

SISTEM ZA PODPORO ODLOČANJU O NAMAKANJU (SPON): PRIMER UPORABE V PRIDELAVI HMELJA

Matjaž GLAVAN¹, Luka HONZAK², Luka ŽVOKELJ³, Rozalija CVEJIC⁴,
Boštjan NAGLIČ⁵ in Marina PINTAR⁶

Strokovni članek / professional article

Prispelo / received: 23. 10. 2021

Sprejeto / accepted: 22. 12. 2021

Izvleček

Nestrokovno izvajanje namakanja lahko negativno vpliva na kakovost in količino pridelka, posledično se lahko povečajo stroški delovanja namakalnega sistema, poveča se poraba vode ter možnost izgub vode v podtalje, s čimer se lahko izpirajo rastlinska hranila in ostanki sredstev za varstvo rastlin. Strokovno ustrezno izvajanje namakanja pomeni, da izvajalec namakanja na podlagi potreb rastlin po vodi določa časovni okvir in količino dodane vode s ciljem doseganja čim učinkovitejše rabe vode. Pretekle raziskave in projekti v Sloveniji so pokazali, da pridelovalci v Sloveniji pogosto namakajo po občutku in na podlagi preteklih izkušenj. V tem prispevku predstavljamo vzpostavitev in delovanje sistema podpore odločanju o namakanju (SPON), ki je bil razvit v okviru projekta LIFE ViVaCCAdapt in pozneje nadgrajen v EIP projektu PRO-PRIDELAVA. SPON temelji na meritvah vsebnosti vode v tleh, agrometeorološke napovedi Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) in izračunu potreb po namakanju z modelom ARSO IRRFIB. Z dodanimi vhodnimi podatki o tleh, razvojni fazi rastline in načinu namakanja ter petdnevne napovedi potencialne evapotranspiracije in količine padavin izračunava obrok namakanja za določeno kulturo. SPON pridelovalcem omogoča učinkovitejšo rabo vode za namakanje.

Ključne besede: kmetijstvo, namakanje, podnebne spremembe, sistem za podporo odločanju o namakanju, SPON

¹ Doc. Dr., univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, e-pošta: matjaz.glavan@bf.uni-lj.si

² Univ. dipl. meteorol., BO-MO, d.o.o., Bratovševa ploščad 4, 1000 Ljubljana, e-pošta: luka@bo-mo.si

³ Mag. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, e-pošta: luka.zvokelj@bf.uni-lj.si

⁴ Dr., univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, e-pošta: rozalija.cvejic@bf.uni-lj.si

⁵ Dr., univ. dipl. inž. agr., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, Cesta Žalskega tabora 2, 3310 Žalec, Slovenija, e-pošta: bostjan.naglic@ihps.si

⁶ Prof. Dr., univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, e-pošta: marina.pintar@bf.uni-lj.si

IRRIGATION DECISION SUPPORT SYSTEM (SPON): EXAMPLE OF USE IN HOP PRODUCTION

Abstract

Improper irrigation can negatively affect the quality and quantity of crops, resulting in increased irrigation system operating costs, increased water consumption and the possibility of water losses, which can leach plant nutrients and residues of plant protection products. Professionally correct implementation of irrigation means that an irrigator, based on the plants water needs, determines the timing and quantity of water application with the purpose of achieving efficient water use. Past research and projects in Slovenia have shown that growers in Slovenia often irrigate by feeling and based on past experience. As a part of this research, we present the establishment and operation of the Irrigation Decision Support System (SPON), which was developed within the LIFE ViVaCCAdapt project and later upgraded in the EIP PRO-PRIDELAVA project. SPON is based on measurements of soil water content, agro-meteorological forecasts of the Slovenian Environment Agency (ARSO) and calculation of irrigation water needs using the model of the ARSO IRRFIB. With added input data on soil, phenology and irrigation method, and a five-day forecast of potential evapotranspiration and precipitation, it calculates the irrigation rate for a given crop. SPON enables growers to use irrigation water more efficiently.

Keywords: agriculture, irrigation, climate change, irrigation decision support system, SPON

1 UVOD

Od učinkovitosti izvajanja namakanja je odvisno, koliko vode rastlina porabi na enoto pridelka. Med pridelovalci in strokovnjaki se pojavlja mnogo dilem o tem, kdaj in koliko namakati za dosego optimalne kakovosti in količine pridelka in katero orodje uporabiti za izvajanje pravilnega namakanja.

Pretekle raziskave v Sloveniji so pokazale, da pridelovalci v Sloveniji pogosto namakajo po občutku in na podlagi preteklih izkušenj. Tako se namakanje izvaja prepozno, prehitro, preredito ali prepogosto in v premajhnih ali prevelikih namakalnih obdobjih (Cvejić in sod., 2020). Neoptimalna preskrba z vodo se odraža v: (1) zdravstvenem stanju rastlin (več bolezni rastlin in večja poraba fitofarmaceutskih sredstev), (2) količini, kakovosti in obstojnosti pridelka, (3) zmanjšanem sprejemu hranil v rastlino, (4) zmanjšani učinkovitosti in slabši razgradnji fitofarmaceutskih sredstev, (5) povečanem spiranju hranil in ostankov fitofarmaceutskih sredstev v podtalje in (6) slabši učinkovitosti rabe vode.

Vodenje strokovno pravilnega namakanja temelji na meritvah količine vode v tleh, vremena (evapotranspiracija, padavine) in rastlin (faza razvoja in koeficient

rastline, efektivna globina korenin) (Hunsaker in sod., 2015; Soulis in sod., 2015). Vodenje namakanja opisuje postopek, s katerim izvajalec namakanja določa časovni okvir in količino dodane vode. Kot navaja Hillel (2004), sta v povezavi s tem bistveni dve vprašanji: kdaj pričeti namakati in koliko vode dodati z namakanjem. Na prvo vprašanje je odgovor, da tako pogosto, da rastline niso v stresu zaradi pomanjkanja vode ter da je ekonomsko sprejemljivo. Na drugo vprašanje je odgovor, da dodati toliko vode, da se nadomesti evapotranspiracija (ET) in da se hkrati prepreči izgube vode pod območje glavnine koreninskega sistema. Tam (2006) navaja, da je potrebno upoštevati tudi učinkovitost namakanja, ki je razmerje med količino vode, ki jo dovedemo na namakalno površino ter količino vode, ki jo rastline dejansko porabijo. Namakanje se lahko izvaja z uporabo več pristopov, ki, kot navaja Abubaker (2009), lahko temeljijo na spremljanju količine vode v tleh, agrometeoroloških podatkov ali stresa rastlin. Spremljanje vlažnosti tal je eden izmed najpomembnejših pristopov za vodenje namakanja. Za ta namen je lahko uporabljenih več naprav in pristopov, kot so gravimetrično določanje vsebnosti vode v tleh, prstni (ročni) in vizualni preizkus, uporaba različnih analognih ali elektronskih senzorjev (Abubaker, 2009). Spremljanje agrometeoroloških podatkov je pristop, pri katerem se količina dodane vode z namakanjem odmeri glede na izmerjene vrednosti evapotranspiracije v nekem časovnem obdobju. Za ta pristop se lahko uporabijo različni vodnobilančni modeli (Hillel, 1990). Pristop spremljanja stresa rastlin lahko zajema direktno vizualno ugotavljanje stresa zaradi pomanjkanja vode, metodo merjenja temperature rastlin ter metode, kot so določanje indeksa pomanjkanja vode v rastlini ali potencial vode v listih (Jackson, 1982; Abubaker, 2009). Študije v različnih delih sveta so pokazale, da ima pravilno vodenje namakanja pomembno vlogo pri doseganju večjih prihrankov vode in produktivnosti porabe vode za nadzemno kapljično namakanje različnih rastlin (Bucks in sod., 1988; Jensen in sod., 1990; Hunsake in sod., 1998; Jones, 2004; Pereira in sod., 2009; Evett in sod., 2012; Allen in sod., 2005; Darouich in sod., 2014).

V Sloveniji imamo nekaj izkušenj na področju izdajanja namakalnih nasvetov. Za namakanje hmelja Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije že vrsto let izdaja priporočila za začetek namakanja za več tipov tal. Postopek temelji na gravimetričnem določanju količine vode v tleh, ki je zahteven tako fizično kot časovno in ne omogoča dinamičnega sledenja vsebnosti vode v tleh. Na Agenciji RS za okolje pa izvajajo priporočila za začetek namakanja ob uporabi modela IRRFIB, ki izračunava vodno bilanco tal (Sušnik, 2005; Sušnik, 2014, Valher, 2016). Oba načina svetovanja imata ključno pomanjkljivost, da pri določitvi potreb po namakanju ne upoštevata trenutne vsebnosti vode v tleh.

V slovenskem prostoru se v zadnjih letih, zaradi vse pogostejših suš, povezanih s podnebnimi spremembami, krepi zavedanje, da je namakanje nujno potreben tehnološki ukrep za vzdrževanje kmetijske pridelave. Pospešeno se odvijajo tudi

posodobitve zastarelih namakalnih sistemov in gradnje novih. Zaradi vseh teh dejstev postaja strokovno pravilno izvajanje namakanja aktualna tema v kmetijstvu. Uporabniki namakanja brez strokovne podpore ne bodo mogli izvajati strokovno pravilno. Ustrezen določitev začetka namakanja in količine dodane vode z namakanjem skoraj vsem uporabnikom namakalnih sistemov v Sloveniji predstavlja izziv.

V tem prispevku predstavljamo delovanje Sistema podpore odločanju o namakanju (SPON), ki je bil razvit v okviru projekta LIFE ViVaCCAdapt in pozneje nadgrajen v EIP projektu PRO-PRIDELAVA. SPON je bil v obdobju 2020-2021 testno uporabljen pri pridelavi hmelja na izbrani kmetiji v Savinjski dolini. Podana je analiza stroškov in koristi uporabe SPON v pridelavi hmelja.

2 MATERIAL IN METODE DELA

2.1 Vzpostavitev infrastrukture za spremljanje vsebnosti vode v tleh

Infrastruktura za spremljanje vsebnosti vode v tleh obsega komunikacijsko napravo s SIM kartico, baterijo in sončno celico za napajanje baterije. Vse skupaj je nameščeno v vodotesno ohišje, sončna celica pa se nahaja na vrhu ohišja. S komunikacijsko napravo so povezani merilniki vsebnosti vode v tleh. Za namen izvajanja projekta smo uporabili merilnike SM150T proizvajalca Delta-T Devices Ltd., Cambridge, VB, ki poleg vsebnosti vode v tleh merijo tudi temperaturo. Na območju namakanih površin morajo biti merilniki nameščeni na primerno mesto. V trajnih nasadih (npr. hmeljiščih, vinogradih, sadovnjakih) smo jih namestili v vrsti med rastlinami. Pri ostalih kulturah (vrtnine, poljščine) smo jih namestili na sredino gredic oziroma tam, kjer so tla najbolj reprezentativna za celotno površino. Merilniki vsebnosti vode v tleh ne merijo neposredno, temveč merijo relativno dielektričnost tal, ki je močno pogojena z vsebnostjo vode v tleh. Za uporabo merilnikov SM150T izmerjeno relativno dielektričnost tal s pomočjo kalibracijskih enačb, ki jih priporoča proizvajalec, pretvorimo v vsebnost vode v tleh v volumskih odstotkih. Splošna polinomska kalibracijska enačba proizvajalca SM150T za povprečna mineralna tla je prikazana v enačbi 1 (Delta-T Devices, 2016).

$$\theta = -0.0714 + 1.7190V - 3.7213V^2 + 5.8402V^3 - 4.3521V^4 + 1.2752V^5 \quad \text{Enačba 1}$$

kjer je θ vsebnost vode v tleh (vol. %), V pa je izhodni podatek v voltih.

V primeru, da ne želimo uporabiti splošne kalibracijske enačbe, lahko sonde specifično kalibriramo za določen tip tal, kjer so vstavljene sonde. To se izvede v laboratoriju na neporušenem vzorcu tal. V okviru projekta PRO-PRIDELAVA smo merilnike talno specifično kalibrirali za največjo možno natančnost meritev.

Merilnike vsebnosti vode v tleh smo namestili na ustrezno globino, kjer se nahaja glavna masa korenin namakane kulture (pri hmelju je globina aktivnih korenin, ki črpajo največ vode na globini do 40 cm). Merilne elektrode smo skrbno namestili v neporušen del tal. Ob vgradnji smo pazili, da je bil stik med merilnimi elektrodami in tlemi tesen, saj so v nasprotnem primeru meritve napačne. V preteklih projektih smo ugotovili, da je za delovanje sistema napovedi za namakanje bolje, če je na lokaciji vgrajenih več merilnikov, zato smo v tem projektu vgradili štiri. Prve tri merilnike smo namestili horizontalno na globini glavne mase korenin (na globini 20 cm) in so bili namenjeni izračunu vsebnosti vode v tleh. Z uporabo treh merilnikov na enaki globini se je preprečilo morebitno nepravilno delovanje enega od treh merilnikov, nameščenih v območju korenin. Četrty merilnik smo namestili pod glavno maso korenin (na globino 40 cm), in je pomagal nadzorovati morebitno pronicanje vode v globlji del tal oz. pod glavno maso korenin rastlin.

Po namestitvi merilnikov vode v tleh smo tla skrbno zasuli ter merilnike priključili na komunikacijsko napravo. V sklopu projekta smo na vsakem merilnem mestu namestili tudi dežemer.

2.2 Določanje vodno zadrževalnih lastnosti tal

V okviru projekta smo določili vodno zadrževalne lastnosti tal, ki so potrebne za upravljanje namakanja. Poljsko kapaciteto tal za vodo (PK) smo določili v laboratoriju z napravo HYPROP® (Schindler, 1980; UMS, 2015), točko venenja (TV) pa z uporabo tlačne posode (Richards, 1941). Ko smo določili osnovne parametre fizikalnih lastnosti tal, smo določili tudi kritično točko (KT), ki predstavlja količino vode pri tenziji/matričnem potencialu vode v tleh, ko začne rastlina del energije, ki bi jo sicer porabila za rast in oblikovanje pridelka, porabljati za premagovanje matričnega potenciala vode v tleh. Rastline imajo različno sposobnost odvzema vode iz tal in so različno odporne proti suši, zato je KT vrstno in tudi sortno specifična. KT smo izračunali na podlagi faktorja p , ki označuje delež lahko dostopne vode za posamezno rastlino v določenih tleh (npr. za korenček je faktor p 0,35, za hmelj 0,50, za solato 0,30, za jagode 0,15 itd.). Z namakanjem smo poskušali vzdrževati vodo v tleh med KT in PK.

2.3 Spremljanje fenoloških faz rastline

Različne rastline imajo različne potrebe po vodi. Te potrebe se med rastno dobo rastlin spreminjajo. V nekaterih fenofazah rastlin je za doseganje kakovosti in količine pridelka izjemno pomembno, da rastlina dobi dovolj vode. V drugih primerih je koristno, če je dobi dovolj, a ne preveč, saj so tako kakovost, skladiščna sposobnost in okus pridelka boljši. Za potrebe projekta smo za vsako kulturo določili fenofaze, ki najbolj vplivajo na različne zahteve rastlin po vodi. Čas začetka in konca posameznih fenofaz je ključen podatek za izračune vodne bilance.

Rastline imajo v različnih fenofazah različne koeficiente rastline (kc), ki so potrebni za izračun potencialne evapotranspiracije (ETc).

V okviru projekta smo določile fenofaze ter kc in globino glavne mase korenin za najpogostejše kmetijske kulture v Sloveniji. Preglednica 1 prikazuje te podatke na primeru hmelja v Savinjski dolini.

Preglednica 1: Fenofaze za hmelj v Savinjski regiji, izbrane v okviru projekta EIP PRO-PRIDELAVA za namen uporabe v Sistemu podpore odločanja o namakanju (SPON)

| |
|---------------------------|
| Kultura: Hmelj |
| Faktor p: 0,5 |
| Število fenofaz: 7 |

| | Opis fenofaze | BBCH | Občutljivost na sušni stres | Kc | Globina korenin (cm) | Začetek rastle dobe (dan, mesec) | Čas trajanja (dni) |
|---|--------------------------------------|------|-----------------------------|------|----------------------|----------------------------------|--------------------|
| 1 | prvi poganjki | 9 | | 0,30 | 40 | 15. 4. | 7 |
| 2 | prvi par listov razgrnjen | 11 | | 0,30 | 40 | | 28 |
| 3 | pojav stranskih poganjkov (prvi par) | 21 | | 0,60 | 40 | | 30 |
| 4 | rastlina dosegla vrh opore | 38 | občutljiva | 0,90 | 40 | | 30 |
| 5 | začetek cvetenja | 61 | zelo občutljiva | 1,15 | 40 | | 20 |
| 6 | storžki končna velikost | 79 | zelo občutljiva | 1,15 | 40 | | 25 |
| 7 | zrelost storžkov, pobiranje pridelka | 89 | | 0,60 | 40 | | 20 |

2.4 Vodna bilanca v tleh

Na vodno bilanco v zgornjem sloju tal v globini glavne mase korenin rastlin vpliva več dejavnikov. Oblika in pokrovnost površine vplivata na količino infiltriranih padavin; tekstura in vodno zadrževalne lastnosti tal vplivajo na globino pronicanja ter kapilarni dvig vode. Vodno bilanco lahko uravnavamo z namakanjem, s katerim neposredno nadomestimo izgubo vode zaradi ET. Meritve ET so zaradi številnih

dejavnikov, ki vplivajo na ta proces, težavne in redko dostopne, zato se za oceno tega člena vodne bilance pogosto uporabljajo izračuni na osnovi energijske bilance. Referenčna evapotranspiracija (ET_o) je definirana kot ET z referenčne površine, ki jo pokriva travna ruša, visoka 12 centimetrov, in je dobro oskrbovana z vodo (Allen in sod., 1998). Za oceno, koliko vode rastlina potrebuje v določeni fazi rasti, potrebujemo vrednost potencialne evapotranspiracije (ET_c), ki smo jo izračunali kot produkt med k_c in ET_o (Enačba 2).

$$ET_c = ET_o \times k_c \quad \text{Enačba 2}$$

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1 Računski del SPON

Osnova računskega dela SPON temelji na izračunu vodne bilance z modelom Agencije Republike Slovenije za okolje IRRFIB. Model IRRFIB izračuna obrok namakanja za določeno kulturo ob uporabi vhodnih podatkov o tleh, fenologiji in načinu namakanja ter petdnevne napovedi potencialne evapotranspiracije in količine padavin.

IRRFIB je v osnovi mišljen za neprekinjeno delovanje čez celotno rastno sezono, pri čemer na začetku predpostavimo, da je količina vode v tleh enaka PK. Vnaprej je potrebno podati datume nastopa posameznih fenofaz, ki se jih prilagodi in popravi v času dejanskega nastopa fenofaze. Simulacije se lahko popravlja tudi z meritvami količine vode v tleh na terenu.

IRRFIB vodno bilanco (VB) na i -ti dan izračuna kot je prikazano v enačbi 3:

$$VB(i) = VB(i-1) + \text{padavine}(i) - ET_c(i) + V_v(N) \quad \text{Enačba 3}$$

pri čemer je $V_v(N)$ zaloga vode iz preteklih dni, če je zaradi večje količine padavin nastal presežek vode nad vrednostjo pri PK.

Pri izračunu smo upoštevali še naslednje pogoje: (i) v kolikor je bila VB večja kot količina vode pri PK na določeni globini, smo jo nastavili na PK in presežek shranili v V_v , (ii) v kolikor je bila VB nižja od količine vode pri TV na določeni globini, smo jo nastavili na TV, (iii) v kolikor je bila VB manjša od količine vode pri KT na določeni globini, smo ET_c zmanjša za polovico.

Koeficient rastline k_c in globino korenin za posamezen dan IRRFIB izračuna iz datuma nastopa trenutne fenofaze in predvidenega nastopa naslednje z linearno shemo.

IRRFIB je v osnovi namenjen za kontinuiran zagon za celotno rastno sezono, zato so bile potrebne določene prilagoditve. Z namenom, da smo čim manj posegali v izvorno kodo modela smo dodatne funkcionalnosti (npr. minimalni obrok namakanja, učinkovitost namakanja na podlagi tehnologije namakanja) razvili izven modela. V sam IRRFIB smo implementirali le dve dodatni strategiji namakanja, in sicer (i) namakanje do PK in (ii) namakanje do 85 % rastlinam razpoložljive vode, torej do točke, kjer je. $TV+0,85*(PK-TV)$.

3.2 Delovanje Sistema podpore odločanju o namakanju (SPON)

Sistem SPON izračuna priporočeni obrok (v mm in m^3) in čas namakanja (v urah) za 5 dni vnaprej, pri čemer upošteva informacije o trenutni vsebnosti vode v tleh na podlagi merilnikov vodno zadrževalnih lastnostih tal (PK, TV), potrebi rastline po vodi glede na fenofazo, vremensko napoved (padavine, evapotranspiracija) ter tehnologijo namakanja. SPON je sestavljen iz podatkovne baze in štirih modulov.

V **podatkovno bazo** se shranjujejo podatki o:

- uporabniških nastavitvah, in sicer izbrana kultura, regija ter podatki o tleh (PK in TK) in namakanju (rastlinjak, zastirka, tehnologija namakanja, minimalni in maksimalni obrok namakanja, strategija namakanja ipd.),
- kulturah (kc in globina korenin za vsako fenofazo ter trajanje posamezne fenofaze),
- vremenskih napovedih,
- meritvah vsebnosti vode v tleh in
- napovedi namakanja.

Modul »Meritve vode v tleh« prenese podatke o vsebnosti vode v tleh od ponudnikov opreme in jih shrani v podatkovno bazo.

Modul »Vremenska napoved« prenese napoved dnevne referenčne evapotranspiracije in padavin, ki jih Agencija za okolje Republike Slovenije pripravi za 15 regij (<http://www.meteo.si/met/sl/agromet/forecast/>), ter napovedi shrani v podatkovno bazo.

Modul »Program za izračun potreb po namakanju«, ki temelji na vodnobilančnem modelu IRRFIB, na podlagi vseh razpoložljivih podatkov izračuna priporočilo za namakanje ter ga vpiše v podatkovno bazo. Izračuni se zaženejo vsak dan med rastno sezono ob 9.30 uri zjutraj.

Modul »Spletni vmesnik« je razdeljen na štiri področja:

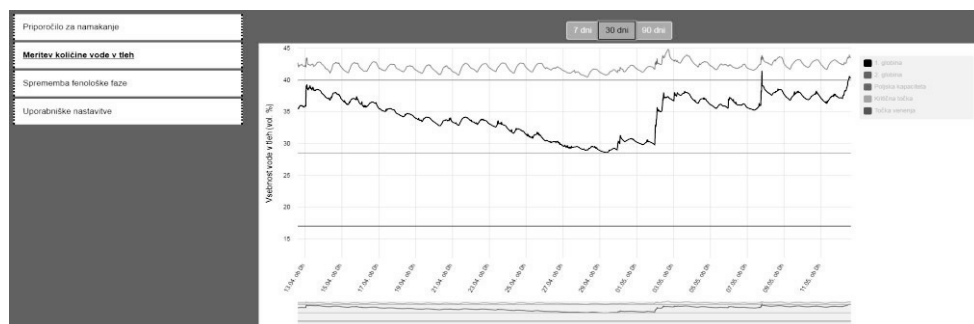
- **Priporočilo za namakanje**, kjer so v tabelarični obliki podane 5-dnevne napovedi potencialne evapotranspiracije, višine padavin ter priporočene količine vode za namakanje v mm in m^3 na površino ter trajanje namakanja v urah (slika 1).

| Priloga | Datum | Padavine (mm) | Evapotranspiracija (mm) | Količina vode za namakanje (mm oz. L/m ²) |
|------------------------------|--------|---------------|-------------------------|---|
| Meritev količine vode v tleh | 05.05. | 7,3 | 4,6 | 5,3 |
| Sprememba fenološke faze | 06.05. | 4,2 | 0,4 | 8,3 |
| Uporabniške nastavitve | 07.05. | 1,9 | 4 | 10,1 |
| | 08.05. | 2,8 | 2,7 | 14,4 |
| | 09.05. | 6,9 | 3,4 | 1 |

Datum izdanega priporočila: 05.05.2021

Slika 1: Prikaz priporočila za namakanje v Sistemu podpore odločanju o namakanju (SPON).

- **Graf meritev vsebnosti vode v tleh** za do 90 dni nazaj; na grafu so označene tudi značilne točke tal, in sicer PK, KT in TV (slika 2),



Slika 2: Prikaz meritev vsebnosti vode v tleh (vol %) v Sistemu podpore odločanju o namakanju (SPON).

- **Sprememba fenološke faze**, kjer lahko uporabnik vidi (i) trenutno fenofazo z datumom njenega nastopa, (ii) naslednjo fenofazo s predvidenim datumom začetka in (iii) predhodno fenofazo z datumom njenega začetka ter popravi trenutno fenofazo (slika 3).

| Priloga | Trenutna fenološka faza | Vnos spremembe fenološke faze |
|---------------------------------|--|--|
| Priloga za namakanje | Opis: 4. Datum začetka: 27.03.2021 | Nazaj - ta fenološka faza se še ni začela, začela se bo čez: 3 dni 5 dni 10 dni |
| Meritev količine vode v tleh | Prejšnja fenološka faza Opis: 3. Datum začetka: 07.03.2021 | Naprej - nastopila je že naslednja fenološka faza: Predčerašnjim Včeraj Danes |
| Sprememba fenološke faze | Naslednja fenološka faza Opis: 5. Predviden datum začetka: 06.05.2021 | Potrdi spremembo |
| Uporabniške nastavitve | | |

Slika 3: Spremljanje fenološke faze v Sistemu podpore odločanju o namakanju (SPON).

- **Uporabniške nastavitve**, kjer lahko uporabnik pregleda nastavitve o kulturi, regiji, podatkih o tleh (poljska kapaciteta, točka venenja), zastirki, tehnologiji namakanja, minimalnem in maksimalnem obroku namakanja, strategiji namakanja itd. (slika 4).

Slika 4: Prikaz uporabniških nastavitvev v Sistemu podpore odločanju o namakanju (SPON).

3.3 Analiza izvedljivosti v hmeljarstvu

Prednosti uporabe sistema SPON v hmeljarstvu omogočajo kmetom pravočasno prilagoditev na spremenljive vremenske dogodke, s čimer je povezano preprečevanje in blaženje posledic suše. Sistem omogoča boljšo izkoriščenost že nameščene namakalne opreme ter s tem tudi manjšo porabo vode za namakanje. Zaradi visoke dohodkovne učinkovitosti pridelave hmelja je bila uporaba sistema SPON s strani kmetijskih svetovalcev ocenjena kot zelo priporočljiva ter smiselna.

V hmeljarstvu je potrebno biti še posebej pozoren pri namestitvi opreme, saj je natančnost delovanja odvisna od pravilnosti montaže merilnikov za spremljanje vlažnosti tal. Zaradi specifične izvedbe kapljičnega namakanja v hmeljarstvu (kjer so kapljične cevi nameščene na vrhu žičnice) je bilo v nekaterih primerih, zaradi slabega reagiranja merilnikov, spremljanje količine vode v tleh, v kombinaciji s tehnologijo namakanja, ocenjeno kot zahtevno. S pravilno uporabo sistema SPON se v hmeljarstvu pričakuje povečanje pridelka in njegove kakovosti in s tem povečanje dobička.

3.4 Stroški vzpostavitve in vzdrževanja

Okvirna cena za zagon SPON na eni lokaciji, je okoli 2.400 EUR (leta 2021). Od tega vgradnja opreme za izvajanje meritev vsebnosti vode v tleh stane 1.700 EUR (leto 2021). Komplet vključuje štiri merilnike vsebnosti vode v tleh, vključno s komunikacijsko napravo (modem + SIM kartico), dežemerom, solarnim panelom in polnilno baterijo. Cene med ponudniki se razlikujejo (Preglednica 2). Stroški vzdrževanja se gibljejo okoli 100-200 EUR/letno in so odvisni od garancijskih

pogojev in potreb po svetovanju. Strošek opreme in analiz je lahko za kmete tudi manjši v kolikor se država odloči za finančno podporo preko mehanizma neposrednih plačil v okviru ukrepov investicij v kmetijska gospodarstva in namakalne sisteme.

V preglednici 2 so predstavljeni skupni stroški za postavitev ene merilne naprave na pridelovalni površini v prvem letu.

Preglednica 2: *Skupni stroški za vzpostavitev sistema SPON na terenu v prvem letu (cene za leto 2021).*

| VRSTA STROŠKA | Cena (EUR brez DDV) |
|--|------------------------|
| Laboratorijske analize | |
| - Pedološke analize (priprava vzorca tal, pH, org. snov, P ₂ O ₅ , K ₂ O, tekstura) | 50,00 |
| - Paket analize vodno zadrževalnih lastnosti tal (poljska kapaciteta, točka venenja) | 420,00 |
| Oprema za meritve vsebnosti vode v tleh | |
| - Komplet štirih sond, vključno s komunikacijsko napravo (modem + SIM kartica), dežemerom, solarnim panelom in polnilno baterijo | 1.700,00 |
| Mesečne storitve za najem SIM | |
| - 12 mesečni strošek prenosa podatkov v SPON | 30,00 |
| Svetovanja ob priključitvi sistema (kmetijsko svetovanje) | |
| Svetovanje ter nadzor pri priključitvi v prvem letu | 100,00 |
| - Prvi pogovor s kmetom o SPON (1h), Popis namakalnega sistema (1h), Drugi pogovor o fenofazah in uporabi SPON (1h), Občasno vsebinsko svetovanje (1h) | |
| Tehnična delovanje SPON (Agencija RS za okolje) | |
| - Vnos novega uporabnika (2h) | 100,00 |
| - Posodabljanje in kontrola podatkov (1h) | |
| STROŠKI SKUPAJ | 2.400,00 |

4 SKLEPI

Model SPON je enostaven za uporabo v trajnih nasadih (npr. hmelj, jablane, vinska trta), kjer ni potrebe po vsakoletnem prestavljanju vgrajenih merilnikov vsebnosti vode v tleh. Merilniki zaradi plitvega koreninskega sistema ne-trajnih rastlin (npr. vrtnine, poljščine) večinoma niso nameščeni dovolj globoko, zaradi česar bi se ob vsakoletni redni obdelavi tal (kot npr. oranje) lahko poškodovali. V izogib poškodbam je potrebno pred vsako obdelavo tal merilnike izkopati in jih po setvi ali sajenju ponovno pravilno vgraditi v okolico mesta, kjer so bila odvzeta tla za analizo vodno zadrževalnih lastnosti tal. Več pozornosti je potrebno nameniti tudi rednemu spremljanju fenofaz rastlin, saj je rastna doba v primerjavi s trajnimi

kulturami običajno krajša, fenofaze se hitreje spreminjajo in imamo lahko v enem letu več različnih kultur na istem mestu.

Kmetovalci, ki se želijo priključiti v sistem SPON, morajo najprej imeti informacije o lastnostih pridelovalne površine (lokacija površine, vodno zadrževalne lastnosti tal ter popis namakalne opreme). Imeti morajo tudi vgrajeno opremo za merjenje vsebnosti vode v tleh. Glede na trenutno stanje znaša okvirna cena za analize vodno zadrževalnih lastnosti tal okoli 450 EUR. Cena kompleta štirih merilnikov vsebnosti vode v tleh, komunikacijske naprave v vodotesnem ohišju s solarnim panelom, SIM kartico, polnilno baterijo ter dežemerom se giblje okoli 1,700.00 EUR.

SPON izračunava priporočila za namakanje, ki so za 25 % nižja od potreb za dosežek PK, zaradi česar se zmanjša verjetnost izgube vode v podtalje, saj se morebitne padavine bolje izkoristijo. Nekajletne pridobljene izkušnje v okviru projekta LIFE ViVaCCAdapt so pokazale, da je z vzdrževanjem omenjene nižje vsebnosti vode v tleh mogoče doseči vsaj 24 % zmanjšanje porabe vode, energije in izpustov CO₂, ki nastajajo zaradi namakanja (Cvejić in sod., 2020).

Izzivov pri vpeljavi SPON je še veliko. Enega izmed večjih predstavlja vprašanje, kam namestiti merilnike vsebnosti vode v tleh, da bodo meritve čim bolj značilne za celotno njivo ali nasad. Pri tem je lahko v veliko pomoč poznavanje heterogenosti lastnosti zemljišča s strani lastnikov oz. obdelovalcev. Posebno pozornost je potrebno nameniti pravilnosti vgradnje merilnikov v tla. Merilniki so namreč zelo občutljive naprave, saj na njihove meritve vplivajo že manjše motnje v tleh, ki jih lahko povzročijo na primer skelet (kamni), odmrli rastlinski deli, drugačna gostota tal, ali mikrozaslojenost tal, ki jo lahko povezana tudi z načinom namakanja. Poleg tega je za čim bolj natančne meritve potrebno preveriti, ali je v danih tleh, ob uporabi izbranega merilnika, potrebna talno specifična kalibracija. Največji izziv pa zagotovo predstavlja izobraževanje pridelovalcev za povečanje zavedanja o pomenu izvajanja strokovno pravnega namakanja.

Zahvala. Projekt je financiral Evropski kmetijski sklad za razvoj podeželja: Evropa investira v podeželje in Republika Slovenija, št. nepovratnih sredstev 33133–1005/2018/19 (EIP PRO-PRIDELAVA). Prejemnik podpore iz Programa razvoja podeželja RS 2014–2020. Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) se zahvaljujemo za pravico do uporabe modela IRRFIB.

5 VIRI

- Abubaker, J. Irrigation scheduling for efficient water use in dry climates. Second cycle, A2E. Uppsala: SLU, Deptment of Soil Sciences. 2009; 49 s.
- Allen, R. G., Perreira, L. S., Raes, D. in Smith, M. Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Food and Agriculture Organization. 1998; 300 s.
- Allen, R.G., Walter, I.A., Elliott, R.L., Howell, T.A., Itenfisu, D., Jensen, M.E., Snyder, R.L. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Am. Soc. Civil Eng., Reston, VA. 2005
- Bucks, D.A., Allen, S.G., Roth, R.L., Gardner, B.R. Short staple cotton under micro and level-basin irrigation methods. *Irrig. Sci.* 1988; 9, 161–176.
- Cvejić, R., Černič-Istenič, M., Honzak, L., Pečan, U., Železnikar, Š., Pintar, M. Farmers Try to Improve Their Irrigation Practices by Using Daily Irrigation Recommendations—The Vipava Valley Case, Slovenia. *Agronomy*. 2020; 10(9): 1238.
- Darouich, H.M., Pedras, C.M.G., Goncalves, J.M., Pereira, L.S. Drip vs. Surface irrigation: a comparison focusing on water saving and economic returns using multicriteria analysis applied to cotton. *Biosystems Eng.* 2014; 122, 74–90.
- Delta-T Devices. (2016). User manual for the SMT150T soil moisture sensor. Delta-T Devices, Cambridge, VB. Pridobljeno s https://www.delta-t.co.uk/wp-content/uploads/2017/01/SM150_Manual_version_1.2.pdf (27. 11. 2021)
- Evelt, S.R., Schwartz, R.C., Casanova, J.J., Heng, H.K. Soil water sensing for water balance, ET and WUE. *Agric. Water Manage.* 2012; 104 (1), 1–9.
- Hillel, D. Role of irrigation in agricultural systems. V: Stewart B. A., Niel-sen D. R. *Irrigation of Agricultural Crops: Agronomy 30*. American Society of Agronomy. Madison. 1990; 30: 5-30
- Hillel D. Introduction to environmental soil physics. Elsevier/Acad. Press, San Diego, CA. 2004; 494 str.
- Hunsaker, D.J., Clemmens, A.J., Fangmeier, D.D. Cotton response to high frequency irrigation. *Agric. Water Manage.* 1998; 37 (1), 55–74.
- Hunsaker, D., French, A., Waller, P., Bautista, E., Thorp, K., Bronson, K., and Andrade-Sanchez, P. Comparison of traditional and ET-based irrigation scheduling of surface-irrigated cotton in the arid southwestern USA. *Agricultural Water Management*. 2015; 10: 209-224.
- Jackson, R. D. Canopy temperature and crop water stress. *Advance in irrigation volume 1*, Academic Press, New York. 1982; 43-85
- Jensen, M.E., Burman, R.D., Allen, R.G. Evapotranspiration and irrigation requirements, Am. Soc. Civ. Eng. Manuals and Reports on Engineering Practices No. 70, ASCE; New York, N.Y. 1990; 360 str.
- Jones, H.G. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *J. Exp. Bot.* 2004; 55 (407), 2427–2436.
- Pereira, L.S., P, Paredes, E.D., Cholpankulov, O.P., Inchenkov, Teodoro, Horst, M.G. Irrigation scheduling strategies for cotton to cope with water scarcity in the Fergana Valley, Central Asia. *Agric. Water Manage.* 2009; 96 (5): 723–735.
- Richards, L.A. A pressure-membrane extraction apparatus for soil solutions. *Soil Sci.* 1941; 51:377–386

- Schindler, U. Ein Schnellverfahren zur Messung der Wasserleitfähigkeit im teilgesättigten Boden an Stechzylinderproben. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk. Berlin. 1980; 24, 1–7. Cited in: Peters, A. and Durner, W. Simplified Evaporation Method for Determining Soil Hydraulic Properties, Journal of Hydrology. 2008; 356, 147–162
- Soulis, K., Elmaloglou, S., Dercas, N. Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems, Agricultural Water Management. 2015; 148: 258-268.
- Sušnik, A. IRRFIB model and its practical usage for drought estimation in Slovenia. In: Maracchi, G., L. Kajfez-Bogataj, S. Orlandini, F. Rossi & M. Barazutti (eds.): Irrigation and pest and disease models: Evaluation in different environments and web-based applications. European Commission, Brussels. 2005; 36-42.
- Sušnik A. Zasnove kazalcev spremljanja suše na kmetijskih površinah. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo. 2014; 256 str.
- Tam, S., Irrigation scheduling with tensiometers. V: Water Conservation Factsheet. Ministry of Agriculture and Lands, Canada, Order No. 577. 2006; 100-2, 10 str.
- UMS. Manual HYPROP, Version 2015-01, 96 pp. UMS GmbH, Gmunder Straße 37, Munich, Germany. 2015; URL www.metergroup.com/hyprop-2/#support (27. 11. 2021)
- Valher A. Primerjava modelov za računanje vodne bilance tal. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko. 2016; 81 str.