

## Deficitni princip namakanja vinske trte (*Vitis vinifera* L.) – pregled dosedanjih izkušenj in izhodišča za Slovenijo

Tina SMRKE<sup>1</sup>, Vesna ZUPANC<sup>2\*</sup>

Received November 10, 2017; accepted November 25, 2018.

Delo je prispejelo 10. novembra 2017, sprejeto 25. novembra 2018.

### IZVLEČEK

Deficitno namakanje je eden izmed najbolj raziskanih načinov upravljanja namakanja vinske trte, katerim so raziskovalci potrdili veliko pozitivnih učinkov na pridelavo grozdja. Za doseganje optimalne rasti in mase grozdja pri posamezni sorti moramo vinski trti med rastno dobo zagotoviti ustrezno količino vode. Vinsko trto bo potrebno v bližnji prihodnosti zaradi vse pogostejše suše ponekod namakati tudi v Sloveniji. Pri deficitnem namakanju z manjšo količino dodane vode, kot bi bilo optimalno, vplivamo na rast vinske trte in s tem na kakovost in količino pridelka. Pričakovani rezultat deficitnega namakanja so krajše mladike (15,5 % pri sorti 'Monastrell', manjša listna površina, manjša masa lesa po rezi), manjše jagode in s tem manjši pridelek za 38 % do 57 % pri sorti 'Monastrell' in 24 % do 27 % pri sorti 'Tempranillo', manjše število grozdov na trto, primernejšo sestavo jagod (več sladkorjev in antocianov, manj kislín) in učinkovitejšo rabo vode, pomeni več pridelka na enoto dodane vode. Zelo primeren način za nadzor deficitnega namakanja pri vinski trti je merjenje vodnega potenciala rastline. Za uspešen prenos principa deficitnega namakanja v prakso je potrebno poznati tudi kritične fenofaze različnih sort vinske trte, in odziv sorte v dotičnem okolju. Uspešen prenos deficitnega namakanja v prakso bo mogoč le ob finančni in strokovni podpori pridelovalcem.

**Ključne besede:** vinska trta; namakanje; deficitno namakanje; rast; rodnost; sestava grozdnih jagod

### ABSTRACT

#### DEFICIT IRRIGATION OF VINES (*Vitis vinifera* L.) – REVIEW OF EXPERIENCES AND POTENTIAL FOR SLOVENIA

Deficit irrigation is one of the most researched irrigation water management techniques for vines with many potential benefits for successful grape production. For optimal growth and grape quantity of individual variety, suitable water quantity over growing season should be provided. Due to more frequent droughts vine irrigation will be needed also in Slovenia. The principle of deficit irrigation is affecting vine growth and quality and quantity of the yield by adding smaller amount of water than optimal. Decreased vine growth (reduced growth of shoots, 15.5 % for 'Monastrell', reduced leaf area, reduced pruning mass), smaller berries, and thus yield quantity from 38 % to 57 % for 'Monastrell' and 24 % to 27 % for 'Tempranillo', respectively, improved berry composition (higher sugar and antocianin content, lower acid content), better water use efficiency, meaning higher yield per unit of added water, are expected. Most suitable method for deficit irrigation management of vines is by measuring plant water potential. For successful transfer of deficit irrigation in practice, good knowledge of critical growth stages of irrigated vine variety and its behavior in a certain environment is needed. Successful application of this irrigation method in practice will be possible only with financial and expert support.

**Key words:** vines; irrigation; deficit irrigation; growth; fertility; grape berry composition

<sup>1</sup> Mag. inž. hort., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, Ljubljana, tina.smrke@bf.uni-lj.si

<sup>2</sup> Doc. dr., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, Ljubljana, \*corresponding author: vesna.zupanc@bf.uni-lj.si

## SEZNAM OKRAJŠAV

$\Psi$  – vodni potencial  
 $\Psi_{PD}$  – vodni potencial pred zoro  
 $\Psi_s$  – opoldanski vodni potencial  
 $ET$  – evapotranspiracija  
 $ET_a$  – dejanska evapotranspiracija  
 $ET_C$  – potencialna evapotranspiracija rastline oziroma v primeru tega članka trte  
 $ET_0$  – referenčna evapotranspiracija  
INK – izmenično namakanje korenin

IPNK – izmenično polovično namakanje korenin  
 $k_c$  – koeficient rastline  
NDN – nadzorovano deficitno namakanje  
OIV – Mednarodna organizacija za trto in vino (International Organisation of Vine and Wine)  
PN – podzemno namakanje  
TDN – trajno deficitno namakanje  
WP – produktivnost rastlin  
 $Y_a$  – masa tržnega pridelka

## 1 UVOD

Glede na zadnje podatke Mednarodne organizacije za trto in vino (International Organisation of Vine and Wine; OIV, 2018) je površina svetovnih vinogradov leta 2017 pokrivala 7,6 milijonov ha. Največji doprinos k svetovni pridelavi grozdja imajo ravno evropske države, predvsem Španija, Francija ter Italija, saj pridelajo okoli 70 % celotnega svetovnega pridelka grozdja in zavzemajo okoli 60 % skupnih pridelovalnih površin grozdja v svetu (Malheiro in sod., 2010). V Sloveniji je bilo leta 2016 v Register pridelovalcev grozdja in vina (RPGV) vpisano okoli 16 000 ha vinogradov (Simončič in sod., 2017).

Območje pridelave grozdja v Evropi se zaradi segrevanja ozračja pomika proti severu, medtem ko se bodo pridelovalci grozdja v državah južne Evrope in drugod po svetu (Kajfež-Bogataj, 2009; Hannah in sod., 2013) vse pogosteje spopadali s sušo (Malheiro in sod., 2010). Zaradi tovrstnih razmer je namakanje neizbežen tehnološki ukrep, v mnogih državah pridelovalkah grozdja, kot so Alžirija, Avstralija, Čile, Italija, Črna Gora, Nova Zelandija, Srbija, Slovenija, Španija, Švica in Urugvaj (Matthews in sod., 1987; FAO database, 2016). Po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije (Stat, www.stat.si) smo vinograde in trsnice v Sloveniji prvič namakali leta 2007, in sicer 4 ha, leta 2014 se je že namakalo 12 ha. Dandanes namakanje slovenskih vinogradov ni pogosta praksa, za katero nimamo uradnih podatkov.

Zaradi nenadzorovane porabe vode pri namakanju kmetijskih rastlin in hkrati globalnega segrevanja

ozračja lahko pride v naravi do velike omejitve razpoložljivih vodnih virov (Döll, 2002; Kumar Kar, 2011), zato pridelovalci iščejo najbolj učinkovit način namakanja, s katerim bi dosegli optimalno razmerje med rastjo in rodnostjo, primerno sestavo jagod ter hkrati minimalno porabo vode (Cifre in sod., 2005; Edwards in Clingeleffer, 2013; Zhang in sod., 2014). Trti je potrebno dodati toliko vode, da se ji ustrezno omeji vegetativno rast, optimizira maso pridelka in izboljša sestavo jagod, kar je najbolj pogojeno z značilnostmi gojene sorte. Za doseganje opisanih ciljev je danes v vinogradništvu najbolj primerno deficitno namakanje, pri kateremu trtam dodamo manjšo količino vode, kot znaša njihova evapotranspiracija (Fereses in Soriano, 2007; Ruiz-Sanchez in sod., 2010; Lanari in sod., 2014). Deficitno namakanje vinske trte se v državah Sredozemlja ter v aridnih delih Severne in Južne Amerike uspešno uporablja s tehnologijo kapljičnega namakanja in namakanja z razpršilci (Moriani in sod., 2003, Ruiz-Sanchez in sod., 2010), vendar je zaradi večje učinkovitosti smotnejša uporaba kapljičnega namakanja.

Raziskav o vplivu sušnega stresa oziroma uravnavanja vodnega režima vinske trte pri nas še ni, se pa podrobno raziskuje občutljivost vinske trte na bolezni in škodljivce (Hladnik in sod., 2014; Lamovšek in sod., 2014; Štrukelj in sod., 2016) ter preverja avtohtonost sort (Štajner, 2010; Pelengič in sod., 2012; Imazio in sod., 2014; Rusjan in sod., 2015), saj naj bi bile udomačene, lokalne sorte vinske trte najmanj prizadete v sušnih rastnih razmerah.

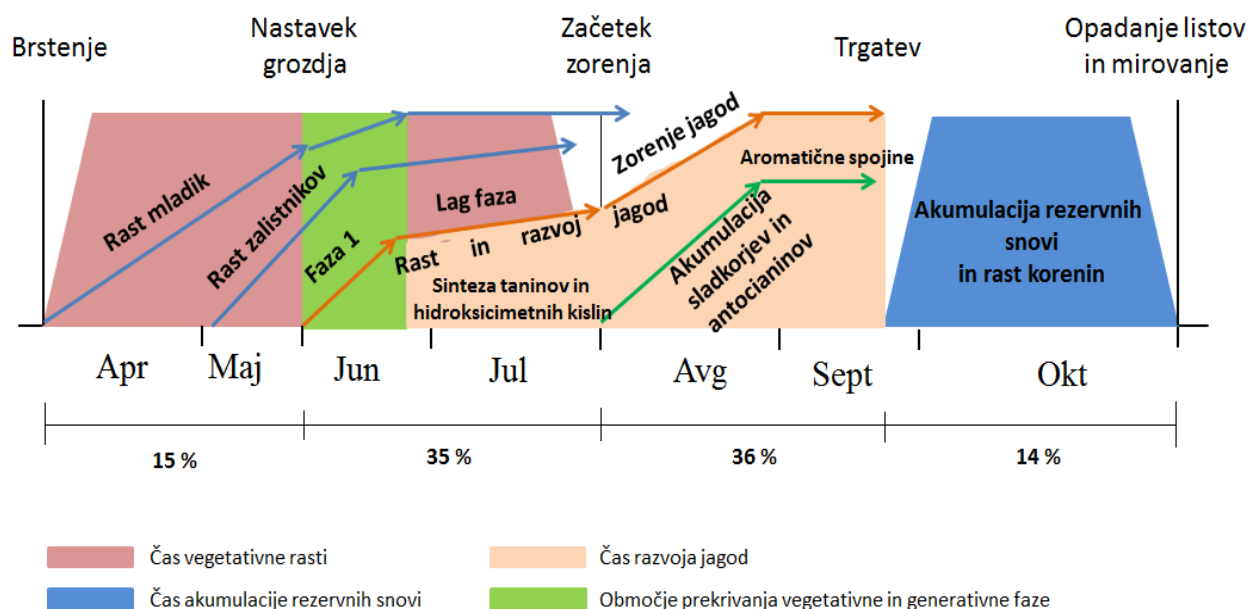
## 2 POTREBE VINSKE TRTE PO VODI

Na odziv vinske trte na sušni stres vpliva več dejavnikov. Z vidika pridelka je ključno vprašanje, za kateri namen gojimo vinsko trto, namizno grozdje ali pridelavo vina. V Sloveniji imamo 95 % vinske trte namenjene za pridelavo vina, zato v prispevku obravnavamo zgolj to. Vinska trta ima v posameznih

fenofazah različne potrebe po vodi (Slika 1). Med brstenjem in razvojem mladik (BBCH 01-10) korenine črpajo vodo in v njej raztopljene rudninske snovi, ki so potrebne za uspešno rast vinske trte. Stalna preskrba z vodo med rastjo mladik in listov (BBCH 11-19) omogoči optimalen razvoj listne stene, ki je pomembna

za absorpcijo svetlobe in tvorbo asimilatov. Od brstenja do začetka cvetenja (BBCH 07-60) znaša potreba vinske trte po vodi 9 % potreb celotne rastne dobe. Takrat je voda potrebna za optimalno rast korenin in razvoj listne stene ter nastavek grozdja za prihajajočo in naslednjo sezono. Med začetkom cvetenja in razvojem plodičev (BBCH 60-70) je zadostna količina vode, ki znaša 6 % nujna za tvorbo fertilnega peloda, pestiča in prašnikov ter za uspešno oprашitev in oploditev. Največ vode vinska trta potrebuje med debeljenjem jagod (BBCH 71-79), in sicer okrog 35 % celokupne potrebne količine v rastni dobi, to je od 1. 4. do 31. 10. (Maljevič, 2003). Rast jagod sprva poteka na račun hitre delitve celic in kasneje njihovega večanja. Če v tem času pride do

pomanjkanja vode, bo manjše število celic in hkrati tudi njihova velikost, kar se bo odražalo v manjši končni velikosti jagod. Med zorenjem, vse do trgatve (BBCH 81-89) vinska trta potrebuje približno 36 % celokupne potrebne količine vode v rastni dobi, z namenom, da trte ne izpostavimo sušnemu stresu po nepotrebnem in ji ohranjamo zdravo listno steno. Od trgatve in vse do odpadanja listov (BBCH 91-97) znaša poraba vode vinske trte 14 % porabe celotne rastne dobe. Pred mirovanjem je pomembno, da se v listih še vedno sintetizirajo sladkorji, ki se nato transportirajo in skladiščijo v lesu vinske trte za naslednjo rastno dobo (Moyer in sod., 2013; Goldammer, 2018).



**Slika 1:** Razpored fenofaz in delež potreb vinske trte po vodi v rastni dobi (prirejeno po Romero in sod., 2013)

**Figure 1:** Vine's growth stages and water demand in the growing season (adapted from Romero et al., 2013)

Vinski trti najbolj ustrezajo globoka in zračna tla, ki dobro prepuščajo vodo, da lahko razvije globok koreninski sistem. Slednji ji omogoča lažje preživetje sušnih razmer, da najde in izkoristi tudi najmanjše zaloge razpoložljive vode v tleh (Vršič in Lešnik, 2010). Koreninski sistem vinske trte se lahko razvije do globine več metrov, sesalna sila za vodo lahko znaša do -1,6 MPa (Deluc in sod., 2009; Vršič in Lešnik, 2010). Enako kot ostale rastline trta uravnava vodni status z regulacijo prevodnosti listnih rež. Glede na ohranjanje vodnega potenciala v listih ( $\Psi$ ) ločimo izohidre in anizohidre sorte vinske trte (Schultz, 2003; Hochberg in sod., 2017). Izohidre sorte ob pomanjkanju vode v tleh natančno regulirajo transpiracijo listov in hitro zapirajo listne reže, da ohranjajo vodni status blizu optimalnega.

Pri teh sortah, je  $\Psi$  redko manjši od -1,5 MPa (Lovisolo in sod., 2010). Dosedanje raziskave kažejo, da so izohidre sorte vinske trte 'Montepulciano', 'Grenache', 'Modra frankinja', in 'Portugalka' (Zsófi in sod., 2008). Anizohidre sorte so tolerantnejše na pomanjkanje vode in listnih rež, ob manjši količini razpoložljive vode ne zapirajo tako hitro, kar pomeni, da njihov  $\Psi$  bolj variira. Primer takšnega načina ohranjanja vodnega režima so sorte 'Shyrah', 'Sangiovese', 'Semillon' in 'Chardonnay' (Rogiers in sod., 2009). Pri omenjeni razdelitvi sort vinske trte lahko zaradi različnih okoljskih razmer pride do odstopanj, saj ima lahko ista sorta izohidri in tudi anizohidri odziv na pomanjkanje vode, ki je po navedbah mnogih avtorjev odvisen od fenofaze rastline in pojava suše v dnevnem ciklu in rastni dobi (Medrano

in sod., 2003; Chaves in sod., 2007; Rogiers in sod., 2009; Lovisololo in sod., 2010; Conesa in sod., 2016). Sorte s tovrstnim odzivom so 'Syrah', 'Grenache', 'Merlot' in 'Modri Pinot' (Lovisololo in sod., 2010; Zhang in sod., 2012). Kljub dobrim fiziološkim, morfološkim in anatomskim prilagoditvam vinske trte na pomanjkanje vode v tleh, lahko pride do negativnih posledic suše, ki se najpogosteje kažejo kot omejena rast mladik, manjši pridelek in slabša sestava jagod (Intrigliolo in Castel, 2009).

Pri vinskih sortah so zaželeni manjše jagode, z manjšo vsebnostjo kislin in večjo vsebnostjo sladkorjev ter fenolnih spojin, ki so po McCarthy (1997) tudi edini

parametri, ki vplivajo na končno kakovost vina. To se lahko doseže, če ima vinska trta na voljo manj vode, kot je potencialna evapotranspiracija ( $ET_c$ ), kar pomeni, da se trte načrtno izpostavi blagemu sušnemu stresu. V številnih raziskavah so v jagodah trt pod sušnim stresom izmerili večjo vsebnost antocianov in drugih fenolnih snovi kot v jagodah trt, ki so bile zadostno preskrbljene z vodo (Matthews in Anderson, 1988; Matthews in sod., 1990; Roby in sod., 2004; Salon in sod., 2005). Prekomerno dodajanje vode lahko vodi do manj izrazite barve vina zaradi manjše vsebnosti antocianov v kožici jagod, manjše vsebnosti sladkorjev ter fenolnih spojin in kislinskega neravnovesja (Hepner in sod., 1985; Esteban in sod., 2001; Lanari in sod., 2014).

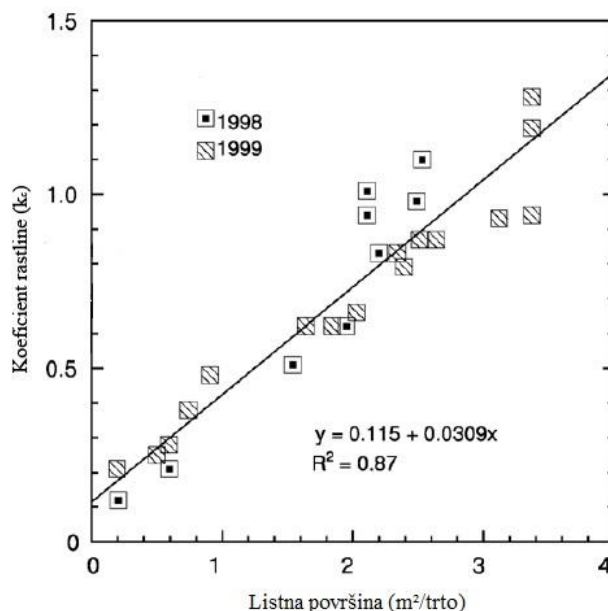
### 3 DOLOČANJE POTREB PO VODI

Na volumen trti razpoložljive vode v vinogradnih se lahko vpliva z različnimi tehnološkimi ukrepi (Cancela in sod., 2017; Tomaz in sod., 2017), katerih izvajanje je pomembno pred ureditvijo in v obdobju rodnosti vinograda. Pomembna je izbira lege (Stajnko in sod., 2010), obdelava tal pred sajenjem, predvsem je pomembno globoko rigolanje, izbira podlage (Lavrenčič in sod., 2007) in sorte vinske trte, redno gnojenje, predvsem z dušikom, od brstenja do začetka cvetenja, sadilne razdalje ter gojitvene oblike, urejen odtok vode oziroma osuševanje tal ob pojavu prevelike količine vode. Med rastno dobo je pomembno odstranjevanje zalistnikov, redčenje listov in grozdov (Reščič in sod., 2015, 2016), košnja ali mulčenje travne ruše večkrat v sezoni (od brstenja do trgatve), ki preprečuje izsušitev tal in namakanje ob pomanjkanju vode v tleh (Novello in sod., 1992; Kosta, 1998; Pintar, 2006).

Rastlini razpoložljiva voda v tleh je v območju matričnega potenciala tal, ki je med poljsko kapaciteto in točko venenja (Romano in Santini, 2002). Poljska kapaciteta predstavlja največjo količino vode, ki jo tla lahko zadržijo; le-ta se vzpostavi, ko odteče gravitacijsko odcedna voda. V literaturi je največkrat privzeta poljska kapaciteta  $-0,033$  MPa. Točka venenja predstavlja tisto količino vode, pri kateri rastline

ireverzibilno uvenijo. Splošno privzeta sila vezave vode pri točki venenja je  $-1,5$  MPa. Voda, ki je vezana šibkeje kot poljska kapaciteta, gravitacijsko odteče, voda, ki je vezana močneje od točke venenja predstavlja rastlinam nedostopno vodo.

Evapotranspiracija ( $ET$ ) je prehod vode v obliki vodne pare z vodne površine ali iz tal ter iz rastline v atmosfero (Pintar, 2006). Referenčna evapotranspiracija ( $ET_0$ ) predstavlja  $ET$  iz površine aktivno rastoče travne ruše, ki popolnoma prekriva površino povprečne višine 12 cm, ki je zadostno preskrbljena z vodo, s povprečno upornostjo rastlinskega pokrova  $70 \text{ m s}^{-1}$  in albedom 0,23.  $ET_c$  predstavlja  $ET$  v primeru zadostne količine vode v tleh za izbrano rastlino. Izračunamo jo po Penman-Monteith metodi, ki upošteva temperaturo zraka, sončno sevanje, relativno zračno vlago in hitrost vetra. Pri izračunu referenčno evapotranspiracijo ( $ET_0$ ) pomnožimo s koeficientom rastline ( $k_c$ ), ki pri vinski trti običajno ni večji od 0,8 (pogosto med 0,35 in 0,76) (Slika 2). Slednji nam pove, koliko vode potrebuje vinska trta v primerjavi s travno rušo. Večji kot je  $k_c$ , več vode trta potrebuje, kar kaže na veliko površino listne stene ter senčenje pod trto in medvrstnega prostora (Allen in sod., 1998; Evapotranspiration..., 2015).



**Slika 2:** Razmerje med izračunanim koeficientom rastline ( $k_c$ ) in listno površino ( $m^2/trto$ ) sorte 'Thompson Seedless' (prirejeno po Williams in Ayars., 2005)

**Figure 2:** Ratio between calculated crop coefficient ( $k_c$ ) and leaf area ( $m^2/vine$ ) for 'Thompson Seedless' (adapted from Williams and Ayars, 2005)

Pri namakanju rastlinam dodajamo toliko vode, da je rastlina optimalno preskrbljena, t.j. do poljske kapacitete (Pintar, 2006). Hkrati pri načrtovanju namakalnega sistema upoštevamo načelo, da pokrivamo potrebe najbolj zahtevne rastline, pri čemer pokrivamo 80–90 % verjetne potencialne evapotranspiracije (Cvejič in Pintar, 2013), izračunane po Penman Monteithovi metodi (Allen in sod., 1998). Pri deficitnem namakanju je količina dodane vode pod točko optimalne preskrbe, zato je dovoljen manjši vodni stres, ki ima minimalen učinek na pridelek (English in Raja, 1996). Primanjkljaj vode pri deficitnem namakanju torej ni prepuščen naključju, temveč količino vode nadzorovano zmanjšamo glede na razvoj rastline in lastnosti tal (Lu in sod., 2003).

Dodajanje manjše količine vode, kot je trta izgubi z evapotranspiracijo, a še vedno dovolj, da le-ta nima negativnega vpliva na pridelek, imenujemo deficitno namakanje (Intrigliolo in Castel, 2009). Z dodajanjem manjše, nezadostne količine vode, se izboljša sestava jagod in hkrati manj obremenjuje naravne zaloge vode v tleh (Fererer in Soriano, 2007; Podgornik in Bandelj, 2015).

Voda v tleh, in sicer del, ki je dostopen, prehaja iz tal v korenine na osnovi razlike v  $\Psi$ . Sprejem je možen, kadar je  $\Psi$  tal večji kot  $\Psi$  korenin. Razliko v vodnem potencialu v razmerah, ko rastline transpirirajo, generira

matrični potencial (tenzija) v listih. Ta je tudi osnova za snovni tok vode iz korenin v nadzemne dele. V razmerah, ko je transpiracija omejena, se lahko razlika v  $\Psi$  med koreninami in tlemi ustvarja na račun sprejema ionov mineralnih hranil v centralni cilinder korenine. S tem se ustvarja osmotski učinek, ki omogoča sprejem vode, tlačna sila, ki nastaja v koreninah (koreninski tlak), prispeva k transportu po ksilemu. V sušnih razmerah lahko rastline z aktivnim kopičenjem osmotikov vzdržujejo sprejem vode iz tal in ohranjajo turgor (Steudle, 2001; Vodnik, 2012).

Razpon intervala rastlinam dostopne vode je odvisen od lastnosti tal, predvsem od teksture in strukture (Tuller in Or, 2005). Praksa pri konvencionalnem namakanju za doseganje optimalnega pridelka je dodajanje vode do poljske kapacitete, kjer se, odvisno od rastline dopusti 30 ali 50 % primanjkljaj glede na rastlinam dostopno vodo v tleh. Pri vinski trti se pri deficitnem pristopu namaka, ko je dosežen 70 % primanjkljaj (Du in sod., 2008). Za uspešno deficitno namakanje je nujno poznavanje vodnozadrževalnih lastnosti tal (Montalebifard in sod., 2013). V peščenih tleh lahko rastline hitreje občutijo vodni stres, medtem ko imajo v tleh finejših teksturnih frakcij možnost postopne prilagoditve na večji matrični potencial (Katerji in sod., 2008).

Za uspeh deficitnega namakanja sta ključna dobro poznavanje rastline in nadzor nad primanjkljajem vode, ki mu je rastlina izpostavljena (Lu in sod., 2003; Pintar in Zupanc, 2017). Nadomeščanje primanjkljaja vode lahko uravnavamo na podlagi potreb rastlin po vodi, t.j. rastlinam je v namakalnem obroku dodan za nek količnik zmanjšan delež potencialne evapotranspiracije rastline (Moriana in sod., 2003); na osnovi meritev stanja rastline, t.j. merjenje vodnega potenciala rastlin (Moriana in sod., 2003; Fernandez in sod., 2008; Fernandez, 2014), merjenje vodnega toka v ksilemu (Yunusa in sod., 2004; Sousa in sod., 2006; Zhang in sod., 2011; Zhang in sod., 2012; Edwards in Clingeleffer, 2013); dodajanje vode v obsegu intervala rastlinam dostopne vode na podlagi meritev količine vode v tleh (Moriana in sod., 2003; Ruiz-Sanchez in sod., 2010). Slednji pristopi zahtevajo opremo, ki omogoča meritve vsaj vodnega potenciala trt neposredno v vinogradu.

Vodni status rastline ugotavljamo z merjenjem vodnega potenciala v listih ali deblu rastlin (Patakas in sod., 2005). To sta vodni potencial pred zoro ( $\Psi_{PD}$ ) ali opoldanski vodni potencial ( $\Psi_S$ ), ki predstavljata maksimum in minimum v 24 urnem roku vodnega potenciala. V splošnem velja, da imajo rastline, ki niso v sušnem stresu  $\Psi_S$  večji od  $-1,0$  MPa; rastline v blagem sušnem stresu imajo  $\Psi_S$  med  $-1,0$  in  $-1,2$  MPa, medtem ko imajo rastline v močnem sušnem stresu  $\Psi_S$  med  $-1,2$  in  $-1,5$  MPa (Acevedo-Opazo in sod., 2010; Vodnik, 2012).

Po Podgornik in Bandelj (2015) deficitno namakanje temelji na načelu, da vodo dodamo takrat, ko jo rastlina najbolj gospodarno uporabi. Namakanje lahko izvajamo v kritični razvojni fazi vinske trte (NDN – nadzorovano deficitno namakanje), med celo rastno dobo v enakih odmerkih (TDN – trajno deficitno namakanje) oziroma del korenin v enem odmerku optimalno oskrbimo z vodo in drugega izpostavimo sušnemu stresu (IPNK – izmenično polovično namakanje korenin) (Ruiz-Sanchez in sod., 2010; Podgornik in Bandelj, 2015). Pri NDN trte, se le-to v dotični fenofazi ohranja na točno določeni stopnji sušnega stresa. Običajno se ga prvič izvaja po nastavku grozdja (BBCH 71), z namenom zmanjšanja rasti mladik, listov ter jagod, in drugič po začetku zorenja z namenom izboljšanja sestave jagod (Romero in sod., 2013), vendar le v vinogradih, ki so že v obdobju polne rodnosti. Glavni cilj pri oskrbi mladega vinograda je pospešiti razvoj trsov, da jih čim hitreje uredimo v zeleno gojitveno obliko in pri tem se je vsakršnemu pomanjkanju vode najbolje izogniti. NDN upošteva tudi sposobnost rastline za preživetje v sušnih razmerah in njeno fenofazo, od česa je odvisen tudi odziv vinske trte na omejeno razpoložljivost vode, čas

njene aplikacije ter trajanje in intenziteto sušnega stresa (Ruiz-Sanchez in sod., 2010).

Manjša količina vode v namakalnem obroku zmanjša evapotranspiracijo ( $ET$ ) in rast rastlin predvsem zaradi manjše transpiracije vode iz jagod (Greenspan in sod., 1996) in liste zaradi zapiranja listnih rež ter posledično manjše asimilacije ogljika (Medrano in sod., 2003). Ker je transpiracija na pripiranje rež bolj odzivna kot fotosinteza je mogoče, da ob zmernem pripiranju rež, slednja ni nujno zmanjšana. V takem primeru se zelo poveča trenutna učinkovitost izrabe vode (razmerje fotosinteza/transpiracija). Ko prihaja do omejitev fotosinteze, je rast lahko zmanjšana, spremeni se tudi premeščanje sladkorjev. Tako se lahko z deficitnim namakanjem omeji tudi rast jagod in izboljša njihova kemijska sestava (poveča se vsebnost sladkorjev, zmanjša vsebnost kislin ter izboljša razmerje med sladkorji in kislinami). Do tega pride zaradi koncentriranja omenjenih snovi v jagodah na račun manjše vsebnosti vode v jagodah ter večje izpostavljenosti grozdov svetlobi (Grimplet in sod., 1970; Barroso in sod., 2017). Če rastlinam dodamo toliko vode, da so v stanju močnega sušnega stresa oz. prevelikega pomanjkanja vode, lahko pride do manjšega pridelka in slabše kakovosti grozdja. Ključno vprašanje je, katera je še sprejemljiva spodnja meja zmanjšanja namakalnega obroka, da se ohrani ali celo poveča koristi tovrstnega načina dodajanja vode (English in Raja, 1996; Intrigliolo in Castel, 2009), kar se s poskusi ugotavlja za posamezno sorto v različnih okoljskih razmerah.

Cilj deficitnega namakanja je povečati produktivnost rastlin z uporabo vode ( $WP$  – crop water productivity). Po Geerts in Raes (2009) produktivnost rastlin ( $WP$ ) opišemo kot razmerje med maso pridelka ( $Y_a$ ) in količino vode, ki jo rastlina porabi ( $ET_a$ ). Na območjih, kjer pogosto prihaja do pomanjkanja razpoložljive vode v tleh, so zaželene vrste in sorte z večjo  $WP$ , kar pomeni večji pridelok in manjšo porabo vode (Geerts in Raes, 2009).

$$WP \text{ (kg m}^{-3}\text{)} = Y_a/ET_a$$

Za dosego deficitnega namakanja je na voljo več tehnologij. Najbolj pogosto uporabljena tehnologija v intenzivni rastlinski pridelavi je kapljično namakanje, kjer so cevi s kapljači položene nad površino tal ali celo v tleh, t.i. podzemno namakanje (Camp, 1998). Če ob enem obroku namakanja omočimo samo eno stran vrste ter ob drugem obroku drugo, namakanje izvajamo z metodo izmeničnega polovičnega namakanja korenin (IPNK). To se lahko poleg kapljičnega namakanja

izvaja z namakanjem v brazde, ki v Sloveniji ni uveljavljena praksa in je z vidika porabe vode tudi neracionalna (Pintar, 2006; Araujo in sod., 1995a,b). V prispevku bomo v nadaljevanju obravnavali kapljično namakanje za štiri sorte vinske trte.

### Kapljično namakanje

Pri kapljičnem namakanju se vodo aplicira neposredno v območje korenin, kar poveča izkoristek dodane vode, in sicer na od 85 do 95 % (Pintar, 2006). V svetovno znanih vinorodnih območjih v Italiji, Španiji in Čilu so izpeljali raziskave, kjer so proučevali vpliv različnih obravnav NDN na rast, pridelek in sestavo jagod ob trgatvi, pri različnih sortah vinske trte. Izbrani poskusi na sortah 'Cabernet Sauvignon', 'Monastrell', 'Sangiovese' in 'Tempranillo' z rezultati so prikazani v preglednici 1.

Pri sorti 'Cabernet Sauvignon' deficitno namakanje ni vplivalo na vegetativno rast, za razliko od sorte 'Monastrell'. Izmerjene razlike med parametri rasti so bile pri 'Cabernet Sauvignon' majhne, kjer voda v globokih ilovnatih tleh z velikim volumskim deležem vode (420 mm) ni bila omejujoč dejavnik rasti trt, ki so imele koreninski sistem vse do 350 cm globine tal. Pri sorti 'Monastrell' je prišlo do značilnega zmanjšanja rasti pri trtah z NDN, kjer so zabeležili krajše mladike in manjšo maso lesa po rezi v primerjavi s TDN. Rezultati nakazujejo, da je vegetativna rast pri omenjeni sorti zelo občutljiva na pomanjkanje vode, predvsem rast mladik v dolžino (Romero in sod., 2013). To potrjujejo tudi rezultati raziskave na sorti 'Tempranillo', saj je bila rast mladik in debela ter masa lesa po rezi zmanjšana zaradi vpliva manj razpoložljive vode (Preglednica 1). Če primerjamo dva deficitna obroka vode se je masa lesa po rezi najbolj zmanjšala pri NDN2, kjer je bila najmanjša izmerjena 0,34 kg, največja pa 0,49 kg (Acevedo-Opazo in sod., 2010; Santesteban in sod., 2011). Pri sorti 'Sangiovese' je na maso lesa po rezi močno vplivala letna količina padavin. Povprečno najmanjša masa je znašala 0,53 kg na trto in je bila izmerjena pri I<sub>2</sub>, medtem ko je bila povprečno največja masa izmerjena pri obravnavanju I<sub>1</sub> (0,65 kg na trto) (Lanari in sod., 2014).

Pri sortah 'Monastrell' in 'Tempranillo' je nadzorovano deficitno namakanje (NDN, Preglednica 1) značilno zmanjšalo pridelek ob trgatvi, predvsem na račun manjših jagod. Pri sorti 'Monastrell' je bil pridelek pri trtah z NDN-1 zmanjšán za od 38 do 47 % in pri NDN-2 za od 52 do 57 % (Preglednica 1). Zmanjšalo se je število grozdov na trto pri sorti 'Tempranillo' (Santesteban in sod., 2011; Romero in sod., 2013), medtem ko pri sorti 'Sangiovese' ni prišlo do značilnih razlik med obravnavanji, vendar so pri slednji, kljub

temu, značilno največji pridelek izmerili pri namakanih trtah (Lanari in sod., 2014).

Pri sortah 'Cabernet Sauvignon' in 'Monastrell' se je v jagodah trt pod deficitnim namakanjem vsebnost sladkorjev povečala. Rezultati nakazujejo, da blag sušni stres pred začetkom zorenja pozitivno vpliva na vsebnost sladkorjev in hkrati na končno sestavo jagod sort v poskusu (Santesteban in sod., 2011; Romero in sod., 2013). Med zorenjem jagod se vsebnost sladkorjev večja in hkrati vsebnost kislin manjša, kar pomeni da večja vsebnost sladkorjev nakazuje manjšo vsebnost kislin. To potrjujejo rezultati poskusa na sortah 'Monastrell' in 'Sangiovese', kjer so v jagodah trt pod največjim sušnim stresom izmerili največjo vsebnost sladkorjev ter najmanjšo vsebnost titrabilnih kislin (Romero in sod., 2013; Lanari in sod., 2014). Pri vseh proučevanih sortah različna namakanja niso vplivala na pH jagod (Acevedo-Opazo in sod., 2010; Santesteban in sod., 2011; Romero in sod., 2013; Lanari in sod., 2014).

Kapljično namakanje je učinkovit način, s katerim lahko izvajamo nadzorovano deficitno namakanje na rastlinah vinske trte in jih s tem izpostavimo blagemu sušnemu stresu. Zmerno pomanjkanje vode vodi do manjše rasti mladik v dolžino, manjšega pridelka na trto in boljše sestave jagod, kar je pri vinskih sortah ključnega pomena za pridelavo kakovostnega vina (Cifre in sod., 2005). Kljub obetavnim rezultatom raziskav se še vedno opazi velik vpliv okolja na sam potek poskusov oziroma na nadzor dodajanja vode za doseg deficitnega namakanja. Moyer in sod. (2013) navajajo, da se globina največje gostote korenin razlikuje pri namakanih in nenamakanih trtah. Pri kapljičnem namakanju naj bi se glavnina korenin nahajala blizu površja, pod kapljači (Araujo in sod., 1995a, b). Na takšno namakanje tip tal nima značilnega vpliva, saj se vodo dodaja večkrat in počasi, v manjših količinah, ki jo tla lahko sproti absorbirajo (Poling in Spayd, 2015).

**Preglednica 1:** Opis raziskav nadzorovanega deficitnega namakanja (NDN) na sortah 'Cabernet Sauvignon', 'Monastrell', 'Sangiovese' in 'Tempranillo' ter vpliv posameznega obravnavanja na rast, pridelek in sestavo jagod (Prirejeno po Intrigliolo in Castel, 2009, Acevedo-Opazo in sod., 2010, Santesteban in sod., 2011, Romero in sod., 2013, Lanari in sod., 2014).

**Table 1:** Description of studies with regulated deficit irrigation on 'Cabernet Sauvignon', 'Monastrell', 'Sangiovese' and 'Tempranillo' and impact of different treatments on growth, yield and berry composition (adapted from Intrigliolo and Castel, 2009, Acevedo-Opazo et al., 2010, Santesteban et al., 2011, Romero et al., 2013, Lanari et al., 2014).

Način namakanja	Sorta	Fenofaza	Mejni parameter za razpoložljivost vode v obravnavanju	Lastnosti tal	Rast		Pridelek		Sestava jagod			Referenca		
					Masa lesa po rezi (kg trto <sup>-1</sup> )	Dolžina mladik (cm)	Kg trto <sup>-1</sup>	Št. grozdov trto <sup>-1</sup>	Masa grozda (g)	Vsebnost sladkorjev (°Brix)	Vsebnost titrabilnih kislin (g l <sup>-1</sup> )		pH	
Nadzorovano deficitno namakanje (NDN)	Cabernet Sauvignon	Nastavek grozdja - trgatev	-0,80 do -0,95 MPa (T1)	I, globoka	1,29	148,1	3,15	26	122,6	23,6	-	3,6	Acevedo-Opazo in sod., 2010	
			-1,00 do -1,20 MPa (T2)		1,29	147,1	2,90	24,8	117,7	24,5	-	3,6		
			-1,25 do -1,40 MPa (T3)		1,19	134,3	2,76	25,1	109,2	24,8	-	3,6	Čile	
				<i>ET<sub>c</sub></i>										
			TDN	40%		0,75	129	3,71	18,2	207	22,2	3,04	3,89	Romero in sod., 2013
			Brstenje – nastavek grozdja	30%	G (48% gline, 30% melja, 22% peska)									
			Nastavek grozdja – začetek zorenja	20%		0,51	109	2,08	15	141,8	22,9	2,84	4,01	Španija
			Začetek zorenja - trgatev	12,3%										
			Brstenje – nastavek grozdja	0										
			Nastavek grozdja – začetek zorenja	20,7%		0,46	111	1,72	14,1	121,4	22,4	2,98	4,02	
		Začetek zorenja - trgatev	22,3%											



		$ET_c$											
NDN (nadaljevanje)	'Sangiovese'	Nastavek grozdja – začetek zorenja	0 % ( $I_0$ )	MGI (55% melja, 37,5% gline, 7,5% peska )	0,59	-	4,80	13,7	358,7	23,1	6,3	3,37	Lanari in sod., 2014
			33 % ( $I_1$ )		0,65	-	5,43	13,2	411,7	21,7	6,6	3,34	Italija
			70 % ( $I_2$ )		0,53	-	5,16	13,5	380,3	22,1	6,4	3,35	
		$\Psi_{PD}$											
Tempranillo		Nastavek grozdja – začetek zorenja	-0,2 do -0,9 MPa	-	0,64	-	4,18	18,35	227,5	-	5,26	-	Santesteban in sod., 2011
			< -0,8 MPa	-	0,45	-	3,05	14,63	208,5	-	4,65	-	
		Začetek zorenja - trgatev	< -0,8 MPa	-	0,40	-	3,18	14,65	217,1	-	4,52	-	Španija
			-0,2 do -0,9 MPa < -0,8 MPa < -0,6 MPa										
Izmenično polovično namakanje korenin (IPKN)	Tempranillo	Začetek cvetenja - trgatev	$ET_c$										Listna površina ( $m^2$ trto <sup>-1</sup> )
			0%		1,20	6,6	5,92	16	370	20,9	5,3	3,23	Intrigialolo in Castel, 2009
			50%	GI-G,	1,46	7,5	6,54	16	409	22	5,4	3,33	
			50% (+ IKN)	globina tal	1,37	7,6	6,59	16	412	22,1	5,2	3,35	Španija
			100%	več kot 2 m	1,59	8,3	6,8	16	425	22,8	5,5	3,37	
			100% (+ IKN)		1,59	8,8	7,43	17	437	22,1	5,3	3,32	

Pri sorti 'Cabernet Sauvignon' so obravnavanja brez sušnega stresa ( $\Psi_{PD}$  -0,80 do -0,95 MPa), blag sušni stres (-1,00 do -1,20 MPa) in močan sušni stres (-1,25 do -1,4 MPa).

Pri sorti 'Monatrell' je TDN trajno deficitno namakanje (40 % celotne  $ET_c$ ), NDN nadzorovano deficitno namakanje (NDN-1: 30 % celotne  $ET_c$  med brstenjem in nastavkom grozdja, 12,3 %  $ET_c$  med nastavkom grozdja in začetkom zorenja, 20,7 %  $ET_c$  med začetkom zorenja in trgatvijo; NDN-2: 20 % celotne  $ET_c$  med brstenjem in nastavkom grozdja, med nastavkom grozdja in začetkom zorenja niso namakali, med začetkom zorenja in trgatvijo 22,3 % celotne  $ET_c$ ).

Pri sorti 'Sangiovese' pomeni  $I_0$  kontrola (nenamakane trte), pri  $I_1$  so trte namakane s 33 %  $ET_c$  in pri  $I_2$  s 70 %  $ET_c$  zadnjih 7 dni, med nastavkom grozdja in začetkom zorenja. Trte so bile namakane, ko je  $\Psi_S$  dosegel okvirno -0,9 MPa, neto fotosinteza okvirno  $11 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  in ko je razpoložljiva voda v tleh na 0,6 m globine pod listno steno dosegla točko venenja.

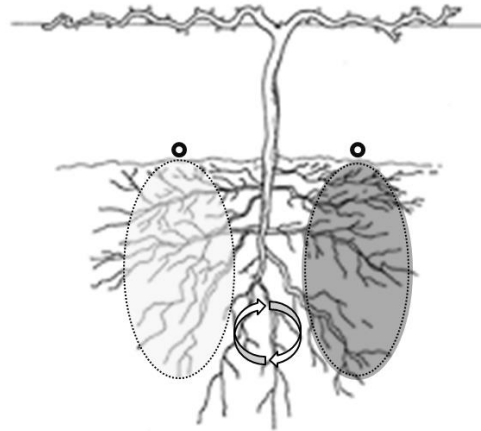
Pri sorti 'Tempranillo' in nadzorovanem deficitnem namakanju – NDN je KN konvencionalno namakanje ( $\Psi_{PD}$  od -0,2 MPa do -0,9 MPa), NDN je nadzorovano deficitno namakanje (NDN-1 namakali ko je  $\Psi_{PD}$  padel pod -0,8 MPa, pri NDN-2 med nastavkom grozdja in začetkom zorenja, ko je  $\Psi_{PD}$  padel pod -0,8 MPa, med začetkom zorenja do trgatve, ko je  $\Psi_{PD}$  padel pod -0,6 MPa).

Pri sorti 'Tempranillo' in izmeničnem polovičnem kapljičnemu namakanju - IPK je kontrola nenamakane trte, pri 50 (50 %  $ET_c$ ) in 100 (100 %  $ET_c$ ) so vodo dodali na obe strani trt, pri 50-IPK (50 %  $ET_c$ ) in 100-IPK (100 %  $ET_c$ ) so vodo dodali le na eno stran trt.

### Izmenično polovično namakanje korenin (IPNK)

Izmenično polovično namakanje korenin (IPNK) temelji na izmenjujočem dodajanju vode dvema deloma korenin vinske trte (Slika 2). Del korenin v mokrih tleh naj bi trto preskrboval z vodo, del v suhih tleh naj bi listom in mladikam poslal signal o pomanjkanju vode, ki bi posledično zmanjšale prevodnost listnih rež in s tem

transpiracijo (dos Santos in sod., 2003; Intrigliolo in Castel, 2009). Dosedanji rezultati o vplivu izmeničnega namakanja na rast, rodnost in sestavo jagod pri vinski trti kažejo na velik vpliv sorte, okoljskih razmer, lastnosti tal in načina aplikacije vode na fiziološke odzive posamezne trte. Posledično še ni moč zagotovo trditi ali se IPNK dobro obnese v vseh pridelovalnih razmerah (Gu in sod., 2004; Du in sod., 2013).



**Slika 3:** Izmenično kapljično namakanje (prirejeno po Du in sod., 2008)

**Figure 3:** Alternate partial drip irrigation (adapted from Du et al., 2008)

Poskus, kjer so ugotavljali vpliv IPNK na rast, pridelek in sestavo jagod so izvedli v Španiji na sorti 'Tempranillo'. Pri obravnavanjih so upoštevali  $ET_0$  in  $k_c$ , stran namakanja so zamenjali na vsaka dva tedna. Pri obravnavanjih z izmeničnim namakanjem so najprej namakali severno in nato južno stran trt (preglednica 1).

Izmenično kapljično namakanje (IKN) ni značilno vplivalo na vegetativno rast vinske trte. Masa lesa po rezi ter površina listne stene sta se opazno povečala pri bolj namakanih trtah (100 % in 100 % IKN), vendar razlik med običajnim in izmeničnim namakanjem niso opazili. Pri 50 % je bila površina listne stene na trto 7,5 m<sup>2</sup>, pri 50 % IKN pa 7,6 m<sup>2</sup> (Intrigliolo in Castel, 2009).

Pridelek in parametri rodnosti (št. grozdov na trto in masa posameznega grozda) se pod vplivom različnega načina namakanja niso značilno razlikovali. Razlike so bile opazne le med trtami, ki so jim dodali različen volumen vode (Preglednica 1). Pri kontroli brez namakanja so izmerili najmanjši povprečni pridelek na trto (5,92 kg/trto) in maso grozdov (370 g), medtem ko so polno namakane trte pod običajnim namakanjem dale največ grozdja (7,43 kg/trto, masa enega grozda v povprečju 437 g). Število grozdov na trto se med obravnavanji ni spremenilo (Intrigliolo in Castel, 2009; preglednica 1).

Način dodajanja vode ni vplival na končno sestavo jagod. Pri vseh obravnavanjih je vsebnost sladkorjev variirala med 20,9 °Brix pri kontroli in 22,8 °Brix pri trtah pod običajnim 100 % kapljičnim namakanjem. Med obravnavanji se tudi pri vsebnosti titrabilnih kislin in pH vrednosti niso pokazale značilne razlike (Intrigliolo in Castel, 2009).

Dosedanje raziskave vpliva izmeničnega kapljičnega namakanja na rast in rodnost vinske kažejo nasprotujoče rezultate, predvsem zaradi velikega števila dejavnikov, ki vplivajo na procese v sistemu tla – vinska trta – listna stena. Omeniti velja predvsem vremenske razmere, značaj sorte, lastnosti tal in načine namakanja, zato bi morali tovrstno namakanje preizkusiti v različnih okoljskih razmerah z različnimi tipi tal, na več sortah in pod različnimi načini dodajanja vode (Gu in sod., 2004). Še bolj kot pri kapljičnem namakanju, kjer namakamo celotno območje korenin, tip tal močno vpliva na izmenično namakanje, pri katerem je pomembno, da dosežemo očitno mejo med mokrim in suhim delom tal. Težja tla se počasneje segrevajo ter ohlajajo in hkrati osušujejo, kar pomeni, da mora cikel namakanja ene in osuševanja druge strani vinske trte trajati dlje časa, sicer izmenično namakanje ne pride do izraza (Du in sod., 2008).

## 4 NAMAKANJE VINSKE TRTE V SLOVENIJI

Namakanje vinske trte v Sloveniji nima takšne tradicije izvajanja kot v drugih državah pridelovalkah grozdja s toplejših območij, vendar se je tudi že pri nas nekaj vinarjev odločilo za ureditev namakalnega sistema. Prvi poskusi vpeljave deficitnega namakanja so v teku pri oljkah (Podgornik in Bandelj, 2015), medtem ko vinsko trto pri nas namakajo predvsem na Primorskem, kjer izrazito plitva tla ne omogočajo zadrževanja vode. Po podatkih javnih baz namakanih vinogradov v Sloveniji ni. V zadnjih letih se je na nekaterih omejenih območjih Goriških brd in Krasa uredilo posamezne kapljične namakalne sisteme. Najverjetneje je vodni vir vodovodna voda ali deževnica. V drugih vinorodnih okoliših se namakanje v pridelavi grozdja ne izvaja (Rusjan, 2018). Za strokovno pravilno namakanje ter prenos principa deficitnega namakanja v prakso bo

potrebno preveriti odziv sort v danem okolju. Na uspešnost izbranega pristopa k namakanju oziroma deficitnemu principu namakanja imajo velik vpliv številni dejavniki, kot so sorta in podlaga vinske trte, poznavanje kritičnih faz namakane sorte, lastnosti tal. Zato je smiselno tovrstni princip namakanja dobro preučiti v različnih okoljskih in eksperimentalnih razmerah ter ločeno za vsak vinorodni okoliš v Sloveniji. Dobro poznavanje nadzora deficita je ključno, za kar je potrebno znanje ter dostop do opreme, ki bo omogočala nadzor deficita. V Sloveniji se namaka pogosto le po občutku (Cvejić s sod., 2015), zato sta strokovna in finančna podpora pridelovalcem pri vpeljavi te tehnologije namakanja v vinogradništvu nujni.

## 5 ZAKLJUČKI

V pregledu vsebin dosedanjih objav obravnavamo vpliv različnih pristopov deficitnega namakanja na rast in rodnost žlahtne vinske trte (*Vitis vinifera* L.).

Deficitno namakanje je eno izmed najbolj raziskanih načinov upravljanja namakanja vinske trte, pri katerem raziskovalci navajajo veliko pozitivnih učinkov za uspešno pridelavo grozdja. Takšen način upravljanja namakanja vinske trte se je v svetu začel uporabljati zaradi zmanjševanja zaloga rastlinam razpoložljive vode v tleh. Pri deficitnem namakanju se nadzorovano dodaja manjši volumen vode, kot jo trta potrebuje. Rezultati tovrstnega namakanja so manjša rast trte (krajše mladike, manjša listna površina, manjša masa lesa po rezi), manjše jagode in s tem sprejemljivo manjši pridelek, boljša sestava jagod (več sladkorjev in antocianov, manj kislin), večja učinkovitost rabe vode (več pridelka na enoto dodane vode) in manjša poraba vode. Najboljši način za nadzor deficitnega namakanja

pri vinski trti je sprotno merjenje vodnega potenciala oziroma ksilemskega toka trte.

Izkušnje z dosedanjimi poskusi nakazujejo, da sušni stres pred in po začetku zorenja vodi do najboljšega razmerja med rastjo in količino pridelka ter sestavo grozdja sort 'Cabernet Sauvignon', 'Monastrell' in 'Sangiovese'. Na uspešnost izbranega pristopa k deficitnemu namakanju imajo velik vpliv sorta in podlaga vinske trte ter tekstura tal, zato je smiselno to tehnologijo namakanja dobro preučiti v različnih okoljskih in eksperimentalnih razmerah ter za vsak vinorodni okoliš v Sloveniji. Za uspešen prenos principa deficitnega namakanja v prakso je potrebno poznati tudi kritične fenofaze namakanih sort vinske trte, kakšen je odziv sorte v nekem okolju, potreben je dostop do opreme, ki bo omogočala nadzor deficita. Uspešen prenos v prakso bo mogoč le ob finančni in strokovni podpori pridelovalcem pri vpeljavi te tehnologije namakanja.

## 6 VIRI

Acevedo-Opazo C., Ortega-Farias S., Fuentes S. (2010). Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: An irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Managment*, 97, 956-96. doi:10.1016/j.agwat.2010.01.025

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and drainage*

paper, 56. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations: 300 str.

Araujo F., Williams L. E., Grimes D. W., Mathews M. A. (1995a). A comparative study of young 'Thompson Seedless' grapevines under drip and furrow irrigation. I. Root and soil water distributions. *Scientia Horticulturae*, 60, 235-249. doi:10.1016/0304-4238(94)00710-W

Araujo F., Williams L. E., Mathews M. A. (1995<sup>b</sup>). A comparative study of young 'Thompson Seedless'

- grapevines (*Vitis vinifera* L.) under drip and furrow irrigation. II. Growth, water use efficiency and nitrogen partitioning. *Scientia Horticulturae*, 60, 251-265. doi:10.1016/0304-4238(94)00711-N
- Barroso J.M., Pombeiro L., Rato A.E. (2017). Impacts of crop level, soil and irrigation management in grape berries of cv 'Trincadeira' (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Wine Research*, 28 (1), 1-12. doi:10.1080/09571264.2016.1238350
- Camp C. R. (1998). Subsurface drip irrigation: a review. *Transactions of the ASAE*, 41, 5, 1353-1367. doi:10.13031/2013.17309
- Cancela, J.J., Rey, B.J., Fandiño, M., Martínez, E.M., Lopes, C.M., Egipto, R., Silvestre, J.M. (2017) Tools for management of irrigation in vineyards: An approach to farmers. *Acta Horticulturae*, 1150, 471-476, doi:10.17660/ActaHortic.2017.1150.65
- Chaves M.M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J.M., Santos, T., Regalado, A.P., Rodrigues M.L. Lopes, C.M. (2007). Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105, 661-676. 2010 doi:10.1093/aob/mcq030
- Cifre J., Bota J., Escalona J.M., Medrano H., Flexas J. (2005). Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.). An open gate to improve water-use efficiency? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106, 159-170. doi:10.1016/j.agee.2004.10.005
- Conesa M.R., de la Rosa J.M., Domingo R., Bañon S., Pérez-Pastor A. (2016). Changes induced by water stress on water relations, stomatal behaviour and morphology of table grapes (cv. Crimson Seedless) grown in pots. *Scientia Horticulturae*, 202, 9-16. doi:10.1016/j.scienta.2016.02.002
- Cvejič R., Pintar M. (2013). Namakanje. Šentjur, 27 november 2013. Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani
- Cvejič R., Zupanc V., Pintar M. (2015). Primerjava razvoja namakanja v Sloveniji z globalnim trendom = Development of irrigation in Slovenia from a global perspective. *Hmeljarski bilten*, 22, 74-85.
- Deluc L.G., Quilici D.R., Decendit A., Grimplet J., Wheatley M.D., Schlauch K.A., Merillon J. Cushman J.C., Cramer G.R. (2009). Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in grape berries of Cabernet Sauvignon and Chardonnay. *BMC Genomics*, 10.
- Döll P. (2002). Impact of climate change on variability on irrigation requirements: A global perspective. *Climatic change*, 54, 269-293. doi:10.1023/A:1016124032231
- dos Santos T.P., Lopes C.M., Rodrigues M.L., de Souza C.R., Maroco J.P., Pereira J.S., Silva J.R., Chaves M.M. (2003). Partial rootzone drying: effects on growth and fruit quality of field-grown grapevines (*Vitis vinifera*). *Functional plant biology*, 30, 663-671. doi:10.1071/FP02180
- Du T., Kang S., Zhang J., Li F., Yan B. (2008). Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation. *Agricultural water management*, 95, 659-668. doi:10.1016/j.agwat.2008.01.017
- Du T., Kang S., Yan B., Zhang J. (2013). Alternate furrow irrigation: A practical way to improve grape quality and water use efficiency in arid northwest China. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(3), 509-519. doi:10.1016/S2095-3119(13)60252-X
- Edwards E.J., Clingeleffer P.R. (2013). Interseasonal effects of regulated deficit irrigation on growth, yield, water use, berry composition, and wine attributes of Cabernet Sauvignon grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19, 261-276. doi:10.1111/ajgw.12027
- English M., Raja S.N. (1996). Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 32, 1-14. doi:10.1016/S0378-3774(96)01255-3
- Esteban M.A., Villanueva M.J., Lissarrague J. (2001). Effect of irrigation on changes in the anthocyanin composition of the skin of cv. Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) grape berries during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 409-420. doi:10.1002/1097-0010(200103)81:4<409::AID-JSFA830>3.0.CO;2-H
- Evapotranspiration and Grapevine Water Use. (2015). WSU viticulture and enology, Washington State University. <http://wine.wsu.edu/research-extension/weather/evapotranspiration/> (1. sept. 2015)
- FAO database. Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Aquastat. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html> (18.feb. 2016)
- Fereres E., Soriano M.A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 147-159. doi:10.1093/jxb/erl165
- Fernandez J.E., Green S.R., Caspari H.W., Diaz-Espejo A., Cuevas M.V. (2008). The use of sap flow measurements for scheduling irrigation in olive, apple and Asian pear trees and in grapevines. *Plant*

- and Soil*, 305(1-2), 91-104. doi:10.1007/s11104-007-9348-8
- Fernandez J.E. (2014). Understanding olive adaptation to abiotic stresses as a tool to increase crop performance. *Environmental and Experimental Botany*, 103, 158–179. doi:10.1016/j.envexpbot.2013.12.003
- Geerts S., Raes D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*, 96, 1275-1284. doi:10.1016/j.agwat.2009.04.009
- Goldammer T. (2018). Grape Grower's Handbook: A Guide to Viticulture for Wine Production. Third edition. U.S.A., Apex Publishers: 482 str.
- Greenspan M.D., Schultz H.R., Matthews M.A. (1996). Field evaluation of water transport in grape berries during water deficits. *Physiologia Plantarum*, 97(1), 55-62. doi:10.1111/j.1399-3054.1996.tb00478.x
- Grimplet J., Deluc L.G., Cramer G., Cushman J.C. (1970). Integrating functional genomics with salinity and water deficit stress responses in wine grape – *Vitis vinifera*. Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops, 643-668.
- Gu S., Du G., Zoldoske D., Hakim A., Cochran R., Fugelsang K., Jorgensen G. (2004). Effects of irrigation amount on water relations, vegetative growth, yield and fruit composition of Sauvignon blanc grapevines under partial rootzone drying and conventional irrigation in the San Joaquin Valley of California, USA. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79(1), 26-33. doi:10.1080/14620316.2004.11511732
- Hannah L., Roehrdanz P.R., Ikegami M., Shepard A.V., Shaw M.R., Tabor G., Zhi L., Marquet P.A., Hijmans R.J. (2013). Climate change, wine and conservation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110(17), 6907-6912. doi:10.1073/pnas.1210127110
- Hepner Y., Bravdo B., Loinger C., Cohen S., Tabacman H. (1985). Effect of drip irrigation schedules on growth, yield, must composition and wine quality of Cabernet Sauvignon. *American Journal of Enology and Viticulture*, 36, 77-85.
- Hladnik M., Jakše J., Bandelj D., Vuk I. (2014). The characterisation of *Vitis vinifera* 'Refošk' with AFLP and SSR molecular markers and ampelographic traits. *Acta Agriculturae Slovenica*, 103(1), 55-64. doi:10.14720/aas.2014.103.1.06
- Hochberg U., Degu A., Fait A., Rachmilevitch S. (2017). Grapevines hydraulic diversity - A critical consideration for irrigation management. *Acta Horticulturae*, 1150, 443-448. doi:10.17660/ActaHortic.2017.1150.61
- Imazio S., De Lorenzis G., Scienza A., Failla O., Vouillamoz J., Korošec-Koruza Z., Rusjan D., Nikolao N. (2014). 'Ribolla Gialla' from North Eastern Italy, 'Rebula' from Northern Balkans and 'Robola' from Ionian Islands; Do they belong to the same population variety or are they genetically different? *Acta Horticulturae*, 1046, 645-652. doi:10.17660/ActaHortic.2014.1046.88
- Intrigliolo D.S., Castel J.R. (2009). Response of *Vitis vinifera* cv. 'Tempranillo' to partial rootzone drying in the field: Water relations, growth, yield and fruit and wine quality. *Agricultural Water Management*, 96, 282-292. doi:10.1016/j.agwat.2008.08.001
- Kajfež Bogataj L. (2009). Climate change and future adaptation. Economic and business review, 11(1), 9-27.
- Katerji N., Mastrorilli M., Rana G. (2008). Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis. *European Journal of Agronomy*, 28(4). doi:10.1016/j.eja.2007.12.003
- Kosta H. (1998). Vinogradniški nasveti. Ljubljana, Kmečki glas: 149 str.
- Kumar Kar R. (2011). Plant responses to water stress. Role of reactive oxygen species. *Plant Signaling and Behavior*, 6(11), 1741-1745. doi:10.4161/psb.6.11.17729
- Lamovšek, J., Zidarič, I., Mavrič Pleško, I., Urek, G., Trdan, S. (2014). Comparative study of diagnostic methods used for monitoring of common grape vine (*Vitis vinifera* L.) crown gall (*Agrobacterium vitis* Ophel & Kerr) in Slovenia. *Acta Agriculturae Slovenica*, 103(2), 313-321. doi:10.14720/aas.2014.103.2.16
- Lanari V., Pallioti A., Sabbatini P., Howell G.S. (2014). Optimizing deficit irrigation strategies to manage vine performance and fruit composition of field-grown 'Sangiovese' (*Vitis vinifera* L.) grapevines. *Scientia Horticulturae*, 179, 239-247. doi:10.1016/j.scienta.2014.09.032
- Lavrenčič P., Peterlunger P., Sivilotti E. (2007). Water stress and root hydraulic conductivity in grapevine grafted on different rootstocks. *Acta Horticulturae*, 754, 283-288. doi:10.17660/ActaHortic.2007.754.36
- Lovisolò, C., Perrone, I., Carra, A., Ferrandino, A., Flexas, J., Medrano, H., Schubert, A. (2010). Drought-induced changes in development and function of grapevine (*Vitis* spp.) organs and in their hydraulic and non-hydraulic interactions at the whole-plant level: a physiological and molecular

- update. *Functional Plant Biology*, 2010(37), 98–116. doi:10.1071/FP09191
- Lu P., Yunusa I.A.M., Walker R.R., Müller W.J. (2003). Regulation of canopy conductance and transpiration and their modeling in irrigated grapevines. *Functional Plant Biology*, 30, 689-698. doi:10.1071/FP02181
- Malheiro A.C., Santos J.A., Fraga H., Pinto J.G. (2010). Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe. *Climate Research*, 43, 163-177. doi:10.3354/cr00918
- Maljevič J. (2003). Naravi in ljudem prijazno vinogradništvo. Novo mesto, KGZS – Zavod: 93 str.
- Matthews M.A., Anderson M.M., Schultz H.R. (1987). Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. *Vitis – Journal of Grapevine Research*, 26, 147-160.
- Matthews M.A., Anderson M.M. (1988). Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: Responses to seasonal water deficits. *American Journal of Enology and Viticulture*, 39(4), 313-320.
- Matthews M.A., Ishii R., Anderson M.M., O'Mahony M. (1990). Dependence of wine sensory attributes on wine water status. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 51(3), 321-335. doi:10.1002/jsfa.2740510305
- McCarthy M.G. (1997). The effect of transient water deficit on berry development of cv. Shiraz (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 3, 102-108. doi:10.1111/j.1755-0238.1997.tb00128.x
- Medrano H., Escalona J.M., Cifre J., Bota J., Flexas J. (2003). A ten-year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Functional Plant Biology*, 30, 607-619. doi:10.1071/FP02110
- Montalebifard R., Najafi N., Oustan S., Nyshabouri M.R., Valizadeh M. (2013). The combined effects of phosphorous and zinc on evapotranspiration, leaf water potential, water use efficiency and tuber attributes of potato under water deficit conditions. *Scientia Horticulturae*, 162, 31 – 38. doi:10.1016/j.scienta.2013.07.043
- Moriana A., Orgaz F., Pastor M., Fereres E. (2003). Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 128(3), 425-431.
- Moyer M., Peters R. T., Hamman R. (2013). Irrigation Basics for Eastern Washington Vineyards. Washington State University Extension. <http://cru.cahe.wsu.edu/CEPublications/EM061E/EM061E.pdf> (12.dec. 2015)
- Novello V., Schubert A., Antonietto M., Boschi A. (1992). Water relations of grapevine cv. Cortese with different training systems. *Vitis – Journal of Grapevine research*, 31(2), 65-75.
- OIV (International Organisation of Vine and Wine). (2011). <http://www.oiv.int/en/> (9.11.2018)
- Patakas A., Noitsakis B., Chouzouri A. (2005). Optimization of irrigation water use in grapevines using the relationship between transpiration and plant water status. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 106, 253-259. doi:10.1016/j.agee.2004.10.013
- Pelengič R., Pipan B., Meglič V., Rusjan D. (2012). Ovrednotenje genskih virov belih sort žlahtne vinske trte (*Vitis vinifera* L.). *Acta agriculturae Slovenica*, 99, 433-438.
- 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: 55 str.
- Pintar M., Zupanc V. (2017). Deficitno namakanje v poljedelstvu in zelenjadarstvu - izzivi in perspektive. V: Čeh B. (ur.), et al. Novi izzivi v agronomiji 2017 : zbornik simpozija, Laško, 2017 Ljubljana: Slovensko agronomsko društvo. 2017, str. 272-276
- Podgornik M., Bandelj D. (2015). Deficitni princip namakanja oljčnih nasadov v Slovenski Istri. *Acta agriculturae Slovenica*, 105, 337-344.
- Poling B., Spayd S. (2015). Grapevine water relations and vineyard irrigation. The North Carolina Winegrape Grower's Guide. <http://content.ces.ncsu.edu/chapter-10-grapevine-water-relations-and-vineyard-irrigation.pdf> (12.dec. 2015)
- Reščič J., Mikulič-Petkovšek M., Štampar F., Zupan A., Rusjan D. (2015). The impact of cluster thinning on fertility and berry and wine composition of 'Blauer Portugieser' (*Vitis vinifera* L.) grapevine variety. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 49(4), 275-291. doi:10.20870/oenone.2015.49.4.16
- Reščič J., Mikulič-Petkovšek M., Rusjan D. (2016). The impact of canopy managements on grape and wine composition of cv. 'Istrian Malvasia' (*Vitis vinifera* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(14), 4724-4735. doi:10.1002/jsfa.7778

- Roby G., Harbertson J.F., Adams D.A., Matthews M.A. (2004). Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10, 100-107. doi:10.1111/j.1755-0238.2004.tb00012.x
- Rogiers S. Y., Greer D. H., Hutton R. J., Landsberg J. J. (2009). Does night-time transpiration contribute to anisohydric behaviour in a *Vitis vinifera* cultivar? *Journal of Experimental Botany*, 60(13), 1-13. doi:10.1093/jxb/erp217
- Romano N, Santini, A. (2002). Water retention and storage: Field. V: Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Methods, Edition: SSSA Book Series N.5, Chapter: Water retention and storage: Field., Publisher: Soil Science Society of America, Editors: J.H. Dane, G.C. Topp, pp.721-738
- Romero P., Gil-Muñoz R., M. del Amor F., Valdés E., Fernandez J.I., Martínez-Cutillas A. (2013). Regulated deficit irrigation based upon optimum water status improves phenolic composition in Monastrell grapes and vines. *Agricultural Water Management*, 121, 85-101. doi:10.1016/j.agwat.2013.01.007
- Ruiz-Sanchez M.C., Domingo R., Castel J.R. (2010). Review. Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8, S5-S20. doi:10.5424/sjar/201008S2-1343
- Rusjan D. (2018). Osebna komunikacija.
- Rusjan D., Bubola M., Janjanin D., Užila Z., Radeka S., Poljuha D., Pelengić R., Javornik B., Štajner N. (2015). Ampelographic characterisation of grapevine accessions denominated 'Refošk', 'Refosco', Teran' and 'Terrano' (*Vitis vinifera* L.) from Slovenia, Croatia and Italy. *Vitis – Journal of Grapevine Research*, 54, 77-80.
- Salon J.L., Chirivella C., Castel J.R. (2005). Response of cv. Bobal to timing on deficit irrigation in Requena, Spain: Water relations, yield and wine quality. *American Journal of Enology and Viticulture*, 56, 1, 1-8.
- Santesteban L.G., Miranda C., Royo J.B. (2011). Regulated deficit irrigation effects on growth, yield, grape quality and individual anthocyanin composition in *Vitis vinifera* L. cv. 'Tempranillo'. *Agricultural Water Management*, 98, 1171-1179. doi:10.1016/j.agwat.2011.02.011
- Schultz H.R. (2003). Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant, Cell and Environment*, 26, 1393-1405. doi:10.1046/j.1365-3040.2003.01064.x
- Simončič J., Mavrič Štrukelj M., Brdnik M., Štabuc R., Novak E. (2017). Slovenski vinogradi. V: Zbornik prispevkov. 5. Slovenski vinogradniško-vinarski kongres, Šentjernej, 12. maj 2017. Čuš F., Košmerl T., Vanzo A. (ur.). Ljubljana, Kmetijski Inštitut Slovenije: 2-36
- Sousa T.A., Oliveira M.T., Pereira J.M. (2006). Physiological indicators of plant water status of irrigated and non-irrigated grapevines grown in a low rainfall area of Portugal. *Plant and Soil*, 282, 127-134. doi:10.1007/s11104-005-5374-6
- Stajniko D., Pulko B., Rakun J. (2010). Possible application of differential global positioning system (DGPS) to harvesting date and precision viticulture. *African Journal of Biotechnology*, 9(48), 8182-8191. doi:10.5897/AJB10.1245
- Statistični urad Republike Slovenije. Irrigation by type of area, Slovenia, annually by IRRIGATED AREA, MEASURES and YEAR. <http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/Saveshow.asp> (18.feb. 2016)
- Steudle E., (2001). The cohesion-tension mechanism and the acquisition of water by plant roots. *Annual Review of Plant Physiological and Molecular Biology*, 52, 847-875. doi:10.1146/annurev.arplant.52.1.847
- Štajner N., (2010). Mikrosatelitski markerji uporabni za identifikacijo kultivarjev vinske trte (*Vitis vinifera* L.). *Acta agriculturae Slovenica*, 95, 183-192.
- Štrukelj, M., Razinger, J., Grubar, B., Žibrat, U., Mavrič Pleško, I., Vodnik, D., Urek, G. (2016) Physiological response of grapevine *Vitis vinifera* L. to grapevine leafroll associated viruses (GLRaV-1 and GLRaV-1 + GLRaV-3) | [Fiziološki odziv žlahtne vinske trte *Vitis vinifera* L. na okužbo z zvižanjem listov vinske trte povezanih virusov (GLRaV-1 in GLRaV-1 + GLRaV-3)] *Acta Agriculturae Slovenica*. 107(2), 519-529. doi:10.14720/aas.2016.107.2.22
- Tomaz A., Pacheco C.A., Coletto Martinez J.M. (2017). Influence of cover cropping on water uptake dynamics in an irrigated Mediterranean vineyard. *Irrigation and Drainage*, 66(3), 387-395. doi:10.1002/ird.2115
- Tuller M., Or D. (2005). Water films and scaling of soil characteristic curves at low water contents. *Water Resources research*, 41(9), W09403. doi:10.1029/2005WR004142
- Vodnik D. (2012). Osnove fiziologije rastlin. Ljubljana, Oddelek za agronomijo, Biotehniška fakulteta: 141 str.

- Vršič S., Lešnik M. (2010). Vinogradništvo. 2. dopolnjena izdaja, Ljubljana, Kmečki glas: 403 str.
- Williams L.E., Ayars J.E. (2005). Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132, 201-211. doi:10.1016/j.agrformet.2005.07.010
- Yunusa I.A.M., Walker R.R., Lu P. (2004). Evapotranspiration components from energy balance, sapflow and microlysimetri techniques for an irrigated vineyard in inland Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 127, 93-107. doi:10.1016/j.agrformet.2004.07.001
- Zhang Y., Kang S., Ward E.J., Ding R., Zhang X., Zheng R. (2011). Evapotranspiration components determined by sap flow and microlysimetry techniques of a vineyard in northwest China: Dynamics and influential factors. *Agricultural Water Management*, 98, 1207-1214. doi:10.1016/j.agwat.2011.03.006
- Zhang Y., Oren R., Kang S. (2012). Spatiotemporal variation of crown-scale stomatal conductance in an arid *Vitis vinifera* L. cv. Merlot vineyard: direct effects on hydraulic properties and indirect effects of canopy leaf area. *Tree Physiology*, 32, 262-279. doi:10.1093/treephys/tp120
- Zhang Q., Wang S., Li L., Inoue M., Xiang J., Qui G., Jin W. (2014). Effects of mulching and sub-surface irrigation on vine growth, berry sugar content and water use of grapevines. *Agricultural Water Management*, 14, 1-8. doi:10.1016/j.agwat.2014.05.015
- Zsófi Z., Tóth E., Váradi G., Rusjan D., Bálo B. (2008). The effect of progressive drought on water relations and photosynthetic performance of two grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.). *Acta Biologica Szegediensis*, 52(2), 321-322.