

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:

Bosnar, B., 2016. Zasnova kapljičnega namakalnega sistema za namakanje hmeljišča v sklopu velikega namakalnega sistema. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šraj, M., somentorica Friškovec, I.): 66 str.

Datum arhiviranja: 01-07-2016

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:

Bosnar, B., 2016. Zasnova kapljičnega namakalnega sistema za namakanje hmeljišča v sklopu velikega namakalnega sistema. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šraj, M., co-supervisors Friškovec, I.): 66 pp.

Archiving Date: 01-07-2016

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:

BLAŽ BOSNAR

**ZASNOVA KAPLJIČNEGA NAMAKALNEGA SISTEMA
ZA NAMAKANJE HMELJIŠČA V SKLOPU VELIKEGA
NAMAKALNEGA SISTEMA**

Diplomska naloga št.: 288/VKI

**DRIP IRRIGATION DESIGN FOR HOPFIELD AS A
PART OF A LARGE IRRIGATION SYSTEM**

Graduation thesis No.: 288/VKI

Mentorica:
doc. dr. Mojca Šraj

Ljubljana, 20. 06. 2016

Stran za popravke

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisani študent Blaž Bosnar, vpisna številka 26106931, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Zasnova kapljičnega namakalnega sistema za namakanje hmeljišča v sklopu velikega namakalnega sistema

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.

V/Na: _____

Datum: _____

Podpis študenta/-ke: _____

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČEKOM

UDK: 556.536:626.8(497.4)(043.2)

Avtor: Blaž Bosnar

Mentorica: doc. dr. Mojca Šraj

Somentorica: Irena Friškovec, uni. dipl. ing. agr.

Naslov: Zasnova kapljičnega namakalnega sistema za namakanje hmeljišča v sklopu velikega namakalnega sistema

Tip dokumenta: Diplomaska naloga – univerzitetni študij

Obseg in oprema: 66 str., 20 tab., 22. sl., 27 en., 2 pril.

Ključne besede: namakalni sistem, hmelj, namakanje, kapljači, filtrirna naprava, delovni pretoki, namakalni urnik

IZVLEČEK

V hmeljarstvu se je v težnji po stabilni dolgoletni proizvodnji v osemdesetih letih 20. stoletja začela pojavljati želja po namakanju hmeljišč, ter gradnji velikih namakalnih sistemov v Spodnji Savinjski dolini. Takratna izvedba je bila zasnovana na osnovi bobnastih namakalnikov, za katere je znano, da so veliki porabniki vode. Novejša tehnologija kapljičnega namakanja, ki zagotavlja racionalno porabo vode, se z leti vse bolj uveljavlja za namakanje hmeljišč.

V nalogi smo na podlagi tehničnih in tehnoloških podatkov zasnovali kapljični namakalni sistem za namakanje hmeljišča, ki ga priključimo na obstoječi veliki namakalni sistem. Pri tem smo izdelali analize hidravličnih parametrov namakalne opreme s programom HydroCalc in urnike namakanja s programom CROPWAT 8.0.

Študija je pokazala, da namakanje v okviru velikega namakalnega sistema uporabniku dovoljuje namakanje v določenem časovnem intervalu, ki se mu mora prilagoditi, saj le tako lahko upravljalec velikega namakalnega sistema zagotavlja zadosten pretok in tlak vode hidranta. Pri zasnovi namakalne opreme so torej analize hidravličnih parametrov nujne, saj le s tem omogočimo učinkovito delovanje sistema.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 556.536:626.8(497.4)(043.2)

Author: Blaž Bosnar

Supervisor: Assist. Prof. Mojca Šraj, PhD.

Cosupervisor: Irena Friškovec, uni. dipl. ing. agr.

Title: Drip irrigation design for hopyard as a part of a large irrigation system

Document type: Graduation Thesis - University studies

Scope and tools: 66 p., 20 tab., 22. p., 27 eq., 2 ann.

Keywords: irrigation system, hops, irrigation, drippers, filtration, working discharges, irrigation schedule

ABSTRACT

The hop industry was striving for stable long-time production in the eighties of the 20th century and began to emerge desire for irrigation hopfields and the construction of large irrigation systems in the Lower Savinja Valley. The former embodiment has been designed on the base of drum rolomats, which are known as large water users. Newer technology is drip irrigation, which ensures the rational use of water and its use is gaining over the years.

Drip irrigation system for irrigation of hopfield, which is connected to an existing large irrigation system was designed in the study based on the technical and technological information. We conducted analyses of hydraulic parameters of irrigation equipment with HydroCalc software and irrigation schedules using CROPWAT 8.0 software.

We have found that irrigating within a large irrigation system allows the user only to irrigate in the specific time interval; since only in this case large irrigation system could provide sufficient flow and pressure of water at water hydrant. Therefore we can conclude that hydraulic analyses are necessary to enable effective operation of the system.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Mojci Šraj in somentorici Ireni Friškovec za strokovno pomoč in vodenje pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvalil bi se staršem in Janji za vzpodbudo in podporo tekom mojega študijskega obdobja.

KAZALO VSEBINE

KAZALO SLIK	IX
KAZALO PREGLEDNIC	XI
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XII
1 UVOD.....	1
2 IZHODIŠČA	2
2.1 Zakonske podlage	2
2.2 Klima	2
2.3 Tla	2
2.4 Zadrževanje vode v tleh	3
2.5 Koeficient infiltracije.....	5
2.6 Gojenje hmelja.....	5
2.6.1 Hmeljna rastlina.....	5
2.6.2 Tehnologija sajenja hmelja	7
2.6.3 Evapotranspiracija	8
2.6.4 Prognoza namakanja hmelja v Sloveniji.....	9
2.7 Merjenje količine vode v tleh.....	9
2.8 Namakalni parametri in zasnova namakalnega sistema.....	10
2.8.1 Norma namakanja.....	10
2.8.2 Obrok namakanja.....	11
2.8.3 Začetek namakanja	12
2.8.4 Čas namakanja.....	12
2.8.5 Interval (turnus) namakanja.....	12
2.8.6 Hidromodul namakanja	13
2.8.7 Število namakanj	13
2.9 Hidravlični izračuni.....	13
2.9.1 Hidravlične izgube.....	14

2.9.2	Energijske izgube v namakalnih linijah zaradi kapljačev	19
2.9.3	Filtracija	20
2.9.4	Kapljači	20
2.9.5	Namakalne linije	21
2.10	Analiza iztoka hidranta in pretok dovodne cevi.....	24
2.11	Metoda kvantilov za izračun potencialne evapotranspiracije.....	24
2.12	Vodna bilanca	25
2.13	Kratka predstavitev programa Cropwat 8.0	25
3	NAČINI NAMAKANJA HMELJIŠČ	27
3.1	Namakanje z razpršilci (bobnastimi namakalniki).....	27
3.2	Kapljični namakalni sistemi v hmeljarstvu	28
3.2.1	Prednosti in slabosti kapljičnega sistema namakanja.....	29
3.2.2	Delitev kapljičnih sistemov v hmeljarstvu	29
3.3	Osnovni elementi kapljičnega namakalnega sistema v primeru odvzema vode iz hidranta velikega namakalnega sistema	31
3.3.1	Hidrant.....	31
3.3.2	Filtrirna naprava	31
3.3.3	Omejevalec tlaka	32
3.3.4	Vodomer.....	33
3.3.5	Razvodne cevi	33
3.3.6	Ventil.....	33
3.3.7	Manometri	33
3.3.8	Namakalne linije s kapljači	34
3.3.9	Dodajanje hranil in fertigacijska naprava.....	36
4	OPIS VELIKEGA NAMAKALNEGA SISTEMA »BREG«	37
4.1	Črpališče.....	37
4.2	Vodni vir	37
4.3	Cevovod namakalnega sistema in armatura.....	38
5	PREDSTAVITEV OBRAVNAVANEGA OBMOČJA IN VHODNI PODATKI.....	40

5.1	Zakonska podlaga.....	40
5.2	Njivske površine.....	40
5.3	Klima in padavine.....	42
5.4	Evapotranspiracija	43
5.5	Faktor rastline za hmelj.....	43
5.6	Tla	45
6	ZASNOVA KAPLJIČNEGA NAMAKALNEGA SISTEMA ZA IZBRANO HMELJIŠČE	46
	46	
6.1	Bilanca razpoložljive vode in potrebne količine za namakanje.....	46
6.1.1	Maksimalne dnevne potrebe po vodi.....	46
6.2	Pretok hidranta in gibljive dovodne cevi.....	48
6.3	Kapljači in namakalne linije.....	48
6.4	Razvodne cevi.....	52
6.5	Dovodna cev med filtrirno napravo in sekundarnimi cevmi	54
6.6	Filtrirna naprava	55
6.7	Ventili in merilniki	58
7	NAMAKALNI PARAMETRI IN URNIK NAMAKANJA	59
8	ZAKLJUČEK.....	61
VIRI.....		62

KAZALO SLIK

Slika 1: Oblike, sila vezave in dostopnost vode v tleh za rastline (Pintar, 2003)	4
Slika 2: Spremembe koeficienta infiltracije (cm/uro) v lahkih peščeno ilovnatih tleh (PI) in težkih glinasto ilovnatih tleh (GI) v odvisnosti od časa (Pintar, 2003).....	5
Slika 3: Nasad hmelja (foto: Bosnar, 2016)	7
Slika 4: Moodyjev diagram	16
Slika 5: Kapljači nameščeni v namakalni liniji (NRCS, 2016a)	19
Slika 6: Mobilna filtrirna naprava (foto: Bosnar, 2016).....	20
Slika 7: Razmerje med pretokom in delovnim tlakom na kapljaču za nekompenzacijski kapljač ($x = 1$), kompenzacijski kapljač ($x < 0.5$) in navadno odprtino ($x = 0.5$) (Gačnik, 2015 cit. po Lam met al., 2007)	21
Slika 8: Stopnja delovnega tlaka glede na relativno razdaljo vzdolž namakalne linije za primer a), ko se teren dviga ali je raven in za primer b), ko teren pada (Gačnik, 2015 cit. po Lam met al., 2007)....	22
Slika 9: Kapljične namakalne cevi obešene na vrhu žičnice (foto: Bosnar, 2016)	30
Slika 10: Hidrantni nastavek (foto: Bosnar, 2016).....	31
Slika 11: Komandna plošča filtra (foto: Bosnar, 2016).....	32
Slika 12: Elektromagnetni ventil (foto: Bosnar, 2016)	33
Slika 13: Manometer, nameščen na dovodni cevi (foto: Bosnar, 2016)	34
Slika 14: Vzorec vlaženja lahkih peščenih tal (A) in težkih glinenih tal (B) (Pintar, 2006).....	35
Slika 15: Avtomatski tlačni ventili za spiranje namakalnih linij (NETAFIM, 2016b)	35
Slika 16: Črpalka (foto: Bosnar, 2016)	37
Slika 17: Vodotok Struga z zajetjem namakalnega sistema (foto: Bosnar, 2016)	38
Slika 18: Prikaz lokacije obravnavanega območja.....	40
Slika 19: Obravnavano območje - njivska površina 1198070.....	41
Slika 20: Vhodni podatki za hmelj v modulu rastlin v programu CROPWAT 8.0.....	44
Slika 21: Maksimalne dnevne vrednosti ETo za posamezen mesec za obdobje od 2006 do 2015	47
Slika 22: Pogovorno okno za vnos parametrov namakalnih linij v programu HydroCalc (Netafim, 2016b)	50
Slika 23: Sprememba tlačne višine vzdolž namakalne linije v programu HydroCalc (NETAFIM, 2016b)	50
Slika 24: Pretoki kapljačev vzdolž namakalne linije v programu HydroCalc (NETAFIM, 2016b)	51
Slika 25: Vnos podatkov za izračun hidravličnih parametrov razvodnih cevi v programu HydroCalc (NETAFIM, 2016b)	53
Slika 26: Sprememba tlačne višine vzdolž razvodne cevi namakalnega sektorja v programu HydroCalc (NETAFIM, 2016b)	53

Slika 27: Hidravlični parametri dovodne cevi	54
Slika 28: Prikaz poteka tlaka in višine vzdolž dovodne cevi.....	55
Slika 29: Peščeni filter (NETAFIM, 2016c).....	56
Slika 30: Avtomatski samočistilni filter (Rain Bird, 2016).....	57
Slika 31: Tlačne izgube disk filtra pri filtraciji 130 mikronov (Rain Bird, 2016)	58

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vpliv razdalje sajenja na življenjski prostor rastline ter število sadik na hektar (Friškovec in sod., 2002).....	7
Preglednica 2: Velikosti višine hrap ϵ za različne materiale cevi so podane v tabeli (Steinman, 1999)	16
Preglednica 3: Koeficient hrapavosti C za različne materiale cevi (Stropnik, 2006).....	17
Preglednica 4: Vrednosti Christiansenovega faktorja F za različna števila iztokov (Lamm in sod., 2007)	18
Preglednica 5: Vrednosti koeficienta lokalnih izgub za različne elemente (Lamm in sod., 2007)	18
Preglednica 6: Popis cevi velikega namakalnega sistema Breg (Plima, 2016)	38
Preglednica 8: Vhodni klimatski podatki in padavine za obdobje 2005-2015 (ARSO, 2016a).....	42
Preglednica 9: Maksimalna dnevna evapotranspiracija ET_0 za posamezen mesec v obdobju 2006–2015 (ARSO, 2016b)	43
Preglednica 10: Faktor K_c hmelja glede na rastno obdobje (Knapič, 2002).....	44
Preglednica 11: Podatki za obravnavana tla (eTLA, 2016; Atlas okolja, 2016)	45
Preglednica 12: 90 % verjetna evapotranspiracija ET_0	47
Preglednica 13: Tehnične specifikacije kapljačev (NETAFIM, 2016a)	49
Preglednica 14: Tehnične specifikacije namakalnih linij (NETAFIM, 2016a).....	49
Preglednica 15: Rezultati hidravličnih izračunov namakalnih linij	51
Preglednica 16: Tehnični podatki razvodnih PE cevi (PE cevi, 2016).....	52
Preglednica 17: Delovni tlaki na začetku razvodnih cevi	53
Preglednica 18: Tehnične lastnosti peščenega filtra (NETAFIM, 2016C).....	55
Preglednica 19: Tehnične karakteristike disk filtra (Rainbird, 2016)	57
Preglednica 20: Lokalne energijske izgube na armaturi pri delovnem pretoku	58
Preglednica 21: Minimalni, povprečni in maksimalni parametri namakanja.....	59
Preglednica 22: Bruto količine vode za namakanje v povprečnem letu.....	60
Preglednica 23: Izbrani parametri iz urnika namakanja	60

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

B	razdalja me namakalnimi linijami [m]
C_v	produkcijska enakomernost izdelave kapljačev
D	rastna doba [dni]
Dr	razmerje velikostjo manjšega proti večjemu premeru cevi
E	razdalja med dvema kapljačema [m]
ET_0	referenčna evapotranspiracija
ET_c	potencialna evapotranspiracija rastline
EU	unifomnosti iztokov kapljačev
F	Christiansenov faktor
g	gravitacijski pospešek [m/s^2]
h_0	začetni tlak namakalne linije [m]
Ha	povprečni hidromodul namakanja [l/s/ha]
ha	naklon namakalne linije (pozitiven ali negativen)
h_f	trenjske izigube namakalne linije [m]
$Hmax$	delovni hidromodul namakanja [l/s/ha]
I	intenziteta namakanja [mm/uro]
k_c	faktor rastline
K_e	koeficient iztoka kapljača
kPK	količina vode pri poljski kapaciteti v globini glavne mase korenin [mm]
kTV	količina vode pri točki vnenja v globini glavne mase korenin [mm]
l	dolžina cevovoda [m]
L	je dolžina namakalne linije [m]

<i>LDV</i>	količina lahko dostopne vode v tleh [mm]
<i>L_m</i>	razdalja od začetka namakalne linije do pozicije, kjer se pojavi minimalni tlak [m]
<i>Nb</i>	bruto norma namakanja
<i>Nb</i>	normo namakanja
<i>Nn</i>	norma namakanja [mm, m ³ /ha/leto]
<i>nON</i>	neto obrok namakanja [mm]
<i>n_p</i>	število kapljačev na rastlino
<i>ON</i>	obrok namakanja [mm]
<i>p</i>	delež vode, ki je rastlinam dostopen med <i>PK</i> in <i>TV</i>
<i>p</i>	delež vode, ki je rastlinam dostopen med <i>PK</i> in <i>TV</i>
<i>P</i>	delovni tlak [m]
<i>PK</i>	poljska kapaciteta
<i>Pv</i>	skupna poraba vode v sezoni [mm/leto, m ³ /ha/leto]
<i>q</i>	pretok kapljača [l/h]
<i>Q</i>	pretok
<i>Re</i>	Reynoldsovo število
<i>R_i</i>	delež vseh tlačnih izgub
<i>Rv</i>	skupna razpoložljiva količina vode v sezoni [mm/leto, m ³ /ha/leto]
<i>S</i>	površina prečnega prereza toka [m ²]
<i>t</i>	čas namakanja [h]
<i>Tn</i>	interval (turnus) namakanja [dni]
<i>TV</i>	točko venenja
<i>v</i>	povprečna hitrost toka [m/s]
<i>x</i>	eksponent kapljača

ΔE_{izgub}	skupne hidravlične izgube zaradi trenja
ΔE_{lin}	linijske energijske izgube [m]
ΔE_{lok}	lokalna izguba energije [m]
λ	Darcy–Weisbachov koeficient trenja
ν	kinematični koeficient viskoznosti [m ² /s]
ζ_{lok}	koeficient lokalne izgube elementa

1 UVOD

Namakanje kmetijskih zemljišč se je množično pojavilo po 2. svetovni vojni z razvojem novodobnega intenzivnega kmetijstva (Irrigation, 2016). V tem času so bili zgrajeni prvi večji namakalni sistemi tako po svetu kot v Sloveniji. Namakanje v Sloveniji se je sprva izvajalo preko rolomatov z razpršilci, ki pa so veliki porabniki vode, saj je veljalo prepričanje, da je voda neomejena dobrina (Irrigation, 2016). V zadnjem obdobju pa smo le ugotovili, da lahko s pretiranim namakanjem škodujemo tako posevkom, kot okolju, kar je privedlo do težnje po kontroliranem namakanju, pri katerem želimo manjšo in bolj učinkovito porabo vode, kar najbolje izvedemo s kapljičnim namakalnim sistemom.

V Sloveniji je bilo v 80. in 90. letih prejšnjega stoletja zgrajenih 874 hidromelioracijskih sistemov, od tega 478 osuševalnih in 396 namakalnih sistemov. Približno 35 % vseh sistemov se redno vzdržuje, tako da delujoči veliki namakalni sistemi obsegajo 6689 hektarjev (Jerič in sod., 2008).

Območje Spodnje Savinjske doline je poznano po pridelavi hmelja, ki je ena izmed štirih osnovnih sestavin piva. Ker je hmeljarstvo delovno zelo intenzivna panoga in hmelj izvozni pridelek z visoko dodano vrednostjo, želijo hmeljarji stabilne letne pridelke tudi v času kmetijske suše. Zato so tudi v osemdesetih letih prejšnjega stoletja zgradili velike namakalne sisteme, ki bi zagotavljali vodo za namakanje hmeljišč. Z nestrokovnim namakanjem s preveliko porabo vode negativno vplivamo na okolje. Črpanje vode iz vodotokov in podtalnice, zlasti v poletnem času, ko so njihovi pretoki in vodostaji nizki predstavlja velik pritisk na vodne vire. Sicer se odcedna voda s polj vrača nazaj v podtalnico in dolvodno v vodotoke, vendar je ta voda lahko onesnažena s hranili. Zato je pomembno, da odmerjene količine vode, dodane rastlinam niso prevelike (Pintar, 2003).

Težnja po stabilni pridelavi in smernice Evropske unije po varovanju okolja, ki je posebej poudarjeno v programskem obdobju razvoja podeželja 2014-2020, nakazujejo potrebe po »pametnem« namakanju, ki bo strokovno utemeljeno in bo zagotavljalo pozitivne učinke, kar najbolje izvedemo s kapljičnimi namakalnimi sistemi (Glavan in sod., 2012).

Namen naloge je predstaviti zakonske podlage in tehnične ter tehnološke pojme, ki jih potrebujemo pri zasnovi malih namakalnih sistemov. V nadaljevanju pa je izdelana zasnova kapljičnega namakalnega sistema s priključitvijo na veliki namakalni sistem za namakanje obstoječega hmeljišča v Spodnji Savinjski dolini.

2 IZHODIŠČA

2.1 Zakonske podlage

Namakanje kmetijskih zemljišč je urejeno z zakoni, uredbami in predpisi. Pomembnejši so: Zakon o kmetijskih zemljiščih (ZKZ, Uradni list RS št. 71/2011), Zakon o urejanju prostora (ZUreP-1, Uradni list RS št. 110/2002), Zakon o graditvi objektov (ZGO-1, Uradni list RS št. 102/2004), Zakon o varstvu okolja (ZVO, Uradni list RS št. 39/2006), Zakon o vodah (ZV-1, Uradni list RS št. 67/2002), Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka (Uradni list RS št. 97/2009), Uredba o posegih v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje (Uradni list RS št. 51/2014), Uredba o mejnih vrednosti vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla (Uradni list RS št. 84/2005; 62/2008, 113/2009 in 99/2013) in Uredba o vodnih povračilih (Uradni list RS št. 103/2002) (več glej Gačnik, 2015).

2.2 Klima

Celotna Celjska kotlina z okolico, ki zajema tudi Spodnjo Savinjsko dolino, spada po Koppenovi klimatski klasifikaciji v vlažno zmerni topli pas in se uvršča v zmerno kontinentalno podnebje (Ogrin, 1996). Za to klimatsko območje je značilno, da ima deževno obdobje dva vrhova, prvi se pojavi od maja do julija in drugi v oktobru. Daleč najmanj padavin je v zimskih mesecih. Dolgoletno povprečje padavin Spodnje Savinjske doline je 1196 mm na leto v 146 padavinskih dneh. Povprečno v rastni dobi hmelja od aprila do avgusta pade 670 mm padavin (ARSO, 2016a).

Povprečna letna temperatura zraka v obdobju med letoma 1991 in 2006 je bila 10,3 °C. Najtoplejši mesec v letu je bil julij s povprečno temperaturo 20,5 °C, najhladnejši pa januar s povprečno temperaturo -0,5 °C. Povprečna temperatura med aprilom in septembrom pa je bila 16,6 °C. Temperaturni prag, ko je srednja dnevna temperatura višja od 5 °C navadno nastopi v tretji dekadi marca (ARSO, 2016a).

2.3 Tla

Na obravnavanem območju Spodnje Savinjske doline, ki se v svojem osrednjem ravninskem delu z nadmorsko višino 300 m razprostira ob reki Savinji in njenih pritokih: Bolski, Konjščici, Ložnici in Pirešici, prevladujejo aluvialna tla na produ in pesku (Majer, 2000). Zgradba aluvialnih naplavin ni homogena, saj se razlikujejo po globini, teksturi in deležu karbonatov. Delež karbonatov je največji v prodnatih nanosih reke Savinje, medtem ko je v naplavinah potokov Ložnica in Bolska pretežno silikatni in metamorfni material. Zaradi pestrosti nanesenega materiala so tla Spodnje Savinjske doline precej raznolika. Na večjem osrednjem in južnem delu doline od Letuša do Levca so peščena in prodnata lahko odcedna tla, ki jih lahko normalno obdelujemo kljub močnejši namočenosti. Na

severnem robu doline od Polzele do Levca pa se nahajajo slabše propustna tla, ki so manj primerna za intenzivno obdelavo (Majer, 2000).

Pri projektiranju namakalnih sistemov in za pravilno namakanje je potrebno poznati nekatere lastnosti tal, na katerih se bo izvajalo namakanje. Uporabnik namakalnega sistema lahko te podatke pridobi iz projektnih dokumentacij ali pa naroči analizo pedološkega profila pri za to usposobljeni inštituciji. Za strokovno izvedbo namakanja je potrebno pridobiti naslednje podatke (Pintar, 2003):

- Razprostranjenost posameznega tipa tal na namakalni površini; tla na večjih namakalnih površinah so zelo redko homogena, velikokrat so sestavljena z več različnih tipov tal. Tako lahko imamo na enem delu namakalne površine globlja bolj glinena tla in na drugem plitvejša peščena tla. V takšnem primeru moramo površino namakati z ločenima režimoma, kar pomeni ločen namakalni sistem (razvodni cevovod). Namakanje po »srednji varianti«, da bi celotno površino namakali kot srednje težka tla, ni priporočljivo. Kompromis sklepamo le v primeru, ko je en tip tal močno prevladujoč nad drugim, takrat režim namakanja določimo glede na prevladujoč tip.
- Globina talnih horizontov. Tla so po globini nehomogena, saj so se v času razvoja oblikovale od 1 cm do nekaj 10 cm debele plasti – horizonti, ki se razlikujejo po fizikalnih, kemijskih in biotičnih lastnostih.
- Tekstura tal v posameznem horizontu.
- Sposobnost zadrževanja vode v posameznem horizontu.
- Koeficient infiltracije.
- Kemijske lastnosti (zlasti v primeru dodajanja hranil).

2.4 Zadrževanje vode v tleh

Tla so trifazni sistem, ki je sestavljen iz trdne (matriks tal), tekoče (talne raztopine) in plinaste (talnega atmosfera) faze (Šijanec, 2009). Delež trdne faze v določenem volumnu je 40-70 % celotnega prostora. V njo uvrščamo mineralne snovi, ki so nastale s preperevanjem kamnin, organsko snov in žive organizme, ki tvorijo porozno maso, s sistemom por različnih dimenzij, ki so med sabo povezane. Mineralni del je sestavljen iz delcev različnih dimenzij, ki se delijo v teksturne razrede: pesek, melj in glina. Prazen prostor med trdnimi delci (pore) zasedata zrak in voda, na katero delujejo različne sile in se pomika vertikalno po talnem profilu. Pore delimo na dva velikostna razreda; makro- in mikropore. Sposobnost vezave vode na delce v tleh vpliva na količino in hitrost odtoka vode in na količino rastlinam dostopne vode, kar imenujemo vodno zadrževalne lastnosti tal (Pintar, 2003).

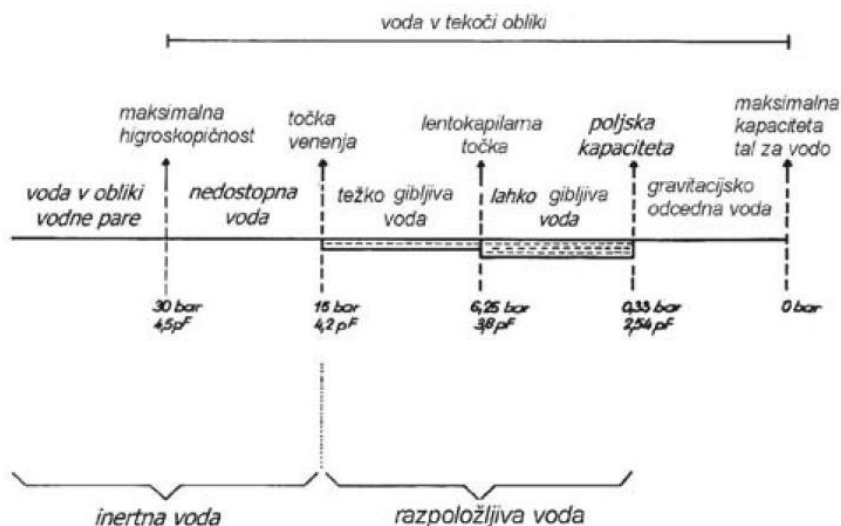
Ključne lastnosti tal za zadrževanje vode so tekstura tal, organska snov, skeletnost in globina tal (razdalja med površino in matično podlago) (Šijanec, 2009).

Voda je v tleh v obliki kapljevine ali v obliki vodne pare. Ko vodne molekule napolnijo talne pore, tla dosežejo maskimalno higroskopičnost. Takrat se začne vezava vode na talne delce v obliki kapljevine. Prva plast vodnih molekul se veže na talne delce s tenzijo 30 barov (tenzija je negativni tlak, ker med talnimi delci in molekulami vode delujejo privlačne sile). Vsaka naslednja plast vode je vezana na talne delce z manjšo tenzijo. Več kot je vode v tleh, šibkeje je vezana in bolj je dostopna rastlinam (Pintar, 2003).

Rastline lahko s svojim koreninskim sistemom premagajo tenzijo do 15 barov, ko je ta vrednost presežena govorimo o točki venenja (*TV*). V tej točki rastline trajno uvenejo in si ne opomorejo, četudi jih kasneje zalijemo (Pintar, 2003).

Ko količina vode v tleh narašča in se debeli plast vodnih molekul, ki so vezane na talne delce, je voda vezana le še s tenzijo 0,10 bara v lahkih peščenih tleh oz. 0,33 bara v težkih glinenih tleh. Takrat je v tleh dosežena poljska kapaciteta (*PK*), ki je največja količina vode, ki jo tla lahko zadržijo. V tem stanju so mikro-pore zapolnjene z vodo in makro-pore z zrakom (Pintar, 2003).

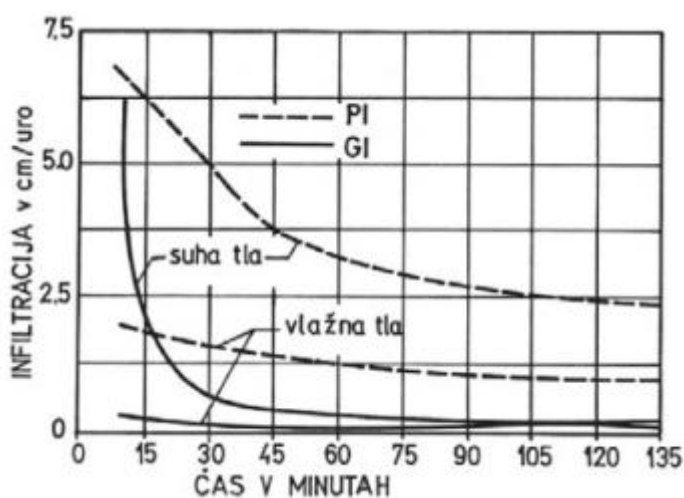
Rastlinam je najlažje dostopna voda, ki se zadržuje med poljsko kapaciteto (*PK*) in točko venenja (*TV*), ki jo označujemo z razpoložljivo vodo (*RV*) (slika 1) in je vezana v tleh s tenzijo 0,33 – 15 bar (Pintar, 2003).



Slika 1: Oblike, sila vezave in dostopnost vode v tleh za rastline (Pintar, 2003)

2.5 Koeficient infiltracije

Infiltracija je proces vpijanja vode v tla in koeficient infiltracije nam pove s kakšno hitrostjo tla vpijajo vodo (mm/h, cm/h). Koeficient infiltracije je odvisen od teksture, strukture in trenutne vlažnosti tal. Suha tla hitreje vpijajo vodo kot vlažna. Hitrost vpijanja vode v tla je po 3-5 urah vlaženja (namakanja ali dežja) konstantna (Pintar, 2003). Hitrost vpijanja je pomembna, kadar načrtujemo namakanje z razpršilci, saj intenziteta namakanja ne sme preseči koeficienta infiltracije, sicer bo voda začela zastajati na površini in se lahko pojavi površinski odtok (slika 2).



Slika 2: Spremembe koeficienta infiltracije (cm/uro) v lahkih peščenilovnatih tleh (PI) in težkih glinastilovnatih tleh (GI) v odvisnosti od časa (Pintar, 2003)

2.6 Gojenje hmelja

2.6.1 Hmeljna rastlina

Hmelj je trajna industrijska rastlina, ki je večinoma gojena za potrebe pivovarstva. Na krovnikih listih storžkov ženske rastline hmelja nastaja rumen prah, ki se imenuje lupulin in je v grobem sestavljen iz smol (kamor spadajo tudi alfa kisline), aromatičnih snovi (eterična olja) in polifenolov. Glavne tržne komponente so alfa kisline in eterična olja v lupulinu (Rode in sod., 2002).

Hmelj je nepogrešljiv v pivovarstvu, saj daje pivini grenčico, specifično aromo in povzroči čiščenje pивine. Hkrati pivu izboljša stabilnost pene in služi kot naravni konzervans. V hmelju so prisotne tudi polifenolne spojine, ki delujejo kot antioksidanti (Hrastar, 2006).

Botanično je hmelj dvodomna rastlina, ki spada v družino konopljevok (Cannabinaceae) in je bližnji sorodnik konoplje in koprive. V nasadih gojimo le ženske rastline, moške rastline pa zatiramo, ker ne želimo osemenitve, saj osemenitev zmanjšuje vsebnost alfa kislin (Hrastar, 2006).

Hmeljna rastlina je sestavljena iz podzemnega vegetativnega dela, nadzemnega vegetativnega dela in razmnoževalnih organov. Na koncu rastne sezone podzemni deli rastline prezimijo, nadzemni pa propadejo (Rode in sod., 2002).

Podzemni deli pri hmeljni rastlini so sestavljeni iz koreninskega tkiva in tkiva stebela, ki skupaj tvorita koreniko ali štor, ki vsako leto prirašča in ima življenjsko dobo glede na pogoje rastišča od 10 do 25 let. Koreninsko tkivo tvori dve obliki korenin. V globino se razrašča 6 – 12 odebeljenih glavnih korenin, ki so stalne in segajo tudi do nekaj metrov v globino in imajo tudi založno funkcijo, saj služijo kot rezervno tkivo. Na stalnih koreninah na globini med 20 in 30 centimetrov bočno izraščajo vlaknaste korenine, ki tvorijo koreninsko grudo. Vlaknaste korenine se obnavljajo in imajo nalogo sprejemanja hranil in vode. Tik pod površjem se na odebeljenem enoletnem poganjku med rastno sezono razvijejo tudi nadomestne (adventivne ali rosne) korenine, ki jih ohranjamo z osipavanjem hmelja (Rode in sod., 2002).

Nadzemni del hmeljne rastline sestavljajo steblo, stranski poganjki in listi (slika 3). Glavno steblo (hmeljna trta) se razvije iz očesca na korenini in je najprej belo, kasneje zaradi UV svetlobe ozeleni. Pri višini od 30 do 50 centimetrov se začne ovijati okoli opore in se lahko vzpenja do 9 metrov v višino. V dobi hitre rasti lahko prirašča več kot 25 centimetrov na dan. Steblo je sprva zelnato, kasneje pa oleseni. Ko rastlina doseže vrh opore se s pomočjo stranskih poganjkov razraste v širino. Stranski poganjki so po zgradbi podobni stebelu in razvejano rastejo pravokotno na steblo. Na njih se razvijejo listi in cvetovi. Število stranskih poganjkov je odvisno predvsem od rastnih pogojev (Rode in sod., 2002).

Glede preskrbljenosti z vodo je hmelj zahtevna rastlina, ki jo številni strokovnjaki uvrščajo med rastline humidnih območij. Splošna ocena je, da hmelj v svoji rastni dobi potrebuje od 500 do 600 mm padavin. Na območju Spodnje Savinjske doline pade v obdobju od aprila do septembra povprečno 690 mm dežja, vendar pa oskrba rastlin z vodo ni odvisna le od skupne količine ampak tudi od njihove razporeditve (Rode in sod., 2002).



Slika 3: Nasad hmelja (foto: Bosnar, 2016)

2.6.2 Tehnologija sajenja hmelja

Na zasnovo tehnologije hmelja vpliva specifična rastlinska odeja, ki jo v času rasti in razvoja oblikujejo hmeljne rastline. Življenjski prostor rastlin je določen z razdaljo sajenja med vrstami in v vrsti. Medvrstna razdalja se ponavadi giblje med 2,4 m do 3,0 m, razdalja v vrsti pa od 1,0 m do 1,5 m, kot je prikazano v preglednici 1 (Friškovec in sod., 2002).

Preglednica 1: Vpliv razdalje sajenja na življenjski prostor rastline ter število sadik na hektar (Friškovec in sod., 2002).

Razdalja sajenja (cm)	Življenjski prostor rastline (m ² /rastlino)	Število rastlin na hektar
240 x 100	2,40	4166
240 x 110	2,64	3787
240 x 120	2,88	3472
240 x 130	3,12	3205

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 1

240 x 140	3,36	2976
240 x 150	3,60	2777
280 x 110	3,08	3246
280 x 120	3,36	2976
280 x 130	3,64	2747
300 x 110	3,30	3030
300 x 120	3,60	2777
300 x 130	3,90	2564

Poznavanje gostote sajenja in število sadik sta pomembna vhodna podatka pri načrtovanju namakalnega sistema v hmeljiščih, saj lahko tako določimo potek namakalnih linij in razdaljo med kapljači.

2.6.3 Evapotranspiracija

Evapotranspiracija je sestavljena iz procesa evaporacije in transpiracije. Evaporacija je izhlapevanje vode iz tal ali vodne površine, transpiracija pa je izhlapevanje vode iz rastline preko listnih rež in drugih nadzemnih organov (Pintar, 2003). Voda omogoča rastlini, da se v njej odvijajo vsi življenjski procesi – dihanje, transport hranilnih snovi, tvorba snovi in drugo. Rastline pri procesu dihanja (transpiracije) izgubljajo vodo.

Merjenje izgub je sorazmerno težko in drago, zato so se razvili številni modeli, ki bi na osnovi meteoroloških parametrov pomagali oceniti izgube vode. Najpogosteje se za izračunavanje evapotranspiracije uporablja metoda po Penmanu oziroma rahlo korigirana metoda Penman – Monteith, ki temelji na izračunu evapotranspiracije na osnovi merjenja (Knapič, 2002):

- temperature,
- relativne zračne vlage,
- sončnega obsevanja,
- vetra.

Vrednost, dobljena po omenjeni metodi predstavlja izgubo vode s travnate (referenčne) površine. Z merjenji dejanske evapotranspiracije travnatih površin na različnih območjih sveta so ugotovili, da lahko z omenjeno metodo določimo evapotranspiracijske izgube z natančnostjo večjo od 80 odstotkov in so jo zato predlagali kot standardno metodo za izračun evapotranspiracije (Brilly in Šraj, 2005).

Izračunana vrednost nam služi kot referenčna vrednost (referenčna evapotranspiracija), s katero primerjamo evapotranspiracijske izgube posamezne rastline. Vrednosti s postaj, kjer so merili evapotranspiracijo za posamezne rastline, so primerjali z referenčno evapotranspiracijo, ter tako določili faktor rastline, ki omogoča, da iz meteoroloških parametrov lahko ocenimo evapotranspiracijo za posamezno rastlino po enačbi (Knapič, 2002):

$$ET_c = ET_0 * k_c \quad (1)$$

ET_c potencialna evapotranspiracija rastline [mm/dan],

ET_0 referenčna evapotranspiracija [mm/dan],

k_c faktor rastline, ki se razlikuje glede na vrsto rastline in njeno feno fazo.

2.6.4 Prognoza namakanja hmelja v Sloveniji

V Sloveniji temelji prognoza namakanja hmelja, ki jo opravlja Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, na spremljanju količine vode v tleh v hmeljiščih na različnih lokacijah z različnimi talnimi lastnostmi. Pri napovedi se upoštevajo evapotranspiracijske vrednosti za posamezno feno fazo hmelja in vremenska napoved. Napoved namakanja se izda, ko se količina rastlinam dostopne vode zmanjša na 50 odstotkov v zgornjih 40 cm tal (Knapič, 2002).

2.7 Merjenje količine vode v tleh

Vodo v tleh lahko določimo na več načinov; najstarejši in najbolj natančen načina je gravimetrično določanje količine vode v tleh. Pri tem se količina vode določa s tehtanjem in sušenjem vzorca tal.

Za sorazmerno hitro določanje vode v tleh se uporablja tenziometre. Tenziometer ne določa neposredne količine vode v tleh, ampak tenzijo, ki jo morajo rastline premagovati, da lahko črpajo vodo iz tal. Z uporabo tenziometra izvemo količino rastlinam dostopne vode. Tenziometer je sestavljen iz porozne keramičnega konice in plastičnega telesa z manometrom, ki je napolnjen z vodo. Kadar zagotovimo pravi stik keramičnega dela tenziometra in tal, se vzpostavi ravnotežje s silo, s katero je vezana voda v tleh. V primeru z vodo nenasičenih tal voda odteka iz tenziometra toliko časa, da se vzpostavi ravnotežje. Zaradi izteka vode se pojavi podtlak, ki ga zabeleži manometer. Z uporabo tenziometra lahko zadovoljivo uravnemo namakanje večine kmetijskih rastlin. Tenziometer na podlagi merjenja podtlaka (tenzije) deluje v razponu do 0,8 bar (Knapič in sod., 2002).

Za določanje količine vode v tleh pa je potrebno poznati tudi vodno zadrževalno kapaciteto tal oziroma retenzijsko krivuljo tal (Knapič in sod., 2002).

Tenziometre namestimo v območja glavne mase korenin. Pred začetkom namakanja odčitamo stanje na tenziometru, ki mora kazati tenzijo blizu 70-80% poljske kapacitete (0,8 bara v težkih tleh, 0,5 bara v srednje težkih tleh in 0,3 bara v lahkih tleh). Ko končamo z namakanjem zopet odčitamo stanje na tenziometru, ki mora kazati tenzijo blizu poljske kapacitete; v primeru, ko kaže večjo tenzijo je bil obrok namakanja premajhen in v primeru, ko kaže tenzijo vezave vode, ki je nižja od poljske kapacitete, je bil obrok namakanja prevelik (Pintar, 2003).

Za merjenje količine vode v tleh poznamo še druge metode, kot so nevtronski merilec vlage, TDR tehnologija in druge. Vendar so te metode praviloma drage in se uporabljajo predvsem za raziskovalne namene (Knapič in sod., 2002).

2.8 Namakalni parametri in zasnova namakalnega sistema

Zasnova namakalnega sistema temelji na rastlinah z največjo potrebo po vodi. Pri zasnovi ne upoštevamo padavin, ampak jih upoštevamo le pri izdelavi namakalnega urnika med rastno sezono. Zato zasnova namakalnega sistema temelji na 90 % ET_c , ki je približno 10 % višja od povprečne ET_c . Pri tem lahko sistem rastlinam dovaja dovolj vode v devetih od desetih let (Pintar, 2006).

V suhih in srednje suhih klimatskih pogojih, je v primeru gojenja pridelkov z visoko dodano vrednostjo, smiselno namakalni sistem zasnovati na podlagi 90 – 95 % ET_c (Ross in sod., 1997).

Na zasnovo namakalnega sistema vplivajo naslednji parametri (Pintar, 2004):

- norma namakanja,
- obrok namakanja,
- začetek namakanja,
- trajanje namakanja,
- interval (tunus) namakanja,
- hidromodul namakanja,
- število namakanja.

2.8.1 Norma namakanja

Norma namakanja je celotna količina vode, ki jo dodamo rastlini med rastno sezono. Enačba (2) nam prikazuje izračun norme namakanja (Pintar, 2004):

$$Nn = Pv - Rv, \quad (2)$$

kjer je Nn norma namakanja [mm, m³/ha/leto], Pv skupna poraba vode v sezoni [mm/leto, m³/ha/leto] in Rv skupna razpoložljiva količina vode v sezoni [mm/leto, m³/ha/leto].

Količina vode, ki jo rastlina potrebuje za rast in razvoj v eni rastni sezoni je enaka potencialni evapotranspiraciji, ki jo izračunamo po enačbi (3) (Pintar, 2004):

$$ET_c = k_c * ET_0, \quad (3)$$

kjer je ET_c potencialna evapotranspiracija rastline, k_c faktor rastline in ET_0 referenčna evapotranspiracija.

Rastline del potrebne količine vode dobijo s padavinami, razliko pa moramo zagotoviti z namakanjem. Zaradi netesnosti cevovodov namakalnih sistemov je pri zasnovi potrebno upoštevati tudi izgube vode. Pri tem po enačbi (4) normo namakanja Nn delimo s koeficientom izkoristka namakalnega sistema E , pri čemer dobimo bruto normo namakanja Nb (Pintar, 2004)

$$Nb = \frac{Nn}{E}. \quad (4)$$

2.8.2 Obrok namakanja

Obrok namakanja je količina vode, ki je enaka količini lahko dostopne vode, ki jo tla lahko sprejmejo pri enem namakanju oziroma je enaka količini lahko dostopne vode v tleh. V praksi se upošteva možnost padavin, zato se pušča nekaj prostora za deževnico. Obrok namakanja izračunamo po enačbi (Pintar, 2006):

$$nON = LDV = (kPK - kTV) * p, \quad (5)$$

kjer je nON neto obrok namakanja [mm], LDV količina lahko dostopne vode v tleh [mm], kPK količina vode pri poljski kapaciteti v globini glavne mase korenin [mm], kTV količina vode pri točki venenja v globini glavne mase korenin [mm] in p delež vode, ki je rastlinam dostopen med PK in TV .

Različni načini namakanja nam omogočajo različno velike obroke namakanja. Zaželeno je dodajanje tolikšne količine vode, kot jo rastline potrebujejo v enem dnevu rasti, kar nam omogoča kapljično namakanje, ki omogoča, da je dnevni neto obrok namakanja enak dnevni potencialni evapotranspiraciji (Pintar, 2006).

Pomembno je skrbno načrtovanje neto obroka namakanja, pri tem moramo upoštevati vpojno sposobnost tal in določiti maksimalni obrok, saj lahko s prekomernimi obroki škodujemo rastlini in okolju. Prav tako moramo upoštevati izgube vode v sistemu, katere so pri učinkovitem načrtovanju

med 10 in 20 % (Ross in sod., 1997) in izračunamo bruto obrok namakanja bON , ki je pomemben podatek za načrtovanje vira vode (Pintar, 2006).

2.8.3 Začetek namakanja

Za začetek namakanja vzamemo trenutek, ko vlažnost tal pade pod dovoljeno znižanje vode v tleh (DZV). V Sloveniji se le-ta giblje med 20 in 25 mm. Pri določanju začetka namakanja si pomagamo z različnimi napravami in metodami za merjenje vlažnosti tal, kot je gravimetrična metoda, merjenje s tenziometri, nevtronskimi merilci, TDR (angl. *Time Domain Reflectometry*), FDR (angl. *Frequency Domain Method*) in z merjenjem električne prevodnosti (več glej Gačnik, 2015).

2.8.4 Čas namakanja

Čas obroka namakanja t izračunamo po enačbi (6), pri čemer delimo obrok namakanja z intenziteto namakanja, ki je odvisna od zmogljivosti namakalne opreme. Pri tem moramo biti pozorni, da intenziteta namakanja ni večja od infiltracijske sposobnosti tal (Pintar, 2006):

$$t = \frac{ON}{I}, \quad (6)$$

kjer je t čas namakanja [h], ON obrok namakanja [mm], I intenziteta namakanja [mm/uro] oz. kapaciteta namakalne opreme [m³/h/ha, l/s/ha].

2.8.5 Interval (turnus) namakanja

Interval ali turnus namakanja je interval v dnevih med zalivanji in predstavlja čas, v katerem se porabi voda, ki smo jo dodali v enem obroku namakanja. Interval namakanja je odvisen od tipa tal, saj je na lahkih peščenih tleh potrebno pogostejše namakanje kot na težkih globokih tleh. Interval namakanja izračunamo po enačbi (Pintar, 2004):

$$Tn = \frac{LDV}{ET} = \frac{nON}{ET}, \quad (7)$$

kjer je Tn interval (turnus) namakanja [dni], LDV količina lahko dostopne vode v tleh [mm], nON neto obrok namakanja [mm] in ET evapotranspiracija.

2.8.6 Hidromodul namakanja

Hidromodul namakanja predstavlja trenutno porabo vode na hektar in se deli na povprečni in delovni hidromodul.

Povprečni hidromodul je količina vode, ki jo neprekinjeno dovajamo do namakalne površine in je določen z enačbo (8) ter se v praksi uporablja za zasnovo vodnih akumulacij (Pintar, 2004):

$$Ha = \frac{Nb}{D \cdot 86400s/dan}, \quad (8)$$

kjer je Ha povprečni hidromodul namakanja [l/s/ha], Nb (bruto) norma namakanja [m³/ha] in D rastna doba [dni].

Delovni ali maksimalni hidromodul, ki je izračunan po enačbi (9), je količina vode, ki jo dovajamo pri največji intenziteti namakanja, pri čemer moramo upoštevati tudi izgube vode. Uporabljamo ga pri dimenzioniranju cevovodov in črpalk. Pri manjših sistemih pa je odvisen od namakalne opreme, v primeru kapljičnega namakalnega sistema je odvisen od kapacitete kapljačev (Pintar, 2004):

$$Hmax = \frac{bON}{T \cdot t \cdot 3600s/uro}, \quad (9)$$

pri čemer je $Hmax$ delovni hidromodul namakanja [l/s/ha], bON bruto obrok namakanja [mm], T najkrajši turnus namakanja [dni] in t dnevni čas namakanja [h/dan].

2.8.7 Število namakanj

Število namakanj je število brez upoštevanja padavinskih dogodkov, saj le-teh ne moremo napovedati. Enačba (10) nam prikazuje izračun števila namakanj (Pintar, 2004):

$$\text{število namakanj} = \frac{Nn}{nON} \text{ ali } \frac{Nb}{bON}, \quad (10)$$

kjer je Nn neto norma namakanja [mm], nON neto obrok namakanja [mm/obrok], Nb bruto norma namakanja [mm] in bON bruto obrok namakanja [mm/obrok].

2.9 Hidravlični izračuni

Hidravlična analiza je del zasnove namakalnega sistema, saj se voda prenaša po cevovodu od vodnega vira do rastlin. Voda za svoj tok potrebuje energijo, katero ji dodamo s črpalko na črpališču. Energijo delimo na tri dele: potencialno, kinetično in tlačno.

Analize pretokov in hitrosti v cevovodih temeljijo na zakonu o ohranitvi mase (kontinuitetna enačba), ki pravi, da je sprememba mase tekočine v nekem volumnu enaka razliki dotoka in iztoka na površini volumna (Steinman, 1999). Pretok Q v katerikoli točki cevovoda lahko izračunamo po enačbi:

$$Q = v * S , \quad (11)$$

kjer je v povprečna hitrost toka [m/s] in S površina prečnega prereza toka [m²].

Na podlagi enačbe (11) lahko izračunamo hitrosti vodnega toka v sistemu in preverimo, če so v dopustnih mejah. Hipno povečanje hitrosti v cevovodih lahko povzroča hitro zapiranje ventilov ali hiter zagon črpalke, ki s tem povzročijo vodni udar. Priporočena maksimalna hitrost toka v ceveh je 1,5 m/s, nekateri proizvajalci cevi navajajo tudi hitrost tok 2 m/s, vendar je tem primeru nujna inštalacija blažilnika vodnega udara (Lamm in sod., 2007).

2.9.1 Hidravlične izgube

V praksi pomemben del predstavlja obravnava hidravličnih (energijskih) izgub, to je tistega dela energije, ki se pretvori v nepovratno obliko energije zaradi trenja in lokalnih motenj in ga ne moremo izkoristiti v hidrotehnični praksi (za želeno rabo izgubljen) (Steinman, 1999).

Energijo, ki se spreminja vzdolž cevovoda glede na spremembe hitrosti toka, hipne spremembe toka, ali spremembe tlaka, izrazimo v enotah tlaka, navadno v barih, ali v višini vodnega stolpca v metrih (Lamm in sod., 2007).

Energijske izgube, ki nastajajo pri premagovanju hidravličnih uporov zaradi toka tekočine, delimo na (Steinman, 1999):

- Izgube energije zaradi premagovanja trenja vzdolž toka – linijske izgube ΔE_{lin}
- Izgube energije, ki se pojavljajo zaradi lokalnih motenj – lokalne izgube ΔE_{lok}

Skupne hidravlične izgube zaradi trenja ΔE_{izgub} zapišemo z enačbo:

$$\Delta E_{izgub} = \Delta E_{lin} + \Delta E_{lok} . \quad (12)$$

2.9.1.1 Režim toka in Reynoldsovo število

Močan vpliv na značilnosti in velikost izgub ima režim toka tekočine (laminarni in turbulentni), ki je opisan z brezdimenzijskim številom – Reynoldsovim številom Re , ki je določen z enačbo (Steinman, 1999):

$$Re = \frac{vd}{\nu}; \quad (13)$$

kjer je ν kinematični koeficient viskoznosti [m^2/s], v srednja hitrost toka [m/s] in d karakteristična dolžina (npr. premer cevovoda).

Z eksperimenti je bilo ugotovljeno, da v primerih toka tekočine v cevovodih znaša kritična vrednost Reynoldsevega števila Re_{kr} , pri kateri se pojavi sprememba režima toka (Steinman, 1999):

$$Re_{kr} \approx 2300,$$

Oziroma velja (Steinman, 1999):

$Re < 2300$ - režim toka je laminaren,

$Re > 2300$ - režim toka je turbulenten.

2.9.1.2 Linijske izgube

Za določitev linijskih izgub, ki se pojavijo zaradi trenja med tekočino in steno cevi v tlačnih cevovodih imamo na voljo več enačb. Pri načrtovanju namakalnih sistemov se najpogosteje uporabljajo naslednje (Lamm in sod.,2007):

- Darcy–Weisbachova enačba,
- Hazen–Williamsova enačba,
- Watters–Kellerjeva enačba.

Za izračun linijskih v nalogi bomo v nalogi uporabili Darcy–Weisbachovo enačbo in Hazen–Williamsovo enačbo, ki se pretežno uporabljata za načrtovanje namakalnih sistemov.

Darcy–Weisbachova enačba se glasi (Steinman, 1999):

$$\Delta E_{lin} = \lambda \frac{L v^2}{d 2g}, \quad (14)$$

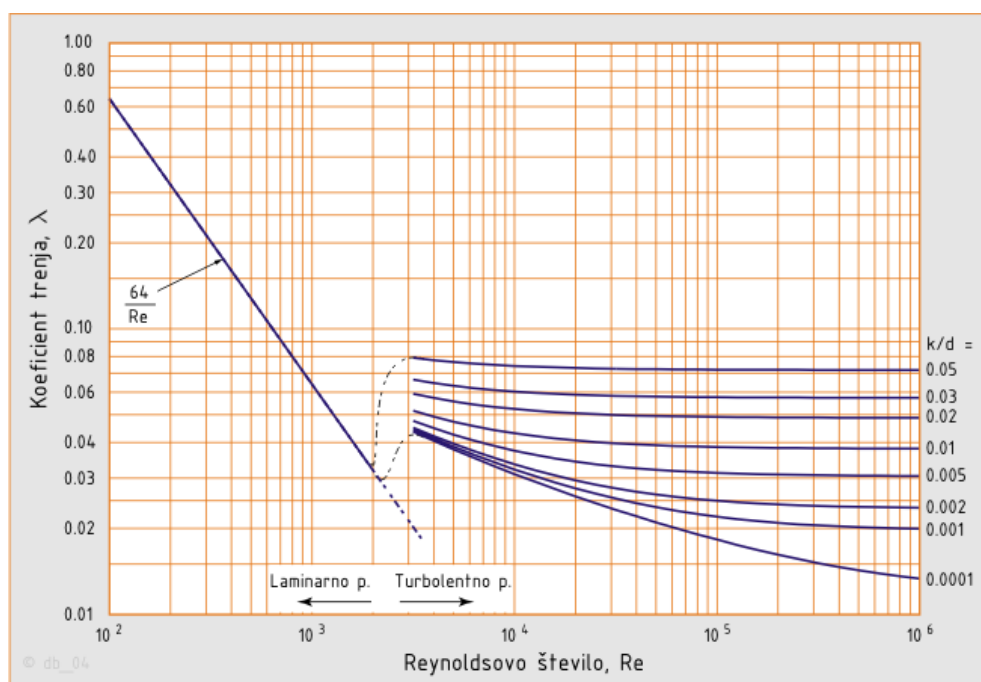
kjer je ΔE_{lin} linijske energijske izgube [m], λ Darcy–Weisbachov koeficient trenja, L dolžina cevovoda [m], d premer cevi [m], v hitrost tekočin [m/s] in g gravitacijski pospešek [m/s^2].

Koeficient trenja λ je odvisen od Reynoldsevega števila Re in relativne hrapavosti cevi $\frac{\varepsilon}{d}$ (ε je višina hrap v cevovodu; vrednosti so prikazane v preglednici 2, ki pa ga ne moremo direktno izračunati, zato ga odčitamo z diagrama, ki ga je podal Moody – Moodyjev diagram (slika 4), ki zajema celotni

spekter dogajanja v cevovodih. Ker je koeficient trenja λ brezdimenzijski, se je takšen način določanja le-tega uveljavil v praksi (Steinman, 1999).

Preglednica 2: Velikosti višine hrap ε za različne materiale cevi so podane v tabeli (Steinman, 1999)

Material	Višina hrap ε [mm]	Material	Višina hrap ε [mm]
azbestni cement	0,0015	pocinkano jeklo	0,0005
medenina, bron	0,0015	steklo	0,000005
opeka	0,6	svinec	0,000005
lito železo	0,26	Plastika	0,000005
beton	0,0012 – 0,006	jeklo	0,000016 – 0,003
baker	0,000005	les	0,0006
valovito jeklo	0,15	/	/



Slika 4: Moodyjev diagram

Hazen–Williamsova enačba je eksperimentalno dobljena enačba. Njena uporaba je omejena samo na vodo in se upošteva samo v območju normalnih temperatur v cevovodih. Uporablja se pri projektiranju in analizi tlačnih cevovodov za distribucijo vode. Enačba vsebuje Hazen - Williamsov koeficient hrapavosti C (njegove vrednosti so prikazane v preglednici 3), ki je konstanten samo čez široko območje turbulentnih tokov, hkrati pa vsebuje empirično konstanto. Enačbo zapišemo (Lamm in sod., 2007):

$$\Delta E = L * (1,212 * 10^{12}) * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * (D^{-4,87}), \quad (15)$$

kjer je ΔE energijska izguba [m], L dolžina cevovoda [m], D premer cevi [m] in $1,212 * 10^{12}$ pretvorna konstanta za metrične enote.

Preglednica 3: Koeficient hrapavosti C za različne materiale cevi (Stropnik, 2006)

Material	Koeficient hrapavosti C
azbestni cement	140
medenina (bron)	135
opeka	100
lito železo	130
beton	120 - 140
baker	135
pocinkano jeklo	120
steklo	140
svinec	135
plastika	150
jeklo	110 – 145
les	120

2.9.1.3 Linijske izgube v ceveh z več iztoki

Pri namakalnih sistemih so cevi z več iztoki razvodne cevi in zaključne linije. Pri teh so pretoki na iztokih enaki in iztoki enakomerno porazdeljeni po cevi. V takšnem primeru lahko energijske izgube v ceveh izračunamo po modificirani Hazen-Williamsovi enačbi z uvedbo Christiansenovega faktorja F (Lamm in sod., 2007):

$$\Delta E = (F) * (L) * (1,212 * 10^{12}) * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * (D^{-4,87}), \quad (16)$$

ki se določi na podlagi števila enakomerno razporejenih iztokov z enakim pretokom. Faktor F je bil razvit za razmere, kadar je razdalja od prvega iztoka na cevi do dovodne cevi enaka vsem medsebojnim razdaljam med iztoki. Vrednosti faktorja F za različno število iztokov so prikazane v preglednici 4 (Lamm in sod., 2007).

Preglednica 4: Vrednosti Christiansenovega faktorja F za različna števila iztokov (Lamm in sod., 2007)

Število iztokov	Christiansenov faktor F	Število iztokov	Christiansenov faktor F
1	1,00	8	0,42
2	0,64	9	0,41
3	0,53	10 – 11	0,40
4	0,49	12 – 14	0,39
5	0,46	15 – 20	0,38
6	0,44	21– 35	0,37
7	0,43	>35	0,36

2.9.1.4 Lokalne izgube

Lokalne izgube nastanejo ob vsaki spremembi tokovnic, ki jo izzovejo motnje v toku cevovoda (Steinman, 1999). Izgube se pojavijo na mestih ventilov, vtokov, iztokov, kolenih, zožitvah, filtrih, merilnih napravah ipd. Splošen izraz za izračun lokalnih izgub je (Steinman, 1999):

$$\Delta E_{lok} = \xi_{lok} * \frac{v^2}{2g}, \quad (17)$$

kjer je ΔE_{lok} lokalna izguba energije [m], ξ_{lok} koeficient lokalne izgube elementa, v hitrost tekočine [m/s] in g gravitacijski pospešek [m/s^2].

Značilne vrednosti koeficientov izgub za različne elemente so prikazane v preglednici 5

Preglednica 5: Vrednosti koeficienta lokalnih izgub za različne elemente (Lamm in sod., 2007)

Element	Velikost elementa [mm]			
	25	50	75	100
90° koleno z navadnim radijem	1,50	1,00	0,80	0,70
90° koleno z velikim radijem	0,75	0,42	0,30	0,25
45° koleno z navadnim radijem	0,34	0,30	0,29	0,28
T element (tok po horizontali)	0,90	0,90	0,90	0,90
T element (tok po vertikali)	1,90	1,40	1,20	1,10
Ventil	8,70	7,00	6,00	5,60
Loputa	0,25	0,17	0,14	0,12
Nepovratni ventil	3,00	2,30	2,10	2,00

se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 5

Kotni ventil	4,70	2,00	1,40	1,00
Filter košara	0,80	0,80	0,80	0,80
Lovilec umazanij	/	1,50	1,30	1,10
Spoji	0,08	0,05	0,04	0,04
Pravokotni vhod v cev	0,50	0,50	0,50	0,50
Zvonast vhod v cev	0,05	0,05	0,05	0,05
Izbočen vhod v cev	1,00	1,00	1,00	1,00
Vodomer	6,00	6,00	6,00	6,00
Nenadna zožitev	$0,25 < {}^1Dr < 2,0; \zeta_{lok} = 0,45 + 0,10 * {}^1Dr - 0,54 * {}^1Dr$			
Nenadna razširitev	$\zeta_{lok} = (1 - {}^1Dr)^2$			

1Dr – razmerje velikostjo manjšega proti večjemu premeru cevi.

V primeru hidravlično dolgih cevovodov ($l/d > 500$) vsota linijskih izgub daleč presega skupne lokalne izgube. Pri upoštevanju 3-5 % natančnosti hidravličnih izračunov v praksi lahko prispevek lokalnih izgub zanemarimo (Steinaman, 1999).

2.9.2 Energijske izgube v namakalnih linijah zaradi kapljačev

Kapljači, ki so nameščeni v namakalne cevi, so ovira toku vode v prerezu (slika 5) in predstavljajo lokalne energijske izgube. Proizvajalci namakalne opreme navadno podajo vrednost koeficienta lokalnih izgub Kd za posamezno vrsto kapljačev. Skupne energijske izgube vseh kapljačev dobimo, če pomnožimo lokalne izgube enega kapljača s številom vseh kapljačev (NRCS, 2016a).



Slika 5: Kapljači nameščeni v namakalni liniji (NRCS, 2016a)

2.9.3 Filtracija

Namen filtracije je preventivna zaščita kapljačev pred mašenjem. Izvedemo jo lahko z enim filtrom ali nizom različnih filtrov (filtrirna naprava) (slika 6), ki so nameščeni zaporedno in vzporedno. Pretežno so energijske izgube pri toku skozi filter v velikosti od 0,14 in 0,34 bara. Med filtriranjem se na filterjih nabira nečistoča, ki še dodatno poveča energijske izgube, zato je priporočljivo, da se filterji očistijo, ko tlak pade za 0,70 bara (Lamm in sod., 2007).

Pri celotni hidravlični analizi je potrebno energijske izgube vseh elementov filtrirne naprave (ventili, spoji, kolena, manometri..) in v primeru avtomatskih filtrov upoštevati potrebni delovni tlak za spiranje filtrov, ki se navadno giblje okoli 3,5 bara (Lamm in sod., 2007).



Slika 6: Mobilna filtrirna naprava (foto: Bosnar, 2016)

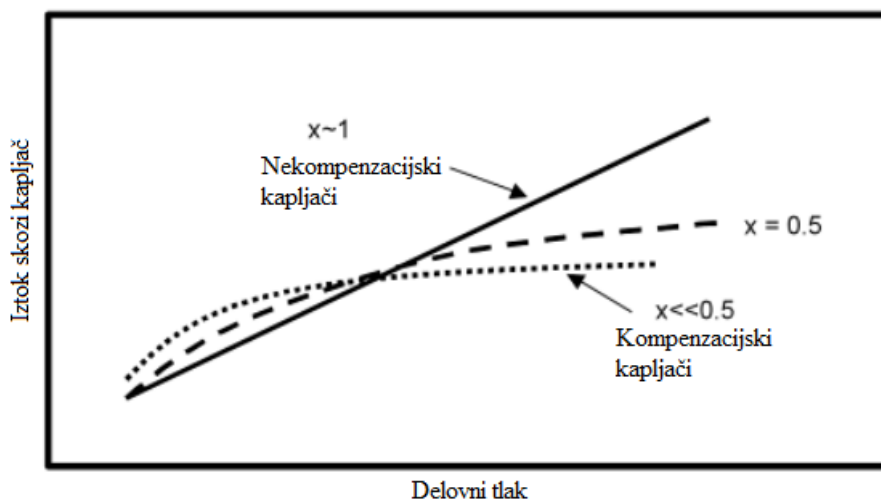
2.9.4 Kapljači

Pretok skozi kapljač je odvisen od delovnega tlaka v namakalni liniji in ga zapišemo z enačbo (NRCS, 2016b):

$$q = K_e * P^x, \quad (18)$$

kjer je q pretok [l/h], P delovni tlak [m], K_e koeficient iztoka kapljača in x eksponent kapljača.

Parametra K_e in x sta podana s strani proizvajalca namakalne opreme. Parameter K_e je odvisen od pretoka in tlaka na kapljaču in zajema vpliv dimenzij kapljača na tok vode. Parameter eksponent x pa predstavlja sploščenost krivulje v odvisnosti pretoka od tlaka (slika 7) in opiše režim toka skozi kapljač (NRCS, 2016b).

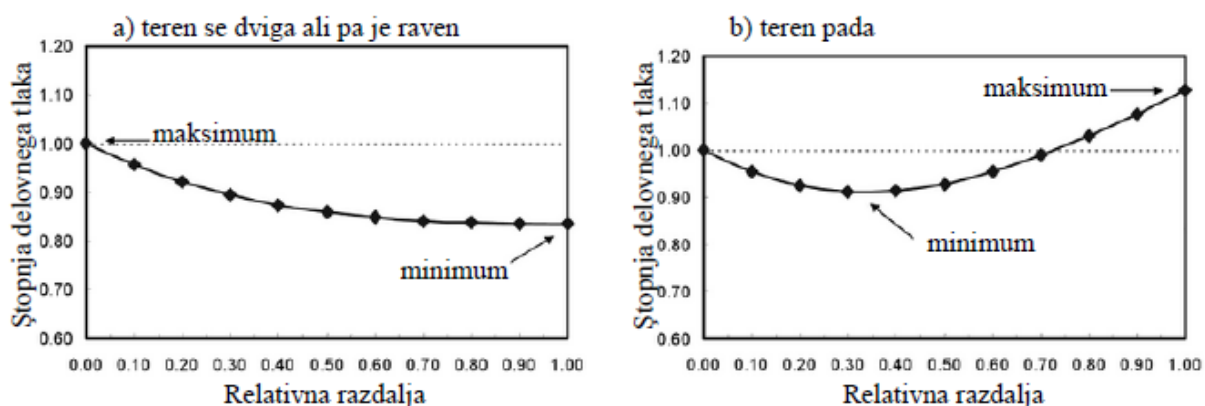


Slika 7: Razmerje med pretokom in delovnim tlakom na kapljaču za nekompensacijski kapljač ($x = 1$), kompensacijski kapljač ($x < 0.5$) in navadno odprtino ($x = 0.5$) (Gačnik, 2015 cit. po Lam met al., 2007)

2.9.5 Namakalne linije

Namakalne linije so cevi, na katerih so nameščeni kapljači, pretok katerih (nekompensacijskih kapljačev) se spreminja v odvisnosti od tlaka v namakalni liniji. Spremembe tlaka pogojujejo energijske izgube zaradi trenja in nagiba terena. Navadno so tlaki v namakalnih linijah nizki, zato imajo dejavniki energijskih izgub močan vpliv na razporeditev tlakov (slika 8). Določitev kapljača z maksimalnim in minimalnim pretokom pa je odvisna od (Lamm in sod., 2007):

- premera namakalne linije,
- trenja,
- lastnosti stopnje iztoka kapljača,
- naklona namakalne linije (pozitivnega, negativnega, ničnega).



Slika 8: Stopnja delovnega tlaka glede na relativno razdaljo vzdolž namakalne linije za primer a), ko se teren dviga ali je raven in za primer b), ko teren pada (Gačnik, 2015 cit. po Lam met al., 2007)

Naslednje enačbe, z uporabo z Hazen-Williamsove enačbe, se uporabljajo pri zasnovi namakalnih linij kapljičnega namakalnega sistema (Lamm in sod., 2007):

- a) Enačba za izračun začetnega tlaka namakalne linije:

$$h_0 = h_a + (0,5) * (S) * (L) + (0,75) * (h_f), \quad (19)$$

kjer je h_0 začetni tlak [m], h_a povprečni tlak [m], S naklon namakalne linije (pozitiven ali negativen), L je dolžina namakalne linije [m] in h_f trenjske izgube namakalne linije [m].

- b) Enačba za izračun tlaka (h_i) na poljubni razdalji vzdolž namakalne linije:

$$h_i = h_0 - (S) * (L_i) - (R_i) * (h_f), \quad (20)$$

$$R_i = 1 - \left(1 - \left(\frac{L_i}{L}\right)\right)^{2852}, \quad (21)$$

kjer je R_i delež vseh tlačnih izgub, ki se pojavijo na razdalji L_i [m] vzdolž namakalne linije, L je dolžina namakalne linije [m] in S naklon namakalne linije (pozitiven ali negativen).

- c) Enačba za izračun pozicije minimalnega tlaka vzdolž namakalne linije na padajočem terenu:

$$\frac{L_m}{L} = 1 - \left(\frac{\Delta z}{h_f}\right)^{0,54}, \quad (22)$$

kjer je L_m razdalja od začetka namakalne linije do pozicije, kjer se pojavi minimalni tlak [m], Δz višinska razlika vzdolž dolžine namakalne linije L [m] in h_f trenjske izgube namakalne linije, brez upoštevanja iztokov [m].

- d) Enačba za izračun minimalnega tlaka na lokaciji minimalnega tlaka:

$$h_{min} = h_0 - (S) * (L_m) - \frac{h_f}{2,852} * \left(1 - \left(1 - \frac{L_m}{L}\right)^{2,852}\right), \quad (23)$$

kjer je S naklon namakalne linije (pozitiven ali negativen), h_0 začetni tlak [m] in h_f trenjske izgube namakalne linije, brez upoštevanja iztokov [m].

- e) Enačba za izračun neenakomernosti iztoka kapljačev q_{var} :

$$q_{var} = \frac{q_{max} - q_{min}}{q_{max}}, \quad (24)$$

kjer je q_{max} maksimalni iztok iz kapljača [l/h] in q_{min} minimalen iztok iz kapljača [l/h] na namakalni liniji.

- f) Enačba za izračun odstotka unifomnosti iztokov kapljačev EU :

$$EU = 100 * \left(1,0 - 1,27 * \frac{C_v}{\sqrt{n_p}}\right) \frac{q_{min}}{q_a}, \quad (25)$$

kjer je C_v produkcijska enakomernost izdelave kapljačev, n_p število kapljačev na rastlino in q_a povprečni iztok skozi kapljače.

- g) Enačba za izračun intenzitete namakanja P_r :

$$P_r = \frac{Q}{E * B}, \quad (26)$$

kjer je Q iztok iz kapljača [l/h], E razdalja med dvema kapljačema [m] in B razdalja med namakalnimi linijami [m].

2.10 Analiza iztoka hidranta in pretok dovodne cevi

Hidrant iztoka velikega namakalnega sistema predstavlja robni pogoj za določitev razpoložljive vode za namakanje. Zato je pomembno kakšne so njegove karakteristike in značilnosti velikega namakalnega sistema.

Ocena iztoka iz hidranta in pretoka dovodne cevi naredimo na podlagi energijske in kontinuitetne enačbe (Kraut, 2007).

Energijsko enačbo zapišemo:

$$H - \Delta E_{ih} - \Delta E_c - \Delta E_{iz} = 0, \quad (27)$$

kjer je H višina vodnega stolpca (tlak) v cevovodu [m], ΔE_{ih} energijske izgube na hidrantu, ΔE_c energijske izgube po cevi in ΔE_{iz} energijske izgube iztoka cevi.

Iz enačbe (27) izrazimo hitrost v (Kraut, 2007):

$$v = \sqrt{\frac{2gH}{\zeta_{ih} + \frac{\lambda L}{d} + \zeta_{iz}}}, \quad (28)$$

kjer je H višina vodnega stolpca v cevovodu [m], g gravitacijski pospešek [m/s^2], ζ_{ih} koeficient lokalnih izgub na iztoku hidranta, λ Darcy–Weisbachov koeficient trenja in ζ_{iz} koeficient iztoka iz cevi.

Kontinuitetna enačba se glasi:

$$Q_{ih} - Q_{iz} = 0, \quad (29)$$

kjer je Q_{ih} pretok na iztoku hidranta in Q_{iz} pretok na koncu cevi.

Pretok po cevi Q zapišemo z enačbo (Kraut, 2007):

$$Q = v * S, \quad (30)$$

kjer je v hitrost vode v cevi in S površina prečnega prereza cevi.

2.11 Metoda kvantilov za izračun potencialne evapotranspiracije

Statistični pojem, ki deli statistično populacijo na enake dele se imenuje kvantil. Delitev največkrat izvajamo na zbirni funkciji verjetnosti, ki pripada slučajni spremenljivki in vedno uporabljamo po vrednosti urejeno populacijo (Kvantil, 2016).

Kvantil reda p ali p -kvantil je takšna vrednost qp slučajne spremenljivke, da je $n \cdot p$ vrednosti manjših

od qp , ostale ($n \cdot (n - p)$) pa imajo večjo vrednosti od qp . Pri tem so vrednosti slučajne spremenljivke x_1, x_2, \dots, x_n urejene po velikosti ($x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots \leq x_n$) (Kvantil, 2016).

Najpogosteje uporabljeni kvantili imajo tudi svoja imena, nam najbolj poznan je mediana, ki razdeli populacijo na dva enaka dela (Kvantil, 2016).

2.12 Vodna bilanca

Vodno bilanco izdelamo glede na namakalni urnik velikega namakalnega sistema (predstavlja vodni vir oz. robni pogoj, ki določa kdaj imamo dostop do vode, količino (pretok) vode na hidrantu) ter vodnih potreb za namakanje rastlin.

2.13 Kratka predstavitev programa Cropwat 8.0

Cropwat 8.0 je računalniški program, ki deluje v programskem sistemu Windows in temelji na predhodnih DOS verzijah. Namenjen je za načrtovanje namakalnih sistemov, saj izračuna potrebne količine vode za namakanje rastlin. Izračun temelji na vhodnih podatkih o tleh, klimi in rastlinah. Program omogoča oblikovanje namakalnega urnika za različne kulturne rastline, v različnih okoljih. Uporablja se tudi kot kontrola ustaljenih namakalnih praks in za analizo zmogljivosti namakalnega sistema (FAO, 2013).

Cropwat 8.0 za izračun referenčne evapotranspiracije uporablja Penman-Monteithovo metodo, vse računske operacije pa temeljijo na publikacijah FAO o namakanju in dreniranju zemljišč z naslovi "Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements" (Evapotranspiracija rastlin – navodila za izračun vodnih potreb za rast iz razvoj rastlin) in "Yield response to water" (Vpliv vode na pridelek) (FAO, 2013).

Za izračun potreb po vodi moramo v program vnesti naslednje podatke:

- Mesečno količino padavin.
- Lastnosti rastlin (datum sajenja, faktor rastline K_c , trajanje posameznih fenofaz rastline, globino korenin, delež lahko dosegljive vode v tleh in faktor K_y , ki določa zmanjšanje pridelka zaradi sušnega stresa).
- Referenčna evapotranspiracija (lahko vnesemo vnaprej izračunane vrednosti ali pa se ET_0 izračuna po Penman-Monteithovi metodi na podlagi povprečne minimalne in maksimalne temperature, relativne vlažnosti, trajanja sončnega obsevanja in hitrosti vetra).

Poleg vodne bilance za izdelavo urnika namakanja potrebujemo še:

- Podatke o lastnostih tal (količino rastlinam razpoložljive vode, globino korenin, morebitni vodni primanjkljaj, omejitve v talnem profilu (podtalnica, matična podlaga, neprepustni sloj).
- Izbran način namakanja.

Vhodne podatke v program vnašamo preko naslednjih modulov:

- klimatski modul,
- padavinski modul,
- modul rastlin,
- modul tal,
- modul potreb rastlin po vodi,
- modul urnikov namakanja.

Po vnosu vhodnih podatkov nam programa Cropwat 8.0 grafično prikaže parametre:

- referenčno evapotranspiracijo,
- koeficient rastline,
- efektivne padavine,
- količino potrebne vode za rast in razvoj rastlin,
- količino rastlinam dostopne vode v tleh,
- dnevni primanjkljaj vode v tleh,
- turnus namakanja in količino vode za namakanje,
- vodne izgube v tleh,
- razmerje med ET_0/ET_c ,
- oceno izpada pridelka zaradi sušnega stresa.

3 NAČINI NAMAKANJA HMELJIŠČ

V pridelavi hmelja poznamo dve osnovni tehnologiji namakanja; namakanje s pomičnimi razpršilci in kapljično namakanje, ki pa ga delimo na različne izvedbe (Knapič in sod., 2002).

3.1 Namakanje z razpršilci (bobnastimi namakalniki)

Bobnasti namakalniki se priključijo preko gibljive gasilske tlačne B cevi ali preko aluminijastih cevi na hidrante, ki so nameščeni na sekundarnih cevovodih velikega namakalnega sistema v razdalji od 60 do 90 metrov (Knapič in sod., 2002).

V hmeljarstvu se uporabljata dva tipa bobnastih namakalnikov. Prvi za navijanje cevi uporablja dizelski motor in hitrost premika uravnava z vrtljaji motorja oziroma reduktorja; pri drugem pa se navijanje vrši preko hidravlične turbine, ki izrablja energijo vode, in hitrost premika sani z razpršilci uravnava z ustreznim zobniškim razmerjem in pretokom skozi turbino (Knapič in sod., 2002).

Bobnasti namakalniki so sestavljeni iz velikega valja (bobna), na katerem je navita PEHD cev z običajnim premerom 80 mm, pogonskega sklopa, podvozja in sanmi s štirimi razpršilci.

Obrok namakanja uravnavamo s hitrostjo pomikanja sani in kapaciteto razpršilcev na saneh. Navadno ima en razpršilec pri 4 barih delovnega tlaka normiran pretok 2 l/s. Skupen pretok sani z razpršilci je 8 l/s. Znano je, da pridelovalci zelo malo pozornosti namenjajo razpršilcem, čeprav so pomemben del pri namakanju, saj velikokrat opazimo, da posamezni razpršilci ne delujejo pravilno. Slabo poznavanje kapacitete razpršilcev in neprilagajanje količine obroka namakanja rastlinam potrebne vode, večinoma vodi do prekomernega namakanja, ki pa ima lahko veliko negativnih posledic (Knapič in sod., 2002).

V praksi obrok namakanja z bobnastim namakalnikom določimo glede na hitrost pomika sani z razpršilci. Z naslednjim izračunom smo določili hitrost pomika sani, če znaša namakalni obrok Irr_n 20 mm (Knapič in sod., 2002):

Kapaciteta enega razpršilca na saneh pri 4 barih: $Q_r = 2$ l/s

Kapaciteta sani:

$$Q = I = Q_r * 4 = 8 \text{ l/s} \quad (24)$$

Širina namakanja (navadno namakamo tri vrste na vsako stran sani, pri medvrstni razdalji 2,4 m) znaša $b = 15$ m.

Pri površini namakanja: $A = 10000 \text{ m}^2$ in obroku namakanja:

$$ON = 20\text{mm} = 200000 \text{ l/ha}$$

Je pot, ki jo naredijo sani:

$$s = \frac{A}{b} = \frac{10000 \text{ m}^2}{15 \text{ m}} = 666,67 \text{ m} \quad (25)$$

Čas namakanja:

$$t = \frac{ON}{I} = \frac{20000 \text{ l/ha}}{8 \text{ l/s}} = 25000 \text{ s/ha} \quad (6)$$

Hitrost potovanja sani:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{666,67 \text{ m}}{25000 \text{ s}} = 0,0267 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,6 \text{ m/min} . \quad (26)$$

Količino vode lahko uravnavamo tudi z zamenjavo razpršilcev. Če želimo dodati manjše količine vode, moramo namestiti razpršilce z manjšo kapaciteto npr. 1 l/s, če želimo dodati večje količine vode, pa razpršilce z večjo kapaciteto npr. 3 l/s. Nadzor nad dodano količino vode najboljše kontroliramo, če v rolomat vgradimo merilec pretoka, kjer lahko z vsakim premikom rolomata spremljamo, koliko vode smo dodali namakani površini (Knapič in sod., 2002).

Z enim obrokom namakanja navadno zadostimo 7 - 10 dnevne potrebe po vodi, vendar ne smemo preseči maksimalne količine vode pri poljski kapaciteti v globini glavne mase korenin, saj se takrat z vodo zapolnijo makro-pore, s katerih voda hitro odteče v podtalnico in hkrati spira hranila (Pintar, 2003).

Priporočeno je, da si v programu Excel naredimo program, ki nam hitro izračuna turnus namakanja za želeno parcelo, glede na njene značilnosti (Pintar, 2003).

3.2 Kapljični namakalni sistemi v hmeljarstvu

S kapljičnim sistemom lahko rastlini dnevno dovajamo toliko vode, kot jo rastlina v enem dnevu porabi. Lahko pa dodajamo tudi večje obroke vode, ki zadostijo večdnevno potrebo rastline po vodi, vendar turnusi namakanja ne smejo biti daljši od treh dni (Pintar, 2006).

S kapljičnem sistemom moramo nujno zagotavljati sklenjen pas vlage v območju glavne mase rastlin. Pri tem moramo paziti, da se tla preveč ne osušijo (prevelik razmik med turnusi), saj se zmanjša horizontalni pomik vode v tleh in med dvema kapljačema nastane območje suhih tal. Zato je

najprimerneje vodo preko kapljičnega sistema dovajati dnevno, tako da zadostimo dnevno porabo rastlin po vodi (Pintar, 2006).

V hmeljarstvu se je tehnologija kapljičnega namakanja glede na ostale panoge uveljavila dokaj pozno. Najprej so se je posluževali hmeljarji v ZDA, v Evropi pa so bili pionirji na tem področju češki hmeljarji. V Sloveniji smo s kapljičnim sistemom prva hmeljišča opremili leta 1995, danes pa je opremljenih cca. 50 % vseh hmeljišč (Knapič, 2002).

3.2.1 Prednosti in slabosti kapljičnega sistema namakanja

Prednosti kapljičnih namakalnih sistemov (Pintar, 2003):

- manjša poraba vode, ker namakamo samo območje rastline, brez medvrstnega prostora,
- suhi medvrstni prostori omogočajo delo z mehanizacijo tudi v času namakanja,
- sistem deluje pri nizkem obratovalnem tlaku,
- omogoča namakanje vseh tipov tal,
- omogoča dodajanje hranil v sistem,
- ne omoči listnih površin,
- lahko se uporablja na ravnem in delno neravnem zemljišču.

Slabosti (Pintar, 2003):

- relativno visoka začetna investicija in stroški vzdrževanja,
- nevarnost mašenja kapljačev,
- slabše razvit koreninski sistem namakanih rastlin, saj rastline razvijejo koreninski sistem ob kapljaču.

3.2.2 Delitev kapljičnih sistemov v hmeljarstvu

V hmeljarstvu so se uveljavile tri izvedbe kapljičnega sistema (Knapič, 2002):

- podzemni kapljični sistem,
- sistem s polaganjem cevi v vrsto s hmeljem,
- sistem z obešanjem cevi na vrhu žičnice.

Pri podzemnem kapljičnem sistemu cev v že obstoječih nasadih položimo 30 cm od vrste hmelja na globino 40 cm. V novih nasadih pa cev položimo v vrsto na globino okoli 30 cm. Globina cevi je

pogojena s tipom tal, saj je v lahkih prodnatih tleh kapilarni dvig vode premajhen. V primeru, da je cev preplitko položena v tla, se pojavi prebadanje cevi v času napeljave vrvice.

Pri sistemu s polaganjem cevi v vrsto s hmeljem je potrebno v začetku maja cevi položiti v vrste in jih pred obiranjem hmelja pospraviti z njive, kar pa zahteva dodatno delo in poseben skladiščni prostor za namakalne cevi.

Pri nas se je najbolj uveljavil sistem z obešanjem cevi na vrhu žičnice (slika 9). Pri tem je potrebno napeljati dodatno nosilno žico, da preprečimo povese namakalne cevi. Kljub bojaznim o povečani stopnji glivičnih obolenj, zaradi močenja spodnjih listov hmeljnih rastlin, ta niso bila upravičena (Knapič, 2002). Zaradi mehanskih poškodb, ki jih povzročajo večje ptice, je smotrno uporabiti debelostenske namakalne cevi. Slabost tega sistema je občutljivost na veter, saj kapljice ne padajo na zeleno območje, ter omočijo tudi višje dele rastlin, zato je priporočljivo prekiniti z namakanjem v vetrovnem vremenu.



Slika 9: Kapljične namakalne cevi obešene na vrhu žičnice (foto: Bosnar, 2016)

3.3 Osnovni elementi kapljičnega namakalnega sistema v primeru odvzema vode iz hidranta velikega namakalnega sistema

3.3.1 Hidrant

Hidrant je ventil, preko katerega z gibljivo cevjo povežemo filtrirno napravo na veliki namakalni sistem. Poznamo več oblik hidrantov: nadzemni, podzemni in poljski. Običajno se pri izgradnji velikega namakalnega sistema uporabijo poljski hidranti DN80, ki za svojo delovanje potrebujejo prilagojen nastavek (slika 10), ki omogoča odzjem vode iz hidranta in je lahko opremljen z vodomerom.



Slika 10: Hidrantni nastavek (foto: Bosnar, 2016)

3.3.2 Filtrirna naprava

Filtrirna naprava je najvitalnejša komponenta kapljičnega namakalnega sistema, saj nam zagotavlja pravilno in dolgotrajno delovanje sistema. Zasnova filtrirne naprave temelji na namakalnem obroku namakanega sektorja, ki je načeloma enak dnevni potencialni evapotranspiraciji namakanega območja in kapaciteti kapljačev na namakalni cevi. Ob pravilnem vzdrževanju naj bi bila življenjska doba filtrirne naprave cca. 15 let (Knapič, 2002).

Z filtrirno napravo odstranimo iz vode organske snovi in mineralne delce; kot so pesek, melj, glina, železove in manganove oborine, apnenčaste prevleke, alge, vodne trave in sluzi (Ross in sod., 1997). Suspendirane snovi v vodi mašijo kapljače in tako onemogočajo njihovo pravilno delovanje.

Poznamo več tipov filtrov:

- mrežni filter,
- diskasti filter,
- peščeni filter,
- ciklonski filter.

Navadno je filtrirna naprava sestavljena iz kombinacije večjih tipov filtrov, ki so odvisni od delcev, ki jih želimo odstraniti in vodnega vira. V primeru odvzema vode iz površinske vode (reke, vode, odprte akumulacije), je skoraj pravilo, da moramo filtrirati melj, pesek in majhne organizme, kot so bakterije in alge. Če je naš vodni vir podtalnica pa moramo izbrati filtre, ki odstranjujejo mineralne snovi v vodi (Knapič, 2002).

V hmeljarstvu se večinoma uporablja filtrirna naprava, ki je sestavljena iz mrežastega filtra, ciklonskega filtra in samočistilnega diskastega filtra z elektronsko vodeno komandno ploščo (slika 11), kjer določimo časovni interval spiranja diskastih filtrov.



Slika 11: Komandna plošča filtra (foto: Bosnar, 2016)

3.3.3 Omejevalec tlaka

Na dovod filtrirne naprave je priporočljivo namestiti omejevalec tlaka za preprečitev tlačnih anomalij, ki se lahko pojavijo znotraj velikega namakalnega sistema. V primeru hitrega in visokega povečanja tlaka (tlačni udar) nam voda odplakne nečistoče skozi filtre v namakalne cevi in nam povzroči mašenje kapljačev (Knapič in sod., 2002).

3.3.4 Vodomer

Vodomer s mehansko turbino meri pretok vode in nam daje podatek o količini porabljene vode za namakanje. Navadno ga namestimo na filtrirno napravo ali hidrant. Z njim lahko kontroliramo ali smo v določenem turnusu dodali ustrezno količino vode na namakano površino.

3.3.5 Razvodne cevi

Za razvodne cevi se največkrat uporabljajo polietilenske cevi (PEHD), katerih premeri morajo biti ustrezno dimenzionirani, da preprečimo trenjske izgube.

3.3.6 Ventil

Navadno namakano površino razdelimo na več sektorjev, saj s tem zmanjšamo vodno konico v namakalnem turnusu. Zato na vsak sektorski dovod namestimo avtomatski elektromagnetni ventil (slika 12), kjer nastavimo čas namakanja za vsak sektor posebej, navadno v časovnem zaporedju.



Slika 12: Elektromagnetni ventil (foto: Bosnar, 2016)

3.3.7 Manometri

Z manometri (slika 13) merimo tlak v sistemu in v primeru spremembe določenega obratovalnega tlaka ugotovljamo mašenje ali puščanje sistema. Manometre namestimo na dovodu in odvodu filtrirne naprave, ter na koncu razvodne cevi (Knapič in sod., 2002).



Slika 13: Manometer, nameščen na dovodni cevi (foto: Bosnar, 2016)

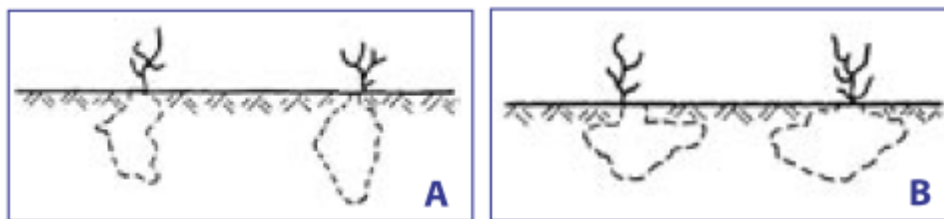
3.3.8 Namakalne linije s kapljači

Pri načrtovanju kapljičnega namakalnega sistema je pomembna dobra presoja izbire izvedbe kapljičnega sistema, saj glede na to določimo namakalne linije. Namakalni liniji določimo tip in kapaciteto kapljačev, razdaljo med kapljači, dolžino namakalne linije in njen premer, razdaljo med namakalnimi linijami in globino polaganja v primeru podzemnega namakanja (Netafim, 2014).

Kapljač je majhna naprava, pritrjena na namakalni cevi, ki z zmanjšanjem tlaka skozi labirint ustvari nespremenljiv iztok vode oziroma kapljice vode pri konstantnem pretoku. Pretok skozi kapljač bistveno ne variira, kljub manjšim spremembam tlaka v namakalni cevi (Netafim, 2014).

Kapljače delimo v dve skupini, na vgrajene v namakalno cev in na nameščene na namakalno cev. Slednji se večinoma uporabljajo v sadovnjakih in vinogradih, kjer želimo kapljač namestiti na točno določeno mesto, vendar pa zahtevajo dodatno delo pri nameščanju kapljačev (Ross in sod. 1997).

Razdalja med kapljači na namakalni cevi je odvisna od tipa tal. Priporočljivo je, da se vlažni coni med dvema kapljačema delno prekrivata (cca. 10 %), saj lahko le tako zagotovimo omočen pas zemljine, kjer se nahajajo korenine rastlin (Ross in sod., 1997). Vzorec vlaženja različnih tipov tal se razlikuje (slika 14), tako se v lahkih peščenih tleh voda razporeja bolj v vertikalni smeri, v težkih tleh pa v horizontalni smeri (Pintar, 2006).



Slika 14: Vzorec vlaženja lahkih peščenih tal (A) in težkih glinenih tal (B) (Pintar, 2006)

Pretok kapljača je določen z delovnim tlakom sistema; večina proizvajalec ponuja kapljače s pretokom od 1 – 8 l/h, pri tlaku 1 bar. Izjeme so kompenzacijski kapljači, ki imajo enak pretok (navadno znotraj določenega tlačnega intervala), kljub spremembam v tlaku (Pintar, 2006).

Dolžina namakalne linije je pogojena z razdaljo med kapljači (številom kapljačev na tekoči meter), kapaciteto kapljačev in notranjim premerom cevi. Ker se vzdolž namakalne linije pojavljajo izgube tlake, se pretok na kapljačih razlikuje, zato razlika med pretokom prvega in zadnjega kapljača ne sme biti večja od 15 % (Pintar, 2006). To razliko lahko precej zmanjšamo z uporabo cevi večjega premera in kompenzacijskih kapljačev.

Vzdrževanje namakalnih linij in kapljačev je ključnega pomena za zagotavljanje pravilnega in večletnega delovanja sistema. Priporočljivo je vsakoletno spiranje namakalnih linij izven časa vegetacije s kislinami, ki jih dovajamo v sistem, ker tako topimo karbonatne obloge in preprečujemo njihov nastanek (Knapič, 2002).

Spiranje namakalnih linij je mogoče izvesti z avtomatskimi tlačnimi ventili (slika 15), ki jih namestimo na koncu namakalne linije. V praksi se je pojavila enostavna in učinkovita rešitev, kjer se namakalne linije priklopijo na prečno polietilensko cev z ročnim ventilom, preko katerega upravljavec sistema poljubno spira namakalne linije.



Slika 15: Avtomatski tlačni ventili za spiranje namakalnih linij (NETAFIM, 2016b)

3.3.9 Dodajanje hranil in fertigacijska naprava

Dodajanje hranil (fertigacija) je ena izmed pglavitnih prednosti kapljičnih namakalnih sistemov. Pri pridelavi določenih kultur je lahko njen pomen večji kot samo namakanje. S tehnologijo kapljičnega namakanja dodajamo hranila natančno v območje koreninskega sistema, kar znatno zmanjša spiranje hranil v podtalnico in nam omogoča, da hitro od reagiramo na pomanjkanje hranil v rastlini.

Pri dodajanju hranil je potrebno posebno pozornost nameniti (Knapič, 2002):

- izpiranju ob morebitnem prekomernem namakanju,
- upoštevanju poti, ki jo opravi hranilo/voda, je potrebno namakati tudi po izpraznitvi hranilne raztopine toliko časa, da hranila dosežejo konce namakalnih linij,
- skupni koncentraciji soli, ki naj ne preseže 2 mS,
- zadostni začetni vlažnosti tal ob manjših frekvencah namakanja.

Fertigacijska naprava je pomembna komponenta kapljičnega namakalnega sistema, katero navadno namestimo za filtrirno napravo. Omogoča nam natančno doziranje hranil v sistem, v manjših odmerkih, kot je to običajno v klasični kmetijski praksi (Knapič, 2002).

Za doziranje hranil obstaja več načinov izvedbe, ki se razlikujejo glede na dostopnost električne energije, kompaktnost izvedbe in njena mobilnost in odpornost na kemikalije, ki jih uporabljamo za čiščenje in vzdrževanje sistema (Knapič 2002):

- Fertigacijske cisterne, ki delujejo na principu razlike tlaka na začetku in koncu cisterne. Cisterno s hranilno raztopino vzporedno povežemo na glavni vod. V cisterno steče del namakalne vode in postopno redči raztopino. Natančnost doziranja takšnega sistema je slaba.
- Venturijeva cev deluje na principu ustvarjanja podtlaka, ki nastane zaradi postopne zožitve cevi. Na vratu zožitve se pojavi sesalna sila, ki črpa hranila skozi cevko iz založne raztopine. Venturijevo cev namestimo vzporedno z glavnim vodom. Njeno doziranje hranil je precej natančno pri stalnem tlaku v sistemu.
- Črpalke za doziranje – delimo jih v dve skupini, batne in membranske črpalke glede na energijo, ki jih poganja,. Prvo srečamo, kadar črpalke poganja hidravlična sila namakalne vode; membranske črpalke pa navadno poganja zunanji vir energije (električna energija, fosilna goriva, stisnjen dušik). Doziranje hranil s črpalkami je najbolj natančno, saj lahko poljubno uravnavamo količino dodanih hranil.

4 OPIS VELIKEGA NAMAKALNEGA SISTEMA »BREG«

Veliki namakalni sistemi so namenjeni večjemu številu uporabnikov, ki namakajo v skladu z določenim namakalnim urnikom. Spadajo med vodovarčne tehnologije, saj lahko na vodovarčen način doprinejajo velik delež k stabilni rastlinski pridelavi (Glavan in sod., 2012).

Veliki namakalni sistem Breg je bil zgrajen leta 1988 pretežno za namene namakanja hmelja in delno za namakanje ostalih poljščin v obsegu 412 ha na območju Spodnje Savinjske doline. Upravljanje sistema je vodeno s strani Društva namakalnih naprav Breg-Roje (Katmesina, 2016).

4.1 Črpališče

Črpališče sestavljajo štiri črpalke, pri čemer je pretok ene črpalke 65 l/s (odčitano s tablice na črpalci) (slika 16). Hkrati obratujejo največ tri črpalke, ena obratuje s polno močjo, drugi dve pa sta regulirani s frekvenčnimi regulatorji in se vključita, ko se poveča odvzem iz namakalnega omrežja. Četrta črpalka je rezerva in se vključi ob okvari katere od obratovalnih črpalk. Delovni tlak črpališča je inštaliran na 8 barov (odčitano z manometra v času obratovanja).



Slika 16: Črpalka (foto: Bosnar, 2016)

4.2 Vodni vir

Veliki namakalni sistem za vodni vir uporablja vodotok Struga (slika 17), ki je rokav reke Savinje. Za odvzem vode je bilo izdano vodno dovoljenje za vrsto rabe: namakanje kmetijskih in drugih površin, z maksimalnim dovoljenim pretokom odvzema 159 l/s (Atlas okolja, 2016).



Slika 17: Vodotok Struga z zajetjem namakalnega sistema (foto: Bosnar, 2016)

4.3 Cevovod namakalnega sistema in armatura

Cevovod namakalnega sistema je sestavljen iz polietilenskih (PEHD) cevi, katerih premer se manjša v z oddaljenostjo od črpališča. V preglednicah 6 in 7 so navedene dolžine cevi različnih premerov in armatura (hidranti, blatni izpusti, fazoni) na cevovodu velikega namakalnega sistema (Plima, 2016).

Preglednica 6: Popis cevi velikega namakalnega sistema Breg (Plima, 2016)

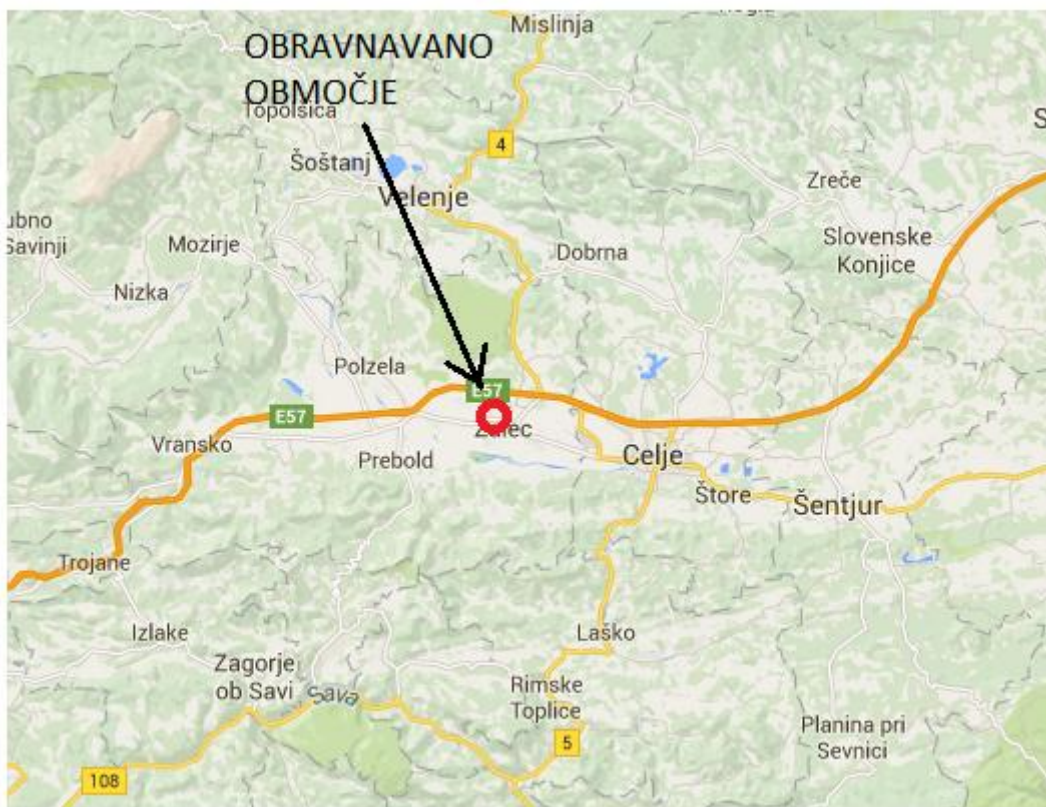
Premer cevi [mm]	Dolžina cevi [m]
90	710
110	3000
125	180
140	1260
160	520
180	720
200	2722
225	1125
280	2690
355	460
450	210

Preglednica 7: Popis armature na velikem namakalnem sistemu Breg (Plima, 2016)

Tip armature	Količina [kos]
Hidrant	140
Blatni izpust	30
Zračnik	23
Fazon (koleno, T kos)	780

5 PREDSTAVITEV OBRAVNAVANEGA OBMOČJA IN VHODNI PODATKI

Obravnvano območje se nahaja v Vzhodnem delu Slovenije v Spodnji Savinjski dolini (slika 18) v bližini vasi Gotovlje in se nahaja na območju velikega namakalnega sistema "Breg".



Slika 18: Prikaz lokacije obravnavanega območja

5.1 Zakonska podlaga

V praktičnem delu bomo zasnovali terciarni del namakalnega sistema (namakalno opremo za kapljični sistem namakanja), ki se bo navezal na hidrant velikega namakalnega sistema. V tem primeru ne potrebujemo posebnega vodnega soglasja, saj je le-to pridobljeno v okviru velikega namakalnega sistema, za katerega je že pridobljena vsa zakonsko določena dokumentacija.

5.2 Njivske površine

Obravnvano območje je njivska površina, zasajena s hmeljem, ki leži v Spodnji Savinjski dolini v neposredni bližini naselja Gotovlje (slika 19). Na omenjeni površini želimo zasnovati kapljični

namakalni sistem, z izvedbo na vrhu žičnice za potrebe namakanja hmelja. Cilj je zagotavljanje stabilnega letnega pridelka tudi v času suše, saj je pridelava hmelja na kmetiji glavni vir dohodka.

Njivska površina (slika 10) velika 1,97 ha, poimenovana z domačim imenom Srednjice in uradno šifro v registru 1198070 z oznako H (hmeljišče) ima orientacijo sever – jug in leži na nadmorski višini 262 metrov s povprečnim naklonom 1 ‰ (RKG-GERK, 2016). Njivska površina zavzema pravokotno obliko, v širino meri 69,4 m in v dolžino 284 m, na njen je posajen hmelj v 28 vrstah z medvrstno razdaljo 2,4 m in razdaljo v vrsti 1,3 m. Dostop do njive je po makadamski poti na severni in južni meji. V neposredni bližini severne meje se nahaja hidrant velikega namakalnega sistema Breg, ki nam služi za napajanje individualnega namakalnega sistema.



Slika 19: Obravnavano območje - njivska površina 1198070

5.3 Klima in padavine

Obravnavano območje leži v osrčju Spodnje Savinjske doline, za katero je značilno zmerno kontinentalno podnebje, ki smo ga opisali v poglavju 2.2.

Na portalu ARSO (ARSO, 2016a) smo pridobili klimatske podatke in podatke o padavinah z najbližje meteorološke postaje (Celje – Medlog), ki smo jih potrebovali za izračun potreb po vodi v programu CROPWAT 8.0. Za naš izračun smo na podlagi mesečnih vrednosti povezali povprečne vrednosti v obdobju 2005–2015, kot je prikazano v preglednici 8.

Preglednica 8: Vhodni klimatski podatki in padavine za obdobje 2005-2015 (ARSO, 2016a)

<i>Država: Slovenija</i>		<i>Meteorološka postaja: Celje - Medlog</i>				
<i>Nadmorska višina: 242</i>		<i>Geografska dolžina: 46,15 severno</i>				
<i>Geografska širina: 15,15 vzhodno</i>						
Mesec	Min. temp. [°C]	Max. temp. [°C]	Rel. vlažnost [%]	Veter [km/dan]	Sončno obs. [h/dan]	Padavine [mm]
Januar	-3,3	5,2	82	133	2,4	51
Februar	-3,5	6,3	80	135	3,2	66
Marec	-0,1	12,2	72	164	4,8	66
April	4,8	18,1	70	160	6,3	71
Maj	9,2	22,0	70	166	7,0	105
Junij	12,9	25,7	70	151	8,0	118
Julij	14,5	28,1	70	134	8,7	128
Avgust	13,7	26,8	75	120	7,9	121
September	10,4	22,0	80	115	5,6	144
Oktober	6,1	16,7	82	125	4,3	95
November	2,5	11,0	84	133	2,8	89
December	-2,3	5,0	86	125	2,4	73

5.4 Evapotranspiracija

Na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2016b) smo pridobili podatke o dnevni referenčni evapotranspiraciji ET_0 , ki je izračunana po Penman-Monteithovi metodi. Podatke meritev smo povzeli z meteorološke postaje Celje-Medlog, ki je najbližja obravnavanemu območju.

Za izračun 90 % verjetne potencialne evapotranspiracije ET_c , na podlagi katere smo zasnovali namakalni sistem, smo uporabili podatke o ET_0 za obdobje zadnjih desetih let (2006–2015) v mesecih rastne dobe hmelja, v katerih se pričakuje najvišja dnevna evapotranspiracija (april, maj, junij, julij, avgust, september) in jih prikazali v preglednici 9 v naraščajočem zaporedju.

Preglednica 9: Maksimalna dnevna evapotranspiracija ET_0 za posamezen mesec v obdobju 2006–2015 (ARSO, 2016b)

ET_0 [mm/dan]					
April	Maj	Junij	Julij	Avgust	September
3,7	5,0	6,0	5,7	4,9	3,0
4,0	5,2	6,5	5,8	5,1	3,0
4,1	5,4	6,6	6,4	5,1	3,5
4,3	5,5	6,8	6,5	5,4	3,6
4,5	5,5	6,9	6,5	5,5	3,8
4,7	5,7	6,9	6,7	5,9	4,1
5,4	5,7	7,1	7,1	5,9	4,2
5,5	6,1	7,4	7,2	6,0	4,3
5,7	6,7	7,4	7,5	6,5	4,8
6,0	6,8	7,7	7,8	6,8	5,1

5.5 Faktor rastline za hmelj

Zasnova namakalnega sistema bo temeljila na potrebi vode za namakanje hmelja. V preglednici 10 smo navedli faktorje rastline K_c za hmelj iz hmeljarskega priručnika (Knapič, 2002) za rastno obdobje od aprila do septembra, ki smo jih potrebovali za izračun potrebe po vodi in oblikovanje urnikov namakanja v programu CROPWAT 8.0.

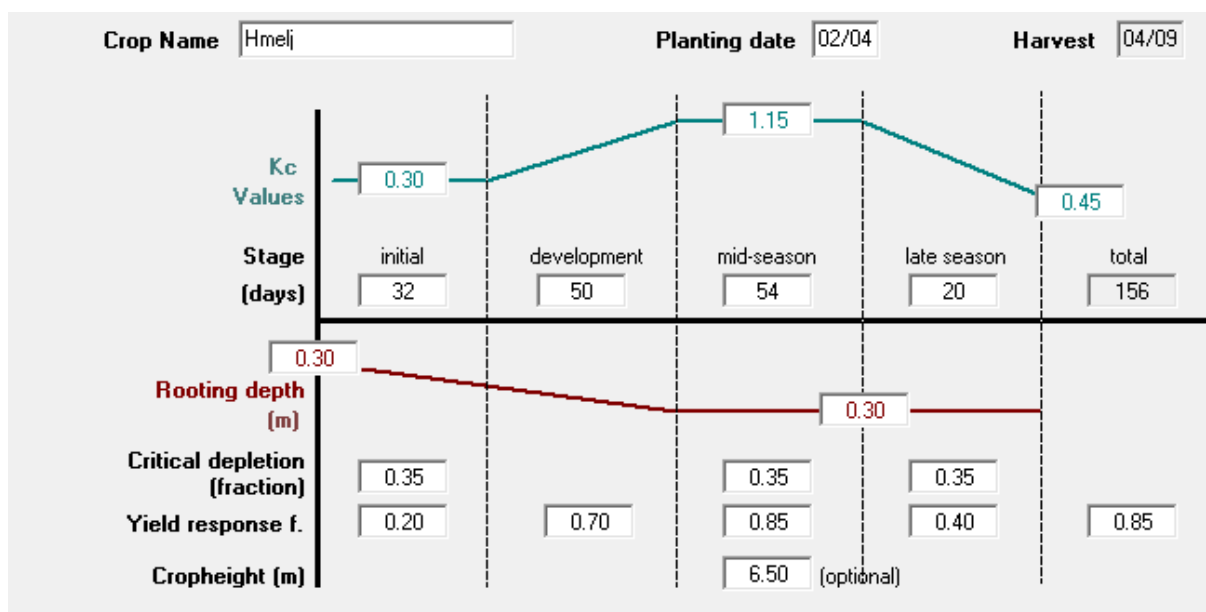
Preglednica 10: Faktor K_c hmelja glede na rastno obdobje (Knapič, 2002)

Mesec	Faktor K_c hmelja
April	0,3
Maj	0,6
Junij	0,9
Julij	1,15
Avgust	1,15 (do tehnološke zrelosti)
September	0,6

Pri izračunih v programu CROPWAT 8.0 smo podatke iz preglednice 10 vnesli v modul rastlin; hkrati pa smo vnesli še naslednje podatke:

- datum rezi/sajenja (ker je hmelj trajnica za začetek rastne sezone povzamemo datum rezi),
- datum obiranja (tehnološke zrelosti),
- število dni posamezne feno faze,
- globino korenin (povzeli smo globino glavnega koreninskega sistema, kjer rastlina črpa vodo),
- delež poljske kapacitete,
- količino vode v tleh,
- končno višino rastlin,
- faktor K_y .

Primer vnosa vhodnih podatkov je prikazan na sliki 20.



Slika 20: Vhodni podatki za hmelj v modulu rastlin v programu CROPWAT 8.0

5.6 Tla

Nasad, na katerem smo zasnovali naš namakalni sistem, se nahaja na lahkih, srednje globokih evtričnih rjavih tleh na ledenodobnih nasutih rek (proda in peska) z rahlo kislim pH-jem (eTLA, 2016), zaradi česar je potrebno tla redno apniti, da so primerna za intenzivno kmetijsko rabo (optimalna vrednost pH za hmeljišče $\text{pH} = 6,5$).

Tla so uvrščena v razred z zelo velikim talnim številom, z razponom razreda 76-100 in so primerna za kmetijsko rabo, saj imajo izredno velik pridelovalni potencial, zaradi česar bi morala pridobiti status trajno varovanih kmetijskih zemljišč (eTLA, 2016).

Na spletnih straneh Kmetijskega inštituta in Agencije Republike Slovenija za okolje je dostopna pedološka karta Slovenije v merilo 1:25000 (PK25), ki podaja kartografske enote talnih tipov (TKE) in za vsak TKE več talnih sistemskih enot (TSE). Na podlagi pedološke karte smo povzeli podatke, ki so predstavljeni v preglednici 11 in jih nato vnesli v modul tal v programu CROPWAT 8.0 (eTLA, 2016; Atlas okolja, 2016).

Preglednica 11: Podatki za obravnavana tla (eTLA, 2016; Atlas okolja, 2016)

Skupina tal (po WRB klasifikaciji)	Eutric Cambisol
Tip tal (PK25)	Evtrična rjava tla, na ledenodobnih prodnatih nasutinah rek in rečnem vršaju, srednje globoka, ~70%; Evtrična rjava tla, na ledenodobnih prodnatih nasutinah rek in rečnem vršaju, globoka, ~30%
Tekstura/zrnavost tal do 30 cm	37,6 % pesek, 40,5 % fini melj, 40,5% melj, 21,9% glina
Teksturni razred v TKE do 30 cm (povprečje)	Ilovica, srednje težka tla
Globina tal v TKE (povprečje)	100 cm, globoka tla
Razpoložljiva voda v tleh	180 mm/dan
Maksimalna dnevna infiltracija padavin	40 mm/dan
pH tal v TKE do 30 cm (povprečje)	5,8, kislina tla
Organska snov v TKE do 30 cm (povprečje)	2,4 % organske snovi, srednje humozna tla

6 ZASNOVA KAPLJIČNEGA NAMAKALNEGA SISTEMA ZA IZBRANO HMELJIŠČE

Namakalni sistem smo zasnovali glede na pretok hidranta, časovno razpoložljivost vode in potreb po vodi. Nato smo izbrali kapljače in zasnovali namakalne linije, razvodne cevi, filtrirno napravo in armature.

Hidravlične parametre (delovni tlaki v omrežju, tlačne izgube, hitrosti vodnega toka in pretoki) smo izračunali s programsko opremo HydroCalc (www.netafim.com), ki parametre izračuna na podlagi Hazen-Williamsove ali Darcy-Weisbachove enačbe. Za posamezen sektor smo izračunali delovni tlak in pretok za potrebe namakanja in spiranja.

Zasnovo namakalnega sistema smo prikazali na karti (Priloga A), kjer smo za podlago uporabili ortofoto posnetek. Na njej so prikazani ključni sestavni deli namakalnega sistema za izbrano hmeljišče, kot so filtrirna naprava, razvodne cevi in namakalne linije.

Filtrirno napravo smo zasnovali v kompaktni mobilni izvedbi z dodano armaturo.

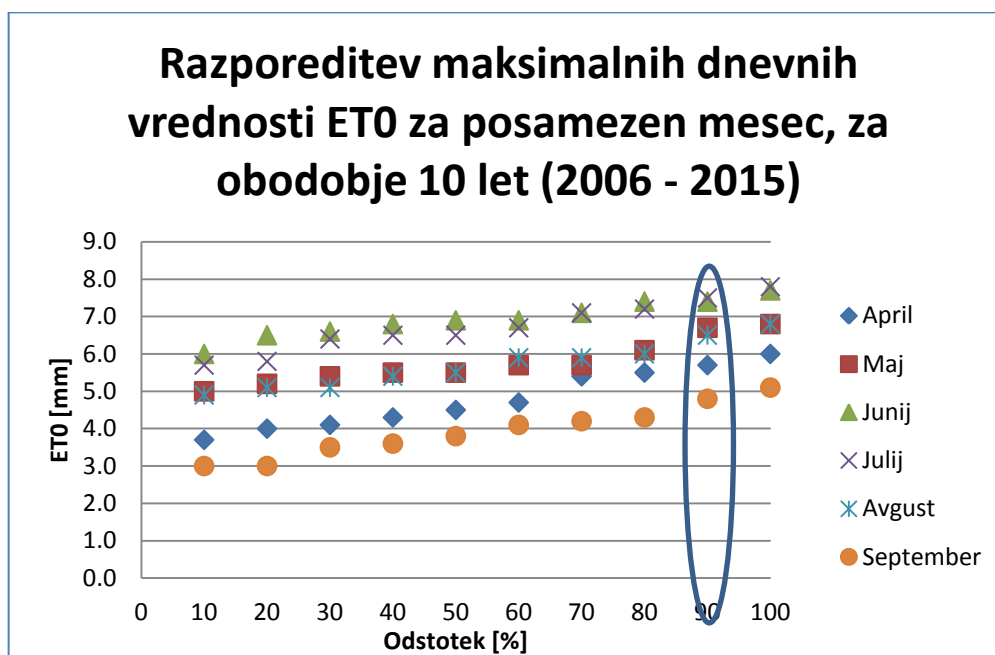
6.1 Bilanca razpoložljive vode in potrebne količine za namakanje

Vodo iz velikega namakalnega sistema lahko jemljemo v šest-urnem intervalu, kot nam narekuje namakalni urnik. V tem primeru je pri polni zmogljivosti velikega namakalnega sistema ob delovanju četrte hidrantov mogoče zagotavljati pretok vode enega hidranta 4,54 l/s oz. 16,3 m³/h.

Časovna poraba vode pri namakanju je odvisna od kapacitete kapljačev in velikosti namakalnih sektorjev.

6.1.1 Maksimalne dnevne potrebe po vodi

Namakalni sistem smo zasnovali na podlagi 90 % verjetne evapotranspiracije ET_c za obdobje 10 let, ki smo jo določili po metodi kvantilov in je prikazana na sliki 21. Podlaga za izračun so bile maksimalne dnevne vrednosti referenčne evapotranspiracije ET_0 za mesece v rastni sezoni hmelja v obdobju od leta 2006 do 2015 (ARSO, 2016b), ter koeficient rastle k_c (Knapič, 2002).



Slika 21: Maksimalne dnevne vrednosti ET₀ za posamezen mesec za obdobje od 2006 do 2015

Rezultati izračuna 90 % verjetne evapotranspiracije ET_c za hmelj so prikazani v preglednici 12.

Preglednica 12: 90 % verjetna evapotranspiracija ET_0

90 % verjetna dnevna referenčna evapotranspiracija ET_0 [mm]						
	April	Maj	Junij	Julij	Avgust	September
	5.7	6.7	7.4	7.5	5.1	4.8
90 % verjetna dnevna evapotranspiracija ET_c za hmelj [mm]						
Rastlina	April	Maj	Junij	Julij	Avgust	September
Hmelj	1.7	4.0	6.7	8.6	5.9	2.9

Kot je razvidno iz preglednice 12 maksimalna dnevna potreba po vodi nastopi v mesecu juliju in sicer 8,6 mm/dan oziroma 8,6 l/m²/dan ali 86 m³/ha/dan. Namakati želimo le 0,8 m širok pas v vrsti brez medvrstnih prostorov, pri tem se namakana površina zmanjša na 1/3 celotne površine in sorazmerno dnevna potreba po vodi, ki znaša 1/3 maksimalne dnevne potrebe po vodi v mesecu juliju 2,87 mm/dan oziroma 2,87 l/m²/dan ali 28,7 m³/ha/dan.

6.2 Pretok hidranta in gibljive dovodne cevi

Namakalni sistem smo zasnovali z odvzemom vode iz velikega namakalnega sistema. Odvzem se izvede preko hidranta in povezovalne cevi med hidrantom in filtrirno napravo. Za povezovalno cev smo izbrali tipsko gasilsko B cev dolžine 20 m, z notranjim premerom 76 mm in delovnim tlakom 16 barov, ter srednjo hitrostjo toka v cevovodu v . Enačbe za določitev pretoka vode smo opisali v poglavju 2.10.

Za pretok vode moramo najprej izračunati hitrost toka:

- dolžina cevi $L = 25$ m,
- premer cevi $d = 76$ mm = 0,075 m,
- hitrost toka $v = 2$ m/s.

Sledi izračun pretoka:

$$Q = v * S = v * \frac{d^2 \pi}{4} = 2 \frac{m}{s} * \frac{0,075^2 \pi}{4} = 0,0088 \frac{m^3}{s} = 8,8 \frac{l}{s} = 31,8 \frac{m^3}{h} \quad (11)$$

6.3 Kapljači in namakalne linije

Zaradi relativno velike razdalje namakalnih linij smo izbrali namakalne linije z vgrajenimi kompenzacijskimi kapljači. Namakalne linije dolžine 280 m so razporejene na razdalji 2,4 m, kolikor znaša medvrstna razdalja sajenja hmelja. Ker želimo namakati 80 cm širok pas v vrsti, smo načrtovali razporeditev kapljačev na namakalni liniji v dolžini 0,4 m, s kapaciteto namakanja 1,6 l/h, pri tem namakamo 1/3 celotne površine, saj želimo da medvrstni prostori ostanejo suhi, kar nam omogoča izvajanje drugih agrotehničnih ukrepov (kultiviranje, škropljenje).

Skupno površino smo razdelili v dva namakalna sektorja, ki smo ju ločili z avtomatskimi ventili s časovnim zamikom. Vsak sektor je pravokotne oblike dimenzij 280 m * 35,7 m in zajema 14 enakih namakalnih linij.

Za zasnovano namakalnega sistema smo izbrali debelostenske namakalne cevi z vgrajenimi kompenzacijskimi kapljači s komercialnim imenom Dripnet PC 20390 (NETAFIM, 2016a). Tehnične specifikacije o kapljačih in namakalnih linijah so podane v preglednicah 13 in 14.

Preglednica 13: Tehnične specifikacije kapljačev (NETAFIM, 2016a)

Kapaciteta [l/h]	Delovni tlak [bar]	Dim. prepustov za vodo (širina*višina*dolžina) [mm]	Konstanta <i>Ke</i>	EkspONENT <i>x</i>	Priporočena velikost filtracije
1,6	0,40-3,0	0,84*0,80*8	1,6	0	200/80

Preglednica 14: Tehnične specifikacije namakalnih linij (NETAFIM, 2016a)

Notranji premer [mm]	Debelina stene [mm]	Zunanji premer [mm]	Največji delovni tlak [bar]	Največji tlak pri spiranju [bar]	Koeficient Kd
17,5	1,2	19,9	3,5	3,9	0,25

Maksimalna dolžina namakalnih linij, pri izbrani kapaciteti in medsebojni oddaljenosti kapljačev na ravnem terenu pri delovnem tlaku 2,5 bara, je 299 m. Na zaključkih namakalnih linij bodo nameščeni avtomatski tlačni ventili, ki omogočajo spiranje linij v začetku namakanja (NETAFIM, 2014).

Po izbiri namakalnih linij smo opravili izračun hidravličnih parametrov v namakalnih linijah, kot so vstopni tlak, izgube tlaka, pretoki in hitrosti vodnega toka. Izračun smo izvedli s programom HydroCalc (NETAFIM, 2015b) in nato podali pretok ene namakalne linije in skupen pretok namakalnega sektorja.

Primer pogovornega okna za vnos parametrov namakalne linije (naklon terena vzdolž cevi, tip kapljača, razdalja med kapljači, kapaciteta kapljača, notranji premer cevi, konstanta iztoka *Ke*, koeficient lokalnih izgub zaradi kapljača *Kd*, eksponent *x* kapljača, željen tlak na koncu namakalne linije) je prikazan na sliki 22.

Topography
 Fixed Slope -0.001
 Changing

Emitter
 Drip Line
 Type: DRIPNET PC 20390
 Emitter Spacing: 0.4 m

Flushing
 Velocity [] m/s

Pipe Material
 Pressure Rating: 1.60 l/h
 Flow Rate: 1.60 l/h
 Pressure: 23.71 m
 Head: 23.71 m

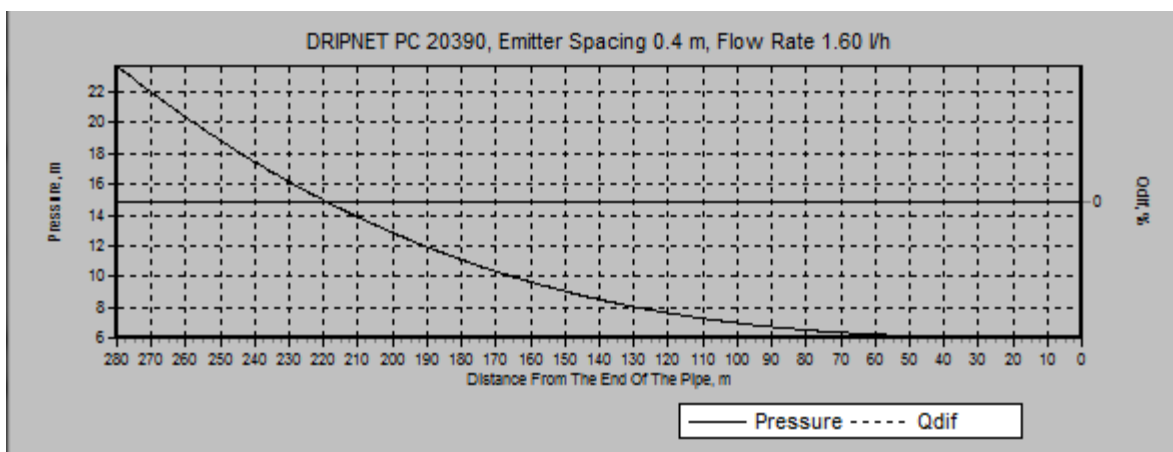
Pipe Type	Inside Diam mm	KD	Exponent	K	Segment Length m	Pressure Loss m	Head m	Velocity m/s
	17.45	0.25	0	1.6	280	17.71	23.71	1.30

Calculation Method
 Emitter Line Length

Total emitters: 700
Total Length: 280 m
Cum. Pressure Loss: 17.71 m
 End: 6

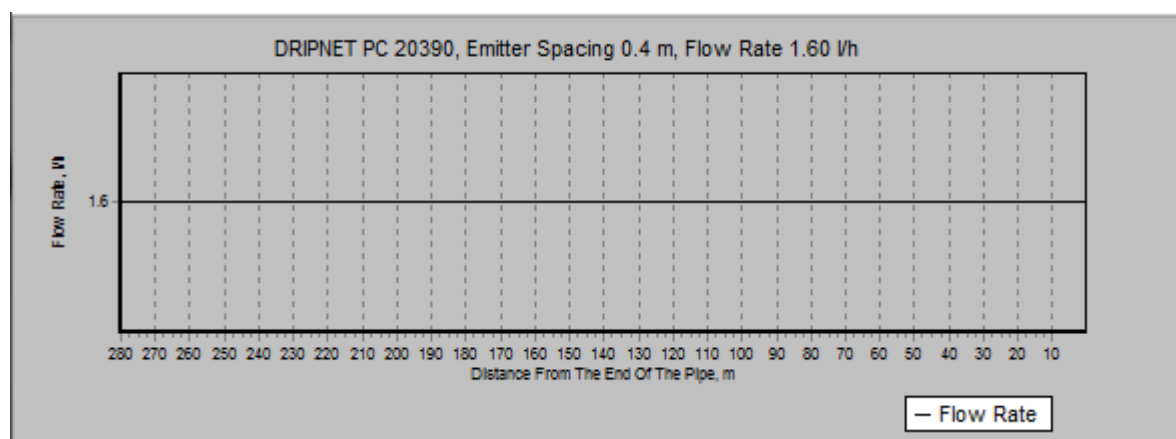
Slika 22: Pogovorno okno za vnos parametrov namakalnih linij v programu HydroCalc (Netafim, 2016b)

Na sliki 23 so prikazane tlačne izgube vzdolž namakalne linije P [m] in sprememba pretoka skozi kapljač Q_{dif} [%].



Slika 23: Sprememba tlačne višine vzdolž namakalne linije v programu HydroCalc (NETAFIM, 2016b)

Pri zasnovi smo uporabili kompenzacijske kapljače in ker so tlaki znotraj predpisanega razpona (0,30 – 3,0 bara) ni sprememb v pretokih kapljačev. Tako smo teoretično dosegli 100 % enakomernost iztokov (slika 24).



Slika 24: Pretoki kapljačev vzdolž namakalne linije v programu HydroCalc (NETAFIM, 2016b)

Potek tlačne višine vzdolž namakalne linije program izračuna na podlagi željenega tlaka na koncu linije (vnesemo v pogovorno okno programa), topografije terena in energijskih izgub zaradi trenja. Za izračun smo na koncu namakalne linije določili tlak 0,6 bar. Rezultate izračunov delovnih tlakov in pretokov namakalnih linij, ter pretokov namakalnih sektorjev smo prikazali v preglednici 15.

Preglednica 15: Rezultati hidravličnih izračunov namakalnih linij

Namakalno polje	Število namakalnih linij	Dolžina namakalnih linij [m]	Pretok namakalne linije [l/h]	Delovni tlak namakalne linije [m]	Pretok namakalnega sektorja [m ³ /h]
NS 1	14	280	1120	24	15,7
NS 2	14	280	1120	24	15,7

Zasnovali smo dva identična namakalna sektorja, kot je razvidno iz preglednice 15, zato potrebujemo za posamezen sektor maksimalni pretok vode Q_{max} 15,7 m³/h, na podlagi katerega smo izračunali namakalne parametre.

Na podlagi namakalne opreme določimo intenziteto namakanja P_r , v našem primeru je površina enega namakalnega sektorja 1 ha, zato je intenziteta namakanja P_r enaka pretoku $Q_{NP} = 15,7$ m³/h.

Čas namakanje smo izračunali z upoštevanjem učinkovitosti namakanja U_c (za kapljični sistem je vrednost $U_c = 0,9$ in za izgube vode v dovodnih in razvodnih ceveh $U_c = 0,98$) in ET_c . Uporabili smo naslednje parametre za izračun časa namakanja:

- obrok namakanja = $ET_c/3 = 86$ m³/ha/dan = 28,7 m³/ha/dan,
- intenzitete namakanja $P_r = 15,7$ m³/h,
- učinkovitosti namakanja $U_c = 0,90 * 0,98 = 0,88$.

In izračunali čas namakanja,

$$\text{čas namakanja } t = \frac{ON}{P_r * U_c} = \frac{86}{15,7 * 0,88} = 2 \text{ h } 5 \text{ min}, \quad (6)$$

ki je enak času namakanja enega namakalnega sektorja. Čas namakanja celotne površine je 4 h 10 min, ker smo predvideli avtomatski preklon z uporabo elektromagnetnih ventilov s časovnim zamikom.

Sistem je zasnovan na podlagi 90 % verjetne evapotranspiracije, v primeru dejanske evapotranspiracije je lahko namakalni čas primerno krajši.

6.4 Razvodne cevi

Namakano območje smo po severni meji, ki meri 71,4 m, razdelili na dva enaka dela oz. sektorja širine 35,7 m, ki je enaka razdalji dela razvodnega cevovoda, na katerega se priklopijo namakalne linije. Premer razvodne cevi smo določili glede na priporočeno hitrost vodnega toka v cevi, ki je med 1,0 in 2,0 m/s, ter na podlagi pretoka enega namakalnega sektorja. Za določitev notranjega premera cevi smo izbrali hitrost toka v cevi $v = 1,0$ m/s in pretok $Q = 15,7$ m³/h oz. 4,36 l/s.

Izračun notranjega premera cevi D_n :

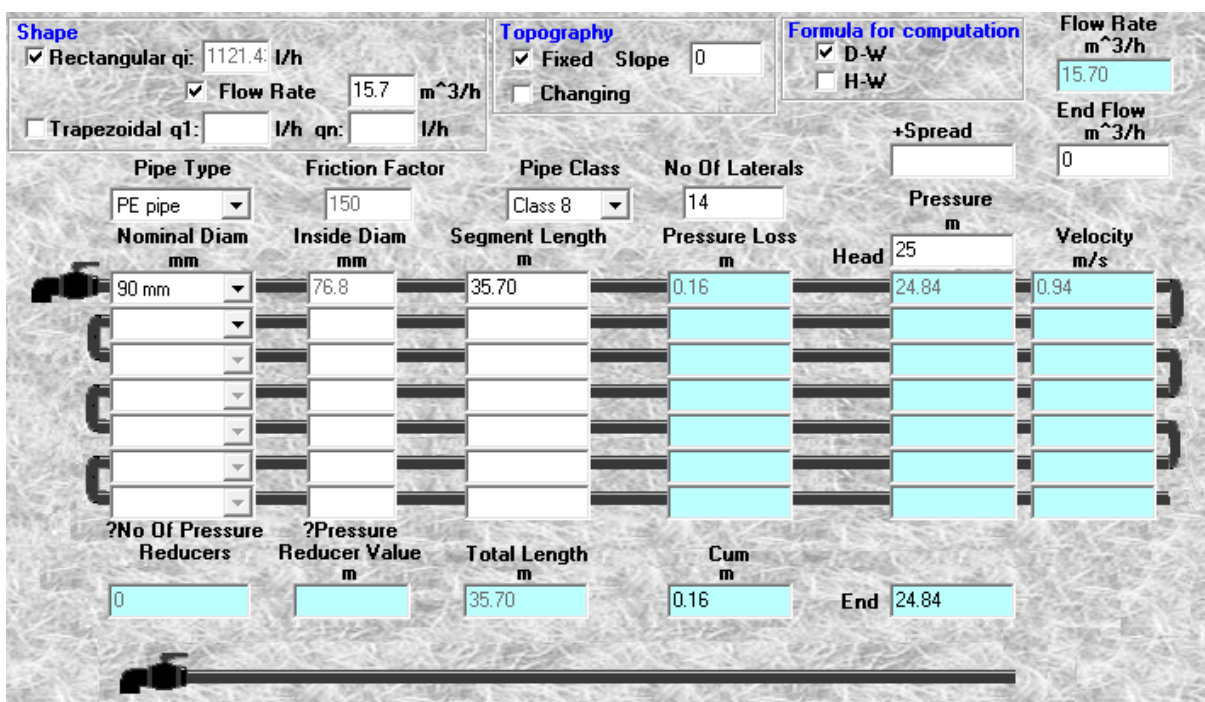
$$D_n = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 * 15,7 \text{ m}^3 \text{ s}}{3600 \text{ s} * \pi * 1,0 \text{ m}}} = 0,0745 \text{ m oz. } 75 \text{ mm} \quad (27)$$

Za razvodne cevi smo izbrali PE cevi z notranjim premerom D_n 76,8 mm (PE cevi, 2016), ki se minimalno razlikuje od izračunanega. Tehnične podatke cevi smo navedli v preglednici 16.

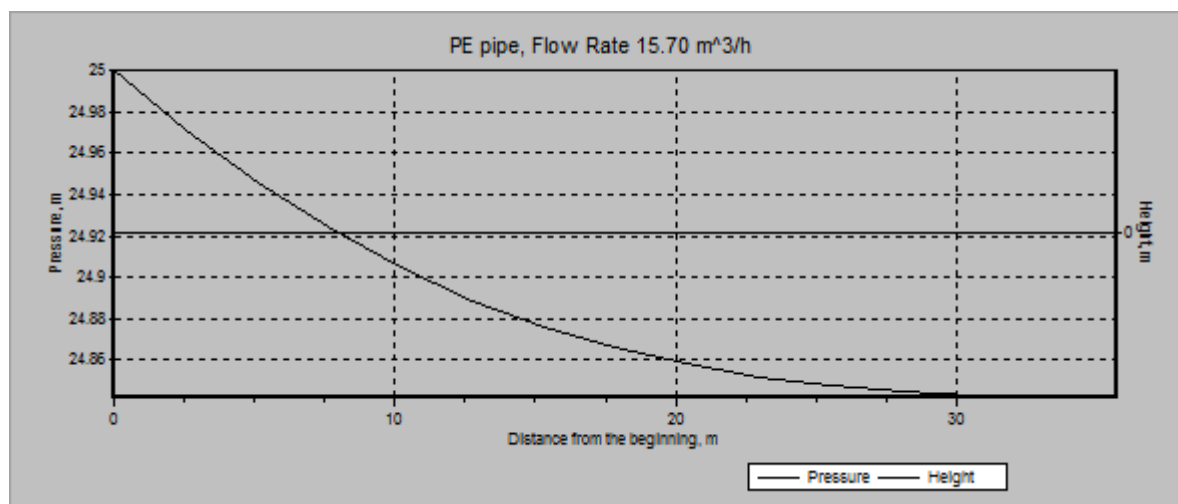
Preglednica 16: Tehnični podatki razvodnih PE cevi (PE cevi, 2016)

Min. zunanji premer [mm]	Povprečni notranji premer [mm]	Povprečna debelina sten [mm]	Maksimalni delovni tlak [bar]
90,0	76,8	5,75	8

Izračun hidravličnih parametrov (tlak na začetku cevi in izgube tlaka) smo izvedli s programom HydroCalc (NETAFIM, 2016b), kjer smo v pogovorno okno vnesli podatke o obliki namakalnega polja, pretok in tlak v namakalnih ceveh, naklon terena vzdolž cevi, vrsto materiala cevi, koeficient trenja, maksimalni dovoljen tlak v cevi, število cevi priključenih na razvodno cev, tlak na začetku cevi, notranji premer in dolžino cevi (sliki 25 in 26).



Slika 25: Vnos podatkov za izračun hidravličnih parametrov razvodnih cevi v programu HydroCalc (NETAFIM, 2016b)



Slika 26: Sprememba tlačne višine vzdolž razvodne cevi namakalnega sektorja v programu HydroCalc (NETAFIM, 2016b)

V preglednici 17 smo podali tlake, ki jih moramo zagotoviti na začetku vsake razvodne cevi.

Preglednica 17: Delovni tlaki na začetku razvodnih cevi

Namakalni sektor	Razvodna cev	Vhodni tlak [bar]
NS ₁	RC ₁	2,5
NS ₂	RC ₂	2,5

6.5 Dovodna cev med filtrirno napravo in sekundarnimi cevmi

Kapljični sistem smo zasnovali tako, da se enaka namakalna sektorja namakata v sosledju, zato lahko za izhodišče vzamemo enako cev kot smo jo uporabili pri razvodnih ceveh s notranjim premerom $D_n = 76,8$ mm, kot smo jo določili v poglavju 6.4. Delovni tlak je višji, saj smo zasnovali kapljični sistem na vrhu žičnice, pri čemer potrebujemo večji tlak, kot če bi cevi položili na tla.

Hidravlične parametre cevi smo izračunali s programom HydroCalc (NETAFIM, 2016b), kjer smo v pogovorno okno vnesli podatke o naklonu terena vzdolž cevi, vrsto materiala cevi, koeficient trenja, tlak na začetku cevi, notranji premer in dolžino cevi (slika 27).

The screenshot shows the HydroCalc software interface. At the top, there are settings for 'Topography' (Fixed, Slope 64) and 'Formula for computation' (D-W checked, H-W unchecked). Below that, 'Pipe Type' is set to 'PE pipe' and 'Friction Factor' is 150. The main table displays the following data for a pipe segment:

Nominal Diam mm	Pipe Class	Inside Diam mm	Segment Length m	Flow Rate m ³ /h	Segment Flow Rate m ³ /h	Pressure Loss m	Head m	Velocity m/s
90 mm	Class 8	76.8	10.00	15.70	15.70	6.55	25.45	0.94

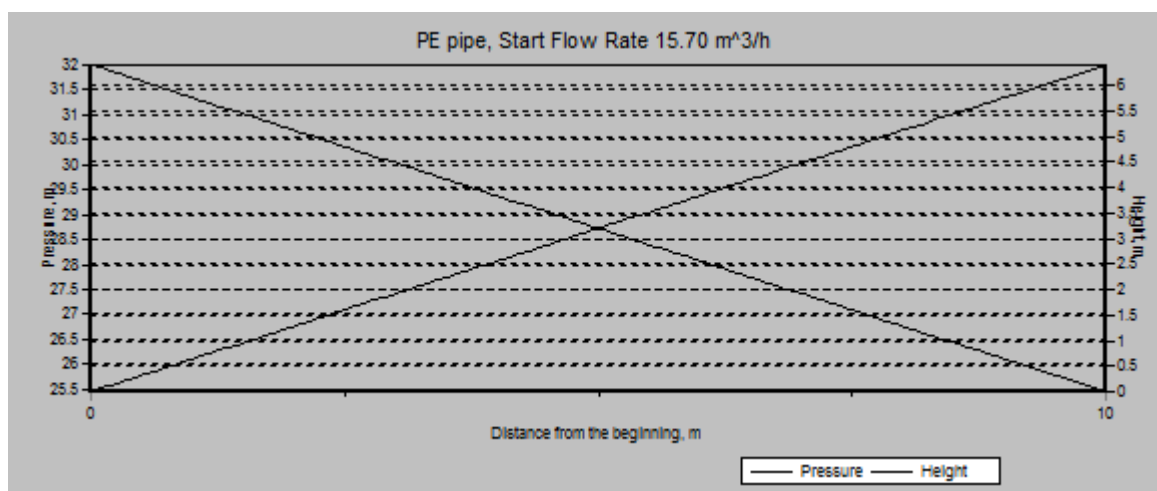
Summary statistics at the bottom of the table:

No Of Pressure Reducers	Pressure Reducer Value m	Total Length m	Start Flow Rate m ³ /h	Cum. Pressure Loss m	End
0		10.00	15.70	6.55	25.45

Slika 27: Hidravlični parametri dovodne cevi

Izračunan vhodni tlak znaša 3,2 bara in je v večini posledica premagovanja višine vode.

Na sliki 28 smo prikazali potek tlaka z naraščanjem višine.



Slika 28: Prikaz poteka tlaka in višine vzdolž dovodne cevi

6.6 Filtrirna naprava

Filtrirno napravo sestavljajo filtri in armatura. Zasnovali smo kompaktno mobilno filtrirno napravo, ki se namesti na manjšo prikolico in jo lahko uporabimo tudi na drugih lokacijah, kar nam zmanjša strošek nakupa dodatne filtrirne naprave.

Ker je vodni vir velikega namakalnega sistema površinski vodotok in voda ni predhodno očiščena, smo na podlagi zahtev proizvajalca kapljačev in priporočil glede na vir vode, načrtovali čiščenje vode z dvema tipoma filtrov.

Za filtriranje večjih delcev smo izbrali peščen filter s komercialnim imenom F-600 (slika 29), ki ga proizvajalec (NETAFIM, 2016c) predlaga za filtriranje vode iz vodotokov in akumulacij. Hidravlični parametri filtra ustrezajo zahtevam maksimalnega pretoka in tlaka. Tehnične lastnosti filtra smo navedli v preglednici 18.

Preglednica 18: Tehnične lastnosti peščenega filtra (NETAFIM, 2016C)

Premer posode [mm]	Filtracijska površina [m ²]	Volumen filtracije [l]	Maksimalni delovni tlak [bar]	Priporočen pretok [m ³ /h]	Priporočen pretok spiranja [m ³ /h]
610	0,32	120	8	13,5 - 22	25



Slika 29: Peščeni filter (NETAFIM, 2016c)

Na podlagi izbranih kapljačev moramo zagotoviti tudi ustrezno filtracijo vode. Pri zasnovi namakalnih linij s kapljači smo izbrali kapljače, ki zahtevajo filtracijo $200 \mu\text{m}$. Izbrali smo avtomatski samočistilni disk filter s komercialnim imenom Rain Bird HDF 1X2 (Rain Bird, 2016) (slika 30) z velikostjo filter mreže 75 mikronov, ki omogoča zeleno filtracijo.



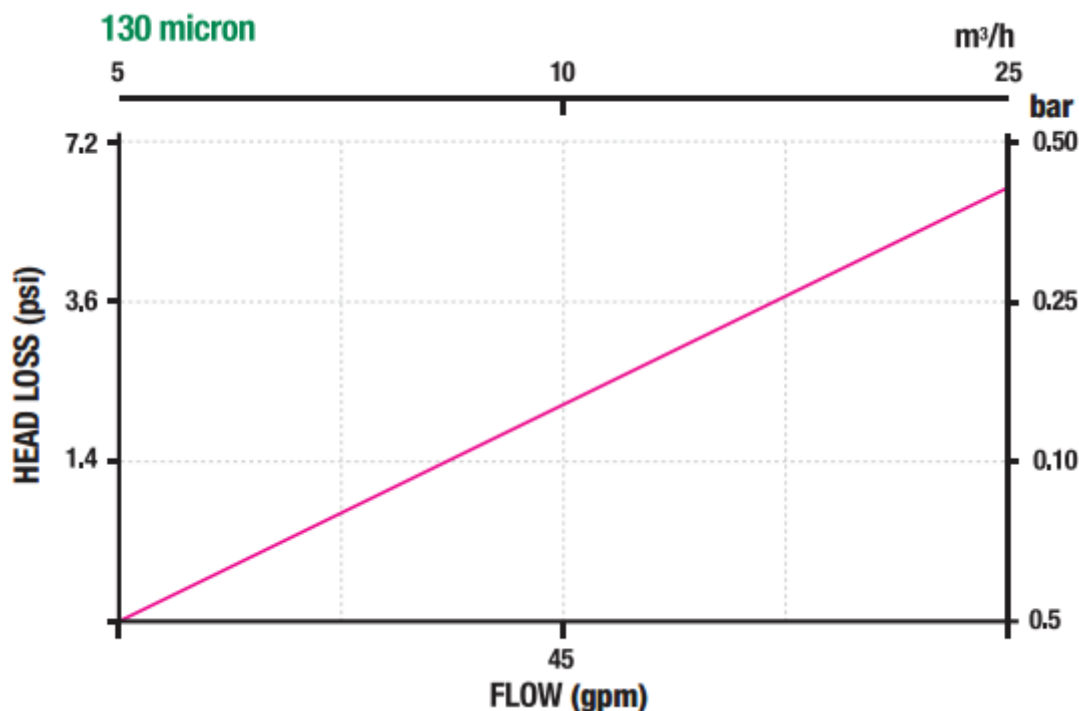
Slika 30: Avtomatski samočistilni filter (Rain Bird, 2016)

V preglednici 19 smo podali tehnične karakteristike filtra.

Preglednica 19: Tehnične karakteristike disk filtra (Rainbird, 2016)

Maksimalni pretok [m³/s]	Stopnja filtracije [μm]	Območje delovnega tlaka [bar]	Minimalni pretok za spiranje [l/s]	Minimalni tlak pri spiranju [bar]	Površina filtra [cm²]
24	200	1.5 – 8	2,5	2,8	1492

Slika 31 prikazuje tlačne izgube disk filtra pri filtraciji 130 mikronov (Rain Bird, 2016), ki znašajo pri pretoku 25 m³/h in tlaku 0,4 bara.



Slika 31: Tlačne izgube disk filtra pri filtraciji 130 mikronov (Rain Bird, 2016)

6.7 Ventili in merilniki

Ventili in merilniki v cevovodnem omrežju povzročajo lokalne energijske izgube, ki smo jih opisali v poglavju 2.9.1. Za potrebe hidravlične analize bomo izračunali energijske izgube zaradi zapiralnih ventilov, redukcijskih ventilov, nepovratnih ventilov, T elementov (izgube manometrov enačimo z izgubami T elementov), vodomera in blažilca hidravličnega udara (preglednica 20).

Notranji premer armature je 76 mm in je enak premeru dovodne in razvodnih cevi. Izračunali smo lokalne energijske izgube za posamezen element pri obratovalnem pretoku $15,7 \text{ m}^3/\text{s}$, z uporabo koeficientov lokalnih izgub navedenih v poglavju 2.9.1.2.

Preglednica 20: Lokalne energijske izgube na armaturi pri delovnem pretoku

Pretok [m ³ /h]	Lokalne energijske izgube [m]						Skupaj
	Zapiralni ventil	T element	Vodomer	Nepovratni ventil	Blažilec hidravličnega udara	Redukcijski ventil	
15,7	0,3	0,1	0,3	0,6	0,6	0,6	2,5

7 NAMAKALNI PARAMETRI IN URNIK NAMAKANJA

S programom CROPWAT 8.0. smo izračunali namakalne parametre in izdelali urnik namakanja hmelja za posamezen namakalni sektor, na podlagi razpoložljivih klimatskih in pedoloških podatkov na obravnavanem območju ter podatkov o obdobju rasti in razvoja hmelja. Posamezen namakalni sektor predstavlja 50 % njivske površine.

Za učinkovito namakanje je potrebno pred rastno sezono določiti obrok namakanja, turnus namakanja in čas namakanja. V našem primeru je turnus namakanja 1 dan, saj smo zasnovali kapljični namakalni sistem.

Program CROPWAT zahteva določene vhodne podatke, na podlagi katerih na izvede izračune. Za izračun referenčne evapotranspiracije ET_0 smo morali v program vnesti klimatske podatke, za izračun ET_c pa še podatke o rastlini za rastno obdobje. Neto obrok namakanja (nON) je enak ET_c , ker smo predvideli vsakodnevno namakanje. Bruto obrok namakanja (bON) smo izračunali z upoštevanjem učinkovitosti namakanja in vodnih izgub v omrežju. Čas namakanja smo določili kot količnik med bruto obrokom namakanja (bON) in intenziteto namakanja (Pr) – kapaciteta kapljačev. V preglednici 21 so prikazane minimalne, povprečne in maksimalne vrednosti bruto obroka namakanja in časa namakanja.

Preglednica 21: Minimalni, povprečni in maksimalni parametri namakanja

Rastlina	bON/dan [mm]			Čas namakanja/dan [h]		
	Min.	Povp.	Maks.	Min.	Povp.	Maks.
Hmelj	1	3	5	0,6	1,9	3,2

Podani izračuni so dobra usmeritev za namakanje hmelja v določenih fenoloških fazah rastlin. Za natančnejšo določitev količin vode za namakanje pa moramo med sezono upoštevati seveda tudi količino padlih padavin in stanje vode v tleh.

Program CROPWAT 8.0. nam omogoča izračun okvirnih količin vode za namakanje z upoštevanjem padavin, ki jih izračuna kot razliko med efektivnimi padavinami in potencialno evapotranspiracijo ET_c . Pri tem so upoštevane izgube vode, vodne zaloge v tleh, površinski odtok vode, ki nastane zaradi hipnih intenzivnih padavin in slabe sposobnosti infiltracije tal in odtok vode v podtalnico (v primeru prodnatih lahkih tal). Rezultat lahko interpretiramo kot minimalno količino vode, ki jo moramo dodati rastlinam v mesecih rastne dobe v povprečnem letu (preglednica 22).

Preglednica 22: Bruto količine vode za namakanje v povprečnem letu

Rastlina	Potrebna bruto količina vode za namakanje v povprečnem letu							
	Marec [mm]	April [mm]	Maj [mm]	Junij [mm]	Julij [mm]	Avgust [mm]	September [mm]	Leto [mm]
hmelj	0	0	0	28,6	52,7	20,6	0	101,9

Določitev urnikov namakanja, ki smo jih izdelali v programu CROPWAT 8.0, temelji na vhodnih podatkih o lastnostih tal, klimatskih podatkih, podatkih o padavinah in vseh podatkih o hmelju. Urnik namakanja za povprečno padavinsko leto zajema potrebno količino vode za namakanje (obrok namakanja) za dneve, ko se pojavi negativna vodna bilanca tal oz. je porabljena vsa lahko dostopna voda v tleh (*LDV*) in moramo pričeti z namakanjem. Obrok namakanja je določen s poljsko kapaciteto, pri čemer dobimo velike obroke namakanja in dolge turnuse. Ker smo zasnovali kapljični sistem namakanja, ki temelji na kratkih turnusih namakanja (1 dan), smo dobljen obrok namakanja razdelili na dni med turnusi. V preglednici 23 smo povzeli nekatere rezultate iz urnika namakanja (priloga B) za celotno namakalno sezono.

Preglednica 23: Izbrani parametri iz urnika namakanja

Rastlina	Število namakalnih dni	Bruto količina dodane vode [mm]	Dejanske zahteva po vodi [mm]	Skupen čas namakanja [h]
Hmelj	13	293,5	265,5	187,2

Rezultati nam potrjujejo, da je hmelj rastlina, ki potrebuje velike količine vode v svojem ravnem obdobju, največ v mesecu juliju, ki pa je navadno tudi najbolj sušni mesec rastne sezone.

8 ZAKLJUČEK

Namakanje kmetijskih površin bo v prihodnosti imelo vedno večji pomen v kmetijski pridelavi, zaradi vse pogostejših suš v ravnem obdobju rastlin. Tendence tehnologije namakanja je v smeri kapljičnih namakalnih sistemov, saj za svoje delovanje porabijo manj energije in vode. Ena izmed poglobitvenih prednosti kapljičnih namakalnih sistemov pa je tudi možnost kontroliranega dodajanja hranil natančno v območje koreninskega sistema, kar znatno zmanjša spiranje hranil v podtalnico in nam omogoča, da hitro od reagiramo na pomanjkanje hranil v rastlini..

Za izbrano hmeljišče v Spodnji Savinjski dolini smo zasnovali kapljični namakalni sistem na površini 2 ha, ki je zasnovan v sklopu obstoječega velikega namakalnega sistema. Predviden je sistem z obešanjem namakalnih linij na vrhu žičnice. Takšen sistem nam omogoča neovirano izvajanje vseh agrotehničnih ukrepov med namakanjem, saj namakamo le pas v vrsti, kjer se nahajajo glavne korenine hmelja, in pri tem medvrstni prostori ostanejo suhi. Pri tem smo na podlagi 90 % verjetne evapotranspiracije in pretoka hidranta velikega namakalnega sistema določili dimenzije dovodnih, sekundarnih in namakalnih cevi ter filtrirne naprave. Pri zasnovi namakalnih sistemov, je za njihovo učinkovito delovanje priporočljivo izvesti hidravlično analizo za posamezen namakalni sektor.

Za omenjeno hmeljišče smo s programom CROPWAT 8.0 izračunali potrebne vodne količine in izdelali namakalni urnik za leto s povprečnimi padavinami. Vrednosti urnika so informativne narave, saj moramo za natančno napoved namakanja upoštevati več trenutnih vplivnih faktorjev, ki jih zajamemo dnevno na terenu. Za dobro in pravilno napoved namakanja je pomembno spremljanje vode v tleh s pomočjo različnih merilnikov, saj je količina rastlinam dostopne vode pri tem pomemben podatek.

Zaključimo lahko, da je pomanjkljivost namakanja v sklopu velikih namakalnih sistemov s strani uporabnika predvsem časovna omejitev (urnik velikega namakalnega sistema), vendar pa ima tak sistem hkrati veliko prednosti, predvsem s strani zakonodaje, pridobivanja dovoljenj, ter vzdrževanja in upravljanja sistema.

Mislím, da je prihodnost namakanja kmetijskih površin v izgradnji velikih namakalnih sistemov, ki bi bili zasnovani za kapljično namakanje, ter ustrezno nadzirani in upravljani.

VIRI

ARSO. 2016a. Arhiv meteoroloških podatkov. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/podneb_30_tabele.html (Pridobljeno 16. 4. 2016.)

ARSO. 2016b. Referenčna evapotranspiracija in padavine za celotno arhivsko obdobje (dnevni podatki po letu 1961). Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. http://meteo.arso.gov.si/met/sl/agromet/data/arhiv_etp/ (Pridobljeno 12. 5. 2016.)

Atlas okolja. 2016. <http://gis.arso.gov.si/atlasokolja> (Pridobljeno 5. 5. 2016.)

Brilly, M., Šraj, M. 2005: Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.

Bosnar, B. 2016. Osebni foto arhiv.

eTLA. 2015. Podatki tal – Portal eTLA <http://www.kis.si/eTLA> (Pridobljeno 5. 5. 2016.)

FAO, 2013. CropWat 8.0. http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html (Pridobljeno 5. 4. 2016.)

Friškovec, I., Zmrzlak, M., Knapič, M. 2002. Zasnova novega nasada. In: Priročnik za hmeljarje. Majer D. (eds). Žalec, Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Žalec: 137-150.

Gačnik, N. 2015: Tehnične in tehnološke zasnove malega namakalnega sistema. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba N. Gačnik): 139 str.

Glavan, M., Cvejić, R., Pintar, M. 2012. Pregled rezultatov projektov s področja namakanja kmetijskih zemljišč. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehnična fakulteta, Oddelek za agronomijo: 14 str.

Hrastar, R. 2006. Vpliv sorte in rastišča na vsebnost ksantohumola v hmelju. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo (samozaložba R. Hrastar): 85 strani.

Irrigation. 2016.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Irrigation> (Pridobljeno, 30. 5. 2016.)

Jerič, M., Ravnikar, L., Simončič, D. 2008. Stanje in novosti na področju hidromelioracij v zadnjih petih letih. Maribor, Mišičev vodarski dan 2008:261-268.

Knapič, M. 2002. Namakanje hmeljskih nasadov. In: Priročnik za hmeljarje. Majer D. (eds). Žalec, Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Žalec: 169-179.

Kraut, B. 2007. Krautov strojniški priročnik – 14. Slovenska izdaja. Ljubljana, Littera picta: 817 strani.

Kvantil. 2016.

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Kvantil> (Pridobljeno 16. 05. 2016.)

Majer, D. 2000. Vodni stres pri hmeljnih rastlinah. Žalec, Hmeljarsko združenje Slovenije: 109 str.

NETAFIM. 2014. Drip Irrigation Handbook: Understanding The Basics. NETAFIM: 96 str.

<http://orev.dk/images/stories/pdf/2014/dripirrigationhandbook2014.pdf> (Pridobljeno 16. 4. 2016.)

NETAFIM, 2016a. UNIRAM RC.

<https://www.netafim.com/Data/Uploads/160322%20UniRam%20RC%20technical%20information.pdf> (Pridobljeno 19.5.2016)

NETAFIM. 2016b. HydroCalc Software.

<http://www.netafim.com/hydrocalc-software-1> (Pridobljeno 21. 5. 2016.)

NETAFIM. 2016c. Filtration.

<http://www.catalog.netafim.com/catalogue> (Pridobljeno 21. 5. 2016.)

NRCS. 2016a. Lateral Design.

<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/Irrigation/training%20presentations/micro/5-Microirrigation%20Lateral%20Design.pptx> (Pridobljeno 15. 5. 2016.)

NRCS. 2016b. Emitter selection.

<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/Irrigation/training%20presentations/micro/Emitter%20Selection.pptx> (Pridobljeno 15. 5. 2016.)

Ogrin, D. 1996. Podnebni tipi v Sloveniji. Ljubljana, Geografski vestnik, 68: 39–56.

PE cevi. 2016.

<http://www.totraplastika.si/default.cfm?Jezik=S1&Kat=02&ID=2> (Pridobljeno 22.5.2016.)

Pintar, M. 2003. Osnove namakanja s poudarkom na vrtninah in sadnih vrstah v severovzhodni Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS: 52 str.

Pintar, M. 2004. Melioracije in urejanje kmetijskih zemljišč 2. del (gradivo k predavanjem). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 254 str.

Pintar, M. 2006. Osnove namakanja s poudarkom na vrtninah in sadnih vrstah v zahodni, osrednji in južni Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS: 55 str.

Pintar, M. 2006. Osnove namakanja s poudarkom na vrtninah in sadnih vrstah v zahodni, osrednji in južni Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano RS: 55 str.

Plima. 2016. Popis velikega namakalnega sistema Breg. Message to: Sirše, B., 11. 5. 2016. Osebna komunikacija.

Rain Bird. 2016.

<http://www.rainbird.com/golf/products/filtration/DiscFilters.htm> (Pridobljeno, 22.5.2015.)

RKG-GERK. 2016

<http://rkg.gov.si/GERK/viewer.jsp> (pridobljeno, 29.4.2016.)

Rode, J., Zmrzlak, M., Kovačevič, M. 2002. Hmeljna rastlina. In: Priročnik za hmeljarje. Majer D. (eds). Žalec, Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Žalec: 21-30.

Ross, E.A., Hardy, L.A., Brenner, J., Walker, J., Gustafson, C., Nelson, D., Dalton, J., Suit, J., Carmack, W.J., Marlow, R.L., Spofford, T.L. 1997. National Engineering Handbook: Irrigation Guide (part 652). USDA, NRCS: 754 str.

Steinman, F. Hidravlika. 1999. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 295 str.

Šijanec, M. 2009. Sposobnost izbranih tal za zadrževanje vode. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehnična fakulteta (samozaložba M. Šijanec): 59 str.

ZAKONODAJA

Pravilnik o vsebini vloge za pridobitev vodnega dovoljenja in o vsebini vloge za pridobitev dovoljenja za raziskavo podzemnih voda Uradni list RS št. 79-4100/2007: 10958.

Uredba o mejnih vrednosti vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla. Uradni list RS št. 84-3646/2005: 8709.

Uredba o načrtu upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja. Uradni list RS št. 61-2891/2011: 8848.

Uredba o posegih v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje. Uradni list RS št. 51-2266/2014: 5872.

Uredbo o razvrščanju objektov glede na zahtevnost gradnje. Uradni list RS št. 18-654/2013: 2483.

Uredba o vodnih povračilih. Uradni list RS št. 103-5136/2004: 11607.

»Ta stran je namenoma prazna.«

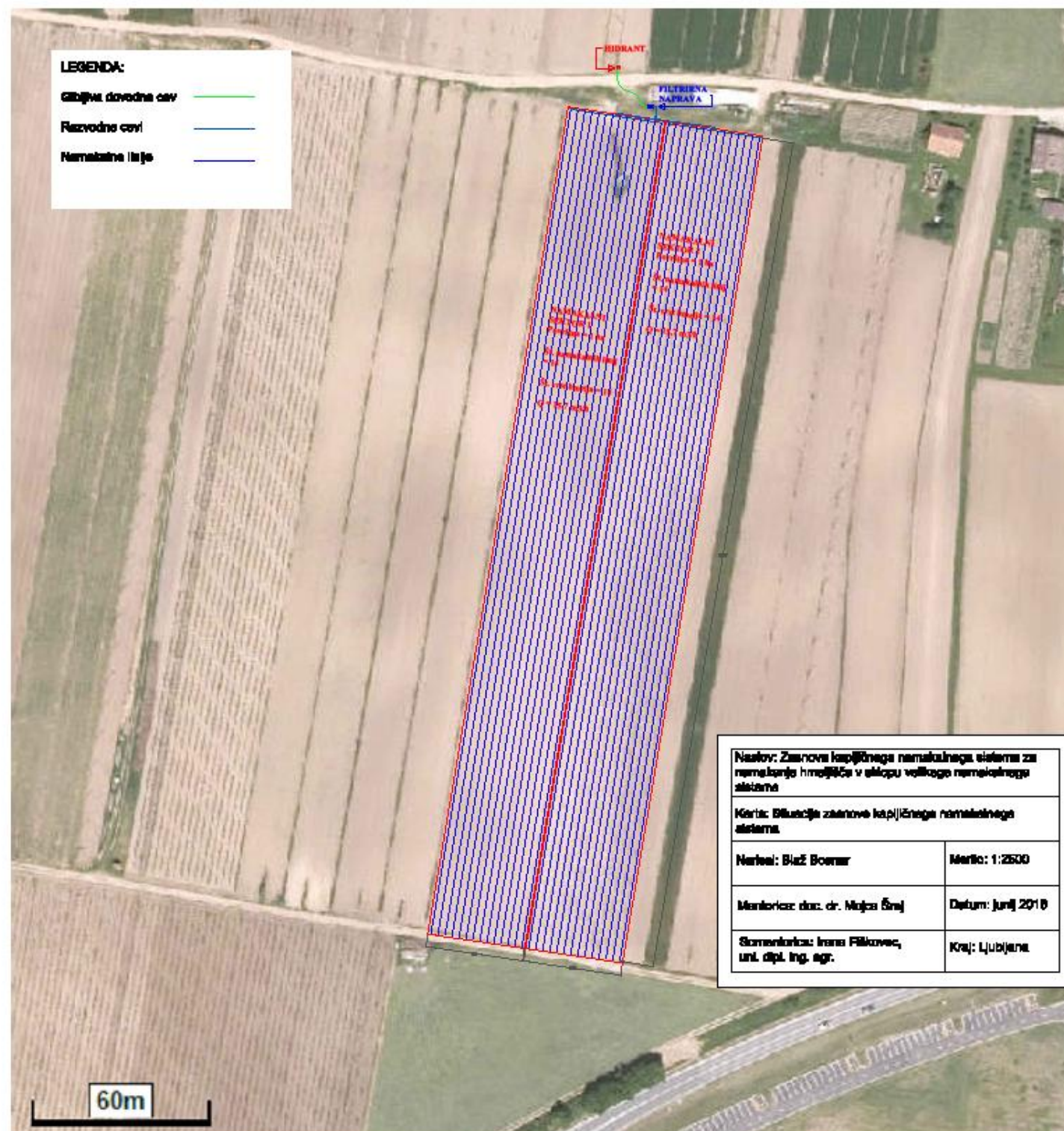
SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: SITUACIJA ZASNOVE NAMAKALNEGA SISTEMA.....A1

PRILOGA A: URNIK NAMAKANJA ZA HMELJ ZA POVPREČNO LETO.....B1

»Ta stran je namenoma prazna.«

PRILOGA A: SITUACIJA ZASNOVE NAMAKALNEGA SISTEMA



»Ta stran je namenoma praz

PRILOGA B: URNIK NAMAKANJA ZA HMELJ ZA POVPREČNO LETO

Datum	Dan	Faza razvoja	Padavine [mm]	ETc [mm/dan]	nON [mm]	Primanjkljaj vode glede na PK [mm]	bON [mm]	Čas namakanja [h/dan]
2. apr	1	1. faza	0	0,7	0	0,7	0	0
3. apr	2	1. faza	11	0,7	0	0,7	0	0
4. apr	3	1. faza	0	0,7	0	1,3	0	0
5. apr	4	1. faza	0	0,7	0	2	0	0
6. apr	5	1. faza	0	0,7	0	2,7	0	0
7. apr	6	1. faza	11	0,7	0	0,7	0	0
8. apr	7	1. faza	0	0,7	0	1,3	0	0
9. apr	8	1. faza	0	0,7	0	2	0	0
10. apr	9	1. faza	0	0,7	0	2,7	0	0
11. apr	10	1. faza	0	0,8	0	3,4	0	0
12. apr	11	1. faza	0	0,8	0	4,2	0	0
13. apr	12	1. faza	11	0,8	0	0,8	0	0
14. apr	13	1. faza	0	0,8	0	1,5	0	0
15. apr	14	1. faza	0	0,8	0	2,3	0	0
16. apr	15	1. faza	0	0,8	0	3,1	0	0
17. apr	16	1. faza	11	0,8	0	0,8	0	0
18. apr	17	1. faza	0	0,8	0	1,5	0	0
19. apr	18	1. faza	0	0,8	0	2,3	0	0
20. apr	19	1. faza	0	0,8	0	3,1	0	0
21. apr	20	1. faza	0	0,9	0	3,9	0	0
22. apr	21	1. faza	0	0,9	0	4,8	0	0
23. apr	22	1. faza	13	0,9	0	0,9	0	0
24. apr	23	1. faza	0	0,9	0	1,7	0	0
25. apr	24	1. faza	0	0,9	0	2,6	0	0
26. apr	25	1. faza	0	0,9	0	3,4	0	0
27. apr	26	1. faza	13	0,9	0	0,9	0	0
28. apr	27	1. faza	0	0,9	0	1,7	0	0
29. apr	28	1. faza	0	0,9	0	2,6	0	0
30. apr	29	1. faza	0	0,9	0	3,4	0	0
1. maj	30	1. faza	0	1,1	0	4,5	0	0
2. maj	31	1. faza	0	1,1	0	5,6	0	0
3. maj	32	1. faza	16	1,1	0	1,1	0	0
4. maj	33	2. faza	0	1,1	0	2,2	0	0
5. maj	34	2. faza	0	1,1	0	3,3	0	0
6. maj	35	2. faza	0	1,1	0	4,4	0	0
7. maj	36	2. faza	16	1,1	0	1,1	0	0
8. maj	37	2. faza	0	1,1	0	2,2	0	0
9. maj	38	2. faza	0	1,1	0	3,3	0	0

se nadaljuje...

...nadaljevanje Priloge B

10. maj	39	2. faza	0	1,1	0	4,4	0	0
11. maj	40	2. faza	0	1,8	0	6,1	0	0
12. maj	41	2. faza	0	1,8	0	7,9	0	0
13. maj	42	2. faza	18	1,8	0	1,8	0	0
14. maj	43	2. faza	0	1,8	0	3,5	0	0
15. maj	44	2. faza	0	1,8	0	5,3	0	0
16. maj	45	2. faza	0	1,8	0	7	0	0
17. maj	46	2. faza	18	1,8	0	1,8	0	0
18. maj	47	2. faza	0	1,8	0	3,5	0	0
19. maj	48	2. faza	0	1,8	0	5,3	0	0
20. maj	49	2. faza	0	1,8	0	7	0	0
21. maj	50	2. faza	0	2,5	0	9,5	0	0
22. maj	51	2. faza	0	2,5	0	12	0	0
23. maj	52	2. faza	19	2,5	0	2,5	0	0
24. maj	53	2. faza	0	2,5	0	5	0	0
25. maj	54	2. faza	0	2,5	0	7,6	0	0
26. maj	55	2. faza	0	2,5	0	10	0	0
27. maj	56	2. faza	19	2,5	0	2,5	0	0
28. maj	57	2. faza	0	2,5	0	5	0	0
29. maj	58	2. faza	0	2,5	0	7,6	0	0
30. maj	59	2. faza	0	2,5	0	10	0	0
31. maj	60	2. faza	0	2,5	0	13	0	0
1. jun	61	2. faza	0	3,4	0	16	0	0
2. jun	62	2. faza	0	3,4	19,3	0	27,6	0,94
3. jun	63	2. faza	19	3,4	0	3,4	0	0
4. jun	64	2. faza	0	3,4	0	6,7	0	0
5. jun	65	2. faza	0	3,4	0	10	0	0
6. jun	66	2. faza	0	3,4	0	14	0	0
7. jun	67	2. faza	19	3,4	0	3,4	0	0
8. jun	68	2. faza	0	3,4	0	6,7	0	0
9. jun	69	2. faza	0	3,4	0	10	0	0
10. jun	70	2. faza	0	3,4	0	14	0	0
11. jun	71	2. faza	0	4,3	0	18	0	0
12. jun	72	2. faza	0	4,3	22	0	31,4	0,85
13. jun	73	2. faza	20	4,3	0	4,3	0	0
14. jun	74	2. faza	0	4,3	0	8,5	0	0
15. jun	75	2. faza	0	4,3	0	13	0	0
16. jun	76	2. faza	0	4,3	0	17	0	0
17. jun	77	2. faza	20	4,3	0	4,3	0	0
18. jun	78	2. faza	0	4,3	0	8,5	0	0
19. jun	79	2. faza	0	4,3	0	13	0	0
20. jun	80	2. faza	0	4,3	0	17	0	0

se nadaljuje...

...nadaljevanje Priloge B

21. jun	81	2. faza	0	4,8	21,9	0	31,2	0,75
22. jun	82	2. faza	0	4,8	0	4,8	0	0
23. jun	83	3. faza	20	4,8	0	4,8	0	0
24. jun	84	3. faza	0	4,8	0	9,6	0	0
25. jun	85	3. faza	0	4,8	0	14	0	0
26. jun	86	3. faza	0	4,8	19,2	0	27,5	0,66
27. jun	87	3. faza	20	4,8	0	4,8	0	0
28. jun	88	3. faza	0	4,8	0	9,6	0	0
29. jun	89	3. faza	0	4,8	0	14	0	0
30. jun	90	3. faza	0	4,8	19,2	0	27,5	0,66
1. jul	91	3. faza	0	5	0	5	0	0
2. jul	92	3. faza	0	5	0	10	0	0
3. jul	93	3. faza	21	5	0	5	0	0
4. jul	94	3. faza	0	5	0	10	0	0
5. jul	95	3. faza	0	5	0	15	0	0
6. jul	96	3. faza	0	5	20	0	28,6	0,66
7. jul	97	3. faza	21	5	0	5	0	0
8. jul	98	3. faza	0	5	0	10	0	0
9. jul	99	3. faza	0	5	0	15	0	0
10. jul	100	3. faza	0	5	20	0	28,6	0,66
11. jul	101	3. faza	0	5,1	0	5,1	0	0
12. jul	102	3. faza	0	5,1	0	10	0	0
13. jul	103	3. faza	22	5,1	0	5,1	0	0
14. jul	104	3. faza	0	5,1	0	10	0	0
15. jul	105	3. faza	0	5,1	0	15	0	0
16. jul	106	3. faza	0	5,1	20,6	0	29,4	0,67
17. jul	107	3. faza	22	5,1	0	5,1	0	0
18. jul	108	3. faza	0	5,1	0	10	0	0
19. jul	109	3. faza	0	5,1	0	15	0	0
20. jul	110	3. faza	0	5,1	20,6	0	29,4	0,67
21. jul	111	3. faza	0	4,8	0	4,8	0	0
22. jul	112	3. faza	0	4,8	0	9,7	0	0
23. jul	113	3. faza	21	4,8	0	4,8	0	0
24. jul	114	3. faza	0	4,8	0	9,7	0	0
25. jul	115	3. faza	0	4,8	0	15	0	0
26. jul	116	3. faza	0	4,8	19,3	0	27,6	0,66
27. jul	117	3. faza	21	4,8	0	4,8	0	0
28. jul	118	3. faza	0	4,8	0	9,7	0	0
29. jul	119	3. faza	0	4,8	0	15	0	0
30. jul	120	3. faza	0	4,8	19,3	0	27,6	0,66
31. jul	121	3. faza	0	4,8	0	4,8	0	0
1. avg	122	3. faza	0	4,5	0	9,3	0	0

se nadaljuje...

...nadaljevanje Priloge B

2. avg	123	3. faza	0	4,5	0	14	0	0
3. avg	124	3. faza	20	4,5	0	4,5	0	0
4. avg	125	3. faza	0	4,5	0	8,9	0	0
5. avg	126	3. faza	0	4,5	0	13	0	0
6. avg	127	3. faza	0	4,5	0	18	0	0
7. avg	128	3. faza	20	4,5	0	4,5	0	0
8. avg	129	3. faza	0	4,5	0	8,9	0	0
9. avg	130	3. faza	0	4,5	0	13	0	0
10. avg	131	3. faza	0	4,5	0	18	0	0
11. avg	132	3. faza	0	4	21,9	0	31,3	0,91
12. avg	133	3. faza	0	4	0	4	0	0
13. avg	134	3. faza	19	4	0	4	0	0
14. avg	135	3. faza	0	4	0	8	0	0
15. avg	136	3. faza	0	4	0	12	0	0
16. avg	137	4. faza	0	4	0	16	0	0
17. avg	138	4. faza	19	4	0	4	0	0
18. avg	139	4. faza	0	4	0	8	0	0
19. avg	140	4. faza	0	4	0	12	0	0
20. avg	141	4. faza	0	4	0	16	0	0
21. avg	142	4. faza	0	2,4	0	18	0	0
22. avg	143	4. faza	0	2,4	20,8	0	29,7	1,43
23. avg	144	4. faza	21	2,4	0	2,4	0	0
24. avg	145	4. faza	0	2,4	0	4,8	0	0
25. avg	146	4. faza	0	2,4	0	7,2	0	0
26. avg	147	4. faza	0	2,4	0	9,6	0	0
27. avg	148	4. faza	21	2,4	0	2,4	0	0
28. avg	149	4. faza	0	2,4	0	4,8	0	0
29. avg	150	4. faza	0	2,4	0	7,2	0	0
30. avg	151	4. faza	0	2,4	0	9,6	0	0
31. avg	152	4. faza	0	2,4	0	12	0	0
1. sep	153	4. faza	0	1,3	0	13	0	0
2. sep	154	4. faza	0	1,3	0	15	0	0
3. sep	155	4. faza	24	1,3	0	1,3	0	0
4. sep	Konec							