

VODENJE NAMAKANJA HMELJA (*Humulus lupulus* L.): PREGLED

Boštjan NAGLIČ⁷, Rozalija CVEJIC⁸ in Marina PINTAR⁹

Pregledni znanstveni članek / review article

Prispelo / received: 11. 11. 2017

Sprejeto / accepted: 11. 12. 2017

Izvleček

Opravljen je pregled načinov vodenja namakanja hmelja v obdobju 1958–2017. Uporabljajo se štirje načini vodenja namakanja hmelja, ki temeljijo na: (i) spremljanju evapotranspiracije in vodne bilance, (ii) spremljanju tenzije ali vlažnosti tal na različnih globinah v tleh, (iii) meritvah stresa rastline, in (iv) simulacijskih modelih. Načina (iii) in (iv) sta primernejša za raziskave, medtem sta način (i) in (ii) primerna tudi podpora odločanju o namakanju na ravni namakalnega sistema.

Ključne besede: hmelj, *Humulus lupulus*, vodenje namakanja

IRRIGATION SCHEDULING OF HOP (*Humulus lupulus* L.): A REVIEW

Abstract

A review of hop irrigation scheduling in the period 1958–2017 reveals four basic principles to irrigation scheduling of hop that rely on (i) evapotranspiration and water balance, (ii) soil tension or soil moisture across the rooting depth, (iii) measurement of plant stress, and (iv) simulation methods. The methods (iii) and (iv) are more useful as research methods, while method (i) and (ii) are also suitable as a practical tool for irrigation scheduling.

Key words: hops, *Humulus lupulus*, irrigation scheduling

1 UVOD

Hmelj je rastlina z globokimi koreninami (2,4 m ali več), a se večina mase koreninskega sistema nahaja v vrhnjem delu tal (v zgornjih 120 cm). Za optimalno

⁷ Dr., univ. dipl. inž. agr., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, Cesta Žalskega tabora 2, 3310 Žalec, Slovenija, e-pošta: bostjan.naglic@ihps.si

⁸ Dr., univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, e-pošta: rozalija.cvejic@bf.uni-lj.si

⁹ Prof. dr., univ. dipl. inž. agr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, e-pošta: marina.pintar@bf.uni-lj.si

količino in kakovost pridelka je treba ta del korenkega sistema v kritičnih obdobjih rasti ohranjati vlažnega, vendar ne preplavljenega (Dodds, 2017; Evans, 2003). Hmelj porablja 50 % vode iz zgornjih 60 cm tal, 37 % iz globine 60 do 130 cm, 10 % iz globine 130 do 180 cm in ostanek 3 % iz globine od 180 do 240 cm (Middleton, 1963). Sloj tal do 60 cm oz. 30-40 cm je cona najaktivnejšega odvzema vode in hranil oz. najaktivnejši sloj korenin in je zato primerna za ugotavljanje vlažnosti tal za določanje terminov namakanja (Filippov, 1958, cit. po Majer, 2000). Hmelj porablja manj vode na začetku rastne sezone, poraba se nato povečuje do polne razvitosti. Poraba vode je bolj odvisna od količine listne mase rastoče rastline hmelja, manj od vremenskih razmer (Middleton, 1963; Williams in Brown, 1959 (cit. po Majer, 2000)).

Dostop do zanesljive in bogate oskrbe z vodo za namakanje med rastno sezono je pomemben dejavnik pri izbiri lokacije pridelave hmelja (Dodds, 2017). V nekaterih regijah sveta je dovolj padavin za dobro preskrbljenost hmelja z vodo, drugod, v bolj suhih ali polsuhih regijah, pa namakanje predstavlja osnovo za nemoteno in učinkovito pridelavo hmelja (Neve, 1991). Osnovno vodilo v primeru pomanjkanja razpoložljivih vodnih virov je, da razpoložljivo vodo razporedimo strateško. Celotno potrebo rastlin po vodi je pomembno pokriti na začetku rastne sezone in spet v začetku julija in avgusta, kar naj bi bilo boljše kot enakomerno dodajanje majhnih obrokov skozi celotno sezono, ki ima večji negativni vpliv na količino in kakovost pridelka. Škoda v nenamakanih nasadih je še posebej značilna v mlajših nasadih ali v nasadih na plitkih tleh in tleh z majhno vodozadrževalno sposobnostjo (Evans, 2003).

Pomembno je tudi, da se vegetacijska sezona hmelja začne z dobro preskrbljenostjo tal z vodo, a izkušnje kažejo, da pretirano zgodnje namakanje lahko škoduje koreninam, saj lahko povzroča hmeljevo peronosporo in koreninske gnilobe (Evans, 2003; Zepp in sod., 1995). Prvo kritično obdobje je v času cvetenja (prva polovica julija) in drugo med rastjo storžkov (od druge polovice julija do prve polovice avgusta) (Rybaček, 1991). V primeru, da je gladina pozemne vode visoko (t.j. od 120 do 150 cm metrov pod površino tal) lahko med rastno sezono zadosti večini potreb hmelja po vodi in znatno zmanjša potrebo po namakanju (Evans, 2003; Kišgeci, 1974). Hmelj lahko nekaj vode sprejme tudi skozi liste oz. nadzemne dele, in sicer 5000 rastlin preko noči z roso sprejme 3465–8870 l vode in na ta način krije 20 % dnevnih potreb po vodi. Za 1 kg suhe snovi hmelj potrebuje 300-500 l vode (Kišgeci, 1974).

Mnoga območja po svetu in v Evropi se soočajo s pomanjkanjem vode za namakanje, prekomerno rabo vode za namakanje in ne-optimalnim odmerjanje vode za namakanje. Podnebne spremembe prištevamo med okoljske dejavnike, ki bodo pomembno vplivali na razvoj kmetijstva v prihodnosti (Blanco in sod., 2017). Potrebe po vodi za namakanje se bodo s podnebnimi spremembami povečale, kar

bi (že) ob nespremenjeni porabi vode pomenilo povečanje pritiska na vodne sisteme. Da bi spodbudili razvoj učinkovite rabe vode za namakanje, so se z uvedbo Okvirne Vodne direktive v mnogih državah EU cene vode za namakanje bistveno zvišale; na Cipru z 0,17 na 0,24 €/m³, v Grčiji z 0,0137 na 0,64 €/m³ in v Italiji z 0,07 na 0,8 €/m³ (Giannakis in sod., 2016).

Količina in kakovost pridelka sta v kompleksni povezavi s časom in količino dodane vode. Namakanje hmelja včasih da želene rezultate (Slavik in Kopecky, 1997 (cit. po Svoboda in sod., 2008)), včasih pa ne (Thompson, 1967 (cit. po Majer, 2000); Zattler in Maier, 1968 (cit. po Majer, 2000); Brooks, 1961 (cit. po Majer, 2000)).

Ločimo štiri osnovne načine vodenja namakanja (angl. irrigation scheduling), ki temeljijo na: (i) spremljanju evapotranspiracije in vodne bilance, (ii) spremljanju tenzije ali vlažnosti tal na različnih globinah v tleh, (iii) meritvah stresa rastline, in (iv) simulacijskih modelih (Gu in sod., 2017).

Od kakovosti vodenja namakanja je odvisno, koliko vode porabimo za namakanje in kako učinkovita je raba te vode, npr. kakšne so izgube vode, koliko vode rastlina porabi na količinsko ali kakovostno enoto pridelka. Znanje na področju vodenja namakanja hmelja je razdrobljeno. Med pridelovalci in strokovnjaki se pojavlja nemalo dilem o tem, kdaj in koliko namakati za doseg optimalne kakovosti in količine pridelka in katero orodje za vodenje namakanja pri tem uporabiti. Namen prispevka je predstaviti trenutno razumevanje področja in izpostaviti vrzeli na področju vodenja namakanja hmelja.

2 MATERIALI IN METODE

Področje razvoja vodenja namakanja hmelja v Slovenji v obdobju 1968-2015 so podrobno analizirali Naglič in sod. (2016). Zimmermann (1981) je objavil obsežen popis angleških in tujih publikacij o hmelju v obdobju 1898-1970. Kot navaja, so bile znanstvene raziskave na hmelju izvedene že od poznega leta 1800, pri čemer je delo potekalo v mnogih državah, a kot izhaja iz popisa, se jih le majhen del nanaša na namakanje hmelja (4 publikacije v angleškem in 10 publikacij v drugih jezikih), ki nam v času nastajanja tega prispevka niso bile dostopne. Novejši sistematični popis objav s področja namakanja hmelja ne obstaja. Zato smo analizirali nam dostopne tuje objave s področja vodenja namakanja hmelja v obdobju 1958–2017.

Zbrali smo tuje strokovne prispevke, znanstvene prispevke, raziskovalne projekte, biltene ter povzetke s področja namakanja hmelja, objavljene v obdobju 1958-2017. Za pripravo nabora prispevkov smo uporabili podatkovno zbirko Web of Science (WoS) in iskalnik Google. Pri analizi literature s področja vodenja namakanja smo privzeli pristop Gu in sod. (2017). Vire smo razdelili v štiri

tematske kategorije: (i) spremljanje evapotranspiracije in vodne bilance, (ii) spremljanje tenzije ali vlažnosti tal na različnih globinah v tleh, (iii) meritve stresa rastline, in (iv) simulacijski modeli.

3 REZULTATI

Tehnologije namakanja hmelja se razvijajo. V ZDA in EU se je najprej razvilo namakanje v brazde (poplavno namakanje), ki se je priporočalo in uporabljalo v prvi polovici 20. stoletja. V drugi polovici 20. stoletja ga je nadomestilo namakanje z razpršilci (razpršilci, nameščeni nad rastlinami hmelja in rolomati), ki zahteva večje vložke energije (Rybaček, 1991; Zepp in sod., 1995). Vzporedno se je razvila praksa podzemnega kapljičnega namakanja hmelja (cevi položene 40 cm pod rastline) (Rybaček, 1991), pozneje pa še kapljično dodajanje vode z vrhu žičnice (Slavik in Kopecky, 1994), in dodajanja hranil s pomočjo fertigacije, kar je zvišalo izkoristljivost hranil (Wample in Farar, 1983).

3.1 Spremljanje evapotranspiracije in vodne bilance

Poraba vode je bolj odvisna od količine listne mase rastoče rastline hmelja kot od vremenskih pogojev, zato so avtorji že zgodaj predpostavili, da se namakanje pri hmelju ne more pravilno uravnavati s prvotno predlagano metodo merjenja evaporacije (Middleton, 1963). Rezultati 12-letne raziskave namakanja hmelja na Češkem, kjer so bile kapljične cevi napeljene na vrhu žičnice, kažejo, da ta način namakanja pozitivno pripomore k ugodnejši mikroklimi v nasadu hmelja. Temperatura se je zaradi namakanja znižala za 4 °C, kar ima, še posebej v vročih dneh, pozitiven vpliv na biokemične in fiziološke procese v rastlinah hmelja. Pridelek namakanega hmelja je bil v dvanajstletnem obdobju v povprečju višji za 22 %. V namakanem hmelju je bila višja tudi vsebnost alfa-kislin. Na osnovi teh rezultatov so zaključili, da namakanje nima negativnega vpliva na vsebnost alfa-kislin v storžkih hmelja. Prognozo namakanja so izvajali na podlagi tedenskih intervalov vodne bilance (Kopecky in Ježek, 2007). Na osnovi iste metode so namakanje izvajali v štiriletnem (1995-1998) poskusu na hmelju v Žatcu (Češka). Kapljično namakanje na vrhu žičnice je imelo pozitiven vpliv na pridelek suhe snovi hmelja, ki je bil pri namakanem hmelju v povprečju 1,27 t/ha, pri nenamakanem pa 0,88 t/ha (Fric in sod., 1999). Na Češkem so v 7 let trajajoči raziskavi na sorti K-31 primerjali uspešnost napovedi namakanja z uporabo meteorološkega in fiziološkega pristopa (osmotski potencial). Najboljše rezultate glede na potrebo in čas namakanja so dosegli s fiziološko metodo. Na vsebnost alfa-kislin je pomembno vplivalo leto pridelave, ne pa varianta namakanja (Sasin, 1990). Na podlagi raziskav, opravljenih v Vojvodini, so bili določeni kc (faktor rastline), ki se z rastjo hmelja povečujejo in znašajo v začetku rasti 1,2 (pri potencialni evapotraspiraciji 0,97 mm/dan) in v fazi rasti storžkov 2,1 (pri potencialni evapotranspiraciji 4,7 mm/dan) (Kišgeci, 1974). Po drugi strani

navajajo faktorje rastlin za hmelj, ki znašajo od 0,3 do 1,05 (Allen in sod., 1998). V literaturi so navedene tudi ostale metode napovedovanja namakanja na osnovi različnih tipov tal in klimatskih razmer. Avtor navaja, da je namakanje na osnovi te metode povečalo pridelek hmelja za 13,69 %, potreba po vodi pa je bila izražena kot zmnožek biološkega koeficienta hmelja in razlike med napetostjo in pritiskom vodne pare (Kopecky, 1987; cit. po Majer, 2000).

3.2 Spremljanje tenzije ali vlažnosti tal na različnih globinah v tleh

Raziskave, ki za vodenje namakanja hmelja temeljijo na spremljanju vode v tleh, vključujejo uporabo gravimetrične metode (Kišgeci in Vučić, 1979; Kišgeci, 1974), nevtronskih merilcev (Nakawuka, 2017), merjenje elektroprevodnosti (Watermark senzorji) (Graf in sod., 2016; Slavik in Kopecky, 1998) in TDR merilce (Naglič in sod., 2016). Vpliv treh načinov namakanja (kapljično, v brazdah, z razpršilci) na količino pridelka hmelja ni bil statistično značilen. Predvidevajo, da kapljično namakanje ni dalo boljših rezultatov zaradi omejene omočenosti tal okoli korenin hmelja, zaradi česar je ostajala cona najbolj aktivnih korenin (60 do 140 cm od korenin) nezadostno namočena (Kišgeci in Vučić, 1979). Izvedena je bila primerjava učinka različnih načinov vodenja namakanja (brez namakanja, namakanje na osnovi količine vode v zgornjih 60 cm tal, namakanje na osnovi kritičnih obdobj razvoja rastlin, namakanje na osnovi fizioloških pokazateljev) na količino in kakovost pridelka. Povečanje povprečne dnevne temperature za 1 °C je povečalo evapotranspiracijo za 1,8 m³/ha. Namakanje na osnovi kritičnih obdobj razvoja rastlin je imelo pozitiven vpliv na količino pridelka. Namakanje na osnovi vlažnosti tal je imelo pozitiven vpliv na vsebnost alfa-kislin. Namakanje na osnovi fizioloških pokazateljev je imelo negativen vpliv na kakovost pridelka (Kišgeci, 1974).

Raziskovalci so na težkih, ilovnatih tleh analizirali učinek deficitarnega namakanja na pridelek in kakovost hmelja. Vodo so v poskusu dodajali preko podzemnega kapljičnega namakanja. Dodajali so tri različne količine vode (60, 80 in 100 % ET_{hmelja}). Rastline hmelja so se na pomanjkanje vode odzvale z zmanjšano količino pridelka. V primerjavi s 100 % namakanjem, je bil pridelek suhe snovi hmelja tekom 2 let pri 60 % količini dodane vode manjši za 30, 33, 25 in 19 % pri sortah Mt. Hood, Willamette Columbus in Chinok. 80 % namakanje je tekom dveh let zmanjšalo pridelek za 14, 10 in 3 % pri sortah Mt. Hood, Willamette in Chinok. Po drugi strani so rezultati pokazali, da učinek sušnega stresa ni imel statistično značilnega vpliva na kakovost pridelka hmelja. Čeprav zmanjšanje količine pridelka zaradi pomanjkanja vode za celoletno pridelavo ni bilo statistično značilno, je bila izguba prihodkov zaradi zmanjšane količine pridelka večja, kot so bili prihranki pri pridelovalnih stroških zaradi uporabe manj vode. Gospodarsko gledano zato deficitarno namakanje hmelja v dolini Yakima (Washington) ni priporočljivo orodje upravljanja namakanja v pridelavi hmelja (Nakawuka, 2017). Ne glede na to, da avtor navaja nevtronsko sondo kot sprejemljiv način merjenja

vode, za evropske razmere to ne velja. Uporaba tega inštrumenta je povezana z veliko administrativnih prepovedi in je brez zavarovanega prostora na prostem ne moremo uporabljati.

V poljskem poskusu, ki so ga, po navedbah Nakawuka (2013), v obdobju 1983–1986 opravili na poskusnem polju IAREC (Washington), so štiri sorte hmelja (L1, Galena, Eroica in Cascade) izpostavili sušnemu stresu, ki je znašal 25 % od maksimalnih potreb hmelja po vodi. Rastline so bile sušnemu stresu izpostavljene med tremi različnimi fenofazami, od cvetenja do obiranja. V vseh treh obravnavanjih so primerjali pridelek in kakovost storžkov in jih primerjali s kontrolo, kjer rastline niso bile izpostavljene sušnemu stresu. Rezultati niso pokazali statistično značilnih razlik v pridelku in kakovosti storžkov med posameznimi obravnavanji in kontrolo pri vseh štirih sortah. Zaključili so, da so bile sorte hmelja odporne na sušni stres v vseh treh fenofazah.

Potekale so tudi raziskave na peščenih in ilovnatih tleh, kjer so primerjali količino in kakovost nenamakanega hmelja s količino in kakovostjo kapljično namakanega hmelja (po grebenu, podzemno poleg grebena in podzemno med dvema vrstama) (Graf in sod., 2016). Za namen pravičnega uravnavanja namakanja so ovrednotili dva pristopa: merjenje tenzije vode v tleh (mavčni bloki, Watermark senzorji na 30 cm globine) in beleženje vodne bilance. Spremljali so tudi neto fotosintezo, transpiracijo in učinkovitost porabe vode. Rezultati so pokazali, da je namakanje imelo vpliv na pridelek in kakovost hmelja le v najbolj sušnem letu 2015, kjer se je pri nadzemnem namakanju na površini tal po grebenu in podzemnem poleg vrste pridelek povečal za 35 %. Pri podzemnem namakanju med dvema vrstama hmelja so opazili 30 % povečanje pridelka hmelja. Vsebnost alfa-kislin se je značilno povečala v vseh treh primerih (Graf in sod., 2016).

Navajajo, da so najboljše rezultate dosegli pri izvedbi kapljičnega namakanja, kjer so cevi položene na površini tal vzdolž grebena. Navajajo, da so namakane rastline ob svetlobni saturaciji ($1250 \mu\text{mol fotonov m}^2/\text{s}$) pokazale povišane vrednosti neto fotosinteze in transpiracije v 30 % primerov; večja učinkovitost porabe vode ni bila dokazana. Pri normalni svetlobni nasičenosti niso opazili nobenih razlik v transpiraciji in neto fotosintezi (Graf in sod., 2016).

Ekstrapolacija porabe vode je pokazala, da ena rastlina hmelja porabi okoli 50 litrov vode na dan. Največji celoten prekokoreninjen volumen tal je bil opažen pri nenamakani rastlini in je znašal okoli $7,4 \text{ m}^3$. Primerjava pristopov je pokazala, da je uravnavanje namakanja z uporabo senzorjev za meritve količine vode v tleh za hmelj manj primerno zaradi velikega volumna koreninskega sistema. Za ta namen avtorji (Graf in sod., 2016) priporočajo uporabo izračunov vodne bilance z uporabo FAO faktorjev rastlin. Kapljično namakanje hmelja v zmernih zemljepisnih širinah glede na njihova navajanja ni optimalna rešitev, saj je zaradi omejene omočenosti tal zmanjšana rast korenin in zmanjšana razpoložljivost hranil (Graf in sod., 2016).

Raziskovalca, ki sta primerjala kapljično namakanje in namakanje z mikrorazpršilci (Slavik in Kopecky, 1998), navajata, da je bilo dopolnilno namakanje potrebno v vseh letih trajanja poskusa (1995-1997). Rezultati so pokazali, da je bil pridelek suhe snovi hmelja ob uporabi kapljičnega namakanja višji za 0,31 t/ha v primerjavi z nenamakanim hmeljem, učinka mikrorazpršilcev v viru ne podajajo (Slavik in Kopecky, 1998).

Sirriner in sod. (2010) v razširjenem biltenu opisujejo pridelavo hmelja na območju The Great Lakes, kjer je namakanje hmelja enako pomembno kot v večini drugih hmeljarskih območij v ZDA. Avtorji navajajo, da so uspešno uporabili računalniško upravljani sistem za kapljični namakanje hmelja, v katerem s senzorji za vlažnost tal določajo, kdaj in koliko vode je potrebno dodati, da vlažnost tal vzdržujejo na optimalnih ravneh. Čeprav več podrobnosti o načinu merjenja količine vode v tleh ne podajo, zagovarjajo, da je prednost sistema vodenja namakanja na podlagi spremljanja gibanja vode v tleh v nižjih stroških obratovanja namakalnega sistema, ki se vklopi samo, kadar je vsebnost vode v tleh nizka.

3.3 Meritve stresa rastline

Odziv hmelja na sušo je zelo kompleksen (Kolenc in sod., 2014). Liste z vodo oskrbuje steblo, ki je lahko v dolžino meri tudi 12 m in je hkrati zelo ozko (do 10 mm). Večino vode dobijo rastline preko ksilema. Ta je sestavljen iz daljših trahej (do 1,2 m) s premerom do 300 μ m in tako zagotavljajo večjo hidravlično prevodnost (Jupa in sod., 2013; Jupa in sod., 2016). Veliko razmerje med prevodno površino stebela ter listno površino, skupaj s hidravlično prevodnostjo, prispeva k hitrejšemu ksilemskemu toku ter normalni oskrbi rastlin z vodo v njenih višjih delih (Andrade in sod., 2005). Suša povzroči anatomske spremembe v strukturi ali delovanju ksilema, saj pride do poškodb trahej, kar omeji preskrbo z vodo v zgornjem delu rastline hmelja. Ugotovili so, da se specifična prevodnost listov (razmerje med hidravlično prevodnostjo in listno površino) v sušnih razmerah zmanjša. Število nodijev pri hmelju, izpostavljenemu sušnemu stresu, se ne spremeni, vendar pa predvidevajo, da nodiji v zgornjih delih rastline pomagajo pri vzdrževanju neprekinjenega vodnega transporta pri tistih trahejah, ki so prizadete zaradi nastalih embolij (Jupa in sod., 2016).

Raziskave so pokazale, da med tremi češkimi sortami hmelja ni bilo večjih razlik v hidravličnih lastnostih ksilema. Glede na to sklepajo, da so v sušnih razmerah te sorte podobno izpostavljene težavam, ki nastanejo zaradi prekinitve transporta vode, kar je posledica nastalih embolij (Gloser in sod. (2011). Ugotovljene strukturne ter anatomske lastnosti hmelja, ki omejujejo transport vode med pomanjkanjem vode, se odražajo na zmanjšanem vodnem potencialu listov hmelja. Zaradi velikih hodov vodnega potenciala v dnevnem ciklu so hmelj označili kot anisohidro rastlino, t.j. rastlino, ki nima majhno kontrole nad vodnim potencialom in dopušča njegova velika nihanja (Kolenc in sod., 2014). Rezultati so pokazali, da

rastline zaradi zmanjševanja razpoložljive vode v tleh zmanjšajo stopnje transpiracije in vodnega potenciala poganjkov. Različne sorte hmelja se bistveno razlikujejo v nekaterih značilnostih, kot sta stopnja potencialne transpiracije in potencial vode v listih (Gloser in sod., 2013). Na odziv listnih rež pri hmelju imajo velik vpliv hidravlični ter kemični signali iz korenin ob zaznanem pomanjkanju vode. Med hidravlične signale prištevamo spremembe vodnega potenciala, med kemične pa abscizinsko kislino (ABA), spremembe pH ksilemske tekočine (ki se ob sušnem stresu poveča), spremembe v koncentraciji ionov mineralnih hranil (sulfat, nitrat), organskih kislin (malat, citrat), proteinov ter sladkorjev v ksilemski tekočini. Ugotovljeno je bilo, da se pri hmelju ob sušnem stresu transpiracija zmanjša skladno s povečevanjem pH ksilemske tekočine, kar je posledica zmanjšanja nitrata in fosfata. K povečanju pH ksilema prav tako vpliva tudi koncentracija malata, medtem ko povečana koncentracija sulfata kaže vpliv na delovanje ABA. Istočasno se namreč poveča tudi koncentracija ABA v listih, kar prispeva k zapiranju listnih rež ter zmanjšanju transpiracije (Korovetska in sod., 2014). Pomembno je delovanje ABA v odzivu hmelja na pomanjkanje vode v tleh. Vsi metaboliti, vključeni v delovanje ABA v listih ter ksilemskem soku (razen ABA glukozil estra v listih) so bili povečani ob sušnem stresu (med prevladujočimi sta bila fazeična kislina (ang. phaseic acid) ter dihidrofazeična kislina). Po drugi strani se je koncentracija ABA glukozil estra zmanjšala v primerjavi s povečano koncentracijo ABA. Zmanjšala pa se je tudi koncentracija jasmonatov, medtem ko povečane koncentracije hormona avksina nakazujejo njegovo vključenost v odgovor hmelja na sušni stres (Korovetska in sod., 2016).

Nekatere oblike namakanja imajo termoregulatorni vpliv na mikroklimo v nasadu. Temperatura znotraj nasada hmelja se je ob uporabi kapljično namakanje na vrhu hmeljske žičnice znižala za 4 °C (Kopecky in Slavik, 1997), ob uporabi mikrorazpršilcev za 5 °C (Slavik, 2000). Poskusi s kapljičnim namakanjem so pokazali značilen odziv hmelja na kapljično namakanje saj so bili grebeni namakanih rastlin manjši, drobne rosne korenine pa bližje koreniki kot pri nenamakanih rastlinah (Neve, 1991).

Raziskave, ki bazirajo na vodenju namakanja hmelja na podlagi stresnih kazalnikov, vključujejo merjenje osmotskega potenciala (Sasin, 1990), spremljanje fizioloških pokazateljev (koncentracija celičnega soka v listih hmelja) (Kišgeci, 1974), merjenje stopnje izmenjave plinov (Hniličkova in sod., 2009). Namakanje na osnovi fizioloških pokazateljev ima lahko negativen vpliv na kakovost pridelka (Kišgeci, 1974). Spremljanje osmotskega potenciala v primerjavi z uporabo meteorološkega pristopa daje boljše rezultate glede na potrebo in čas namakanja. Na vsebnost alfa-kislin pomembno vplivajo vremenske razmere v letu pridelave, ne pa način vodenja namakanja (Sasin, 1990). Opravljene so bile raziskave o vplivu vodnega deficita na stopnjo izmenjave plinov pri mladih rastlinah sorte Osvalduv klon 72 (Hniličkova in sod., 2009). Prvo skupino rastlin so namakali do polnega

nasičenja tal, druga skupina rastlin pa je bila izpostavljena sušnemu stresu. Rastline so bile izpostavljene stresu tako, da je bilo namakanje omejeno na 35 % poljske kapacitete in se je izvajalo tako, da 9 dni namakanja ni bilo, nato je sledila sedem dnevna rehidracija. Meritve so potekale v razvojnih fazah od BBCH 12 (razvit drugi par listov) do BBCH 25 (razvit peti par stranskih poganjkov). Potem, ko je namakanje bilo prekinjeno, so v rastlinah opazili zmanjšanje listne prevodnosti, transpiracije in fotosinteze. Na koncu poskusa je stopnja fotosinteze dosegla 55,64 % stopnje pred stresom. Listna prevodnost in transpiracija sta dosegli 49,54 % in 38 % stopnje pred stresom. Rezultati nakazujejo, da je merjenje stopnje izmenjave plinov lahko uporaben parameter pri ugotavljanju sušnega stresa rastlin (Hniličková in sod., 2009).

3.4 Simulacijski modeli

Pri vodenju namakanj hmelja so se kot uporabni izkazali tudi simulacijski modeli. Tiso lahko v pomoč pri določitvi natančnejših kc rastline in povezavah med transpiracijo ter količino in kakovostjo pridelka (Fandino in sod., 2015), in simulacijah podnebnih sprememb na potencialno evapotranspiracijo in vsebnost alfa-kislin v hmelju (Barek in sod., 2009; Mozny in sod., 2009). Raziskovalci so na osnovi triletna raziskave (2012-2014), katere namen je bil umeriti in preveriti vodnobilančni model tal SIMDualKc za hmelj sorte Nugget, med drugim predlagali faktorje rastlin (kc) za tri rastna obdobja (začetek sezone, sredino sezone in konec sezone), in sicer 0,69, 1,02 oziroma 0,85. Ugotovili so, da je transpiracija hmelja predstavljala 92 % dejanske evapotranspiracije na sredini sezone rasti hmelja. Ocenili so vpliv rabe vode in transpiracije hmelja na količino in kakovost pridelka hmelja. Ugotovljen je bil pozitiven vpliv transpiracije hmelja na pridelek storžkov (koeficient determinacije $r^2 = 0,92$) in koncentracijo alfa in beta-kislin (Fandino in sod., 2015). S pomočjo programa DAISY je bilo ocenjeno, da se bo do leta 2075, upoštevaje podnebna scenarija GISS_{prep} in CCCM, potencialna evapotranspiracija hmelja na jugu Slovaške povišala za 34 % (Barek in sod., 2009). Hmelj se kaže kot posebej ranljiv na podnebne spremembe, saj je bilo z modelom CORAC ocenjeno, da se bo na Slovaškem, na sorti Saaz, do leta 2100 pridelek, ob nespremenjeni praksi namakanja, znižal za od 7 do 10 %, vsebnost alfa-kislin pa za od 13 do 32 % (Mozny in sod., 2009).

4 RAZPRAVA IN SKLEPI

Znani so torej številni načini vodenja namakanja hmelja, ki so različno zahtevni in po učinku neizenačeni. Nekateri pristop so bolj primerni za raziskave, medtem ko so drugi primerni tudi za podporo odločanja o namakanju na ravni namakalnega sistema ali kmetije.

4.1 Spremljanje evapotranspiracije in vodne bilance

Številni avtorji so delovali na področju določanja potreb hmelja po vodi (Middleton, 1963; Kišgeci, 1974; Kopecky, 1987 (cit. po Majer, 2000); Sasin, 1990; Allen in sod., 1998; Fric in sod., 1999; Kopecky in Ježek, 2007; Naglič in sod., 2016). Izpeljani postopki določitve postopka izračuna parametrov namakanja in obroka namakanja so razmeroma enostavni, a ga kmetje v praksi ne uporabljajo. Slabosti tega pristopa so napake pri vrednosti kc rastline, referenčne evapotranspiracije, oceni lastnosti tal (lokalne specifičnosti glede na splošne lastnosti tal na nekem območju) in trenutni vsebnosti vode v tleh. To lahko vpliva na določitev premajhnega ali prevelikega namakalnega obroka, ki pa nam ne omogoča varčevanja z vodo in lahko pomeni, da dodajamo premalo ali preveč vode (Gu in sod., 2017). Čeprav imamo kc vrednosti relativno določene in imamo razmeroma dobre podatke o referenčni ET, pa predvsem za kapljično namakanje nimamo jasno določene najboljše metode določitve, koliko segajo rastline hmelja v medvrstno razdaljo in kako pri tem upoštevati »V« obliko nasada oz. projekcijo krošnje. Zato nimamo optimalno določene kapacitete namakanja oz. kapacitete kapljačev, ki je eden izmed potrebnih parametrov namakanja za določitev obroka namakanja. Prav tako je splošno priporočilo, da kapljičnega namakanja ne smemo izvajati brez spremljanja gibanja vode v tleh (Knapič, 2002). Ta pristop k vodenju namakanja lahko razumemo kot pristop, ki nam veliko pove o minimalnih in maksimalnih potrebah po vodi, na podlagi preteklih vremenskih razmer, saj lahko le tako preverjamo pravilnost ocene evapotranspiracije. Za vodenje namakanja v realnem času je potrebno kombinirati z ostalimi pristopi.

4.2 Spremljanje tenzije ali vlažnosti tal na različnih globinah v tleh

Nekaj avtorjev navaja uporabo spremljanja vode v tleh (Kišgeci, 1974; Kišgeci in Vučić, 1979; Slavik in Kopecky, 1998; Graf in sod., 2016; Naglič in sod., 2016; Nakawuka, 2017). V splošnem so prednosti ostalih metod pred gravimetrično v časovno bolj natančnem spremljanju gibanja vode v tleh, a moramo za pravilno interpretacijo meritev določiti mejne vrednosti gibanja vode v tleh za rastlinsko vrsto v obravnavi. Za to so potrebne dodatne analize na terenu in dobro poznavanje heterogenosti tal. Spremljanje vodne bilance in spremljanje gibanja vode v tleh se osredotočata na količino razpoložljive vode v tleh, kar ni neposredno povezano s sušnim stresom rastline. Če so potrebe rastlin po vodi nizke zaradi visoke vlažnosti in nizke temperature zraka, rastlina najverjetneje ne bo trpela sušnega stresa, četudi je količina vode v tleh nizka (Gu in sod., 2017).

4.3 Meritve stresa rastline

Poznavanje osnovnih procesov, ki nadzorujejo učinkovitost rabe vode na nivoju rastlin hmelja kot odziva hmelja na pomanjkanje vode v tleh, je nujno za uspešno izvajanje namakanja. Toda, za izvajanje namakanja so te metode relativno

neraziskane. Raziskave s področja fizioloških odzivov hmelja na sušo nakazujejo, da obstajajo povezave med vodnim potencialom hmelja in sušo, vendar se vse sorte hmelja ne odzivajo enako. Nekateri rezultati tudi nakazujejo, da je merjenje stopnje izmenjave plinov prav tako uporaben parameter pri ugotavljanju sušnega stresa rastlin. Sklepamo lahko, da manjkajo bolj široko zastavljene raziskave, ki bi preučevale več fizioloških parametrov naenkrat in na več kultivarjih hmelja. Le v tem primeru bi lažje videli povezave med posameznimi parametri in rastlino ter jih tako povezali z napovedjo namakanja (Kolenc in sod., 2014).

4.4 Simulacijski modeli

Novejše publikacije s področja vodenja namakanja hmelja se nanašajo na uporabo simulacijskih modelov, ki so se izkazali kot uporabni za določitev natančnejših količin rastline, napovedovanje količine in kakovosti pridelka (Fandino in sod., 2015) in simulacije vplivov podnebnih sprememb na količino in kakovost pridelka hmelja (Barek in sod., 2009; Mozny in sod., 2009). Vsi uporabljeni simulacijski modeli (SIMDualKc, DAISY in CORAC) so bolj uporabni na raziskovalni ravni kot praktični pripomoček pri vodenju namakanja. Njihova prednost je v tem, da lahko delamo številne ponovitve izračunov potreb po vodi in odziva na sušo in spreminjamo vhodne podatke. Tako dobivamo podlage za strateško odločanje o potrebah rastlin po vodi in zagotavljanju vodnih virov za namakanje, ne samo za raven vodnega telesa, ampak tudi na ravni kmetije (Naglič in sod., 2016). Pri nas trenutno še ne beležimo uporabe nobenega od naštetih modelov, čeprav bi bila njihova uporaba smiselna, še zlasti v luči podnebnih sprememb.

Zahvala. Pripravo prispevka sta finančno podprli Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije in Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije v okviru ciljnega raziskovalnega projekta Natančnost napovedovanja namakanja (TriN, V4–1609).

5 VIRI IN LITERATURA

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy; 1998.
- Andrade J. L., Meinzer F. C., Goldstein G., Schnitzer S. A. Water uptake and transport in lianas and co-occurring trees of a seasonally dry tropical forest. *Trees*. 2005; 19(3): 282-289.
- Bárek V., Halaj P., Igaz D. The influence of climate change on water demands for irrigation of special plants and vegetables in Slovakia. In: Strelcová, K. (Ed.), *Bioclimatology and Natural Hazards*. Springer, Netherlands, 2009: 271–282.
- Blanco M., Ramos F., Van Doorslaer B., Martínez P., Fumagalli D., Ceglar A., Fernández F. J. Climate change impacts on EU agriculture: A regionalized perspective taking into account market-driven adjustments. *Agricultural Systems*. 2017; 156: 52-66.

- Brooks S. N., Horner, C. E. Hop Production. U.S.D.A. Agric. Information Bulletin No. 240; 1961: 20-22.
- Delahunty K., Johnston J., Westfield M.E. An Experiment on the Effectiveness of Irrigation and Cover Cropping to Produce Sustainable Hops in Maine. USDA Northeast SARE Final Report: FNE11-711; 2011.
- Dodds K. Hops a guide for new growers. First edition, NSW department of Primary Industries. 2017.
- Evans R. Hop management in water-short periods. EM4816, Drought Advisory; 2003.
- Evans R.G.. Irrigation of hop. In Hop production in the Yakima Valley, Washington State University; 1985: 8-10.
- Fandino M., Olmedo J.L., Martínez E.M., Valladares J., Paredes P., Rey B.J., Mota M., Cancela J.J., Pereira L.S. Assessing and modelling water use and the partition of evapotranspiration of irrigated hop (*Humulus Lupulus*), and relations of transpiration with hops yield and alpha-acids. Ind. Crop Prod. 2015; 77: 204-217.
- Filippov L. A Simplified Soil Moisture Method for the Determination of Irrigational Terms. Naučine soobšeni i metodičke rabotni; 1958: 99-102.
- Fric V., Koren J., Kopecky J. Influence of trickle irrigation on yield stability and quality of hops in Zatec hop region in Czech Republic. International symposium New procedures in hop growing, 17. and 18. May in 1999 at Hopfenforschungsinstitut Hull, Proceedings; 1999: 63-65.
- Giannakis E., Bruggeman A., Djuma H., Jerzy K., Hammer J. Water pricing and irrigation across Europe: Opportunities and constraints for adopting irrigation scheduling decision support systems. Water Science and Technology: Water Supply. 2016; 16: 245-252.
- Gloser V., Baláž M., Jupa R., Korovetska H., Svoboda P. The response of *Humulus lupulus* to drought: the contribution of structural and functional plant traits. In: III International Humulus Symposium. Acta Hortic. 2013; 1010: 149-154.
- Gloser V., Baláž M., Svoboda P. Analysis of anatomical and functional traits of xylem in *Humulus lupulus* L. stems. Plant, Soil and Environment. 2011; 57: 38-343.
- Graf T. Tröpfchenbewässerung im Hopfenbau - Feldversuche, Physiologie und Rhizosphäre, (Drip irrigation in hop production - field trials, physiology and rhizosphere), Doctoral dissertation, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan. 2016
- Graf T., Beck M., Mauermeier M., Ismann D., Portner J., Doleschel P., Schmidhalter U. *Humulus lupulus* – The Hidden Half. Brewing Science. 2014; 67: 161-166.
- Gu Z., Qi Z., Ma L., Gui D., Xu J., Fang Q., Yuan S., Feng G. Development of an irrigation scheduling software based on model predicted crop water stress. Computers and Electronics in Agriculture. 2017; 143: 208-221.
- Hniličková H., Hnilička, F., Svoboda P., Koren J. The impact of water deficit on selected physiological characteristics of juvenile hop plants (*Humulus lupulus* L.). Cereal Res. Commun. 2009; 37: 301-304.
- Jupa R., Baláž M., Svoboda P., Gloser V. Inherit variability in structural and functional traits of xylem among three hop varieties. Plant Soil Environ. 2013; 59: 273-279.
- Jupa R., Plavcova L., Flamiková B., Gloser, V. Effects of limited water availability on xylem transport in liana *Humulus lupulus* L. Environmental and Experimental Botany. 2016; 130: 22-32.
- Kišgeci J. Vodni režim biljaka hmelja u različitim uslovima navodnjavanja i mineralne ishrane. Doktorska disertacija, Novi Sad; 1974.

- Kišgeci J., Mijavec A., Adimovid M., Spevak P., Vučić, N., Hmeljarstvo, Poljoprivredni fakultet, Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad; 1984.
- Kišgeci J., Vučić N. Reduced tillage in combination with herbicide treatments in conditions of application of different irrigation methods. , The 8th Conference of the International Soil Tillage Research Organization, ISTRO, Bundesrepublik Deutschland, 1979: 217-221.
- Knapič M. Namakanje hmeljskih nasadov. V: Priročnik za hmeljarje. Majer D. (ed). Žalec, Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo, Žalec, 2002, str. 169-179
- Kolenc Z., Čerenak A., Vodnik D. Kako hmelj (*Humulus lupulus* L.) uravnava vodno bilanco in se odziva na sušo? = How does hop (*Humulus lupulus* L.) regulate its water balance and respond to drought?. Hmeljarski bilten. 2014; 21: 5-13.
- Kopecky J. Current methods of management of hop irrigation. Chmelarstvi. 1987; 60(6): 84-85.
- Kopecký J., Ježek J. Influence of weather conditions and irrigation on yield and quality of hops. Proceedings of the Scientific Commission of IHGC (International Hop Growers Convention). 2007.
- Kopecky J., Slavik L. Influence of trickle irrigation on the yield stability and quality of hops in Zatec hop region. Rostlinna Vyroba. 1997; 43(7): 337-341.
- Kopecky J., Slavik L., Ježek P. Production efficiency of trickle irrigation of hop, Rostlinna vyroba. 1998; 44(7): 299-303.
- Korovetska H., Novak O., Juza O., Gloser V. Signalling mechanisms involved in the response of two varieties of *Humulus lupulus* L. to soil drying: I. changes in xylem sap pH and the concentrations of abscisic acid and anions. Plant Soil. 2014; 380: 375-387.
- Korovetska H., Novak O., Turečková V., Hajičková M., Gloser V. Signalling mechanisms involved in the response of two varieties of *Humulus lupulus* L. to soil drying: II. changes in the concentration of abscisic acid catabolites and stress-induced phytohormones. Plant Growth Regul. 2016; 78(1): 13-20.
- Middleton J.E. Irrigation needs of hops. Washington Agricultural Experiment Stations, Institute of Agricultural Sciences, Washington State University, Stations Circular 417. 1963.
- Mozny M., Tolasz R., Nekovar J., Sparks T., Trnka M., Zalud Z. The impact of climate change on the yield and quality of Saaz hops in the Czech Republic. Agric. Forest Meteorol. 2009; 149: 913-919.
- Naglič B., Cvejić R., Pintar M. Pregled objav s področja namakanja hmelja (*Humulus lupulus* L.) na porečju Savinje = Irrigation of hop (*Humulus lupulus* L.) in Savinja catchment: a review. Hmeljarski bilten. 2016; 23: 41-55.
- Nakawuka P. Effect of Deficit Irrigation on Yield, Quality and Grower Returns of Native Spearmint and Hops in Washington State. Doctoral Dissertation. Washington State University. 2013.
- Nakawuka P., Peters T., Kenny S., Walsh D. Effect of deficit irrigation on yield quantity and quality, water productivity and economic returns of four cultivars of hops in the Yakima Valley. Washington State. Industrial Crops and Products. 2017; 98: 82-92.
- Neve R. Hops. London, Chapman and Hall; 1991: 62-64
- Pearce H. R. The Hop Industry in Australia. Melbourne Univ. Press, Carlton, Victoria. 1976.
- Rybacek V. Hop production. Developments in Crop Science Volume 16, Elsevier, Amsterdam, New York; 1991: 211-219.

- Sasin A. Evaluation and determination of irrigation requirements in the Piestany production region. *Chmelarstvi*. 1990; 63(5): 72-73.
- Sasin A. The effect of weather on hop yield. *Rostlinna Vyroba*. 1991; 37(11): 919-924.
- Sirrine J. R., Rothwell N., Lizotte E., Goldy R., Marquie S., Brown-Rytlewski D. E. Sustainable Hop Production in the Great Lakes Region. Michigan State University Extension. Bul. E-3083. 2010.
- Slavik L, Utilization of trickle irrigation and microsprinkling of hop irrigation. *Rostlinna vyroba*. 2000; 46(10): 457-463.
- Slavik L., Kopecky J. Efficacy of hop irrigation under year with different precipitation levels. *Chmelarstvi*. 1997; 70: 44-46.
- Slavik L., Kopecky J. Influence of economical irrigation on the yield and quality of hops, *Rostlinna vyroba*. 1998; 44(7): 293-297.
- Slavik L., Kopecky J. The effect of trickle irrigation on the hop yield. *Rostlinna vyroba*. 1994; 40(1): 13-18.
- Svoboda P., Hniličková H., Hnilička F. Changes in yield and quality of hop depending on the irrigation. *Cereal Res. Commun*. 2008; 36: 891-894.
- Thomas G.G., Farrar R.F. Field Experimentation Section. Rep. Dept. *Hop Res.*, Wye Coll; 1975.
- Thompson F.C., The influence of various factors on the a-acid content of hop cones. University of London, Wye College, Department of Hop Research, Annual Report. 1967: 38-39.
- Wample R. L., Farar S. C. Yield and quality of furrow and t (*Humulus lupulus* L.) in Washington State. *Agricultural Water Management*. 1983; 7(4): 457-470.
- Williams H., Brown J.F. Hop irrigation. Progress report. University of London, Wye College, Department of Hop Research, Annual Report. 1959: 70-81.
- Zattler F., Maier J., Über den Einfluss künstlicher Bodenbewässerung auf Ertrag und Qualität des Hopfens. *Hopfen-Rundschau*. 1968; 6: 2-7.
- Zepp G, Smith S, Harwood J. Hops: an economic assessment of the feasibility of providing multiple-peril crop insurance - Prepared by the Economic Research Service, USDA, for the Consolidated Farm Service Agency, Office of Risk Management; 1995.
- Zimmermann C. E. English and foreign publications on hops. U.S. Dept. of Agriculture, Science and Education Administration, Washington, DC. 1981.