



Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet
University of Zagreb, Faculty of Agriculture

KVANTITATIVNA INFRACRVENA TERMOGRAFIJA KAO ALAT ZA MOTRENJE VODNOG STATUSA VINOVE LOZE

DIPLOMSKI RAD

Gojko Galić

Zagreb
rujan, 2018



Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet University of Zagreb, Faculty of Agriculture

Diplomski studij:
Poljoprivredna tehnika - Melioracije

KVANTITATIVNA INFRACRVENA TERMOGRAFIJA KAO ALAT ZA MOTRENJE VODNOG STATUSA VINOVE LOZE

DIPLOMSKI RAD

Gojko Galić

Mentor: Doc. dr. sc. Monika Zovko

Zagreb
rujan, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Gojko Galić**, JMBAG 0178097427, rođen dana 24. ožujka 1995. godine u Čapljini (BiH), izjavljujem da sam samostalno izradilo diplomski rad pod naslovom:

**KVANTITATIVNA INFRACRVENA TERMOGRAFIJA KAO ALAT ZA
MOTRENJE VODNOG STATUSA VINOVE LOZE**

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

Potpis studenta

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **Gojka Galića**, JMBAG 0178097427, naslova

**KVANTITATIVNA INFRACRVENA TERMOGRAFIJA KAO ALAT ZA
MOTRENJE VODNOG STATUSA VINOVE LOZE**

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

- | | |
|---------------------------------|--------|
| 1. Doc. dr. sc. Monika Zovko | mentor |
| 2. Prof. dr. sc. Ivanka Boras | član |
| 3. Doc. dr. sc. Boris Lazarević | član |

Potpisi:

Zahvala

Ovom prilikom želim zahvaliti mentorici doc. dr. sc. Moniki Zovko što je prihvatila mentorstvo i predložila zanimljivu temu te mi ustupila potreban materijal i literaturu za izradu diplomskog rada. Također zahvaljujem na korisnim savjetima i pomoći, utrošenom vremenu i na velikom strpljenju i razumijevanju.

Zahvaljujem prof. dr. sc. Ivanki Boras s Fakulteta strojarstva i brodogradnje na izdvojenom vremenu i pomoći pri mjerenjima na pokusnom području te pri izradi dijela rada iz područja termografije.

Želim zahvaliti i profesorici hrvatskog jezika Marinki Jurković na utrošenom vremenu i velikoj pomoći pri pregledavanju radova tijekom obrazovanja.

Zahvaljujem svim kolegama s kojima sam surađivao tijekom studija, a posebno zahvaljujem kolegama Tomislavu Vašareviću, Zvonimiru Sušcu, Marku Gaboru i Marku Ivankiću na lijepim studentskim uspomnama.

Želim zahvaliti svojoj sestri Ivani i bratu Ivanu koji su mi pomagali tijekom studija i bili mi velika moralna potpora te djevojci Martini na potpori tijekom studiranja i izrade diplomskoga rada.

Posebno, i najveće hvala, mojim roditeljima, Ani i Jozi, koji su mi omogućili bezbrižno školovanje i što su imali puno razumijevanja i strpljenja tijekom cijeloga moga obrazovanja.

Gojko Galić

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Pregled literature	2
2.1. Osnovna obilježja vinove loze	2
2.1.1. Uvjeti za rast i razvoj vinove loze	3
2.3. Navodnjavanje vinove loze	4
2.3.1. Deficitarno navodnjavanje	6
2.3.2. Djelomično zasušivanje zone korijena	7
2.4. Navodnjavanje vinograda na području Dalmacije	7
2.5. Upravljanje navodnjavanjem vinograda	9
2.6. Metode procjene vodnog stresa vinove loze	9
2.7. Termografija	10
3. Ciljevi	13
4. Materijali i metode	14
4.1. Područje istraživanja	14
4.2. Opis navodnjavane pokusne parcele	14
4.3. Mjerenja vodnog potencijala lista vinove loze u navodnjavanom pokusnom nasadu	16
4.4. Termografska snimanja vinograda	17
5. Rezultati i rasprava	19
5.1. Vodni potencijal lista vinove loze	19
5.2. Analiza termograma	20
5.2.1. Varijanta navodnjavanja -100 % evapotranspiracije	20
5.2.2. Varijanta navodnjavanja -75 % evapotranspiracije	24
5.2.3. Varijanta navodnjavanja - 50% evapotranspiracije	28
5.2.4. Varijanta bez navodnjavanja - kontrola	31
5.3. Rezultati indeksa vodnog stresa (eng. <i>crop water stress index</i> - CWSI)	34
6. Zaključak	36
7. Literatura	37

Sažetak

Diplomskog rada studenta **Gojka Galića**, naslova

KVANTITATIVNA INFRACRVENA TERMOGRAFIJA KAO ALAT ZA MOTRENJE VODNOG STATUSA VINOVE LOZE

Iako se vinova loza (*Vitis vinifera L.*) uzgaja na područjima pogodnim za uzgoj glede tla i vode, njezina rasprostranjenost uz obalu dovela je do potrebe uvođenja mjere navodnjavanja. Kultivirano tlo krša posebno je po izrazitoj skeletnosti te malom kapacitetu tla za vodu pa je pravilno raspoređivanje vode na tom području od iznimne važnosti. U ovom diplomskom radu analizirale su se različite metode procjene vodnog statusa vinove loze. Za izračun vodnog potencijala lista vinove loze koristila se metoda mjerenja pomoću tlačne komore, dok je za mjerenje termograma korištena termografska kamera. Varijanta 100 % evapotranspiracije najbolje se pokazala u mjerenju vodnog potencijala lista jer ima slabi do srednje slabi nedostatak vode, dok su ostale varijante imale ozbiljni nedostatak vode. Kod mjerenja temperatura termografskom kamerom najbolje su se pokazale varijante navodnjavanja 100% i 75 % evapotranspiracije jer su imale najmanje temperature i najmanja odstupanja od središnjeg prosjeka svih temperatura termograma.

Ključne riječi: vinova loza, navodnjavanje, termografija, temperatura, tlo

Summary

QUANTITATIVE INFRARED THERMOGRAPHY AS A TOOL FOR WATER STORAGE IN VINE GRAPE

Grape vine is commonly grown on areas suitable for cultivation by soil and water, its distribution along the coast has led to the need to introduce measures for irrigation. Cultivated soil karst is especially by its high skeletal structure and low water capacity, so proper distribution of water in this area is of utmost importance. In this master's thesis different methods of evaluation of the water status of the grapevine were analyzed. To calculate the water content of the grape vine we used the measurement method using the pressure chamber, while a thermographic camera was used for thermography measurement. 100% evapotranspiration variant is best shown in the measurement of water content of leaf because it has a weak to moderately weak water shortage, while other variants had a serious water shortage. When measuring the temperature with the thermographic camera, they showed the best variants of irrigation 100% and 75% of evapotranspiration because they had the least temperature and the slightest deviation from the central average of all thermogravure temperatures.

Key words: *grape vine, irrigation, termography, temperature, soil*

1. Uvod

Vinova loza je biljka koja se u posljednje vrijeme sve više uzgaja na velikim površinama u Hrvatskoj. Nažalost zbog nedostatka poljoprivrednih površina i neadekvatnog gospodarenja obradivim površinama uz obalu duž Dalmacije ravnaju se i krče te dovode u obradivo stanje velike površine krša. Površine krša obrasle su svakakvim raslinjem pa je potrebno izvesti nekoliko operacija kako bi se tlo dovelo u obradivo stanje. Prva operacija je probijanje puta jer se površine nalaze na nepristupačnim terenima. Druge operacije su zahvati obrade tla i dovođenje krša u obradivo tlo, a sastoje se od razbijanja kamena, prekopavanja tla bagerima, preoravanja i na kraju freziranja kamena do zadovoljavajuće strukture tla. Za uzgoj vinove loze na takvim područjima potrebno je osigurati i dovod vode za navodnjavanje jer na takvim površinama ništa nije moguće uzgajati bez navodnjavanja, zato što je tlo sastavljeno od skeleta i ima vrlo mali kapacitet tla za vodu. Kako bismo odabrali najbolji sustav za navodnjavanje koji zadovoljava sve uvjete potrebne za uzgoj vinove loze, potrebno je poznavati klimatska obilježja područja i karakteristike tla. Na područjima dobivenim iz krša koriste se sustavi koji trebaju imati minimalni gubitak vode jer je voda na tim područjima teže dostupna.

Praćenje ponašanja biljke i pouzdano određivanje potrebe za njezinim navodnjavanjem ekonomski je, agronomski i inženjerski izazov i predmet je istraživanja koja se temelje na mjerenju brojnih parametara. Između ostalih: temperature lista, temperature i vlažnosti tla te temperature i vlažnosti zraka. Nedostatak vode uzrokuje pojavu vodnog stresa, kada biljka reagira povišenjem temperature lista i promjenom svoga metabolizma. Vodni stres kod vinove loze javlja se tijekom ljetnih mjeseci kada je velika suša. Vinova loza najosjetljivija je na vodni stres u fazama punjenja i šaranja bobice jer o tim fazama ovisi cijela proizvodnja. Vodni status u biljkama vinove loze može se procijeniti putem mjerenja vode u tlu i korištenjem fizioloških pokazatelja. Termalni podatci dobiveni smanjenjem nasada iz zraka uz pomoć digitalne infracrvene kamere, pokazali su se vrijednim za planiranje rasporeda navodnjavanja i povećanje učinkovitosti korištenja vode.

2. Pregled literature

2.1. Osnovna obilježja vinove loze

Vinova loza (*Vitis vinifera L.*) jedna je od najznačajnijih i najstarijih biljaka. Razvila se na području Europe i zapadne Azije. Pripada rodu *Vitis*, jedinom (važnom) od deset rodova porodice *Vitaceae* (Maletić i sur. 2012.). Vinova loza (slika 1.) je najznačajnija vrsta u ovoj porodici jer se njezin plod koristi za ishranu ljudi, prerađuje u grožđe te sušenje. Stoga je i sam način provođenja uzgojnih mjera ovisan o tome za što će se koristiti plod (boba). Domestikacija vinove loze je evolucijski proces koji se odvijao utjecajem čovjeka (Maletić i sur. 2015.). Smatra se da je europska plemenita vinova loza *Vitis vinifera* nastala procesom domestikacije divlje loze (*Vitis sylvestris*). Tako kod divljih populacija možemo naći veće genetske varijabilnosti nego kod kultivirane.



Slika 1. Vinova loza na području Jadrtovca

Izvor: www.fama.com.hr

Vinova loza razmnožava se vegetativno adventivnim korijenom, a pravi korijen nalazimo samo kod jedinki nastalih razmnožavanjem iz sjemena. Premda se glavna masa korijena razvija na dubini od 20 do 65 cm, u potrazi za vodom korijenje se može razvijati i znatno dublje u tlu i u horizontalnom i u vertikalnom smjeru do znatno većih dubina (Blesić i sur. 2013.). Stablo je najznačajniji nadzemni dio vinove loze iz kojega se razvijaju mladice koje na sebi nose listove, a kasnije i generativne organe. Grozd nastaje zametanjem i

razvijanjem bobica iz cvjetova. Plod vinove loze je bobica koja nosi sjemenke. U jednoj bobici obično bude od jedne do četiri sjemenke (Blesić i sur. 2013.).

2.1.1. Uvjeti za rast i razvoj vinove loze

Uvjeti za rast i razvoj određeni su prema godišnjim ciklusima vinove loze. Razlikujemo 7 faza: 1. faza - suzenje ili plač, 2. faza - pupanje rast i razvoj vegetacije, 3. faza - cvjetanja i oplodnja, 4. faza - rast bobica, 5. faza - dozrijevanje grožđa, 6. faza - priprema za zimski odmor, 7. faza - zimski odmor (Mirošević i sur. 2008.).

Vinova loza uspijeva u umjerenom klimatskom pojasu između 25° i 52° sjeverno i 30° i 45° južne geografske širine. Prema temperaturi vinova loza ima velike zahtjeve, a najpogodnije je srednja godišnja temperatura od 10° do 20° C (Mirošević i sur. 2008.). Najveće zahtjeve temperature ima tijekom cvatnje kada je optimalna temperatura 10° do 20° C te za razvoj bobica kada temperatura mora biti od 20° do 30° C. Listovi vinove loze stradavaju na temperaturi od -2° C, dok cvijet strada već na temperaturi od 0° C. Sunčevo osvjetljenje bitno je tijekom svih fenofaza te za proces fotosinteze kao i vlaga. Količina oborina za normalan rast i razvoj tijekom vegetacije iznosi 600 do 800 mm uz povoljan raspored, dok je najniža granica oko 300 mm godišnje (Mirošević i sur. 2008.). Vjetar ima dosta pogodnosti za vinogradarstvo jer pomaže pri oprašivanju, isušuju rosu te sprječava pojavu mraza, dok negativan utjecaj ima kod jakih vjetrova koji sprječavaju oplodnju, ili u nekim situacijama i lome dijelove vinove loze (Maletić i sur. 2008.). Isušivanjem krošnje smanjuju se gljivične bolesti, a naročito pepelnica. Pepelnica se najbrže razvija na temperaturama između 25 - 35°C, a napada sve zelene dijelove vinove loze (Ivandija i sur. 2013.).

2.2. Vodni stres u uzgoju vinove loze

Vodni stres se događa kada je razina vlage u tlu i zraku niska, a temperatura visoka. Voda izravno ili neizravno utječe na gotovo sve procese koji se odvijaju u biljci. Stres smanjuje vodni potencijale lista, smanjuje intenzitet fotosinteze i na kraju utječe na smanjenje rasta cijele biljke (Akinci i sur. 1997.). Većina biljaka izložena je kratkotrajnom ili dugotrajnom periodu vodnoga stresa. U tim trenutcima biljka razvija različite obrambene mehanizme kako bi smanjila potrošnju rezervnih hranjiva i prilagodila se nepovoljnim uvjetima okoline (Oskabe i sur. 2014.). Vodni stres može biti u rasponu od umjerenoga do jakoga tj. dugotrajne ljetne suše koja može jako naštetiti biljci. Posljedice i intenzitet vodnog stresa ovisiti će o više faktora: to su vrsta tla, klima te hranjive tvari (Akinc i sur. 2012.).

Vodni stres je dobro došao do one razine kada biljka može obavljati fotosintezu i još ima hranjiva u svojim zalihama. Svi procesi normalno rade, a biljka je pod blagim stresom. Negativan utjecaj stresa počinje kada biljka nema u svojim zalihama više hranjiva ili kada je u fazama u kojima ne smije biti u stresu zbog nedostatka vode. Biljka u toj situaciji ne može

normalno funkcionirati i koristi sve svoje obrambene mehanizme kako bi se zaštitila od stresa (Lisar i sur. 2012.).

Pool i sur. (2000.) izdvajaju slijedeće simptome vodnog stresa u uzgoju vinove loze:

- sušenje vršnih dijelova lista, ovisno o sorti može doći i do prekida daljnjeg razvoja/formiranja listova,
- promjena boje listova u blijedo zelenu te pucanje na vrhovima uz lagano sušenje,
- usporeno formiranje mladih listova, a promjenom boje na vrhovima starih listova vidjeti će se utjecaj sunca,
- smanjena veličina i brojnost bobica ili opadanje bobica,
- smanjen unos hranjiva potrebnih za normalan rast i razvoj - intenzivnija je translokacija hranjiva uskladištenih u korjenovom sustavu.

Vodni stres prije cvatnje uzrokuje smanjenje pupova, opadanje mladih razvijenih pupova te smanjen rast i opadanje bobica na kraju. Najosjetljivija fenofaza na vodni stres je rast i dozrijevanje bobica. Ako je vinova loza pod stresom, bobice se neće moći do kraja razviti, ostat će sitnije i imat će manje aroma i boje (Winkel i Rambal 1993.). Normalan rast vinove loze izložene vodnom stresu zahtijeva primjenu navodnjavanja i to u fenofazama kod punjenja i šaranja bobice.

2.3. Navodnjavanje vinove loze

Postupak kojim bismo postigli puni biološki potencijal kod biljaka kojima je ograničena količina vode nazivamo navodnjavanje. Navodnjavanje je jedno od najuspješnijih mjera i neophodno je na područjima gdje ima manjka oborina pa se s njim posljedice suše mogu smanjiti i izbjeći (Tomić i sur. 2008.). Tako navodnjavanjem možemo dosta uvećati proizvodnju. Kod drvenastih kultura navodnjavanjem postižemo veće prinose za oko 30%, dok kod vinove loze to može biti i nešto više, i do 38% (Romić i sur. 2016.).

Glavne metode navodnjavanja su površinsko i podzemno navodnjavanje, zatim navodnjavanje kišenjem te lokalizirano navodnjavanje koje se u vinogradarstvu najviše koristi (Tomić i sur. 2008.). Lokalizirana metoda navodnjavanja najviše od svih sustava štedi vodu i najviše se koristi u hortikulturnoj proizvodnji. Različiti sustavi lokaliziranog navodnjavanja, bilo to podzemni ili nadzemni, omogućuju nam učestalije apliciranje vode u manjim obrocima u neposrednoj blizini usjeva kako da bi se osigurala vlažnost rizosfere gdje je biljci najpotrebnije, a samim time izbjeglo bi se nepotrebno vlaženje zone u kojoj ne raste korijen (Ondrašek i sur. 2015.).

Lokalizirani sustav kapanja (slika 2.) jedan je od najnovijih sustava dodavanja vode koji se koristi u navodnjavanju vinove loze. U posljednje vrijeme potpuno je programiran i dodavanje vode radi se automatski i ne zahtjeva prisutnost čovjeka. Samim poljoprivrednicima su interesantni, a i ne troše im vrijeme jer ne moraju biti prisutni tijekom navodnjavanja. Sustav navodnjavanja „kap po kap“ štedi vodu i dovodi je u neposrednu blizinu biljke. Ovaj sustav s minimalnom količinom vode postiže maksimalan učinak, a cijeli

sustav prikladan je samo za vrlo intenzivne i dohodovne kulture s kojima se sustav može isplatiti (Madjar i sur. 2009.).

Sustav kapanja danas se, osim u trajnim nasadima, koristi i u plastenicima i staklenicima. Glavni dijelovi sustava su pumpa s cijelom sustavom koja se nalazi u blizini zahvaćanja vode, plastične cijevi koje se nalaze od glavne razvodne cijevi pa do samog korijena biljke i posljednji dio sustava o kojemu ovisi raspodjela vode, a to su kapaljke. One mogu biti postavljene na različite udaljenosti od 10 pa do 100 cm, a broj kapaljki je obično od 2000 do 5000 komada po ha za drvenaste kulture. Protok kapaljki je između 2 l/h do 10 l/h, a kapaljke mogu biti s užim i širim otvorom (Madjar i sur. 2009.). Kod vinograda se preferira postavljanje cijevi s kapaljkama na visinu prve žice u armaturi jer je lakša obrada tla.



Slika 2. Sustav navodnjavanja „kap po kap“ u vinogradu
Izvor: Autor

Sustav navodnjavanja „kap po kap“ ima svoje prednosti i nedostatke. Prednosti sustava su:

- troši minimalne količine vode,
- kontrolira doziranje vode i hranjiva biljci,
- višestruko štedi energiju, vodu i umjetno gnojivo,
- zasađena biljka dobiva vodu neposredno uz korijen. (Romić i sur. 2006.).

Nedostaci sustava su:

- visoka cijena izgradnje i opreme sustava,
- navodnjavaju se samo visoko isplative kulture,
- začepljenja kapaljki i njihova zamjena,
- otežano kretanje mehanizacije,
- skupljanje cijevi nakon sezone (Madjar i sur. 2009.).

Navodnjavanje mini rasprskivačima najviše se koristi kod drvenastih kultura (slika 3.), u povrćarstvu na otvorenom te u staklenicima i plastenicima. Sustav mini rasprskivača dosta je sličan sustavu kapanja, samo što su kapaljke zamijenjene rasprskivačima. Mini rasprskivači raspršuju vodu u obliku kapljica pod tlakom do daljine od 5 m (Ondrašek i sur. 2015.). Rasprskivači su izrađeni od plastike te ih je moguće na kraju sezone skinuti i ostaviti za iduću sezonu. Sustav se sastoji od crpke na izvorištu vode, regulatora tlaka, vodomjera, cijevi koje dovode vodu do parcele, razvodnih cijevi i rasprkivača. Na priključak rasprskivača može se spojiti određeni tip rasprskivača s različitim protocima (Madjar i sur. 2009.). Mlaz vode kod rasprskivača može biti u obliku sitnih kapljica, u obliku finoga magličastoga mlaza ili sitnih do sitnih fontanskih mlazova. Mini rasprskivači mogu biti odmah spojeni na laterale ili spojeni na laterale pomoću savitljive polietilenske (PE) cjevčice ili kapilare (Ondrašek i sur. 2015.).



Slika 3. Navodnjavanje mini rasprskivačima

Izvor: www.voćarskisavjeti.blogspot.com

2.3.1. Deficitarno navodnjavanje

Deficitarno navodnjavanje je tip navodnjavanja koji je stvoren kako bi se što manje smanjio gubitak prinosa u uvjetima gdje je ograničena opskrba vodom. Voda se dodaje u većem broju obroka, ali u manjim količinama nego li je biljci potrebno (McCarthy 2016.). Voda se dodaje u fazama u kojima je vinovoj lozi najviše potrebna, to jest u fazama koje su na sušu najosjetljivije. Faze u kojima je voda vinovoj lozi najpotrebnija su cvatnja i punjenje bobice (McCarthy 2016.). Ovom navodnjavanju nije za cilj postizanje maksimalnih prinosa, već je cilj postizanje zadovoljavajuće kakvoće grožđa i utjecaj na senzorska svojstva budućeg vina. Osim toga, ovom metodom se kontrolira vegetativni rast, veličina ploda te fotosinteza (McCarthy 2016.).

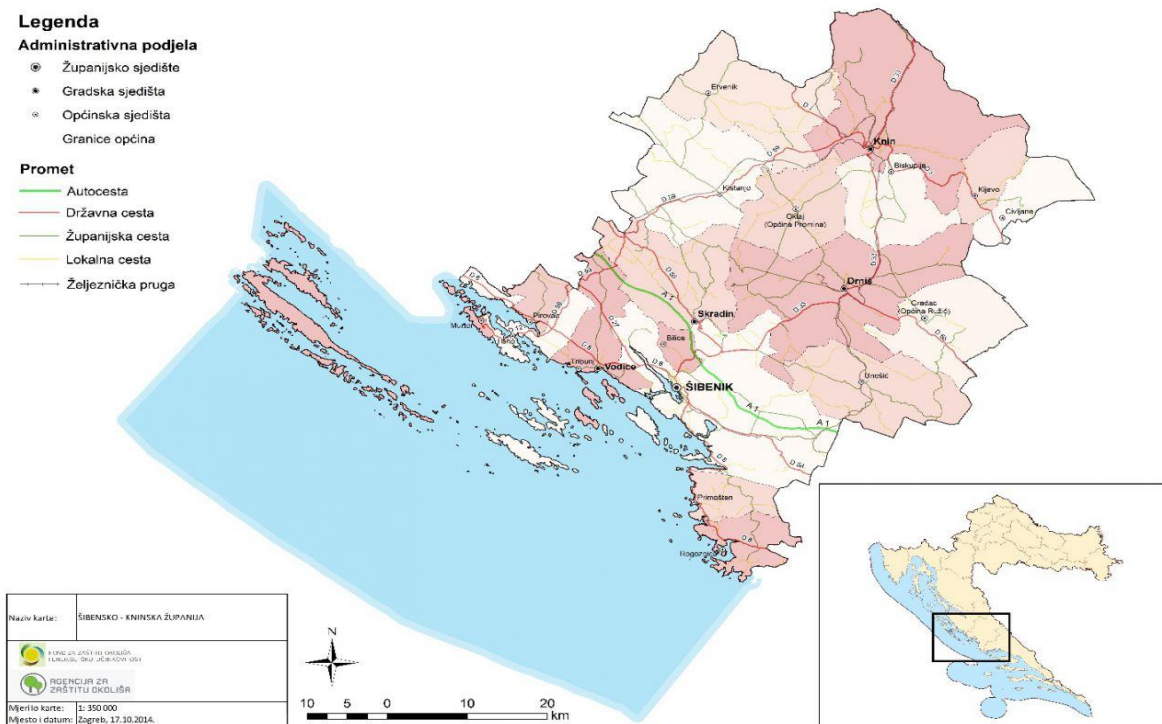
Prema istraživanju Wample i sur. 1996. godine promatrana su sa dva tipa navodnjavanja: navodnjavanje tijekom cijele sezone i navodnjavanje samo u razdobljima tijekom sezone. Navodnjavanjem vinove loze samo u dijelu sezone rezultirao je čvršćim bobicama, a vina su na kraju imala dobru aromu, dok je vinova loza koja je navodnjavana cijelu sezonu imala dosta veće prinose, ali krajnji rezultat je bio da su vina imala manje arome, a arome nisu bile karakteristične za tu vrstu vinove loze. Zaključeno je da vinovoj lozi u nekim razdobljima i paše blagi vodni stres (Wample1996.).

2.3.2. Djelomično zasušivanje zone korijena

Radi se o još jednome sustavu lokaliziranoga navodnjavanja koji radi na principu da se jedan dio korijena navodnjava, a drugi dio drži u suhim uvjetima. Dio korijena biljke koji se ne navodnjava biljci upućuje kemijske signale pri čemu se zatvaraju puči, smanjuje se gubitak vode transpiracijskim tokom te se usporava rast same biljke (Kriedemann i sur. 2012.). Osim smanjenje rasta i isparavanja smanjuje se veličina lista i bobice, ali kakvoća grožđa ostaje ista. Ova tehnika zahtijeva stalno praćenje i kontroliranje od strane stručne osobe (McCarthy 2016.).

2.4. Navodnjavanje vinograda na području Dalmacije

Šibensko-kninska županija smještena je na središnjem dijelu između srednje i sjeverne Dalmacije (slika 4.). Prema ruralnom razvoju iz 2017. godine u Hrvatskoj se od ukupno 1.571.210 ha navodnjava 13.430 ha. Prema podijeli na kontinentalnu i Jadransku u Jadranskoj Hrvatskoj od ukupno 467.420 ha navodnjava se 5.900 ha, dok je u kontinentalnoj od ukupno 1.103.709 ha navodnjava samo 7.530 ha. Prema Agenciji za plaćanje u poljoprivredi i ruralnom razvoju iz 2015. godine poljoprivredno zemljište zauzima 60,3% površine županije, dok obradive površine zauzimaju 26,5%. Od ukupne površine samo je oko 17 000 ha pogodno za navodnjavanje. Vinogradi i voćnjaci zauzimaju oko 44 000 ha dok sami vinogradi na području županije zauzimaju površinu od 5400 ha. Prema Hrvatskom zavodu za vinogradarstvo i vinarstvo 2006. godine Šibensko-kninska županija bila je na četvrtom mjestu u Republici Hrvatskoj prema broju proizvođača vina.



Slika 4. Smještaj Šibensko-kninske županije na kartama

Izvor: www.bikarac.hr

Područje Dalmacije je u uvjetima mediteranske klime. Oborine koje padnu na tlo većinom padaju tijekom jesensko-zimskog razdoblja dok ljeti padne tek trećina oborina, ako ne i manje. Na području obalnog dijela srednje i sjeverne Dalmacije može se očekivati oko 800 do 900 mm oborina na godinu (Zaninović i sur. 2008.). Najviše oborina javlja se od studenoga do svibnja, dok je najsušnije razdoblje od srpnja do listopada. U najtoplijem razdoblju u dva mjeseca (srpanj i kolovoz) može se očekivati ukupna temperaturna suma i veća od 500 °C. Prema istraživanjima koje su proveli Zaninović i sur. (2008.) godine usporedbom srednje godišnje količine oborina u razdoblju 1961. – 1990. s prethodnim klimatološkim razdobljem 1931. - 1960. utvrđeno je smanjenje oborina od 10 do 20% na dijelu postaja u srednjoj i sjevernoj Dalmaciji.

Zbog nedostatka obradivog zemljišta došlo je do prenamjene krških područja u obradive površine koje su privedene kulturi. Da bi se privele kulturi, bilo je potrebno uraditi nekoliko zahvata - od čišćenja površine od šikare, prekopavanja površine bagerima, drobljenja kamena pa sve do usitnjavanja kamena na određenu krupnoću kako bi bilo pogodno za uzgoj vinove loze. Nasadi su podignuti na područjima koja su, ne samo zbog klimatskih značajki koje vladaju u srednjoj i Južnoj Dalmaciji, već i zbog izrazito nepovoljnih vodozračnih i ekoloških karakteristika tala, izloženi različitim fiziološkim stresovima od kojih je najveći vodni stres. Da bi što optimalnije iskoristili vodne resurse za potrebe navodnjavanja, imali što manje gubitke, a ostvarili što bolje prinose, potrebno je uvoditi nove tehnologije kojima će se omogućiti preciznije gospodarenje mjerom navodnjavanja. Dodatni zahtjev se stavlja, ne samo na prinos, već i na kakvoću grožđa, odnosno budućeg mošta i vina.

2.5. Upravljanje navodnjavanjem vinograda

Određivanje početka navodnjavanja je jedan od najvažnijih koraka u svakoj proizvodnji. Vinova loza je biljka kojoj navodnjavanje treba u sušnim razdobljima pa su početak i obrok navodnjavanja ne samo bitni, već od njih ovisi cijela proizvodnja.

Trenutak početka navodnjavanja određuje se na nekoliko načina počevši od promjena koje možemo vizualno vidjeti na biljci pa do različitih izračuna bilanciranja vode u tlu ili evapotranspiracije (Šimunić i Tomić 2007.). Potrebe vinove loze za vodom dobivamo iz evapotranspiracijskog koeficijenta i mjerenjem vodnog stresa. Vodni stres mjerimo pomoću tlačne komore, a u novije vrijeme i pomoću termografije, dok evapotranspiraciju računamo pomoću formule.

Turnus navodnjavanja najviše ovisi o klimi, tlu i stanju vinograda. Vinova loza u praksi se najčešće navodnjava od dva do tri puta tijekom vegetacije. Za početak prvog navodnjavanja uzima se punjenje bobica dok se za drugo navodnjavanje uzima šaranje bobica. Treće navodnjavanje u većini slučajeva nije potrebno, ako s prva dva navodnjavanja imamo kontrolu nad vinogradom. Ako je sušna godina, vinogradi se navodnjavaju i više od 3 puta.

Obrok navodnjavanja predstavlja količinu vode koju dodajemo jednim navodnjavanjem, a najviše ovisi o propusnosti tla. Kod vinove loze optimalan obrok navodnjavanja kreće se od 35 do 50 l/m² (Williams 2001.). Posljednji obrok navodnjavanja dajemo od 25 - 30 dana prije berbe. Ako vinovu lozu navodnjavamo prije berbe, bobice će dobiti na masi i biti će pune vode dok će opasti koncentracija šećera, samim time kvaliteta vina biti će lošija.

2.6. Metode procjene vodnog stresa vinove loze

Mjerenjem vodnoga potencijala biljke dobiva se stvarni pokazatelj rasta i razvoja te prikaz u kakvom se stanju nalazi vinograd. Najčešće se koriste tri načina mjerenja koja koriste tlačnu komoru, a to su mjerenje vodnog potencijala lista (LWP), mjerenje vodnog potencijala stabljike (SWP) i mjerenje vodnog potencijala lista prije zore (PELWP). Ove tri metode različite su po vremenu mjerenja i pripremi listova za uzorkovanje. Osim ove tri metode za mjerenje vodnog stresa, u novije vrijeme se sve više primjenjuje metoda mjerenja pomoću termografije. O toj metodi ćemo detaljnije govoriti u poglavlju 1.6.

Vodni potencijal lista (LWP) je najjednostavnija metoda od tri navedene koje koriste tlačnu komoru (slika 5.). Dokazano je kako se LWP metoda uspješnom pokazala u određivanju navodnjavanja vinove loze i pamuka (Williams i Araujo 2002.). Iako ima nekoliko metoda za mjerenje vodnog stresa, u vinogradima se najčešće primjenjuje metoda mjerenja vodnog potencijala lista (LWP) u tlačnoj komori. Tlačna komora radi na principu podtlaka, a vodni potencijal lista izražava se u negativnim barima. Vodni stres je veći kad je veći negativni broj bara. Osim vodnog stresa, veći je i broj tenzija u unutrašnjosti lista (Romić i sur. 2015.).

Mjerenje vodnog potencijala stabljike (SWP) obavlja se o 12 do 16 sati kada stabljika doživljava maksimalnu potrebu za vodom. Za mjerenje se uzima list s donje nezasjenjene strane. Na list se prije mjerenja stavlja plastična vrećica 90 do 120 minuta, kako bi se

zaustavila prirodna transporacija. Nakon što prođe vrijeme od 90 do 120 minuta, list se izrezuje i testira u tlačnoj komori (Fulton i sur. 2001.).

Metoda mjerenja potencijala lista prije zore (PELWP) provodi se tako da mjerenja počinju u 3,30 sati iza ponoći i traju do izlaska sunca. Mjerenjem prije zore smatra se da je biljka oporavljena od prethodnoga dana, a potražnja za vodom je smanjena jer nema sunca (Ameglio i sur. 1999.).



Slika 5. Tlačna komora za mjerenje vodnog potencijala lista (LWP)

Izvor: Romić i sur. 2015.

2.7. Termografija

Termografija je beskontaktna metoda mjerenja i bilježenja temperature i njezine raspodjele na površinama objekta. Predstavlja mjernu metodu kojom se bilježi toplinsko zračenje s površina objekata u određenom području infracrvenog spektra. Za mjerenje se koristi termografske kamere različitih izvedbi.

Termografija ima veliku primjenu u svim područjima ljudske djelatnosti, a najčešća se primjenjuje u:

- održavanju različitih postrojenja i uređaja (slika 6.),
- različitim poljoprivrednim mjerenjima,
- nedestruktivnim metodama ispitivanjima,
- medicini i veterinarskoj dijagnostici,
- nadzoru proizvodnih procesa i kontroli kvalitete i
- različitim istraživanjima i razvoju.



Slika 6. Održavanje različitih postrojenja i uređaja

Izvor: <http://www.inegra.hr>

Andrassy i sur. (2007.) navode kako termografija ima svoje prednosti i nedostatke.

Prednosti termografije su:

- beskontaktno mjerenje - moguće mjerenje na daljinu, što znači da možemo mjeriti temperaturu i nedostupnih objekata; primjenljiva je i kod objekata koji se ne smiju dodirivati i kod objekata u gibanju,
- dvodimenzionalnost - rezultat termografskog mjerenja je dvodimenzionalna slika (termogram), raspodjele zračenja na površini objekta, što znači da se iz termograma mogu dobiti temperature proizvoljnih točaka promatrane površine,
- brzina - dobivanje rezultata u realnom vremenu.

Nedostaci termografije su:

- temperatura unutrašnjosti - termografijom dobivamo temperaturu površine, a temperaturu unutrašnjosti objekta dobivamo samo računskim metodama,
- zračenje – zračenje promatranog objekta je povezano sa zračenjem drugih objekata pa će na rezultate mjerenja utjecaj imati i objekti oko predmeta mjerenja kao i atmosfera između termografske kamere i promatranog objekta.

S obzirom na način primjene i način obrade rezultata mjerenja, termografija se može podijeliti na kvantitativnu i kvalitativnu termografiju te na aktivnu i pasivnu termografiju.

Rezultat termografskog snimanja može se koristiti kvalitativno ili kvantitativno. Kod kvalitativnog korištenja termografije daju se samo okvirne informacije o promatranom objektu i raspodjeli temperature po njegovoj površini. Na termogramu se lako uočava neuobičajena temperatura na objektu i pa se na temelju toga može pokrenuti pravovremena intervencija. Točni podaci na termogramu se dobivaju kvantitativnom termografijom, a za tu svrhu potrebno je poznavati svojstva promatranog objekta te stanje atmosfere između objekta i kamere i stanje okoline. Podatke s termograma pomoću tih je parametara potrebno preračunati u realne vrijednosti.

Ako se objekt nalazi u stacionarnom toplinskom stanju i ako je njegova temperatura postignuta boravkom objekta u okolini čija se temperatura ne mijenja, kažemo da je riječ o pasivnoj termografiji. Ako želimo dobiti termogram objekta koji je na istoj temperaturi kao i okolina ili određivati neka svojstva ispod površine, primijenit ćemo neku od metoda aktivne termografije (Andrassy i sur. 2007.).

Zračenje je mehanizam izmjene topline koji se odvija u formi elektromagnetskih valova između tijela različitih temperatura, između kojih je propustan medij. Zračenje može imati različite uzroke, a nastaje zbog pojava unutar atoma (Andrassy i sur. 2007.).

U novije vrijeme termografija se dosta koristi u poljoprivrednim mjerenjima. Najviše se koristi u mjerenjima temperatura vegetacije, vodnog stresa kod biljaka i u veterinarske svrhe. Primijenjena je u otkrivanju vodnog stresa kod vinove loze i kod procjena vodnog statusa kod pamuka.

- Grant i sur. (2007.) istražili su mogućnosti primjene termografije u otkrivanju reakcija na vodni stres kod vinove loze u različitim režimima navodnjavanja. Cilj im je bio napraviti razliku između biljaka koje su pod stresom i biljaka koje nisu pod stresom u svrhu što boljeg određivanja nedostatka vode.
- Alchanatis i sur. (2009.) istražili su različite pristupe za procjenu i bilježenje vodnog statusa usjeva pamuka infracrvenom termografijom. U radu su usporedili veći broj metoda za procjenu statusa biljke koristeći se termografskim snimkama.
- Meron i sur. (2010.) istražuju korištenje infracrvene termografije za bilježenje vodnog stresa kod lokacijski upravljanog navodnjavanja. Cilj rada je bio istražiti izvedivost bilježenje vodnog stresa usjeva pomoću termografije te da bi se na osnovu tih podataka upravljalo navodnjavanjem.
- Grant i sur. (2016.) istražuju otkrivanje prostornih i vremenskih promjena u vodnom statusu vinove loze termografskim snimanjem. Cilj ovog rada je bio istražiti da li je snimanje horizontalnih listova jednako vrijedno kao i snimanje vertikalnih listova orijentiranih sa strane trsa.

3. Ciljevi

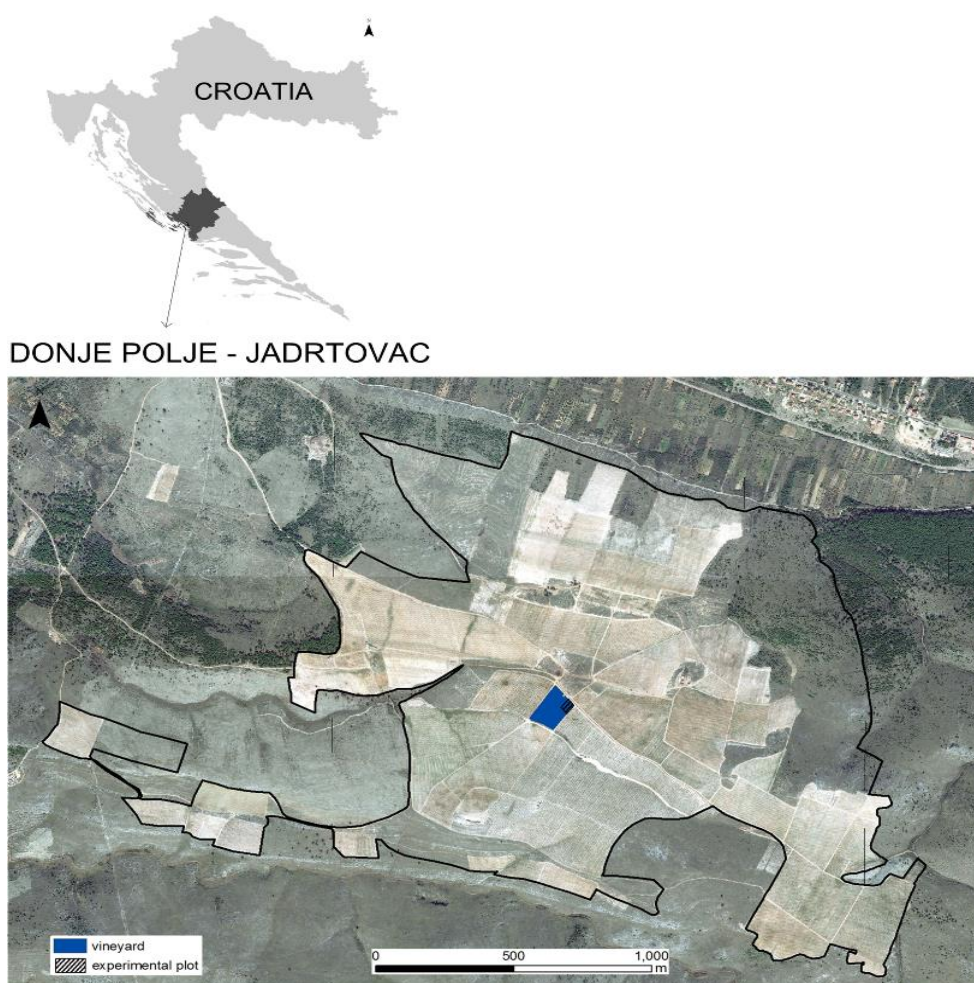
Ciljevi ovog diplomskog rada su:

- 1. Odrediti uolikoj mjeri vodni stres (nedostatak vode) utječe na temperaturu lista vinove loze*
- 2. Odrediti indeks vodnog stresa (CWSI) na osnovi temperatura dobivenih termografskim snimanjem*

4. Materijali i metode

4.1. Područje istraživanja

Pokusno istraživanje 2017. godine provedeno je na vinogradu u Donjem polju u blizini Jadrtoenca kod Šibenika (slika 7.). Pokusno područje Donje polje - Jadrtovac nalazi se jugoistočno od grada Šibenika i istočno od Marinskog zaljeva na nadmorskoj visini između 30 i 150 m. n. v.



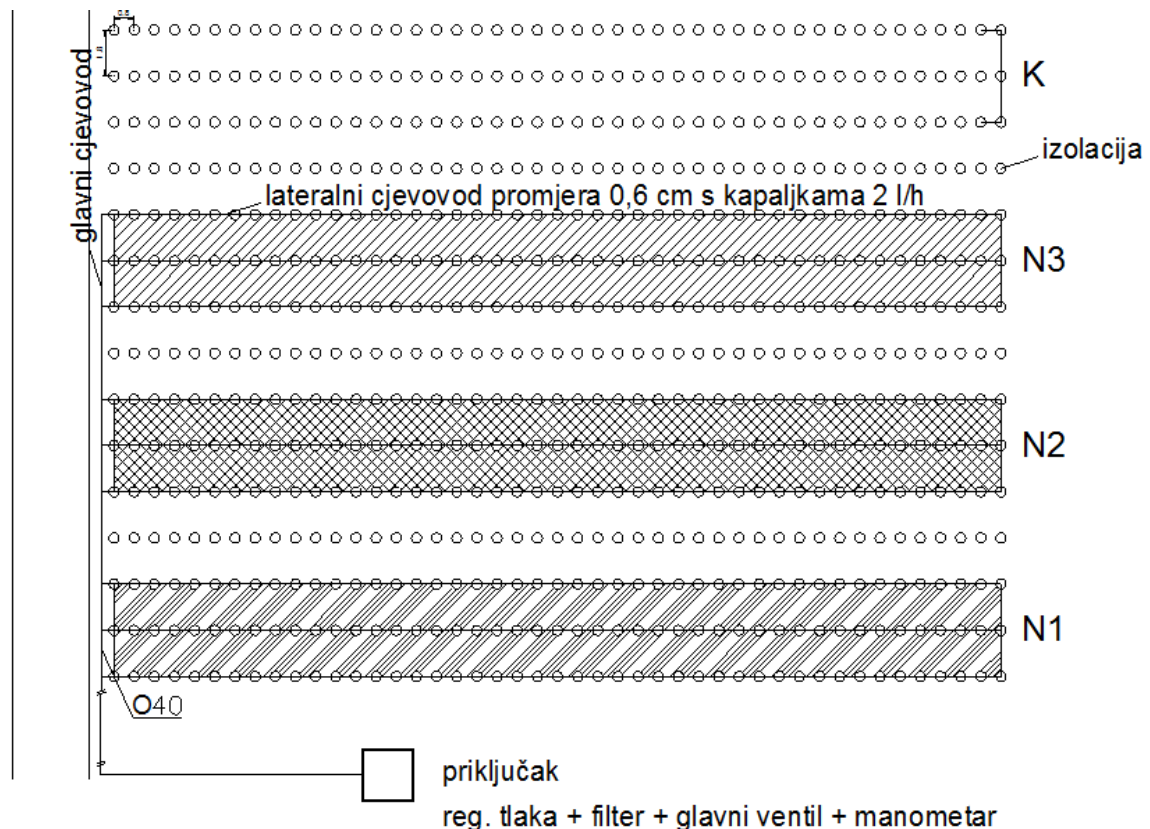
Slika 7. Smještaj pokusnog područja na karti Hrvatske i Šibensko kninske županije

Izvor: Zovko i sur. 2018.

4.2. Opis navodnjavane pokusne parcele

Pokusna parcela obuhvaćala je 4 pokusna područja s po 3 reda vinove loze sorte Babić (slika 8.). Svako pokusno područje odvojeno je s po jednim redom (izolacijom) između, a sastoje se od ovih varijanti:

1. varijanta u kojoj se navodnjavanjem dodavala voda u količini kojoj je cilj zadovoljiti 100 %- tni udio od proračunatih potreba vinove loze za vodom.
2. varijanta u kojoj se navodnjavanjem dodavala voda u količini kojoj je cilj zadovoljiti 75 %- tni udio od proračunatih potreba vinove loze za vodom.
3. varijanta u kojoj se navodnjavanjem dodavala voda u količini kojoj je cilj zadovoljiti 50 %- tni udio od proračunatih potreba vinove loze za vodom.
4. varijanta – uzgoj vinove loze bez primjene navodnjavanja – kontrolna varijanta.



Slika 8. Prikaz varijanata na pokusnom području

Izvor: Zovko i sur. 2018.

Tlo na pokusnom području vinograda prema klasifikaciji tala Hrvatske svrstava se u razred antropogenih terestričkih tala, dok je tip tla kultivirano tlo krša (slika 10). Dubina profila tla na pokusnoj parceli iznosi 25 cm. Udjel skeleta je visok i iznosi 81%, a najzastupljenije su čestice kamena > 25 mm. Sitnica ima 19 %, a imaju ilovastu teksturu zbog znatnog udjela frezanjem usitnjenog skeleta.

Tablica 1. Ukupan udjel skeleta i sitnice pedološkog profila otvorenog na pokusnom području vinograda u Donjem polju Jadrtovac (Izvor: Romić i sur. 2015.)

Dubina (cm)	% udio skeleta, promjer u mm						Ukupni skelet (%)	Ukupna sitnica (%)
	>25	18-25	12,5-18	8-12,5	4-8	2-4		
5-25	25	18	14	15	17	11	81	19

Tlo na pokusnoj parceli ima mali kapacitet tla za vodu, veliki kapacitet tla za zrak i iznimno mali kapacitet za fiziološki zdravu vodu.



Slika 9. Pedološki profil tla na pokusnoj parceli

Izvor: Romić i sur. 2015.

4.3. Mjerenja vodnog potencijala lista vinove loze u navodnjavanom pokusnom nasadu

Mjerenja vodnog potencijala i termografska mjerenja provedena su tijekom vegetacijskog razdoblja 2017. godine u pokusnom nasadu vinove loze.

Za mjerenje vodnog potencijala korištena je tlačna komora koja radi na principu potlaka. Rezultat se dobiva u negativnim barima (bar), a što je iznos veći to veći je i vodni stres kod biljke. Tlačna komora je pokretni uređaj pa se rezultati mogu dobiti odmah na parceli.

Mjerenja su provedena na parceli 27. srpnja 2017. godine tako da je uzet po jedan list s tri trsa vinove loze u svakom redu pokusa. Pokus se sastojao od 4 varijante po 3 reda:

1. kontrola (bez navodnjavanja),
2. navodnjavanje do 50 % evapotranspiracije;
3. navodnjavanje do 75 % evapotranspiracije;

4. navodnjavanje do 100 % evapotranspiracije

List koji se koristi za mjerenje uzima se s označenog trsa vinove loze. Nakon što smo otkinuli list sa vinove loze stavljamo ga u najlonsku vrećicu, zatim nožem poravnamo peteljku i stegnemo ga u tlačnu komoru u koju puštamo plin. Kada se na ravno otkinutoj peteljki pojavi prva kapljica vode, zatvara se dotok plina i očitava se visina tlaka u barima.

4.4. Termografska snimanja vinograda

Za termografska snimanje je korištena termografska kamera tipa Ti25 (slika 10.), proizvođača FLUKE. Raspon mjerenje kamere je od -20°C do 350°C , a radna temperatura iznosi od -10°C do $+50^{\circ}\text{C}$. Točnost mjerenja je $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ili 2%, dok vidno polje obuhvaća područje $23^{\circ} \times 17^{\circ}$. Kamera pruža mogućnost izbora različitih paleta boja. Rezultate mjerenja očitavamo na LCD zaslonu rezolucije 640×480 . Kamera ima medij za pohranu podataka, SD memorijsku karticu s mogućnošću pohrana kapaciteta 2GB ili oko 3000 osnovnih slika. Opremljena je baterijom s mogućnošću punjenja kojoj je kapacitet tri do četiri sata kontinuirane primjene, a opremljena je i sustavom uštede baterije što znači da se kamera sama ugasi, ako je neaktivna neko vrijeme.



Slika 10. Termografska kamera FLUKE Ti25.

Izvor: www.fluke.com

Mjerenja su provedena 27. srpnja 2017. godine u periodu od 9:30 do 13:30 sati. Obavljena su na način da je za svaku varijantu navodnjavanja (pri čemu svaka varijanta navodnjavanja obuhvaća tri reda vinove loze) u svakom redu provedeno snimanje na tri uzorka. Dakle, za svaku od varijanti navodnjavanja odabrano je načelno 9 trsova na kojima

su načinjene po dvije termografske snimke, tj. za svaku se varijantu raspolaže s po 18 termografskih snimaka.

Termografske su snimke analizirane računalnim programom proizvođača FLUKE - SmartView 4.3. Pri analizi termografskih snimaka korišteni su sljedeći podaci:

- emisijski faktor lista vinove loze 0,96 i
- temperatura ambijenta 25 °C.

Podaci o klimatskim pokazateljima (temperatura zraka i relativna vlažnost) dostupni su iz zapisa meteorološke postaje Jadrtovac koja atmosferske uvjete bilježi s vremenskim korakom od 10 minuta.

5. Rezultati i rasprava

5.1. Vodni potencijal lista vinove loze

Prosječna vrijednost vodnog potencijala najmanja je kod varijante -100 ET i iznosi -1,04 MPa, dok je najveća kod varijante-kontrole i iznosi -1,66 MPa. Minimalna vrijednost vodnog potencijala najmanja je kod varijante -75% ET i iznosi -0,85 MPa, dok je najveća kod varijante - kontrole i iznosi -1,5 MPa. Maksimalna vrijednost vodnog potencijala najmanja je kod varijante -100% ET i iznosi -1,15 MPa, dok je najveća kod varijante-kontrole i iznosi -1,95 MPa. Standardna devijacija je najveća kod varijanten-75% ET, dok je koeficijent varijacije također najveći kod varijante -75% ET i iznosi 14,02%.

Tablica 2. Prikaz vrijednosti vodnog potencijala izraženoga u (MPa) za sve varijante navodnjavanja.

<i>Statistički pokazatelji</i>	<i>Varijanta- 100% ET</i>	<i>Varijanta- 75% ET</i>	<i>Varijanta- 50% ET</i>	<i>Kontrola</i>
<i>prosječna vrijednost</i>	-1,04 MPa	-1,11 MPa	-1,31 MPa	-1,66 MPa
<i>minimum</i>	-0,95 MPa	-0,85 MPa	-1,2 MPa	-1,5 MPa
<i>maksimum</i>	-1,15 MPa	-1,45 MPa	-1,55 MPa	-1,95 MPa
<i>standardna devijacija</i>	0,07	0,16	0,13	0,14
<i>koeficijent varijacije</i>	6,71 (%)	14,02 %	9,85%	8,48 %

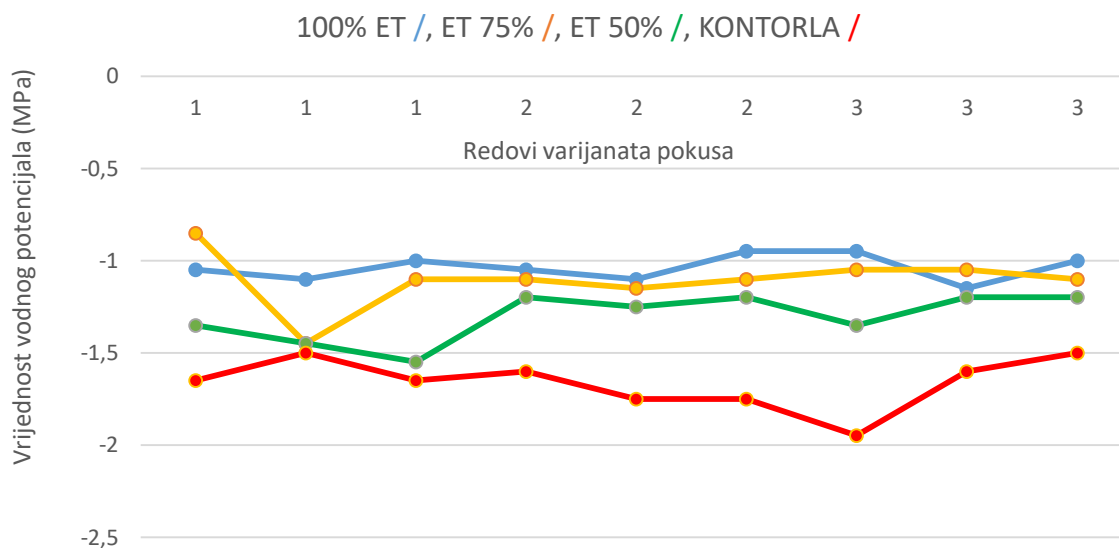
U Tablici 3. prikazane su razine nedostatka vode s obzirom na vrijednost vodnog potencijala. Varijanta navodnjavanja 100% ET prema tablici ima raspon od slabog nedostatka vode do srednje do slabog nedostatka vode, dok ostale tri varijante imaju raspon do ozbiljnog nedostatka vode. Najmanja razina je izmjerena u varijanti -75% ET i iznosi -0,85 MPa i spada u razinu da nema nedostatka vode, dok je najveća izmjerena na varijanti – kontrole i iznosi -1,95 MPa što spada u ozbiljni nedostatak vode.

Tablica 3. Razina nedostatka vode s obzirom na vrijednost vodnog potencijala (MPa)

Izvor: Romić i sur. 2015.

Razine nedostatka vode	Vrijednosti vodnog potencijala (MPa)
Nema nedostatka vode	> -0,9
Slabi nedostatak vode	-0,9 do -1,1
Srednji do slabi nedostatak vode	-1,1 do -1,3
Srednji do ozbiljni nedostatak vode	-1,3 do -1,4
Ozbiljni nedostatak vode	< -1,4

Na Slici 11. vidljiv je grafički prikaz četiri varijante pokusa. Kako je svaka od varijanti bila vezana na tri reda vinove loze, na grafičkom prikazu vidimo i tri očitavanja iz svakog reda. Vidljivo je odstupanje i razlika svake varijante od prethodne pa je tako varijanta kontrole značajno odstupala od ostalih.



Slika 11. Vrijednosti izmjerenog vodnog potencijala lista vinove loze po varijantama pokusa

5.2. Analiza termograma

5.2.1. Varijanta navodnjavanja -100 % evapotranspiracije

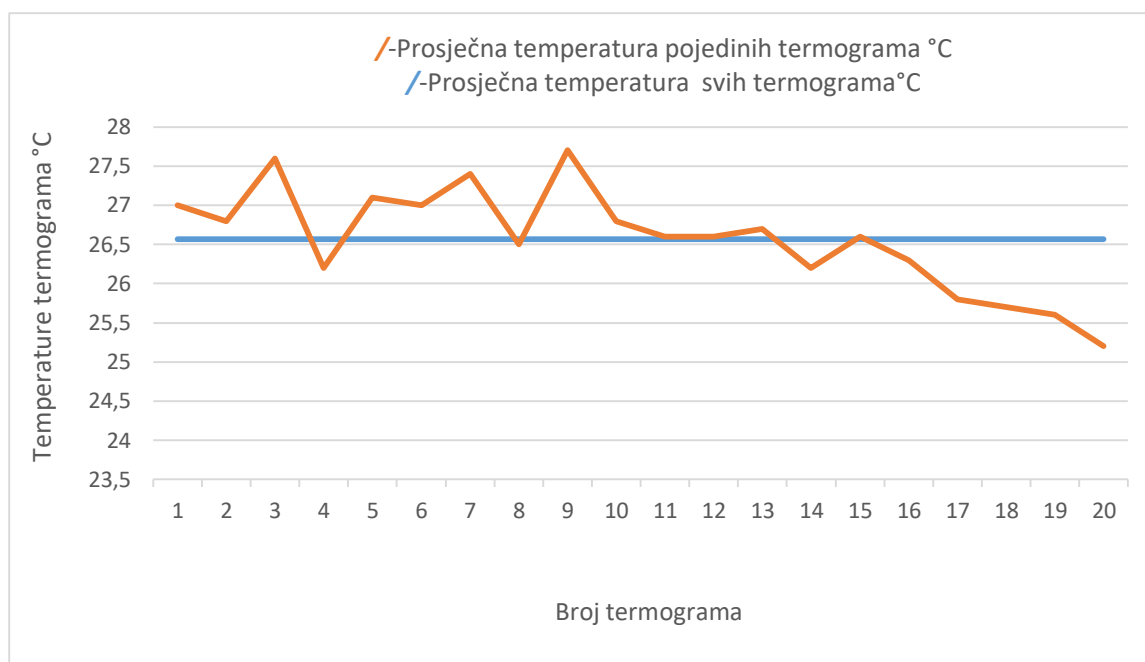
U Tablici 4. za svaki red loze naveden je set podataka koji se odnosi na:

1. oznaku reda,
2. vrijeme snimanja,
3. temperaturu zraka,
4. relativnu vlažnost zraka,
5. temperaturu tla,
6. oznaku termograma (broj je iz brojanog slijeda termograma na memorijskoj kartici termografske kamere),
7. prosječnu temperaturu snimljenog termograma (uključene sve mjerne točke na termogramu).

Tablica 4. Prikaz rezultata mjerenja za navodnjavanje 100 % evapotranspiracije.

Oznaka reda	Vrijeme	Temperatura zraka °C	Temperatura tla °C	RV %	Oznaka termograma	Prosječna temperatura na termogramu °C
I	9:35	28,4	22,7	24,8	642	27
					643	26,8
			22,6	25,1	644	27,6
					645	26,2
			23,2	24,2	646	27,1
647	27					
II	9:50	28,5	23,6	24,3	648	27,4
					649	26,5
	10:00	28,5			660	25,6
					661	25,2
	9:50	28,5	23,5	25,4	650	27,7
					651	26,8
			22,8	23,7	652	26,6
653	26,6					
III	10:00	28,5	22	21	654	26,7
					655	26,2
			22,8	21	656	26,6
					657	26,3
			23,8	24,6	658	25,8
659	25,7					
		28,5				26,5

Grafički prikaz na Slici 12. prikazuje varijacije prosječnih temperatura snimljenih termograma za varijantu navodnjavanja 100 % evapotranspiracije. Srednja vrijednost temperatura svih snimljenih termograma iznosi 26,5 °C, a temperature se kreću od minimalne 25,2 °C do maksimalne 27,7 °C. Pri tome treba naglasiti da su u ovoj analizi u obzir uzete sve mjerne točke na termogramu. Moguće je da se, zbog položaja lišća u prostoru, sve mjerne točke ne odnose na lišće te je iz tog razloga moguća i pogreška.

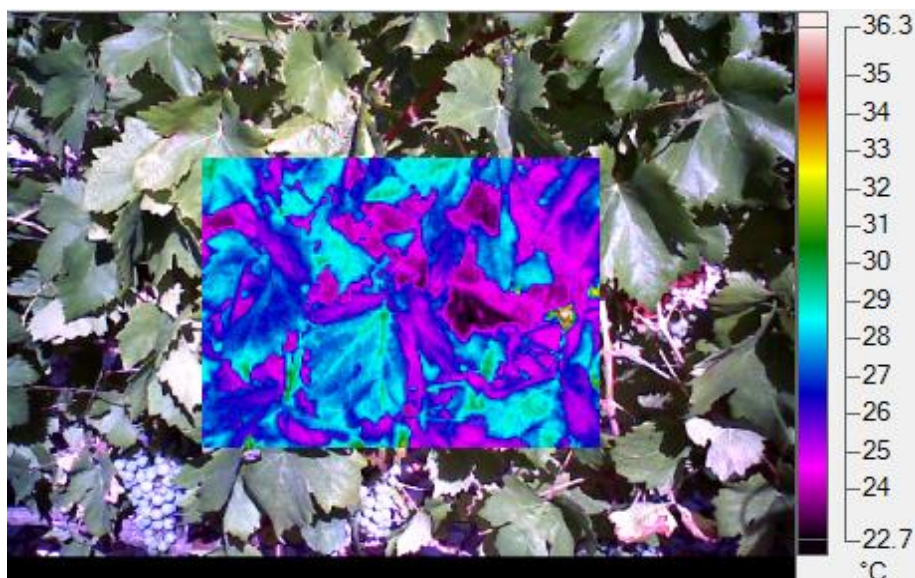


Slika 12. Vrijednosti srednjih temperatura za niz termograma oznake od 642 do 661, snimljenih za varijantu navodnjavanja 100 % evapotranspiracije.

Analiza termograma u programskom paketu SmartView 4.3 omogućuje dobivanje temperaturnog odziva cijelog termograma ili izdvojenog dijela na termogramu koji može biti u obliku pravilnog geometrijskog lika (pravokutnik ili krug) ili proizvoljno odabranog područja. Također, moguća je provesti analizu linijske raspodjele temperature ili dobiti vrijednosti temperatura u odabranim točkama na termogramu.

U ovom radu će biti prikazana analiza odabranog broja termograma za svaku varijantu navodnjavanja na način da će biti određena minimalna, maksimalna i srednja vrijednost temperature cijelog termograma i odabranog, izdvojenog, područja na termogramu.

Na Slici 13. prikazan je termografski snimak oznake 52 načinjen u drugom redu vinove loze. S obzirom da je uzeto da je emisijski faktor cijelog termograma jednak (0,96), preko odabrane palete boja koja je jednoznačno vezana uz temperaturnu skalu, može se dobiti temperaturna raspodjela na snimanom području. Srednja temperatura područja na koje je usmjereno mjerenje iznosi 26,6°C, a temperatura listova je oko 28 °C.



Slika 13. Termografski prikaz oznake 652.

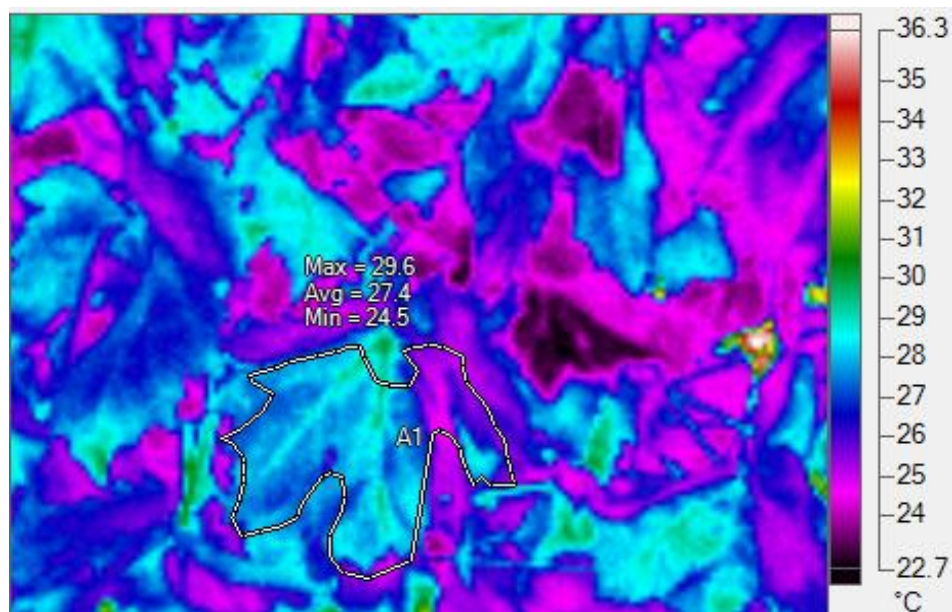
Može se uočiti da na onim dijelovima termograma koji se odnosi na listove (Slika 14.) prevladava područje temperatura od 22,7 °C do 36,3°C. Detaljnija analiza odabranog lista prikazana je na Slici 15.



Slika 14. Prikaz listova vinove loze oznake 652.

Analiza odabranog lista (Slika 15.) pokazuje da se temperatura kreće od 24,5 °C do 29,6 °C, dok je srednja temperatura lista iznosila 27,4 °C, što je za 1 °C viša od prosječne temperature termograma. To pokazuje ili da je list bio izložen različitom intenzitetu sunčevog zračenja ili da zbog položaja lista u prostoru njegov emisijski faktor varira (nije konstantnog iznosa od 0,96). Taj se zaključak slaže sa zapažanjima iz literature da je emisijski faktor površine ovisan o kutu promatranja te da može, u slučaju većih odklona od normale na

promatranu površinu, bitno varirati. Time se direktno utječe na izmjerenu vrijednost temperature.



Slika 15. Termogram odabranog lista

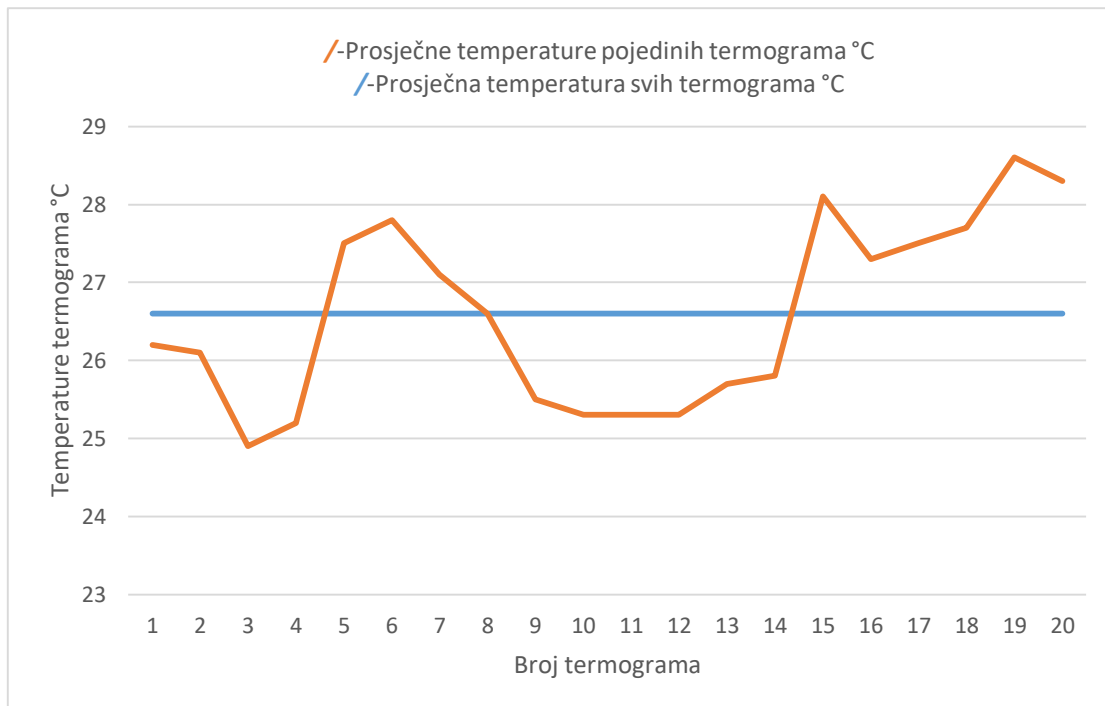
5.2.2. Varijanta navodnjavanja -75 % evapotranspiracije

U Tablici 5. vidimo da je prosječna temperatura zraka za razdoblje od 10:15 do 10:32 iznosila 28,9 °C, dok je prosječna temperatura termograma iznosila 26,6°C. Temperatura tla se kreće oko 23 °C, a relativna vlaga zraka oko 23 %.

Tablica 5. Prikaz rezultata mjerenja za navodnjavanje varijante 75 % evapotranspiracije.

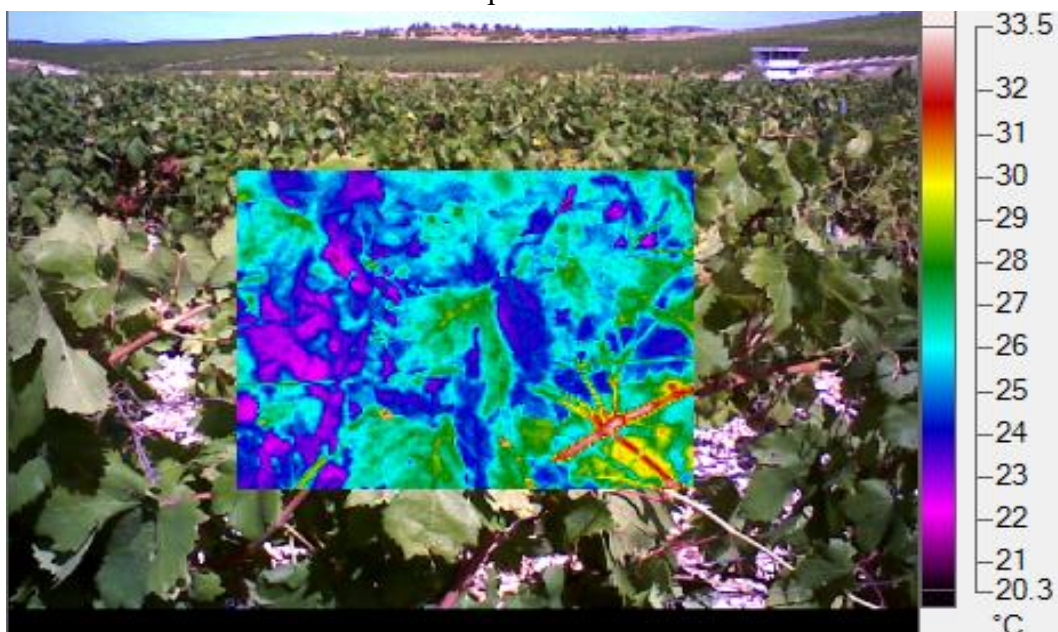
Oznaka reda	Vrijeme	Temperatura zraka °C	Temperatura tla °C	RV %	Oznaka termograma	Prosječna temperatura na termogramu °C			
I	10:15	28,7	23,8	23,7	662	26,2			
					663	26,1			
					664	24,9			
			23,5	23,9	665	25,2			
					666	27,5			
					667	27,8			
					668	27,1			
			23,7	22,6	669	26,6			
II	10:25	28,8	23,8	22,2	670	25,5			
					671	25,3			
			23,5	23,8	672	25,3			
					673	25,3			
			22,2	23,8	674	25,7			
					675	25,8			
			III	10:32	29,2	25,1	23,6	676	28,1
								677	27,3
23,7	22,3	678				27,5			
		679				27,7			
23,5	22,3	680				28,6			
		681				28,3			
		28,9			26,6				

Grafički prikaz na Slici 16. prikazuje varijacije prosječnih temperatura snimljenih termograma za varijantu navodnjavanja 75% evapotranspiracije. Srednja vrijednost temperatura svih snimljenih termograma iznosi 26,6 °C, a temperature se kreću od minimalne 24,9 °C do maksimalne 28,3 °C.



Slika 16. Vrijednosti srednjih temperatura za niz termograma oznake od 662 do 681, snimljenih za varijantu navodnjavanja 75% evapotranspiracije.

Na Slici 17. vidimo prikaz termograma oznake 674. i uočavamo da su temperature na području mjerenja termografskom kamerom varirale oko 20,3°C do 33,5°C, dok su na mjestima bile i nešto niže odnosno više temperature.



Slika 17. Termografski prikaz oznake 674.

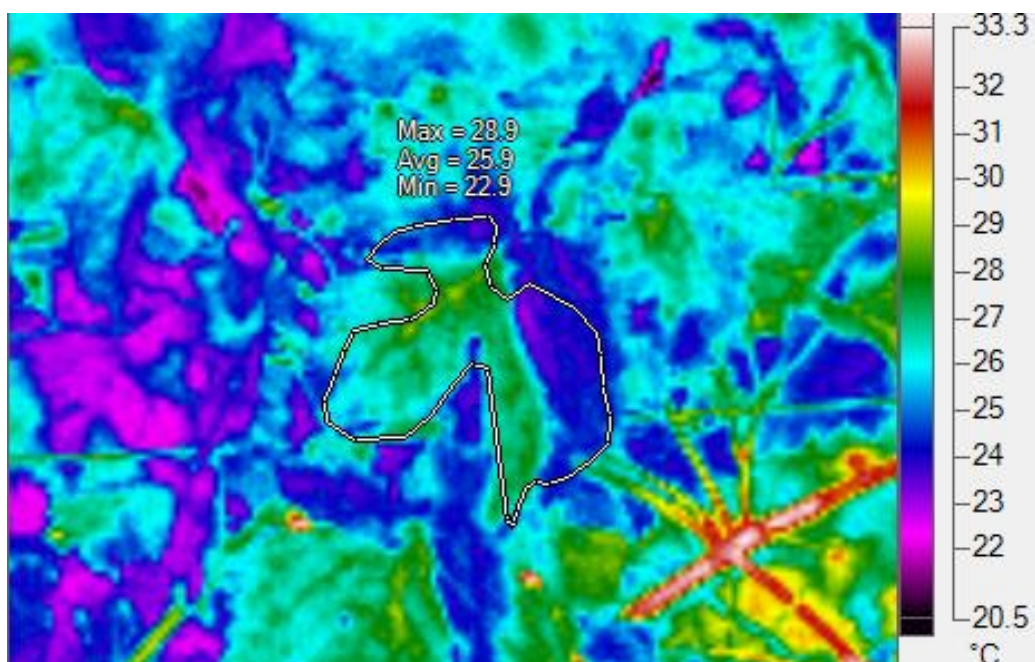
Može se uočiti da na onim dijelovima termograma koji se odnose na listove (Slika 18.) prevladava područje temperatura od 22°C do 29°C.



Slika 18. Prikaz listova vinove loze oznake 674.

Analiza odabranog lista (Slika 19.)pokazuje da se temperatura lista kreće od 22,9 °C do 28,9°C, dok je srednja temperatura iznosila 25,9 °C, što je za 0,7 °C viša od prosječne temperature termograma.

Objašnjenje ovako velikih razlika u temperaturi lista može biti sljedeće: treba uočiti da je položaj promatranog lista vrlo specifičan i varira od pune izloženosti sunčevom zračenju do osjenjenih dijelova, te da su, u odnosu na liniju snimanja kamere, dijelovi lista postavljeni od položaja okomito do paralelno. Ta će specifičnost za posljedicu imati velike varijacije u temperaturi lista uzrokovane promjenom u vrijednostima emisijskog faktora lista.



Slika 19. Termogram odabranog lista

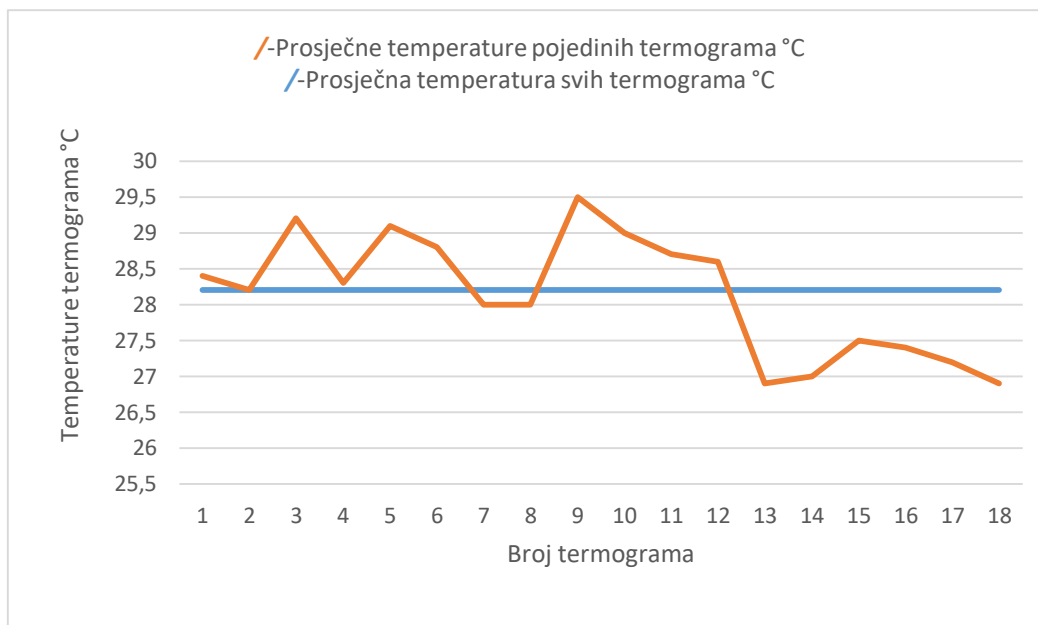
5.2.3. Varijanta navodnjavanja - 50% evapotranspiracije

U Tablici 6. kod varijante navodnjavanja s jednom cijevi vidimo da je prosječna temperatura zraka za razdoblje od 10 : 40 do 10 : 57 iznosila 29,7 °C dok je prosječna temperatura termograma iznosila 28,2 °C. Temperatura tla se kreće oko 24 °C, a relativna vlaga zraka oko 23 %.

Tablica 6. Prikaz rezultata mjerenja za navodnjavanje 50 % evapotranspiracije.

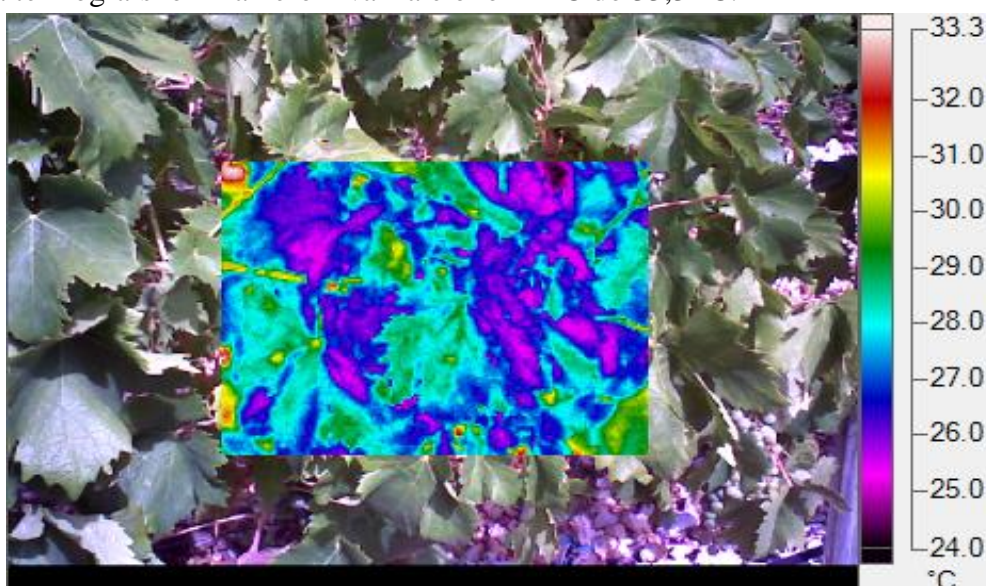
Oznaka reda	Vrijeme	Temperatura zraka °C	Temperatura tla °C	RV %	Oznaka termograma	Prosječna temperatura na termogramu °C
I	10:40	29,6	24,5	21,2	682	28,4
					683	28,2
			23,8	23,4	684	29,2
					685	28,3
			24,8	22,6	686	29,1
				687	28,8	
II	10:50	29,6	24,2	23,4	688	28
					689	28
			24,3	23,2	690	29,5
					691	29
			24,3	23,4	692	28,7
				693	28,6	
III	10:57	29,8	24,5	23,5	694	26,9
					695	27
			24,7	24	696	27,5
					697	27,4
			25,5	24,6	698	27,2
				699	26,9	
		29,7				28,2

Grafički prikaz na Slici 20. prikazuje varijacije prosječnih temperatura snimljenih termograma za varijantu navodnjavanja 50% evapotranspiracije. Srednja vrijednost temperatura svih snimljenih termograma iznosi 28,2 °C, a temperature se kreću od minimalne 26,9 °C do maksimalne 29,2 °C.



Slika 20. Vrijednosti srednjih temperatura za niz termograma oznake od 682 do 699, snimljenih za varijantu navodnjavanja 50% evapotranspiracije.

Na Slici 21. vidimo prikaz oznake 696 i uočavamo da su temperature na području mjerenja termografskom kamerom varirale oko 24 °C do 33,3 °C.



Slika 21. Termografski prikaz oznake 696.

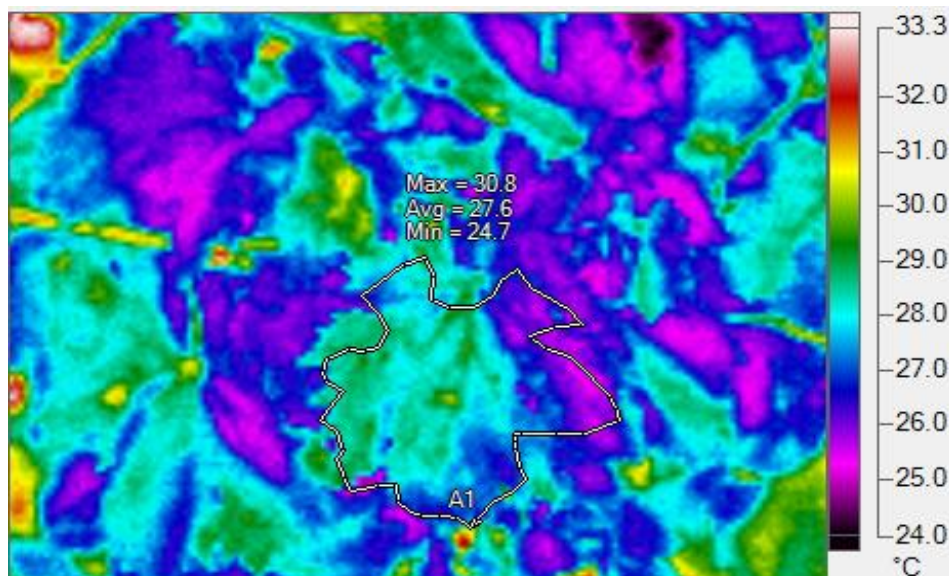
Može se uočiti da na onim dijelovima termograma koji se odnosi na listove (Slika 22.) prevladava područje temperatura od 25°C do 30°C.



Slika 22. Prikaz listova vinove loze oznake 696

Analiza odabranog lista (Slika 23.) pokazuje da se temperatura kreće od 24,7 °C do 30,8 °C, dok je srednja temperatura lista iznosila 27,6 °C, što je za 0,6 °C viša od prosječne temperature termograma.

Položaj lista je sličan prethodnom prikazu (slika 18) te su, očekivano, velike i varijacije temperature po površini lista.



Slika 23. Termogram odabranog lista

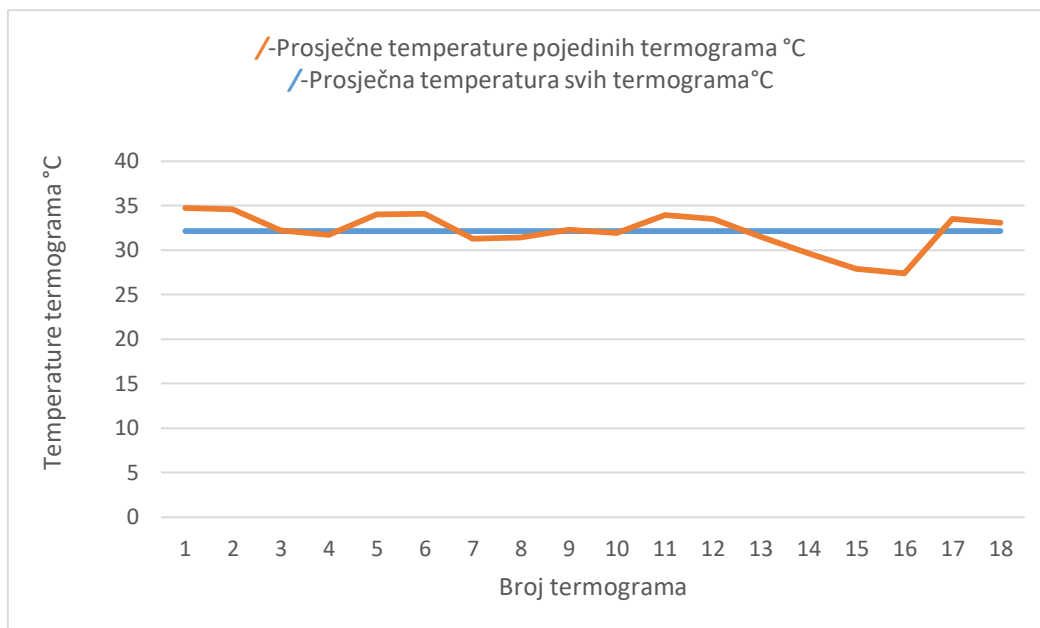
5.2.4. Varijanta bez navodnjavanja - kontrola

U Tablici 7. varijante bez navodnjavanja vidimo da je prosječna temperatura zraka za razdoblje od 10 : 15 do 10 : 32 iznosila 28,9 °C, dok je prosječna temperatura termograma iznosila 26,6°C. Temperatura tla se kreće oko 27 °C, a relativna vlaga zraka oko 21 %.

Tablica 7. Prikaz rezultata mjerenja bez navodnjavanja – kontrola

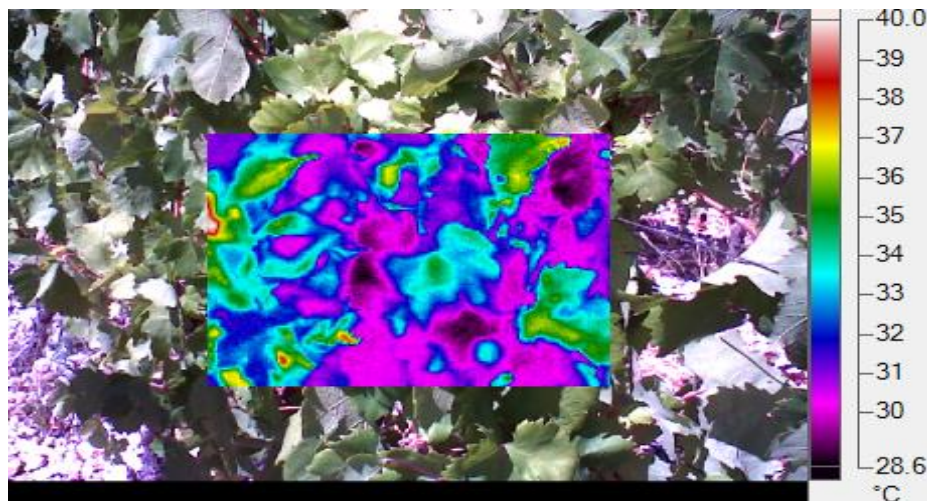
Oznaka reda	Vrijeme	Temperatura zraka °C	Temperatura tla °C	RV %	Oznaka termograma	Prosječna temperatura na termogramu °C
I	11:10	29,9	26,1	20,3	700	34,7
					701	34,6
			25,8	20	702	32,2
					703	31,7
					704	34
27,1	20,1	705	34,1			
		706	31,3			
II	11:20	29,5	26,5	21,6	707	31,4
					708	32,3
			26,8	21,5	709	31,9
					710	33,9
					711	33,5
26,7	21,3	712	31,5			
		713	29,6			
III	11:30	29,8	26,5	22,8	714	27,9
					715	27,4
			27,1	21,6	716	33,5
					717	33,1
					26,9	21,9
		29,7				32,1

Grafički prikaz na Slici 24. prikazuje varijacije prosječnih temperatura snimljenih termograma za varijantu bez navodnjavanja. Srednja vrijednost temperatura svih snimljenih termograma iznosi 32,1 °C, a temperature se kreću od minimalne 27,4 °C do maksimalne 34,7 °C.



Slika 24. Vrijednosti srednjih temperatura za niz termograma oznake od 700 do 717, snimljenih za varijantu kontrole

Na Slici 25. vidimo prikaz oznake 702 i uočavamo da su temperature na području mjerenja termografskom kamerom znatno veće nego kod prethodnih varijanti pa zaključujemo da je temperatura porasla upravo zbog značajki ove varijante pokusa.



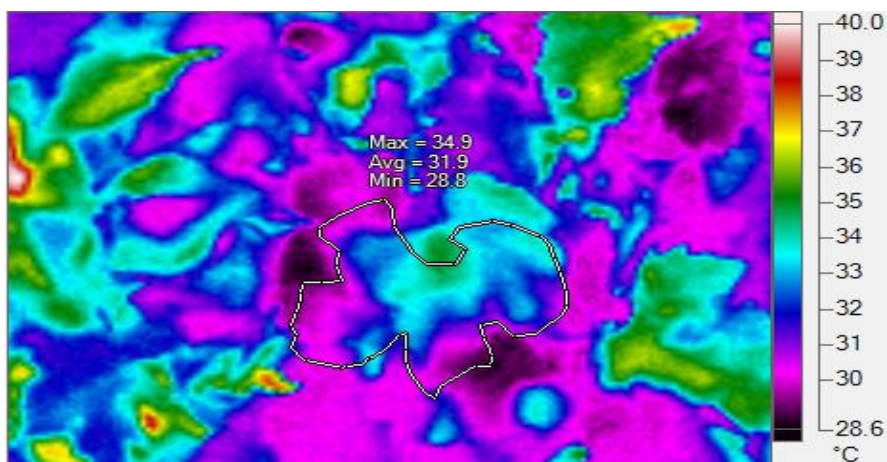
Slika 25. Termografski prikaz oznake 702

Može se uočiti da na onim dijelovima termograma koji se odnosi na listove (Slika 26.) prevladava područje temperatura od 30°C do čak 36 °C.



Slika 26. Prikaz listova vinove loze oznake 702

Analiza odabranog lista Slika 27. pokazuje da se temperatura kreće od 28,8 °C do 34,9 °C dok je srednja temperatura lista iznosila 31,9 °C, što je za 0,3 °C manja od prosječne temperature termograma. To ukazuje na to da je ili list moguće dijelom bio u sjeni susjednog reda trsova te nije bio izravno izložen sunčevom zračenju i zagrijavanju ili je, što je vjerojatnije, promjena emisijskog faktora s kutom utjecala na očitane vrijednosti temperatura na termogramu. Može se uočiti da središnji dio lista (uz peteljku) ima izraženiju refleksiju sunčevog zračenja i u vidljivom dijelu spektra, a povećana refleksija u infracrvenom dijelu spektra posljedično, zbog visoke temperature objekta koji je izvor tog reflektiranog zračenja (sunce), pokazuje najviše vrijednosti temperature za taj dio lista.



Slika 27. Termogram odabranog lista

5.3. Rezultati indeksa vodnog stresa (eng. *crop water stress index - CWSI*)

U literaturi koja obrađuje područje vodnog stresa biljaka, značajka CWSI se računa preko jednadžbe:

$$CWSI = (\vartheta_i - \vartheta_{wet}) / (\vartheta_{dry} - \vartheta_{wet})$$

pri čemu je:

- ϑ_i temperatura krošnje °C;
- ϑ_{wet} temperatura vlažne izoterme; temperatura lista dobro opskrbljenog vodom kojemu su puči potpuno otvorene °C ;
- ϑ_{dry} suha referentna temperatura, temperatura lista kod kojega su puči u potpunosti zatvorene °C, računa se kao:

$$\vartheta_{dry} = \vartheta_{air} - 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

pri čemu je ϑ_{air} temperatura zraka °C.

Vlažna izoterma iz prethodne jednadžbe se definira na različite načine, ovisno o autorima. Neki autori za vrijednost vlažne izoterme uzimaju najnižu izmjerenu vrijednost temperature na termogramu, drugi vrijednost temperature vlažne izoterme definiraju na način da preko umjetno vlaženog objekta (ili lista) određuju najnižu vrijednost temperature koja se može postići u uvjetima mjerenja, s obzirom na temperaturu i relativnu vlažnost zraka.

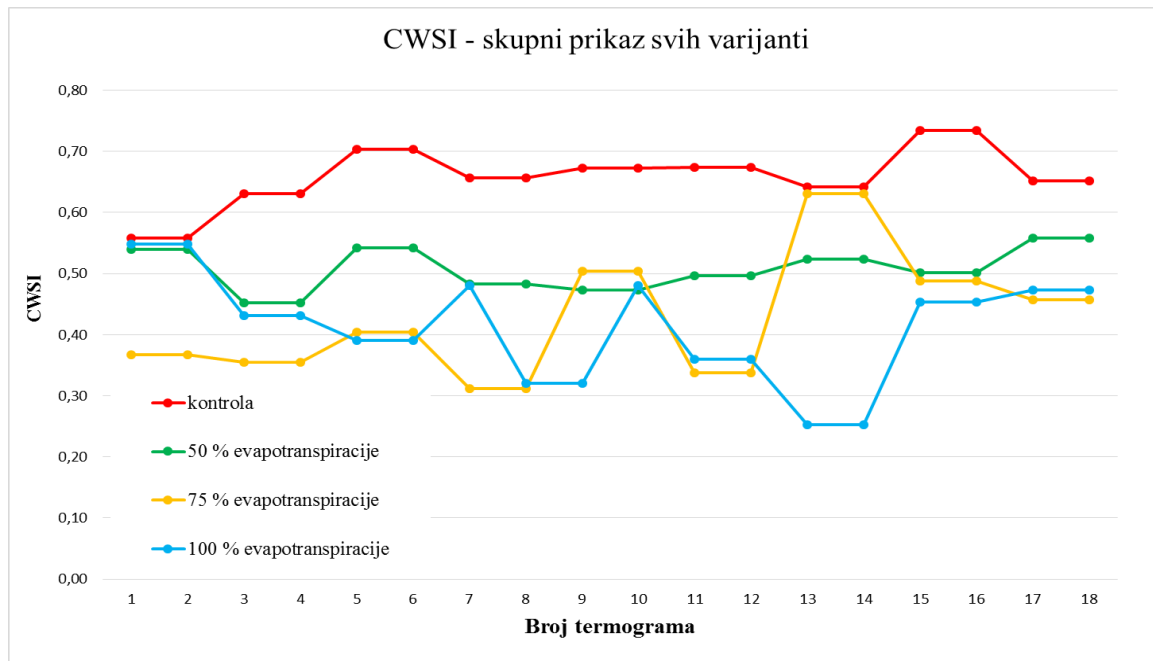
Kako se, poznavajući temperaturu zraka i relativnu vlažnost zraka, može odrediti takozvana "*granica hlađenja*" odnosno temperatura do koje se može ohladiti vlažno tijelo zbog ishlapljivanja vlage u nezasićeni vlažni zrak, u literaturi se mogu pronaći jednadžbe koje omogućuju izračunavanje vlažne izoterme iz podataka o temperaturi zraka i relativnoj vlažnosti zraka (Galović 2007.).

Jedna od tih jednadžbi može se pronaći u članku autora Rolanda Stulla, 2011. u obliku:

$$T_w = T \operatorname{atan} \left[0.151977(\text{RH}\% + 8.313659)^{\frac{1}{2}} \right] + \operatorname{atan}(t + \text{RH}\%) - \operatorname{atan}(\text{RH}\% - 1.676331) + 0.00391838(\text{RH}\%)^{\frac{3}{2}} \operatorname{atan}(0.023101\text{RH}\%) - 4.686035.$$

Relativna vlažnost zraka definira se kao omjer parcijalnog tlaka vodene pare u nezasićenom vlažnom zraku (zrak sadrži samo vodenu paru) i tlaka zasićenja vodene pare za tu istu temperaturu. Tlak zasićenja je tlak pri kojem nastupa kondenzacija vodene pare u vlažnom zraku.

Tako, vlažna izoterma s oznakom "Bulb" (eng. *wet bulb temperature*) predstavlja računski određenu vrijednost temperature na osnovi podataka o stanju okoline (temperatura i relativna vlažnost zraka) koristeći toplinske tablice ili jednadžbe. Vlažna izoterma oznake "Dec" (eng. *lowest decile*) predstavlja onu vrijednost temperatura ($\mathcal{G}_{10\%}$) od koje je niže točno 10% zabilježenih temperatura na termogramu.



Slika 28. Vrijednosti indeksa vodnog stresa u ovisnosti o stupnju evapotranspiracije

Na slici 28 grafički su prikazani rezultati izračuna vrijednosti značajke CWSI za pojedine varijante navodnjavanja. Izračun je temeljen na mjerenim vrijednostima temperature i relativne vlažnosti zraka te dobivenim srednjim vrijednostima temperatura analiziranih termograma.

Očekivano i sukladno s podacima iz literaturnih izvora - povećanje razine stresa biljke rezultira porastom njezine temperature i time porastom vrijednosti CWSI značajke. Najviše su temperature listova zabilježene u onim redovima vinove loze koji nisu bili navodnjavani. Slijede vrijednosti temperatura u redovima loze s 50 % evapotranspiracije i potom preostale dvije varijante: 75 % i 100 % evapotranspiracije.

Izražena je veza između vrijednosti CWSI značajki i stupnja evapotranspiracije za dvije varijante: bez navodnjavanja i 50 % evapotranspiracije. Na slici 28 krivulje vrijednosti CWSI značajke su za ove dvije varijante izraženo pomaknute prema višim vrijednostima. Za slučajeve 75 % evapotranspiracije i 100 % evapotranspiracije vrijednosti CWSI značajki više nisu vrijednosno grupirane i ne postoji izražena veza između izračunatih vrijednosti CWSI značajki i stupnja evapotranspiracije. Razlog tomu može biti utjecaj heterogenosti tla te moguća disperzija toka dodane vlage pojedinim trsovima, kao i varijacije temperatura zabilježenih na termogramima uslijed promjene emisijskog faktora.

6. Zaključak

U ovom diplomskom radu provedena su terenska mjerenja vodnog potencijala lista i termalna snimanja nasada vinove loze koji je pokusno navodnjavan u obrocima od 50, 75 i 100 % udjela vode izražene kroz evapotranspiracijski koeficijent (ET) te kontrolne (nenavodnjavane) varijante. Provedenim terenskim istraživanjima utvrđeno je da u pokusnom nasadu vinove loze varijanta navodnjavanja do 100 % i 75 % ET ima slabi do srednji nedostatak vode, a kontrolna varijanta i varijanta navodnjavana do 50 % ET srednji do ozbiljni nedostatak vode.

Najviše vrijednosti vodnog potencijala lista izmjerene su na varijanti navodnjavanoj obrokom do 75% evapotranspiracije. Međutim u toj varijanti izmjerene su i vrijednosti vodnog potencijala lista koje upućuju na ozbiljni nedostatak vode. Najnegativnije vrijednosti vodnog potencijala lista izmjerene su na nenavodnjavanoj varijanti, što je posljedica izloženosti vinove izrazitom vodnom stresu i ozbiljnom nedostatku vode.

Slični obrasci vodnog stresa utvrđeni su i kvantitativnim analizama termograma prikupljenih daljinskim snimanjima pojedinačnih trsova u pokusnom nasadu. Najniže temperature listova zabilježene su na varijanti navodnjavanoj do 100 % ET te varijanti navodnjavanoj do 75 % ET. Najviše temperature lista zabilježene su na kontrolnoj varijanti i varijanti navodnjavanoj do 50 % ET.

Potrebno je izdvojiti veliku varijabilnost izmjerenih vrijednosti vodnog potencijala lista i temperatura očitanih iz termograma na svim varijantama pokusa. Izrazita heterogenost tla koja je posljedica velikog udjela skeleta imaju za posljedicu i u uniformno navodnjavanim pokusnim parcelama različitu opskrbljenost biljaka vinove loze vodom.

Stoga, brze nedestruktivne, daljinske metode poput kvantitativne termografije imaju potencijal u detekciji vodnog stresa. Preciznijom detekcijom vodnog stresa pruža se mogućnost i preciznijeg doziranja vode što se prema dobivenim rezultatima vodnog potencijala lista čini kao potrebna mjera u gospodarenju navodnjavanjem na prenamijenjenim krškim terenima.

7. Literatura

1. Akıncı S. and. Lösel D.M. (2012). Plant Water-Stress Response Mechanisms. Turkey, Publisher InTech.
2. Akıncı, S. (1997). Physiological responses to water stress by *Cucumis sativus* L. and related species. Ph. D. Thesis, University of Sheffield. U. K.
3. Ameglio, T., P. Archer, M. Cohen, C. Valancogne, F. Daudet, and P. Cruiziat. (1999). Significance and limits in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation.
4. Andrassy, M., Boras, I., Švaić S.(2007). Osnove termografije s primjenom, Kigen, Zagreb.
5. Blesić M., Mijatović D., Blesić S., (2013). Praktično vinogradarstvo i vinarstvo, Sarajevo.
6. Fulton, A., R. Buchner, B. Olson, L. Schwankl, C. Gilles, N. Bertagna, J. Walton, and K. Shackel (2001). Rapid equilibration of leaf and stem water potential under field conditions in almonds, walnuts, and prunes.
7. Galović, A., (2007) *Termodinamika II*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
8. Grant, O. M., Ochagavía, H., Baluja, J., Diago, M. P., Tardáguila, J.(2016). Thermal imaging to detect spatial and temporal variation in the water status of grapevine (*Vitis vinifera* L.), *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*.
9. Grant, O., Tronina, L., Jones, H., G., Chaves, M. M. (2007). Exploring thermal imaging variables, for the detection of stress responses in grapevine under different irrigation regimes, *Jornual of Experimental Botany*.
10. Ivandija, T., Marić, B. (2013). Vinova loza, Glasnik zaštite bilja
11. Kriedemann E. P., Goowin I., Regulate deficit irrigation and partial rootzone drying
12. Lisar. Y., S., S., Motafakkerazad., R., Hossain., M., M., Rahman M., M., I. (2012). Introductory Chapter Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses Department of Plant Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz.
13. Madjar S., Šoštarić J. (2009). Navodnjavanje poljoprivrednih kultura Sveučilište J. J. Strossmayer u Osijeku, Poljoprivredni fakultet Osijek.
14. Maletić E., Karoglan Kontić J., Pejić I., Preiner D., Zdunić G., Bubola M., Stupić D., Andabaka Ž., Marković Z., Šimon S., Žulj Mihaljević M., Ilijaš I., Marković D. (2015). Zelena knjiga, Hrvatske izvorne sorte vinove loze, Naklada: Agronomski fakultet, Zagreb.
15. Maletić, E., Karoglan Kontić, J., Pejić I. (2008.). Vinova loza. Školska knjiga. Zagreb.
16. McCarthy M. G. (2002). Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying as irrigation management techniques for grapes.
17. Meron, M., Tsipris, J., Orlov, V., Alchanatis, V., Cohen, Y. (2010). Crop water stress mapping for site-specific irrigation by thermal imagery and artificial reference surfaces, *Precision Agriculture*.
18. Mirošević N., Karoglan Kontić J. (2008). Vinogradarstvo. Nakladni zavod Globus, Zagreb
19. Ondrašek G., Petošić D., Tomić F., Filipović V., Petek M., Lazarević B., Bubalo M., (2015). Voda u agroekosustavima, Zagreb.

20. Oskabe, Y., Oskabe, K., Shinozaki, K., Tran, L.S.P. (2014). Response of plants to water stress, *Frontiers in plant Science*.
21. Pool M.R. and Lakso N. A. (2000). Recognizing and responding to drought stress in maturing grapevines Cornell University Dept, of Horticultural Sciences NYS Agricultural Experiment Station, Geneva.
22. Romić, D., Romić, M., Ondrašek, G., Bakić, H., Bubalo, M., Zovko, M., Matijević, L., Husnjak, S., Jungić, D., Rubinić, V., Karloglan Kontić, J., Maletić, E., Preiner, D., Marković, Z., Stupić, D., Andabak, Ž., Čoga, L., Lazarević, B., Perica, S., Strikić, F., Žanetić, M., Klepo, T., Jukić Špika, M. (2015). Pilot projekt navodnjavanja drvenastih kultura (vinove loze i masline) uzgajanih na osvojenim krškim površinama na području Donje polje - Jadrtovac kod Šibenika; Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
23. Romić, D., Tomić, F., Petošić, D., Romić, M., Ondrašek, G., Rus, B., Salopek, Z., Zovko, M., Husnjak, S., Vidaček, Ž., Bogunović, M., Sraka, M., Bensa, A., Vrhovec, D., Juraček, J., Borošić, J., Šustić, D., Filak, Z., Andrić, A., (2006). Plan navodnjavanja poljoprivrednih površina i gospodarenje zemljišta i vodama za područje Zagrebačke županije, Zagreb.
24. Stull, R., (2011.) *Wet- Buld Temperature from Relative Humidity and Air Temperature*. University of British Columbia. Vancouver, Canada
25. Šimunić, I., Tomić, F. (2007). Doziranje vode koristeći koeficijent navodnjavanja, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
26. Wample, R.L. (1996). *Issues in vineyard irrigation*. Wine East.
27. Williams, L. E., and F. J. Araujo. 2002. Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera* *Journal of the American Society of Horticultural Science*.
28. Williams, L.,E. (2001). *Irrigation of winegrapes in California* Department of Viticulture & Enology University of California Davis, and Kearney Agricultural Center.
29. Winkel, T., Rambal, S., (1993). Influence of water stress on grapevines growing in the field: from leaf to whole-plant response.
30. Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M., Milković, Janja., Bajić, A., Cindrić, K., Cvitan, L., Katušin, Z., Kaučić, D., Lisko, T., Lončar, E., Mihajlović, D., Pandžić, K., Patarčić, M., Srnc, L., Vučetić, V. (2008.) *Klimatski atlas Hrvatske*, Izdavač: Državni hidrometeorološki zavod, Grič3, HR-10000 Zagreb.
31. Zovko, M., Boras, I., Švaić, S. (2018). Assessing plant water status from infrared thermography for irrigation management // *InfraRed Thermography Conference DGZfP- Proceedings BB 167 / Maierhofer, Christiane ; Purschke, Matthias (ur.)*. Berlin : German Society for Non-Destructive Testing.

Izvori s interneta :

https://ec.europa.eu/agriculture/cap-indicators/context/2017/full-text_en.pdf. Pristupljeno 4. srpnja 2018.

<http://www.bikarac.hr/?stranice=polozaj&id=35> Pristupljeno 8. srpnja 2018.

<http://vocarskisavjeti.blogspot.com/2016/01/navodnjavanje-vocnjaka.html> Pristupljeno 8. srpnja 2018.

<http://fama.com.hr/ustrajni-vinar-kursan-s-jadrtoanca/> Pristupljeno 30. kolovoza 2018.

<http://www.inegra.hr/usluge/> Pristupljeno 30. kolovoza 2018.

www.fluke.com Pristupljeno 1. srpnja 2018.