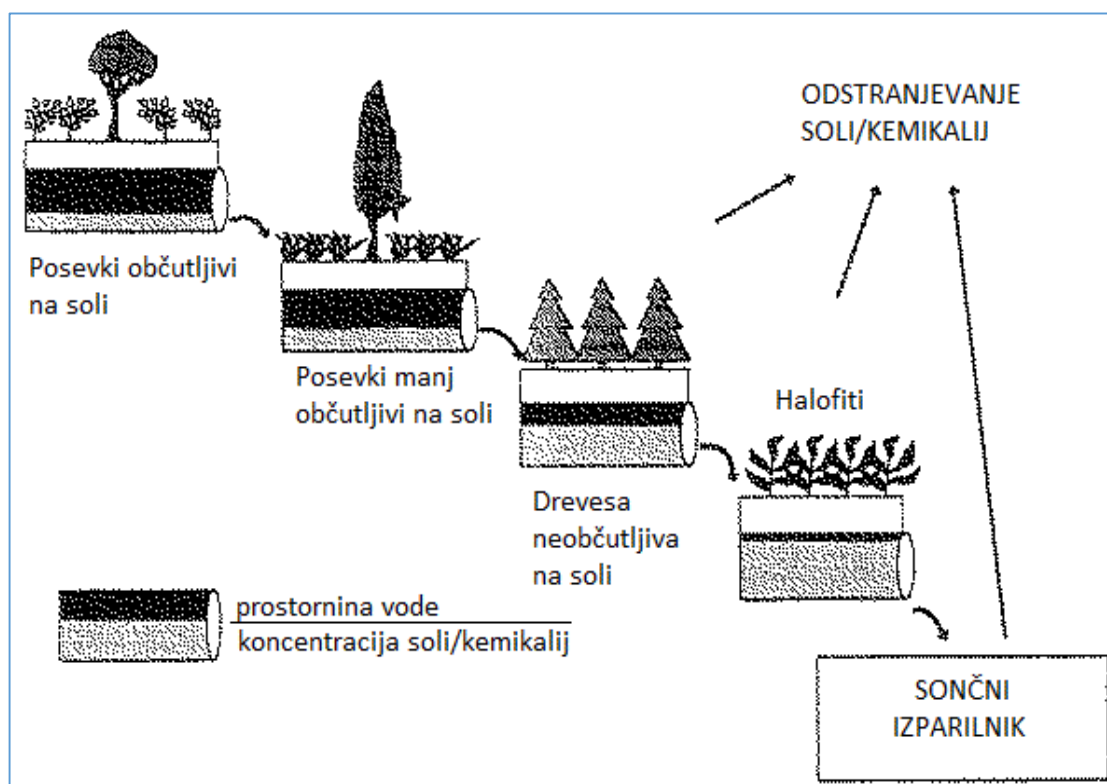
#### **2.1.3.5 Umetna mokrišča in sorodni sistemi**

Kot smo že prej omenili, je do neke mere možno s kaskadno povezavo umetnih vodnih teles (npr. ribniki in mokrišča) doseči zmanjšano skupno količino izpusta iz drenažnega sistema ter izboljšati kvaliteto vode.

Posamezna mokrišča z različnimi tipi vegetacije (umetno in naravno vzgojeni), kot so trave in trsje, lahko tudi drevesa, imajo nalogo zmanjšati koncentracijo različnih snovi in pospešiti usedanje zemeljskih delcev. Po posameznih kaskadah se zmanjšuje občutljivost rastlinja na vsebnost soli in onesnaževala, pričakovani rezultat pa je zmanjšanje previsokih vsebnosti elementov dušika (N), fosforja (P), kalija (K) ter organskih snovi. Da bi rastline primerno uspevale, je potrebna ustrezna globina vode ter nadzorovanje pretoka vode, da zagotovimo potreben čas za odstranjevanje onesnaževal. Ker v zgornjih kaskadah večina vode izhlapi, je ob izpustu drenažna voda precej koncentrirana, tako da je potrebno zagotoviti varno mesto izpusta npr. v ribnik za izhlapevanje (Van der Molen in sod., 2007).

Umetna mokrišča so lahko uporabna kot zaščita namakalnih površin pred peščenimi vetrovi ali kot puščavske oaze za divje živali kot zaščitni pasovi z drevesi, ki niso občutljiva na soli. Druga možnost je zgraditev ribnika, a je potrebno poskrbeti za redni monitoring vsebnosti strupenih snovi v ribah, v kolikor jih nameravamo uporabiti za prehrano (Van der Molen in sod., 2007).

Če mokrišča niso vodotesna in vodonosnik ni zaprt, obstaja nevarnost, da pride do onesnaženja pitne vode. To zna biti precejšnja težava, kjer iz onesnaženega vodonosnika napajamo mestni vodovod ali namakalni sistem. Zato je potrebno načrtovanju mokrišč nameniti posebno pozornost, ki vključuje topografske, zemeljske in geo-hidrološke značilnosti izbranega območja (Van der Molen in sod., 2007).



Slika 2: Poljedelsko - gozdarski sistem za odstranjevanje soli in kemikalij (prirejeno po Shannon in sod., 1997:35)

Van der Molen s sod. (2007) je predstavil razvit in večkrat testiran koncept rešitve za območja, kjer vsebnost soli povzroča največjo skrb. Ta v grobem združuje poljedelstvo z gozdarstvom. S takšnimi sistemi, kot je prikazan na sliki 2, se drenažna voda intenzivno uporablja brez primesi sveže vode, razen v obdobjih kaljenja, možni načini uporabe po kaskadah pa si sledijo takole:

- Na prvi kaskadi se nahajajo posevki, ki so občutljivi na vsebnost soli ali mokrišča, kjer je kvaliteta vode na sprejemljivem nivoju;
- Sledijo posevki, ki so manj občutljivi na soli ali mokrišča;
- Drevesa, ki so manj občutljiva na soli ali mokrišča;
- Halofiti, ribniki, slana mokrišča, itd.;
- Sončni izparilnik.

Za zagotavljanje trajnostne rešitve je pri vseh navedenih korakih, razen v primeru sončnega izparilnika, potrebno zagotoviti proces dreniranja po naravni ali umetni poti.

Pogosta dodatna funkcija omenjenega sistema je zaščita namakalnih površin pred škodo, ki nastane zaradi močnega vetra in preprečitev širjenja puščavskega območja. Drenažno vodo zato izpuščamo na izbrana mesta v puščavi ali na drevesne pasove, ki so neobčutljivi na vsebnost soli. Pri večjih projektih velja nameniti posebno pozornost namakanju drevesnih pasov in vplivu na vegetacijo ob tem pasu (ni nujno, da dobro prenaša takšno namakanje). Izpusti drenažne vode v puščavsko okolico projektnega območja ščitijo okolico pred nanašanjem peska in zasoljenega prahu (Van der Molen in sod., 2007).

#### **2.1.3.6 Podzemni napajalni vodnjaki**

Na nekaterih območjih, kjer se v globini nahajajo zaprti vodonosniki, lahko drenažni izpust speljemo v nekakšne napajalne vodnjake. Pogoj za to je dovolj obsežen in globok vodonosnik, ki ima dovolj veliko skladiščno kapaciteto in prenosljivost, vseeno pa ne sme biti preobremenjen. Dodaten pogoj je, da drenažna voda ne sme vsebovati mulja in naplavinjskih delcev. Kvaliteta mora biti združljiva z vodo v vodonosniku, da bi preprečili združevanje usedlin in morebitno zamašitev vodnjaka ali zmanjšanje hidravlične prevodnosti vodonosnika (Van der Molen in sod, 2007).

Glavna težava te opcije je običajno strošek, ki ga predstavljajo objekti za transport drenažnega izpusta, ta pa se običajno nahaja daleč od drenažnega izpusta. Dodaten strošek prinese izvedba konstrukcije, obratovanje in vzdrževanje vodnjaka in nenazadnje stroški monitoringa. Dodatno okoljsko slabost predstavlja onesnaženje dragocenega vodonosnika z manj kvalitetno vodo. Zato je potrebno biti še posebej pazljiv ob izvedbi takšnega projekta, predvsem pa je potrebno preveriti posebne karakteristike vodonosnika (hidravlične lastnosti in kakovost vode), da bi preprečili potencialno negativne vplive (Van der Molen in sod, 2007).

#### **2.1.4 Postopki čiščenja drenažnih voda**

Kemijska kompleksnost drenažnih voda in njihovih značilnosti je v glavnem odvisna od izvira drenažnega toka. Vsebnost soli je glavna skrb predvsem tam, kjer prihaja glavni del drenažnega odtoka iz podzemnih drenažnih sistemov in kjer se obdelovalne površine namakajo. Onesnaževala, kot so pesticidi in gnojila, so lahko prisotna, kjer je površinski odtok z obdelovalnih površin ustrezen in ni prevelik. Včasih so mestne in industrijske odpadne vode izpuščene neposredno v poljedelske kanale, s tem pa obstaja velika verjetnost onesnaženja drenažne vode z organskimi snovmi, lahko pa tudi s težkimi kovinami.

Čiščenje drenažnih voda (mehansko, biološko ali kemijsko) je lahko zaradi raznolike strukture zelo drag postopek in potrebuje poseben pristop, zato se ga poslužujemo predvsem tam, kjer nimamo drugih možnosti za izpust drenažne vode iz sistema ali pa želimo prečiščeno vodo uporabiti za potrebe namakanja poljedelskih površin.

Prvi postopki pri izbiri primerne postopka čiščenja za izboljšanje kvalitete vode so temeljito definiranje problema in določitev zelenega rezultata čiščenja. V večini primerov je odločitev o primernih postopkih čiščenja v veliki meri odvisna od lokalnih direktiv in zakonov ter želje po ponovni uporabi drenažne vode. Dodatno je potrebno poglobljeno znanje in razumevanje kriterijev za kvaliteto vode za izbiro primerne sistema čiščenja. Dobro je tudi vedeti, da večina sistemov ne bo

zmanjšala vsebnosti raztopljenih soli in da se lahko pri nekaterih načinih čiščenja koncentracija soli celo poveča (Owens in Ochs, 1997). V nadaljevanju bomo predstavili nekaj pristopov čiščenja drenažnih voda.

Verjetno najbolj osnovni pristop čiščenja je odstranjevanje organskih delcev in hranil. Takšen primer so ribniki za umirjanje toka, ki se uporabljajo za odstranjevanje suspendiranih delcev zemljine, manjših elementov ter organskih onesnaževal, kjer odpadne vode dosežejo drenažne izpuste brez posebnega obdelovanja. S pomočjo aerobnih procesov mikroorganizmov se organski delci razgradijo v ogljikov dioksid in vodo. Sistemi ribnikov so navadno zgrajeni v kaskadah, s tem pa zagotavljamo počasno in naravno čiščenje. Z biološkimi postopki v načrtovanih reaktorjih s pomočjo bakterij odstranjujemo organske delce, pri bolj naprednih sistemskih inštalacijah tudi dušik (N) in fosfor (P), neučinkoviti pa so pri odstranjevanju raztopljenih soli (Van der Molen in sod., 2007).

Glede na to, da je zasoljenost pogost problem pri drenažnih vodah, je razsoljevanje lahko eden od možnih načinov za zmanjšanje okoljskih vplivov ob izpuščanju drenažne vode predvsem pri projektih na površinah v notranjosti. Obstaja nekaj različnih tehnologij razsoljevanja, kot npr. termalna destilacija (voda se spreminja v paro, ki nato kondenzira v kvalitetno vodo). Skozi sistem membran se soli ločijo od vode s pomočjo elektrodialize<sup>8</sup> ali z uporabo pritiska na slano vodo, ki se jo nato usmerja skozi polprepustne membrane, ki večini soli preprečujejo prehajanje. Ta postopek imenujemo reverzna osmoza in je lahko privlačen način razsoljevanja vode za potrebe poljedelstva. Njena uporaba je smotrna le v primerih, ko gre za intenzivno pridelavo visoko donosnih poljščin in ko so zagotovljene subvencije za vložena sredstva. Negativni strani tega postopka sta, da ima izpuščanje preostanka slanice lahko okoljske posledice ter proizvajanje toplogrednih plinov (Van der Molen in sod., 2007).

Adsorbiranje je proces odstranjevanja raztopljenih onesnaževal s pomočjo trdnih delcev. Pogost način uporabe je odstranjevanje snovi s pomočjo aktivnega ogljika, ki je sposoben nase vezati širok spekter onesnaževal. Takoj, ko analize pokažejo vsebnost pesticidov, je način čiščenja vode s pomočjo aktivnega ogljika najboljši izbor (Owens in Ochs, 1997).

Naslednja postopka za odstranjevanje delcev v vseh vrstah vod, ki ga navajata Owens in Ochs (1997), sta koagulacija in flokulacija. Koloidni delci so lahko tako majhni, da jih s pomočjo gravitacije ali filtriranja ne moremo odstraniti iz drenažne vode. Kot koloidna oborina lahko nastanejo skozi očiščevalni proces. Koagulacija je proces, s katerim se ti majhni delci najprej destabilizirajo in nato agregirajo v večje delce, ki se imenujejo kosmi. Sprijemanje delcev dosežemo z dodajanjem koagulata, ki je lahko anorganska kovinska sol kot npr. aluminijev sulfat ali železov klorid, opcija pa so tudi visoko molekularni organski polimeri. Naloga koagulata je nevtralizirati naboj med delci in loviti delce v združene kosme. Flokulacija je počasno mešanje teh delcev s ciljem združevanja v še večje delce. Cilj je proizvodnja vse večjih kosmov, ki se hitreje usedajo na dno.

Nekateri elementi, še posebno kovinski, se lahko odstranijo s spreminjanjem njihove topljivosti, da dosežemo sedimentacijo. Številne kovine lahko sedimentiramo kot kovinske hidrokside s povišanjem pH vsaj do minimalne stopnje sedimentacije. Delci, ki se bodo usedali lahko vsebujejo krom (Cr), nikelj (Ni), baker (Cu), železo (Fe), svinec (Pb) in živo srebro (Hg), lahko pa tudi arzen (As). Stopnja

---

<sup>8</sup> Elektrodializa je posebna oblika dialize za ločevanje raztopljenih nizko-molekularnih snovi od koloidno dispergiranih: raztopina, ki jo čistijo, je v osrednji elektrodializni celici, z membranama je ločena od dveh elektrodnih posod. Ti se spirata s čistim topilom. Membrani, ki ločujeta posode med seboj, prepuščata samo nizkomolekularne snovi. Po priključitvi na enosmerno električno napetost potujejo nizko-molekularne snovi iz elektrodializne posode. Elektrodializa se uporablja predvsem za razsoljevanje morske vode in čiščenje encimov in beljakovin (Veliki splošni leksikon, elektronska izdaja v1.0. DZS, 1997).

sedimentacije v povezavi z višino pH<sup>9</sup> je od kovine do kovine različna. Usedanje lahko dosežemo tudi z dodajanjem nekaterih kemikalij ali kemijskih spojin, ki so nastale pri drugem procesu čiščenja. Podoben je primer s sulfidi in karbonati, ki lahko nastanejo med biološkim čiščenjem in v kombinaciji z dodanimi kovinami ali kationi povzročimo sedimentacijo. Usedanje lahko pripelje do delnega zmanjšanja skupnega števila topljenih delcev (Owens in Ochs, 1997).

Velja izpostaviti še eno metodo čiščenja, ki jo omenjata Owens in Ochs (1997), in to je ionska izmenjava delcev. Gre za kemijsko izmenjavo ionov (naelektrene raztopljene molekule ali atomi) v raztopini ionov v trdni fazi. Trdni nosilec, navadno je to sintetična organska smola, je posebej izbran, da adsorbira potrebne sestavine. Pri tem je pomembna količina nabojev, ki jo izpusti smola, da se pozitivni in negativni naboji izravnajo. Na primer pri mehčanju vode imamo na eni strani za izhodišče katodo z delci Na<sup>+</sup>, ti pa se ob adsorpciji Ca<sup>2+</sup> in Mg<sup>2+</sup> izločajo v vodni tok. Možna je tudi anionska izmenjava ionov. Za vsak tip smole je značilna preferenca adsorpcije ionov, npr. kalcij se močneje adsorbira kot magnezij in sulfati se močneje adsorbirajo kot nitrati. Nekatere smole so bile razvite za doseg maksimalnega učinka privlačnosti na specifične ione kot npr. borati (Owens in Ochs, 1997).

## 2.2 Sestavni elementi drenažnih sistemov

Da bi se lažje poglobili v samo načrtovanje drenažnih sistemov, je nujno poznati njihove sestavne elemente, lastnosti in pa mesto umestitve v sam sistem. Drenažne sisteme lahko, kot navaja Nijland s sod. (2005) v grobem razdelimo na naslednje elemente:

- *Poljski dreni*. Večinoma so to cevi, vgrajene v zemljino, bolj redko pa so odprtega tipa, kot kanali. Nadzorujejo višino podtalnice in odvajajo odvečno vodo iz zemljine ali podtalnice ter jo odvajajo v zbiralne drene.
- *Zbiralni dreni*. Lahko so odprti ali cevni. Odprti dreni zbirajo ter odvajajo deževnico in drenažno vodo do glavnih drenaž, cevne drenaže pa transportirajo zgolj drenažno vodo do glavnih drenaž.
- *Stranski in glavni dreni*. Glavni drenažni sistem, ki je sestavljen iz posameznih stranskih drenov in glavnega drena, prenaša drenažno vodo vse do mesta izpusta. Glavni dreni so običajno odprti kanali, teoretično pa so to lahko tudi cevi, a so zaradi velikih premerov takšne rešitve lahko predrage.
- *Mesto izpusta*. To je končna točka celotnega drenažnega sistema, kjer se izvede izpust drenažne vode v reko, jezero ali morje. Izpust je lahko gravitacijska konstrukcija ali črpališče. Gravitacijska konstrukcija se lahko uporabi na območjih s spreminjajočim se nivojem vodne gladine in se izpust lahko izvede ob nižjem nivoju gladine. Gravitacijski izpust na območjih delt je omejen na zgolj nekaj ur dnevno za čas oseke. V regijah, ki se nahajajo gor-vodno, je lahko v času obilnih padavin in posledično visokih rečnih pretokov drenažni izpust omejen tudi več tednov. Na točkah drenažnega izpusta, ki so stalno nižje od vodne gladine reke, jezera ali morja, je potrebna izgradnja črpališča.

Pri samem postopku načrtovanja se bomo srečali s konstrukcijskimi elementi, ki jih lahko, kot predlaga Van der Molen s sod. (2007) razdelimo v nekaj skupin. Predlaga tudi, da se najprej definira lokacija izpusta in njegove hidravlične lastnosti, nadalje pa sledi sprejemanje odločitev glede florisa in

---

<sup>9</sup> pH oznaka predstavlja negativni dekadični logaritem koncentracije oksonijevih ionov. Po dancu Sörnu Sörensensu (1868–1939) imenujemo negativni eksponent te koncentracije pH. Čim manjša je ta vrednost, tem večja je koncentracija vodikovih ionov in toliko bolj kislja je raztopina, in nasprotno: čim večja je ta vrednost, tem bolj alkalna je raztopina (Veliki splošni leksikon, elektronska izdaja v1.0. DZS, 1997).



načrta posameznih elementov. Najprej naj bo obravnavan tloris, sledi pa naj opis različnih konstrukcijskih elementov glavnega drenažnega sistema, kot so:

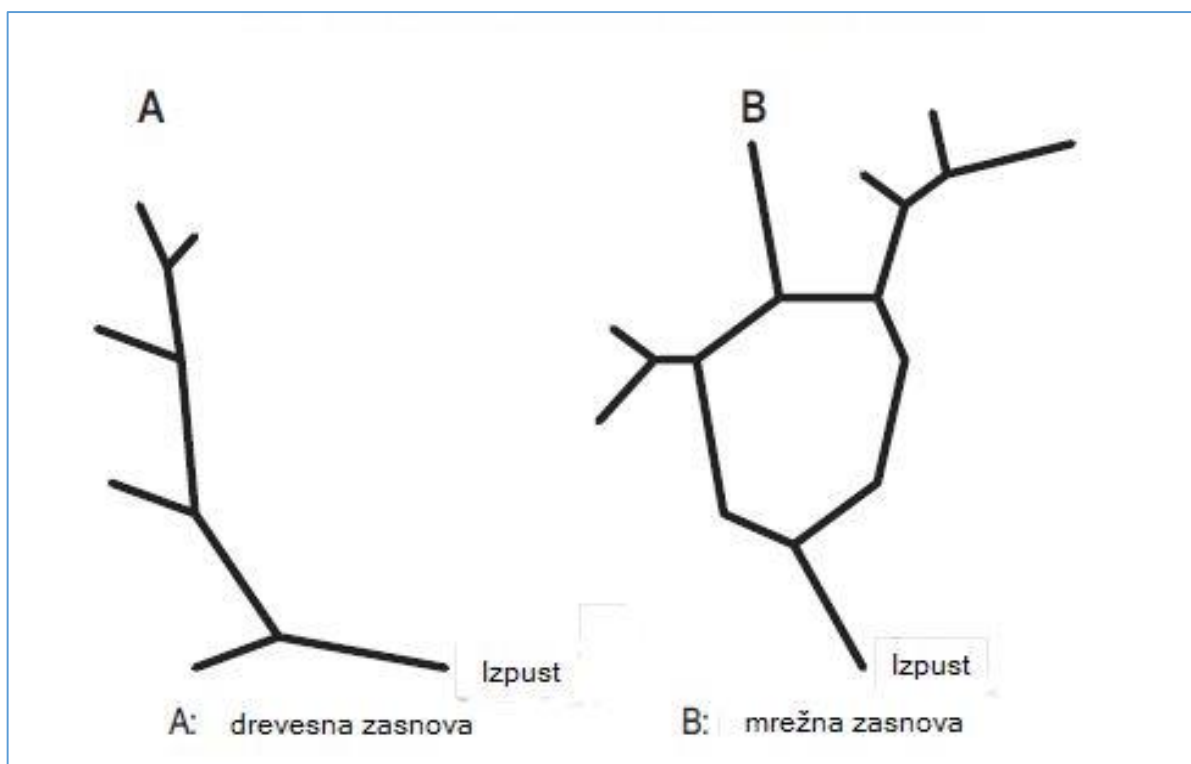
- kanali in jarki poleg katerih potrebujemo vzdolžne poti za nadzor in vzdrževanje;
- mostovi in akvadukti;
- cevni prepusti in sifoni;
- jezovi in podobne vodne prepreke;
- zajezitve, zapornice in črpalne postaje na mestu izpusta ali vmesna črpališča, ki tudi lahko spadajo v to kategorijo, saj neposredno vplivajo na delovanja izpusta.

Van der Molen s sod. (2007) dodatno opozarja na posebno previdnost glede preprečevanja erozije brežin na mestih, kjer se zbrane padavinske in drenažne vode skozi izpuste spuščajo v odprte kanale.

V nadaljevanju bomo podrobneje predstavili tlorisno zasnovo in posamezne posebne konstrukcijske elemente, hkrati pa bomo izpostavili njihove dobre in slabe lastnosti ter funkcije v drenažnem sistemu.

### 2.2.1 Tlorisni načrt

Drenažni sistemi imajo običajno drevesno zasnovo A (slika 3a), pri kateri ima vsaka kaplja drenažne vode le eno možno pot do izpusta. Ni pa tega možno doseči v vseh primerih, še posebej na bolj zapletenih območjih ali pa kjer se že nahajajo ostanki prejšnjih drenažnih sistemov, zato je možna le mrežna izvedba B (slika 3b), ki pa je v veliki meri odvisna od velikosti območja, njegove topografije, obstoječih vodnih poti in naravnih omejitev (Van der Molen in sod., 2007).



Slika 3: Oblike tlorisne zasnove drenažnih sistemov (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:64)

V sistemu, ki je sestavljen iz zakopanih poljskih drenov, zbiralnih cevni drenov, kanalov in jarkov, se dolžina določa glede na vsako zaporedno vrsto in ta potem narekuje naslednjo. Razdalje med prvimi odprtimi kanali (običajno so to jarki) so odvisne od celotnega razpona dolžine poljskih drenov. Priporočljivo je, da te prve jarke nadomestijo zakopane cevi, s čimer zmanjšamo gostoto odprtih vodnih poti in posledično zmanjšamo stroške vzdrževanja. Predvsem strošek prihodnjega vzdrževanja

je lahko pomemben dejavnik načrtovanja, saj predvsem pri manjših sistemih lahko računamo na to, bodo redno vzdrževanje lahko izvedli kmetovalci ali kmečka zadruga, ki zemljišče uporablja. Večje drenažne konstrukcije se lahko vzdržujejo strojno, njihovo izvedbo pa praviloma prevzemajo organizacije, ki so v lasti delničarjev, ti pa imajo na njihovo delovanje posredni vpliv (Van der Molen in sod., 2007).

Obstaja možnost, da se znotraj projektne območja nahajajo zaščitene naravne vodne rezerve. Van der Molen s sod. (2007) predlaga, da pri načrtovanju obvezno stremimo k temu, da glavni drenažni sistem nanje nima nobenega vpliva. Kanali naj bodo oddaljeni do te mere, da podvodni tokovi ne morejo doseči naravnih rezerv in obratno. V nekaterih primerih, kjer ne gre za zaščitena območja, pa je s posebnimi drenažnimi posegi za uravnavanje nivoja podtalnice možno doseči znatno izboljšanje kakovosti habitata in ekoloških vrednosti, zato je smiselno preučiti tudi takšne možnosti.

Umestitev mreže drenažnih kanalov v načrtovani prostor je v največji meri odvisna od topografije površja. Na valovitih terenih vodne poti sledijo dolinam, zato bo tlorisna zasnova nepravilne oblike. Na ravninskih območjih pa je zasnova običajno pravokotne oblike, razen v primerih izogibanja zaščitnim območjem in rezervatom ter v primerih manjših višinskih razlik površja. Obstoječe vodne poti so pogosto razširjene, včasih pa jih je potrebno nadomestiti z novo in prostornejšo mrežo večjih kanalov. Kjer je mogoče, naj ti kanali sledijo naravnim drenažnim potem (Van der Molen in sod., 2007).

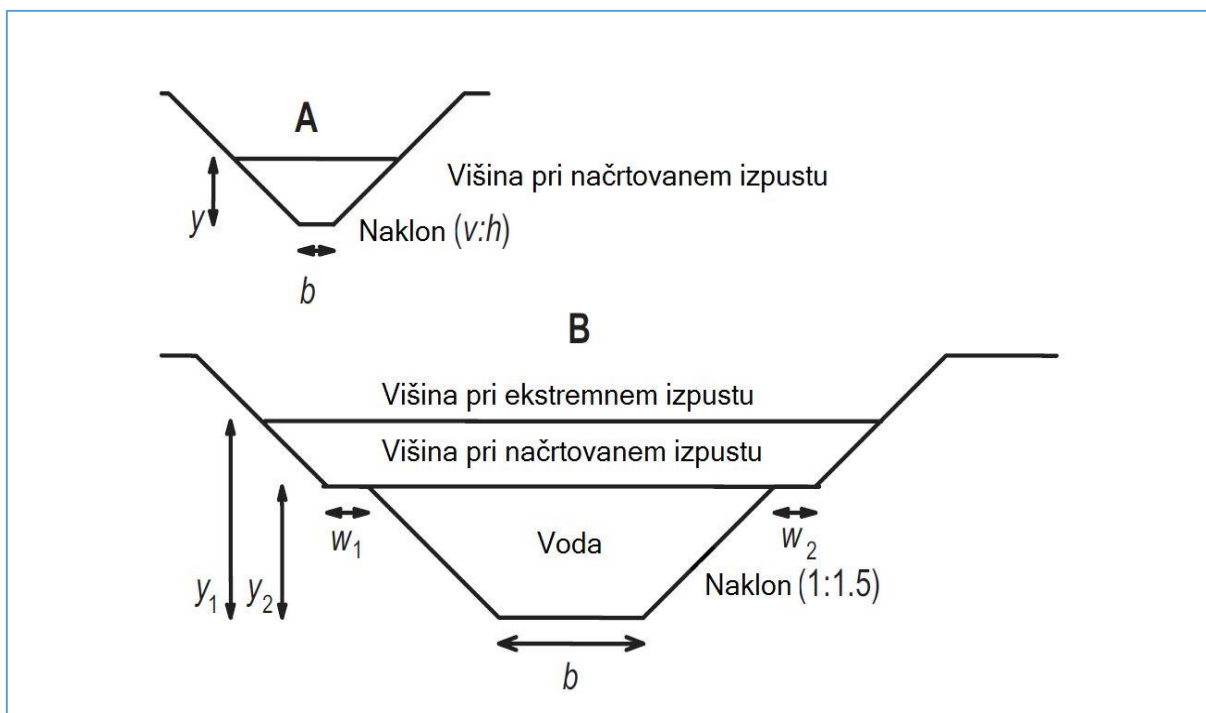
### 2.2.2 Kanali in jarki

Odpri vodni jarki ali kanali tvorijo glavni del drenažnega sistema, ki transportira drenažne iztoke vse do izpusta. Kot smo že omenili, poznamo enostavno drevesno in kompleksnejšo mrežno tlorisno zasnovo. Van der Molen s sod. (2007) pravi, da se v večini primerov za izvedbo uporablja drevesna zasnova sistema z dokaj neposredno metodo preračunavanja, razen ko gre za precej bolj kompleksne mrežne sisteme, kot je npr. sistem kanalov delti reke Mekong<sup>10</sup>. V takih primerih se uporabljajo posebne in zapletene metode izračunov pretokov skozi omrežje.

Prečni prerez odprtih kanalov (slika 4) je običajno trapezne oblike za manjše drene (prerez A) in dvojne trapezne oblike (prerez B) za večje drene. Naklon brežin je izražen z razmerjem med vertikalno in vodoravno razdaljo, v veliki meri pa je odvisen od tipa zemljine (Van der Molen in sod., 2007).

---

<sup>10</sup> Mekong je reka, ki se vije po Indokitajskem polotoku skozi ozemlja Tibeta, Kitajske, Mjanmarja, Tajske, Laosa, Kambodže ter Vietnama, kjer se na jugu v veliki delti izliva v Južnokitajsko morje. Dolga je 4.184 km in velja za 12-to najdaljšo reko na svetu. Ploven je 550 km, okrog 70.000 km<sup>2</sup> velika delta pa v pridelavi riža velja za eno najpomembnejših območij na svetu (Veliki splošni leksikon, elektronska izdaja v1.0. DZS, 1997).



Slika 4: Prečni prerez odprtega jarka in večjega kanala (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:65)

Van der Molen s sod. (2007) podaja v razmislek naslednje točke:

- S strmimi brežinami lahko precej prihranimo že ob samem izkopavanju, dodatna prednost je še, da zavzamemo manj obdelovalnih površin, obstaja pa zato večje tveganje, da pride do porušitve.
- Lokalne izkušnje so pri dimenzioniranju obstojnih brežin kanalov bistvenega pomena.
- Poškodbe brežin običajno nastopijo že zelo zgodaj po izgradnji, kasneje te poškodbe preprečuje zarasla vegetacija, ki ima stabilizacijski učinek.
- Vegetacija, še posebno potopljena, ovira vodni pretok. Zato je redno vzdrževanje nujno, grmičevje in ostale lesne sorte na brežinah pa naj bodo redno postržene.
- Bočno pronicanje podtalnice lahko pospešuje posedanje brežin kanalov. Na mestih z močnejšim pronicanjem je potrebno nad običajnim nivojem vode zagotoviti bolj položni naklon ali ustrezno vegetacijo, ki dodatno ščiti erodiranje ali prekriti brežine z bolj trajnimi in težjimi materiali. Običajno zadostuje že prekrivanje z geotekstilom ter zlaganje kamenja.
- Trapezoidni profili se z leti spremenijo v ovalne oblike, običajno z bolj strmimi nakloni nad nivojem gladine, s košnjo pa ohranjamo vegetacijo vseskozi dovolj kratko. Na sušnih območjih je na brežinah vegetacija bolj redka, zgosti se le ob in pod vodno gladino.

Za dimenzioniranje odprtih kanalov Van der Molen s sod. (2007) priporoča pogosto uporabljeno Manningovo enačbo (1). Če je izračunano razmerje pretoka preveliko, lahko izračune ponovimo z manjšim hidravličnim gradientom  $s$  ali spremenjenim razmerjem  $y:b$ .

$$v = K_m R^{2/3} s^{1/2} = \frac{1}{n} R^{2/3} s^{1/2} \quad (1)$$

Dodatne enačbe, ki pomagajo pri izračunavanju hitrosti pretoka so še za: izračun hidravličnega radija (2), izračun prečnega prereza pretoka (3), izračun skupne omočene razdalje dna (4) in pa enačba za izračun izpusta  $Q$  na podlagi izračunane hitrosti  $v$  (5).

$$R = A/u \quad (2)$$

$$A = by + \alpha y^2 \quad (3)$$

$$u = b + 2y\sqrt{1 + \alpha^2} \quad (4)$$

$$v = Q/A \quad (5)$$

Uporabljene oznake pa predstavljajo:

$A$	prečni prerez pretoka [ $m^2$ ],
$b$	širina dna [m],
$K_m$	$1/n$ = koeficient hrapavosti [ $m^{1/3}/s$ ],
$n$	$1/K_m$ koeficienta hrapavosti [ $s/m^{1/3}$ ],
$Q$	izpust [ $m^3/s$ ],
$R$	hidravlični radij [m],
$s$	hidravlični gradient oz. naklon (-),
$u$	skupna omočena razdalja dna [m],
$v$	povprečna hitrost toka [m/s],
$y$	globina vode [m],
$a$	koeficient naklona brežine ( $v:h$ ) $1: a$ .

Koeficient hrapavosti  $K_m$  je odvisen od faktorjev, kot so nepravilnosti na dnu kanala in brežinah, poraščenost brežin z vegetacijo, nepravilna poravnava in hidravlični radij odprtega kanala. Vrednosti se gibljejo od 50 za velike kanale z golo površino proti 20 za velike kanale, ki so do dve tretjini poraščeni z vegetacijo ter do manj kot 10 za popolnoma poraščene kanale. Če so kanali primerno vzdrževani, se lahko koeficient hrapavosti še dodatno korigira (Van der Molen s sod., 2007).

Pri dimenzioniranju razmerja globine vode ( $v:h$ ) v primerjavi z širino dna ( $y:b$ ) Van der Molen s sod. (2007) svetuje, da se držimo predlaganih parametrov. Za kanale manjših dimenzij z globino vode pod 0,75 m so primerna razmerja  $b:y$  (širina dna : globina vode) od 1–2, za kanale srednjih dimenzij z globino vode med 0,75 m in 1,5 m so primerna razmerja od 2–3 in za večje kanale z globino vode nad 1,5 m so primerna razmerja od 3–4.

Povprečna hitrost toka skozi prerez mora biti takšna, da ne prične spodjedati dna ali brežin kanala. V preglednici 2 je prikazanih nekaj tipov zemljin, za katere je Van der Molen s sod. (2007) navedel ustrezne hitrosti toka in naklone brežin. Naklon brežine je izražen z navpično dimenzijo v razmerju proti vodoravni in je recimo za gline precej strmejši, kot pa pri zrahljani šoti.

Preglednica 2: Maksimalna povprečna hitrost toka in naklon brežin jarkov (prirejeno po Van Der Molen in sod., 2007: 150)

Tip zemljine	$v_M$ (m/s)	Brežina $v:h$
Težka glina	0,60–0,80	1:0,75 do 1:2
Glina, ilovica	0,30–0,60	1:1,5 do 1:2,5
Fini pesek	0,15–0,30	1:2 do 1:3
Grobi pesek	0,20–0,50	1:1,5 do 1:3
Zbita šota	0,30–0,60	1:1 do 1:2
Zrahljana šota	0,15–0,30	1:2 do 1:4

Odprti kanali potrebujejo redno vzdrževanje. Občutljivi so na mašenje z rastjo vodnih rastlin ter nabiranje sedimentov, ki jih prinese močnejši površinski odtok. V nasprotju z večino namakalnih kanalov, ki prenašajo vrtinčaste vode, rastline rastejo bolj intenzivno. V večjih kanalih z globino vode, višjo od metra lahko zavremo rast trstičja, vseeno pa lahko uspevajo potopljene in plavajoče vodne rastline. V manjših kanalih oz. jarkih se z občasnimi sušnimi obdobji zarast upočasni ali popolnoma ustavi. Da bi zagotovili zadostno izpustno kapaciteto, je predpisan minimalen prečni prerez s širino dna 0,5–1 m in globino vode 0,3–0,5 m za načrtovani izpust ter najbolje nična višina v sušnih obdobjih. Dimenzije lahko variirajo glede na razpoložljivo mehanizacijo za izgradnjo in vzdrževanje. Obstaja tudi posebna oprema za vzdrževanje, s katero lahko uspešno vršimo proces razmuljevanja kanalov in odstranimo pleve. Pri tem načinu vzdrževanja velja posebno pozornost nameniti ohranjanju naklona brežin (Van der Molen s sod., 2007).

### 2.2.3 Mostovi in akvadukti

Na mestih, kjer čez vodne poti potekajo ceste in železnica, je potrebno zgraditi mostove. Namakalni kanali lahko te prepreke običajno prečkajo na akvaduktih. Če se voda preliva čez robove prereza, ta nima posebnega vpliva na pretok v kanalu. Če so preozki, še posebno v ravninskih območjih, je potrebno s pomočjo posebne enačbe za pretok izračunati povratni vpliv. Vsekakor se je potrebno izogniti eroziji v kanalu pod mostom z omejevanjem večjih pretočnih hitrosti (Van der Molen s sod., 2007).

Mostovi morajo biti zgrajeni tako, da imajo minimalni vpliv na reko, ki teče pod njimi. V nasprotnem primeru, ko most dejansko povzroči zmanjšanje prečnega prereza, Van der Molen s sod. (2007) priporoča dodatno preračunavanje pretoka (6).

$$Q = \mu A \sqrt{2g\Delta h} \quad (6)$$

Uporabljeni so naslednji parametri:

- $A$  prečni prerez pretoka [ $m^2$ ],
- $g$  gravitacijski pospešek 9,81 [ $m/s^2$ ],
- $\mu$  koeficient, ki je odvisen od vstopa in izstopa vode iz sistema [ $m^3/s$ ],
- $\Delta h$  sprememba višine vzdolž konstrukcije mosta [ $m$ ],
- $Q$  načrtovani izpust [ $m^3/s$ ], ki ga lahko povečamo z varnostnim faktorjem.

### 2.2.4 Cevni prepusti

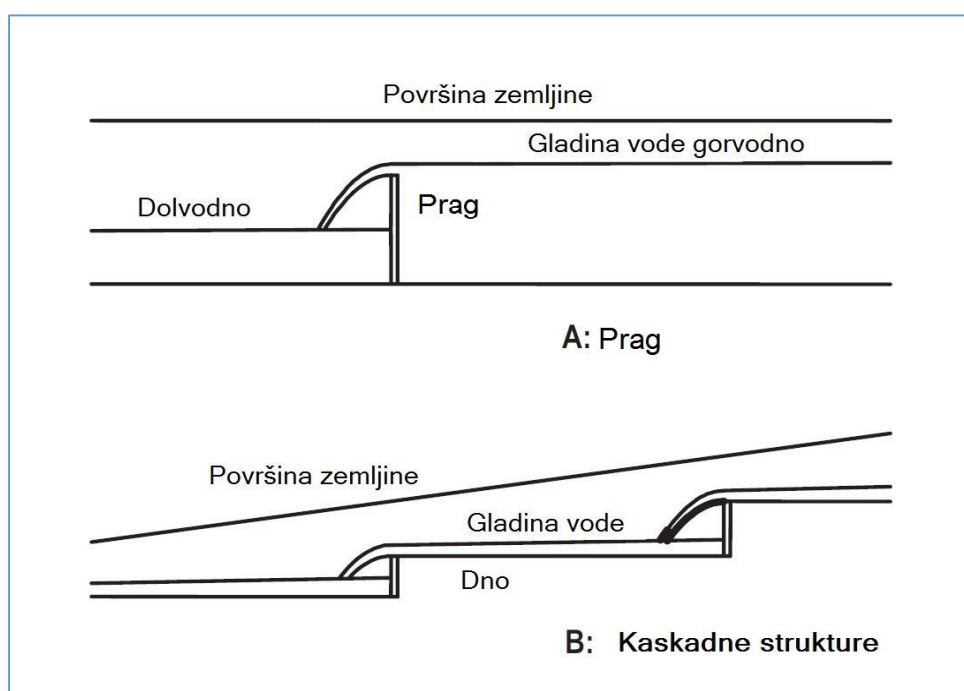
Na mestih, kjer se drenaže križajo s cestami ali dovoznimi poti do kmetijskih površin, so nujno potrebni cevni prepusti. Za pretoke manjše od  $0,5 \text{ m}^3$  se uporabljajo jeklene, betonske ali plastične cevi, ki so zakopane vsaj 50 cm globoko, pri pretokih do  $1 \text{ m}^3$  pa uporabimo dve takšni cevi. Premer cevi je odvisen od količine pretoka in od dolžine prepusta. Priporoča se minimalni premer 300 mm, da omogočimo lažjo dostopnost za čiščenje. Pri višjih pretokih moramo uporabiti večje premere, dodatno pa je potrebno razmisliti o izgradnji škatlastih prepustov ali celo mostov (Van der Molen s sod., 2007).

Izračuni za prepuste temeljijo na hidravličnih lastnostih pretoka skozi odprtine (vstopne, izstopne) in trenja v ceveh. Običajno so te prepusti predimenzionirani, saj se na ta način veliko lažje izognemo negativnim vplivom ekstremnih pretokov, hkrati pa omogočimo lažje čiščenje različnih nanosov, ki jih lahko zamašijo. Posledice pri odprtih kanalih za takšne nanose so, da se voda lahko preliva po okolici, medtem ko prepuste lahko v celoti uniči, obstaja pa tudi velika verjetnost porušitve cestne konstrukcije. Da preprečimo zamašitve, je prepuste potrebno redno preverjati in čistiti. Na vstopni strani so lahko koristni lovilci večjih delcev (odmrta vegetacija, lesene veje...), z grabljami pa lahko zadržimo plavajočo vegetacijo. V obeh primerih je potrebno redno čiščenje (Van der Molen s sod., 2007).

### 2.2.5 Pragovi in kaskadne strukture

Naloga pragov je, da zmanjšajo padec kanala, ker bi bili v nasprotnem primeru primorani pri izgradnji drenažnih kanalov le te precej poglobiti. Njihova glavna funkcija je zmanjševanje hitrosti toka ter preprečevanje erozije kanala. Višina robu praga je lahko fiksna (slika 5: a) ali nastavljiva, širina oz. debelina roba preliva pa je lahko ozka ali široka. Temu primerno se uporabljajo tudi koeficienti za načrtovanje in preračunavanje primernih dimenzij. Van der Molen s sod. (2007) navaja naslednji dve skupini:

- Fiksni pragovi so najbolj enostavni, a so zaradi manjše širine ustrezni predvsem za zadrževanje nižjih pretokov. Potencialna rešitev so lahko tako imenovani »dolgonosi« pragovi (ang. »duck bill«);
- Pomični pragovi so lahko različnih vrst, od navadnih desk ali debel pa do nastavljivih zapornic, ki delujejo kot del daljinskega kontrolnega sistema.



Slika 5: Pragovi in kaskadne strukture (Van der Molen in sod., 2007:67)

Kaskadne strukture (slika 5: b) se uporabljajo na poševnih površinah, kjer mora biti naklon dna manjši od naklona pobočja, da preprečimo morebitno erozijo. Potrebne so za vzdrževanje dovoljene hitrosti drenažnega toka in zmanjševanje njegove moči. Na mestih, kjer izgube energije presegajo 1,5 m je potrebno zgraditi nekakšna nagnjena korita, kjer pa je izgub energije manj, lahko uredimo sistem kaskadnih pregrad tako, da se voda pretaka direktno čez rob (Van der Molen s sod., 2007).

Pragovi in kaskadne strukture imajo še dodatno funkcijo. In sicer skozi take sisteme se voda dobro prezračuje, s tem pa se izboljšuje samočistilna sposobnost. Z dovedenim kisikom se organske snovi, ki jih nosi drenažna voda hitreje razgrajujejo in posledično se to pozna na kvaliteti vode.

### 2.2.6 Črpališča in zajezitve

Kapaciteta črpališča in konstrukcija zajezitve je določena na podlagi pričakovanega pretoka in pod neugodnimi pogoji, tj. načrtovani izpust kombiniran z visokimi vodami zunaj projektnega območja. V primerjavi z zajezitvami na črpališča zunanje poplavne vode nimajo posebnega vpliva, so pa zato manj prilagodljive. Kapaciteta črpališč je dokaj fiksna, pri zajezitvah pa se le ta lahko regulira (Van der Molen in sod., 2007).

Van der Molen s sod. (2007) predlaga črpališče na mestih, kjer je nivo vode zunaj drenažnega območja ves ali večino časa nad nivojem točke izpusta drenažne vode. V veliko primerih je črpanje potrebno zgolj v deževnem obdobju, zato jih je smiselno kombinirati z zajezitvami, da lahko drenažno vodo izpuščamo v času nizkih vod zunaj drenažnega območja.

Črpališča so navadno sestavljena (Van der Molen in sod., 2007):

- iz dovodnega kanala, ki skrbi za enakomeren pretok;
- zbiralnika drenažne vode;
- sesalne cevi;
- črpalke ali sistema črpalk;
- cevi ali sistem cevi za transport vode do končne lokacije (različna vodna telesa).

V splošnem se maksimalni pretoki izpuščajo s pomočjo večjih črpalk, če so seveda na voljo, za črpanje standardnega izpusta pa naj bi zadostovala že ena črpalka. Glede na okoliščine so vsekakor možne tudi drugačne kombinacije. Iz varnostnih razlogov je običajno pripravljena tudi varnostna črpalka, ki omogoča popravilo ostalih črpalk brez izgub v projektiranih kapacitetah (Van der Molen in sod., 2007).

Kot še navaja Van der Molen s sod. (2007) so v širši uporabi trije različni tipi črpalk glede na količino drenažnega pretoka, ki ga moramo dvigniti ter višino dviga. Pri pretokih nižjih od 200 l/s in veliko višina dviga se uporabljajo radialne črpalke, ki so bolj prilagodljive na različne pretočne vrednosti. Aksialne črpalke so najbolj primerne za pretoke do 1 m<sup>3</sup>/s in nizke višine dviga (2–4 m). Na mestih, kjer je nivo vode zunaj dokaj konstanten in kjer drenažna voda prenaša vegetacijo ter ostale delce, lahko uporabimo Arhimedov<sup>11</sup> vijak. Izbira črpalke je odvisna tudi od lokalnih pogojev, kot so razpoložljivost, izkušnje, možnosti za redno vzdrževanje in nenazadnje cena.

---

<sup>11</sup> Arhimed je bil grški fizik, matematik ter izumitelj različnih konstrukcij. Živel je v mestu Sirakuze v tretjem stoletju pr. n. št. Odkril je številne fizikalne količine (težišče, specifična teža) ter zakone (vzvod, ravnovesje na klancu, vzgon). Velja tudi za izumitelja Arhimedovega vijaka, ki s pomočjo obračanja vijaka v cevi črpa in dviga vodo.

Običajno za obratovanje potrebujemo dizelsko gorivo, ob zadostni razpoložljivi električni moči pa je možna tudi uporaba električne energije. Kjer lahko zagotovimo redno oskrbo z električno energijo in ta zaradi neviht ni motena, so te bolj ustrezne kot dizelske črpalke, ki potrebujejo več oskrbe (redno zagotavljanje zaloge goriva), vzdrževanja in upravljanja ter jih je težje uporabljati (Van der Molen in sod., 2007).

Pri zaježitvah (in zaklopnih zapornicah) Van der Molen s sod. (2007) opozarja, da lahko plime in visoka gladina zunanjih vodnih teles omejujejo drenažni izpust. V kombinaciji z zadrževalniki na območju drenaž nastanejo projektne rešitve, ki so zelo odvisne od lokalnih specifik. Te potrebujejo posebne izračune, ki temeljijo na:

- računski oceni zadrževalnikov in višin vodnih gladin znotraj sistema;
- višini gladine zunaj sistema;
- pretoku skozi odprtino zaježitve v času, ko je nivo vode znotraj sistema visok.

### 2.2.7 Povezave s poljskimi dreni

Strukture, ki pripomorejo k odvajanju in transportiranju drenažne vode iz površinskih in podpovršinskih drenaž brez povzročanja erozije, so nujno potrebne. Te so običajno sestavljene iz togih odsekov cevi za podzemne drenažne izpuste, enako pa tudi za površinske iztočne točke. Cevni izpusti naj bi vodo izpuščali nad gladino vode zbiralnega kanala, da lahko iztočne točke redno nadzorujemo in da preprečujemo erozijo brežin. Alternativna izbira je zaščita brežine pod cevnim izpustom s pomočjo umetnega korita iz travne zarasti, kamenja ali betona (Van der Molen in sod., 2007).

Za večje izpuste se zgradijo posebne strukture, njihove dimenzije in uporabljeni materiali pa so odvisni od lokalnih okoliščin in količine izpusta. Glede na možne negativne posledice pri tovrstnih konstrukcijskih elementih je potrebno zagotoviti, da je način čiščenja čim bolj enostaven, še posebno tam, kjer je točk izpusta veliko. V tem primeru je primerneje, da se pri izpustih uporabijo umetna korita namesto enostavnejših iztegnjenih cevi (Van der Molen in sod., 2007).

## 2.3 Zahteve in kriteriji načrtovanja

Pri načrtovanju drenažnih sistemov je zaradi ohranjanja naravnega ravnovesja in težnje k čim manjšim vplivom na okolje ter prostor (kolikor je to seveda sploh možno) pomembno stremeti k določenim kriterijem, kot so zagotavljanje minimalnega nivoja vode, specifični izpust, načrtovanje izpusta, ekstremni izpusti itd. Te zahteve bomo malce podrobneje predstavili v nadaljevanju.

### 2.3.1 Ustrezni nivo vode

Kapaciteta izpusta drenažnega sistema naj bi zagotavljala dovolj nizek nivo drenažne vode v kanalih tudi v primerih, ko pride do neugodnih pogojev. Npr. če se deževno obdobje pojavi enkrat v obdobju 5–10 let, mora izpust zagotavljati zadostno odvajanje vode iz kanalov, da visoke vode ne ovirajo prostega izpusta iz poljskih drenov. Če ta opcija ni vedno možna, je potrebno zagotoviti začasno poplavljanje presežnih voda (Van der Molen in sod., 2007).

Kot vodilo pri načrtovanju Van der Molen s sod. (2007) izpostavlja naslednje podatke in korake:

- specifični izpust (drenažni koeficient),
- načrtovanje izpustov iz kanalov,
- hidravlični gradient in geometrija kanalov,
- tlačne razlike pri cevnih prepustih, mostovih, jezovih, zapornicah ter črpališčih.

Pri načrtovanju Van der Molen s sod. (2007) predlaga razdelitev sistema na posamezne odseke, ki so dovolj majhni, da na njih smatramo homogenost pri izpustu in naklonu in da na celotnem odseku lahko zagotovimo enotno širino ter globino vode. Mostove, prepuste, pragove, kaskade ter črpališča upoštevamo kot ločene objekte.



### 2.3.2 Specifični izpust

Izpusti iz glavnih drenažnih sistemov so seštevek različnih poljskih drenažnih procesov. Ponavadi so najbolj kritični površinski drenažni procesi. Specifični izpust je nekakšna mera, do katere naj bi se odvečna voda odvajala iz sistema brez težav. V vlažnih območjih se takšen površinski odtok zaradi padavin pojavi v povprečju na 5–10 let, drenažni odtok pa je dodatno povečan še za vodo, ki pronica skozi zemljino. Specifični odtok se izraža v milimetrih na dan, da je lažje primerljiv z meritvami padavin, kasneje pa se za nadaljnje izračune pretvori v drenažni koeficient, izražen v litrih na sekundo na hektar ( $l/s/ha$ ). Za preverjanje poplavnne varnosti sistema ter same stabilnosti se včasih vzame 50–100-letne padavinske dogodke (pri takih dogodkih so lahko ogrožena življenja ljudi). Četudi so nam na voljo omejeni podatki, lahko s pomočjo Gumbelove porazdelitve ocenimo takšne redke dogodke (Van der Molen in sod., 2007).

Pri sušnih pogojih, kot pravi Van der Molen s sod. (2007), ne potrebujemo več kot 1,5–2 mm padavin na dan za nadziranje nivoja slanosti ter drenažnih izgub. Ko pa nastopi deževno obdobje, pa je ta koeficient takoj precej višji. V principu bi bilo smiselno k tej vrednosti dodati še pričakovano pronicanje skozi zemljino. V vlažnih predelih je pronicanje zanemarljivo v primerjavi s padavinami, nasprotno pa je v sušnih predelih, kjer je drenažni koeficient nizek, pronicanje lahko primerljive velikosti ali celo precej večje. Povrh vsega pa lahko v sušnih regijah pronicanje slane vode zelo vpliva na koreninski sistem.

Neprepustne površine, kot so gole skale, asfaltirane poti, zgradbe in poljščine pod steklenimi ali plastičnimi konstrukcijami, imajo velik specifični izpust. To je predvsem na račun tega, da je infiltracija skozi zemljino praktično nemogoča. Na poljedelskih površinah je vpliv teh območij običajno manjšega pomena. Vseeno pa se s časom lahko zgodi, da nove zgradbe in pokrita območja pokrivajo čedalje večje površine, še posebej to velja za območja mest (zgoščevanje objektov), pokrite poljedelske površine ter rastlinjake z intenzivnimi površinskimi drenažnimi sistemi. Problem lahko postane še posebej pereč v času intenzivnih padavin. Kjer se pojavijo tovrstne težave je smiselno v prihodnosti razmisliti o reviziji drenažnega projekta. Ta bi v kritičnih obdobjih vključevala povečanje odprtih vodnih zadrževalnikov z načrtovanjem poplavnih območij na nizko ležečih površinah (mokrišča, zadrževalna porečja), kot kompenzacija za izgubljena zemljišča in površinske vodne zaloge (Van der Molen in sod., 2007).

### 2.3.3 Načrtovanje izpusta iz kanalov

Na deževnih območjih je potrebno za izračun celotne transportne kapacitete na koncu vsakega odseka vključiti vse izpuste po toku navzgor, dodatno je potrebno vključiti še kapacitete vseh ostalih konstrukcij. Nivo vode na koncu vsakega od teh odsekov ne sme presegati najvišje še dopustne vrednosti. V poštevek je potrebno vzeti še učinek zadrževanja toka in različne čase potovanja drenažne vode skozi drenažne sisteme (Van der Molen in sod., 2007).

Za načrtovanje pretoka pri povratnih dobah 5–10 let Van der Molen s sod. (2007) predlaga naslednja reprezentativna mesta:

- izpust iz prispevnega manjšega kanala,
- na začetku in koncu vsakega odseka kanala,
- pri različnih konstrukcijskih objektih,
- na mestu končnega izpusta.

Na teh mestih in tudi med njimi so locirane kontrolne točke, kjer merimo višino in ostale podatke. S časom se pretočne vrednosti spreminjajo, zadrževanje v kanalih pa povzroči, da je ima izpust nestalni tok. Vseeno pa je v veliko primerih količina vode v kanalih relativno majhna v primerjavi s količino vode v namočeni zemljini (10–20 %). Posledično lahko sklepamo, da je nestalni tok posledica podzemnih poljskih drenaž in ne toliko sistema kanalov (večino odtoka prispeva podtalnica). Običajno

so kanali dovolj kratki, da lahko zanemarimo zastajanje toka zaradi potovanja valov, in za izračun izberemo aproksimacijo enakomernega stalnega toka. Če pa gre za območja, kjer je površinski odtok pomemben in je zadrževanje na površini manjše, je posledično izračun izpusta glavnega sistema precej višji (Van der Molen in sod., 2007).

Za izračun nestalnega toka Van der Molen s sod. (2007) predlaga izhodiščno točko na zgornjem koncu odprtih kanalov in nadaljevanje po toku navzdol. Ocena časa vrha površinskega odtoka, njegova oblika in trajanje se uporabijo za izračun velikosti izpustov. Običajno se uporabi empirična metoda hidrograma enote. V tem primeru se v enačbo za dimenzioniranje kanalov vnesejo oblike vseh prispevnih območij ter brežine kanalov (Van der Molen in sod., 2007).

Za izračun pretoka pri enakomernem toku na kratkem odseku se v račun vzame celoten dotok gorvodno od izbranega odseka in vsi morebitni pritoki na odseku. Oba omenjena dotoka se izračunata kot produkt specifičnega izpusta ( $q$  v litrih na sekundo na hektar) in prispevne površine ( $A$  v hektarih), da bi na koncu dobili pretok ( $Q$  v kubičnih metrih na sekundo). Izračun je rahlo predimenzioniran, a je razlika na varni strani (Van der Molen in sod., 2007).

Pri velikih območjih Van der Molen s sod. (2007) predlaga zmanjšanje gorvodnega pritoka ( $Q$ ) s pomočjo koeficienta  $n$  ( $< 1$ ). Na območjih z neenakomernimi padavinami se zmanjšanje predlaga za območja, večja od 1000 ha. Za območja z bolj enakomernimi padavinami se zmanjšanje lahko upošteva za območja večja od 50000 ha.

Na sušnih območjih z namakalnimi sistemi, kjer so padavine nepomembne, zadrževanje drenažne vode iz izpustov ni potrebno, razen v primerih rabe površin za gojenje riža. V tem primeru je visoka drenažna kapaciteta izpusta potrebna zgolj na koncu sezone rasti pridelka. To pa predvsem zato, ker si poljedelci želijo v najkrajšem možnem času odstraniti stoječo vodo z vseh obdelovalnih površin. Ker se vsa polja ne namakajo ob istem času na območjih pridelave drugih poljščin, ne pride istočasno do maksimalnega izpusta na različnih mestih. Posledično je maksimalni izpust iz celotnega sistema manjši kot akumulirani maksimalni izpusti posameznih odsekov (Van der Molen in sod., 2007).

#### 2.3.4 Izredni izpust

Za zagotavljanje varnosti drenažnega sistema pred vodami s povratnimi dobami od 50 do 100 let, ki se lahko zgodijo kadarkoli, se izračuni večkrat ponovijo z vrednostjo  $q$ , ki je povečana s faktorjem 1,5–2 krat načrtovani koeficient izpusta. Za te, sicer redke dogodke, je precej višji nivo vode od običajnega dovoljen, a vsekakor je potrebno zagotoviti, da v primeru resnejših poplav ne pride do večje škode (Van der Molen in sod., 2007).

#### 2.3.5 Hidravlični gradient in tlačne razlike

Hidravlični gradient določenega odseka kanala je naklon hidravlične energijske linije vzdolž tega odseka oz. padeč tlačne črte. Pri manjših hitrostih ( $< 0,5$  m/s) je ta črta skoraj enaka naklonu kanala in gladini vode. Mora biti bolj ali manj vzporedna z nagibom površja vzdolž kanala. Na začetku lahko povprečni hidravlični gradient, ki je razpoložljiv za gravitacijski izpust, določimo kot približek padca gladine. Kjer je teren popolnoma raven, je zelo pomembno, da izberemo čim manjši hidravlični gradient, ki pa mora vseeno zagotavljati zadosten vodni tok. Da bi se izognili eroziji, posebno pri večjih naklonih, je smiselno, da hitrosti ne presegajo 0,5 m/s. V primeru muljastih voda so te hitrosti še nižje in sicer do 0,2 m/s (Van der Molen in sod., 2007).

Naklon dna kanala naj bi bil enak naklonu povprečnega hidravličnega gradienta (Van der Molen in sod., 2007). Vrednosti 0,05–0,1 promila so običajne za ravna območja (lahko so še nižja na ekstremno ravnih območjih). Za ustvarjanje višjega gradienta je v takih primerih možna rešitev črpanje iz enega odseka na drug odsek, ki pa kaj hitro lahko preseže sprejemljive stroške izvedbe projekta.

### 2.3.6 Vzdolžni profil

Pri vzdolžnem profilu kanala je potrebno navesti višino vzdolžnega pasu zemljine in nivo vode, ki se tolerira ob drenažnem izpustu ter lokacije konstrukcij in križanj kanalov. Če je le možno, se je potrebno izogibati nenadnim spremembam naklona ali pa se lahko te pojavijo le na omejenem odseku. Na mestih, kjer se nenadnim padcem ne moremo izogniti zaradi topografskih značilnosti terena (izogibanje globokemu izkopavanju ali presežne hitrosti toka), je potrebna izgradnja pragov. Njihov položaj na terenu se določi iz geodetskih meritev. Tlačne izgube, ki jih povzročijo pragovi in ostale konstrukcije, je potrebno prikazati na hidravličnih profilih kanala. Pragovi, jezovi in zapornice povzročajo tlačne razlike v obe smeri toka, še posebno jezovi imajo velik gor-vodni vpliv na izrazito ravninskih območjih (Van der Molen in sod., 2007).

### 2.4 Materiali, oprema in načini vgradnje

Sodobne drenažne materiale lahko razvrstimo v drenažne cevi z različnimi dodatki, različne ovoje ter pomožne drenažne konstrukcije. Kriteriji izdelave drenažnih cevi so že precej ustaljeni in jasni, tako glede velikosti, geometrije, vzorca perforacije kot tudi izbire primerne materiala (Stuyt in sod., 2005).

Pri vgradnji drenažnih cevi v nekatere zemljine je potrebno nameniti posebno pozornost zaščiti pred prodiranjem majhnih delcev skozi drenažne perforacije v samo cev. Zaradi sile vlečenja vode v cev se delci zemljine ali peska, ki so manjši od drenažnih lukenj, lahko znajdejo v sami cevi in s tem zmanjšujejo njeno pretočnost. Tega procesa nikoli ne moremo preprečiti, lahko pa ga omilimo oziroma upočasnimo z obdajanjem cevi s primernim materialom, ki ga lahko poimenujemo tudi drenažni ovoj ali filter. Njegova funkcija je zadrževanje delcev zemljine, posledično pa zaradi tega lahko prihaja do zamašitev in neprepustnih slojev. Dobri drenažni ovoj bi torej moral biti dovolj hidravlično prevoden in s časom še vedno dovolj prepusten (Stuyt in sod., 2005).

Marsikje je skorajda nemogoče zagotoviti ustrezno zrnavost peska, ki bi služil kot drenažni ovoj, zato lahko to predstavlja bistven strošek pri vgradnji drenaž. Stuyt s sod. (2005) dodatno navaja, da je sam proces vgradnje drenaž, ki jih obdaja peščeni filter, precej zahteven in drag postopek, zato je razvoj skozi čas težil k iznajdbi lahkih materialov, ki bi nadomestili peščene ovoje.

Alternativni materiali so navadno sestavljeni iz organskih vlaken, ki so običajno stranski proizvod poljedelstva. Eden od nadomestnih materialov je npr. ovoj iz šote, ki se je uspešno uporabljala mnoga leta predvsem na območjih, kjer je bila uporaba peska draga. Naslednja, druga generacija ovoja je za razliko od rahle šote bolj tesno ovit organski material. Ob vgradnji s pomočjo rovokopača se tak trak sproti ovija okoli cevi, ki se nato vgradi v zemljino. Prvi tovrstni materiali so bili vlakna iz šote, lana ali kokosa, od leta 1960 dalje pa so se že pričela uveljavljati cenovno dostopnejša steklena vlakna, ki so precej enostavna za uporabo (Stuyt in sod., 2005).

V letu 1962 so se začele uveljavljati gibljive oz. nagubane cevi, uporaba ovitih cevi pa se je pričela opuščati. V Evropi so razvili organska vlakna, ki so se lahko ovila okrog rebrastih cevi pred vgradnjo. Cev z ovojem se je nato kot kompozit (poimenovan oviti dren) lahko vgradila neposredno v zemljino. Stroški vgradnje so se zaradi te inovacije zmanjšali vsaj za polovico (Stuyt in sod., 2005).

Slabost organskih ovojev je vsekakor ta, da se v zemljini razgradijo, posledično pa izgubijo svojo funkcijo. Zato je prišlo do tretje generacije sintetičnih ovojev, katerim je hitro zrasla popularnost. Pogosto se uporabljajo v Evropi in Severni Ameriki, v porastu pa je uporaba v državah Egipta, Pakistana in Indije. Pri sintetičnih ovajih gre za trakove geotekstila (filca), ovitega okrog cevi ali ohlapne ovoje sintetičnih vlaken. Večina ohlapnih sintetičnih ovojev se proizvaja iz recikliranih materialov, kot so npr. polipropilenska odpadna vlakna iz industrije pridelave preprog (Stuyt in sod., 2005).

V nadaljevanju bomo podrobneje predstavili materiale, načine vgradnje (ročno, mehansko ter kombinirano) ter pregledali posamezne elemente vgradnje, ki lahko tvorijo nek načrtovani drenažni sistem.

### 2.4.1 Materiali in posamezni elementi za vgradnjo

Vse do nekje leta 1960, ko so iznašli gladke plastične cevi, so bile v uporabi večinoma cevi iz gline ali betona, kmalu za to iznajdbo pa je intenzivni razvoj proizvodnje cevi privedel do nove različice, to je gibljive rebraste cevi.

Glinene, betonske in plastične cevi dajejo zadovoljive rezultate, če je njihova kvaliteta izdelave ustrezna standardom ter njihova vgradnja pravilna. Zbiralne cevi so običajno narejene iz plastike. Cevi, ki so narejene iz vlaknastih materialov, še niso konkurenčne premerom, ki presegajo 200 mm. Kakorkoli, rebrasti perforirani plastični kolektorji, ki so obdani z več sloji ovoja, se lahko dokaj enostavno vgradijo na mestih, kjer zemljina vsebuje precejšen delež peska. Ko so vgrajeni, se kolektor lahko obnaša kot drenaža, ki preprečuje prodiranje delcev ter pospešuje povezovanje stranskih vej ter vgradnjo kontrolnih jaškov (Stuyt in sod., 2005).

#### 2.4.1.1 Glinene cevi

Površina glinene cevi je lahko porozna ali glazirana. Cevi se polagajo stično ena zraven druge, voda pa v cev prehaja skozi spoje. Porozni tip cevi ima običajno odebeljene konce, lahko pa ima tudi prirobnice. Drug tip cevi je precej bolj drag, visok strošek pa je opravičljiv le na mestih, kjer imamo zelo mehke zemljine. Kakovostne glazirane cevi so primerno zapečene in nimajo nobenih razpok ali mehurjev. V nasprotnem primeru, če opazimo takšne napake, cevi ni priporočeno vgrajevati (Stuyt in sod., 2005).

Standardne dimenzije notranjega premera so 50, 65, 75, 80, 100, 130, 160 ter 200 mm. V Veliki Britaniji je nazivna minimalna velikost notranjega premera 75 mm, kar ponuja obilo prostora za transport vode in redko pride do pomislekov glede načrtovanja zadovoljivega premera glinenih cevi. Debelina sten variira med 12 in 24 mm in se lahko izrazi kot  $0,08d + 8$  mm, kjer  $d$  predstavlja notranji premer v mm. Trenutne dolžine glinenih cevi znašajo 300 ali 333 mm, v nekaterih državah pa so na voljo tudi daljše izvedbe. Nemška izvedenka glinenih cevi ima na zunanji strani vzdolžne utore, ki v kombinaciji z ovojnim materialom olajšajo vodni tok vzdolž vgrajene drenažne cevi (Stuyt in sod., 2005).

Glinena cev je zelo vzdržljiva in odporna na preperavanje in razpadanje v agresivnih pogojih, kot so npr. zemljine z vsebnostjo sulfatov ter korozivnih kemikalij. Lahko se uporabijo praktično v vseh pogojih. V primerjavi z betonskimi cevmi so glinene precej lažje in imajo izvrstno nosilnost. njihova slabost je lomljivost, še posebej nemški tip, zato je potrebna posebna pozornost pri transportu in vgradnji. V procesu proizvodnje zahtevajo glinene cevi kar precej ročnega dela, kljub temu da so proizvajalci precej izpopolnili in avtomatizirali proizvodne postopke. Sama izdelava zahteva veliko spretnosti in dobro opremljen proizvodni obrat. Kvalitetno izdelana cev mora imeti čim bolj ravne robove, ki se bodo stikali, ne sme imeti nobenih razpok, bistvenega pomena pa je tudi homogenost materiala (dovolj dobro premešana glina). Maksimalna absorpcija vode ob 24-urnem namakanju mora biti manjša od 15 odstotkov teže cevi. Teža 1000 kosov cevi naj bi presegala določene minimalne vrednosti, tj. 1400 kg za cevi s 60 mm premerom in 2000 kg za 80 mm cevi (Stuyt in sod., 2005).

Polaganje glinenih cevi ponekod še vedno poteka ročno, izkopavanje pa se vrši ročno ali s pomočjo rovokopača. Te cevi so lahko obložene z debelejšimi materiali ali z ovojem v vzdolžni obliki. Stuyt s sod. (2005) nadalje priporoča, da se ob vgradnji skrbi za idealno poravnavo med posameznimi cevmi, maksimalni razmik med posameznimi cevmi pa ne sme presegati 3 mm oziroma v peščenih zemljinah ne sme presegati  $2d_{85}$ , kar predstavlja velikost delcev, kjer ima 85 odstotkov delcev osušene zemljine manjši premer.

### 2.4.1.2 Betonske cevi

Uporaba betonskih cevi je zelo razširjena, npr. v Egiptu, Iraku in ostalih državah. Uporablja se tam, kjer glinene cevi niso na voljo ali pa so za načrtovane drenažne sisteme potrebni večji premeri. Večinoma so v uporabi srednjih velikosti in večje, notranji primeri pa znašajo 100, 150, 200 mm in več, dolžine pa se pričnejo od 60, 91, 122 ter 240 cm. Cevi z notranjim premerom večjim od 300 mm so običajno ojačene z armaturo (Stuyt in sod., 2005).

Izdelava betonskih cevi je v primerjavi z glinenimi precej bolj enostavna. Pomembno je, da so prave oblike, lepo zglajene, brez razpok in odkruškov ter primerno osušene (Stuyt in sod., 2005).

Po Stuytu s sod. (2005) je glavni pogoj za vgradnjo betonskih cevi v zemljino primerna podtalnica ter vsebnost snovi v zemljini. Opozarja tudi, da so cevi iz običajnega cementa nagnjene k razpadanju v kisljih in sulfatnih zemljinah ter v vodah, ki vsebujejo alkalne soli in druge kemikalije. Odsvetuje tudi uporabo na mestih, kjer se zbirajo industrijske ter gospodinjske odpadne vode. Kot možno rešitev pred kemičnim razjedanjem omenja posebne visoko sulfatno odporne ter specifično goste cimente.

Kot možne slabosti Stuyt s sod. (2005) omenja počasno razpadanje zaradi preperevanja ter občutljivost na erozijo zaradi previsokih pretočnih hitrosti in »brusilnega« učinka delcev v vodi. S trajno in primerno vgradnjo ter pod različnimi in ugodnimi pogoji so tudi betonske cevi lahko dolgotrajne.

### 2.4.1.3 Plastične cevi

Izrazita prednost plastičnih cevi pred vsemi ostalimi, je njihova nizka teža na enoto dolžine, kar znatno zniža stroške transporta. Dodatno znižanje stroškov predstavljajo manjši napor in količina dela potrebna za vgradnjo (Stuyt in sod., 2005).

Gladke plastične cevi so bile narejene iz trdnega polivinil klorida (PVC), vzdolžno po cevi pa so bile odprtine, ki prepuščajo vodo. Gladke cevi niso nikoli dosegle širše uporabnosti, ker so jih hitro izpodrinile rebraste cevi, ki so bile na voljo od leta 1963. Te so bile tako uspešne, da so postopoma nadomestile glinene in betonske cevi. Ta proces se še vedno nadaljuje v številnih državah. Rebrasta oblika stene cevi ni samo upogljiva, ampak je tudi bolj odporna na stiskanje kot pa gladka cev pri enaki količini materiala (Stuyt in sod., 2005).

Predstavitev rebrastih cevi velja za zgodovinski mejnik na področju poljedelskih drenažnih sistemov. Te upogljive cevi so zelo primerne za strojno vgradnjo, s tem pa se znatno zmanjšajo skupni stroški. Kot posledica iznajdbe tovrstnih cevi se je močno razvila tehnika vgradnje cevi brez izkopavanja jarkov, to je s kopanjem rovov (Stuyt in sod., 2005).

Preskok iz glinenih ter betonskih cevi na rebraste je bil pričakovan predvsem zaradi naslednjih prednosti, ki jih izpostavlja Stuyt s sod. (2005):

- Zaradi lahke teže je uporaba enostavnejša tudi pri večjih dolžinah.
- Zaradi večje dolžine je uporaba lažja, težav z uravnavanjem skorajda ni, zmanjšani pa so tudi dobavni roki cevi in s tem povečana učinkovitost drenažnih strojev.
- Upogljivost in zvitost olajšata rokovanje, transportiranje in vgradnjo.
- Enakomerna perforacija cevi pospešuje pronicanje vode iz zemljine.
- Ovijanje z različnimi materiali je enostavno.
- Izvedba je varnejša in brez širokih spojev in neporavnanih delov.
- Manj naporne tako za vgradnjo, kot tudi izdelavo, rokovanje in prevažanje.
- Inertne so na večino kemikalij v zemlji.

Rebraste cevi imajo tudi določene slabosti v primerjavi z glinenimi in betonskimi cevmi (Stuyt in sod., 2005):

- UV sevanje povzroča preperevanje, tako da za cevi iz PVC-ja ni priporočljivo dolgo izpostavljanje direktnemu soncu;
- povečana lomljivost pri nizkih temperaturah;
- povečano tveganje za pregibanje ob višjih temperaturah in prevelikemu natezanju med vgradnjo;
- zmanjšana upogibna trdnost pod stalno obremenitvijo;
- ob nenadnih obremenitvah (porušitev zidov, padanje kamenja) obstaja tveganje, da se cevi sesedejo;
- zmanjšana transportna kapaciteta pri enakih notranjih premerih zaradi gub in hrapavosti;
- težavno premeščanje po vgradnji in možnost poškodovanja z ročno sondo.

Rebraste plastične cevi, ki jih predstavi Stuyt s sod. (2005), so narejene iz PVC-ja, polietilena (PE) z visoko gostoto ali polipropilena (PP). Izbira najbolj ustreznega materiala temelji na ekonomskih faktorjih. V Evropi so rebraste cevi večinoma iz PVC-ja, razen v Veliki Britaniji, kjer so iz PE in manjši delež iz PP. V ZDA in Kanadi je večina cevi iz PE predvsem zaradi nizke cene surovega materiala. Kvalitetne cevi so lahko izdelane tako iz PVC-ja kot tudi PE, čeprav se lastnosti obeh materialov razlikujejo po naslednjih atributih:

- Nižja trdnost PE pomeni hitrejšo deformacijo pod obremenitvijo, še posebno pri temperaturah, ki se bližajo 40 °C in če so vzdolžno obremenjene.
- PVC cevi so bolj dovzetne na UV sevanje in postanejo lomljive ob izpostavljenosti, zato jih je potrebno izogibati skladiščenju na odprtem.
- PVC cevi so bolj lomljive pri nizkih temperaturah kot PE cevi, zato ni priporočljiva vgradnja pri zunanjih temperaturah pod 3 °C.
- PVC se pri temperaturi 80 °C zmehča, zato se cevi lahko deformirajo ob tovrstni izpostavljenosti. Še posebno v sušnih in polsušnih legah moramo biti zelo pozorni na pogoje skladiščenja.
- Pri zgorevanju PVC-ja se tvorijo hidrokloridne kisline, ki so škodljive za okolje.

Na območju severozahodne Evrope Stuyt s sod. (2005) izpostavlja vpeljavo PP cevi na področju poljedelstva. Ta tip cevi sicer ni v širši rabi, a je zelo ustrezen za uporabo v rastlinjakih, ker dobro prenaša visoke temperature in se zato lahko uporabijo za dezinfekcijo zemljin s pomočjo vodne pare.

Evropski premeri cevi se običajno nanašajo na zunanji premer. Standardni zunanji premeri so 40, 50, 65, 80, 100, 125, 160 in 200 mm, v rabi pa so lahko tudi večji premeri. Severno Ameriški premeri se nanašajo na notranje premere, ki so 102, 127, 152, 203, 254, 305, 381, 457 in 610 mm. Notranji premer običajno znaša 0,9-kratno velikost zunanjega premera. Rebraste cevi manjših premerov (vse do 250 mm) se dostavljajo v kolutih, večji premeri pa se dostavljajo v dolžini 6 m (Stuyt in sod., 2005).

Pri gibljivih rebrastih ceveh drenažna voda pronica skozi perforacije, ki se nahajajo v vdolbinah gub. Podolgovate perforacije so pogoste, možna pa je tudi izvedba z okroglimi perforacijami. Njihova širina je običajno med 0,6 do 2 mm. Dolžina perforacij znaša približno 5 mm, pri večjih premerih cevi pa so te lahko tudi daljše. Pomembno je, da so perforacije enakomerno razporejene po celotni steni cevi, običajno v vsaj štirih vrstah s po dvema perforacijama na 100 mm na posamezno vrsto. V Evropi je priporočljiva površina perforacij na meter cevi vsaj 1200 mm<sup>2</sup> (Stuyt in sod., 2005).

Strojna vgradnja gibljivih plastičnih drenažnih cevi je zelo enostavna. Manjši premeri se običajno prevažajo na kolutih in se potem strojno odvijajo in sproti vgrajujejo. Cevi z večjim premerom se večinoma polagajo na polje, nato pa se sproti vgrajujejo skozi stroje. Vedno je potrebna temeljita kontrola cevi in previdnost pri vgradnji, da preprečimo morebitne poškodbe cevi in vzdolžno raztezanje. Redna kontrola gibljivih cevi je zelo pomembna. Vpliv nenadnih obtežitev in simulacije zemeljskih podorov pri temperaturah, ki bodo enake mestu vgradnje, bi morale biti vedno del programa za testiranje kvalitete cevi (Stuyt in sod., 2005).

#### 2.4.1.4 Cevni ovoj

Drenažni ovoj je navadno iz poroznega materiala, ki ga namestimo okoli perforirane drenažne cevi, da bi, kot navaja Nijland s sod. (2005), zadostili naslednjim funkcijam:

- Filtriranje, kamor spada preprečevanje ali zadrževanje delcev zemljine, da ne morejo pronicati v notranjost cevi, kjer bi se morebiti lahko zasedali in posledično zamašili cev.
- Hidravlična funkcija, pri kateri porozni materiali zagotavljajo relativno visoko prepustnost okrog cevi in zmanjšanje vstopne odpornosti.

Drenažni ovoji (ali filtri) so lahko narejeni iz zrnastih (ali mineralnih), organskih in sintetičnih materialov (slika 6). Ovojni materiali so lahko iz polipropilenskih vlaken (a, f in g), polistirenskih zrn (b) ter kokosovih vlaken (c), ne-pletenega najlona (d) in pletenega typar-a (e) (Nijland in sod., 2005)



Slika 6: Ovojni materiali (Nijland in sod., 2005:81)

Granularni ali zrnati ovoji so narejeni iz frakcij peska, gramoza (tako naravnega kot lomljenega), žindre (pogosto je industrijski odpadek) ali žgana glinena zrna. Uporabnost je bila preverjena širom po svetu in se je izkazala v skoraj vseh tipih zemljin, če je bila razvrstitev granulacije ovoja načrtovana pravilno v razmerju s teksturo zemljine in četudi se takšni ovoji ne morejo uporabiti z vrtnalnim načinom polaganja cevi (Nijland in sod., 2005).

Izvedba granulacijskega ovoja potrebuje idealno logistično organizacijo in posebno opremo za vgradnjo (gramozne prikolice in čelne nakladače). Pomankljiva dostava lahko popolnoma zaustavi proces vgradnje. Generalno gledano velja granulacijski ovoj za težko izvedljivega. Velike količine in volumni težkih in dobro sestavljenih materialov (npr. 4 m<sup>3</sup>/100 m dolžine poljskega drena Ø 80 mm tehta približno 8 ton) je potrebno prepeljati na lokacijo vgradnje nekje na polju. Zaradi same teže so lahko stroški transporta in vgradnje precej visoki, še posebno tam, kjer je material precej daleč (Nijland in sod., 2005).

Kot primer pravilnega vgrajevanja granulacijskega ovoja Nijland s sod. (2005) izpostavlja moderne rovokopače (podkopnike), ki so opremljeni z lijakasto prikolico in peščenimi zapornicami. V primerih, ko so zemljine sipke, so na voljo posebni hidravlični nastavki, ki omogočajo vgradnjo in nameščanje peska okrog cevi.

Navkljub temu, da so se granulacijski ovoji izkazali kot tehnično funkcionalni, se jih v praksi izogibajo iz praktičnih razlogov. Predvsem na območjih, kjer nimajo veliko izkušenj z drenažnimi sistemi in niso bile izvedene raziskave vplivov na sintetične ovoje, je izbira granularnega ovoja še vedno prva in najbolj varna izbira (Nijland in sod., 2005).

V severni in zahodni Evropi se je kot organski ovoj uporabljala šota, kokosova vlakna, lanena slama, različna pleva, vresje, drevesni odkruški in žagovina, a se le-ti vse bolj opuščajo. S časom se razgradijo, proces razgradnje nekaterih materialov pa lahko povzroči zamašitev drenažnih lukenj.

Kokosova vlakna so v zahodni Evropi popolnoma nadomestili z ovoji iz PP vlaken. Nadalje, ko gre za uporabo organskih materialov v toplejših območjih, je proces razgradnje veliko hitrejši, lahko tudi že v eni do dveh sezonah, zato uporaba organskih materialov za drenažni ovoj ni priporočljiva (Nijland in sod., 2005).

Sintetični ovoji, ki so običajno v rabi z rebrastimi plastičnimi cevmi in jih navaja Nijland s sod. (2005), so narejeni iz naslednjih materialov:

- Ohlapni in voluminozni sintetični ovoj iz polimernih vlaken (poliamid (PA), polietilen (PE), poliester (PETP = polietilen tereftalat) in polipropilen (PP). Mrežasti ovoj iz polistirenskih (PS) kroglic prav tako spada v to kategorijo.
- Geotekstili so pletene ali nepletene tanke plahte. Vlakna, ki se uporabljajo za tkanje geotekstilov so enaka kot pri voluminoznih sintetičnih ovojih.

Voluminoznost teh ovojev ima dvojno funkcijo, to je filtriranje delcev in hidravlično prepustnost. Geotekstili se večinoma uporabljajo kot ovoji cevi in so podvrženi temu, da se hitreje zamašijo. Sintetični materiali so precej odporni in niso občutljivi na kemikalije v zemljini (Nijland in sod., 2005).

Do danes še vedno ne obstajajo neki skupni standardi in pravila za funkcionalnost sintetičnih ovojev, ki bi priporočali ustreznost vgradnje glede na karakteristike zemljine. Pozitivni rezultati sintetičnih ovojev pri laboratorijskih testih niso nujno merilo za dober rezultat v sami zemljini. Na območjih, kjer izvajalci nimajo nobenih izkušenj s sintetičnimi ovoji, so terenska testiranja edina poznana metoda za zagotavljanje funkcionalnosti določenega ovoja. V nekaterih deželah je uporaba sintetičnih ovojev (predvsem geotekstilov) dala zelo pozitivne rezultate ob uporabi filtriranja za vodnjake. Hidravlični pritiski okrog vodnjaka so drugačni kot pa okrog cevi. Tovrstne izkušnje pa se ne da enostavno prenesti. Sama proizvodnja ovojev iz sintetičnih materialov zahteva specializirano industrijo, tako za proizvodnjo vlaken kot tudi samega ovoja okrog cevi (Nijland in sod., 2005).

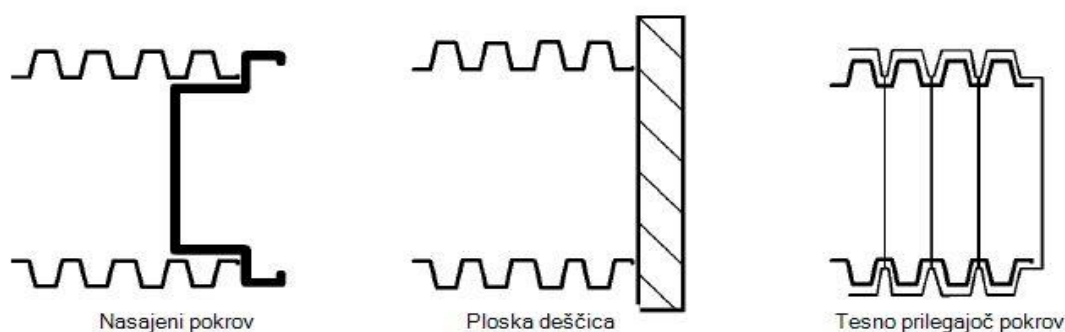
Če torej povzamemo vse skupaj, Nijland s sod. (2005) kot najbolj praktične za vgradnjo talnih drenažnih sistemov izpostavlja predhodno ovite drenažne cevi, katerih ovoj je iz sintetike. Če se uporabijo primerni, dobro testirani in preverjeni sintetični ovoji, potem je njihova uporaba najbolj zaželena. Eden od možnih načinov je tudi, da v primeru neustreznosti sintetike vgradnjo začnemo s tehnično dobro granuliranim peskom in pa predpostavko, da ga bomo v najkrajšem možnem času nadomestili s primernim in dobro testiranim sintetičnim ovajem.

#### **2.4.1.5 Različni cevni dodatki**

Pri podpovršinskih drenažnih sistemih se kot sestavni elementi uporabljajo pripomočki in posebni dodatki, kot so cevna kolena (spojnice, reducirke, zaključni pokrovi, T-členi), gravitacijski izpusti ali črpališča, različni zbiralni in kontrolni jaški (ang. manholes), drenažni mostovi, ne-naluknjane trdne cevi itd. Podrobneje bomo v nadaljevanju predstavili posamezne cevne dodatke, ki so neizbežen del vsakega drenažnega sistema.

Zaključni pokrovi in njihove izvedbe (slika 7) se običajno nameščajo na zgornjem delu cevi, njihova osnovna funkcija pa je preprečevanje vdora zemljine v samo cev. Lahko so izdelani iz enakega ali pa kakršnega koli podobno vzdržljivega materiala, kot je uporabljena cev.





Slika 7: Različne izvedbe cevnih zaključkov (prirejeno po Stuyt in sod., 2005:9)

Za spajanje gibljivih rebrastih cevi običajno uporabljamo posebne spojke (z zobci na notranjih stenah), s katerimi povežemo konce cevi enakega premera. Spojke so zaradi lažjega nameščanja lahko tudi razcepljene, nato pa se ovijejo s trakom ter žico, da spoj ostane med vgradnjo na mestu. Drug tip spojk je notranji, ki ima zobce na zunanji strani in so manjšega premera kot drenažne cevi. Takšen tip spajanja se lahko uporabi pri kritični vgradnji cevi, ker s tem onemogočimo razdvajanje spetih cevi. Možno je tudi spajanje ene cevi v drugo, tako da konec, ki ga vstavljamo, vzdolžno zarežemo in zožimo v stožec ter vstavimo v drugo cev. Tak tip spoja ni zanesljiv in preprečuje normalni pretok drenažne vode ter lahko povzroča zastajanje (Stuyt in sod., 2005).

Za primere, ko je potrebno izvesti prehode iz večje na manjšo cev ali obratno, se uporabljajo posebni spoji imenovani reducirke, pri katerem je en konec spojke širši od drugega.

V komercialni rabi je širok izbor spojnih elementov (kolen, T in Y členov, spojk) za različne materiale in vrste cevi. Spojke za glinene, betonske in gibljive plastične cevi običajno proizvajajo različni proizvajalci, zato so večinoma nezamenljivi. Zato se večkrat zgodi, da na terenu prihaja do improvizacije in rezanja posameznih delov spojk, da lahko spojimo konce cevi. Kot vedno bolj pogost način spajanja cevi Stuyt s sod. (2005) omenja kolena s T-členi na vrhu za spajanje stranskih drenažnih vej s kolektorji.

#### 2.4.2 Oprema in načini vgradnje talnih drenažnih sistemov

Izbira opreme za vgradnjo sistema ima daljnosežne posledice za proces implementacije, saj vpliva tako na stopnjo izbire globine polaganja kot tudi primernosti drenažnih materialov. Če na projektnem območju že obstaja drenažna industrija in tradicija, je zelo verjetno da so poznane tudi karakteristike razpoložljive opreme za vgradnjo, posledično pa je skrajšan čas načrtovanja in konstruiranja. V deželah, kjer se uporaba drenaž še uveljavlja, je potrebno najti primerno in stroškovno ustrezno opremo za vgradnjo. Karakteristike primerne opreme bodo osnova za oceno potrebne investicije v primeru, da je le to potrebno kupiti, hkrati pa je to pomemben podatek za odločitve odgovornih načrtovalcev (Nijland in sod., 2005).

Nijland s sod. (2005) zato izpostavlja naslednja vprašanja o glavnih odločitvah v fazi načrtovanja glede opreme za vgradnjo, ki so:

- Katera je stroškovno najbolj učinkovita metoda vgrajevanja pod danimi pogoji?
- Koliko opreme bo potrebno za izvedbo vgradnje znotraj zadanega časovnega okvirja?
- Ali je oprema na voljo v bližini oziroma pokrajini? Če ne:
  - o Ali količina dela lahko upraviči nakup opreme ali je bolj smiselna opcija leasing, najem, začasen uvoz ali je potrebno razmisliti o drugačni metodi vgradnje?
  - o Ali bo opremo potrebno najeti ali kupiti in od koga?
  - o Je v specifikacijo in/ali nakup vključena tudi vlada oz. država ali je to prepuščeno pogodbenikom?

- Ali je na voljo dovolj dela, da je oprema lahko biti komercialno donosna?
- Ali je oprema lahko primerno vzdrževana v deželi in če da, s čigave strani bo organizirana?

Potrebna oprema in pripomočki za vgradnjo so odvisni od izbrane metodo vgradnje, Nijland s sod. (2005) navaja naslednje tri:

- popolna ročna vgradnja,
- kombinirana ročno-strojna vgradnja,
- popolna strojna vgradnja.

Splošno gledano Nijland s sod. (2005) pravi, da je za velika območja najbolj primerna strojna vgradnja. Ročna vgradnja in kombinacija obeh načinov se navadno uporablja na manjših območjih ali na lokacijah, kjer ni možen dostop s stroji. Za vsako od teh metod se uporablja posebna oprema:

- Posebna ročna orodja, ki so bila razvita za ročno vgradnjo, sestavljajo pa jo posebno oblikovane lopate in kavljji za polaganje in poravnavanje glinenih cevi;
- Hidravlični kopači so najpogosteje uporabljeni za kopanje jarkov v kombinaciji s strojno in ročno vgradnjo cevi. Gre za razširjene in dobro poznane stroje, ki so na voljo praktično povsod;
- Mehanska vgradnja pogojuje uporabo posebnih drenažnih strojev, pogosto v kombinaciji s kopači, buldožerji in traktorji.

V naslednjih treh podglavjih bomo podrobneje pogledali načine vgradnje in njihove specifikke.

#### **2.4.2.1 Ročna vgradnja**

V preteklosti je bilo ročno kopanje jarkov in polaganje cevi pogosta praksa, ki se tu pa tam še vedno pojavlja. Za lažjanje dela se je vzporedno razvijalo specialno orodje (slika 8), vse od različnih tipov lopat, kavljjev pa vse do cevnih klešč in ščipalk.

Ročna vgradnja je možna ob naslednjih pogojih, ki jih navaja Nijland s sod. (2005):

- Višina podtalnice ne sme biti previsoka (polaganje cevi na želeno globino pod gladino podtalnice je praktično nemogoče);
- Če je globina omejena (<1 m, pri večjih globinah je izvedba možna le pod posebnimi pogoji s stabilnimi zemljinami in sezonskimi višinami vode pod globino drenaže).

Proces ročne vgradnje je počasen in hkrati z vidika dela fizično zahteven. Kot primer Nijland s sod. (2005) navaja, da velja standard za relativno lahke zemljine na Nizozemskem približno 25 m<sup>3</sup>/osebo/dan pri globini polaganja 0,8 m in 13 m<sup>3</sup>/osebo/dan pri globini polaganja 1,5 m. Upoštevanje naklona zahteva tudi določene izkušnje in usposobljenost ekipe. Ročna vgradnja pri nestabilnih zemljinah z visokim nivojem podtalnice in vgradnja v večje globine je teoretično mogoča, je pa Nijland ne priporoča.



Slika 8: Specialno orodje, razvito posebej za ročno vgradnjo drenov (prirejeno po Nijland in sod., 2005:116)

Ekonomičnost ročne vgradnje je v največji meri odvisna od stroška in razpoložljivosti delovne sile. Splošno gledano je ročna vgradnja dražja od strojne vgradnje (Ochs in Bishay, 1992).

#### 2.4.2.2 Kombinirana vgradnja

Tak tip vgradnje je sestavljen iz strojnega izkopavanja kanalov ter ročnega polaganja cevi. Izkopavanje enakomernega naklona dna, na katerega se potem polagajo cevi, je lahko zelo zahtevno in napreduje počasi. Globino in naklon dna kanala je potrebno stalno nadzirati s pomočjo merilnih inštrumentov, katerih natančnost je v največji meri odvisna od osebe, ki z njimi upravlja. Možna je uporaba laserja, a ta vseeno ne bo sam uravnaval globine izkopavanja bagra. Ustrezna vgradnja je možna samo v primerih, ko v kanalu ni vode in je zemljina dovolj stabilna. V nasprotnem primeru, predvsem ko je zemljina nestabilna, je izkopavanje z bagrom nemogoče in je lahko hkrati tudi nevarno za delavce (Nijland in sod., 2005).

Ker lahko hidravlični kopač nastopa v več funkcijah, Nijland s sod. (2005) predlaga, da je stalno v pripravljenosti za uporabo. Stroškovna učinkovitost je kljub temu še vedno odvisna od hitrosti vgradnje in posledično od stroška na tekoči meter vgrajenega drena.

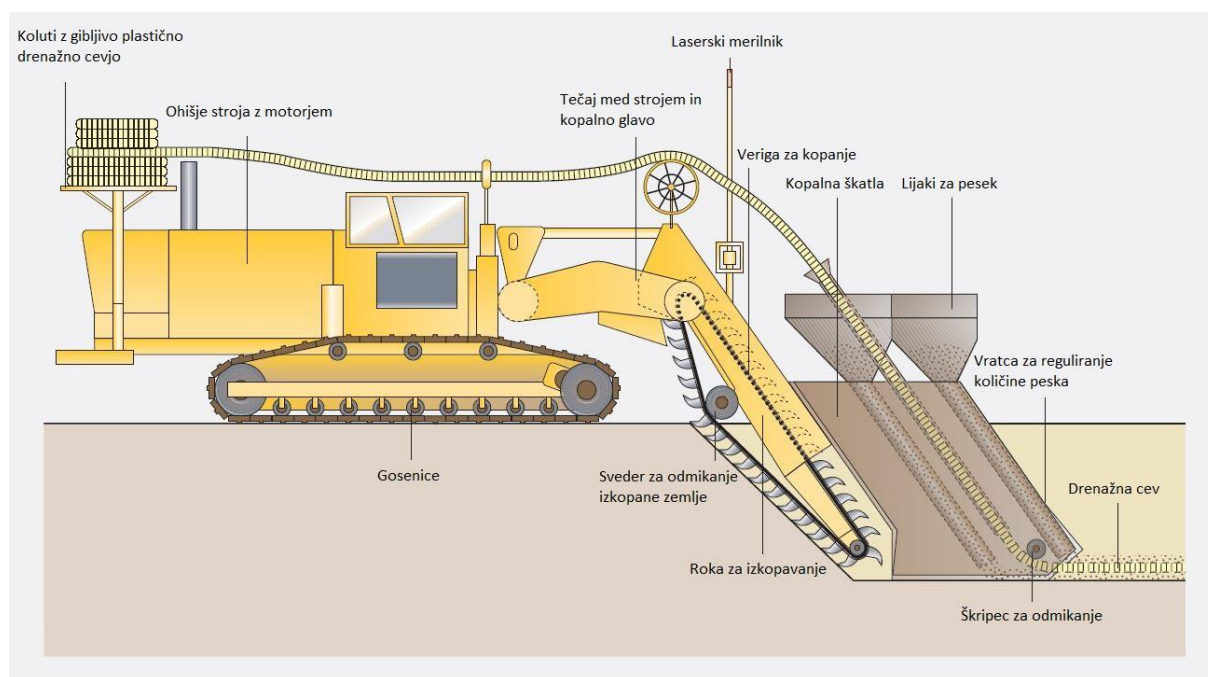
Lahko zaključimo, da ima kombinirani način vgradnje naslednje prednosti in omejitve (Nijland in sod., 2005):

- Prednosti:
  - Bagri so široko poznani in uporabni stroji, ki so običajno hitro pripravljene za uporabo;
  - Njihova raba je lahko več funkcijska, tako da jih lahko uporabimo tudi za druga dela, ko ne vgrajujemo drenaže.
- Omejitve:
  - Pravilna vgradnja je možna samo v stabilnih zemljinah (brez udiranja brežin) in ob odsotnosti vode v kanalu;
  - Avtomatska kontrola globine vgradnje ni možna, zato so potrebni izkušeni operativci;
  - Napredek je počasen;
  - Globina je omejena zaradi tveganja vdora kanala, ki bi lahko poškodovalo delavce.

### 2.4.2.3 Mehanska vgradnja

Mehanska ali strojna vgradnja drenažnih cevi se izvaja ali s posebnim rovokopačem (ang. *trencher*) ali s krtičnim kopačem (ang. *trenchless machine*). S to metodo lahko vgrajujemo drenažne cevi v skoraj vseh pogojih z avtomatskim nadzorovanjem globine, naklona in nivojem podtalnice nad in pod dnom kanala. Cena omenjenih strojev je zaradi njihove specialnosti zelo visoka, pogosto pa presega nekaj sto tisoč evrov. Njihova življenjska doba je lahko vsaj 10.000 delovnih ur ali nekaj 10 let. Ekonomičnosti nakupa ni možno uveljaviti na manjših površinah, zato je smiselno takšne stroje najemati ali celo začasno uvoziti. Mogoče je smiselno razmisliti tudi o drugačnih metodah vgradnje, čeprav te niso optimalne (Nijland in sod., 2005).

Da bi razumeli kompleksnost tega posebnega rovokopača in upravičenost njegove visoke cene, je v nadaljevanju prikazana shema (slika 9), kjer so predstavljeni njegovi posamezni elementi. Na zadnjem delu je običajno nameščen kolut z gibljivo plastično drenažno cevjo, ki se nato skozi kopalno škatlo namešča direktno v izkopani rov. Istočasno skozi lijake za pesek okrog cevi nasipamo ovoj primerne debeline. Velja omeniti še sveder pod roko za izkopavanje, ki skrbi za odmikanje izkopyane zemlje. Pomembno funkcijo ima tudi škripec za odmikanje oz. kolesce, ki potiska lahko cev na dno in s tem preprečuje, da bi se pod njo vsipala zemljina in s tem preprečuje morebitne neravnine. Se pa takšno kolesce uporablja samo v primerih, ko ne vgrajujemo peščenega ovoja.



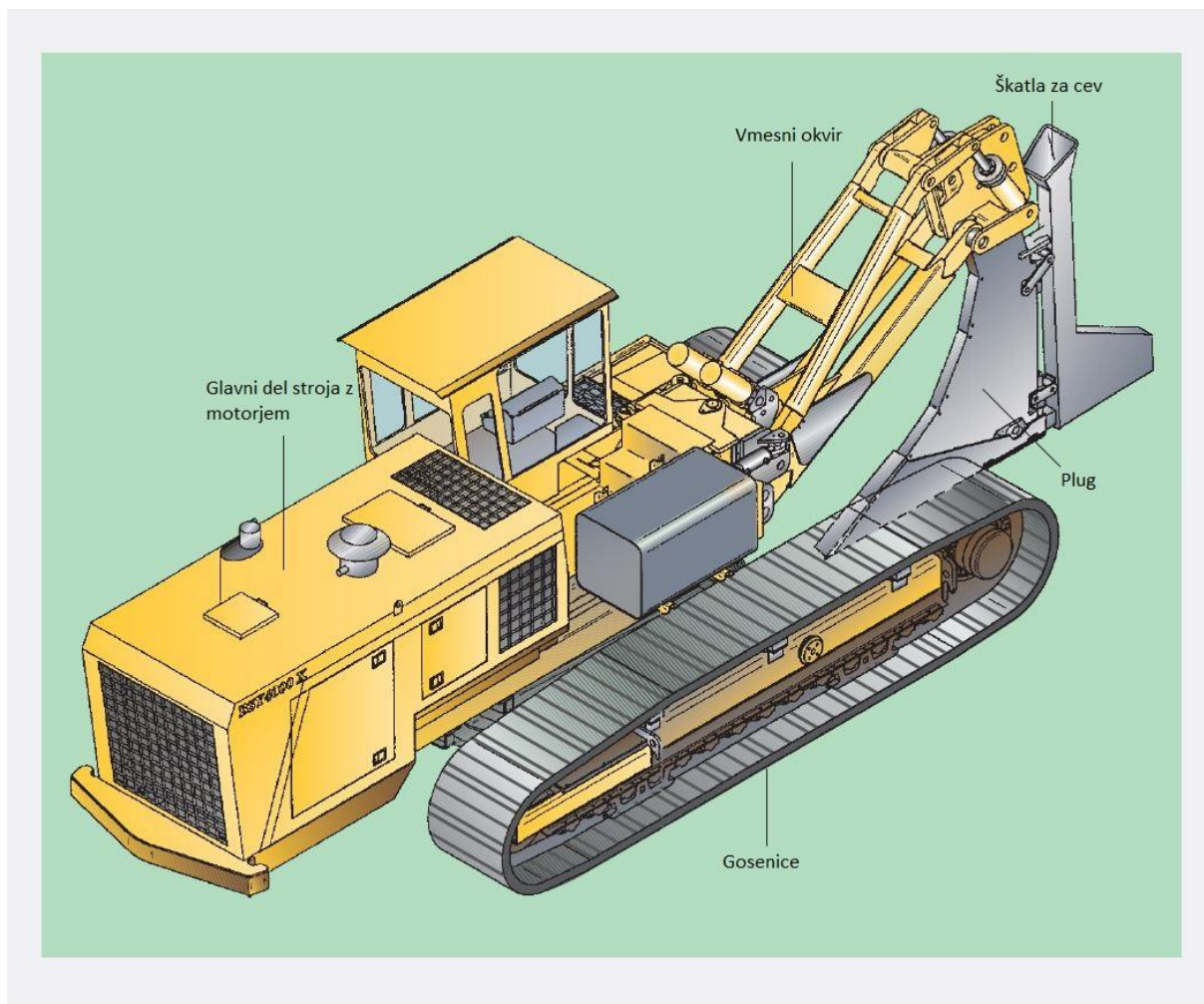
Slika 9: Shematski prikaz posebnega rovokopača (ang. *trencher*) (prirejeno po Nijland in sod., 2005:239)

Številni elementi se lahko izrabijo in da bi čim boljše ohranjali vrednost ter uporabnost teh dragih strojev, je pomembno, da so dobro vzdrževani. Glavni del za izkopavanje je veriga z jeklenimi zobmi in zobnik verige. Količina obrabljenih delov na položeni km drenažne cevi predstavlja pomemben faktor pri celotnem strošku vgradnje. Z dobrim vzdrževanjem in pazljivostjo pri uporabi, se življenjska doba teh ključnih delov stroja lahko precej podaljša (Nijland in sod., 2005).

Za drug način vgradnje drenažnih cevi, to je brez izkopavanja zemljine oz. z neposrednim vkopavanjem, so se razvili malce drugačni stroji. Nijland s sod. (2005) izpostavlja naslednja dva tipa:

- Vertikalni plug;
- V-plug.

Razlikujeta se predvsem po obliki pluga, ki ga za seboj vleče bager na gosenicah. Pri vertikalnem plugu (slika 10) gre za navpično postavljen zarezni nož oziroma plug, V-plug pa dela zarezo v obliki črke V. V obeh primerih se nato skozi odprtino na vrhu pluga vstavlja cev, ki se nato polaga v zemljinu na dnu pluga. Na koncu pluga, na mestu, kjer se polaga cev, je še jeklena zaklopka z noži na obeh straneh. Ta imajo podobno funkcijo kot škripci za polaganje na rovokopaču, torej da pomagajo obdržati lahke cevi na mestu in da ne prihaja do nezaželenih neravnin.



Slika 10: Shematski prikaz vertikalnega pluga (prirejeno po Nijland in sod., 2005:272)

V principu se vgradnja z neposrednim vkopavanjem ne razlikuje veliko od vgradnje drenov s trenčerjem, glavne razlike pa so naslednje (Nijland in sod., 2005):

- Možno je vgrajevati le poljske drene (velikost drenov ne sme presegati 125 mm za V-pluge in 200 mm za vertikalne pluge);
- Izdelava peščenega ovoja ni možna, zato morajo biti cevi predhodno ovite;
- V peščenih zemljinah naj se uporabi vertikalni plug;
- Za nadzor višine se lahko uporabi laser; namestitev je enaka, kot pri trenčerju;
- Hitrost vgradnje je precej višja, zato mora biti logistična organiziranost na visokem nivoju;
- V primeru kompozitnih elementov je potrebno izkopati začetne luknje z bagrom.

## 2.5 Površinsko dreniranje

Na ravnih pridelovalnih površinah, z naklonom manjšim od 0,5 odstotka, na mestih z nižjo stopnjo infiltracije, ki je nižja od akumulirane vode po dežju, taljenju snega, namakanju ali površinskem



odtoku iz višje ležečih površin, lahko pride do zastajanja vode. V hladnih klimatskih območjih je kombinacija taljenja snega in pomrznjene zemljine še posebno neugodna, medtem ko je podobno težavno v sušnih predelih, kjer ob namakanju pride še do nepričakovanega močnega deževja. Voda zastaja na mestih, kjer je pronicanje prenizko. Podoben proces nastaja tudi na mestih, kjer je podtalnica globoka (Van der Molen in sod., 2007).

Finozrnate zemljine, še posebno tiste s slabšo strukturo, ki hitro tvorijo skorjasto površino, so najbolj dovzetne za slabo infiltracijo ter zastajanje vode. Običajno do tega pride na samem površju zemljine ali takoj pod njo, v posebnih primerih pa do zbitosti zemljine lahko pride tudi v globljih slojih. Eden od vzrokov za zastajanje vode je tudi nezadostna podpovršinska drenaža (naravna ali umetna), katere posledica je visok nivo podtalnice (tik pod ali celo nad površjem). V tem primeru ni problematična pomanjkljiva infiltracija, ampak premajhen izpust ter odvajanje podtalnice. Ta dva procesa se včasih medsebojno ovirata. Občasno povišana podtalnica lahko tvori zbito in skorjasto površino zemljine, kar povzroča zastajanje vode na površju že pri manjših padavinah. Z vsakimi naslednjimi padavinami se takšna območja samo še povečujejo (Van der Molen in sod., 2007).

Zastajanje vode na površini ima lahko negativne učinke na produktivnost poljedelstva. Zaradi pomanjkanja kisika in presežnega nivoja dioksida v koreninskem predelu, se zavira proces kaljenja in prenos hranilnih snovi, posledično pa je s tem zmanjšan poljedelski donos. Dodaten problem nastane na območjih z zmernimi klimatskimi pogoji ter višjo vlažnostjo, kjer zaradi relativno nizkih spomladanskih temperatur v zemljini pride do zakasnele rasti in s tem posledično manjšega pridelka. Presežna količina vode v zgornjih plasteh lahko prav tako vpliva na izvajanje poljedelskih del (Van der Molen in sod., 2007).

Kritična dolžina poplavljenega pridelka se mora oceniti na podlagi lokalnih izkušenj in lahko variira glede na klimatske pogoje, tip zemljine, občutljivost pridelka, stopnjo razvoja poljščin ter pogojev za pridelavo. V vlažnih zmernih klimah, kjer se običajno sadijo paradižniki in korenje, je potrebno načrtovati drenaže tako, da je v roku 24 ur presežna voda odvedena s površine. Pri hortikulturnih pridelkih z višjim donosom mora biti ta čas še manjši, to je od 6 do 12 ur med fazo rasti, medtem ko sladkorni trs tolerira namočenost tudi do več dni (Van der Molen in sod., 2007).

Cilj površinske drenaže je izboljšanje pogojev za rast z odvajanjem odvečne vode na površini oziroma v njeni bližini, preden lahko ta škodljivo vpliva na pridelek. Površinska drenaža je potrebna tudi z vidika uporabnosti zemljine in njene prevoznosti, še posebej v času priprave zemljine (oranje, branje, sajenje) ter žetve (Van der Molen in sod., 2007).

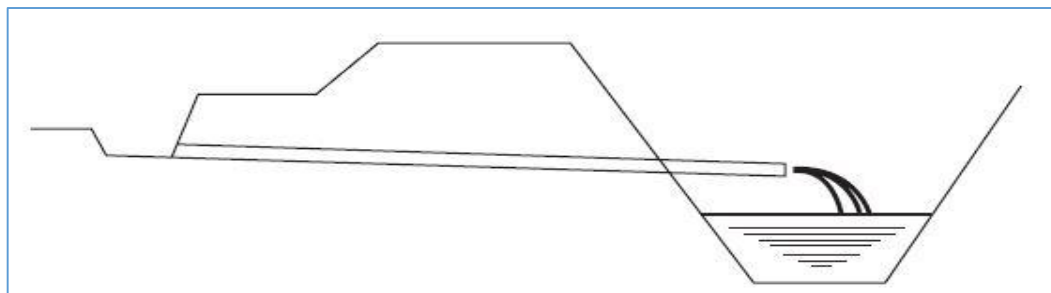
Da bi to dosegli, bi morala biti površina terena čim bolj poravnana, brez manjših vboklin in izboklin. Primerna rešitev je tudi nagnjenost do zbirnih točk, kot so drenažni kanali ali plitve zatravljenе vodne poti, iz katerih se voda kontrolirano izpušča skozi izpuste in s tem preprečuje erozijo brežin kanalov. Izravnavanje površja je eden od najcenejših in najproduktivnejših ukrepov in se lahko izvaja vsakoletno takoj po končanem oranju (Ochs and Bishay, 1992).

V nadaljevanju bomo najprej predstavili drenažne sisteme, ki odvajajo odvečno vodo s površja, ločeno za ravninska območja in pa pobočja ter neravnine. Poglavje o površinskem dreniranju bomo zaključili s pregledom rešitev za križanja površinskih drenov.

### 2.5.1 Površinski drenažni sistemi na položnih površinah

Na položnih območjih običajno uporabljamo različne načine za odvajanje odvečne vode, vse pa je odvisno od okoliščin. Na mestih, kjer visok nivo podtalnice ne predstavlja problema, za odvajanje zadostujejo že brazde, ki jih naredimo z oranjem ali dvignjena greda. V nekaterih primerih pri višjem nivoju podtalnice ali površinskih vodah pa za odvajanje zadostuje že sistem plitvih kanalov, ki je kombiniran s površinskim dreniranjem, kjer je to potrebno (Van der Molen in sod., 2007).

Ena izmed možnih rešitev, ki jo opisuje Van der Molen s sod. (2007) je brazda ob vzdolžnem delu polja, ki je vzporedna kolektorju drenažne vode. Z zgraditvijo manjšega nasipa med brazdo in kolektorjem lahko preprečimo erozijo zemljine. Zbrano vodo v brazdi spuščamo v kolektorje skozi krajše podzemne cevi (slika 11). Podoben princip drenažnega izpusta za odvajanje odvečne vode se uporablja na riževih plantažah.



Slika 11: Shematični prikaz povezave med brazdo in kolektorjem (Van der Molen in sod., 2007:75)

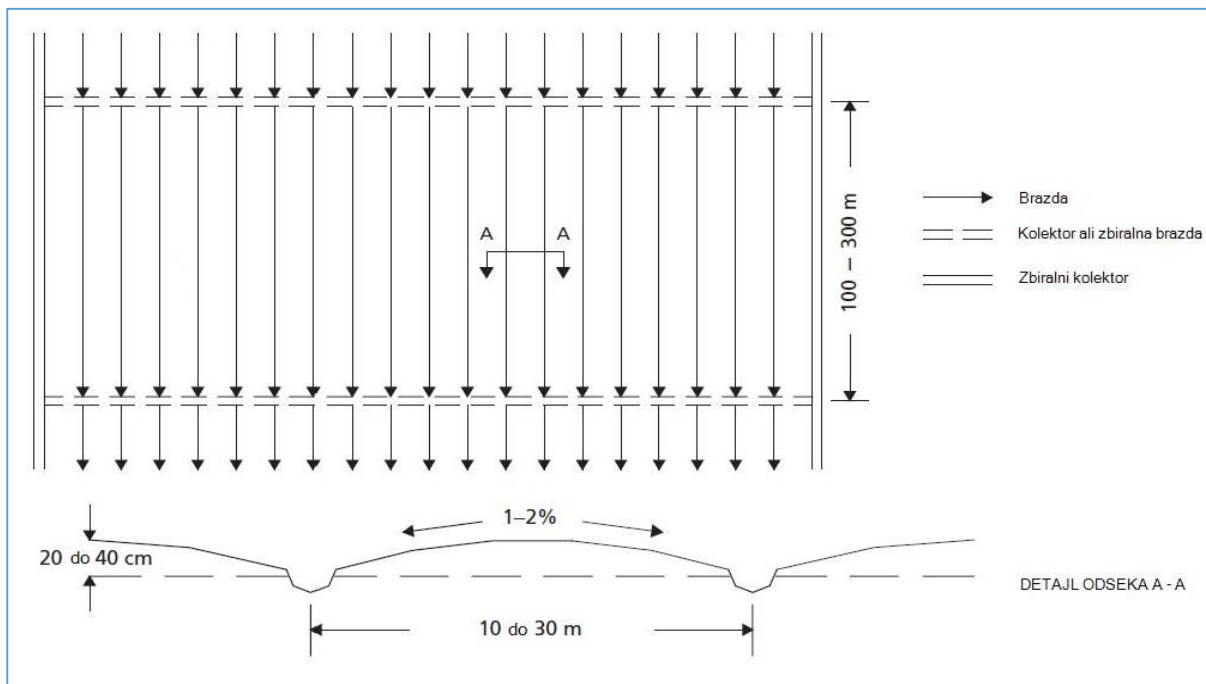
Na poljedelskih površinah z rahlo dvignjenim osrednjim delom med dvema kolektorjema (lahko sta to tudi brazdi) ter vzdolžnimi brazdami, so poljščine, ki se sadijo na dvignjenih sedlih med brazdami, precej zaščitene pred preplavljanjem. Številne brazde, ki se od sredine površine spuščajo proti robu, poskrbijo za sprotno odvajanje presežnih padavin vse do kolektorjev oz. brazd na robu obdelovalne površine. Ta nagnjenost se lahko uporabi tudi za potrebe namakanja, tako da se voda spušča navzdol po brazdi. Sama dolžina nagnjenega pobočja je najbolj odvisna od dimenzije celotne obdelovalne površine, običajno pa znaša med 150 do 250 m. Nagnjenost pobočja je navadno 0,5 do 5 promilov. To zadostuje za pretoke, ki so manjši od 0,5 m/s, s tem pa je preprečena erozija večine zemljin (Van der Molen in sod., 2007).

Na položnih površinah z nizko stopnjo infiltracije se površinski odtok pospešuje z oblikovanjem površine v grede, ki so konveksno izbočene med dvema brazdama (slika 12). Primerna dolžina brazd med kolektorji ali zbiralnimi brazdami, ki jo navaja Van der Molen s sod. (2007), znaša od 100 pa tudi do 300 m. Smer odtekanja vode je odvisna od smeri naklona površine.

Kot je prikazano na detajlu odseka A-A (slika 12), padavine gravitacijsko odtekaajo z vrha grede proti nižje ležečim brazdam, razmak med njimi pa znaša od 10 do 30 m. V najvišjem delu višina gred znaša nekje od 20 do 40 cm, naklon iz sredine proti brazdam pa znaša med 1 in 2 % in je zadosten. Pri nekaterih tipih zemljin se lahko zgodi, da so previsoke grede izpostavljene eroziji. Sama izvedba takšnih gred je možna s pomočjo večkratnega pluzenja in glajenja zemljine. Prestrezne brazde so dovolj plitve, da še vedno omogočajo prehodnost delovnim orodjem. Pomembno je, da se pluzenje vedno izvaja v isti smeri, kot prvič, vse ostale poljedelske operacije pa se lahko izvajajo v poljubnih smereh (Van der Molen in sod., 2007).

Širina in naklon gred sta odvisna od prepustnosti zemljine, namembnosti in opreme za kmetovanje. Ochs in Bishay (1992) predlagata naslednje širine glede na hitrost drenaže:

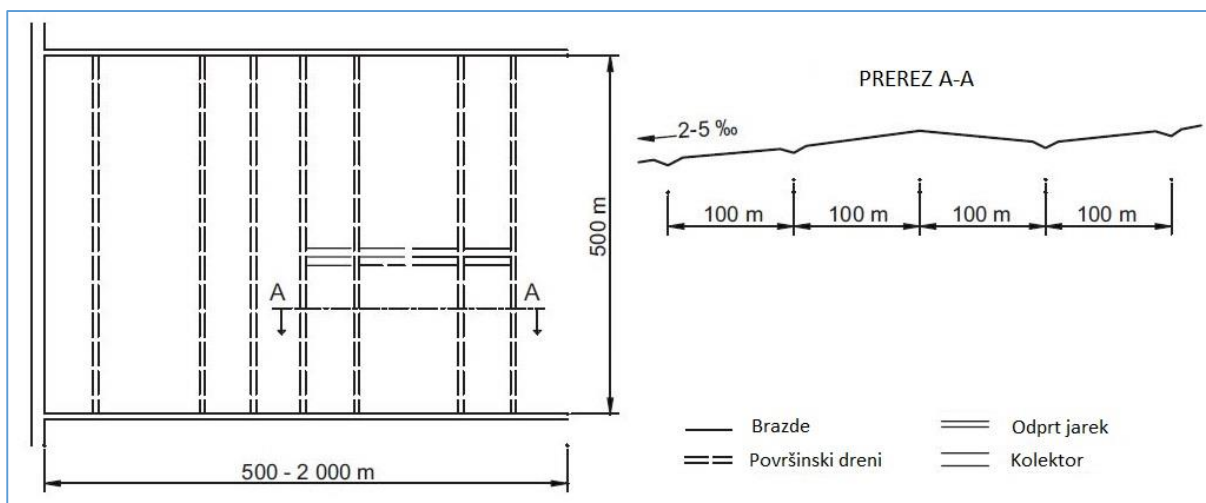
- 8-12 m za površine z zelo počasno notranjo drenažo;
- 15-17 m za površine s počasno notranjo drenažo;
- 20-30 m za površine z znatno notranjo drenažo.



Slika 12: Torisna postavitev drenažnega sistema s konveksno dvignjenimi gredami ter brazdami z detajlom izseka A-A (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:75)

Nadalje Ochs in Bishay (1992) priporočata uporabo takšnega sistema s širšimi gredami predvsem za pašniško rabo, pridelavo sena ter poljščine, ki dovoljujejo, da se površina lahko »zgladi«. V sedanji praksi se navadno uporabljajo vzporedni poljski drenažni sistemi, četudi gre za ekstremno ravna področja. Za konec lahko omenimo še nekaj slabosti gredastih sistemov, ki jih omenjata Ochs in Bishay:

- Naklon brazde ni vedno zadosten, še posebno v primerih izvedbe s plugom;
- Vrhnji sloj zemljine se z roba grede nariva proti sredini, s tem pa se lahko zmanjša donosnost pridelka v bližini brazd;
- Brazde potrebujejo redno vzdrževanje;
- Do neke mere takšen sistem ovira stojno obdelavo površin.



Slika 13: Toris vzporednih poljskih drenaž (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:76)



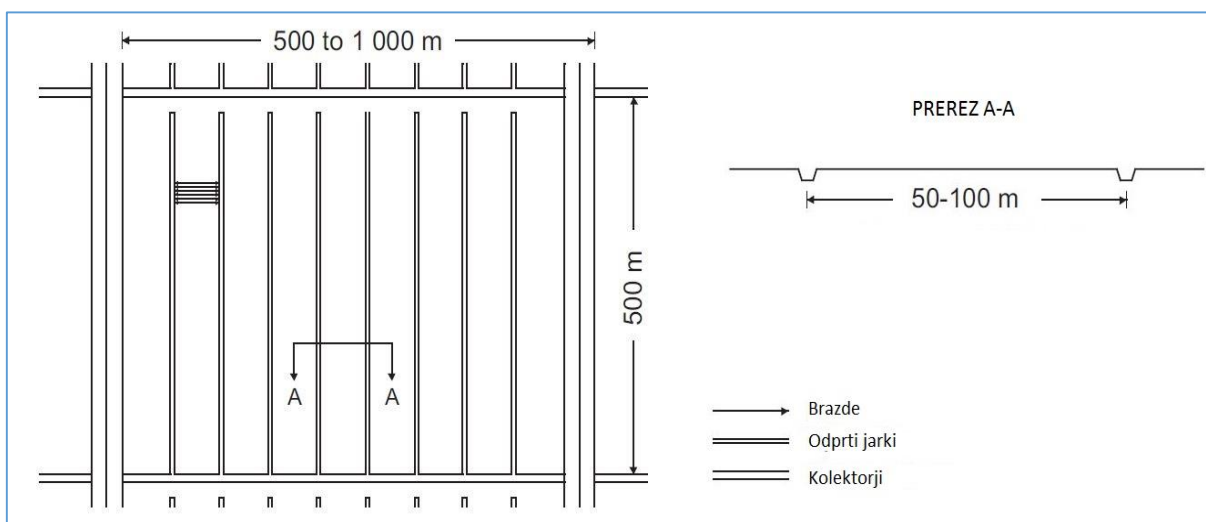
Naslednji tip površinskega dreniranja, ki je shematsko predstavljen na sliki 13, je vzporedni poljski drenažni sistem, ki je najbolj pogost in v splošnem najbolj učinkovit na ravninskih površinah, še posebno tam, kjer so površinski nakloni že narejeni. Takšen sistem vzporednih drenaž omogoča intenzivno kmetovanje s pomočjo mehanizacije (Van der Molen in sod., 2007).

Plitvi poljski dreni so običajno vzporedni, ne pa nujno enako oddaljeni. Razmik se lahko prilagaja kmetijski mehanizaciji, je pa odvisen od poljščin, ki bodo posajene, teksture in prepustnosti zemljine, topografije ter naklona pobočja. Razmik med dreni znaša med 100 in 200 m na relativno ravnih površinah in je odvisen od tega, ali je površina nagnjena zgolj v eno ali na obe smeri (Ochs in Bishay, 1992).

Za vzporedne poljske drenaže Van der Molen s sod (2007) navaja, da naklon brežin ne sme biti večji od 1:8 (v primeru prečkanja mehanizacije) in vzdolžni padec med 0,1 in 0,3 odstotke in nikoli manj kot 0,05 odstotkov.

Za zagotavljanje dobre površinske drenaže je potrebno poljščine zasaditi v takšni smeri, da je zagotovljen nemoten površinski odtok proti poljskim drenom. Oranje naj bi se vedno izvajalo vzporedno z dreni, vse ostale dejavnosti pa so pravokotne nanje. Pod posebnimi pogoji, so lahko poljski dreni tudi globlji in na ta način zagotavljajo dodatno podzemno dreniranje. Na nekaterih mestih, posebno pri izpustih, so potrebni manjši pokriti odseki s prepusti, ki omogočajo dostop do polja (Van der Molen in sod., 2007).

Kot zadnjega iz tega sklopa dreniranja Van der Molen s sod. (2007) opisuje sistem manjših vzporednih jarkov, ki so globoki med 0,6 in 1,0 m. Takšen sistem opravlja dvojno funkcijo, in sicer odvaja odvečni površinski odtok ter regulira visoke nivoje podtalnice. Učinkovitost se pokaže predvsem na mestih, kjer podtalnica stagnira na slabo prepustnih tleh, ki hkrati preprečujejo hiter dvig nivoja podtalnice v obdobju močnejših padavin. V teh primerih se vsa kmetijska dela opravljajo vzporedno z drenažami.



Slika 14: Tloris drenažnega sistema z manjšimi vzporednimi jarki (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:77)

Kot je razvidno iz prečnega prereza A-A (slika 14) Van der Molen s sod. (2007) predlaga razdaljo med jarki nekje od 50 pa do 100 m. Z večjimi razmiki ali v slabše prepustnih zemljinah se lahko namesto brazd uporabijo plitvejši jarki. Razdalja plitvih jarkov je odvisna od razmika jarkov za drenažni izpust. Nadalje priporoča, da vzdolžni naklon brežin znaša 2 – 5 promila za zagotavljanje zadostnega izpusta in istočasno tudi preprečevanje njihove erozije. Za območja, kjer je površinski odtok lahko problematičen, je možna rešitev strojno oblikovanje površine v eno ali dvostransko nagnjen teren.

### 2.5.2 Drenažni sistemi na pobočjih in neravninah

Na razgibanih površinah so na voljo številne možnosti za izvedbo prostega površinskega odtoka in pogosto tudi naravno podzemno drenažo do globoke podtalnice. Glavno slabost na takšnih površinah predstavlja erozija, ki na ravninskem delu povzroča sedimentacijo delcev, površinski odtok pa lahko vodi do prekomernega poplavljanja v spodnjih delih območja. V spodnjih delih je zaradi tokov podtalnice možno tudi pronicanje na površje (Van der Molen in sod., 2007).

Na mestih, kjer površinski odtok na pobočjih ogroža poljedelske površine, se lahko na nižjih delih naredijo manjši prečni jarki, ki potekajo skorajda vzdolž obrisa pobočja. Razmiki med jarki so odvisni od naklona, padavin, infiltracije zemljine, hidravlične prevodnosti, stopnje erozijske ogroženosti in načina poljedelske rabe. Splošnih pravil ni. Površinski odtok se izpušča v odprte zbiralne drenažne jarke, ki potekajo vzdolž pobočja (pravokotno na prečne jarke) in se izliva v glavni drenažni kanal (Van der Molen in sod., 2007).

Odprte zbiralne drenaže so lahko ob prevelikem naklonu pobočja izpostavljene eroziji, zato Van der Molen s sod. (2007) predlaga izgradnjo naklonov do nekaj odstotkov, kot drugo možnost pa navaja izgradnjo jezov ali vodnih pregrad.

Za nemoteno in hitrejšo obdelavo površin je potrebno omogočiti prehodnost jarkov s kmetijskimi stroji z izgradnjo nasipov ali jezov, v katere je vgrajena cev, ki prepušča zbrano drenažno vodo. Širina in dolžina nasipa je odvisna predvsem od tipa strojev, ki se bo uporabljal na obravnavani površini. Navadno zadostuje že širina do 5 m. Ob izgradnji se izkopani material lahko porabi na nižjih legah ali na spodnji strani jarkov (Van der Molen in sod., 2007).

Na poljih z razpršenimi depresijami, ki so pregloboke ali prevelike, da bi jih uredili s kmetijskimi posegi, je ena od možnih in ekonomsko najbolj sprejemljivih rešitev izgradnja posamičnih drenaž. Z njimi medsebojno povezujemo depresije in odvajamo vodo do ustreznih izpustov. Globina drenov naj znaša vsaj 0,25 m, same dimenzije pa so odvisne predvsem od topografije terena in projektiranega izpusta glede na prispevno območje. Minimalna globina je zahtevana na najnižji točki depresije. Da bi zadostili potrebam po prečkanju mehanizacije, naj naklon brežin ne presega razmerja 1:8. Z materialom, ki ga pridobimo z izkopavanjem, lahko zapolnimo manjše depresije ali pa ga enakomerno razprostremo, da ne ovira površinskih vodnih tokov. Predvsem na položnejših delih je včasih potrebno glajenje površine, da bi zagotovili učinkovito delovanje površinske drenaže (Ochs in Bishay, 1992).

Na valovitih površinah je pomembno, da tlorisna shema drenažnega sistema čim bolj sledi topografiji terena in obstoječim vodnim potem. V ožjih dolinah je zadosten že en odprti dren, medtem ko so na širših območjih potrebni obvodni ali prestrezni dreni, ki so lahko ob vznožju pobočja obdani z nasipi, ki preprečujejo poplavljanje ob povečanem površinskem odtoku. Dreni lahko služijo ne samo za prestrezanje površinske vode, ampak tudi podtalnice. Le ta lahko v ravninskem delu povzroča pronicanje na površje in povzroča daljšo zasičenost z vodo in v sušnih predelih zasoljenost zemljine. Ta pojav je pogost ob vznožju pobočja ali na nižje ležečih površinah, kjer je pogosto pronicanje vode (Van der Molen in sod., 2007).

Izbira ustreznega tipa prestreznih drenov je odvisna od relativnih količin površinskega odtoka in pronicanja. V primeru odprtih jarkov morajo biti pobočja precej položna, še posebno v zgornjih delih obdelovalnih površin, da preprečimo morebitno delovanje erozije, k temu pa lahko dodatno pripomore zatravljenost. Podobno je priporočljivo tudi za prestrezne jarke in to na zgornji strani, od koder se v jarke steka drenažna voda in prestrezajo morebitni sedimenti. Na mestih, kjer pronicanje predstavlja večji problem, so potrebni globlji jarki, uporabijo pa se lahko tudi cevne drenaže, če je površinski odtok zanemarljiv (Van der Molen in sod., 2007).

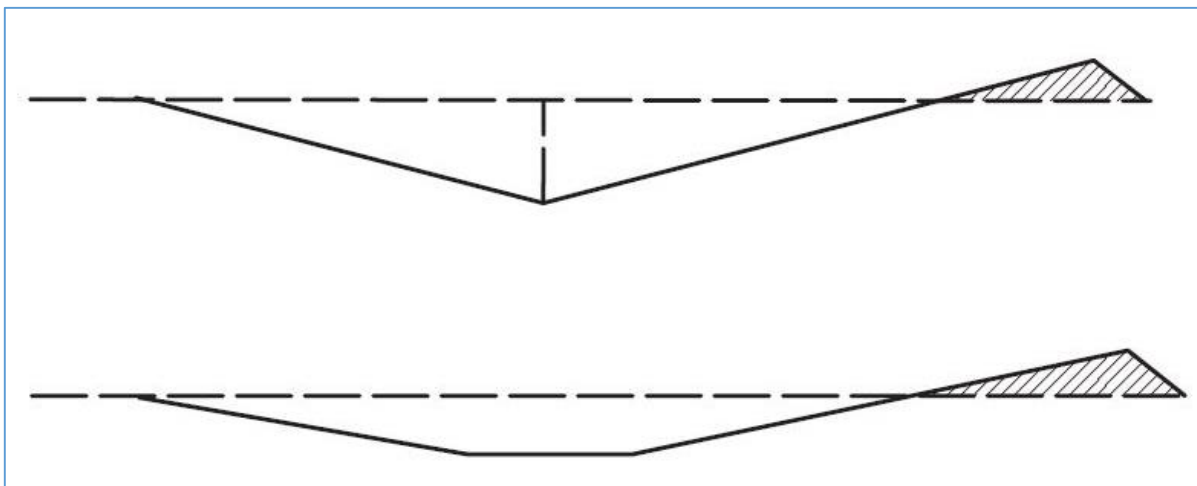
V ožjih dolinah se pogosto zgodi, da je naklon še vedno prevelik, zato je lahko dno in brežina jarka podvržena eroziji. Van der Molen s sod. (2007) za takšne primere predlaga razdelitev doline v

razdelke, ki so medsebojno pregrajeni z majhnimi prečnimi jezi. Zbrana voda se lahko nato ali preliva preko jezu na najnižji točki razdelka ali pa se prepušča v nižje ležeče točke s pomočjo v zemljo vgrajenih cevi in točke izpusta, ki je običajno narejena iz plastičnih cevi večjega premera, okrog same cevi pa se nahaja peščeni ovoj.

### 2.5.3 Prečni prerezi drenažnih jarkov

Kapaciteta jarkov mora zagotavljati zadostne pretoke v času deževnih obdobj. Včasih so ti še širši, da bi zagotovili večjo akumulacijsko sposobnost odprtih vodnih sistemov. Takšen način akumuliranja je zelo dober način za zmanjševanje ekstremnih pretokov z območja ob močnih padavinah. Posledično se po toku navzdol zmanjša potrebna kapaciteta vodnih konstrukcij, kot so umetne struge, prepusti in črpališča (Van der Molen in sod., 2007).

Prečni prerezi jarkov so običajno trapezne oblike, manjši pa so lahko tudi v obliki črke v in so brez vodoravnega dna. Njihove dimenzije so odvisne od naslednjih parametrov: pričakovani odtok, količina potrebne akumulacijske vode, prehodnost za mehanizacijo, tveganje za erozijo brežin in razpoložljiva sredstva za vzdrževanje (Van der Molen in sod., 2007).



Slika 15: Prečni prerez dveh primerov prehodnega drenažnega kanala (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:80)

Ker jarki lahko ovirajo poljedelske operacije, se pogosto namesto njih gradijo prehodni drenažni kanali (slika 15), ki so načrtovani tako, da ohranjajo poljedelsko rabo in se ne ozirajo toliko na hidravlične lastnosti kanalov. Na mestih, kjer se pojavi erozija zemljine, lahko zasadimo travo in pridobimo zatravljene vodne poti. Ni pa to vedno dobra rešitev, saj v sušnem obdobju travnata ruša lahko hitro odmre (Van der Molen in sod., 2007).

### 2.5.4 Načrtovanje izpustov

Izpust pričakovanih presežnih padavin narekuje dimenzije posameznih drenažnih komponent vzdolž celotnega sistema. Vrhove oziroma maksimume površinskega odtoka povzročijo večinoma padavine ali taljenje snega. Najprej je potrebno oceniti drenažni koeficient, ki je definiran kot razmerje odstranjene količine vode na enoto površine. Nato je potrebno izračunati še volumen pretoka, ki je odvisen od velikosti območja (Van der Molen in sod., 2007).

Na ravninskih območjih načrtovanje izpusta temelji na količini presežnih padavin, ki jih je treba odvesti s pomočjo površinskega drenažnega sistema med kritičnim obdobjem. Prvi del se lahko oceni na podlagi vodne bilance ali s pomočjo empirične formule. Na pobočjih zastajanje vode načeloma ne

predstavlja problema, je pa načrtovanje izpusta potrebno, da lahko dimenzioniramo posamezne elemente. Izpusti izhajajo iz površinskih procesov v obravnavanem porečju. Na voljo imamo več metod za izračun hidrograma porečja, iz katerega lahko potem načrtujemo količino izpusta (Van der Molen in sod., 2007).

V nadaljevanju bomo predstavili osnovne koncepte površinskega odtoka, kot je npr. vodna bilanca in hidrogram površinskega odtoka, nadalje pa še konkretne metode za izračun načrtovanja izpusta.

Vodno bilanco lahko ocenimo iz količine presežne vode, ki jo je potrebno odvesti s pomočjo površinskega dreniranja med kritičnim obdobjem padavin. Van der Molen in sod. (2007) izpostavlja enostavni izračun presežne količine po enačbi (7), kjer se skupna količina padavin zmanjša za količino neposrednega izhlapevanja ter infiltracije vode v zemljino. Pri krajših, nekaj urnih padavinah, je izhlapevanje zanemarljivo v primerjavi z infiltracijo.

$$S_r = P - E - I_{inf}, \quad (7)$$

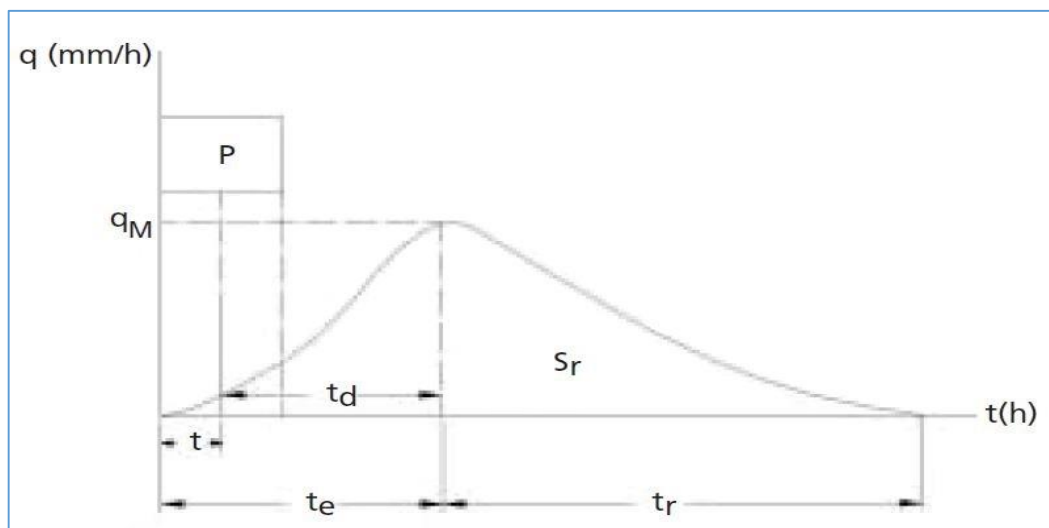
kjer so:

- $E$         neposredna evaporacija oz. izhlapevanje [mm],
- $I_{inf}$       infiltracija v zemljino [mm],
- $P$         skupne padavine [mm],
- $S_r$         presežna količina vode na površini zemljine [mm].

Velja še dodati, da pri vseh zemljinah infiltracija s časom lahko variira. Van der Molen s sod. (2007) poudarja, da je infiltracija v suhem stanju zemljine precej večja kot pa v razmočenem stanju. Glavni razlog tiči predvsem v tem, da je na začetku hidravlični tlak med vlažno površino in suho plastjo zemljine precej velik, po določenem času in zasičenosti zemljine z vodo pa se ta uravnovesi predvsem zaradi učinka gravitacije. Še eden od razlogov za zmanjšanje infiltracije je nabrekanje zemljin, še posebno zemljin glinastega tipa.

Na poljedelskih površinah je površinski odtok odvisen predvsem od fizičnih značilnosti porečja, kot sta oblika in velikost, od značilnosti zemljine, naklona pobočja, naravne vegetacije in uporabe površine. Največji drenažni pretok je prav tako odvisen od lastnosti glavnega drenažnega sistema, kot je gostota drenov, prečni prerezi in nakloni vodnih poti in vzdrževanje sistema (morebitne prepreke omejujejo sposobnost prenašanja vode) (Van der Molen in sod., 2007).

Površinski odtok na enoto časa skozi določeno časovno obdobje lahko predstavimo s hidrogramom površinskega odtoka (slika 16). Po določeni količini padavin ( $P$ ) se specifični izpust drenažne vode na točki izpusta iz sistema ( $q$ ) intenzivno povečuje ves čas do vrha, kar predstavlja čas naraščanja ( $t_e$ ). Ko pretok doseže maksimalno vrednost ( $q_M$ ), se specifični izpust začne intenzivno nižati, kar na grafu predstavlja čas zmanjševanja ( $t_r$ ). Časovni interval med povprečnim časom in nevihto ( $t$ ) in časom, ko se pojavi maksimalni pretok, se imenuje čas zakasnitve ( $t_d$ ). Skupno količino površinskega odtoka predstavlja celotna površina pod krivuljo ( $S_r$ ). Hidrogram celotnega drenažnega izpusta dobimo tako, da na hidrogram padavinskega površinskega odtoka dodamo še hidrogram baznega odtoka (podtalnica) (Van der Molen in sod., 2007).



Slika 16: Hidrogram površinskega odtoka (Van der Molen, 2007:82)

Za samo načrtovanje in izračun izpustov je v rabi kar nekaj različnih metod z različnimi pristopi. Ustreznost posamezne metode se vsekakor razlikuje glede na to, ali gre za poševne površine ali pa za površine na ravninskem območju. Van der Molen in sod. (2007) naštevajo naslednje možne metode izračunov:

- »Batch« metoda za vlažna ravninska območja, ki temelji na padavinah, odtoku in zalogah v različnih rezervoarjih;
- Empirične formule se lahko uporabijo za ravninska območja (npr. Cypress Creek formula, ki je bila razvita za ravninska območja zahodnega dela ZDA);
- Statistične analize in merjenje pretokov na podlagi podatkov zadnjih 15-20 let ob predpostavki, da se površje in hidrološke značilnosti območja niso preveč spreminjali;
- Hidrogram enote, s katerim lahko napovemo razmerje med padavinami in površinskim odtokom;
- Racionalna formula se lahko uporabi za manjša poljedelska območja (100-200 ha) z nizko stopnjo kapacitete za zadrževanje vode, kjer hidrogrami enote običajno niso na voljo. Zato se je potrebno opreti na nekatere ključne točke v sistemu, pri paketih se dela primerjava med površinskim odtokom in padavinami. To razmerje se nato aplicira skozi celoten sistem;
- CN metoda se največkrat uporablja za območja, kjer imamo na voljo razpoložljive podatke o padavinah, nimamo pa nobenih podatkov o površinskem odtoku. Površinski odtok se lahko oceni na podlagi razpoložljivih podatkov o padavinah in fizičnih karakteristikah območja. Metodo je razvila SCS<sup>12</sup> na podlagi študij in preiskav na območjih, ki so manjša od 800 ha.

Vsaka od omenjenih metod je predvidena za območja z določenimi značilnostmi, tako da je pred uporabo smiselno opredeliti ustreznost le te. V nasprotnem primeru lahko prihaja do precejšnjih anomalij v samih rezultatih.

<sup>12</sup> SCS je okrajšava za organizacijo »Soil Conservation Service«, ki se je v letu 1994 preimenovala v NRCS (Natural Resources Conservation Service). in predstavlja vladno agencijo v ZDA, ki kmetom, rančerm in gozdarjem pomaga ohranjati kvaliteto zemlje, vode, zraka in ostalih naravnih danosti. Vsi programi so prostovoljni in ponujajo znanstvene rešitve, ki so koristne tako lastnikom zemljišč kot tudi samemu okolju (<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/about/>, pridobljeno 1.5.2016).

## 2.6 Podpovršinska drenaža

Da bi na ravninskih območjih dosegli ustrezno raven podtalnice in primerno stopnjo zasoljenosti zemljine za rast pridelkov, v zemljino vgrajujemo drenažne sisteme, s katerimi to nadzorujemo. To lahko dosežemo s sistemom vzporednih drenaž ali s pomočjo črpanja vode iz vodnjakov. Prva oblika je znana kot vodoravna podpovršinska drenaža, čeprav so dreni vedno položeni z določenim naklonom. Druga oblika drenaž se imenuje vertikalna (Van dre Molen in sod., 2007).

Včasih je sistem vzporednih drenaž sestavljen iz globokih odprtih kanalov, pogosteje pa so v rabi zakopane poljske drenaže v obliki perforiranih cevi in v nekaterih primerih tudi podpovršinski kolektorji, ki transportirajo drenažni odtok vse do odprtega sistema oz. izliva v vodna telesa. Drenažna voda je nato speljana skozi glavne drenaže vse do iztoka. Manj pogosta je uporaba vertikalnega drenažnega sistema, ki je sestavljen iz vodnjakov za črpanje iz vodonosnikov (Van der Molen in sod., 2007).

Podpovršinske drenaže se lahko uporabljajo tudi za pobočne terene. Kot enega izmed možnih načinov rabe Van der Molen s sod. (2007) omenja prestrezanje podtalnice, ki skozi plasti zemljine pronica z višje ležečih terenov in kjer je takšen način bolj enostaven, kot pa uravnavanje presežne vode zaradi visoke podtalnice.

### 2.6.1 Tlorisna zasnova podpovršinskih drenaž

Van der molen in sod. (2007) opisujejo naslednje možne tlorisne izvedbe sistema vzporednih drenaž:

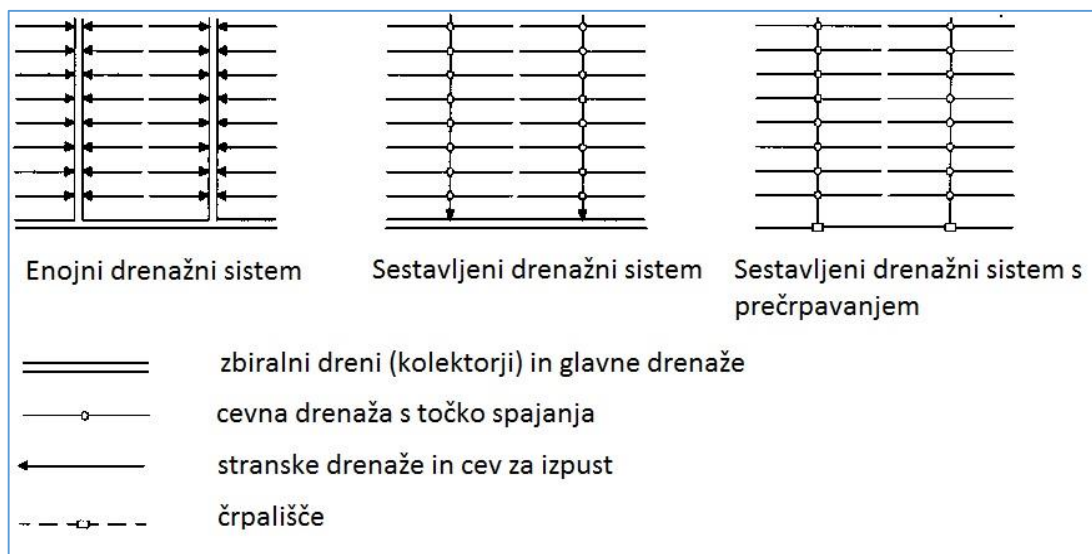
- Enojni drenažni sistem je sestavljen iz globokih odprtih kanalov, iz katerih se voda odvaja direktno v glavni sistem;
- Enojni drenažni sistem, pri katerem se drenažna voda iz perforiranih stransko vkopanih cevi odvaja direktno v odprti glavni kanal;
- Sestavljeni drenažni sistem, pri katerem so perforirane cevi uporabljene kot stranske veje, ki so spojene na zaprte ali včasih tudi perforirane kolektorje. Nato se voda izliva v glavni drenažni sistem.

Glede na to, da vsaka izvedba odprtih drenažnih sistemov otežuje delo z mehanizacijo in hkrati zmanjšuje koristne obdelovalne površine, je pogosto bolj ustrezna dražja investicija v drenažne sisteme, ki so čim bolj vkopani.

Tri možne tlorisne izvedbe vodoravnih drenažnih sistemov (slika 17) nam predstavi tudi Martinez Beltran (1999). Pri prvem, enojnem drenažnem sistemu, se stranske drenaže iztekajo v odprte kolektorje, pri sestavljenem sistemu pa so stranske drenaže spojene s kolektorji, ki so prav tako pod površino in se nato iztekajo v glavni drenažni kanal. Na nekaterih mestih, kjer so odprti kanali precej globoki in ni možen prost gravitacijski izpust, lahko uporabimo črpališča za prečrpavanje zbrane drenažne vode na plitvejša odprta mesta.

Za izbiro primerne drenažnega sistema je potrebno po Martinez Beltranu (1999) upoštevati naslednje faktorje:

- potreba po izpustu površinskega odtoka,
- pobočje mora biti drenirano;
- globina izpusta pri stranskih drenažah;
- potrebe po vzdrževanju in njihove možnosti;
- načrtovana globina podtalnice.



Slika 17: Tlorisna zasnova podpovršinskega drenažnega sistema z vzporednimi drenažami (prirejeno po Martinez Beltran, 1999:444)

Enojni podpovršinski drenažni sistem, ki smo ga omenjali zgoraj in ima pod površino zgolj stranske drenažne cevi, je ustrezen na površinah (Van der Molen in sod., 2007):

- kjer je ob podzemnem toku potrebno odvajati presežne padavine skozi plitev površinski drenažni sistem,
- kjer je potrebno v odprtih kanalih akumulirati določeno količino vode, da zmanjšamo maksimalni pretok na mestu izpusta,
- na zelo ravnih površinah, kjer so drenažni pretoki visoki in ne moremo zagotoviti zadostnega naklona.

Sestavljene podpovršinske drenažne sisteme s stranskimi dreni in vkopanimi drenažnimi kolektorji Van Der Molen s sod. (2007) priporoča na namakalnih površinah v sušnih regijah predvsem zaradi:

- Globine kanalov, ki je običajno precej večja kot pa na območjih z zmerno klimo, posledično to predstavlja obsežnejša in dražja izkopavanja, kot pa če se vgradijo stranske drenaže in kolektorji;
- Presežnih padavin, ki so navadno nepomembne; posledično so drenažni pretoki dokaj nizki, a vseeno zelo slani, zato lahko talni sistem zbiralnikov dovolj dobro odvaja zbrano drenažno vodo iz številnih stranskih drenaž;
- Razraščanja plevela, ki povečuje stroške vzdrževanja pri odprtih sistemih.

Takšen tip sistemov je značilen za območje delte reke Nil v Egiptu, kjer kot pravi Van der Molen s sod. (2007) podpovršinski drenažni sistemi odvajajo le tolikšno količino vode, ki s pronicanjem nadzira nivo slanosti zemljine ter zadostno globino podtalnice, da se preprečuje kapilarni dvig slane podtalnice.

Uporabo sestavljenih sistemov Van der Molen in sod. (2007) priporočajo še v primerih, kot so: pobočne lege, kjer je potrebno preprečevati erozijske procese; na mestih z visoko vrednostjo poljedelskih površin in v primeru nestabilnih zemljin ter posledično nestabilnih brežin kanalov.

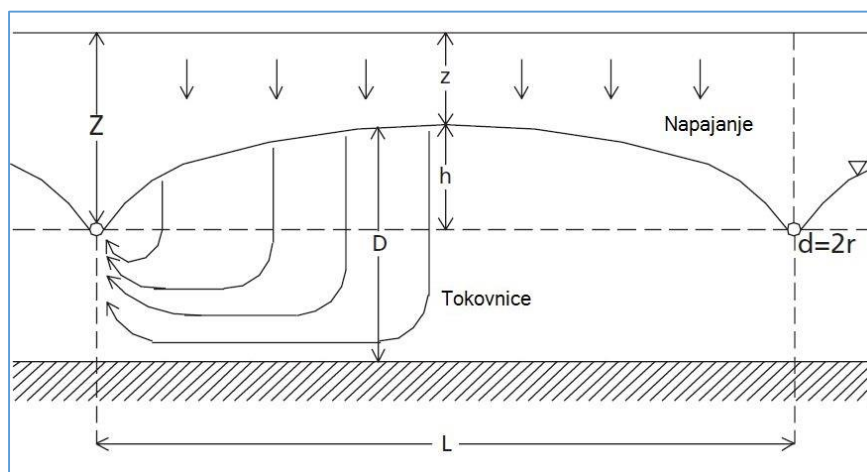
Kot posebnost velja omeniti še sestavljene sisteme s črpališči za prečrpavanje. Na nekaterih območjih, kjer je vzdrževanje ali pa sama izvedba globokih odprtih kanalov težavna, se zbrana voda iz skupine cevni kolektorjev zbira v večje rezervoarje, iz katerih ta potem prečrpava v plitev sistem za izpust (Van der Molen in sod., 2007).



## 2.6.2 Parametri načrtovanja

Pri načrtovanju vodoravnih podpovršinskih drenažnih sistemov so pomembne naslednje dimenzije oziroma parametri (slika 18) (Van der Molen in sod., 2007):

- globina drenaže  $Z$ ,
- razmik med drenažnimi cevmi  $L$ ,
- naklon drenažnih cevi  $s$  ali skupna dovoljena tlačna izguba v drenažni cevi ob intenziteti projektiranega izpusta  $H$ ,
- premer drenaže  $d$ .



Slika 18: Prečni prerez dveh cevi drenažnega sistema (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:90)

Poleg različnih parametrov, ki so prikazani na prečnem prerezu dveh cevi drenažnega sistema (slika 18), velja omeniti še povprečno višino vodonosnika, ki jo predstavlja parameter  $D$ . Na podlagi teh parametrov in pa v odvisnosti od razpoložljivih materialov (bližina proizvodnje cevi) sledi izbira tipa cevi in njenega ovoja. Dodatno je potrebno izbrati še metodo vgradnje in način vzdrževanja vgrajenih cevi.

Predlagani naklon brežine po Martinez Beltranu (1999) mora biti čim večji, da je lahko prerez izpusta drenažnega toka čim manjši, znaša pa nekje med 0,1 in 0,3 %.

Pri načrtovanju dimenzij, kot so npr. povprečna globina drenaž, naklon pobočja in dovoljene tlačne izgube, za večja območja veljajo enotne vrednosti. Včasih so te celo predpisane že vnaprej. Na drugi strani pa se razmik med drenažami, dolžina in premeri cevi lahko razlikujejo od mesta do mesta. Razmiki so lahko odvisni glede na tip posameznih poljščin in lastnosti zemljine, dolžine cevi od tlorisa sistema ter premeri cevi od razmika, dolžine in naklona pobočja (Van der Molen in sod., 2007).

Sama dolžina poljskih drenaž in kolektorjev je v veliki meri odvisna od dimenzij zemljišča, ki ga dreniramo. Velja pravilo, da daljše kot so drenaže, večji mora biti premer cevi. Glede na to, da se z večanjem premera cevi viša tudi cena, je smiselno v zgornjem delu sistema pričeti s polaganjem tanjših cevi, ki jih nato s smiselnimi prehodi povečujemo. Prehodi naj se izvedejo na posebnih vzdrževalnih jaških, ker v nasprotnem primeru lahko pride do okvar pri čiščenju sistema. Podobno kot pri večanju premera cevi, je tudi razmik povezan s stroškom. Pri enojnih sistemih je strošek skorajda obratno sorazmeren razdalji med drenažami (Van der Molen in sod., 2007).

Razmik med drenažami in njihova globina so medsebojno povezani v tem smislu, da čim globlje je polaganje v zemljo, tem širši je lahko razmik med samimi drenažami. Slabost je lahko ta, da s povečevanjem razmika drenaž lahko zmanjšamo delovanje le-teh in posledično tudi stroške. V nekaterih primerih se višje globine drenaž zaradi ustrežnejših končnih rezultatov dreniranja raje



nadomestijo z večjimi premeri cevi, povečanjem globine kolektorjev in jarkov ter povečanimi obratovalnimi ter vzdrževalnimi stroški. Še posebno to velja za težka glinena tla s slabo prepustnimi plastmi. Eden izmed takšnih primerov je v Egiptu, kjer je raziskava pokazala, da je namesto večjih razmakov cevi (iz prvotnih 80 m na 50 m) bolj učinkovita opcija z večjimi premeri, kljub temu da je strošek te opcije predstavljal 60 % dražjo investicijo (Van der Molen in sod., 2007).

Ko je globina drenaž določena, lahko z dvema različnima pristopoma izračunamo razmik med drenažami (Van der Molen in sod., 2007):

- Pri prvem predpostavimo, da je podvodni tok proti drenažam stalen in v vlažnem obdobju konstanten. Kriterij intenzitete iztoka je v tem primeru konstanten.
- Pri drugem predpostavimo, da je podvodni tok proti drenažam nestalen in pretok odvisen od časa. Čas, ki je potreben za znižanje nivoja podtalnice po padavinskem dogodku na prvotno raven, se obravnava kot podatek za načrtovanje.

Metoda mirnega toka se lahko uporabi na mestih, kjer je vodni dotok v podtalnico približno konstanten, tudi v kritičnem času, to je ob večji količini padavin. V takšnem primeru za načrtovani sistem lahko predpostavimo, da je količina izpusta enaka količini dotoka vode. Ob predpostavki, da je dotok konstanten in enak drenažnemu odtoku, ter da zanemarimo učinek akumuliranja vode, bo nivo podtalnice vseskozi enak (Van der Molen in sod., 2007). Ta metoda je manj ustrezna na območjih, kjer se v kratkem času pojavijo intenzivnejši dotoki (npr. ob intenzivnejšem namakanju pride hkrati do močnejših padavin). V takem primeru vodno razmerje ni v ravnovesju (dotok je precej večji, kot dotok), zato se nivo podtalnice začne dvigovati in obratno, ko padavine prenehajo. Pod določenimi predpostavkami lahko deroči tok obravnavamo kot mirni tok (Van der Molen in sod., 2007).

### 2.6.3 Drenažni kriteriji

Drenažne zahteve rezultirajo v dveh pomembnih načrtovalnih kriterijih, ki se uporabljajo pri določanju razmikov med drenažami pri enakomernem pretoku. To sta specifični izpust  $q$  in hidravlični dvig  $h$  na sredini med dvema drenažama, ki mora biti na voljo za potrebni pretok podtalnice. Hidravlični dvig  $h$  predstavlja globino drenaže  $Z$  zmanjšan za potrebno globino podtalnice  $z$  (slika 18). Za izračun po metodi z nestalnim tokom je potreben dodatni parameter, ki ga imenujemo koeficient akumulacije  $\mu$  (Van der Molen in sod., 2007).

Posledično so dimenzije podpovršinskega drenažnega sistema odvisne od naslednjih drenažnih kriterijev, ki jih navajajo Van der Molen in sod. (2007):

- Projektirane globine podtalnice  $z$  ali globine podtalnice pod površjem zemljine na sredini med dvema drenažama v času projektiranega izpusta (sezona pridelkov, čas neobdelanosti itd.);
- Intenzitete iztoka  $q$  ali projektiranega izpusta drenažnega sistema na površinsko enoto, običajno izraženega v mm/dan;
- Pri nestalnem toku se uporabi čas pri katerem se podtalnica zniža iz točke popolne nasičenosti do ustrezne globine na točki med dvema drenažama. Čas upadanja je odvisen od poljščin in temperature. Za hortikulture vrste je ta čas običajno kratek, še posebno pri višjih temperaturah.

Temeljni kriteriji, kot so projektiranje globine podtalnice in drenažnega iztoka so izpeljani iz smernic, lokalnih izkušenj, raziskovalnih nalog, teoretičnih raziskav in modelov. Enega izmed teh modelov, to je Skaggsov model DRAINMOD, ki dovoljuje oceno kriterijev in preverja tiste, ki so bili že izpeljani na kak drug način, bomo teoretično in praktično obdelali v naslednjih poglavjih.

### 2.6.4 Sistemski parametri

Izbira ustrezne globine drenažnih cevi je za Van der Molena in sod. (2007) pri projektu ključnega pomena in je potrebna že zelo zgodaj. Vzrok tiči v tehničnih pogledih in vplivu na strošek celotnega

sistema. Globlje kot vgradimo drenaže, bolj jih lahko razmikamo (posledično to pomeni manj drenaž na enoto površine). Kljub temu imajo pri skupnem strošku precejšen delež še sama izgradnja in obratovanje z vzdrževanjem sistema.

Globina drenaž  $Z$  je enaka vsoti globin podtalnice  $z$  in hidravličnega dviga  $h$  na sredini med obema drenažama (slika 18). Pri enakomernem toku je potrebno višino podtalnice prilagoditi z višino hidravličnega dviga, da bi dosegli odtok proti drenažam:

$$Z = z + h \quad (8)$$

Lahko pa imamo podano globino drenaže, ki jo zmanjšamo za globino podtalnice:

$$h = Z - z, \quad (9)$$

kjer je:

- $h$         neposredna evaporacija oz. izhlapevanje [mm],
- $z$         globina podtalnice na sredini med obema drenažama ob načrtovanem izpustu [m],
- $Z$         globina drenaže [m].

Projektirane vrednosti so odvisne od podnebja, specifičnih zahtev pridelkov (čas rasti, globina korenin, odpornost na zasoljenost zemljine), od sestave zemljine in hidroloških pogojev. Pri sami vgradnji in izbiri globine drenaž  $Z$  je zelo pomembno, da se izogibamo polaganju pod neprepustne sloje zemljine, da s tem ne zmanjšamo hidravlične prevodnosti in stabilnosti zemljine. Van der Molen in sod. (2007) nadalje še priporočajo izogibanje nestabilnim zemljinam, kot je npr. živi pesek, čeprav se s pravilnimi tehničnimi postopki in predelanimi stroji lahko izvede sistem tudi pod takšnimi neugodnimi pogoji. Opozarjajo tudi na to, da je pogosto globina drenaž pogojena z višino izpusta drenaž in kolektorjev v glavni drenažni sistem.

*Preglednica 3: Različni primeri globin stranskih drenaž (Van Der Molen in sod., 2007:95)*

Tip podnebja	Globina drenaž [m]	Pripombe
Zmerni	1,0 – 1,5	od 1,0 do 1,2 m na mestih z veliko dežja do 1,0 – 1,5 na namakalnih površinah
Vlažni tropski	0,8 – 1,5	
Sušni (peskaste zemljine)	1,0 – 1,5	kapilarni dvig je omejen v višino
Sušni (glinaste zemljine)	1,5 – 2,0	kapilarni tok je zelo počasen
Sušni (meljasto glinene zemljine)	2,0 – 3,0	kapilarni dvig in pronicanje slane vode predstavljata največjo skrb

Za odprte kanale Van der Molen s sod. (2007) predlaga minimalno globino okrog 0,6 m in za cevi približno 0,8 m. Za različne tipe podnebja predlagajo različne globine, ki so prikazane v preglednici 3. Vgrajevanje cevi na manjše globine lahko povzroči zamašitev sistema, saj lahko koreninski sistem prodre vse do cevi in dalje skozi luknjice. Dodano težavo ob plitvi vgradnji cevi lahko predstavljajo agrarne operacije, ki jih hitro poškodujejo. Na območjih z nizkimi temperaturami pa se ob neustreznih globini lahko soočimo z zmrzovanjem.

Naslednji parameter je razmik med drenažami in predstavlja pomemben faktor stroška talnega drenažnega sistema. To pa predvsem zato, ker je tesno povezan z vgrajeno dolžino drenaž na enoto površine, katere izračun Van der Molen s sod. (2007) predlaga na naslednji način:

$$C = \frac{10000}{L} C_u, \quad (10)$$

kjer je:

- $C$  neposredna evaporacija oz. izhlapevanje [mm],
- $C_u$  strošek na enoto dolžine vgrajenih drenov [denarna enota/m]
- $L$  razmik med drenažami [m].

Za izračun razmika med drenažami so na voljo različne metode, ki izhajajo iz drenažnih zahtev in značilnosti zemljine. Kot zelo pomembne faktorje Van der Molen in sod. (2007) izpostavljajo prepustnost zemljine, večplastnost in anizotropijo. Metode izračuna se razdelijo, tako kot smo že omenjali, to je na stalni in nestalni tok. Pri izračunih za stalne pretoke sta vhodna parametra (z izjemo podatkov o zemljini) sredinska med-drenažna globina podtalnice  $h$  ter projektirani izpust  $q$ . Pri izračunih za nestalni tok faktorji načrtovanja vključujejo predpisano povečanje globine podtalnice  $z$  s časom v kombinaciji s koeficientom akumulacije  $\mu$ . Za izračune je smiselna tudi kombinacija obeh tokov, tako da se v prvem koraku naredijo izračuni za stalni tok, nato pa se vse ponovi še za nestalni tok. S primerjavo obeh rezultatov lahko precej izboljšamo projektne parametre.

Priporočene razdalje med dvema vzporednima drenažama variirajo med 50 in 150 m za prepustne zemljine. Za prepustne glinene zemljine običajno zadošča razmik od 20 – 50 m, medtem ko je za težke glinene zemljine in določene meljaste ali glinene zemljine razmik med 10 in 20 m (Martinez Beltran, 1999). Na splošno lahko rečemo, da za sušna območja z namakalnimi sistemi pridejo v poštev precej večji razmiki med drenažami, kot pa na vlažnih območjih.

Strošek na enoto vgrajene drenažne cevi  $C_u$  (enačba 10) je tesno povezan s premerom cevi. Odvisen je od pričakovanega odtoka ter od razpoložljive spremembe hidravlične višine vzdolž drenaže. Posledično bi lahko bila drenažna cev vgrajena brez naklona. Iz praktičnih razlogov (tj. da zmanjšamo možnost zadrževanja vode v cevi in posledično nalaganja usedlin in nenazadnje zamašitve) in zaradi prihranka pri stroških mora biti naklon terena čim večji, da lahko posledično uporabimo čim manjši premer cevi (Van der Molen in sod., 2007).

Na pobočjih se lahko drenaže vgradijo vzporedno z naklonom pobočja, še posebno tam, kjer je teren urejen stopničasto. Običajni kriterij za vgradnjo drenaž na pobočjih je, da pri projektiranem izpustu na zgornjem delu drenaže ne sme zastajati voda. Dodatno funkcijo opravljajo prestrezne drenaže, ki odvajajo vodo, ki pronica iz višje ležečih površin. Njihova globina bi morala slediti nivoju podtalnice ali pa površinskim linijam (Van der Molen in sod., 2007).

Da bi na ravninskih površinah zagotovili minimalne naklone, je potrebno na zgornjem delu drenaže vgrajevati plitvo, po drenu navzdol pa se globina povečuje. V teoriji je na zelo majhnih pobočjih možna izvedba povsem vodoravnih drenaž, če so le te vgrajene zelo pazljivo in občasno namenjene podzemnemu namakanju. Pogoj je le, da voda ostaja dovolj globoko pod zemeljskim površjem. Pravilo, da naklon drenaž odvajajo sedimente iz sistema, velja zgolj za naklone pobočij večjih od 1 odstotek. Običajno so na ravninskem delu ti nižji, nekje med 0,1 in 0,3 odstotke. Ker takšen naklon ne zadošča kriterijem za odvajanje sedimentov je potrebno biti pozoren, da ne prihaja do zamašitev drenaž. Večinoma se kot preventiva uporabljajo zaščitni ovoji. V praksi se izvedba vodoravnih drenaž ne priporoča predvsem z vidika tolerance napak ob sami vgradnji, ki so navkljub uporabi laserja možne. Minimalni nakloni naj bi znašali vsaj 0,07 ali v ekstremnih primerih 0,05 odstotka (Van der Molen in sod., 2007).

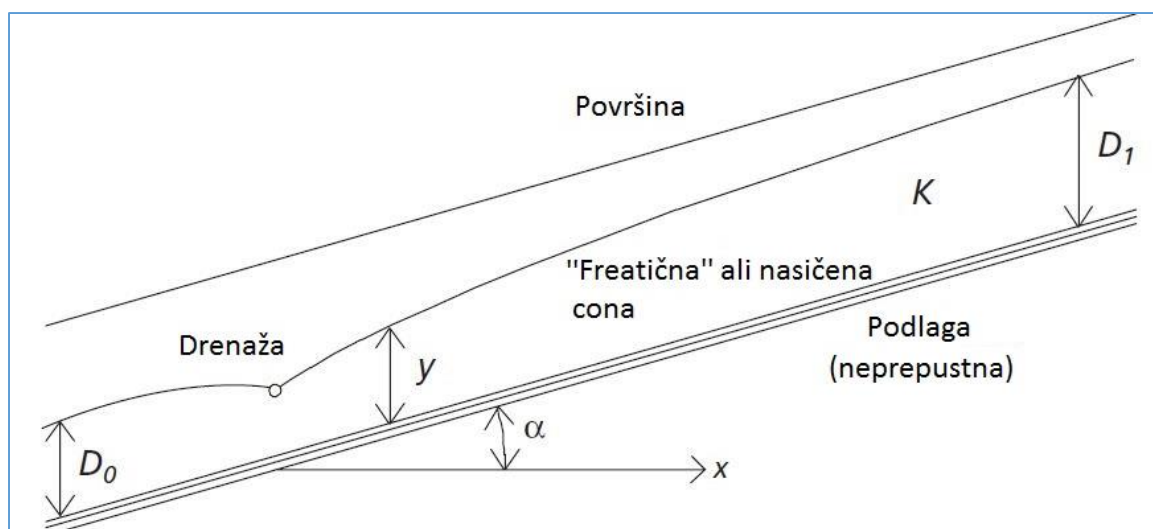
Ker pri izvedbi projektov glavno vlogo igra celotni strošek, je izbira ustreznega premera cevi zelo pomembna. Večji kot je premer, dražja je sama investicija. Dodatno težavo lahko predstavlja oddaljenost proizvodnje cevi, tako da je smiselno preučiti razpoložljive drenažne materiale in njihove premere v neposredni bližini projektne območja.

Pri načrtovanju premera drenaže je potrebno upoštevati celotno tlačno višino  $H$  v času obilnih padavin. Pogosta zahteva je, da na zgornjem delu drenaže ob projektiranem izpustu ne zastaja voda. Npr. pri naklonu 0,2 odstotka in dolžini drenaže 250 m znaša tlačna višina 0,5 m. Na ravninskem delu je drenažni izpust 1,5 m pod površjem, posledično bo globina drenaže na zgornjem delu znašala zgolj 1,0 m. Če upoštevamo dovoljeno tlačno izgubo 0,5 m, nad samo cevjo ne bo nobene vode. V tem primeru sta naklon brežine in dovoljena tlačna izguba enaki. Pri enaki drenaži, a z naklonom 0,1 odstotek, je zgornji del drenaže 1,25 m pod površjem zemlje. Če upoštevamo dovoljeno tlačno izgubo 0,5 m, bo 0,25 m vode stalo nad drenažo ob načrtovanem izpustu, globina vode pa bo vseeno znašala 1,0 m. Enaka obrazložitev velja za vsa pobočja z naklonom manjšim od 0,2 odstotka in tudi za vodoravne drenaže. Omenjeni konkretni primer kaže, da med naklonom drenaže in dovoljeno tlačno izgubo ni neposredne povezanosti. Zato se kot vhodni parameter za izračun premera drenaže enostavno vzame kar dovoljena tlačna izguba v drenažnih ceveh. Ta vrednost določa globino podtalnice v bližini drenaže med kritičnimi pogoji in na najbolj neugodnem mestu (Van der Molen in sod., 2007).

Premere stranskih drenaž in kolektorjev lahko izračunamo z uporabo različnih enačb, ki temeljijo na zakonih pretoka po ceveh. Izračuni se zaradi hrapavosti razlikujejo za gladke in rebraste cevi. Kot smo že omenili, sta temeljna vhodna podatka razpoložljiva tlačna izguba pri načrtovanem iztoku in skupni volumen dreniranja. V praksi se za široke razmike med drenažami uporabljajo cevi z zunanjimi premeri od 80 do 100 mm; na območjih z zmerno klimo je pogosta uporaba premerov med 65 in 80 mm; na območjih z glinenimi zemljinami pa so običajno v rabi premeri med 50 in 65 mm (Van der Molen in sod., 2007).

### 2.6.5 Prestrezna in vertikalna drenaža

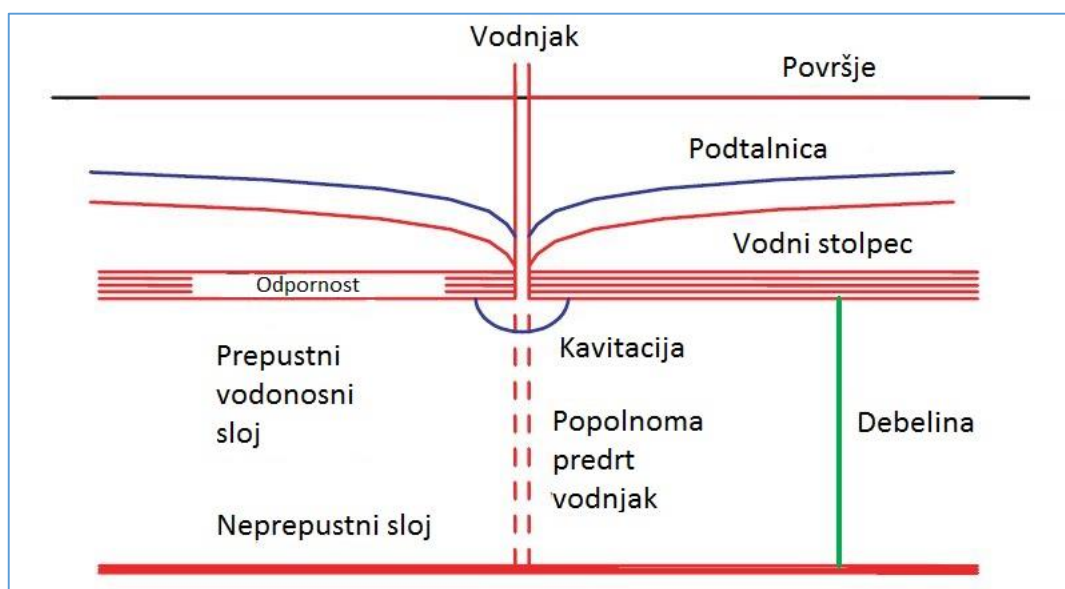
Dotok vode iz višjih leg (slika 19) ali iz prepustnih namakalnih kanalov lahko zajamemo s pomočjo prestreznih drenaž. Najbolj primerne so brežine z relativno plitvimi vodonosniki. Učinek prestrezne drenaže je najbolj učinkovit, če je globina drenaže približno enaka globini do neprepustnega sloja oziroma se mu popolnoma približa (Van der Molen in sod., 2007).



Slika 19: Prestrezna drenaža na pobočju (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:99)

Prestrezne drenaže so lahko izvedene tako v obliki vgrajene drenažne cevi ali pa kot odprti jarki. Van der Molen in sod. (2007) opozarjajo, da je pri odprti izvedbi pogosto problematična stabilnost brežin, še posebno na mestih z večjimi drenažnimi odtoki. Kot boljšo rešitev predlagajo s peskom zasute jarke, v katere je vgrajena ustrežna cev za odvajanje zbrane drenažne vode.

Vertikalne drenaže bi lahko poimenovali tudi črpalni vodnjaki, ki so razporejeni po nekem območju. Njihova poglavitna naloga je, da se s pomočjo črpanja vode znižajo tlak v vodonosniku in posledično nivo podtalnice (slika 20).



Slika 20: Vertikalna drenaža (prirejeno po Van der Molen in sod., 2007:100)

Vertikalna drenaža se lahko uporabi pod posebnimi fizikalnimi pogoji, ki so (Van der Molen in sod., 2007):

- Prisotnost dobrega vodonosnika odprtega ali pol odprtega tipa z izdatnim iztokom vodnjaka;
- Dobra povezava med drenirano zemljino in vodonosnikom, da se z nižanjem tlaka v vodonosniku zniža tudi nivo podtalnice. Sloj med zemljino in vodonosnikom mora biti dovolj prepusten, da omogoča ponovno napajanje vodonosnika ob deževju in z izgubami pri namakanju. Z drugimi besedami to pomeni, da odpornost med obema slojema ne sme biti prevelika.
- Sistem mora biti trajnosten.

Velja upoštevati nekaj pravil, ki jih izpostavljajo Van der Molen in sod. (2007), in sicer črpanje nikakor ne sme izsušiti vodonosnika. Če se načrpana voda uporablja za potrebe mestnega vodovoda, mora biti zagotovljena določena kakovost, ki se ne bo spremenila v kratkem času. Ta pojav se lahko zgodi ob vdoru slane vode iz globljih plasti vodonosnika in v takih primerih je vertikalna drenaža lahko samo začasna rešitev.

Ena od slabosti je lahko strošek obratovanja in vzdrževanja zaradi stalnega delovanja črpalk. Van der Molen s sod. (2007) našteva naslednje ekonomske omejitve:

- Metoda je ekonomsko vzdržna na mestih, kjer je načrpana voda pitna in njena uporaba nima omejitev. V primeru slabše kakovosti je možno mešanje z vodo boljše kvalitete, da zadostimo vsem kriterijem uporabe;
- V kolikor je voda preslana nastane težava z mestom izpusta na projektnem območju, ki zaradi tega potrebuje dodaten nadzor. To zvišuje stroške, kar podraži investicijo.

- Stroški obratovanja in vzdrževanja ter kompleksnost številnih vertikalnih drenaž omejujejo njihovo izvedbo.

Kljub vsem omejitvam se ta metoda širše uporablja na nekaterih območjih, kjer so ugodni pogoji z vidika zemljine in vodonosnika in kjer se načrpana voda lahko ponovno uporabi. Pogost pojav na takšnih območjih je izpraznitev vodonosnika in včasih tudi vdor soli iz globljih plasti. Ena od možnosti rabe je tudi na mestih, kjer se pojavljajo težave s pronicanjem podtalnice. V takih primerih ni potrebno stalno črpanje zaradi povečanega laka v vodonosniku. Ena od cenovno ugodnih nadomestnih možnosti, če je tehnično izvedljiva, je lahko vertikalni podaljšek vodoravne drenaže (Van der Molen in sod., 2007).

Kot poseben tip vertikalne drenaže Van der Molen in sod. (2007) omenjajo razbremenilne vodnjake, ki segajo malenkost v vodonosnik. V drenažnem kanalu se zvrtajo vertikalne luknje, v katere se namestijo naluknjane cevi s slepim koncem. Običajno so te rebraste cevi enake drenažnim. Z vodoravnimi stranskimi drenažami so povezane s T-členi. Ta metoda je bila uspešno uporabljena že v kar nekaj primerih. Posebno pozornost velja nameniti ekstremnim iztokom, da dolvodno po sistemu ne prihaja do presežnega obremenjevanja z zasoljenostjo.

### 3 PROGRAM DRAINMOD

#### 3.1 Predstavitev

Prosto dostopni računalniški program DRAINMOD (Drainmod, 2012) je simulacijski model, ki ga je v letu 1980 razvil dr. Wayne Skaggs z oddelka za biološki in poljedelski inženiring na Državni Univerzi Severne Karoline. Model lahko simulira hidrološke pojave v slabo dreniranih zemljinah z visokim nivojem podtalnice na podlagi urnih ali dnevnih padavinskih podatkov, ki so zbrani za daljše obdobje (npr. za obdobje 50 let). Model predvideva učinek drenaže in ostale prisotne prakse upravljanja vode na globini podtalnice, na vodni režim v zemljini ter poljedelske donose. Načeloma se uporablja za hidrološko analizo določenih tipov mokrišč in za določanje hidroloških kriterijev za ustreznost drenažnih sistemov na celotnem območju ali samo delno. Dodatna možnost uporabe je določanje hidravlične kapacitete sistemov za odpadne vode. Model je bil uspešno testiran in uporabljen na širokem razponu geografskih in zemljskih pogojev. V zadnjih 20 letih se je zmogljivost modela razširila, tako da lahko napovemo tudi učinke drenaže in upravljanja vode na hidrologijo ter kvaliteto vode poljedelskih in gozdnih površin na nivoju polja in porečja (Drainmod, 2013a).

Za določanje količin hidroloških komponent, kot so talne drenaže, talni namakalni sistemi, infiltracija, evapotranspiracija (ET) in površinski odtok se uporabljajo empirične. Za izračun so potrebni vhodni podatki o lastnosti zemljine, padavinah, predvidenih pridelkih ter lokacijski parametri. Vhodni podatki za zemljine vključujejo nasičeno hidravlično prevodnost po plasteh, razmerje med drenažnim volumnom in globino podtalnice ter informacije morebitnega vpliva podtalnice na pronicanje. Efektivna globina koreninskega sistema v odvisnosti od časa prav tako velja kot vhodni parameter (Drainmod, 2013b).

Urne padavine in dnevne maksimalne ter minimalne temperature lahko razberemo iz klimatoloških podatkov, vodna bilanca pa se zapisuje na vsako uro. Povzetki modelnih napovedi hidroloških komponent, kot so padavine, pronicanje, dreniranje, ET itd. so na voljo po dnevih, mesecih ali za letna obdobja. Zmogljivost načrtovanega sistema ali upravljanja njegove alternative se lahko simulira za daljša obdobja (npr. od 20 do 40 let), da lahko upoštevamo odstopanja po posameznih letih. Možno je oceniti tudi učinke projektiranega upravljanja z vodo na poljedelske donose. Ta komponenta za projektiranje sicer ni obvezna, tako da se pri izračunih lahko tudi izpusti (Drainmod, 2013b).

Zadnja verzija programa Drainmod je razširjena do te mere, da v zemljinah z visoko podtalnico z modeli lahko simuliramo tudi prenašanje soli (DRAINMOD-S) in nitratov (DRAINMOD-N). S prvim modelom lahko ocenimo razporejenost soli, njeno koncentracijo v drenažnih vodah in učinek prisotnih soli na poljedelske donose. Z drugim modelom lahko ocenimo koncentracije nitratov v sami zemljini ter v obeh tipih drenaž (površinske in podpovršinske). Oba modela uporabljata spremenjeno verzijo osnovnega DRAINMOD modela, da bi lahko ocenili povprečni dnevni pretok in njegov volumen. Transport raztopljenih snovi se določi z jasno rešitvijo adveksijsko-disperzivno-reaktivne enačbe. DRAINMOD-N uporablja funkcionalno povezavo med padlo količino padavin, raztopljeno količino gnojil, neto mineralizacijo, denitrifikacijo, črpanjem hranil z rastlinami ter odtokom in drenažnimi izgubami (Drainmod, 2013b).

#### 3.2 Namestitev programa in posebnosti

Sama namestitev programa je enostavna in se samodejno izvede po zagonu DRAINMOD\_setup.exe datoteke, dosegljive na strani [http://www.bae.ncsu.edu/soil\\_water/drainmod/download.html](http://www.bae.ncsu.edu/soil_water/drainmod/download.html). Program naj bi podpiral vse verzije operacijskih sistemov od Windows XP SP3 pa do Windows 7 (32 in 64 bitni verziji), namestitev na novejši sisteme z Windows 8.0 in novejši pa je možna z vključitvijo združljivostnega načina za katerega od starejših sistemov (v našem primeru smo izbrali Windows 7). V nasprotnem primeru instalacija na novejših sistemih ni možna in jo zaustavi napaka. Preveriti je

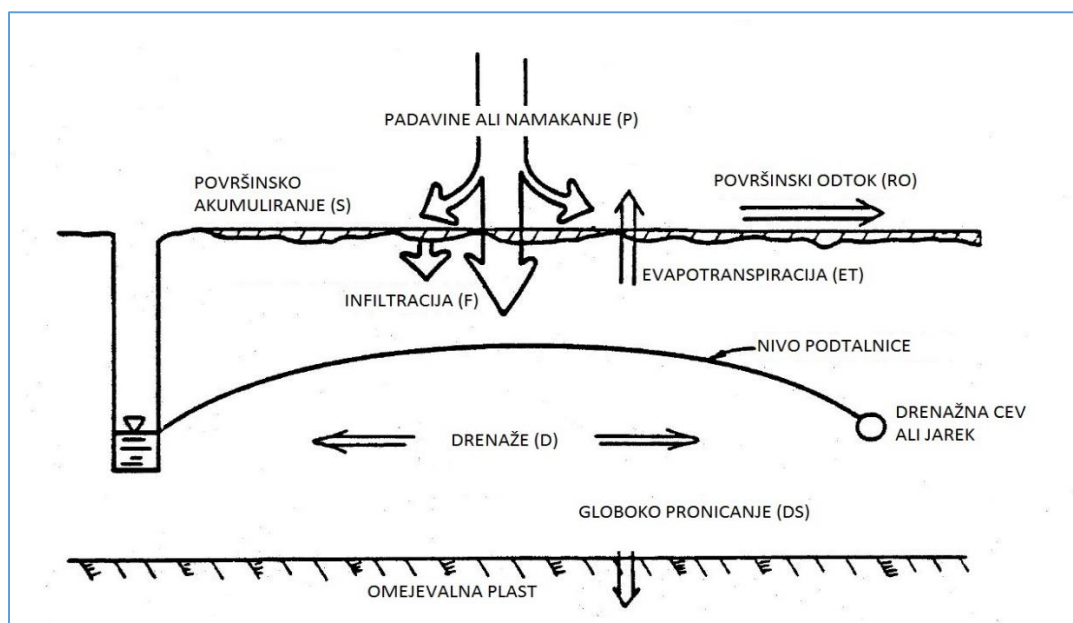


potrebno tudi regionalne nastavitve sistema, saj v primeru, da ločilo ni nastavljeno na piko, kar je za ameriške operacijske sisteme privzeta vrednost, ni možno izrisovati grafov.

Kot dodatni pripomoček za delo se priporoča prosto dostopni urejevalnik besedil ter izvorne kode Notepad ++, ki podpira nekaj različnih programskih jezikov. To so: C, C++, Java, C#, XML, HTML, PHP, Javascript, RC file, makefile, nfo, doxygen, ini datoteke, batch datoteke, ASP, VB/VBS, SQL, Objektni-C, CSS, Pascal, Perl, Phython, Lua, Unix Shell, Script, Fortran, NSIS in Flash akcijske skripte (Drainmod, 2013b).

### 3.3 Razvoj in komponente modela

Pri razvoju računalniškega modela sta bila sprejeta dva pomembna kriterija. Prvi je, da mora model prepoznati vse poglede gibanja vode in njene akumulacije in hkrati čim natančneje napovedati vodni režim v zemljini in drenažno razmerje v odvisnosti od časa. Drugi kriterij pa je, da mora biti model razvit tako, da omogoča hitro simuliranje tudi za daljša obdobja (Skaggs, 1980)



Slika 21: Shema potovanja vode skozi sistem z drenažami ali jarki (prirejeno po Skaggs, 1980:2.2)

Osnova za računalniški model je vodna bilanca v profilu zemljine (slika 21). Stopnje infiltracije, dreniranja, ET in porazdeljenosti vode v profilu zemljine se lahko izračuna s pomočjo nelinearnih diferencialnih enačb, ki pa so za naše potrebe nepraktične predvsem z vidika časovne potratnosti pri izračunih za daljša obdobja. Namesto tega se uporabljajo empirične metode za opredeljevanje vodnih procesov. Da bi zagotovili ustreznost ugotovljenih približkov, so jih primerjali z natančnimi izračuni za širok nabor zemljin in njihovih mejnih pogojev. Dodatno so se ti izračuni potrdili še z eksperimenti na terenu (Skaggs, 1980).

Osnovna relacija v modelu je vodna bilanca za tanek sloj površinske enote zemljine, ki je na dnu omejen s slabo ali celo neprepustnim slojem zemljine in se nahaja na sredini med dvema drenoma. Vodna bilanca v času  $\Delta t$  po Skaggsu (1980) se lahko izrazi kot:

$$\Delta v_a = D + ET + DS - F \quad (11)$$



kjer  $\Delta v_a$  predstavlja spremembo v prostornini zraka [cm],  $D$  je dolžina stranske drenaže [cm],  $ET$  je evapotranspiracija [cm],  $DS$  je pronicanje iz globine ter infiltracija  $F$  [cm] skozi odsek v času  $\Delta t$ .

Pogoji na desni strani enačbe so izračunani kot posledica dviga podtalnice, vlažnosti ter ostalih lastnosti zemljine, parametrov lokacije in drenažnega sistema, pridelkov in stopnje rasti in atmosferskih pogojev. Količina odtoka in akumulirane vode na površju se po Skaggsu (1980) izračuna iz vodne bilance na zemeljski površini za vsako spremembo s časom:

$$P = F + \Delta S + RO \quad (12)$$

kjer  $P$  predstavlja padavine [cm],  $F$  je infiltracija [cm],  $S$  je sprememba v prostornini vode, ki je shranjena na površini [cm] in  $RO$  je površinski odtok [cm] v času  $\Delta t$ . Osnovna časovna enota, ki je omenjena v obeh enačbah (11 in 12) je enaka 1 uri. Za obdobja, ko ni padavin in je stopnja  $ET$  počasna, se uporablja  $\Delta t$  1 dan. Za primere hitrega dreniranja in sušnega obdobja se lahko uporabijo 2-urni intervali. Nasprotno pa je za čas padavin, ko le te presegajo infiltracijske vrednosti, potrebno vzeti interval 0,05 h ali celo manj, da bi izračunali  $F$  (Skaggs, 1980).

Enega najpomembnejših vhodnih parametrov v programu DRAINMOD vsekakor predstavljajo padavinski podatki. Natančnost modela in napoved infiltracije, odtoka in površinske akumulacije je odvisna od celotne zgodovine padavin. Krajši razmiki med meritvami pomenijo boljšo oceno ostalih komponent modela, ki nimajo takšne gostote podatkov. Osnovna časovna sprememba je 1 h zaradi razpoložljivosti padavinskih podatkov večine lokacije (Skaggs, 1980).

Naslednji v vrsti procesov in potrebnih vhodnih podatkov, ki jih opisuje Skaggs (1980), je infiltracija vode in velja za dokaj kompleksen proces. Na infiltracijo vplivajo zemeljske lastnosti, kot so hidravlična prevodnost, začetna vsebnost vode, površinska zglajenost, globina profila in nivo podtalnice, rastlinski faktorji, kot so obseg površine in globina koreninskega sistema ter klimatski faktorji, kot so intenziteta, dolžina in časovna razporejenost padavin, temperatura in pa dejstvo ali je zemljina zmrznjena ali ne.

Za določanje stopnje infiltracije po Skaggsu (1980) se uporablja Green in Amptova enačba (13). Vrednosti obeh parametrov v enačbi lahko matematično izpeljemo iz nasičene vertikalne hidravlične prevodnosti in lastnosti zemljine. Koeficienta  $A$  in  $B$  se vnese skupaj z višino podtalnice.

$$f = K_s + K_s M S_{av} / F, \quad (13)$$

kjer je  $f$  stopnja infiltracije,  $K_s$  predstavlja hidravlično prevodnost omočenega sloja zemljine,  $M$  je začetni deficit vode v zemljini (razpoložljiva poroznost oz. količina vode nasičenega dela zemljine v  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  minus količina vode na želeni globini podtalnice),  $S_{av}$  predstavlja sposobnost vsrkanja na omočeni strani v cm ter  $F$ , ki je kumulativna infiltracija.

Za uporabo v programu se uporabljata dva izpeljana koeficienta  $A$  (14) in  $B$  (15). Vrednosti obeh parametrov lahko matematično izpeljemo iz nasičene vertikalne hidravlične prevodnosti in lastnosti zemljine. Koeficienta  $A$  in  $B$  se vnese skupaj z višino podtalnice.

$$A = K_s M S_{av} \quad (14)$$

$$B = K_s \quad (15)$$

Če imamo na voljo samo nasičeno prevodnost,  $K_L$  (npr.  $K$  določen s pomočjo Augerjeve metode z luknjo), je lahko začetna ocena izbira enega  $K_L$  za vertikalno nasičeno prevodnost  $K_s$ . V preglednici 4 so predstavljene tipične vrednosti  $S_{av}$  glede na teksturni razred zemljine.

Preglednica 4:  $S_{av}$  in porni tlak glede na teksturne razrede zemljin (Rawls in sod., 1983, cit. po Drainmod, 2013b)

Teksturni razredi zemljine	Porni tlak [cm]	$S_{av}$ [cm]
Pesek	7,3	5,0
Ilovnat pesek	8,7	6,1
Peskasta ilovica	14,7	11,0
Ilovica	11,2	8,9
Meljasta ilovica	20,8	16,7
Peskasto glinena ilovica	28,1	21,9
Glinena ilovica	25,9	20,9
Meljasto glinena ilovica	32,6	27,3
Peskasta glina	29,2	23,9
Meljasta glina	34,2	29,2
Glina	37,3	31,6

Površinska drenaža je okarakterizirana kot povprečna globina depresij, katere volumen se mora najprej napolniti, preden se lahko začne površinski odtok. V večini primerov lahko sklepamo, da je depresija enakomerno porazdeljena po polju. Pri nadaljnjem obravnavanju Skaggs (1980) predlaga razdelitev na manjše mikro komponente (predstavljajo akumulirano vodo v majhnih depresijah, ki so posledica površinske strukture in skorje) in pa makro komponente (večje površinske depresije, ki jih lahko odpravimo s površinskim izravnavanjem in glajenjem). Še posebno pri makro komponentah lahko globina depresij hitro preseže nekaj centimetrov. Površinska akumulacija se lahko obravnava kot funkcija odvisna od časa ali od dogodkov, kot so padavine. Zato bi se spreminjanje volumna v mikro komponentah skozi leto lahko simuliralo, a je v trenutnem modelu predvideno kot konstanta.

Druga akumulacijska komponenta, ki jo omenja Skaggs (1980) in jo moramo upoštevati, je »film« ali globina akumulirane površinske vode, ki je dodatek depresijskemu volumnu pred pričetkom površinskega odtoka in se ohranja skozi ves ta proces. To količino imenujemo tudi zadržana količina, ki je odvisna od stopnje odtoka, pobočja in hidravlične hrapavosti površine. Načeloma gre v tem primeru za relativno kratko zadrževanje majhnega volumna in temu ustrezno je upoštevanje v modelu.

Za izračun drenažne stopnje pri podpovršinskih drenažah v modelu DRAINMOD se uporablja predpostavka, da se bočno gibanje vode dogaja večinoma v nasičenem območju. Uporabljena je učinkovita vodoravna nasičena hidravlična prepustnost, tok pa je ocenjen v povezavi z dvigom podtalnice na sredini med drenažama in nivojem vode ali hidravlično višino v drenažah. Za uporabljene enačbe v modelu velja, da drenaže omejuje stopnja premeščanja vode skozi zemljino in ne hidravlična kapaciteta drenažnih cevi ali izpustov (Skaggs, 1980).

Določanje ET za model poteka v dveh korakih. Najprej je potrebno izračunati dnevno potencialno ET (PET) na podlagi atmosferskih podatkov v razmiku ene ure. PET predstavlja maksimalno količino vode, ki bo izhlapela iz zemljine ob predpostavki, da je v zemljini dovolj vode. Trenutna verzija modela porazdeli PET na enotno stopnjo za 12 ur med 6:00 in 18:00. V primeru padavin se PET postavi na nič, ne glede na uro, v kateri se le-te pojavijo. Ko je PET izračunana, se preveri ali je ET omejena z vodnimi pogoji v zemljini. Če ti niso omejeni, se predpostavi, da je PET enaka ET. V primeru, da je PET višja od količine vode, ki je na razpolago v zemljini, je ET nastavljen za nižjo vrednost (Skaggs, 1980).

Kako močno je voda vezana v matriki zemljine v nenasičenem stanju je osnovna lastnost zemljine, ki je druga po vrsti glede pomembnosti (takoj za hidravlično prevodnostjo) pri modeliranju vodnega toka

v zemljini. Običajno se določa v laboratorijih s pomočjo tlačnih posod in stiskalnic (Drainmod, 2013b).

Vrednosti vpliva globine koreninskega sistema se skozi koledarsko leto precej spreminjajo. Globina korenin vpliva na številne faktorje vključno s prisotnostjo kemičnih in fizičnih ovir, kot so glineni bazeni ali zakisana nižje ležeča zemljina. Obvezno je potrebno upoštevati dejstvo, da te vrednosti v odvisnosti od časa lahko upoštevamo šele po sajenju rastlin (Drainmod, 2013b).

### 3.4 Metodologija uporabe modela

Osnovna metodologija programa DRAINMOD je simuliranje učinka danega sistema za daljše obdobje vremenskih podatkov. Ponovljivo lahko napovedujemo globino podtalnice, drenažne stopnje, površinski odtok, ET ipd. Možna je tudi simulacija alternativno oblikovanih sistemov, da bi zagotovili čim boljše projektne cilje. Nekaj teh metodoloških različic, ki jih bomo na kratko še predstavili, je:

- konvencionalna drenaža,
- kontrolirana drenaža,
- podzemno namakanje,
- namakanje s pomočjo pršilnikov,
- hidrološke analize močvirij,
- analize premeščanja nitratov in njegovih izgub
- analize slanosti zemljine.

Prva izmed teh različic je konvencionalna (običajna) drenaža oz. podpovršinska drenaža, ki je sestavljena iz enakomerno razporejenih vzporednih drenaž s prostim nepotopljenim izpustom. Možna je izvedba s polaganjem cevovodov ali jarki. Površinska drenaža je karakterizirana s povprečno globino akumulirane vode v depresiji, kjer je površinska drenaža pri večjih depresijah slabša in boljša pri manjših depresijah. Učinkovitost sestavljenih sistemov (kombinacija površinskega in podpovršinskega dreniranja) je možno analizirati. Z izvajanjem simulacij za različne kombinacije površinskih in podpovršinskih drenaž se lahko določi najbolj ustrezna globina in razmik podpovršinskih drenaž z vidika drenažnih ciljev (Drainmod, 2013b).

Kontrolirana drenaža se uporablja za shranjevanje vode in zmanjševanje vpliva onesnaževal z dreniranih površin. Izvedemo jih s postavitvijo kontrolnega objekta na mestu izpusta, tako da mora drenažna voda najprej narasti do neke višine in šele nato prične iztekati iz sistema. V času padavin se nivo vode dviguje in nato izteka iz sistema na račun površinskega odtoka in vgrajenih podpovršinskih drenaž. V sušnem obdobju pa zadržana voda omogoča pronicanje skozi drenaže nazaj v zemljino, da bi zadostili potrebe po ET, ki na ta način znižuje nivo vode na mestu izpusta. Učinkovitost delovanja takšnega sistema je odvisna od višine in pravočasne kontrole višine (globina zaježitve), globine in razmika med drenažami, lastnosti zemljine ter ostalih sistemskih parametrov, kot so tloris drenaž in dimenzije kanala za izpust. Učinki teh faktorjev so določljivi z izvajanjem simulacij za razpon parametrov (Drainmod, 2013b).

Podtalno namakanje je sistemsko podobno kontrolirani drenaži. Razlika je v tem, da se voda črpa v obratni smeri, to je v izpust, s tem pa nivo vode na mestu izpusta vzdržuje na določeni točki. Učinek globine in razmika med drenažami, višina in usklajenost vodnih nivojev ter intenziteta površinske drenaže se lahko uspešno simulirajo za različne parametre. Kot dodatek hidrološkim komponentam in poljedelskim donosom je možen tudi izračun načrpane količine vode za takšno namakanje (Drainmod, 2013b).

Ena izmed možnih metodologij modela je namakanje z razpršilniki. Originalno je bila ta metoda mišljena za analiziranje namakanja z odpadnimi vodami. Za nekatere primere se lahko analizira konvencionalna drenaža. Določimo lahko dve obdobji, v katerih namakanje ne bo simulirano. Rezultati simuliranja so učinek globine in razmika podpovršinskih drenaž ter površinske intenzitete v

številu namakalnih dni in stopnja obremenjenosti. Kot vhodni parameter je potrebno določiti minimalno drenirano (zračno) prostornino za namakanje v profilu zemljine, ki je funkcija globine podtalnice in poroznosti zemljine. Zaradi varnosti je priporočljivo, da ga nastavimo za 1 cm več kot je količina za namakanje. Dodatni vhodni podatek je še količina padavin, ki je potrebna za zakasnitev namakanja (Drainmod, 2013b).

Glede na to, da DRAINMOD simulira vodno bilanco za zemljine z visoko podtalnico in napoveduje njeno višino na intervalu enega dneva, bi model lahko uporabili za preverjanje pogojev, ki neko območje opredelijo kot mokrišče. Ta možnost je vgrajena v model od verzije 4.6 naprej, dodani pa so vhodni podatki za določanje začetka in konca sezone rasti, presežna višina podtalnice in število dni, ko je ta višina presežena. Z vnesenimi podatki bo po simulaciji modela poročilo vsebovalo število let za celotno obdobje simuliranja, ko so bili podani kriteriji doseženi. Model je bil z verzijo 5.0 dodelan še z opcijo izračuna površinskega odtoka s sosednjih prispevnih območij, kar vpliva na odtok in vodno bilanco obravnavane površine. Proces se izvede v dveh korakih. V prvem se kreirajo hidrogrami odtoka za prispevna območja s pomočjo modela DRAINMOD in metode trenutnega hidrograma enote. V drugem koraku se za analizo »močvirnost« uporabijo podatki hidrograma odtoka (podobni so padavinskimi). Vhodni podatki za simulacijo površinskega odtoka vključujejo prispevno območje dreniranja, čas koncentracije na teh območjih in pa izravnalno vrednost trenutnega hidrograma enote. Vhodni podatki za analizo »močvirnosti« so datoteke hidrograma površinskega odtoka iz prvega koraka in stopnja prispevnega območja glede na obravnavano območje (Drainmod, 2013b).

Model DRAINMOD-N se uporablja za oceno koncentracij nitratov (dušikovih spojin) v profilu zemljine, na površini in v samih drenažah. To je še posebno koristno za določanje učinka dodajanja gnojil pri poljedelstvu. Model simulira poenostavljeno verzijo dušikovega kroga. Uporablja poenostavljen dvodimenzionalni model za opisovanje gibanja in razgradnje dušikovih spojin v zemljinah s plitvo podtalnico in umetno drenažo. Nadzorovani procesi, ki so obravnavani v modelu, so odvajanje padavin, razgradnja gnojil, čista mineralizacija organskih nitratov, denitrifikacija, dvižni učinek rastlin, odtok in drenažne izgube (Drainmod, 2013b).

Zadnja simulacija, ki jo lahko izvajamo z modelom DRAINMOD-S, s simuliranjem izračuna učinke slanosti zemljine zaradi učinkov namakalnega in drenažnega sistema. Ta metoda je še posebno koristna v sušnih regijah za načrtovanje namakalnih in drenažnih sistemov, ki bodo zmanjšali negativne učinke na poljedelske donose zaradi povečane slanosti. V modelu DRAINMOD-S je povprečna relativna funkcija donosov vključena kot učinek solnega stresa na količino pridelka. Možen je vnos parametrov, kot so koeficient razpršenosti, padavinska meja vsebnosti soli, globina zemljine uporabljena za izračun povprečne slanosti pri poljedelskih donosih, začetne koncentracije soli v zemljini in dodatni izhodni podatki (Drainmod, 2013b).

### 3.5 Uporabniški vmesnik

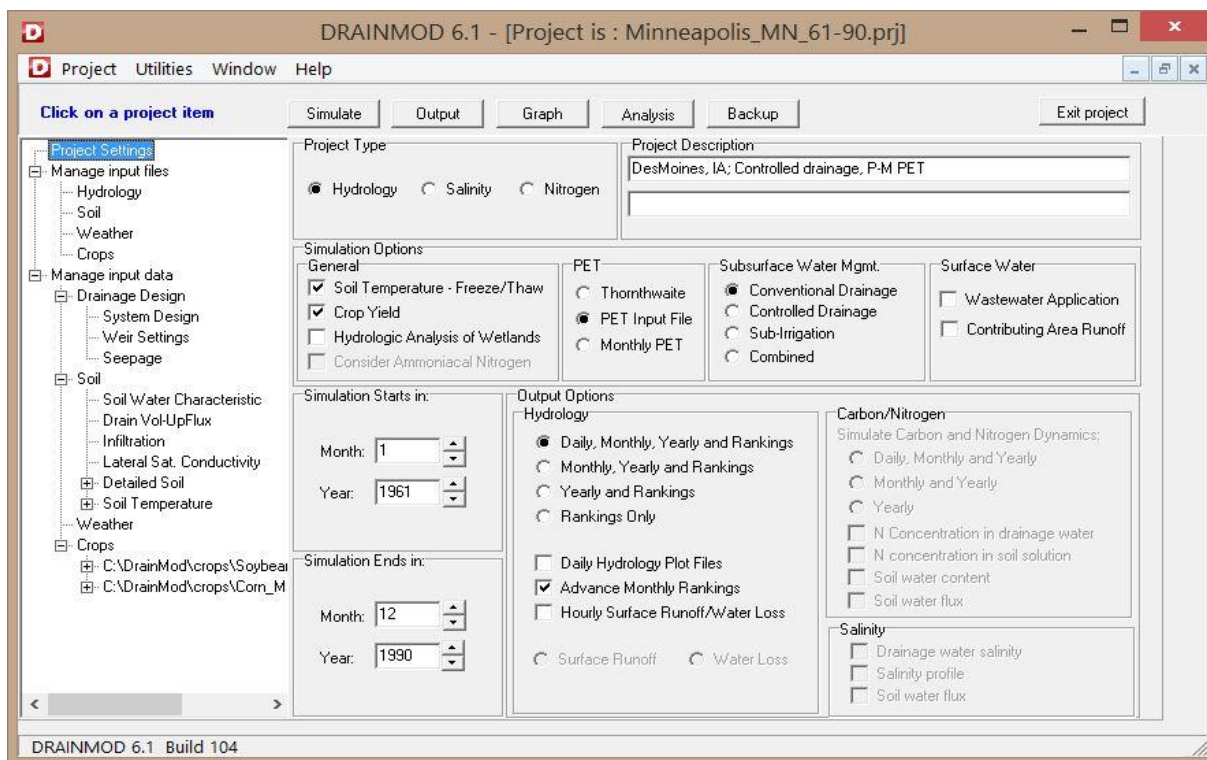
Sam izgled uporabniškega vmesnika je zasnovan tako, da ob odpiranju programa najprej dostopamo do osnovne orodne vrstice (slika 22), preko katere lahko odpiramo oziroma upravljamo:

- projekte (odpiranje, kopiranje, shranjevanje, tiskanje, nastavitve datotek),
- pripomočke (kreiranje vremenskih datotek, vnos datoteke z lastnostmi zemljine in površinskega odtoka prispevnega območja, zagon več hidroloških in nitratnih projektov hkrati),
- urejanje oken in obsežna pomoč za uporabo programa.



Slika 22: Osnovna orodna vrstica programa DRAINMOD

Po odprtju projekta se odpre glavno okno (slika 23), ki ga imenujemo kar projektno. Hkrati je možno odpreti več projektov in med njimi preklapljati preko orodne vrstice. V navigacijskem delu lahko preklapljamo med posameznimi okni za vnos različnih podatkov in glede na izbran projektni element se prikaže pripadajoč urejevalnik parametrov. S pomočjo projektnih gumbov, ki se nahajajo takoj pod osnovno orodno vrstico, izvajamo simulacijo, preverjamo izhodne datoteke, grafe, analize, nenazadnje pa lahko tudi naredimo varnostno kopijo podatkov.



Slika 23: Projektno okno programa DRAINMOD

Posamezna podokna z njihovo vsebino bomo podrobneje predstavili v nadaljevanju naloge, predvsem v praktičnem delu, ko bomo poizkušali na podlagi izbranih ter že pripravljenih podatkov za našo testno površino poiskati najbolj ustrezne parametre za drenažni sistem.

### 3.6 Osnovne funkcije programa

Projektni gumb v meniju orodne vrstice programa DRAINMOD nam omogoča odpiranje, kopiranje in shranjevanje projektnih datotek ter njihovo tiskanje. Pod datotečnimi nastavitvami se nahajajo

shranjene poti do map, kjer se nahajajo datoteke za posamezne sklope (splošno, zemljina, klima, pridelki in rezultat). Mape je možno spremeniti, a avtor zaradi stabilnosti programa tega ne priporoča.

Če želimo odpreti nov projekt, je potrebno najprej odpreti enega izmed obstoječih (datoteke s končnico .PRJ) in ga nato shraniti pod novim imenom. Vse spremembe na projektu se ne bodo shranile ob izhodu iz programa preko menija Projekt ampak s funkcijo Shrani kot ali pa preko gumba Zapusti projekt, ki se nahaja skrajno desno v vrsti s simulacijskimi gumbi.

Vse projektne nastavitve v meniju hidrologije, ki jih bomo naredili, se shranjujejo v datoteko s končnico .GEN, vsebujejo pa drenažni načrt, klimatske datoteke, vodoravno prevodnost zemljine, parametre za namakanje z odpadno vodo, datume namočenosti in globine nasičenosti, korekcijske faktorje PET in ostale informacije, ki jih potrebujemo za simulacijo programa. Ime datoteke je enako imenu projekta.

Naslednji gumb v meniju orodne vrstice so pripomočki (*Utilities*), s katerimi si pripravimo klimatsko in zemljinsko datoteko. Naslednja od možnosti je vnos podatkov o prispevnem območju ter opcija za zagon simulacije več izbranih projektov hkrati.

Predzadnji gumb nam omogoča enostavno preklapljanje med okni, zadnji gumb pa je sklop Pomoči. Pod njim najdemo koristna in hitra uporabniška navodila, dostop do vgrajene in zelo dobro opremljene Pomoči z naprednim iskalnikom, bližnjice do pomoči na medmrežju ter nekaj splošnih povezav do podatkov o programu. Velja še dodati, da je teoretično ozadje dobro dokumentirano in morebitnemu novemu uporabniku omogoča dokaj jasno uporabo programa DRAINMOD.

### 3.7 Upravljanje vhodnih datotek in podatkov

Projektni meni je v osnovi razdeljen na upravljanje vhodnih datotek in podatkov. Pri upravljanju vhodnih datotek lahko uporabnik nastavi poti do prej pripravljenih datotek, in sicer za področja hidrologije, zemljine, klime in pridelkov.

Projektna (.PRJ) in splošna datoteka (.GEN) sta zelo pomembni, saj vsebujeta informacije o lokacijah datotek in vhodnih parametrih. Skoraj vedno sta obe datoteki poimenovani enako, kar uporabnikom preprečuje spremembe v enem sistemu, ki bi lahko vplivale na kakega drugega.

Splošna oz. hidrološka datoteka vsebuje sistemske projektne nastavitve, kot so drenažni načrt, klimatski podatki, bočna prevodnost zemljine, namakalni parametri za odpadno vodo, datumi namočenosti in globina nasičenosti, korekcijski faktorji za PET in ostale informacije, uporabljene pri simulaciji modela. GEN datoteka se avtomatsko ustvari ob kreiranju novega projekta in je pri vseh modelih obvezna.

Datoteka odtoka prispevnega območja (.OVR) se prav tako vnese pod hidrološko alinejo. Vsebuje pa podatke o količini površinskega odtoka s prispevnih območij, ki ležijo nad projektним območjem ter znatno vplivajo na količino dovedene vode. Poleg datoteke prispevnega območja je pomemben podatek še razmerje med celotno prispevno in projektno površino (*Field Ratio*).

Naslednji sklop datotek se uvrsti pod alinejo zemljine. Prva datoteka zemljine (.SIN) se uporablja v vseh projektih, vsebuje pa splošne podatke o zemljini in sicer o vodnih lastnostih, podtalnici (njen volumen, sposobnost kapilarnega dviga) in Green-Amptove parametre infiltracije. Datoteka s podrobnimi lastnostmi vode (.MIS) se uporablja pri projektih za simuliranje slanosti in nitratov ter temperature zemljine. Pri omenjenih projektih simulacije slanosti in nitratov se uporablja še datoteka drenirane volumna podtalnice (.WDV).

Klimatski podatki vključujejo podatke o padavinah (.RAI), temperaturi (.TEM) in PET (.PET). Padavinska datoteka je sestavljena iz urnih količin padavin v stotinkah enote, temperaturna datoteka iz

izmerjenih dnevnih maksimumov in minimumov v stopinjah, PET datoteka pa iz dnevnih količin v stotinkah enote. V primeru obkljukane nastavitve »Thornthwaite« datoteke PET za simulacijo ne potrebujemo.

Datoteka pridelkov (.CIN) vsebuje parametre za napoved relativnih donosov, kot so datumi sajenja, sezona rasti, globina koreninskega sistema ter mesečne nastavitve globine zaježitve. Simulacija modela DRAINMOD je možna tudi brez nastavljene datoteke, a je potem treba ročno vnesti podatke globine korenin, presežne vode v zemljini in podatke o prevodnosti zemljine za dve obdobji spomladansko in jesensko).

S spremembo projektnega tipa v projektnih nastavitvah na slanost (»Salinity«) ali dušik (»Nitrogen«) se odpre možnost vnosa dveh dodatnih tipov vhodnih datotek (po ena za vsak projektni tip). Dušikova datoteka (.DMN) vsebuje vse parametri povezane z nitrati, datoteka s parametri slanosti (.DMS) pa vključuje vse parametre, ki so povezani s slanostjo zemljine.

Vhodne podatke, ki jih v model dobimo preko vhodnih datotek, lahko na različne načine krmilimo s projektnimi nastavitvami (slika 23), ki jih lahko razdelimo na naslednje sklope:

- projektni tip (hidrologija, slanost, dušik),
- opis projekta (prostor za podrobnejši opis projekta, lokacije itd.),
- možnosti simulacije (splošne nastavitve, PET nastavitve, izbira načina talnega upravljanja vode, vpliv površinskih voda),
- čas začetka in konca simulacije,
- nastavitve za izhodne podatke,
- nastavitve za simuliranje ogljika ter nitrata,
- nastavitve za simuliranje slanosti.

Pod zavihkom Upravljanje vhodnih podatkov za posamezna področja vnašamo pomembne parametre, ki vplivajo na končne rezultate simulacij. Področja z nastavitvami parametrov so hidrološki kriterij namočenosti, drenažni načrt, zemljina, klima, pridelki ter opcijsko slanost, ogljik/dušik ter namakanje.

Pod hidrološke kriterije namočenosti vnašamo zgolj nekaj parametrov. To so začetni in končni dan vrednotenja, kritična globina podtalnice ter neprekinjeno obdobje nasičenosti zemljine.

Pri drenažnem načrtu parametre vnašamo v tri sklope, in sicer sistemski načrt, nastavitve zaježitve in pronicanje. Pri sistemskem načrtu imamo možnost vnosa dveh skupin parametrov, podpovršinski in površinski. Podpovršinski parametri drenaže so: globina od površine do drenaže  $B$  [cm], razmik med drenažami  $L$  [cm], efektivni premer drenaž  $R_e$  [cm], razdalja od površine do neprepustnega sloja  $D_e$  [cm], ekvivalent globine od drenaže do prepustnega sloja  $D_e$  [cm], drenažni koeficient [cm/dan], Kirkhamov koeficient  $G$ , začetna globina podtalnice  $W$  [cm] in maksimalna kapaciteta črpalke za podzemno namakanje [cm/dan]. Površinska parametra sta dva, in sicer maksimalna površinska akumulacija  $S_m$  [cm] ter Kirkhamova globina toka do drenaž  $S_l$  [cm]. Pod nastavitvami praga v osnovi vnašamo dva parametra za značilnosti jarka, ob določenih nastavitvah projekta pa še nastavitve praga. Pri lastnostih načrtovanega jarka vnesemo širino dna jarka [cm] ter naklon brežin v razmerju  $H:V$ . Nastavitve praga so razdeljene po posameznih mesecih, za katere vnašamo globino vode [cm]. Zadnji sklop nastavitvev drenažnega načrta pa vključuje zbrane nastavitve za pronicanje v različnih smereh. Vse tri opcije (po pobočju, navpično ter bočno pronicanje) lahko vklapljammo s kljukico glede na potrebe obravnavanega območja. Za simuliranje pobočnega pronicanja je potrebno vnesti dva parametra, in sicer pobočni naklon  $S$  [%] in dolžino pobočja  $L_s$  [cm]. Simulacija vertikalnega pronicanja potrebuje za izračun piezometrični tlak vodonosnika  $H_v$  [cm], debelino omejujočega sloja  $D_v$  [cm] in njegovo vertikalno prevodnost [cm/uro]. Zadnji sklop nastavitvev pripada simuliranju bočnega pronicanja, kjer potrebujemo parametre debeline prepustnega sloja  $H_d$  [cm], hidravlični tlak prispevnih voda  $H_r$  [cm], razdaljo do pripevnih voda  $L_r$  [cm] in vodoravno hidravlično prevodnost

prepustnega sloja [cm/uro]. Pod sklopom parametrov se nahaja še gumb, preko katerega dostopamo do diagramov za pronicanje, kjer so grafično predstavljeni vsi potrebni parametri.

Podatke o zemljini in njene parametre vnašamo v naslednje sklope nastavitvev: vodne značilnosti zemljine, drenažni volumen kapilarnega dviga, infiltracija, bočna nasičena prevodnost, podrobni vnos parametrov za posamezne sloje zemljine ter temperaturne lastnosti zemljine. Vodne značilnosti zemljine je možno vnesti za 5 različnih slojev, vnaša pa se parameter  $\theta$  [cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>] za posamezne globine, ki so izražene z negativnim predznakom [-cm]. Dodatno je za projekte simuliranja slanosti in nitratov možen vnos drenirane količine v povezavi z globino podtalnice. Pri drenažnem volumnu dvižnega toka v razpredelnico vnašamo drenirani volumen [cm] in kapilarni dvig [cm/uro] za posamezne globine podtalnice [cm]. Za bočno hidravlično prevodnost je možen vnos parametrov za 5 različnih slojev. Za vsakega od petih slojev določimo globino [cm] in pripadajočo nasičeno hidravlično prevodnost [cm/uro]. Pri infiltraciji za izračun Green-Amptovih parametrov v razpredelnico glede na globino podtalnice [cm] vnašamo pripadajoča koeficienta  $A$  in  $B$ , ki se izračunata po enačbah 14 in 15. Za 5 možnih slojev se vnašajo tudi parametri za bočno nasičeno prepustnost. Za posamezne sloje in globine dna [cm] se vnese pripadajoča nasičena hidravlična prevodnost [cm/uro]. Temperaturne lastnosti zemljine so nadalje razdeljene na splošne parametre, začetne in mejne pogoje ter značilnosti zmrzovanja. Na glavnem zavihku so zbrane nastavitve za funkcijo izračuna globine ( $ZA$  in koeficienta), za funkcijo temperaturne prevodnosti zemljine sta potrebna  $TKA$  in  $TKB$  koeficienta, pod mejne temperaturne vrednosti pa vnesemo povprečno temperaturo zraka, pri kateri pada sneg in nad katero se tali, koeficient taljenja snega [mm/dd-C°] in kritično debelino ledene skorje, pri kateri se infiltracija zaustavi [cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>]. Pod začetnimi pogoji lahko parametriziramo globino zemljine [cm] in pripadajočo temperaturo [C°], dodatno pa lahko določimo še višino snežne odeje [m] in njeno gostoto [kg/m<sup>3</sup>]. Mejne pogoje določata parameter za fazni zamik sinusnega vala dnevne temperature [ura] in pa temperatura zemljine na dnu profila [C°]. Zadnje so nastavitve značilnosti zmrzovanja, kjer glede na temperature zemljine pod ničlo vnašamo pripadajočo količino vode, ki še ni zamrznila [cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>].

Naslednji je klimatski podatkovni sklop, kamor vnesemo padavinske in temperaturne podatke, Thornwaitove parametre o zemljepisni širini in temperaturnem indeksu, izberemo dnevni ali mesečni PET faktor ter faktorje za mesečno korekcijo podatkov.

Podatki za poljščine so razdeljeni v štiri osnovne sklope, to so globina koreninskega sistema, SEW parametri (količina presežne vode) ter prvo in drugo obdelovalno obdobje. V razpredelnico globine koreninskega sistema se lahko vnese globina korenin [cm] za določeni dan v mesecu. Pri SEW parametrih sta pomembna dva podatka, in sicer spodnja meja vsebnosti vode v koreninskem sistemu (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>) in mejna globina podtalnice [cm]. Dodatno moramo določiti še začetek in konec obdobja vlažnega in suhega vremena, v katerem lahko pride do negativnih učinkov na poljedelske donose (običajno nastavimo obe območji od začetka zasaditve do konca rasti oz. oranja). Preko nastavitvev za poljščine lahko dostopamo do nastavitvev zaježitve, ki smo jih že omenjali pod nastavitvami drenažnega načrta.

V kolikor v projektnih nastavitvah nastavimo simuliranje donosov pridelkov, se pojavi še dodatni menu »donosi« z nastavitvami za sajenje, stres ob presežni količini vode ali pomanjkanju le-te ter zasoljenosti. Pri nastavitvah za sajenje je mogoče določiti časovni razpon sajenja z začetnim in končnim dnevom v letu in obdobje rasti od dneva zasaditve in številom dni za rast. Dodatno je potrebno vnesti še parametre za korekcijo datuma zasaditve, kot so zadnji možni dan zasaditve brez izgub pri donosu, število dni za pripravo zemljine in zasaditev, korekcijski faktor prve stopnje, število dni za upoštevanje korekcijskega faktorja prve stopnje ter korekcijski faktor druge stopnje. Stresni parametri se vnašajo ločeno za presežno namočenost zemljine, za preveč izsušeno zemljino ter primere zasoljenosti zemljine.

V nastavitvah projekta lahko vključimo še tri možnosti simulacije v programu DRAINMOD, in sicer simuliranje zasoljenosti, transporta dušika in ogljika ter učinka namakalnega sistema. Glede na to, da v



nalogi teh simulacij ne bomo izvajali, lahko samo omenimo, da so podrobnejši napotki glede nastavitvev in potrebnih nastavitvev natančno opisani v vgrajeni pomoči programa ali na spletni strani [http://www.bae.ncsu.edu/soil\\_water/help\\_file/index.html](http://www.bae.ncsu.edu/soil_water/help_file/index.html).

## 4 PRIMER IZRAČUNA NA TESTNI POVRŠINI

### 4.1 Izbira lokacije

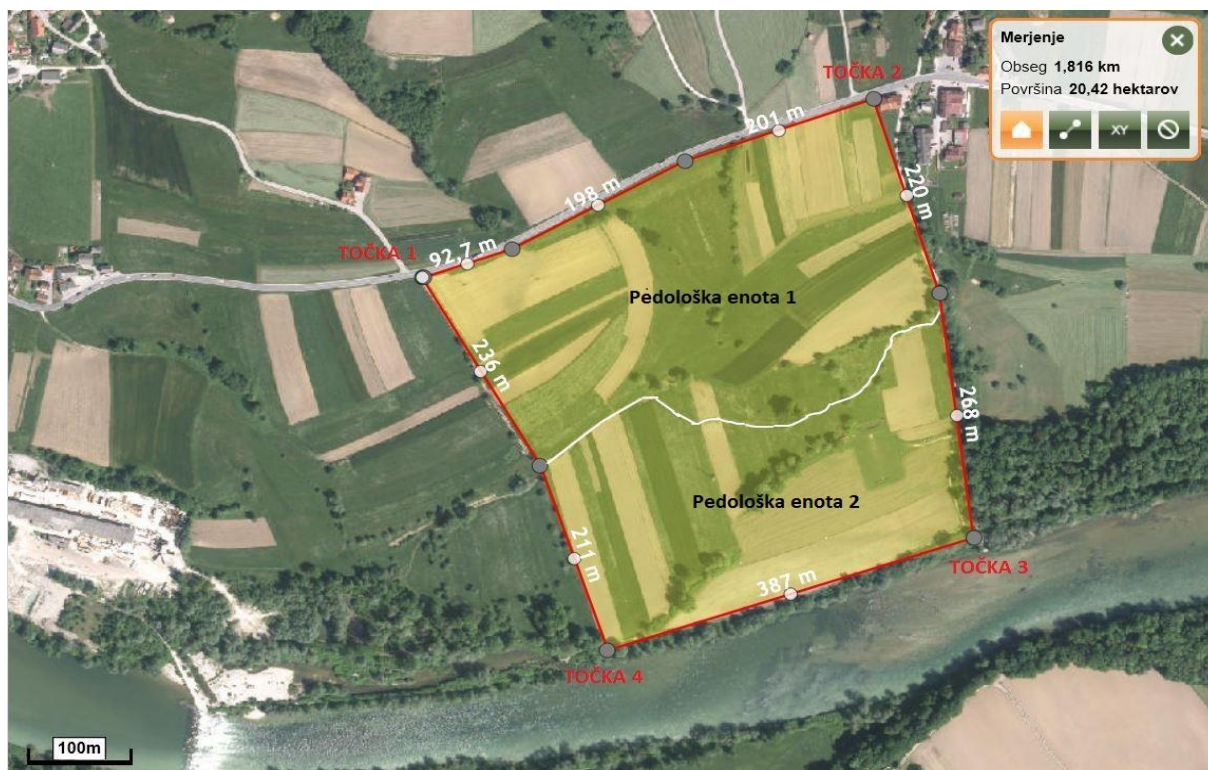
Glede na to, da je v neposredni bližini Litije predvsem na račun reke Save precej območij, ki so z vidika visoke podtalnice in na nekaterih mestih tudi zaradi rahle zamočvirjenosti primerna za dreniranje, smo izbrali eno od teh lokacij. Po nam znanih podatkih, na teh kmetijskih površinah, ki so večinoma zatravljene ali se na njih izvaja intenzivna pridelava koruze za potrebe živinoreje, ni nobene oblike drenažnih sistemov. Ker so obdelovalne površine skozi dolino reke Save na razširjenem delu okljuje, ki sega nekje od Kresnic pa vse do Spodnjega Loga pri Litiji, podvržene poplavljanju ob visokih vodah, bi uporaba drenažnih sistemov lahko znatno pripomogla k izboljšanju kvalitete površin, njihovih obdelovalnih možnosti in same dostopnosti s kmetijsko mehanizacijo ter nenazadnje precejšnjemu zmanjšanju časa, ko so površine poplavljene.



*Slika 24: Fotografija obravnavane površine v smeri od gasilskega doma proti reki Savi (foto: Jurjevec, 2016)*

Eno izmed takšnih območij, za katero smo simulirali učinkovitost drenažnega sistema ob različnih parametrih, se nahaja ob magistralni cesti od Ljubljane proti Zasavju med krajema Zg. ter Sp. Hotič. Po terenskem ogledu testne površine (slika 24) lahko sklepamo, da na omenjenem območju ni sledu o obstoječih drenažnih sistemih. Območje je na severu omejeno z omenjeno magistralno cesto, na vzhodni strani površino omejuje Loki potok, na zahodni kolovozna pot za dostop s kmetijsko mehanizacijo in na jugu z reko Savo (slika 25). Širina območja znaša 440 m, dolžina (od magistralne ceste do reke Save) pa 470 m. Površina izbranega območja je 20,42 ha.

Na obravnavanem območju so površine pogosto poplavljene za kratek čas, k razmočenosti pa dodatno vpliva še bližina reke Save, ki ob visokem vodostaju napaja podtalnico.



Slika 25: Izbrana testna površina med Zg. in Sp. Hotičem z robnimi točkami in dvema pedološkima enotama (ARSO, 2016)

Za skrajne točke na terenu je možno s pomočjo Atlasa okolja (ARSO, 2016) razbrati za naše izračune dovolj natančne podatke o točkovni lokaciji, kot je prikazano za točko 1 (slika 26), ki je najvišja točka izbrane površine.



Slika 26: Podrobni lokacijski podatki za točko 1 (ARSO, 2016)



Štiri robne točke (slika 25) so označene od točke 1 do točke 4 v smeri urinega kazalca. Za vsako od teh točk so v preglednici 5 predstavljene koordinate in nadmorska višina. S pomočjo podatkov o višini smo določili naklon terena, ki ga potrebujemo v nadaljevanju.

*Preglednica 5: Pregled lokacijskih podatkov za vse robne točke drenažne površine (ARSO, 2016)*

Podatek	Točka 1	Točka 2	Točka 3	Točka 4
GKY	486479	486927	487023	486655
GKX	105130	105323	104848	104735
Lat (Z. širina)	46,090192°	46,091937°	46,08766°	46,086634°
Lon (Z. dolžina)	14,820353°	14,826143°	14,827402°	14,822643°
Nadmorska v. [m]	255	250,2	240,5	241,2

Glede na pedološko karto (ARSO, 2016) smo območje razdelili na dve po površini približno enaki enoti. Zgornji del površine (slika 24) predstavlja pedološka enota 1, spodnji del pa pedološka enota 2. Pri prvi enoti je 70 % tipičnih distričnih rjavih tal na ledenodobnih glinah in ilovicah, 30 % pa predstavljajo izprana distrična rjava tla, prav tako na ledenodobnih glinah in ilovicah. Efektivna poljska kapaciteta tal (EPK) 2. razreda je velika, in sicer med 151-230 mm. Enota 2 (spodnja površina) je sestavljena iz 60 % plitvih karbonatnih obrečnih tal na peščeno prodnatem aluviju in 40 % srednje globokih karbonatnih obrečnih tal na peščeno prodnatem aluviju. EPK 4. razreda je majhna in znaša med 31 – 80 mm.

Za distrične zemljine je značilna nizka stopnja nasičenosti z bazičnimi kationi ( $V < 50\%$ ) ter nizek pH, ki se meri v vodi in je manjši od 5,5. Zaradi kisle reakcije so včasih tla imenovali tudi kislja rjava tla. Intenzivna kmetijska raba na takšnih tleh je povzročila, da so takšna tla že močno izgubila distrični značaj, na njih pa uspevajo le redke poljščine, kot so krompir in rž. Za izboljšanje kakovosti tal je priporočljivo redno apnenje (Prus, 2000).

Spodnja površina je posledica dolgoletnih aluvialnih nanosov, ki so v globini prodnata in peščena. Tla so tudi globoko humosna. Zaradi bližine vodotoka se v tla redno dovajajo rastlinska hranila, raba takšnih tal pa je predvsem z vidika poplavljanja večinoma travniška. V kolikor bi lahko zagotovili zadostno poplavno varnost, so lahko takšna tla zelo rodovitna. To pa ima po svoje lahko tudi negativni učinek, saj ravno poplavljanje zagotavlja dodatne količine hranil za rastlinje (Prus, 2000).

Pokrovnost tal na podatkovnem sloju CLC<sup>13</sup> 2012 je za celotno območje enaka, in sicer: na 1. nivoju gre za kmetijske površine, na 2. nivoju za mešane kmetijske površine, natančneje (na 3. nivoju) pa kmetijske površine drobno posestniške strukture. Ta podatek je za dejansko izvedbo našega projekta lahko precej problematičen, saj na obravnavanem območju prevladuje razdrobljena lastniška struktura, ki bi za dejansko izvedbo potrebovala vključenost vseh lastnikov. Vsekakor bi bila najbolj idealna opcija, da celotno območje lastniško obvladuje eden ali mogoče zgolj nekaj posameznih lastnikov.

Izdelava drenažnega sistema na takšnem območju je ena od možnih rešitev, da se izognemo protipoplavnim ukrepom in omogočimo, da se voda čim hitreje odvede s poljedelskih površin. S tem se skrajša negativni učinek preplavljanja in zmanjšanja poljedelskih donosov. Skozi nadaljevanje naloge nas bo vsekakor zanimalo, do kakšne mere lahko drenažni sistem pripomore k izboljšanju poljedelskih pogojev in posledično njegovih donosov.

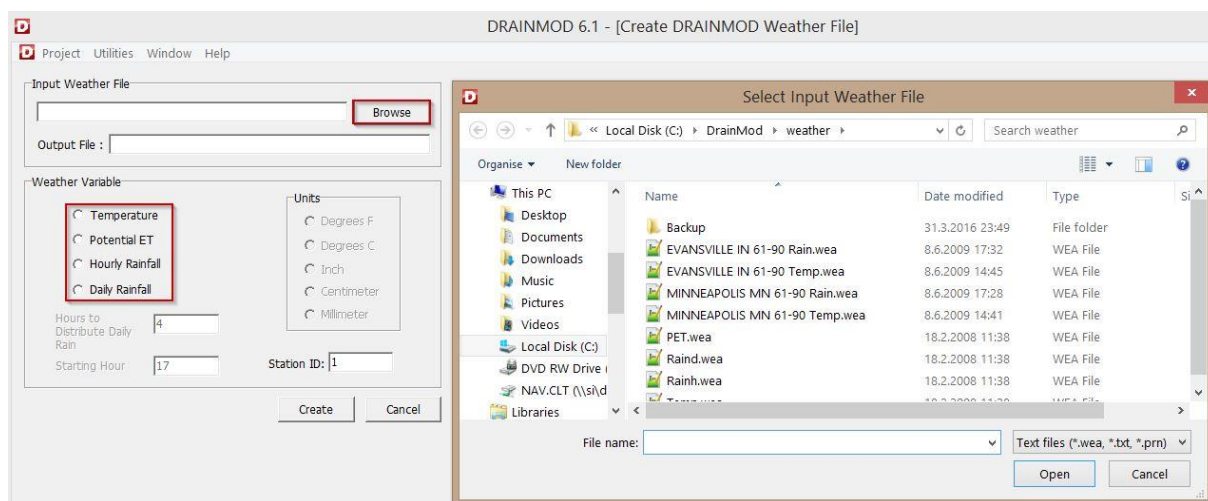
<sup>13</sup> CLC je okrajšava za CORINE Land Cover, ki predstavlja podatkovni sloj za pokrovnost tal. CORINE je program ustanovljen v letu 1985 s strani EU in je okrajšava za »Coordination of Information on the environment«, kar v prevodu pomeni Koordinacija okoljskih informacij.

## 4.2 Priprava podatkov in njihova razpoložljivost

Kot smo že omenili, bomo za pripravo datotek uporabili pripomoček za kreiranje klimatske in datoteke o zemljini. Prispevnega območja ne bomo upoštevali, saj smo predpostavili, da je večina padavinskih vod nad magistralno cesto speljanih ali skozi cevne prepuste ali pa se gravitacijsko izteka v Loki potok, ki poteka ob celotni vzhodni dolžini našega testnega območja. V nadaljevanju bomo na podlagi razpoložljivih podatkov izdelali ustrezne datoteke za izvedbo kasnejše simulacije.

### 4.2.1 Klimatski podatki

Datoteko klime (.WEA) s podatki sestavljajo tri različna področja oz. vhodne datoteke za padavine (.RAI), temperature (.TEM) in pa PET (.PET). Vsako od teh datotek lahko na podlagi vhodnih podatkov pripravimo s pomočjo pripomočka za kreiranje datoteke klime (slika 27). Vhodni podatki so lahko poljubnega formata, je pa pomembno točno mesto podatka v vrstici in način zapisa. V nasprotnem primeru se konvertiranje sicer izvede, a je kreirana datoteka prazna. Po tem, ko je vhodna datoteka nastavljena, določimo ime izhodne datoteke, transformacija in ustrezna končnica pa se določi na podlagi izbrane spremenljivke (temperatura, PET, urne padavine, dnevne padavine) in izbrane enote. Pri dnevnih padavinah je potrebno vnesti še podatek o številu ur, na katere bomo razporedili padavine ter uro pričetka padavin. Številka merilnega mesta je 6-mestna, običajno je v uporabi COOP-ov ID.



Slika 27: Različne opcije za pripravo datotek klime v DRAINMOD formatu

Za pripravo temperaturne datoteke (.TEM) program potrebuje datoteko s štirimi stolpci podatkov, in sicer leto meritve, zaporedni dan v letu, dnevni maksimum in dnevni minimum (slika 28). Pomembno je, da pri kreiranju datotek upoštevamo vrstni red vhodnih podatkov, kot to navaja avtor programa, da ne pride do napak ob sami transformaciji. Pomembno je tudi, da med posameznimi podatki obstaja razmik, minimalno v obliki enega presledka.

ID	Year	Month	Temp 1	Temp 2
1	2015	1	-3.0	-9.6
2	2015	2	1.5	-5.5
3	2015	3	0.6	-4.5
4	2015	4	10.3	-0.5
5	2015	5	8.5	0.0
6	2015	6	4.9	-3.6
7	2015	7	2.7	-2.7
8	2015	8	2.3	-4.1
9	2015	9	7.5	1.0
10	2015	10	11.5	6.3
11	2015	11	8.0	0.1
12	2015	12	3.5	-0.5

Slika 28: Primer strukture vhodnih podatkov za izdelavo .TEM datoteke. (Vir podatkov ARSO, 2015)

Glede na razpoložljive podatke je najbližja merilna postaja v Litiji, a dnevni podatki o temperaturi za razpon enega leta ni na voljo. Zato smo iz arhiva dnevni podatki ARSO (ARSO, 2015) izbrali najbližjo lokacijo z razpoložljivimi temperaturnimi vrednostmi in to je Ljubljana – Bežigrad (lon = 14.5124, lat = 46.0655), nahaja pa se na nadmorski višini 299 m. Datoteka se s klikom na gumb Shrani podatke izvozi v .TXT obliko. S te postaje smo vzeli tudi ostale podatke, in sicer dnevne padavine in dnevno evapotranspiracijo.

Kot rezultat transformacije glede na vnesene parametre v vnosno masko za pripravo datoteke klime (slika 27), se v isto mapo, od koder izberemo vhodno datoteko, kreira .TEM datoteka, ki ima isto ime kot vhodna datoteka, le končnica se razlikuje. Če podrobneje preverimo strukturo datoteke s programom Notepad++ (slika 29), si podatki sledijo takole: ID postaje, leto meritev, mesec in dnevne meritve.

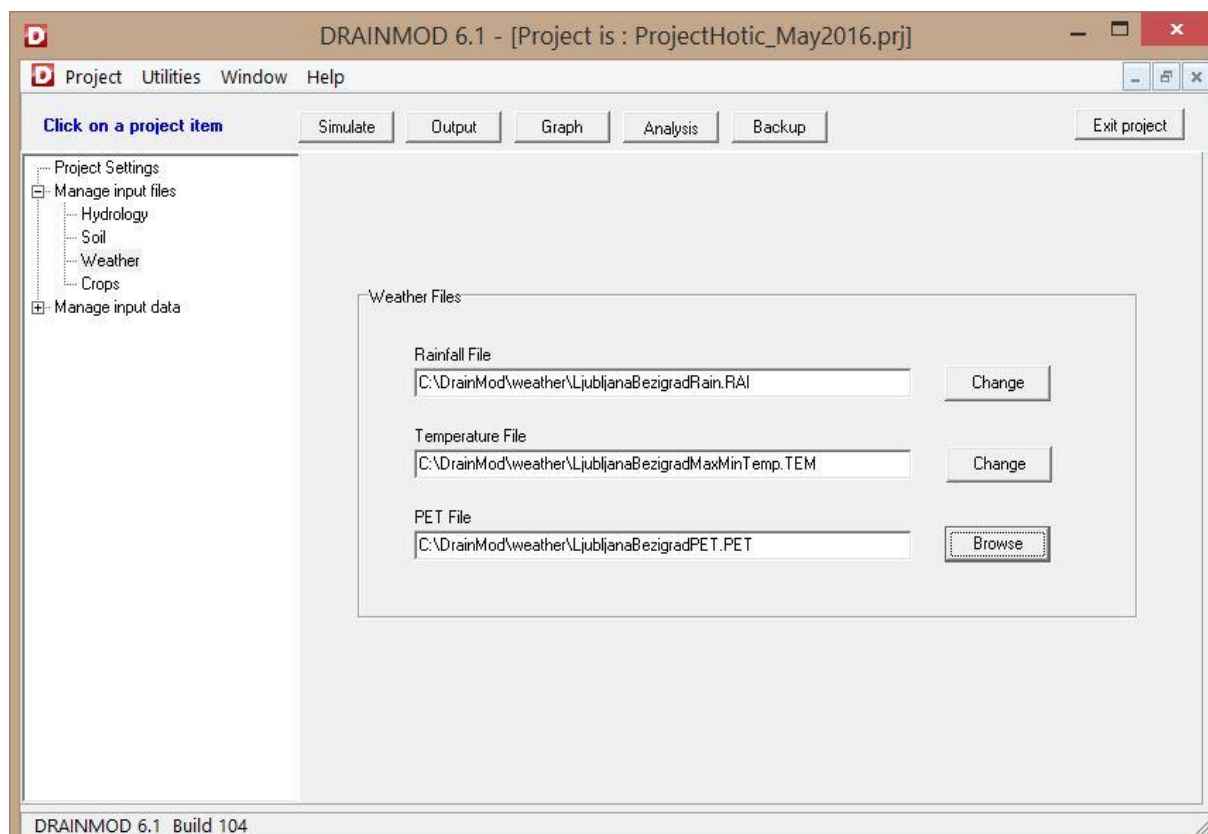
Year	Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	16	19	20	21	22	23	24														
1895	2015 1	27	15	35	22	33	24	51	31	47	32	41	26	37	27	36	25	45	34	53	43	46	32	38	31	53	29	50	45						
1895	2015 2	46	32	55	41	56	46	52	37	48	37	41	32	39	35	42	38	46	40	45	36	40	34	40	28	38	27	43	23	37	27	35	32	39	27
1895	2015 3	37	32	36	29	31	27	37	30	34	29	34	31	36	24	36	16	34	23	47	24	48	31	41	31	41	35	37	35						
1895	2015 4	50	35	50	32	47	27	44	33	49	24	53	26	49	35	43	37	43	36	44	39	44	39	53	37	49	34	46	35						
1895	2015 5	52	34	48	45	55	38	53	33	49	38	50	36	52	30	53	30	53	31	58	30	52	33	54	35	54	32	52	31						
1895	2015 6	50	35	48	37	57	39	58	32	60	34	58	34	56	33	58	42	57	44	63	35	52	40	53	44	51	43	61	40	64	38	63	49	62	47
1895	2015 7	56	41	56	32	58	33	47	39	49	40	49	34	55	36	62	35	63	36	68	38	68	49	72	47	76	44	68	52						
1895	2015 8	76	46	75	47	63	56	56	38	56	34	69	35	74	40	77	43	71	45	64	52	66	44	67	51	66	56	59	54	64	46	61	42		
1895	2015 9	59	46	68	52	62	57	74	58	80	58	82	57	76	57	79	51	75	57	77	55	76	50	78	48	81	55	79	58						
1895	2015 10	63	56	69	55	73	56	76	56	82	54	78	58	61	50	56	51	58	49	67	49	71	52	74	53	67	53	70	47	78	47	80	53	71	61
1895	2015 11	81	54	84	57	88	60	88	66	85	64	88	63	87	64	85	61	85	61	82	59	85	62	90	63	86	68	84	63						
1895	2015 12	80	60	72	62	69	56	75	50	68	57	67	53	70	51	77	50	66	53	70	52	77	49	79	54	79	59	80	58	77	58	84	59		
1895	2015 13	86	62	90	64	90	69	90	68	90	67	96	68	97	72	93	74	75	60	79	58	88	57	91	64	81	67	86	63						
1895	2015 14	90	66	93	67	96	70	96	71	97	72	91	72	96	71	97	71	98	70	88	69	82	66	76	62	68	61	71	61	68	63	64	57	75	55
1895	2015 15	78	52	80	63	83	65	87	64	88	69	90	67	92	67	92	68	92	67	89	63	90	65	92	62	95	63	92	66						
1895	2015 16	87	67	81	65	67	63	79	63	69	61	74	59	70	59	76	55	75	53	70	58	77	59	76	58	85	58	86	58	90	61	91	61	88	63
1895	2015 17	89	62	77	64	75	64	69	59	63	54	69	51	68	48	69	45	68	48	65	48	69	52	75	50	76	52	77	58						
1895	2015 18	81	61	78	58	84	64	85	64	72	64	73	60	69	49	70	45	69	53	56	50	59	54	65	54	63	54	62	45	62	46	59	50		
1895	2015 19	58	50	62	51	64	52	67	51	71	51	60	51	60	56	64	55	62	53	58	52	56	50	52	45	51	47	51	48						
1895	2015 20	53	48	59	45	59	42	63	46	53	45	57	42	55	38	56	42	61	38	62	45	57	40	53	42	59	44	56	45	54	51	60	47	59	37
1895	2015 21	58	37	54	30	58	30	68	36	63	41	62	37	65	36	70	40	71	38	63	44	69	39	67	39	54	40	56	41						
1895	2015 22	56	45	62	40	56	35	57	47	56	41	56	51	56	33	41	33	39	31	38	34	35	32	36	31	43	29	45	35	44	30	52	29		
1895	2015 23	53	41	56	40	43	35	49	40	42	33	51	31	50	32	38	31	38	36	41	33	35	29	35	29	39	25	41	29						
1895	2015 24	45	36	40	33	40	31	34	31	38	32	35	30	50	29	52	40	51	32	41	29	48	30	38	31	42	28	42	29	42	29	39	34	34	24

Slika 29: Podrobnejša struktura kreirane datoteke .TEM na podlagi vhodnih podatkov s portala ARSO (ARSO, 2015)

Na podoben način se izdelava tudi .PET datoteka. Za PET so podatki dostopni po posameznih mesecih za vsak dan, PET oz. ETP pa je izražena v mm. Program za transformacijo potrebuje tri stolpce, in sicer v prvem stolpcu se mora nahajati leto meritve, v drugem zaporedno število dneva in v zadnjem stolpcu dnevna PET (v našem primeru je izražena v mm, možen pa je vnos tudi v centimetrih in inčih). Izhodna datoteka je shranjena s končnico .PET.

Izdelava padavinske datoteke je možna na podlagi urnih in dnevniških podatkov. V našem primeru bomo uporabili dnevne padavinske podatke. Datoteka mora prav tako vsebovati tri stolpce, v prvem leto meritve, v drugem zaporedno število dneva meritve in v zadnjem stolpcu količino padavin v mm (lahko tudi v cm ali inčih). Pri dnevniških podatkih je potrebno za transformacijo določiti še dva parametra. To je št. ur, na katere bomo razporedili padavine (npr. 3) ter čas začetka padavin (npr. 16).

Po končani transformaciji vseh pripravljenih podatkov v ustrezne datoteke formatov DRAINMOD programa, jih je potrebno nastaviti v meniju pod upravljanje vhodnih podatkov (slika 30). Nastaviti je potrebno datoteke s tremi različnimi končnicami .RAI, .TEM in .PET.



Slika 30: Nastavitev pripravljenih datotek s podatki o padavinah, minimalnih in maksimalnih dnevnih temperaturah ter PET

Velja omeniti še to, da je pri pripravi podatkov pomembno, da med serijami ni manjkajočih podatkov. Na mestih, kjer recimo manjkajo padavine oziroma niso bile zabeležene, moramo dopolniti podatke z vrednostjo 0. Na ta način se izognemo morebitnim nevšečnostim v nadaljevanju, ko bomo izvajali simulacije modela.

#### 4.2.2 Podatki o zemljini

V prvem koraku pridobivanja podatkov o zemljini je pomembno analizirati, kakšni tipi zemljin se pojavljajo na obravnavanem območju. Glede na analizo pedološke karte v poglavju 4.1 lahko sklepamo, da se na našem območju pojavljata dva različna tipa zemljine. Pri pregledu pedološke karte v manjšem merilu (slika 31) pa je za naše območje razviden zgolj en tip zemljine, to so distrična rjava tla na nekarbonatnih peščenih prodnatih sedimentih. Talno število v povprečju znaša od 75-53 (minimum je 75, maksimum pa 53). Glede na to, da je dreniranje v peščenih nanosih neproblematično, bomo v izračunih modela predpostavili, da gre na celotnem območju zgolj za en tip zemljine (distrična rjava tla).





Slika 31: Sloj pedološke karte v merilu 1:250.000 v Atlasu okolja (ARSO, 2016)

Glede na klasifikacijo po FAO spada ta zemljina pod oznako CMD tipa distrični kambisol (*Dystric Cambisol*). Gre za zmerno razvite prsti, ki imajo v spodnjem delu profila zaradi preperete matične podlage barvno in strukturno spremembo, ki jo prepoznamo kot kambični Bv horizont, nasičenost z baznimi kationi pa je manjša od 50 % (Pedografske enote, 2016).

Glede na to, da za to območje nismo izvedli laboratorijskih testov in preiskav ali našli drugih dostopnih podatkov, smo na podlagi opisnih lastnosti za to vrsto zemljine poizkušali najti čim boljši približek za potrebe naše simulacije. Po FAO (2001) je tekstura takšnih zemljin ilovnato glinasta, zraven pa so običajno primešani aluvialni nanosi (pesek, mivka, melj...) s fino teksturo.

Glede na vse razpoložljive tipe zemljin, ki so bile podrobneje testirane in opisane v Drainmod publikaciji, je najboljši približek peščena ilovnato glinena zemljina (tj. "*Sandy Loam*") tipa "*Rains*". Po podatkih NCSS (2016) na takšnih zemljinah običajno uspevajo koruza, soja in ostale stročnice, na gozdnatih površinah pa različne vrste iglavcev. Površine so slabo drenirane, pogosto pa je nivo podtalnice nizek. Prepustnost je zmerna, medtem ko je nasičena hidravlična prevodnost zmerna do visoka.

Za oporo pri določanju zemljinskih parametrov bomo vzeli naslednje podatke poskusnega območja Kingston, kjer sta bili opredeljeni zemljina tipa "*Rains*" in po karakteristikah dokaj podobna, a malo manj prepustna zemljina "*Goldsboro*" (Skaggs, 1980):

- Uporabljena je krtična drenaža z razmikom 30 m, globino polaganja 1 m, ter premerom cevi 152 mm (pri zemljini "*Goldsboro*" so cevi glinene in premera 102 mm);
- Efektivni drenažni radij je 7 mm;
- Globina sloja zemljine od vrha do omejujočega ali celo neprepustnega sloja je 1,4 m.

Podatki o zemljini, ki so potrebni za simulacijo, so v programu DRAINMOD razdeljeni v štiri sklope. Prvi sklop predstavlja lastnost zemljine glede na sposobnost vezanja vode v nenasičenem stanju. Poleg hidravlične prevodnosti je to najpomembnejša lastnost zemljine pri modeliranju gibanja vode skozi zemljino. Vrednosti  $\theta$  [ $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ] je potrebno vnesti za tlake[cm] od 0 do -200 ter dodatno še za mejno tlačno vrednost pri 15 barih (zadostujejo tudi vrednosti manjše od -1000 cm). Za zemljino tipa »*Rains*« so izmerjene vrednosti  $\theta$  (preglednica 6) v stanju brez tlačne obremenitve 0,37 in padajo ob tlačni obremenitvi vse do 0,09 pri 15 barih.

Preglednica 6: Vhodni podatki za vodne značilnosti zemljine tipa Rains na podlagi laboratorijskih raziskav (Skaggs, 1980)

Theta (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0,37	0,30	0,282	0,272	0,266	0,258	0,254	0,248	0,244	0,238	0,228	0,224	0,09
Tlak [cm]	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-100	-150	-200	-1500

Naslednji sklop vhodnih podatkov je vezan na tri vhodne parametre, katere medsebojno povezuje višina podtalnice. Prvi parameter izražen v razmerju z višino podtalnice [m] je drenažni volumen [mm]. S pomočjo terenskih meritev in poizkusov na velikih zemeljskih sredicah je Skaggs (1980) pridobil velik del podatkov za različne zemljine in grafični prikaz razmerja med tema dvema parametroma (priloga A), črtkani del podatkov pa je izračunan na podlagi podatka *Theta*. »Rains S.L.« krivulja (priloga A) predstavlja nabor podatkov, ki jih bomo uporabili za simulacijo naše površine.

Drugi od parametrov je kapilarni dvig [mm/dan], ki se prav tako izraža v odvisnosti od višine podtalnice (priloga C). Razmerje med maksimalno stopnjo dviga in globino podtalnice je Skaggs (1980) za posamezne zemljine določil na podlagi reševanja enačbe za navpično nenasičeno gibanje vode zaradi ET na površini zemlje. Predpostavljena mejna vrednost za *h* na površini je -1000 cm.

Vhodni podatki za vse tri parametre, ki jih povezuje višina podtalnice, so vneseni v razponu od 0 do 1000 cm. Drenirani volumen se povečuje z višino podtalnice, medtem ko je kapilarni dvig največji v popolnoma nasičenem stanju zemljine in pada z nižanjem podtalnice vse tja do 1 m pod površjem zemlje (preglednica 7).

Preglednica 7: Povezani vhodni podatki zemljine "Rains" za drenirani volumen in kapilarni dvig v odvisnosti od višine podtalnice (Skaggs, 1980)

Višina podtalnice [cm]	Drenirani volumen [cm]	Kapilarni dvig (cm/h)
0	0	0,2
10	0,25	0,2
20	0,8	0,08
30	1,6	0,025
40	2,3	0,0112
50	3	0,0058
60	3,6	0,0031
70	4,4	0,0018
80	5,2	0,001
100	6,9	0,0004
120	9	0
150	12,5	0
200	20	0
300	35	0
500	50	0
1000	100	0

Infiltracijske koeficiente (preglednica 8) za uporabo v Green-Amptovi enačbi se določijo na podlagi meritev infiltracije na manjših površinah ali na podlagi površinskega odtoka, ki je posledica padavin. Končne meritve so bile narejene s pomočjo zaščiteneh obročnih infiltrmetrov. Koeficienta *A* in *B* iz Green-Amptove enačbe sta bila določena iz vsake ločene meritve glede na višino podtalnice posamezne meritve (Skaggs, 1980). Podoben primer grafikona (iz katerega razberemo podatke infiltracije) s prikazom Green-Amptovih parametrov *A* in *B* v odvisnosti od začetne višine podtalnice je prikazan v prilogi B.

Preglednica 8: Vhodni podatki infiltracije – Green-Amptovi parametri (Skaggs, 1980)

Višina podtalnice [cm]	Koeficient A	Koeficient B
0	0	0
50	1,2	1
100	3,3	1
150	6	1
200	9,2	1
500	25	1
1000	25	1

Zadnji od potrebnih parametrov za lastnost zemljine je vodoravna hidravlična prevodnost  $K$  (preglednica 9), ki se določi za vsak sloj zemljine z drugačnimi lastnostmi ob predpostavki, da je zemljina nasičena z vodo do površja. V našem primeru se vrednosti z globino ne spreminjajo bistveno, tako da je do globine 2 m vrednost  $K$  enaka. V primerjavi z nasičenimi vrednostmi  $K$  se te vrednosti razlikujejo, saj Skaggs (1980) za sloj do 1,1 m navaja  $K$  v višini 4,3 cm/h, globlje do 1,4 m pa se  $K$  zmanjša do 1,0 cm/h.

Preglednica 9: Vodoravna nasičena hidravlična prevodnost (Skaggs, 1980)

Spodnja globina plasti [cm]	Nasičena hidravlična prevodnost $K$ [cm/h]
110	3,6
140	3,6
200	3,6

#### 4.2.3 Pridelki

Za izračunavanje donosov pridelkov je potrebno za simulacijo v programu DRAINMOD za vsako poljščino pripraviti svojo datoteko (.CIN). Podatki, ki jo takšna datoteka vsebuje, so datumi sajenja, rasti, globine koreninskega sistema in morebitne nastavitve zajezitve.

V našem primeru donosov ne bomo računali, vseeno pa je za potrebe simulacije potrebno nastaviti nekaj parametrov in sicer za tri sklope: globina korenin, SEW oz. presežna voda v zemljini ter prehodnost površine spomladi in jeseni.

Na izbranem območju je najpogostejša pridelava koruze, nato sledijo krompir ter žitarice (pšenica, ječmen, oves), preostale neobdelane površine pa so travniške. Glede na to, da Skaggs (1980) za koroze predvideva globino korenin okrog 30 cm ter za krompir, sojo in žitarice okrog 25 cm, bo zadostovala aproksimacija globine koruznih korenin. Dodatno je tudi ocenil, da se z izhlapevanjem lahko odstrani zgornje 3 cm vode, tako da je ta podatek predpostavljen kot podatek za minimalno efektivno globino, ki jo določimo za mesece mirovanja zemljine. Vnosni parametri (preglednica 10) predstavljajo globino koreninskega sistema koroze za različne dni skozi celotno leto in so ocenjeni na podlagi 60 % celotne globine korenin.

Preglednica 10: Globine koreninskega sistema za koroze skozi obdobje rasti (Skaggs, 1980)

Mesec	1	4	5	5	6	6	7	8	9	9	12
Dan	1	16	4	17	1	20	18	20	24	25	31
Globina [cm]	3	3	4	15	25	30	30	30	10	3	3

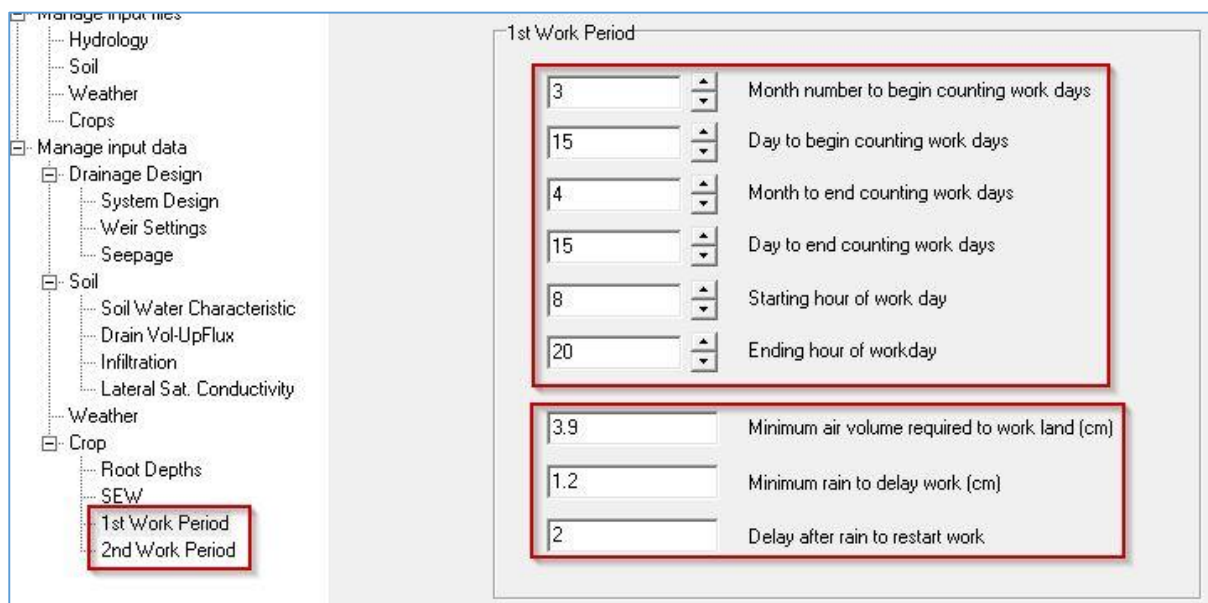
Naslednji parameter je SEW, ki se uporablja za izračun stresnih pogojev za pridelke. DRAINMOD na podlagi teh podatkov izračuna količino presežne vode v zemljini (SEW) in število suhih dni. Prvi

vhodni podatek je spodnja meja vsebnosti vode izražena v  $\text{cm}^3/\text{cm}^3$  in pri maksimalni globini korenine. Običajno se vrednost izbere v bližini 15 barov, v našem primeru je to  $\theta = 0,09 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  (preglednica 6).

Naslednji vhodni podatek je mejna globina podtalnice (SEWX), za koruzo se običajno po Skaggsu (1980) priporoča globina 30 cm. Za obdobje ocene vlažnega stresa rastline se kot začetek vnese dan in mesec zasaditve, kot konec pa dan in mesec, ko zemlja prične mirovati. Skaggs (1980) med drugim še opozarja, da globina 30 cm ni nujno najboljša izbira, ker je za nekatere tipe zemljin ob ugodni rasti lahko kar precej prenizka. Prvotnih prednastavljenih parametrov za vlažno obdobje ne bomo spreminjali, tako da je za začetek vnesen 10.4., konec pa je postavljen na 18.8.

Naslednji podatek, ki se izračuna na podlagi postavljenih parametrov je SEW30, ki predstavlja seštevek cm za dni, v katerih je višina podtalnice preseгла postavljeno mejno globino. Torej, v primeru, da je v enem mesecu gladina podtalnice znižala trikrat, enkrat za 2 cm, drugič za 5 cm, tretjič pa za 6 cm, znaša SEW30 za ta mesec 13 cm.

Za simuliranje sušnih pogojev moramo določiti začetek in konec tega obdobja, podobno kot smo določili za vlažno obdobje (mesec in dan začetka in konca obdobja). Ohranili smo prednastavljene nastavitve, ki so popolnoma enake, kot nastavitve za vlažno obdobje. Skaggs (1980) predlaga, da sta obe obdobji čim daljši, saj zaradi zamud pri sajenju določeni izračuni padejo izven obdobja in s tem ne bi dobili dejanskih stresnih izračunov.



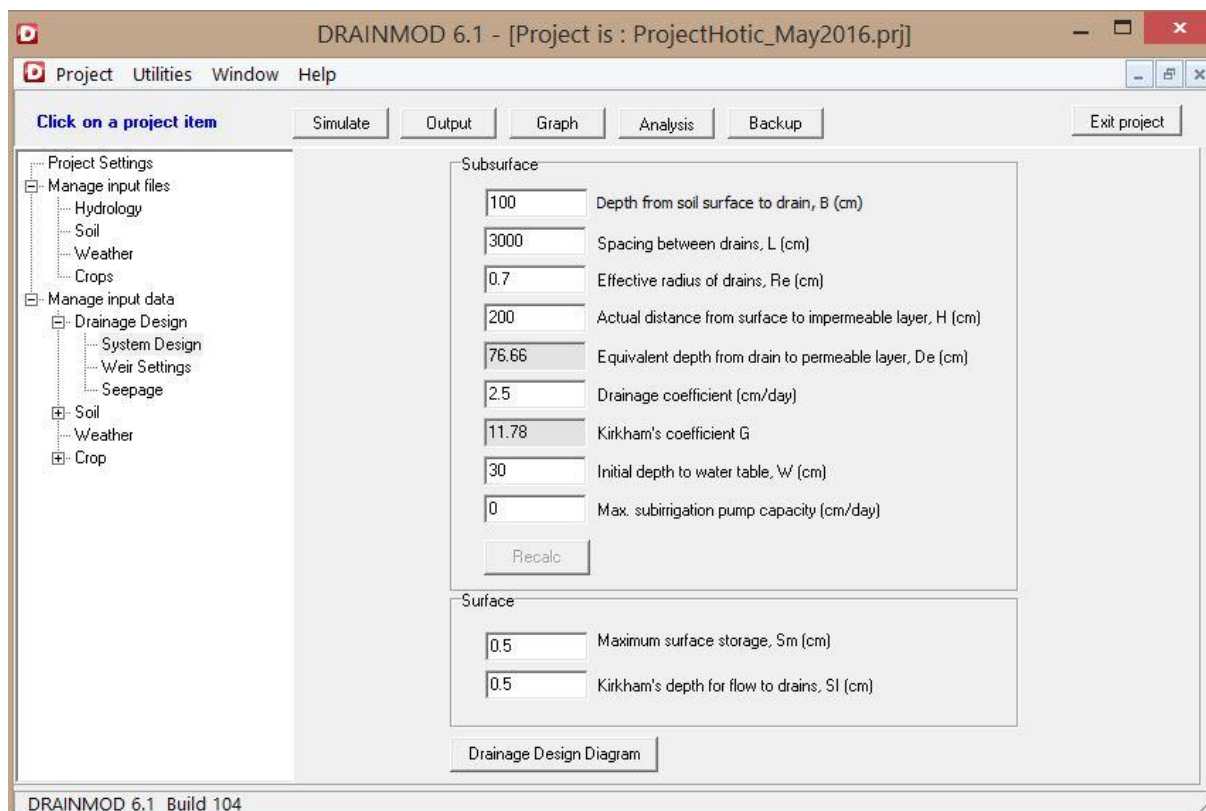
Slika 32: Nastavitev parametrov prehodnosti obdelovalnih površin za spomladansko in jesensko obdobje

Naslednji sklop nastavitve parametrov je pomemben v primerih, ko testiramo zemljine in njihovo dreniranje skozi časovno obdobje več let. Gre za prehodnost površin v dveh obdelovalnih obdobjih (slika 32), to je spomladi (tj. *1<sup>st</sup> Work Period*) za čas priprave zemljine na setev in jeseni (tj. *2<sup>nd</sup> Work Period*) za čas priprave zemljine na mirovanje pred zimo. Za obe obdobji se določi začetni in končni mesec ter dan, dodatno pa se vnese še podatek o začetni in končni uri delovnega dne. Prvotnih parametrov nismo spreminjali, ker so ustrezni za naše izračune. Drugi sklop parametrov je povezan z lastnostmi zemljine, v našem primeru so to parametri zemljine »Rains« in so bili pridobljeni na podlagi raziskav (Skaggs, 1980) in sicer minimalni zračni volumen AMIN (v cm), količina dežja, ki povzroči zakasnitev del na polju ROUTA (v cm) in zakasnitev del po dežju ROUTT (v dneh). Za obe obdobji smo uporabili enake vrednosti (slika 32).



#### 4.2.4 Parametri systemskega načrta

V tem delu programa so nastavitve parametrov, ki so za drenažni načrt pomembni z vidika primerne izbire. Parametre systemskega načrta (slika 33) in njihov pomen bomo v nadaljevanju podrobneje predstavili in določili izhodiščne vrednosti. Te parametre bomo v naslednjem poglavju analizirali in poizkušali najti čim bolj optimalno kombinacijo, da bomo dosegli najboljše drenažne učinke.



Slika 33: Nastavitve posameznih parametrov načrta drenažnega sistema

Za simulacijo bomo nekaj podatkov pustili nespremenjenih. Za boljšo predstavbo, kaj kateri od parametrov predstavlja, je grafični prikaz v prilogi D, do katerega lahko uporabnik v programu DRAINMOD dostopa preko gumba Diagram drenažnega načrta oz. ang. »*Drainage Design Diagram*« (slika 33).

Prvi takšen parameter je dejanska globina zemeljskega sloja do neprepustnega sloja  $L$  [cm]. Nastavili jo bomo na 200 cm, ker nimamo konkretnega podatka o debelini zemeljskega sloja do neprepustnih tal. Fiksno bomo nastavili tudi začetno globino podtalnice  $W$ , in sicer na 30 cm (vrednost bo enaka mejni globini podtalnice SEWX).

Za nastavitve akumuliranja vode na površini bomo za oba parametra uporabili enako vrednost, to je 0,5 cm. Vrednosti od 0,1 do 0,5 po Skaggsu (1980) pomenijo zelo dobro zglajenost površine, višje vrednosti pa slabšo zglajenost površine. Maksimalna površinska akumulacija  $S_m$  [cm] predstavlja najvišjo višino depresije, kjer se ob večjih padavinah na površju zadrži voda, medtem ko  $S_l$  [cm] predstavlja Kirkhamovo globino toka do drenaž.

Drenažni koeficient bo prav tako ostal nespremenjen in sicer 2,5 cm/dan. Podatek je ocenjen na podlagi ostalih testnih podatkov za podobne zemljine. Za potrebe simulacije ga lahko tudi malce prilagodimo (povišanje pomeni večjo sposobnost dreniranja, zmanjšanje obratno). Konkretnejša

navodila za uporabo tega parametra in njegov izračun so precej pomanjkljiva, tako da je s tega vidika možna določena napaka pri simulacijskih izračunih.

Zadnji od parametrov, ki jih ne bomo spreminjali oz. je za našo simulacijo brez pomena, je maksimalna kapaciteta črpalke za podtalno namakanje, nastavljena pa je na vrednost 0 cm/dan. V kolikor bi na testni površini želeli simulirati proces talnega namakanja (simulacijo nastavimo v projektnih nastavitvah), bi bil ta podatek obvezen.

Izhodiščna vrednost za efektivni radij drenaže  $R_e$  [cm], ki predstavlja območje oz. debelino povečane prepustnosti okrog cevi, je po Skaggsu (1980) za tip zemljine »Rains« enaka 0,7 cm. Premer takšne cevi je med 4 in 5 inči oz. 114 mm in 140 mm. Za manjšo cev je  $R_e$  po Skaggsu (1980) enak 5,1 in za večjo 10,3 mm. Za potrebe simulacije bi lahko ta podatek prilagodili v eno ali drugo smer.

Dva izmed parametrov sta obarvana sivo in zanju ni možen ročni vnos. To sta ekvivalentna globina od drenaže do neprepustnega sloja  $D_e$  [cm] in pa Kirkhamov koeficient  $G$ . Po vsaki spremembi parametrov, ki vplivajo na ti dve vrednosti, se gumb »Recalc« obarva in z njim se ponovno naredi preračun teh dveh parametrov.

Naslednja dva podatka bosta za naše simuliranje bistvenega pomena, saj bomo s prilagajanjem obeh poizkušali najti optimalne vrednosti za dreniranje testne površine. Globino drenažnih cevi  $B$  bomo na začetku najprej nastavili na 100 cm, dodatno simuliranje pa bomo izvedli še s povišanjem in nižanjem globine drenaže (20 do 30 cm). Na podlagi rezultatov se bodo te vrednosti lahko še spremenile.

Začetni razmik med drenažami  $L$  bomo nastavili na 3000 cm oz. 30 m. Manjši razmiki verjetno niso smiselni že z vidika ekonomičnosti, saj bi to pomenilo precej velik strošek (večja dolžina cevi, več terenskih del zaradi vgradnje drenaž itd.), povečanje razmikov pa je tudi smiselno do neke mere, saj ne želimo na terenu prevelikih dolžin cevi in s tem morebitne pogoste zamašitve in ostalih problemov. Celotna širina obravnavanega območja je 450 m v eni ali drugi smeri. Vse to so začetne nastavitve, konkretnije vrednosti pa bomo določili po nekaj zagonih simulacije in pregledu rezultatov.

Pri drenažnem načrtu sta na voljo še dve nastavitvi, in sicer nastavitve zaježitve ter pronicanje. Obe področji na naše simuliranje podatkov nimata posebnega vpliva, bi pa bili ti podatki obvezni ob simulaciji kontrolirane drenaže (npr. z reguliranjem višine vode v jarkih s pomočjo pregrad in zaježitev) ali pa za simuliranje pronicanja vode skozi sloje.

### 4.3 Zagon simulacije

Zagon simulacije se izvaja s pomočjo projektnih gumbov. Ti nam omogočajo zagon simulacije, pregled izhodnih datotek, izris grafikonov (pri tem moramo biti pozorni, da je za sistemsko ločilo nastavljena ».«), analiziranje in pa izdelava varnostne kopije sistemskih datotek. V nadaljevanju si bomo podrobneje pogledali, kako se njihova posamezna funkcija izraža na konkretnem primeru simuliranja testne površine.

Pri projektnih nastavitvah je pomembno, da nastavitve časovnega razpona za zagon simulacije ne presegajo razpona vhodnih klimatskih podatkov. V nasprotnem primeru lahko ob zagonu simulacije preko gumba »Simulate« pride do okvare datoteke .PRJ in posledično programskih napak.

Po zagonu simulacije se kreirajo datoteke z rezultati, ki so shranjene v različne formate in pa seveda glede na projektne nastavitve. Preko gumba »Output« si lahko ogledamo naslednje sklope rezultatov in pripadajoče datoteke:

- hidrološke datoteke s končnicami .OUT, .DAY, .MON, .WET, .RANK, .MCT, .FLX, .OST),
- datoteke donosov poljščin .YLD in .CRO,
- datoteke simulacije ogljika .DOM, .MOM in .YOM,
- datoteke simulacije nitratov .DNP, .MNP, .YNP in .DRN,

- ter datoteke simuliranja slanosti zemljine .SDR in .SAL.

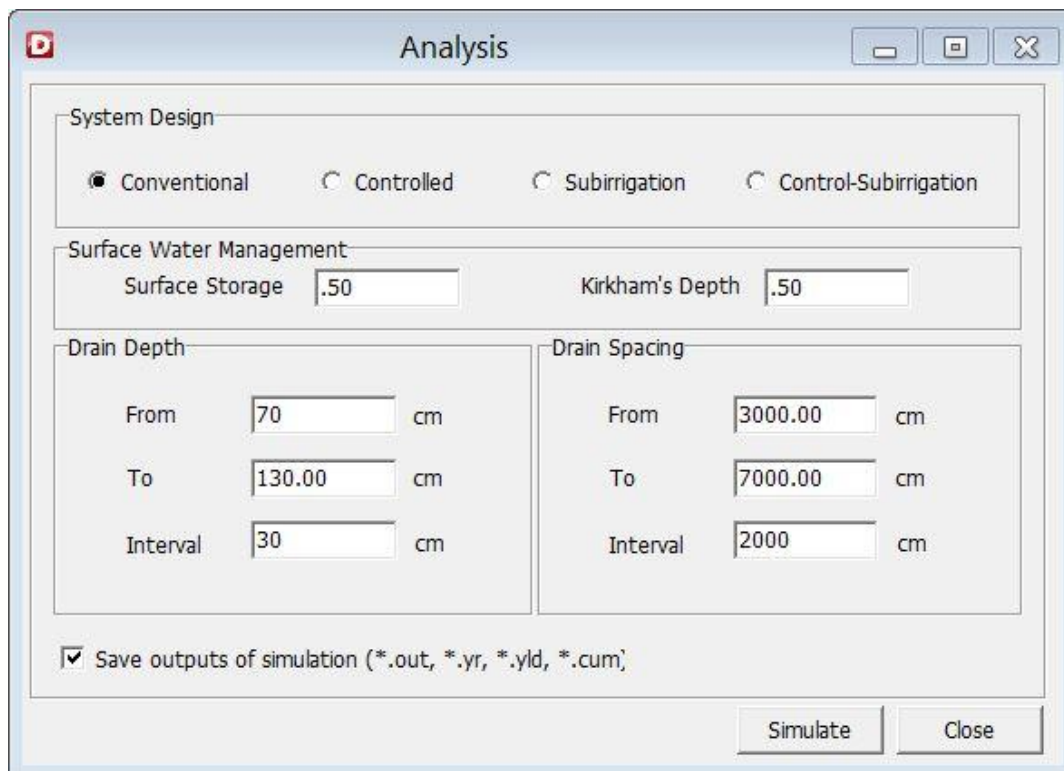
Pregled izhodnih datotek je možen s katerim koli urejevalnikom besedil, še najbolj priporočljiva je uporaba programa Notepad ali še bolje Notepad++. V kolikor datoteke niso vidne, je potrebno spremeniti nastavitve za prikaz skritih map.



Slika 34: Pripomoček za urejanje grafičnega prikaza različnih podatkovnih nizov

Preko gumba »Graph« dostopamo do obsežnega pripomočka za prikazovanje in urejanje podatkov v grafični obliki (slika 34). V grobem lahko uporabniško okno razdelimo na naslednje sklope:

- orodna vrstica s funkcijskimi gumbi za nastavitve formatiranja izpisov, izvoz podatkov v .CSV obliko in izvoz trenutnega grafikona ter kopiranje v odložišče;
- grafični del, kjer je glede na izbrane parametre izrisan grafikon;
- del za urejanje nastavitvev podatkov, ki se bodo prikazovali na grafikonu, možnost prikaza podatkovnega niza na sekundarni Y osi, način izrisa podatkov (črta, točke, stolpci) ter podrobnejše formatiranje za vsak podatkovni niz. V primeru, da smo simulirali podatke za nitrates in ogljik, močvirnost in odpadno vodo ali zasoljenost, imamo možnost na ločenih zavikih nastaviti prikaz za posamezne podatkovne nize;
- nastavitve datumskega intervala ter vrednosti na osi x ter y;
- izbira treh različnih opazovanih podatkovnih nizov in možnost njihove medsebojne statistične primerjave glede na 4 različne parametre ter grafični prikaz. Tip vhodne datoteke za opazovane podatke je .CSV, pripravimo pa ga za vsak podatkovni set s funkcijo za izvoz .CSV podatkov, ki se nahaja v orodni vrstici trenutnega uporabniškega okna.



Slika 35: Nastavitve za simuliranje različnih tipov in večjega razpona parametrov in možnost nastavitve za avtomatsko shranjevanje izhodnih datotek

Naslednji od projektnih gumbov je »Analysis«, ki nam v novem uporabniškem oknu (slika 35) omogoča nekaj nastavitvev, s katerimi lahko ob enkratnem zagonu naredimo več simulacij za različni razpon parametrov. V našem primeru bomo pri sistemskem načrtu izbrali zgolj konvencionalni oz. običajni tip drenaže. Oba depresijska parametra površinske vode sta prenesena iz nastavitvev modela, za globino drenaž in njihov razpon pa je potrebno določiti interval, ki bo uporabljen v simulaciji. Kot smo že omenili, smo izhodiščno globino drenaž nastavili na 100 cm, tako da bomo s pomočjo analize naredili simulacijo še za 30 cm manjšo oz. večjo globino. Vhodni podatki globine za analizo so torej od 70 cm do 130 cm, interval pa je 30 cm. Izhodiščni razmik drenaž smo nastavili na 3000 cm (30 m), kar bo tudi izhodišče za našo analizo, z intervalom po 20 m pa bomo preverili še dreniranje ob 50 in 70 m razmiku med cevmi. Za vsako od kombinacij se ob zagonu simulacije naredijo datoteke tipov .OUT, .YT, .YLD in .CUM ob predpostavki, da so na voljo vse potrebne nastavitve in vhodni podatki. V našem primeru sta se generirali samo datoteki tipa .OUT in .YR, za vseh 9 kombinacij.



## 5 ANALIZA IN PRIMERJAVA REZULTATOV

V prejšnjem poglavju smo že omenili možne načine nastavitve parametrov modela DRAINMOD in na kakšen način lahko pregledujemo rezultate simulacije. Konkretno nas bodo v tem delu zanimali parametri globine in razmika med drenažami in posledično učinkovitost dreniranja testne površine. Z nekaj različnimi kombinacijami bomo poizkušali najti optimalno vrednost za naše testno območje.

S pomočjo analize lahko z enim zagonom ustvarimo več izhodnih datotek z rezultati za različne kombinacije vhodnih parametrov, npr. po tri različne globine in razmike med drenažami, kar rezultira v devetih kombinacijah (preglednica 11) in posledično enakem številu izhodnih datotek. Drugače je z grafičnim vmesnikom za pregledovanje rezultatov, v katerem lahko izrišemo samo rezultate simulacije za kombinacijo parametrov, ki je nastavljena v projektnih nastavitvah. Kljub temu imamo možnost, da rezultate za vsako od simulacij za različne parametre shranimo v .CSV datoteko. Do tri takšne datoteke lahko medsebojno primerjamo na grafičnem vmesniku (slika 34). Temu delu se bomo posvetili v nadaljevanju, najprej pa bomo analizirali kombinacijo različnih globin in razmikov.

*Preglednica 11: Kombinacije vhodnih parametrov globine in razmika drenaž in rezultati analize za celotno leto*

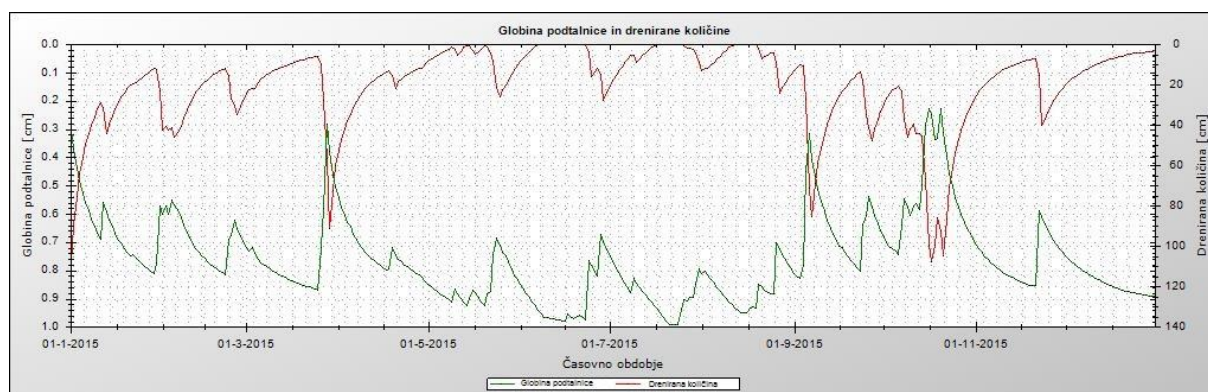
Leto	Padavine	Infiltracija	ET	Drenaža	Odtok	Izgube v.	Globina	Razmik
2015	110,57	103,86	75,06	31,98	6,7	38,76	70	3000
2015	110,57	98,36	77,23	23,71	12,21	35,98	70	5000
2015	110,57	93,56	78,83	16,51	17	33,59	70	7000
2015	110,57	109,36	69,61	45,42	1,21	46,69	100	3000
2015	110,57	103,49	73,31	34,78	7,08	41,97	100	5000
2015	110,57	98,5	75,92	25,82	12,07	38,02	100	7000
2015	110,57	109,78	65,96	52,29	0,79	53,15	130	3000
2015	110,57	106,79	70,32	42,99	3,77	46,82	130	5000
2015	110,57	102,42	73,79	33,19	8,14	41,36	130	7000

Rezultati simulacije »Analysis« se zberejo v več različnih datotekah. Povzetek simulacije se nahaja v datoteki s končnico .ANL, in sicer za posamezno kombinacijo parametrov dobimo izhodne podatke o količini drenirane vode ter površinski odtok. Dodatno je za vsako kombinacijo parametrov kreirana podrobna datoteka .OUT (priloga E) in povzetek rezultatov .YR (priloga F). Obe prilogi smo prikazali na podlagi rezultatov preglednice 11, kjer je največja skupna drenirana količina 52,29 cm dosežena ob globini cevi 130 cm in pri razmiku 3000 cm. Hkrati velja omeniti, da je skupna infiltracija za to kombinacijo tudi največja, in sicer 109,78 cm, površinski odtok pa je najnižji, in sicer 0,79 odstotka celotnega odtoka vode s testnega območja. To pomeni, da smo s pomočjo drenaž večino predvidenega odtoka speljali v drenaže, posledično pa je s tem močno zmanjšano erozijsko delovanje zaradi površinskega odtoka.

Po tem, ko smo določili optimalno kombinacijo parametrov, bomo v programu DRAINMOD za grafični prikaz vseh razpoložljivih podatkovnih nizov spremenili projektne nastavitve in sicer globino drenaž na 130 in razmik med njimi na 3000 cm. Po tej spremembi je potreben ponovni zagon simulacije, ki bo preračunala podatkovne nize. Na podlagi novih izračunov bomo s pomočjo različnih nastavitvev v grafičnem vmesniku prikazovali podatke.

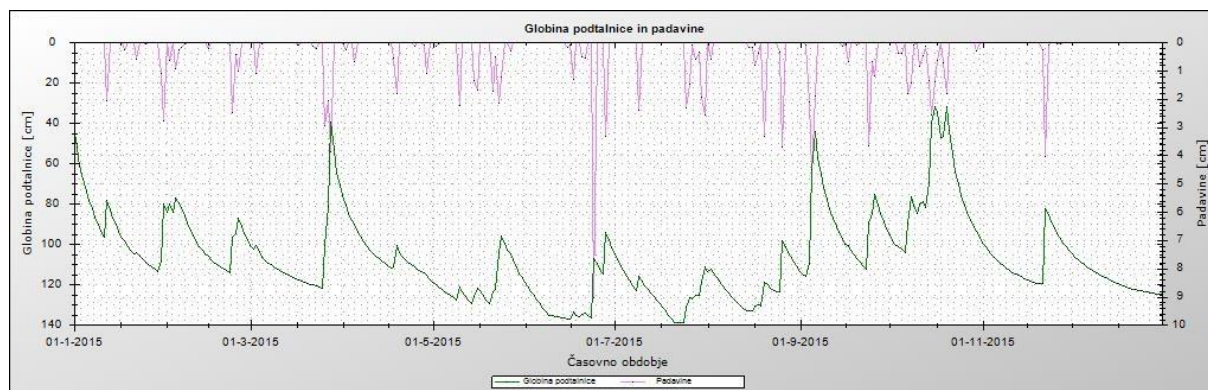
Prva primerjava parametrov bo globina podtalnice v primerjavi z drenirano količino za časovni interval enega leta (grafikon 1). Ta dva podatka sta medsebojno zelo povezana, kar je razvidno tudi iz grafikona. Na primarni y-osi je nastavljeno merilo za globino podtalnice, podatki pa so predstavljeni v zeleni barvi. Na sekundarni y-osi so prikazane enote za drenirano količino, podatkovni niz pa je prikazan z rdečo črto. Vrednosti skozi celotno obdobje sovpadajo in lahko trdimo, da se z višanjem drenažne količine zniža tudi nivo podtalnice in obratno. V nekaj primerih se izračunani nivo

podtalnice spusti pod globino 130 cm, kar nakazuje na daljše obdobje brez padavin. Maksimalna dnevna drenirana količina se nekajkrat približa 1 cm/dan, minimalna drenirana količina pa znaša malo nad 0,2 cm/dan.



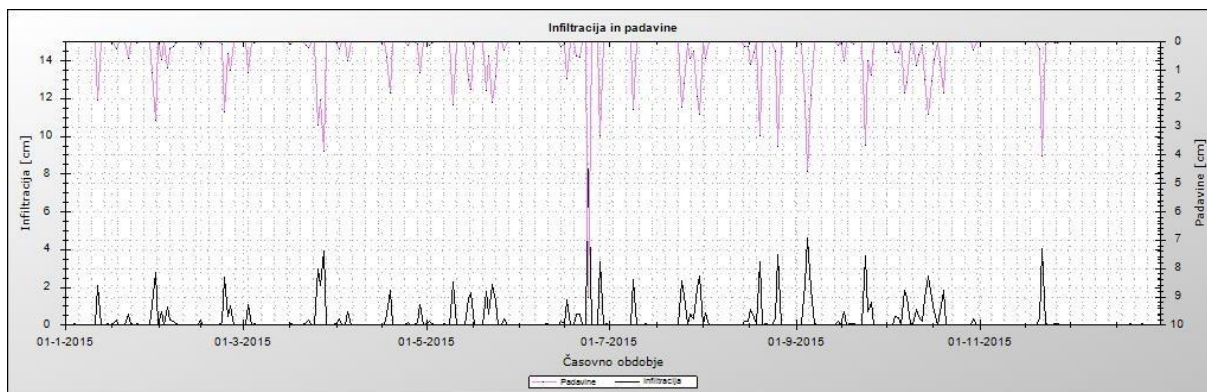
Grafikon 1: Primerjava globine podtalnice in drenirane količine vode v odvisnosti od časa

Naslednja kombinacija podatkov je globina podtalnice in akumulirana količina padavin skozi celotno opazovano obdobje (grafikon 2). Iz podatkov je razvidno, da obdobje padavin vpliva na dvig podtalnice ter da se skozi sušna obdobja nivo podtalnice spušča sprva intenzivno, nato pa počasneje. Od globine podtalnice je tudi odvisno, kakšen vpliv imajo trenutne padavine na njen dvig. Npr. ob koncu junija so bili nekaj dni doseženi padavinski maksimumi, a se zaradi nizkega nivoja podtalnice in posledično nenasičenosti zemljine gladina ni znatno povišala (cca. 30 cm). Nasprotno lahko rečemo za oktober, ko se je nivo podtalnice ob daljšem obdobju padavin, ki so bile manj intenzivne, dvignil do meje koreninskega sistema in na njej vztrajal nekaj časa.



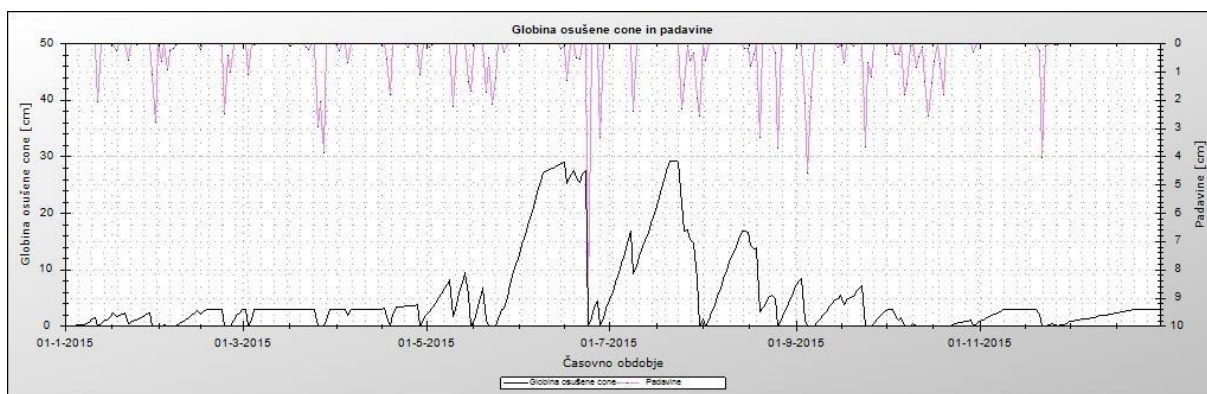
Grafikon 2: Primerjava globine podtalnice z dnevnimi padavinami

Sorazmerno povezanost podatkov lahko razberemo tudi iz primerjave med padavinami in infiltracijo. Ob nastopu padavinskega dogodka se posledično zgodi infiltracija vode v tla. Od lastnosti zemljine je potem odvisno, kolikšno količino vode lahko zemljina absorbira oziroma se steče skozi v določenem času. Skladnost dogodkov padavin (rožnata črta) in infiltracije (temna črta) je lepo vidna na grafikonu 3.



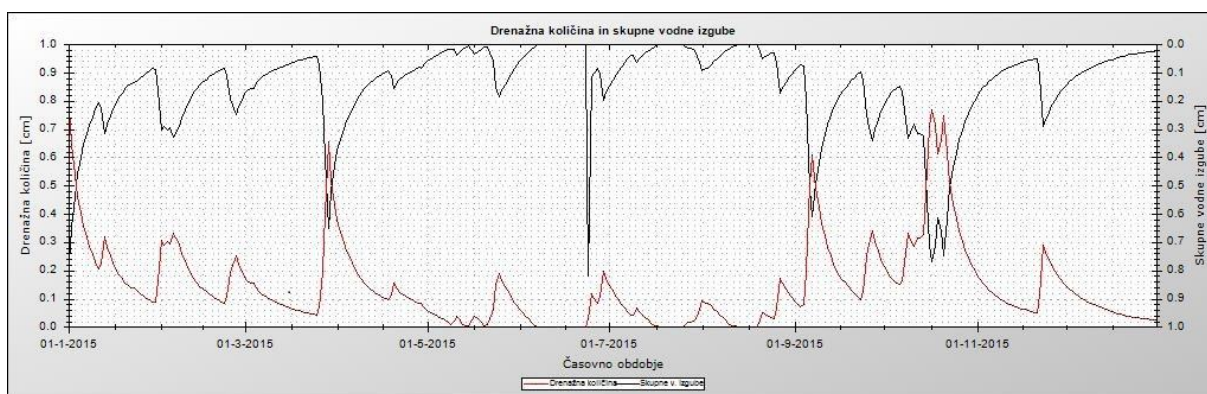
Grafikon 3: Primerjava infiltracijskih podatkov z dnevnimi padavinami

Globina osušene cone v primerjavi s padavinami (grafikon 4) nam skozi simulacijsko obdobje prikaže, kako posamezni padavinski dogodki vplivajo na znižanje osušene globine in do kam ta sega v daljšem obdobju brez padavin. Glede na naše podatke imamo dve bolj sušni obdobji (v juniju in avgustu), ko bi za boljše poljedelske donose nujno potrebovali namakalni sistem. Zemljina je v tem primeru osušena do globine 30 cm. V tem koraku se pokaže ena od dodatnih možnosti za simulacijo donosov različnih poljščin, ki bi bila izredno koristna iz praktičnega vidika.



Grafikon 4: Primerjava globine osušene cone in padavin

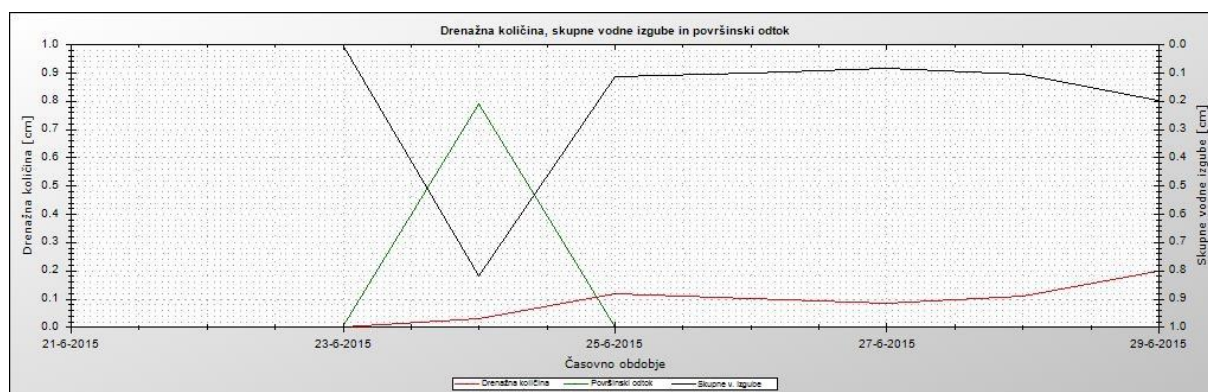
Zanimiva je primerjava podatkov drenirane količine vode in skupnih vodnih izgub (grafikon 5), ki so skorajda enaki z eno izjemo, to je obdobje ob koncu junija, ko je prišlo do površinskega odtoka (razvidno na sredini grafikona z močno povejšano količino vodnih izgub).



Grafikon 5: Primerjava drenirane količine vode in skupnih vodnih izgub

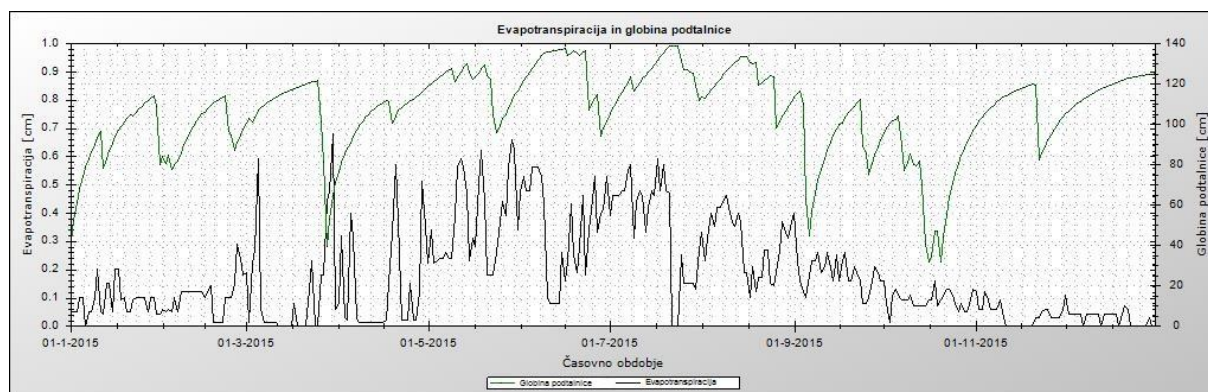


Če predhodnemu grafikonu dodamo še podatkovni niz za površinski odtok, se ta popolnoma sklada z izrazitim vrhom vodnih izgub (grafikon 6). Za izbrano kombinacijo globine in razmika drenaž pride do površinskega odtoka samo na tej točki.



Grafikon 6: Vpliv površinskega odtoka na skupne vodne izgube

Neposredne povezanosti oziroma vpliva evapotranspiracije na globino podtalnice ali obratno na podlagi grafikona 7 ne moremo enostavno ugotoviti. Lahko bi sicer sklepali, da so nižje globine podtalnice nekje od pomladi do jeseni posledica višjih temperatur in posledično povečanega izhlapevanja, kar je lepo razvidno iz črne črte na grafu. V zimskem času se ta popolnoma spusti, tako da je izhlapevanje minimalno.



Grafikon 7: Evapotranspiracija in globina podtalnice

Kot razširitev za preverjanje vseh naštetih podatkovnih nizov, medsebojne primerjave in obrazložitve posameznih dogodkov, bi bilo potrebno povečati razpon obdobja vhodnih podatkov in njihovo gostoto (npr. urni podatki). S tem bi izboljšali natančnost izhodnih podatkov in zajeli morebitne še bolj ekstremne vremenske pojave, ki lahko močno vplivajo na same rezultate simulacije.

Uporabnost grafičnega vmesnika za primerjavo podatkovnih nizov v programu DRAINMOD se je izkazala kot nepogrešljiva in široko uporabna funkcionalnost, s katero lahko na enostaven način predstavimo medsebojne vplive različnih parametrov. Trenutna pomanjkljivost je le ta, da izvoženih .CSV podatkov ne moremo neposredno uporabiti za primerjavo do treh opazovanih podatkovnih slojev, ampak jih je treba ročno popraviti, da ustrezajo formatu, ki dopušča uvoz in primerjavo podatkov.

## 6 ZAKLJUČKI

Na podlagi vhodnih podatkov za obdobje enega leta in posameznih nastavitvev modela DRAINMOD smo izvedli različne simulacije drenažnega sistema na obravnavanem testnem območju. Nastavitve modela so v nekaterih primerih temeljile na čim boljšem približku dejanskega stanja na terenu, predvsem velja to za oceno tipa zemljine. V praksi bi bilo za doseg ustreznejših simulacijskih parametrov nujno potrebno izvesti natančnejše analize zemljine na nekaj različnih delih obravnavanega območja.

Vhodni vremenski podatki so sicer precej natančni, a je njihov razpon zadosten zgolj za grobo oceno in za potrebe naše simulacije. Model DRAINMOD omogoča tudi simulacije za več 10-letne časovne nize podatkov, kar bi v praksi sigurno predstavljalo precej boljše rezultate simulacije, ki bi jih nato lahko uporabili pri samem načrtovanju drenažnega sistema. Dodatno natančnost v primerjavi z našimi vhodnimi podatki bi lahko zagotovili tudi na podlagi urnih klimatskih podatkov.

Veliko uporabno vrednost modela predvsem z vidika vizualne zaznave uporabnika in morebitnega načrtovalca, je grafični vmesnik, ki nam omogoča primerjavo različnih podatkovnih nizov ter njihovo morebitno medsebojno povezanost. Manjšo težavo lahko uporabniku povzroči napačna sistemska nastavitve vejice za sistemsko ločilo, ker sistemska napaka ob prikazovanju grafov nikakor ne sporoči pravega razloga, tako da je tu potrebna uporabniška pozornost in iznajdljivost. Podobno je z nastavitvami za prikaz podatkov, ki lahko prepiše nastavitve, ki jih uporabnik naredi ob nastavljanju formatiranja za posamezne podatkovne nize. V primeru tovrstnih sistemskih napak so le ta dovolj jasna, da uporabnik lahko razbere vzrok napake in ga hitro odpravi. Dodatna vrednost tega vmesnika je tudi izvoz podatkov v univerzalno datoteko .CSV ter shranjevanje in izvažanje grafikona za nadaljnjo rabo. Ob ustrezno pripravljenih .CSV podatkih se odpre še ena možnost uporabe grafičnega pripomočka, in sicer izbira do treh opazovanih podatkovnih nizov.

Glede na to, da smo za testno površino izvedli zgolj nekaj osnovnih simulacij hidrološkega modela, s katerimi smo določili optimalno globino drenažnih cevi in njihov razmik, je možnosti za nadgradnjo precej. Z razširitvijo modela ima uporabnik možnost izbire še dveh projektnih tipov in sicer simuliranje modela za napoved dinamike nitratov ter ogljika, drugi model pa omogoča simuliranje zasoljenosti profila zemljine.

Pri hidrološkem modelu bi se kot praktično uporabna lahko izkazala simulacijska nastavitve, ki omogoča izračun donosov poljščin, kombinirali pa bi jo lahko z različnimi načini podzemnega nadzorovanja višine vode. Kot dodatno nastavitve poleg uporabljene običajne drenaže lahko izberemo kontrolirano drenažo (običajna drenaža, pri kateri s pomočjo jezov reguliramo višino), talno namakanje (drenažne cevi lahko uporabimo tudi za potrebe namakanja) in pa kombinirana drenaža.

Ker smo izhajali iz predpostavke, da na testno površino pronicanje ali površinski odtok z višje ležečih površin (voda se praviloma zaradi nagnjenosti steka v Loki potok) nima vpliva, smo to nastavitvev izpustili. Je pa lahko velikost in količina odtoka vode s prispevnega območja bistven faktor pri ugotavljanju ustreznih končnih rezultatov simulacije.

Glede na raznolike nastavitve vseh treh modelov DRAINMOD ter širok razpon parametrov se program izkaže za izredno uporabno in tehnično izpopolnjeno orodje za izvedbo konkretnega načrta drenažnega sistema. Za testno površino bi glede na bližino reke Save verjetno najbolj ustrezala izbira drenažnega sistema v kombinaciji z namakanjem.

Na koncu še ocenjujemo, da bi navkljub številnim pozitivnim rezultatom v prid izvedbe drenažnega sistema za izbrano testno površino v Sp. Hotiču bila dejanska izvedba projekta verjetno zelo vprašljiva, predvsem z vidika razdrobljenosti lastniške strukture parcel. Pomemben faktor pri tem bi igral tudi morebitni denarni vložek posameznikov, ki na konkretni površini nimajo nekega

dolgoročnega interesa intenzivne poljedelske rabe. Če upoštevamo še dejstvo, da bi na območju 20 ha bilo potrebna dodatna zemeljska dela, s katerimi bi vsaj delno izravnali večje depresije in terenske izbokline, denarni vložek ne bi bil zanemarljiv. Posledično se s tem še dodatno zmanjša privlačnost posega v izgradnjo takšnega drenažnega sistema.

## VIRI

ARSO. 2016. Atlas okolja Agencije Republike Slovenije za okolje. <http://gis.arso.gov.si/atlasokolja> (Pridobljeno 16. 5. 2016.)

ARSO. 2015. Pregled agrometeoroloških spremenljivk – tabela (dnevni podatki v mesecu). Podatki za Ljubljana – Bežigrad, 2015. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za Okolje. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/agromet/data/month/> (Pridobljeno 16. 5. 2016.)

Bos, M. G., Boers, Th. M. 1994. Land Drainage: Why and How. V: Drainage Principles and Applications. Ritzema, H. P. (ur.). Wageningen, The Netherlands, ILRI: str. 23-33. <http://www.samsamwater.com/library/pub162.pdf> (Pridobljeno 5. 3. 2016.)

Drainmod. 2013a. [http://www.bae.ncsu.edu/soil\\_water/drainmod/index.html](http://www.bae.ncsu.edu/soil_water/drainmod/index.html) (Pridobljeno 7. 5. 2016.)

Drainmod. 2013b. Help Manual 6.1. [http://www.bae.ncsu.edu/soil\\_water/help\\_file/index.html](http://www.bae.ncsu.edu/soil_water/help_file/index.html) (Pridobljeno 7. 5. 2016.)

Drainmod 6.1 Build 104. 2012. [http://www.bae.ncsu.edu/soil\\_water/drainmod/download.html](http://www.bae.ncsu.edu/soil_water/drainmod/download.html) (Pridobljeno 31. 3. 2016.)

FAO. 2001. Lecture notes on the major soils of the world. <http://www.fao.org/docrep/003/y1899e/y1899e08.htm> (Pridobljeno 22. 5. 2016.)

Heuperman, A. F., Kapoor, A. S., Denecke, H. W. 2002. Biodrainage – Principles, experiences and applications. International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage (IPTRID), Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: 79 str. [ftp://ftp.fao.org/agl/iptrid/KSR\\_6.pdf](ftp://ftp.fao.org/agl/iptrid/KSR_6.pdf) (Pridobljeno 6. 3. 2016.)

International commission on irrigation and drainage, FAO, Rome: str. 29-41. <http://www.fao.org/docrep/w7224e/w7224e08.htm> (Pridobljeno 16. 3. 2016.)

Martinez Beltran, J. 1999. Land Drainage. V: Van Lier, H. L. (ur.), Pereira, L. S. (ur.), Steiner, F. R. (ur.). Land and water engineering, Volume 1, CIGR Handbook of Agricultural Engineering, St. Joseph, SA, ASAE: str. 430-484. <http://www.cigr.org/documents/CIGRHandbookVol1.pdf> (Pridobljeno 2. 5. 2016.)

Miličič, V. 2007. Analiza stanja osuševalnih sistemov na območju jugozahodne Ljubljane. Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo (samozaložba V. Miličič): 73 str. [www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dn\\_milicic\\_vesna.pdf](http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dn_milicic_vesna.pdf) (Pridobljeno 28. 8. 2014.)

NCSS, 2016. Rain series. National Cooperative Soil Survey. [http://soilseries.sc.egov.usda.gov/OSD\\_Docs/R/RAINS.html](http://soilseries.sc.egov.usda.gov/OSD_Docs/R/RAINS.html) (Pridobljeno 22. 5. 2016.)

Nijland, H.J., Croon, F.W., Ritzema, H.P. 2005. Subsurface Drainage Practices: Guidelines for the implementation, operation and maintenance of subsurface pipe drainage systems. Wageningen, Alterra, ILRI Publication no. 60: 607 str. [http://www1.frm.utn.edu.ar/laboratorio\\_hidraulica/Biblioteca\\_Virtual/Subsurface%20drainage%20practices/Part\\_1.pdf](http://www1.frm.utn.edu.ar/laboratorio_hidraulica/Biblioteca_Virtual/Subsurface%20drainage%20practices/Part_1.pdf) (Pridobljeno 28. 8. 2014.)

Ochs, W. J., Bishay, B. G. 1992. Drainage guidelines. World Bank technical paper; no. WTP 195. The World Bank, Washington, DC: str. 44-96, 164-179.

<http://documents.worldbank.org/curated/en/1992/12/440105/drainage-guidelines> (Pridobljeno 16. 4. 2016.)

Owens, L., Ochs, W. J. 1997. Drainage water treatment. V: Madramootoo, C. A. (ur.), Johnston, W. R. (ur.), Willardson, L. S. (ur.). Management of agricultural drainage water quality. International commission on irrigation and drainage, FAO, Rome: 94 str.

<http://www.fao.org/docrep/w7224e/w7224e08.htm> (Pridobljeno 16. 3. 2016.)

Pedografske enote. 2016. Pedokartografske enote. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana. <http://www.geopedia.si> (Pridobljeno 21. 5. 2016.)

Prus, T. 2000. Klasifikacija tal. Študijsko gradivo za ciklus predavanj, Center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniška fakulteta, Ljubljana: str. 8-9.

<http://web.bf.uni-lj.si/cpvo/Novo/PDFs/KlasifikacijaTal.pdf> (Pridobljeno 17. 5. 2016.)

Ritzema, H. P., Kselik, R. A. L., Chanduvi, F. 1996. Drainage of Irrigated Lands, Irrigation Water Management Training Manual No. 9. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome: 74 str. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai587e/ai587e.pdf> (Pridobljeno 28. 2. 2016.)

Shannon, C. M., Cervinka, V., Daniel, D. A. 1997. Drainage water re-use. V: Madramootoo, C. A. (ur.), Johnston, W. R. (ur.), Willardson, L. S. (ur.). Management of agricultural drainage water quality: str. 35.

Skaggs, R. W. 1980. Drainmod. Reference Report, Methods for Design and Evaluation of Drainage-Water Management Systems for Soils with High Water Tables. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, South National Technical Center, Forth Worth, Texas: pog. 1-10, pril. A-G. [http://www.bae.ncsu.edu/soil\\_water/drainmod/manuals.html](http://www.bae.ncsu.edu/soil_water/drainmod/manuals.html) (Pridobljeno 23. 2. 2016.)

Stuyt, L. C. P. M., Diericks, W., Martinez Beltran, J. 2005. Materials for subsurface land drainage systems. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome: 183 str.

<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ah861e/ah861e.pdf> (Pridobljeno 24. 2. 2016.)

Tajner, F. 2006. Pregled stanja osuševalnih sistemov na ožjem območju Bele Krajine. Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehnična fakulteta, Odd. za agronomijo (samozaložba F. Tajner): 44 str. [www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dn\\_tajner\\_franci.pdf](http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/dn_tajner_franci.pdf) (Pridobljeno 27. 11. 2015.)

Tanji, K. K., Kielen, N. C. 2002. Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 61, Rome: str. 63-69.

<ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp61e.pdf> (Pridobljeno 24. 2. 2016.)

Van der Molen, W. H., Martinez Beltran, J., Ochs, W. J. 2007. Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems, FAO Irrigation and drainage paper. Food and agriculture organization of the United Nations, Rome: 228 str.

<http://www.fao.org/docrep/010/a0975e/a0975e00.HTM> (Pridobljeno 28. 8. 2014.)

Zakon o varstvu okolja (ZVO-1). UL RS št. 39/2006: str. 30.

<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO1545#> (Pridobljeno 5. 3. 2016.)

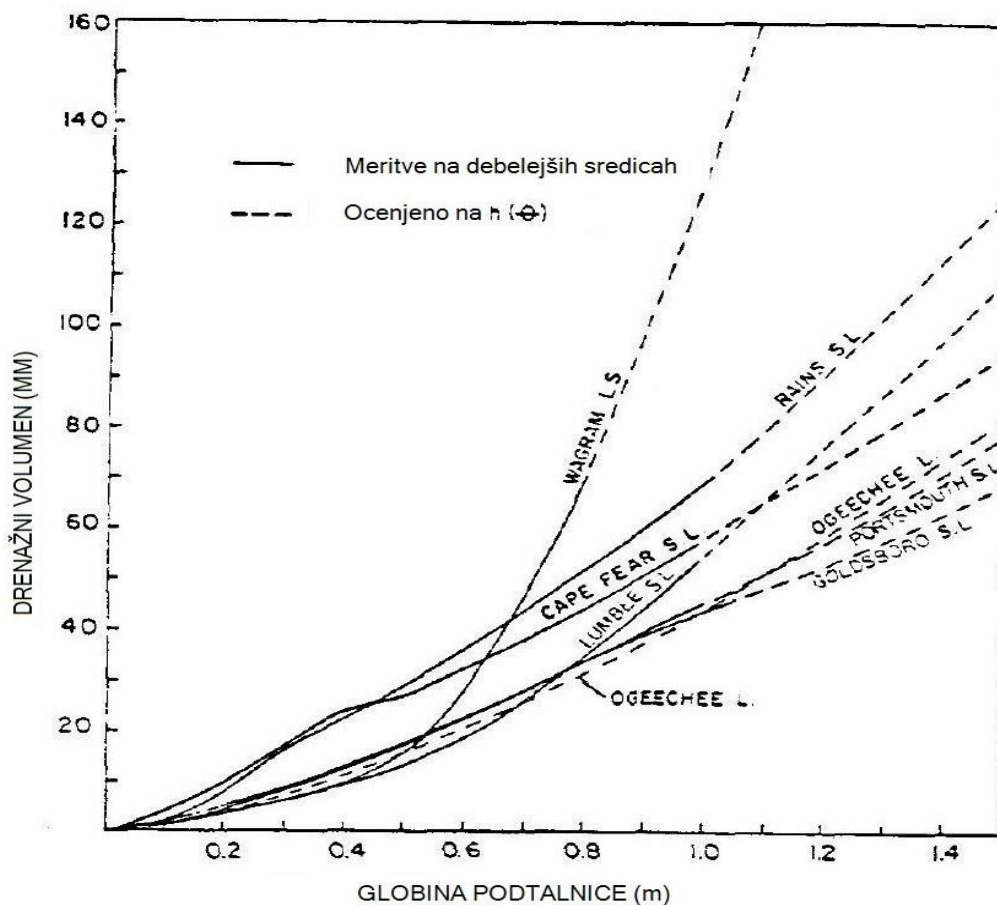


## SEZNAM PRILOG

<b>PRILOGA A: Grafični prikaz drenažnega volumna [mm] v odvisnosti od globine podtalnice [m] za različne tipe zemljin. ....</b>	<b>A1</b>
<b>PRILOGA B: Grafikon Green-Amptova parametra <math>A</math> in <math>B</math> v odvisnosti od začetne globine podtalnice (Skaggs, 1980). ....</b>	<b>B1</b>
<b>PRILOGA C: Grafični prikaz kapilarnega dviga od podtalnice navzgor [mm/dan] v odvisnosti od globine podtalnice pod koreninskim sistemom [m] za različne tipe zemljin (Skaggs, 1980)...</b>	<b>C1</b>
<b>PRILOGA D: Parametri systemskega načrta v prečnem prerezu sloja zemljine.....</b>	<b>D1</b>
<b>PRILOGA E: Izhodna datoteka ProjectHotic_May20167.out .....</b>	<b>E1</b>
<b>PRILOGA F: Izhodna datoteka ProjectHotic_May20167.yr .....</b>	<b>F1</b>

»Ta stran je namenoma prazna«

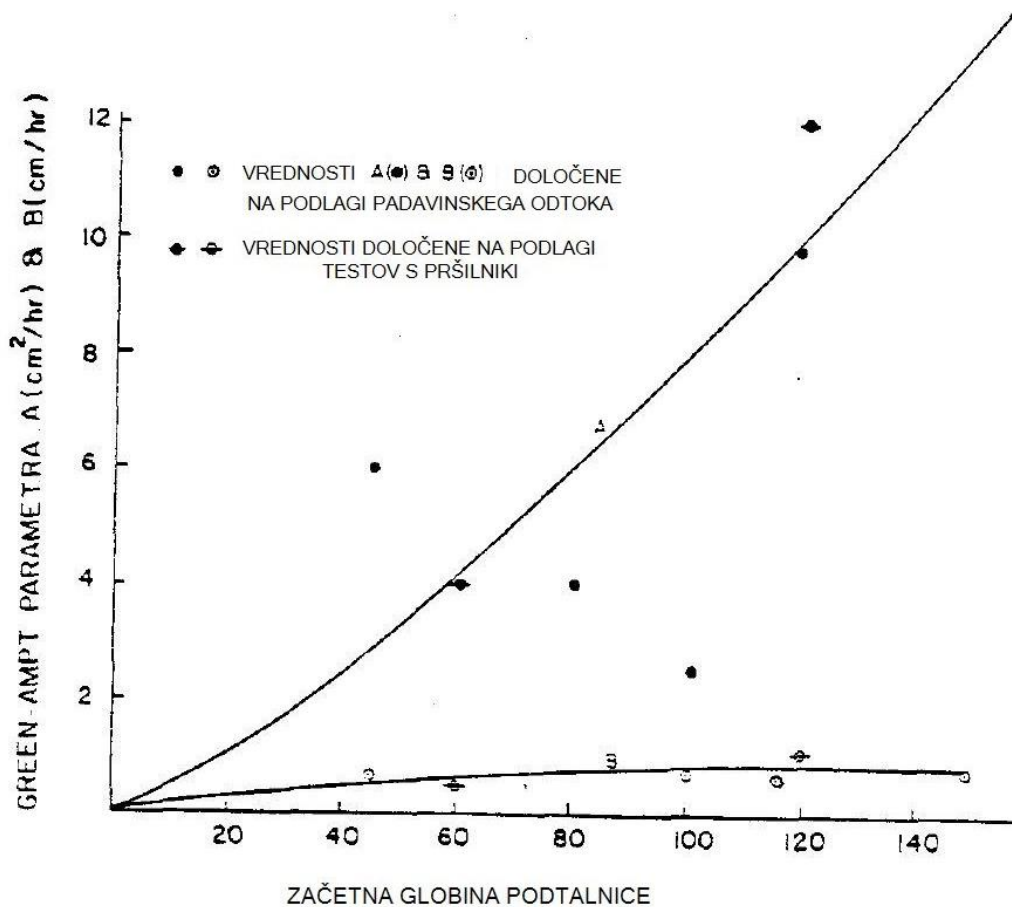
**PRILOGA A: Grafični prikaz drenažnega volumna [mm] v odvisnosti od globine podtalnice [m] za različne tipe zemljin.**



S polno črto so označeni laboratorijski testi, ki so bili narejeni na debelejših sredicah in s črtkano črto ocenjene vrednosti na podlagi theta (Skaggs, 1980). Kot vhodni podatek za simulacijo smo izbrali krivuljo peskasto ilovnate zemljine »Rains«.

»Ta stran je namenoma prazna«

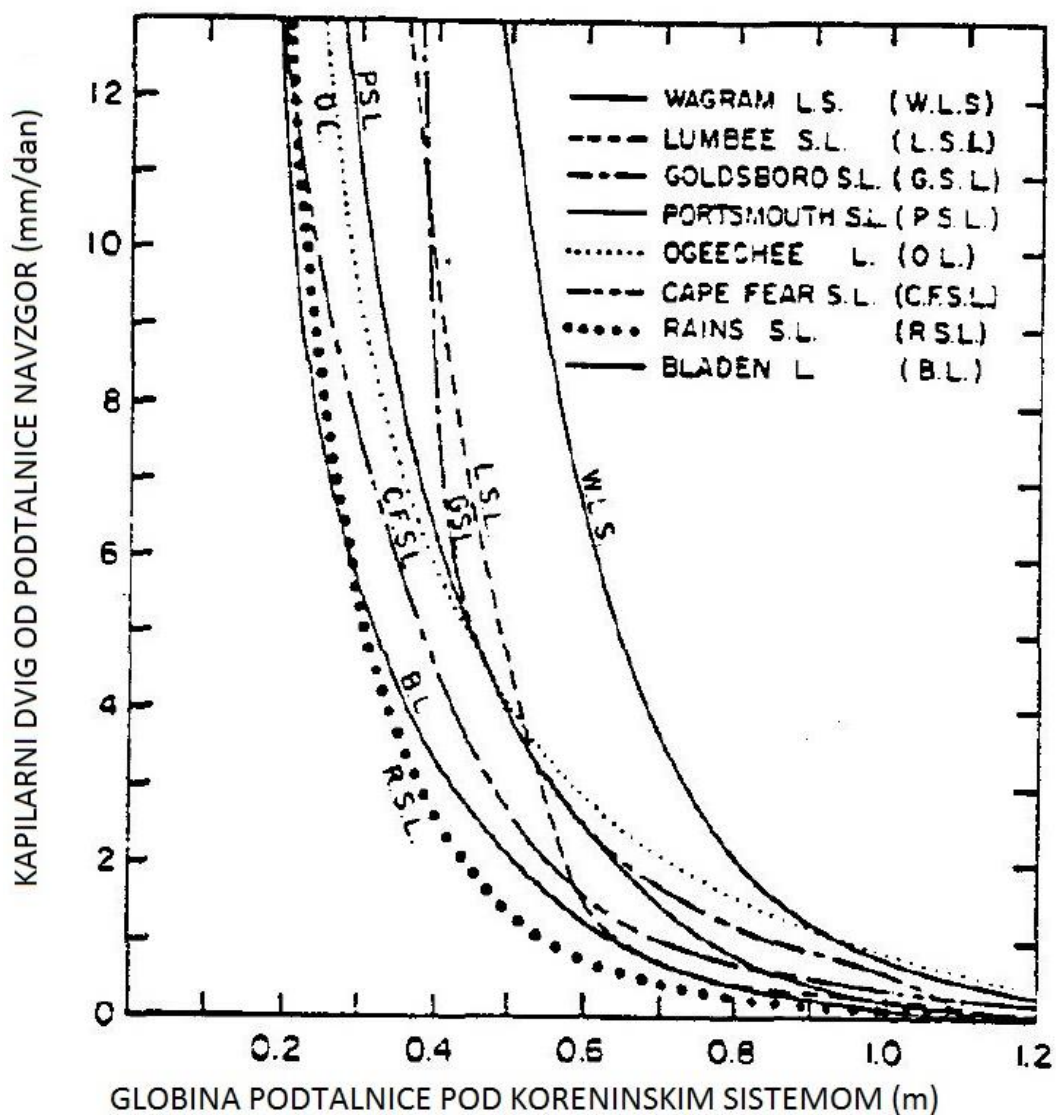
**PRILOGA B: Grafikon Green-Amptova parametra  $A$  in  $B$  v odvisnosti od začetne globine podtalnice (Skaggs, 1980).**



Del vrednosti za določitev krivulje je določen na podlagi padavinskega odtoka, del vrednosti pa na podlagi testov s pršilniki. Krivulja prikazuje podatke so za peskasto ilovnato zemljino tipa »Lumbee« na testni površini Aurora. Zemljina je podobnega tipa kot »Rains«.

»Ta stran je namenoma prazna«

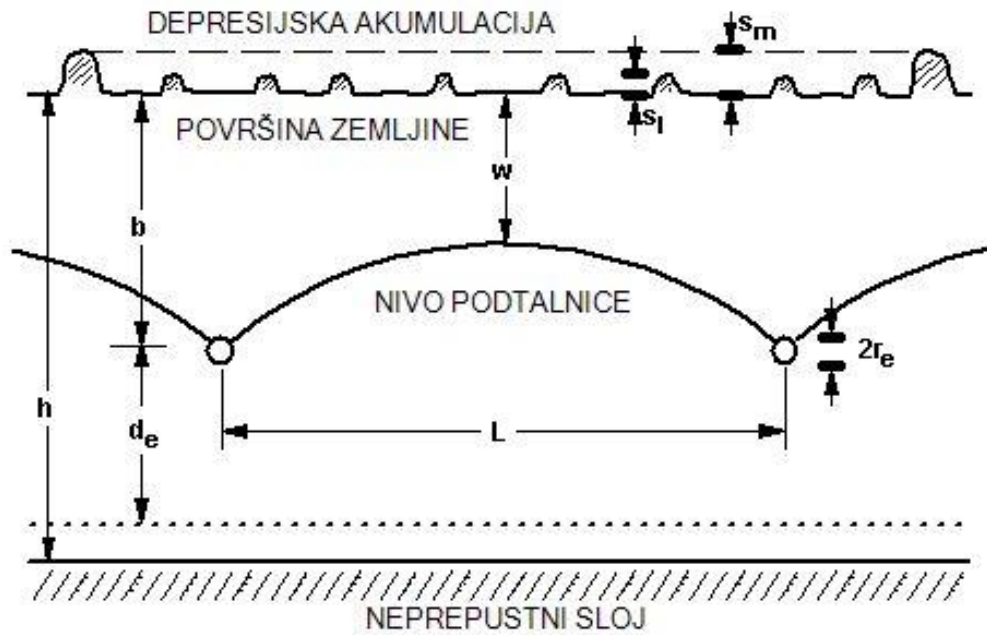
**PRILOGA C: Grafični prikaz kapilarnega dviga od podtalnice navzgor [mm/dan] v odvisnosti od globine podtalnice pod koreninskim sistemom [m] za različne tipe zemljin (Skaggs, 1980).**



Testni podatki za simulacijo naše testne površine so pripravljene na podlagi krivulje »Rains« z debelejšimi pikami.

»Ta stran je namenoma prazna«



**PRILOGA D: Parametri sistemskega načrta v prečnem prerezu sloja zemljine.**

Za izvajanje simulacije je bistvenega pomena razdalja med drenažama  $L$  in globina drenaž  $b$ .

»Ta stran je namenoma prazna«

## PRILOGA E: Izhodna datoteka ProjectHotic\_May20167.out

\*\*\*\*\*

### DRAINMOD 6.1

Copyright 1980-2011 North Carolina State University  
LAST UPDATE: January 2011  
LANGUAGE FORTRAN 77/90

DRAINMOD IS A FIELD-SCALE HYDROLOGIC MODEL DEVELOPED FOR THE DESIGN OF SUBSURFACE DRAINAGE SYSTEMS. THE MODEL WAS DEVELOPED BY RESEARCHERS AT THE DEPT. OF BIOLOGICAL AND AGRICULTURAL ENGINEERING, NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY UNDER THE DIRECTION OF R. W. SKAGGS.

\*\*\*\*\*

DATA READ FROM INPUT FILE: C:\DrainMod\outputs\t.prj  
Cream selector (0=no, 1=yes) = 0

TITLE OF RUN  
\*\*\*\*\*

KONVENCIONALNA DRENAŽA, BREZ DONOSOV, ZEM. HOTIČ  
HOTIČ, VREMENSKI PODATKI LJ-BEŽIGRAD

CLIMATE INPUTS  
\*\*\*\*\*

DESCRIPTION	(VARIABLE)	VALUE	UNIT
FILE FOR RAINDATA .....	C:\DrainMod\weather\LjubljanaBezigradRain.RAI		
FILE FOR TEMPERATURE/PET DATA ..	C:\DrainMod\weather\LjubljanaBezigradMaxMinTemp.		
RAINFALL STATION NUMBER.....	(RAINID)	1895	
TEMPERATURE/PET STATION NUMBER.....	(TEMPID)	1895	
STARTING YEAR OF SIMULATION.....	(START YEAR)	2015	YEAR
STARTING MONTH OF SIMULATION.....	(START MONTH)	1	MONTH
ENDING YEAR OF SIMULATION.....	(END YEAR)	2015	YEAR
ENDING MONTH OF SIMULATION.....	(END MONTH)	12	MONTH
TEMPERATURE STATION LATITUDE.....	(TEMP LAT)	35.47	DEG.MIN
HEAT INDEX.....	(HID)	75.00	

ET MULTIPLICATION FACTOR FOR EACH MONTH  
2.01 2.32 2.10 1.72 1.23 1.00 .86 .82 .92 1.05 1.22 1.44

DRAINAGE SYSTEM DESIGN  
\*\*\*\*\*

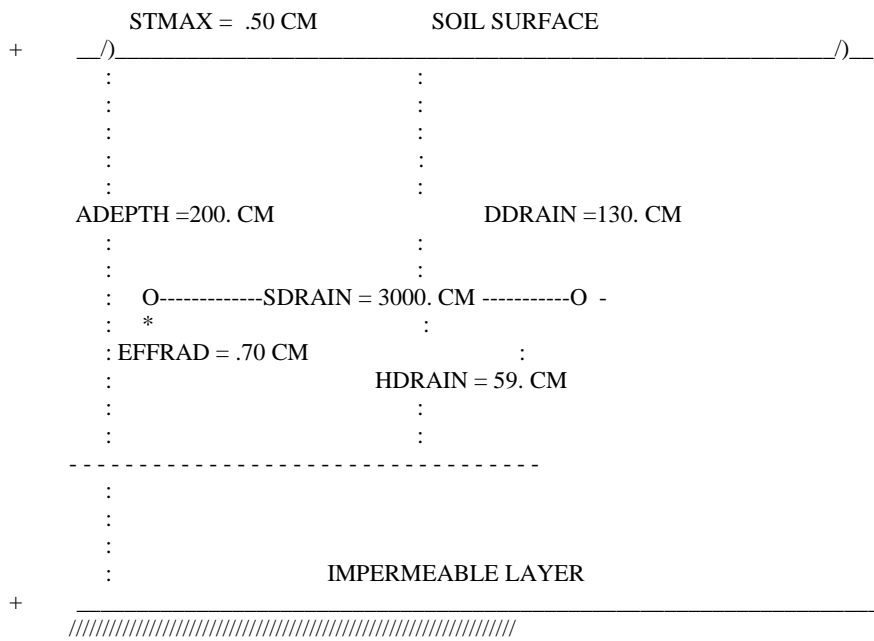
\*\*\* CONVENTIONAL DRAINAGE \*\*\*

JOB TITLE:

KONVENCIONALNA DRENAŽA, BREZ DONOSOV, ZEM. HOTIČ  
HOTIČ, VREMENSKI PODATKI LJ-BEŽIGRAD

se nadaljuje...

...nadaljevanje priloge E



DEPTH (CM)	SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY (CM/HR)
.0 - 110.0	3.600
110.0 - 140.0	3.600
140.0 - 200.0	3.600

DEPTH TO DRAIN = 130.0 CM  
 EFFECTIVE DEPTH FROM DRAIN TO IMPERMEABLE LAYER = 58.7 CM  
 DISTANCE BETWEEN DRAINS = 3000.0 CM  
 MAXIMUM DEPTH OF SURFACE PONDING = .50 CM  
 EFFECTIVE DEPTH TO IMPERMEABLE LAYER = 188.7 CM  
 DRAINAGE COEFFICIENT (AS LIMITED BY SUBSURFACE OUTLET) = 2.50 CM/DAY  
 MAXIMUM PUMPING CAPACITY (SUBIRRIGATION MODE) = 2.50 CM/DAY  
 ACTUAL DEPTH FROM SURFACE TO IMPERMEABLE LAYER = 200.0 CM  
 SURFACE STORAGE THAT MUST BE FILLED BEFORE WATER CAN MOVE TO DRAIN = .50 CM  
 FACTOR -G- IN KIRKHAM EQ. 2-17 = 12.76

\*\*\* SEEPAGE LOSS INPUTS \*\*\*  
 No seepage due to field slope  
 No seepage due to vertical deep seepage  
 No seepage due to lateral deep seepage  
 \*\*\* end of seepage inputs \*\*\*

WIDTH OF DITCH BOTTOM = 50.0 CM  
 SIDE SLOPE OF DITCH (HORIZ:VERT) = .50 : 1.00

INITIAL WATER TABLE DEPTH = 30.0 CM  
 DEPTH OF WEIR FROM THE SURFACE  
 -----  
 DATE     1/ 1  2/ 1  3/ 1  4/ 1  5/ 1  6/ 1  
 WEIR DEPTH 130.0 130.0 130.0 130.0 130.0 130.0

se nadaljuje...

...nadaljevanje priloge E

DATE 7/ 1 8/ 1 9/ 1 10/ 1 11/ 1 12/ 1  
 WEIR DEPTH 130.0 130.0 130.0 130.0 130.0 130.0

SOIL INPUTS

\*\*\*\*\*

TABLE 1

DRAINAGE TABLE  
 VOID VOLUME WATER TABLE DEPTH

(CM)	(CM)
.0	.0
1.0	22.5
2.0	35.7
3.0	50.0
4.0	65.0
5.0	77.5
6.0	89.4
7.0	101.0
8.0	110.5
9.0	120.0
10.0	128.6
11.0	137.1
12.0	145.7
13.0	153.3
14.0	160.0
15.0	166.7
16.0	173.3
17.0	180.0
18.0	186.7
19.0	193.3
20.0	200.0
21.0	206.7
22.0	213.3
23.0	220.0
24.0	226.7
25.0	233.3
26.0	240.0
27.0	246.7
28.0	253.3
29.0	260.0
30.0	266.7
35.0	300.0
40.0	366.7
45.0	433.3
50.0	500.0
60.0	600.0
70.0	700.0
80.0	800.0
90.0	900.0

1

TABLE 2

SOIL WATER CHARACTERISTIC VS VOID VOLUME VS UPFLUX

HEAD (CM)	WATER CONTENT (CM/CM)	VOID VOLUME (CM)	UPFLUX (CM/HR)
.0	.3700	.00	.2000
10.0	.3000	.25	.1000
20.0	.2820	.80	.0800
30.0	.2720	1.60	.0250
40.0	.2660	2.30	.0112

se nadaljuje...

## ...nadaljevanje priloge E

50.0	.2580	3.00	.0058
60.0	.2540	3.60	.0031
70.0	.2480	4.40	.0018
80.0	.2440	5.20	.0010
90.0	.2410	6.05	.0007
100.0	.2380	6.90	.0004
110.0	.2360	7.95	.0002
120.0	.2340	9.00	.0000
130.0	.2320	10.17	.0000
140.0	.2300	11.33	.0000
150.0	.2280	12.50	.0000
160.0	.2272	14.00	.0000
170.0	.2264	15.50	.0000
180.0	.2256	17.00	.0000
190.0	.2248	18.50	.0000
200.0	.2240	20.00	.0000
210.0	.2230	21.50	.0000
220.0	.2219	23.00	.0000
230.0	.2209	24.50	.0000
240.0	.2199	26.00	.0000
250.0	.2188	27.50	.0000
260.0	.2178	29.00	.0000
270.0	.2168	30.50	.0000
280.0	.2158	32.00	.0000
290.0	.2147	33.50	.0000
300.0	.2137	35.00	.0000
350.0	.2085	38.75	.0000
400.0	.2034	42.50	.0000
450.0	.1982	46.25	.0000
500.0	.1931	50.00	.0000
600.0	.1828	60.00	.0000
700.0	.1725	70.00	.0000
800.0	.1622	80.00	.0000
900.0	.1518	90.00	.0000

## GREEN AMPT INFILTRATION PARAMETERS

W.T.D. (CM)	A (CM)	B (CM)
.000	.000	.000
50.000	1.200	1.000
100.000	3.300	1.000
150.000	6.000	1.000
200.000	9.200	1.000
500.000	25.000	1.000
1000.000	25.000	1.000

## TRAFFICABILITY

\*\*\*\*\*

REQUIREMENTS	FIRST PERIOD	SECOND PERIOD
-MINIMUM AIR VOLUME IN SOIL (CM):	3.90	3.90
-MAXIMUM ALLOWABLE DAILY RAINFALL(CM):	1.20	1.20
-MINIMUM TIME AFTER RAIN BEFORE TILLING CAN CONTINUE:	2.00	2.00

## WORKING TIMES

-DATE TO BEGIN COUNTING WORK DAYS:	3/15	12/32
-DATE TO STOP COUNTING WORK DAYS:	4/15	12/32
-FIRST WORK HOUR OF THE DAY:	8	8
-LAST WORK HOUR OF THE DAY:	20	20

se nadaljuje...

...nadaljevanje priloge E

CROP  
\*\*\*\*

SOIL MOISTURE AT WILTING POINT = .09

HIGH WATER STRESS: BEGIN STRESS PERIOD ON 4/10  
END STRESS PERIOD ON 8/18  
CROP IS IN STRESS WHEN WATER TABLE IS ABOVE 30.0 CM

DROUGHT STRESS: BEGIN STRESS PERIOD ON 4/10  
END STRESS PERIOD ON 8/18

MO	DAY	ROOTING DEPTH(CM)
1	1	3.0
4	16	3.0
5	4	4.0
5	17	15.0
6	1	25.0
6	20	30.0
7	18	30.0
8	20	20.0
9	24	10.0
9	25	3.0
12	31	3.0

WASTEWATER IRRIGATION  
\*\*\*\*\*

NO WASTEWATER IRRIGATION SCHEDULED:  
-----

\*\*\*\*\* No Wetlands Criteria \*\*\*\*\*

Fixed Monthly Pet Values

1 .00 2 .00 3 .00 4 .00 5 .00 6 .00 7 .00 8 .00 9 .00 10 .00 11 .00 12 .00

Mrank indicator = 0

\*\*\*\*\* END OF INPUTS \*\*\*\*\*

-----RUN STATISTICS ----- time: 5/28/2016 @ 19:14

input file: C:\DrainMod\outputs\t.prj

parameters: free drainage and yields not calculated

drain spacing = 3000. cm drain depth = 130.0 cm

-----  
\*\*> Computational Statistics <\*\*  
\*\*> Start Computations =1154.344  
\*\*> End Computations =1154.344  
\*\*> Total simulation time = .0 seconds.



»Ta stran je namenoma prazna«

## PRILOGA F: Izhodna datoteka ProjectHotic\_May20167.yr

-----  
\* DRAINMOD version 6.1 \*  
\* Copyright 1980-2011 North Carolina State University \*  
-----

KONVENCIONALNA DRENAŽA, BREZ DONOSOV, ZEM. HOTIČ  
HOTIČ, VREMENSKI PODATKI LJ-BEŽIGRAD

\*\*\*\*\*

-----RUN STATISTICS ----- time: 5/28/2016 @ 19:14

input file: C:\DrainMod\outputs\t.prj

parameters: free drainage and yields not calculated

drain spacing = 3000. cm drain depth = 130.0 cm

-----

YEAR	RAINFALL	INFILTRATION	ET	DRAINAGE	RUNOFF	SEW	TWLOSS	PUMPV
------	----------	--------------	----	----------	--------	-----	--------	-------

2015	110.57	109.78	65.96	52.29	.79	.00	53.15	.00
------	--------	--------	-------	-------	-----	-----	-------	-----

AVG	110.57	109.78	65.96	52.29	.79	.00	53.15	
-----	--------	--------	-------	-------	-----	-----	-------	--