

# Primjena GIS tehnologije u vinogradarstvu i proizvodnji vrhunskih vina

---

Gjajić, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:768235>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Luka Gjajić

Sveučilišni diplomski studij Mehanizacija

**PRIMJENA GIS TEHNOLOGIJE U VINOGRADARSTVU I  
PROIZVODNJI VRHUNSKIH VINA**

Diplomski rad

Osijek, 2021.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Luka Gjajić

Sveučilišni diplomski studij Mehanizacija

**PRIMJENA GIS TEHNOLOGIJE U VINOGRADARSTVU I  
PROIZVODNJI VRHUNSKIH VINA**

Diplomski rad

Osijek, 2021.

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Luka Gjajić

Sveučilišni diplomski studij Mehanizacija

**PRIMJENA GIS TEHNOLOGIJE U VINOGRADARSTVU I**  
**PROIZVODNJI VRHUNSKIH VINA**

Diplomski rad

Povjerenstvo za obranu i ocjenu diplomskog rada:

1. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, predsjednik
2. prof. dr. sc. Mladen Jurišić, mentor
3. Dorijan Radočaj mag. ing. geod. et geoinf., član

Osijek, 2021.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. PRECIZNO VINOGRADARSTVO</b> .....	5
<b>2.1. Katastri vinograda i prostorne baze podataka</b> .....	5
<b>2.2. Prikupljanje podataka i senzorika u vinogradarstvu</b> .....	6
2.2.1. Primjena robotike u vinogradarstvu.....	14
<b>3. MODELIRANJE POGODNOSTI PODRUČJA ZA VINOGRADARSTVO PRIMJENOM GEOINFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA</b> .....	17
<b>3.1. Agroekološki i pedološki uvjeti za vinogradarstvo</b> .....	17
3.1.1. Temperatura.....	17
3.1.2. Sunčeva svjetlost.....	17
3.1.3. Vlaga .....	17
3.1.4. Tlo i obrada tla .....	18
3.1.5. Gnojidba.....	18
<b>3.2. GIS višekriterijska analiza</b> .....	20
3.2.1. Praktična provedba višekriterijske analize .....	21
<b>3.3. Analitički hijerarhijski proces (AHP)</b> .....	23
3.3.1. Težinski kriteriji AHP-a .....	24
<b>4. ZAKLJUČAK</b> .....	30
<b>5. POPIS LITERATURE</b> .....	32
<b>6. SAŽETAK</b> .....	35
<b>7. SUMMARY</b> .....	36
<b>8. POPIS TABLICA</b> .....	37
<b>9. POPIS SLIKA</b> .....	38

## 1. UVOD

Vinova loza (*Vitis vinifera* L.) jedna je od najstarijih kulturnih biljaka i pratitelj čovjeka već tisućljećima. Pripada porodici *Vitaceae*. Zbog vrijednosti njezinih plodova danas je nazočna i gospodarski važna u gotovo svim zemljama svijeta gdje klimatski čimbenici dopuštaju njezin uzgoj. Za razliku od mnogih drugih poljoprivrednih kultura, loza je zahtijevala vrlo male modifikacije da bi se prilagodila uzgoju. Mali zahtjevi za vodom i mineralnim hranjivima omogućavaju njezin uzgoj na tlima i obroncima nepogodnim za ostale kulture. Lako se razmnožava dijelovima odrvenjelih mladica, a svojstva penjačice omogućavaju joj da raste u asocijacijama s drugim biljkama. Sve ove prednosti dovele su do početka domestikacije vinove loze. Početkom kultivacije, loza se vjerojatno počela razmnožavati vegetativno, umjesto prirodnog generativnog načina razmnožavanja. Pojavljuju se i tipovi s hermafroditnim cvjetovima, kod kojih je moguća i samooplodnja, čime oplodnja postaje sigurnija i manje ovisna o okolinskim uvjetima. Velike zasluge za širenje vinove loze treba pripisati antičkim Greima koji su širili kulturu uzgoja vinove loze kolonizacijom Mediterana, pa su tako područje današnje Italije nazvali *Oenotria* – zemlja vina (Maletić i sur., 2008.).

Primjena GIS-a (geografsko informacijskog sustava) u vinogradarstvu u današnje vrijeme još uvijek nije pronašla široku uporabu iz razloga što se određeni dio agrotehničkih operacija mora obavljati ručno, kao npr. vezivanje mladica, plijevljenje mladica, orezivanje loze, uklanjanje zaperaka i dr. Također bitno je naglasiti kako se većina malih proizvođača vrhunskih vina (OPG) ne odlučuje na nabavku ili korištenje GIS tehnologija zbog visoke početne cijene investicije ili u slučaju starijih vlasnika OPG-ova nepoznavanja rada s modernim tehnologijama. S druge strane tehnologija bazirana na GIS-u uvelike pomaže u ostalim agrotehničkim operacijama u vinogradarstvu, poput iskolčavanja parcela za sadnju vinove loze, navođenja mehanizacije tijekom obrade tla (rahljenje), kosidbe te zaštite vinove loze protiv bolesti i štetnika. U posljednje vrijeme do izražaja u proizvodnji vrhunskih vina dolazi uporaba višekriterijske analize, na temelju koje se donose najbolji kriteriji za uzgoj i proizvodnju vinove loze. Tijekom zadnjeg desetljeća sve je veća tendencija proizvodnje vrhunskih vina, kako kod velikih proizvođača, tako i kod malih proizvođača, zbog zahtjeva tržišta, gdje se prepoznalo kako nije bitna kvantiteta nego kvaliteta vina, pri čemu cijena dobivenih proizvoda raste što ne predstavlja problem klijentelizmu. Kako bi se proizvela vrhunska vina te vina premium klase u sve težim klimatskim uvjetima, kao i sve većom

konkurencijom proizvođača, neophodno je postupno uvoditi nove tehnologije bazirane na GNSS-u (Globalnom navigacijskom satelitskom sustavu) koje uveliko pomažu pri smanjenju troškova uzgoja vrhunskog grožđa koje je preduvjet nastanka vrhunskih vina.

Prema podacima Hrvatske agencije za poljoprivredu i hranu (HAPIH) o strukturi vinograda u Hrvatskoj je u 2019. bilo upisano u Upisnik ukupno 37.913 proizvođača vina, a pod vinogradima 19.022 hektara, s tendencijom smanjenja površina pod nasadima vinove loze, dok je prema sortama vinove loze sa zaštićenom oznakom izvornosti najviše površina bilo pod graševinom, plavcem malim i istarskom malvazijom (Hrvatska agencija za poljoprivredu 2019.). Vlahović-Vitasović (2020.) u svome radu ističe kako je vinski turizam u Hrvatskoj još uvijek u početnoj fazi razvoja, te je potrebno naglasiti kako pojedine vinogradarske regije, podregije i vinogorja već godinama rade na razvijanju proizvoda vinskog turizma te povećanju posjećenosti vinskih turista u čemu veliku ulogu imaju nagrađivana vrhunska vina. Vinski turizam razvija se s ciljem unapređivanja i očuvanja lokalne kulture i tradicije, pružajući jedinstvene doživljaje posjetiteljima te njegujući specifičan turistički proizvod i održivi ekonomski razvoj.

Prema provedenom istraživanju Nesbitt i sur. (2018.) navode kako je potrebno provesti više istraživanja u hladnijim područjima za uzgoj vinove loze zbog sve veće prisutnosti promjene klime te mogućeg nastanka „novih vinogradarsko - vinskih regija“. Primjenom višekriterijskog odlučivanja proizvođači ili ulagači mogu izvući vrijednost odlučivanja koja je presudna pri donošenju konačne odluke. Skupovi podataka s više kriterija preklapali su se pomoću ArcGIS-a i podvrgavali procesima fuzifikacije kako bi se razvio model prikladnosti vinogradarstva za promatrano područje. Primjenom modela na postojeće vinograde, putem sloja i procesa analize, pronađeno je neoptimalno pozicioniranje većine vinograda u odnosu na sezonski rast temperature. Podaci o površinskoj brzini vjetra, podaci o tlu veće razlučivosti, povijesni sortni prinos i parametri kvalitete vinograda, te mogućnost uključivanja međugodišnje varijabilnosti izražene kao koeficijent varijacije povećali bi funkcionalnost modela.

Poblete-Echeverría i sur. (2017.) u svom istraživanju pokazuju da je moguće izvršiti točnu segmentaciju krošnje vinove loze prema RGB snimkama ultra visoke rezolucije dobivenim UAV-om u uvjetima vedrog neba, koristeći metode klasifikacije za standardne uvjete vinograda obučeni na VSP-u bez pokrovnih usjeva u međuredu. Automatska metoda K-srednji s osnovnom i proširenom konfiguracijom imala je najnižu učinkovitost među

proučenim metodama. S druge strane, metode strojnog učenja (ANN i RForest) imale su zadovoljavajuće performanse, posebno ANN metoda, dostigavši prosječnu ukupnu vrijednost točnosti od 0,97. Međutim, ove metode zahtijevaju određenu razinu ljudske intervencije za kalibriranje modela sa skupom podataka za obuku. SI (spektralni indeks) upotpunjen Otsu metodom za određivanje pragova, imao je visoku ukupnu točnost i pokazao se vrlo dobro u otkrivanju klasa biljaka. Ova je metoda automatska i jednostavna za primjenu jer ne zahtijeva poseban softver za izračun indeksa. Nadalje, granične vrijednosti dobivene Otsu metodom stabilne su i ne ovise o drugim apriornim podacima. Komplementarno, SI koji se koristi kao pomoćni ulazni podatak za druge klasifikacijske metode (ANN.ex i RForest.ex) poboljšao je njihove performanse dostigavši ukupne vrijednosti točnosti oko 0,98 s visokim vrijednostima osjetljivosti za tri klase ( biljka , tlo i sjena ). Ove se metode razvrstavanja mogu koristiti za dobivanje informacija iz RGB slika poput frakcijskog pokrova i praćenja razvoja vinograda.

Zabihi i sur. (2020.) proveli su studiju koja je integrirala geografski informacijski sustav (GIS) s Fuzzy-Analitičkim hijerarhijskim procesom (F-AHP) za procjenu relativne važnosti fizičkih, prirodnih, okolišnih i društveno-ekonomskih čimbenika za određivanje prikladnosti ekoturističkih mjesta. Upravljanje ekoturizmom odgovarajućim zoniranjem ključno je za planiranje korištenja zemljišta. Anketiranjem 35 stručnjaka za ekoturizam i upravljanje zemljištem odabrano je 11 čimbenika. Za ponderiranje ovih čimbenika primijenjen je F-AHP kako bi se indeksirala i kartirala prikladnost iranskog područja studije slučaja za ekoturizam pomoću GIS podataka. Razvijen je pouzdan model za identifikaciju prikladnosti zone koji je otkrio da su oblik zemljišta i udaljenost do rijeke, nakon čega slijede temperatura i nadmorska visina najvažniji čimbenici za izračun indeksa prikladnosti.

Jobbagy i sur. (2018.) prema provedenom istraživanju procijenili su mehaniziranu berbu grožđa koju je izveo vučeni kombajn. Kao kriterij uvedene su performanse, gubici u berbi grožđa i ekonomska učinkovitost iz perspektive njegova uvođenja. Izračuni se sastoje od ukupnih godišnjih i djelomičnih jediničnih troškova također s obzirom na neizravne troškove koji nastaju zbog gubitaka grožđa tijekom berbe. Ocjenjivanje je provedeno na tri sorte grožđa. Gubici grožđa, ukupni godišnji i djelomični jedinični troškovi izračunati su za odabrane sorte grožđa, kao i za cijelo proizvodno područje. Prosječni gubici grožđa za cijelo proizvodno područje utvrđeni su na 470 kg/ha - 1, dok je najveći udio ovih gubitaka (9,7%) zabilježen kod sorte Neronet. Među ostalim analiziranim aspektima bili su učinkovitost mehaniziranog uvođenja berbe po definiciji troškova rada i otkupna cijena grožđa u odnosu



na minimalnu potrebnu površinu. Značajan dio ukupnih troškova za površinu od 100 ha nastao je izravnim troškovima do 15,24% većim od neizravnih troškova. Učinkovitost uvođenja strojeva u proces berbe uočena je na minimalnoj površini od 16,92 ha u slučaju iznajmljene mehanizirane berbe grožđa.

Cilj rada je pobliže objasniti moderne tehnologije bazirane na GNSS-u, poput tematskih karata, višekriterijske analize i preciznog navođenja, koje nam pomažu donijeti pouzdane informacije, te njihovu primjenu i utjecaj na proizvodnju vrhunskog grožđa, koje je preduvjet nastanka vrhunskih vina.

## 2. PRECIZNO VINOGRADARSTVO

### 2.1. Katastri vinograda i prostorne baze podataka

Smith (2002.) kazuje kako izbor mjesta, uspostava i kontinuirano upravljanje vinogradom zahtijevaju informacije. Kvaliteta dostupnih informacija važan je čimbenik koji određuje kvalitetu donesenih odluka, a time i kvalitetu i isplativost rezultata. Većina informacija i procesa koji pokreću proizvodnju grožđa odnose se na mjesto, pa je prostorna (zemljopisna) važnost važan aspekt podataka o vinogradima.

Stević (2014.) se zalaže za uporabu sustava navođenja sadilice vinove loze Smart Wine Professional. Sustav se sastoji od antene na sadilici, kućišta, računala u traktoru te GPS prijemnika. Isti autor nadalje ističe kako sustav Smart Wine Professional ima izrazito veliku brzinu rada od 20 impulsa u sekundi te veliku preciznost u radu uz greške do otprilike 3 cm, što omogućuje detaljno projektiranje nasada na odabranim parcelama, određivanje smjera redova, razmaka između redova te razmaka između biljaka.

Smith (2002.) navodi kako vinogradarstvo ima snažnu povezanost mjesta i vremena. Mnogi čimbenici i složeni međusobni odnosi varijabli kombiniraju se kako bi utjecali na konačne rezultate svake sezone. Prostorne i vremenske varijable povezane s rastom vinove loze i upravljanjem vinogradima idealno su pogodne za primjenu prostornih informacijskih sustava. To je jasno prepoznavanjem činjenice da se ključni čimbenici koji utječu na rezultate razlikuju ovisno o mjestu od regionalnih do unutar - vinogradarskih ljestvica.

Valeriu-Patriche i sur. (2011.) u svojoj studiji predstavljaju neke mogućnosti kvantificiranja klimatskih čimbenika koji utječu na pogodnost podizanja vinograda u sitnim razmjerima za regiju Vaslui. Nadalje, isti autori su analizirali mogućnosti za dobivanje prostornih raspodjela za globalno zračenje, trajanje sunčeve svjetlosti, koristeći softver SAGA-GIS, srednje godišnje padaline, koristeći regresijski-kriging pristup i složenije temperaturne parametre, poput zbroja dnevnih temperatura iznad 10<sup>0</sup> C. Alternativni pristup može biti uporaba nekih empirijskih metoda ili kombinacija statističkih i empirijskih metoda koje je, s druge strane, teško potvrditi. Slijedom toga, usredotočili su se na pristup, koristeći nadmorsku visinu temperaturnih gradijenata za stvaranje nadmorskog prostornog modela za temperaturne varijable i korekcije kako bi se uzele u obzir lokalne varijacije inducirane kutom nagiba i orijentacijom.

Cogato i sur. (2020.) predstavili su talijansku bazu podataka o vinogradima koja opisuje nekoliko prostornih i upravljačkih značajki uzoraka vinograda distribuiranih diljem Italije. Skup podataka predstavljen je kao centralni oblik datoteke s tablicom atributa. Značajke su procijenjene pomoću geoprostorne analize temeljene na GIS-u. Parametri poput razmaka redova, omjera dužine i širine i veličina rta određeni su pomoću QGIS mjernih alata. Autori napominju kako ova baza podataka može pomoći u utvrđivanju kriterija sadnje novih vinograda koji udovoljavaju racionalnim i održivim zahtjevima, te bi se implementirati kao podrška upravljanju vinogradima na svjetskim razmjerima.

Kurtural Kaan i sur. (2008.) su za analizu prikladnosti potencijalnih nalazišta vinograda u Illinoisu koristili tehnologije geografskog informacijskog sustava (GIS) i ponderirani model linearnog indeksiranja. Model je obuhvaćao makroskopski sloj klimatskih varijabli, mezoskalni sloj klimatskih varijabli, sloj svojstava tla i trenutni sloj varijabli korištenja zemljišta. Makrorazmjerne klimatske varijable, zbroj dnevnih stupnjeva rasta za 33-godišnje razdoblje (1969.-2002.) i pojava temperature od  $-26^{\circ}\text{C}$  interpolirani su pomoću zaglađivača tankih ploča nad terenom Illinoisa pomoću digitalnih modela elevacije rezolucije  $100\text{ m}^2$  (DEM). Koristeći iste DEM-ove, apsolutnu nadmorsku visinu, nagib, i aspekti prekvalificirani su površinskom analizom terena kako bi se modelirali učinci klimatskih varijabli mezoskalne razmjene u okruzima Jackson i Union u Illinoisu, te su identificirana vrlo pogodna područja za vinogradarstvo.

Duarte i sur. (2018.) ističu kako je automatsko otkrivanje trsova pomoću bespilotnih zrakoplova (engl. *Unmanned aerial vehicle*, UAV) slike složen proces. Na slikama UAV-a mogu se prepoznati različite vrste objekata, pa je potreban robustan algoritam za otkrivanje ispravnih objekata, kao i biljaka. UAV tehnologija u kombinaciji s GIS softverom pokazala se učinkovitom u otkrivanju trsova vinove loze, jer kombinira alate za vizualizaciju, manipulaciju, analizu i obradu geografskih podataka prikupljenih od UAV-a.

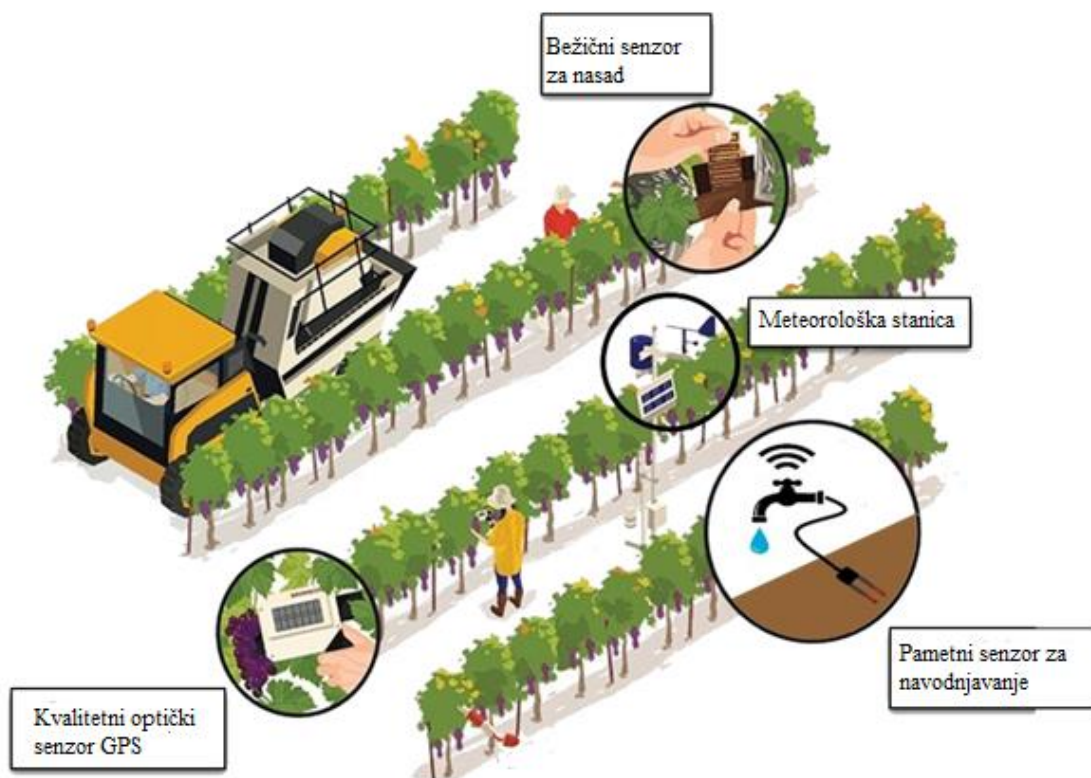
## **2.2. Prikupljanje podataka i senzorika u vinogradarstvu**

Trenutne tehnike prikupljanja podataka o vinogradima imaju brojna ograničenja; skupi su, zahtijevaju obučeno osoblje, vrlo su dugotrajni i često daju samo nepotpunu sliku jer su stope uzorkovanja nužno niske, uglavnom zbog gore spomenutih razloga. To onemogućava vinogradaru i vinaru pristup sveobuhvatnim i pouzdanim informacijama tijekom ciklusa uzgoja i dozrijevanja vinove loze, redovito i u stvarnom vremenu. Zbog toga je većini

proizvođača uskraćena mogućnost korištenja podataka koji bi im mogli pomoći u potpunosti optimizirati upravljanje vinogradima i u konačnici utjecati na kvalitetu vina koje proizvode.

Tehnike daljinskog istraživanja brzo daju opis oblika, veličine i jačine vinove loze te omogućuju procjenu varijabilnosti unutar vinograda. Ovo je snimanje slike na udaljenosti s različitim mjerilima razlučivosti, sposobno opisati vinograd otkrivanjem i snimanjem sunčeve svjetlosti koja se reflektira s površine objekata na tlu. Daljinski mjereni podaci omogućuju opisivanje fiziologije biljaka pomoću izračuna indeksa vegetacije, poput dobro poznatog normaliziranog indeksa različitosti vegetacije (NDVI), koji iskorištava različit odgovor vegetacije na vidljive (crvene) i blizu infracrvene spektre koji su usko povezani sa statusom usjeva. Refleksija krošnje u vidljivim i blizu infracrvenim trakama veoma ovisi o strukturnim (indeks površine listova [LAI]) i biokemijskim svojstvima (sadržaj klorofila) krošnje. Kombinacija biomase lista vinove loze i fotosintetskog potencijala definirana je kao fotosintetski aktivna biomasa (PAB), a daljinsko mjerenje može otkriti PAB kroz sinergetski učinak pojedinačnih vrijednosti piksela (fotosintetski potencijal) i raspodjele piksela (biomasa) u spektralnom potpisu. Na PAB vinove loze utječu geo-pedo-morfološki uvjeti specifični za lokaciju, a njihova varijacija unutar vinograda uzrokuje prostorne promjene u karakteristikama krošnje. Snaga vinove loze, koja se tradicionalno mjeri parametrima poput površine presjeka debla, prosječne duljine izdanaka i mase rezidbe, ima značajan utjecaj na prinos i kvalitetu plodova (Matese i Di Gennaro, 2015.).

Primjene daljinskog mjerenja u preciznom vinogradarstvu fokusirane su uglavnom na spektroskopiju refleksije, optičku tehniku koja se temelji na mjerenju refleksije upadajućeg elektromagnetskog zračenja na različitim valnim duljinama, posebno u vidljivom području (400–700 nm), bliskog infracrvenog (700–1.300 nm), i toplinski infracrveni (7.500–15.000 nm). Odnos intenziteta odbijenog i upadnog zračećeg toka specifičan je za svaku vrstu površine. Spektralna refleksija tijela, poput usjeva ili tla, naziva se "spektralni potpis" i predstavljena je na XY grafikonu, s vrijednošću refleksije na ordinati i valnom duljinom spektra na apscisi. Primjer uporabe različitih senzora u nasadu vinograda radi lakšeg praćenja raznih parametara prikazan je na slici 1.



Slika 1. Shema upravljanja senzorom (Izvor: <https://www.evineyardapp.com/>)

Najčešće klase senzora mogu otkriti promjenu transpiracije ili fotosintetske aktivnosti na površini lista. Toplinski senzori koriste se za daljinsko mjerenje temperature lista, koja se povećava kada se pojave stresni uvjeti vode, a nakon toga slijedi zatvaranje stomata, što smanjuje gubitak vode i istodobno prekida rashladni učinak evapotranspiracije. Promjene fotosintetske aktivnosti povezane su s prehrambenim statusom, zdravljem i snagom biljaka, a mogu se otkriti multispektralnim i hiperspektralnim senzorima. Na refleksiju lista utječu različiti čimbenici u određenim područjima spektra: u vidljivom fotosintetski pigmenti, poput klorofila a, klorofila b i karotenoida; u bliskoj infracrvenoj radi strukture lista (veličina i raspodjela zraka i vode unutar krošnje); a u infracrvenoj infracrvenoj zbog prisutnosti vode i biokemijskih tvari, poput lignina, celuloze, škroba, proteina i dušika. Satelitski i zračni snimci često se koriste za procjenu prostornih obrazaca u biomasi usjeva i prinosu, koristeći vegetacijske indekse kao što je NDVI (engl. *Normalized Difference Vegetation Index*). Korelacija ovih indeksa sa strukturnim ili fiziološkim karakteristikama vinove loze dobro je proučena. NDVI se može povezati s različitim čimbenicima, kao što su LAI (indeks površine lista), prisutnost nedostatka hranjivih tvari, stanje stresa zbog vode ili zdravstveno stanje, dok su indeksi uskopojasne hiperspektralne vegetacije osjetljivi na sadržaj klorofila.

Hiperspektralno daljinsko otkrivanje pruža snažan uvid u spektralni odziv tla i vegetacijskih površina, prikupljajući podatke o refleksiji u širokom spektralnom rasponu pri visokoj razlučivosti (tipično 10 nm), dok multispektralni senzori prikupljaju podatke o refleksiji u smanjenom rasponu spektra fokusiranom na plavo, zelena, crvena i blizu infracrvena područja, s manjom razlučivošću (najmanje 40 nm širine) (Matese i Di Gennaro, 2015.).

Kvaliteta grožđa uvelike ovisi o vremenu tijekom sezone uzgoja grožđa. Zbog klimatskih promjena vrijeme više nije tako predvidljivo kao nekada. Na nekim lokacijama vinograda vrijeme se može drastično razlikovati od godine do godine. Kako vrijeme kroz fiziologiju vinove loze ima mnogo utjecaja na kvalitetu grožđa, nepotrebno je reći da je promatranje mikroklima trsova presudno za prilagodbu upravljanja lisnom masom trsova, upravljanja bolestima, kao i prilagođavanje vremena berbe i upravljanja potrebnim količinama vode. Uređaji za daljinsko očitavanje (satelitske, zrakoplove ili bespilotne letjelice - senzorske tehnologije koje mogu prikupljati različite informacije o vinogradu i vinovoj lozi bez fizičkog kontakta), kao i mreža bežičnih senzora (koja podatke s čvorova prenosi u internetsku aplikaciju za obradu), omogućuju daljinsko praćenje nekoliko varijabli u vinogradima u stvarnom vremenu (slika 2.). Prikupljeni podaci mogu se koristiti vinogradarima da donesu pametnije odluke o sljedećim aktivnostima upravljanja vinogradima. Na primjer, te dvije tehnologije pomažu vinogradarima u praćenju parametara okoliša, kao što su temperatura, vlaga, kiša, vlažnost lišća, vlaga tla, itd. kako bi reagirali na vrijeme kad se uvjeti brzo promijene (eVineyard, 2020.).



Slika 2. Bežični čvor senzora u vinogradu koji nadgleda mikroklimu vinove loze (Izvor: <https://www.evineyardapp.com/>)

Važan aspekt proizvodnje vrhunskih vina su grožđe bez bolesti i zdrava loza, bez štetnika. Ako vinogradar ima informacije o vinogradarskoj mikroklimi, poput temperature, vlage, vlažnosti lišća itd., tada može djelovati na vrijeme i zaštititi vinovu lozu od štetnika. Korištenjem sustava za podršku odlukama za upravljanje bolestima - koji može obraditi podatke o okolišu, zajedno s karakteristikama vinograda i prošlim aktivnostima vinogradara - vinogradari unaprijed dobivaju upozorenje o mogućoj opasnosti od štetnika na određenom vinogradarskom području, zajedno sa savjetima o tome kako postupati u takvim situacijama. Uz to, razvijeni su VRT (engl. *variable rate technology* - tehnologija s promjenjivom brzinom) za distribuciju pesticida s promjenjivom brzinom - prilagođavanje osnovice brzine prskanja veličini i gustoći vinograda, na temelju propisanih karata i podataka o geolokaciji (eVineyard, 2020.). Općenito, aplikatorima s promjenjivom brzinom koji se temelje na karti bit će potrebno više komponenti od aplikatora na bazi senzora, međutim, to je nadoknađeno činjenicom da se ove komponente mogu koristiti za više ulaza. Hardver i senzori koji omogućuju automatsku primjenu s promjenjivom brzinom uključuju regulator, mikroprocesor, aktuator, osjetnike tlaka, senzore protoka, osjetnike brzine i tehnologiju diferencijalnog globalnog sustava pozicioniranja (DGPS) (Apex Publishers (2021.)).

Sljedeći ključni element za proizvodnju vrhunskih vina je dostupnost vode. U vinogradima, gdje je instaliran sustav navodnjavanja, može se aplicirati točna količina vode tamo gdje je to potrebno. Kako cijeli vinograd nema iste potrebe za vodom zbog razlika u tipu tla i topografiji, razvijeno je nekoliko različitih preciznih tehnologija vinogradarstva koje vinogradarima pomažu u apliciranju vode na temelju biljnih potreba. Jedna od takvih tehnologija je toplinski senzor koji se može koristiti za daljinsko mjerenje (uz pomoć bespilotnih letjelica, zrakoplova ili satelita) temperature listova i mjerenje stanja vode. Na temelju tih podataka vinogradari tada mogu primijeniti prikladnije upravljanje vodama. Razvijene su nove tehnologije koje ne zahtijevaju nikakvu interakciju vinogradara što se tiče upravljanja vodama. Sustav zasnovan na aplikaciji (sustav potpore odlučivanju za upravljanje navodnjavanjem) koji prikuplja podatke o stanju usjeva može uključiti sustav navodnjavanja na vinogradarskoj parceli gdje je postignuto kritično stanje usjeva. A nakon što se postigne željena vlažnost vode u tlu (mjeri se senzorima tla), sustav navodnjavanja se isključuje. Stoga se cijelim ciklusom navodnjavanja upravlja preciznim podacima kako bi se, s jedne strane, uštedjela voda i radno vrijeme za upravljanje sustavima navodnjavanja, a s druge strane poboljšala kvaliteta grožđa (eVineyard, 2020.).

Imati zdravo tlo u vinogradu još je jedan ključni element u proizvodnji vrhunskih vina. Kako se karakteristike tla razlikuju u vinogradu, neophodno je prostorno upravljanje tlom. Senzori električne provodljivosti tla (EC – *electrical conductivity* (slika 3.)) ili spektrometrija gama-zraka s GPS-om mogu pružiti dobre podatke o karakteristikama tla. Pomoću ovih podataka sustav zasnovan na aplikaciji može pružiti vizualnu kartu vrste tla, slanosti tla i svojstava tla, poput teksture i dubine, sposobnosti zadržavanja vode i sadržaja organske tvari. Te aplikacije omogućuju vinogradarima da razumiju varijabilnost fiziološkog odgovora vinove loze i tako upravljaju tlom u skladu s njima. Uz to, s tehnologijom promjenjive brzine - modernim poljoprivrednim strojevima koji mogu kontrolirati kretanje unutar vinograda i upravljati agronomskim operacijama - gnojiva distribuiraju promjenjivom brzinom na temelju kartiranja vinograda (eVineyard, 2020.).



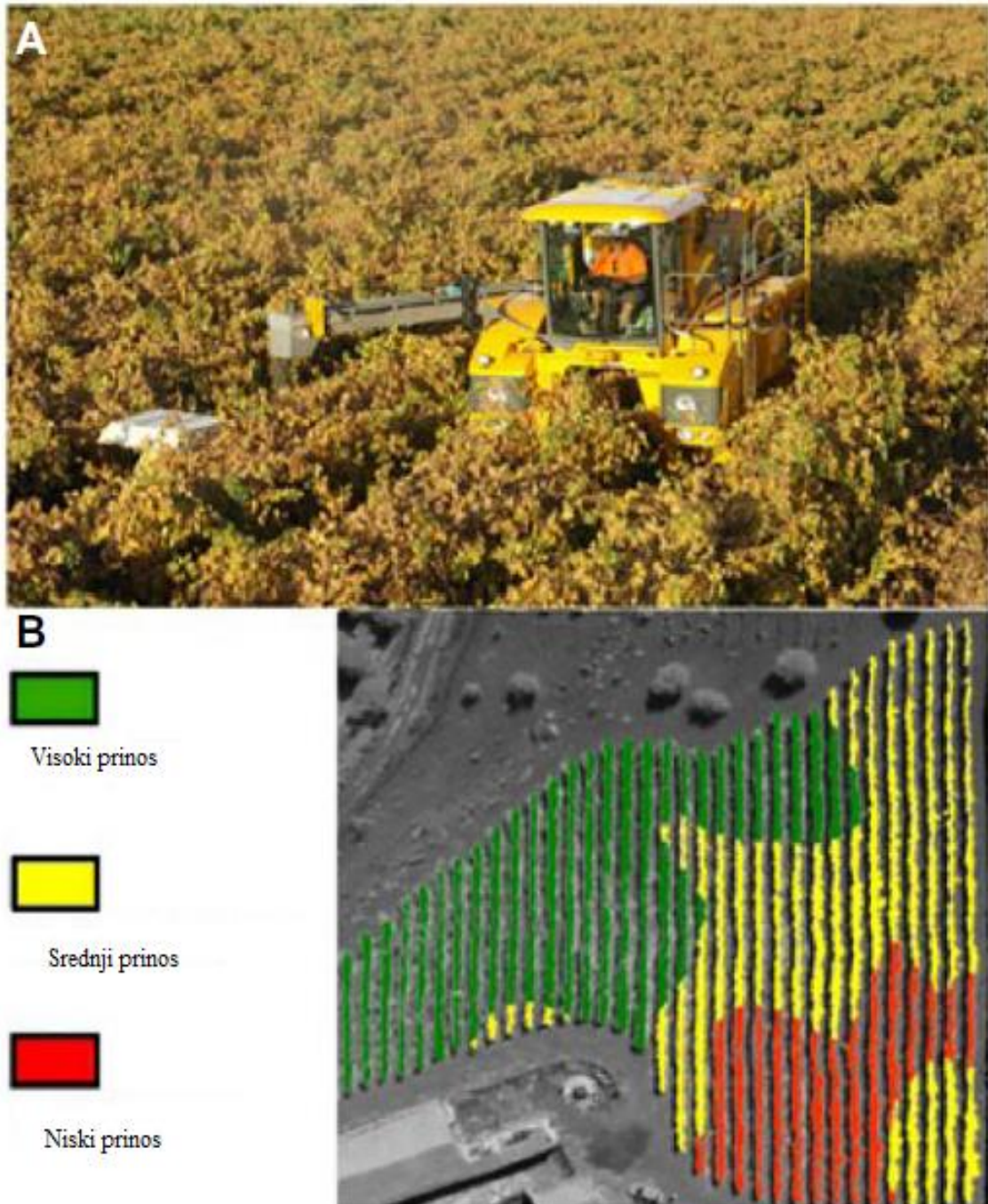


Slika 3. Senzor tla mjeri električnu vodljivost u vinogradu kako bi pružio kartu karakteristika tla (Izvor: <https://www.evineyardapp.com/>)

Senzori koji se koriste za ovu vrstu mjerenja su ili invazivni električni otpor ili neinvazivni elektromagnetski indukcijski senzori. Prvi tip (električni otpor) koristi se za kontrolu otpora, a time i vodljivosti, određenog volumena tla, generirajući električne struje i nakon toga mjereći razlike potencijala. Princip rada senzora za elektromagnetsku indukciju uključuje stvaranje magnetskog polja koje inducira električnu struju u tlu, što zauzvrat stvara drugo magnetsko polje razmjerno vodljivosti tla koju mjeri senzor. Postoje i novorazvijeni senzori za aplikacije mobilnih platformi, za mjerenje pH, ionskog sadržaja dušika i kalija, za mjerenje u blisko infracrvenom i srednjem infracrvenom spektru, radaru koji prodire u tlo i radiometrima (Matese i Di Gennaro, 2015.).

Da bi se proizvelo vino vrhunske kvalitete, mora se pobrati tehnološki zrelo grožđe. Nije sve grožđe u vinogradu zrelo istovremeno, zbog klimatskih čimbenika, prostorne raspodjele vinograda i biljne sorte. Iz tog su razloga razvijeni spektrofotometar i optički senzor koji koristi fluorescenciju za praćenje parametara kakvoće grožđa. Iako s integriranim GPS-om, mogu pružiti kartu zrelosti grožđa preko vinograda. Tako se vinogradari mogu bazirati na tim uređajima za praćenje kvalitete i provesti selektivnu berbu (eVineyard, 2020.).

Mnogi su sustavi razvijeni za dobivanje georeferenciranih podataka o prinosu, posebno integriranih na mehaničkim kombajnama (slika 4. A). Ovi alati daju vinogradaru mogućnost kartiranja produktivnosti vinograda s nikad ranije postignutom razlučivošću (slika 4. B). Karte prinosa ostvarene ovim sensorima predstavljaju izvrstan alat za provjeru učinkovitosti upravljačkih praksi primijenjenih u vinogradu (Matese i Di Gennaro, 2015.).



Slika 4. A) Kombajn opremljen sa sustavom za praćenje prinosa, B) Zemljopisna referenca i karta uroda vinograda (Izvor: Matese i Di Gennaro, 2015.)

### 2.2.1. Primjena robotike u vinogradarstvu

Upravljanje korovom u vinogradu presudno je za kvalitetnu proizvodnju grožđa jer se korovi, u najsušnije doba godine, natječu s lozom za vodu i prehranu, a često su izvor (domaćin) različitih štetnika i bolesti koje mogu ugroziti lozu. U tradicionalnom vinogradarstvu korov se suzbija herbicidima ili se mehanički uništava. Uz nove robotske tehnologije, korovima u vinogradima poljoprivredni roboti mogu samostalno upravljati (slika 5.), na temelju vinogradarskih GPS koordinata ili kontrolirati računalom od aplikacija za pametne telefone. Poljoprivredni roboti neće u većoj mjeri poboljšati tradicionalno upravljanje korovom u vinogradu, ali mogu pomoći uštedjeti mnogo radnog vremena kako bi se obavio posao (eVineyard, 2020.).

Obrada tla u vinogradima je zahtjevna zbog korijenja ili košenja prostora između vinove loze u redu, a da se trsove pri tome ne dodiruje i ne ozlijedi. Izazov je biti precizan i poboljšati mehaničko uklanjanje korova traktorom. Iz tog razloga započela su istraživanja i prve primjene robota za rad u vinogradima kako bi se povećala efikasnost mehaničkih radova te skratilo vrijeme izvođenja radnih operacija. Primjer uporabe robota dolazi Francuske, gdje robot za košenje vinograda u svom radnom području ima organizirano kretanje, koje je podijeljeno na potpodručja, s prioritonom smjera raseljavanja na temelju vremena provedenog na svakom području. Robot nema vanjskih senzora, njegovo ponašanje diktiraju podaci iz inercijala, kompasa i ograničenja pohranjena u svakom motoru kotača. Softverski dio kontrole robota također je važan jer mora omogućiti upravitelju flote robota da zna mjesto različitih jedinica i da robota može izvaditi iz parcele kad se teška mehanizacija useli za druge poslove u vinogradu (Canopy vinski portal, 2019.).

Ovaj robot može kositi travu do udaljenosti 2-3 cm od podnožja loze, uz puno poštivanje biljke, osiguravajući visinu košnje između 4 i 10 cm. Robot ima četiri pogonska kotača koji mu omogućuju rad u strmim vinogradima do maksimalnog nagiba od 15%. Sustav napajanja potpuno je samodostatan zahvaljujući solarnoj ploči; međutim, radna brzina je niska (500 m/h), pa je potrebno oko 100 sati rada za pokrivanje 1 ha vinograda. Robot radi neovisno na temelju GPS koordinata, ali ga također može kontrolirati računalo ili pametni telefon zahvaljujući jednostavnoj aplikaciji (Matese i Di Gennaro, 2015.).





Slika 5. Robot za mehaničko uništavanje korova (Izvor: <https://www.internationalwinechallenge.com/>)

Za precizniji rad između vinove loze odabrana je struktura koja obuhvaća red vinove loze. Ova je konfiguracija povoljnija za pozicioniranje alata, ali je stroža u smislu strojarstva. Vuča je električna, svaki kotač pokreće i upravlja, što omogućava više načina rada za manevriranje ili poravnanje. Navođenje robota u potpunosti je posvećeno RTK GPS-u, koji zasigurno omogućuje precizno pozicioniranje, ali se još ne oslanja na otkrivanje strukture vinograda. To bi se trebalo promijeniti u budućim mjesecima s integracijom novih senzora. Blagodati robota nadilaze jednostavnu potragu za konkurentnošću, jer raste zabrinutost zbog izloženosti vinogradara pesticidima i drugim potencijalnim opasnostima (Canopy vinski portal, 2019.).

Američka tvrtka Vision Robotics Corporation (VRC) razvila je prototip koji može izvesti precizno obrezivanje, pomoću optičkih senzora koji izvode 3D rekonstrukciju strukture vinove loze. Robot identificira točke intervencije u skladu sa specifikacijama koje je dao kombajn, te vrši vrlo detaljne rezove obrezivanja pomoću dvije hidraulične škare (slika 6.).



Slika 6. Prikaz robota za prorjeđivanje vinove loze (Izvor: <https://www.internationalwinechallenge.com/>)

Prototip je još uvijek u eksperimentalnoj fazi. U razvoju je robotska ruka namijenjena berbi grožđa koja koristi umjetnu inteligenciju za vođenje robota u nizu operacija, kao što su lokalizacija, procjena stanja sazrijevanja te odabir i odvajanje grožđa od loze (Matese i Di Gennaro, 2015.).

### **3. MODELIRANJE POGODNOSTI PODRUČJA ZA VINOGRADARSTVO PRIMJENOM GEOINFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Modeliranje pogodnosti poljoprivrednog zemljišta za uspostavu nasada vinograda u GIS okruženju kompleksan je postupak koji obuhvaća odnos između raznih agroekoloških i pedoloških kriterija. Osim metode njihovog odabira, analizirani su postupci GIS višekriterijske analize te metode analitičkog hijerarhijskog procesa, unutar kojeg se kvantificira utjecaj pojedinih kriterija na razinu pogodnosti.

#### **3.1. Agroekološki i pedološki uvjeti za vinogradarstvo**

##### **3.1.1. Temperatura**

Vinova loza ima velike zahtjeve prema toplini. Količina topline izražava se sumom aktivnih temperatura tijekom vegetacije (od travnja do rujna), a čini ju zbroj srednjih dnevnih temperatura viših od 10 °C. Temperature više od 40 °C izazivaju ožegotine na lišću i bobicama, dok najveće štete od niskih temperatura u slučaju kasnih proljetnih mrazova kada se temperatura spusti ispod 0 °C. Štete mogu napraviti i rani jesenski mrazovi te zimske temperature ispod -15 °C. Nabubreni pupovi stradaju na -3 °C, a mladice i lišće na -2 °C. Tijekom zimskog mirovanja pupovi stradaju na -15 do -18 °C, rozgva na -22 °C, a staro drvo na -24 do -26 °C (Pinova.hr (2019.)).

##### **3.1.2. Sunčeva svjetlost**

Vinova loza traži od 1.500 do 2.500 sati sunčeve svjetlosti ili 150-170 vedrih dana u našim uvjetima. Na južnim, jugozapadnim i jugoistočnim ekspozicijama osvjetljenost je veća za 20 do 30% u odnosu na ostale ekspozicije. Dakle, sunce je temeljni resurs za uzgoj vinove loze, uz klimu, jer ono pruža uvjete i svjetlosti i topline. Stoga, smjer pružanja redova sjeverozapad-jugoistok i jug-jugoistok osigurati će bolju osvjetljenost vinograda. U pravilu stolne sorte zahtijevaju više sunčeve svjetlosti od vinskih sorata (Pinova.hr (2019.)).

##### **3.1.3. Vlaga**

Zbog snažno razvijenog korijena koji može prodrijeti duboko u tlo, vinova loza može se uspješno uzgajati i u krajevima s relativno malom količinom padalina. No u suvremenoj proizvodnji, posebno stolnih sorata, u sušnijim područjima neophodno je navodnjavanje u protivnom dolazi do smanjenja prinosa i lošije kvalitete grožđa. Nedostatak vode uzrokuje smanjen rast mladica, kasnije i bobica koje ostaju sitne i bez dovoljno soka. S druge strane,

povećana količina padalina prije cvatnje utječe na snažan porast mladica i lišća, za što se troši velika količina organske tvari koja onda ne stigne do cvata. Česte padaline u vrijeme cvatnje ometaju oplodnju, uzrokuju osipanje cvjetova što rezultira rehljavošću grozdova i smanjenim urodom. U vrijeme zriobe, povećana vlažnost i niske temperature ometaju dozrijevanje i pravilan raspored nakupljanja šećera te razgradnju kiselina. Previše vode uzrokuje i pucanje bobica, dok se u pukotine naseljavaju razni patogeni mikroorganizmi. Stoga je najpovoljnija količina oborina za uzgoj vinove loze 600 do 800 mm, a važan je i njihov raspored tijekom vegetacije (Pinova.hr (2019.)).

#### 3.1.4. Tlo i obrada tla

Bez obzira što vinova loza uspijeva i vrlo dobro se prilagođava različitim tipovima tala, nisu sva tla jednako preporučljiva za njen uzgoj. Najbolja su hranjivima bogata i propusna tla s velikim kapacitetom za zrak i vodu te ona lakšeg mehaničkog sastava i visoke mikrobiološke aktivnosti. To su različita skeletoidna, šljunkovita, ilovasto-pjeskovita tla u koja korijen može duboko prodrijeti i osigurati dovoljno vlage. Teška, glinena tla zbog slabijih vodozračnih odnosa uzrokuju zbijanje korijena, manji razvoj korijenovih dlačica, a imaju i nepovoljna toplinska svojstva te akumuliraju vlagu. Kemijski sastav tla važan je u proizvodnji grožđa i vina, tako da prema količini biogenih elemenata razlikujemo siromašna, srednja i bogata, plodna tla. Osim sadržaja biogenih elemenata, važan je i sadržaj humusa odnosno organske tvari koji povećava plodnost tla i popravlja fizikalne i biološke karakteristike tla. Sadržaj aktivnog vapna može biti ograničavajući za što je važan pravilan izbor podloge (Pinova.hr (2019.)).

Mehaničku obradu valja provoditi obazrivo, da se izbjegne miješanje horizonata i narušavanje strukture. Površinski se obrađuje prilikom unošenja organske mase i pripreme tla za sjetvu te u izuzetnim slučajevima u mladim nasadima i na izrazito suhim staništima, kad se tlo ostavlja otvoreno najviše tri mjeseca. Prorahljivanje se provodi radi sprečavanja zbijanja tla, a obavezno slijedi i biološka stabilizacija (sjetva travnog korova). Unutar redova njega se provodi mehanički, toplinski, ili zatravljivanjem (Pokos, V., 2013.).

#### 3.1.5. Gnojdba

Uzgajivači vinove loze više ne postupaju ravnomjerno sa svojim nasadima, već pokušavaju aplicirati na svojim površinama točno onoliko gnojiva, pesticida, vapna ili vode koliko je potrebno u bilo koje određeno vrijeme ili na bilo kojem određenom mjestu (slika 7.). To donosi odlične plodove i dobro je za okoliš. Rezultat toga je da se koristi manje pesticida i



služi za rezanje viška dušika i fosfata koji doprinose smanjenoj biološkoj raznolikosti u mnogim zemljama. Koristeći sustav za otkrivanje i mapiranje tla, koji je spojen na stražnju stranu traktora, uzimaju se uzorci tla na dvije različite dubine svakih deset metara. Skener automatski određuje varijacije u tlu i registrira karakteristike kao što su kiselost i sadržaj organske tvari. Previše kiselosti u tlu nepovoljno će utjecati na njegovu strukturu i korijenov sustav, glina se razvija u debele neprobijne ploče (Knowledge4food portal znanja (2015.)).



Slika 7. Gnojidba s promjenjivom stopom u vinogradu (Izvor: <https://www.evineyardapp.com/>)

Smith (2002.) navodi glavne čimbenike koji utječu na vinovu lozu, njezin razvoj i godišnji ciklus rasta te na usjev koji se proizvodi svake godine uključuju:

1. Fizičko okruženje (npr. oblik terena, nadmorska visina, nagib, aspekt, prirodne i izgrađene značajke, tla, hranjive tvari, voda i odvodnja);
2. Prirodni fenomeni (npr. klima, zbroj topline, sezonske varijacije, dugoročni ciklusi i fluktuacije, vrijeme i opasnosti);
3. Vinogradarstvo i upravljanje vinogradima (npr. odabir područja, dizajn i raspored vinograda, sorti i podloga, infrastruktura i usluge kao što je navodnjavanje).

Mnogi od ovih čimbenika i sezonskih događaja imaju određenu vezu s mjestom i razlikuju se od mjesta do mjesta i iz godine u godinu. Neke se mogu izmjeriti ili nadzirati, ali ne mogu



kontrolirati, poput topografije, tla i klime, a to će biti specifično za položaj vinograda. Vinogradar, donoseći odluke o odabiru i rasporedu mjesta, mora odlučiti o mjeri pojedinosti koja je potrebna. Previše detalja je skupo, rasipno i može zbuniti. Premalo detalja može propustiti značajne prostorne varijacije, uključujući mala područja s izvrsnim potencijalom. Nadalje, isti autor navodi čimbenike koji se također mogu uzeti u obzir pod sljedećim kategorijama varijabilnosti:

1. Prostorni: Uzgoj vinove loze i proizvodnja grožđa svake godine utječu na parametre zajedničke ostalim oblicima poljoprivrede kao što je već raspravljeno. Ali postoji mnogo smanjen raspon globalnih regija u kojima se mogu uspješno uzgajati. Budući da pojedine sorte grožđa više odgovaraju određenim uzgojnim okolinama, kombinacija mjesta i izbora sorti mnogo je važnija za uspješnu proizvodnju nego u općoj poljoprivredi. Razumijevanje prostornih karakteristika i njihovih varijacija između i unutar mjesta dio je uspješnog izbora.

2. Vremenski: Postoje kratkoročni čimbenici i varijable koji utječu na rast vinove loze i usjev grožđa, npr. vrijeme problema s bolestima i vremenskih prilika; i dugoročni učinci, npr. razlike između godišnjih doba (berbe).

3. Skala: Skala se može smatrati dijelom dva različita zahtjeva. Prvo, postoje vage za praćenje, mjerenje, određivanje varijabilnosti vinogradarskih čimbenika, njihovo bilježenje i analizu. Drugo, postoje vage za upravljanje vinogradom i kontrolu čimbenika koji utječu na rezultate vinove loze. To može značiti da će veličina jedinice za upravljanje vinogradima varirati. Za neke čimbenike ovo može biti vrlo detaljno, drugima se može upravljati grubo.

Analiza omogućuje odabir mjesta i odluke o načinu korištenja mjesta, koristeći optimalne kombinacije čimbenika za postizanje najboljih željenih rezultata i minimiziranje troškova i rizika - poput analiza prikladnih kombinacija performansi vinove loze, kvaliteta plodova i vinogradarskog okoliša, kako se upravlja strateškim vinogradarskim praksama (Smith 2002.).

### **3.2. GIS više kriterijska analiza**

Višekriterijsko odlučivanje jedan je od pristupa kojim se olakšava razmatranje više kriterija od strane donositelja odluka. Višekriterijsko analiziranje odluka se koristi za logičku procjenu i usporedbu više kriterija koji su često u suprotnosti kako bi se donijela najbolja moguća odluka. Naročito je korisna kada postoji širok spektar aktivnih sudionika sa sukobljenim interesima, vrijednostima i ciljevima. Višekriterijsko analiziranje odluka se

može koristiti u bilo kojem polju za razmatranje širokog spektra problema u kojima može biti više povoljnih rješenja (ArcGIS StoryMaps).

Višekriterijsko odlučivanje u GIS-u bavi se dodjelom zemljišta koja odgovara određenom cilju na temelju različitih svojstava koja bi odabrana područja trebala posjedovati. Iako se obično poduzima u GIS-u, pokazano je da pristupi koji se obično koriste u vektorskim i rasterskim sustavima obično vode do različitih rješenja. Uz to, postoje nejasnoće u načinu na koji kriteriji trebaju biti standardizirani i objedinjeni kako bi se donijela konačna odluka za postupak dodjele zemljišta. Ti se problemi pregledavaju i nudi se teorijska struktura nejasnih mjera kao pristup proširenju postupaka koji se trenutno koriste. Jedna od najvažnijih primjena GIS-a je prikaz i analiza podataka za potporu procesu donošenja odluka o okolišu. Odluka se može definirati kao izbor između alternativa, pri čemu alternative mogu biti različite radnje, lokacije, predmeti i slično. Da bi bile racionalne, odluke će se nužno temeljiti na jednom ili više kriterija - mjerljivih atributa razmatranih alternativa, koji se mogu kombinirati i ocjenjivati u obliku pravila odluke. U nekim se okolnostima odluke o dodjeli mogu donijeti na temelju jednog kriterija. Međutim, češće su potrebni razni kriteriji.

Svrha višekriterijske analize je pomoć u promišljanju i donošenju odluka, no ne služi za donošenje same odluke. Ona je način za rastavljanje problema na dijelove kojima se lakše upravlja kako bi se omogućilo da se podaci i procjene obrade u dijelovima, a zatim za ponovno sastavljanje dijelova radi dobivanja dosljedne cjelovite slike za donositelje odluka. Različiti računalni programi jednostavni za korištenje i razvijeni su kao pomoć pri tehničkim aspektima višekriterijske analize u složenijim zadacima ili slučajevima (Strmšnik i sur., 2014.).

### 3.2.1. Praktična provedba višekriterijske analize

Strmšnik i sur. (2014.) navode sljedeće korake za provedbu višekriterijske analize:

#### a) Određivanje kriterija procjene

Problemi koje treba razmotriti pri ovom koraku: Je li skup kriterija potpun - nedostaje li možda neki ključni kriterij? Postoje li neki bitni kriteriji kod kojih sve opcije jednako vrijede? Jesu li svi kriteriji kvalitativno/kvantitativno mjerljivi? Postoje li neki dvostruki kriteriji koji bi mogli nesrazmjerno favorizirati rezultat i neopravdano istaknuti važnost jednog problema?

Važno je prepoznati, priznati i kategorizirati sve relevantne kriterije koji mogu imati utjecaja na konačan rezultat multikriterijske analize (MCA). Posebnu pažnju treba posvetiti kvantifikaciji kriterija, tj. dodijeljivaju numeričke vrijednosti/pozicija u smislu njihove važnosti za neki određeni fenomen. Opravdanost primjene i vrednovanja kriterija je izuzetno važna budući da nepravilnosti u ovoj fazi mogu znatno iskriviti čitavu procjenu. Stoga, ova aktivnost zahtijeva visok stupanj stručnosti i iskustva budući da je po samoj svojoj prirodi dosta subjektivna i stoga joj se mora pristupiti s najvećom mogućom pažnjom.

#### b) Analiza relativne važnosti kriterija (ponderiranje)

Problemi koje treba razmotriti: Koji je odnos među kriterijima u smislu njihove važnosti? Koji ponder treba dodijeliti svakom pojedinom kriteriju?

Većina tehnika višekriterijske analize određuje relativne pondere za svaki kriterij u postupku donošenja odluka. Metode ponderiranja variraju od jednostavnih (npr. međusobna usporedba kriterija radi utvrđivanja pondera) do kompleksnih metoda (npr. sociološka istraživanja radi utvrđivanja percipirane vrijednosti svakog pojedinog kriterija u utjecajnoj zajednici).

#### c) Analiza učinkovitosti (scoring)

Problem koji treba razmotriti: Što u danom kontekstu čini najbolju/najgoru učinkovitost prilikom primjene određenog kriterija?

Učinkovitost svih kriterija treba analizirati te im dodijeliti prikladni broj bodova (score). Treba odrediti što čini najbolju i najgoru učinkovitost u datom kontekstu. Zatim treba bodovati učinkovitost za svaku pojedinu opciju u smislu svakog pojedinog kriterija procjene. Bodovanje se može u osnovi učiniti na tri načina:

- Stručne procjene kojima se dodjeljuje određen broj bodova koji određuje učinkovitost za svaku pojedinu opciju za svaki pojedini kriterij procjene (npr. na skali od 0 do 100).
- Usporediti opcije međusobno. Ove metode variraju od jednostavnih međusobnih usporedbi kriterija (npr. za kriterij 1 opcija A postiže najveći broj bodova, C je druga, a B treća) do kompleksnijih usporedbi (npr. programi temeljeni na fuzzy setovima koji pretvaraju jezične procjene u numeričke vrijednosti, tj. bodove).
- Učinkovitost se određuje na temelju specifične krivulje kriterija koja definira postupnu progresiju od najgore prema najboljoj učinkovitosti.

d) Multiplikacija pondera - definiranje općenitih postignutih rezultata

Problemi koje treba razmotriti: Koja je općenita važnost/ponder za svaki pojedini kriterij? Koji je relativni rezultat svake pojedine varijante u odnosu na primijenjene kriterije i njihove pondere?

Potrebno je pomnožiti pondere i bodove za svaku pojedinu opciju te definirati opće rezultate. Učinkovitost svake pojedine opcije za svaki pojedini kriterij množi se s ponderom dodijeljenim za taj kriterij - ovo treba učiniti za sve kriterije. Suma predstavlja općeniti relativni rezultat za predmetnu opciju. Zatim se uspoređuju opcije te se raspravlja o istima.

e) Analiza osjetljivosti

Problem koji treba razmotriti: Na koji način promjene u postignutim rezultatima ili ponderima utječu na krajnji rezultat višekriterijske analize?

Analizirajte osjetljivost na promjene u ponderima ili broju bodova. Osjetljivosti pokazuje način na koji promjene tih veličina utječu na krajnji rezultat višekriterijske analize. Ova analiza može biti ključna u slučaju da:

- Postoje ozbiljne nesigurnosti po pitanju učinkovitosti nekih opcija u odnosu na odabrane kriterije.
- Donositelji odluka ili dionici ne mogu se usuglasiti oko relativnih pondera kriterija korištenih pri analizi.

### **3.3. Analitički hijerarhijski proces (AHP)**

AHP je sustavna višekriterijska metoda procjene, koju je razvio Saaty (1980.), te je našao široku primjenu u rješavanju različitih vrsta problema. Analitički hijerarhijski proces (AHP) omogućuje pojedincu da struktuirao složeni problem u obliku hijerarhije za vrednovanje kvantitativnih i kvalitativnih faktora, i pokazuje kako odrediti relativnu važnost skupa alternativa u multikriterijskom okruženju donošenja odluka. Višekriterijska metoda procjene pomaže donositelju odluka da odredi različite težinske faktore, koji naglašavaju njihovu važnost, i pripisuje ih hijerarhiji odluke (Stojkov i sur., 2011.).

Isti autori navode kako primjenu analitičkog hijerarhijskog procesa možemo promatrati kroz sljedećih nekoliko koraka:

1. Odluka počinje općim postupkom definiranja problema i postavljanjem cilja u vezi s problemom

2. Pojedinaac određuje kriterije koji odražavaju mišljenja stručnjaka
3. Hijerarhija je strukturirana i pregledna
4. a) napravi se usporedba u parovima za svaku alternativu,  
b) izračunaju se težinski kriteriji,  
c) provjerava se konzistentnost.
5. Zbroje se težine kriterija.

Konačno, težine su kombinirane tako da rangiraju alternative.

### 3.3.1. Težinski kriteriji AHP-a

Ključno pitanje za AHP je kako procijeniti omjere važnosti dvaju kriterija kada se njihove vrijednosti izražavaju kvantitativno, kvalitativno ili u različitim mjernim jedinicama? Za donošenje tih procjena služimo se Saatyevom skalom. Saaty-eva skala je omjerna skala koja ima pet stupnjeva intenziteta i četiri međustupnja, a svakom od njih odgovara vrijednosni sud o tome koliko puta je jedan kriterij važniji od drugog. Ista skala koristi se i kod uspoređivanja dviju alternativa, ali u tom slučaju se vrijednosti sa skale interpretiraju kao prosudbe koliko puta veća prednost (prioritet) se daje jednoj alternativu u odnosu na drugu. Dakle moramo usporediti dvije različite alternative na temelju odabranih kriterija pomoću Saaty-eva skale koji varira od 1 do 9 (Stojkov i sur., 2011.).

Tablica 1. Saaty-eva skala

(Izvor: Hrvatski ogranak međunarodnog vijeća za velike elektroenergetske sustave – CIGRE)

Intenzitet važnosti	Definicija	Objašnjenje
1	Jednako važno	Dva kriterija ili alternative jednako doprinose cilju
3	Umjereno važnije	Na temelju iskustva i procjena daje se umjerena prednost jednom kriteriju ili alternativu u odnosu na drugu
5	Strogo važnije	Na temelju iskustva i procjena strogo se favorizira jedan kriterij ili alternativa u odnosu na drugi
7	Vrlo stroga, dokazana	Jedan kriterij ili alternativa izrazito se favorizira u odnosu na drugi; njegova dominacija dokazuje se u praksi
9	Ekstremna važnost	Dokazi na temelju kojih se favorizira jedan kriterij ili alternativa u odnosu na drugi potvrđeni su s najvećom uvjerenjivošću
2, 4, 6, 8 međuvrijednosti		

Postupak za računanje težina kriterija i prioriteta alternativa iz usporedbi u parovima računa se na osnovu prioriteta alternativa i težine kriterija čije vrijednosti u najvećoj mjeri zadovoljavaju uvjete zadane međusobnim omjerima i čija ukupna suma je jednaka 1. Dakle formira se matrica (tablica) omjera prioriteta (težina), pri čemu se u istom redu i istom stupcu te matrice nalaze vrijednosti procijenjenog omjera prioriteta dviju različitih alternativa (Stojkov i sur., 2011.).

Tablica 2. Najvažniji čimbenici koji utječu na nasad vinograda

(Izvor: Maletić i sur. (2008.), <http://www.agr.unizg.hr/>, <https://agroinfonet.com/>, <http://www.petrokemija.hr/>)

	Čimbenici	Jedinica	Referenca
Geomorfometrijski	Nadmorska visina	m	Maletić i sur. (2008.)
	Nagib	%	Maletić i sur. (2008.),
	Ekspozicija	Strana svijeta	Maletić i sur. (2008.)
Pedološki	Kiselost tla	pH	Maletić i sur. (2008.), <a href="https://medjimurje.hr/">https://medjimurje.hr/</a>
	Tip tla	Klasa	<a href="https://hr.izzi.digital/">https://hr.izzi.digital/</a>
	Tekstura tla	Klasa	Maletić i sur. (2008.), Gluhčić i sur. (2009.)
Klimatski	Oborine	mm	Maletić i sur. (2008.), <a href="http://www.agr.unizg.hr/">http://www.agr.unizg.hr/</a>
	Temperatura	°C	<a href="https://agroinfonet.com/">https://agroinfonet.com/</a>
Hranjiva	N	kg/ha	<a href="http://www.petrokemija.hr/">http://www.petrokemija.hr/</a>
	K <sub>2</sub> O	kg/ha	<a href="http://www.petrokemija.hr/">http://www.petrokemija.hr/</a>
	P <sub>2</sub> O	kg/ha	<a href="http://www.petrokemija.hr/">http://www.petrokemija.hr/</a>

Tablica 3. Raspon pogodnosti čimbenika pri odabiru lokacije vinograda

(Izvor: Maletić i sur. (2008.), <http://www.agr.unizg.hr/>, <https://agroinfonet.com/>, <http://www.petrokemija.hr>)

Naziv čimbenika	Raspon pogodnosti				
	1	2	3	4	5
Nadmorska visina (m)	200 - 400	400 - 600	600 - 9000	900 - 1100	>1100
Nagib (°)	0 - 3	3 - 5	5 - 7	7 - 9	>9
Ekspozicija	Jug	Jugozapad	Jugoistok	Zapad - istok	Sjever
Kiselost tla (pH)	6,0 - 7,0	5,5 - 6,0 7,0 - 8,0	5,0 - 5,5 8,0 - 8,5	4,5 - 5,0 8,5 - 9,0	< 4,0 >10
Tip tla	Crvenica i smeđa tla	Smeđa tla na laporima	Smeđa tla na vapnencima	Flišna tla	Smeđa euterična tla
Tekstura tla	Pjeskovito - ilovasta	Pjeskovito - glinasta	Ilovasti pijesak	Praškasta glina	Glina
Oborine (mm)	700 - 900	600 - 700 700 - 850	500 - 600 850 - 950	400 - 500 950 - 1200	< 300 >1300
Temperatura (°C)	18 - 20	16 - 18 20 - 24	14 - 16 24 - 26	12 - 10 26 - 30	< 7 >35
N (kg/ha)	50 - 80	40 - 50	30 - 40	30 - 20	<20
K <sub>2</sub> O (kg/ha)	60 - 100	50 - 60	40 - 50	20 - 40	<20

Srđević i Jandrić (2000.) navode kada bi postojala mogućnost da se precizno odrede vrijednosti težinskih koeficijenata svih elemenata koji se međusobno uspoređuju na datoj razini hijerarhije, vlastite vrijednosti matrice (1) bile bi potpuno konzistentne. Međutim, ako se npr. tvrdi da je A mnogo većeg značaja od B, B nešto većeg značaja od C, i C nešto većeg značaja od A, nastaje nekonzistentnost u rješavanju problema i smanjuje se pouzdanost rezultata. Opći je stav da suvišnost usporedbe u parovima čini AHP metodu koja nije previše osjetljiva na greške u rasuđivanju. On također daje mogućnost da se mjere greške u rasuđivanju tako što se proračunava indeks konzistentnosti za dobivenu matricu usporedbe, a zatim izračunava i stupanj konzistentnosti. Da bi se izračunao stupanj konzistentnosti (CR), prvo treba izračunati indeks konzistentnosti (CI) prema relaciji

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

gde je  $\lambda_{\max}$  maksimalna vlastita vrijednost matrice usporedbe. Što je  $\lambda_{\max}$  bliže broju  $n$ , manja će biti nekonzistentnost.

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

Stupanj konzistentnosti (CR) predstavlja odnos indeksa konzistentnosti (CI) i slučajnog indeksa (RI – ovisi od reda matrice).

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Ako je stupanj konzistentnosti (CR) manji od 0,10, rezultat je dovoljno točan i nema potrebe za korekcijama u usporedbama i ponavljanju proračuna. Ako je stupanj konzistentnosti veći od 0,10, rezultate bi trebalo ponovo analizirati i ustanoviti razloge nekonzistentnosti, ukloniti ih delimičnim ponavljanjem usporedbe u parovima, a ako ponavljanje procedure u nekoliko koraka ne dovede od sniženja stupnja konzistentnosti do tolerantnog limita 0,10, sve rezultate treba odbaciti i ponoviti cijeli postupak od početka (Srđević i Jandrić, 2000.).

Tablica 4. Prikaz kriterija prema dodijeljenoj važnosti

(Izvor: vlastiti)

	Kriterij									
	Temperatura	pH	Oborine	Nadmorska visina	Tip tla	Nagib	Tekstura tla	Ekspozicija	N	K <sub>2</sub> O
Temperatura	1	2	3	4	4	5	5	6	8	9
pH		1	2	3	3	3	4	5	6	7
Oborine			1	2	2	3	3	4	5	5
Nadmorska visina				1	2	3	3	4	4	5
Tip tla					1	2	3	3	3	4
Nagib						1	2	3	3	3
Tekstura tla							1	2	3	3
Ekspozicija								1	3	3
N									1	2
K <sub>2</sub> O										1
CR	0,051									

Autori Kumara i Sendanayake (2016.) u svojoj studiji uporabe višekriterijske analize su koristili ponderiranu linearnu metodu s kartama u kontinuiranom mjerilu. Agregatnu



prikladnost zemljišta izračunali su pomoću formule (1) koja zbraja množenje linearnih pondera i faktorskih karata ili pojedinačnu prikladnost ( $s_i$ ), množenjem umnožaka kriterija ( $C_j$ ), ograničenja ( $j$ ).

$$S = \sum_{i=0}^n S_i = \sum_{i=0}^n W_i X_i * \sum_{j=1}^m C_j \quad (1)$$

$W_i$  – težinski faktor

$X_i$  – vrijednost faktora kriterija

$i, n$  - ukupni broj razmatranih faktora (parcela ili karti)

Kriteriji se mjere u različitim ljestvicama u prirodi i moraju se normalizirati ili standardizirati u jednu ljestvicu kako bi se primijenilo pravilo ponderirane linearne kombinacije kao u navedenoj formuli (2):

$$X_i = \frac{R_i - R_{min}}{R_{max} - R_{min}} * [\text{standardizirani raspon}] \quad (2)$$

$R_i$  - faktorska vrijednost piksela, a  $max$  i  $min$  predstavljaju najveće i najniže vrijednosti

Smatra se da je standardizirani raspon ili ljestvica 0 do 255 za označavanje malih značajki od interesa.

Cogato i sur. (2020.) u provedenom istraživanju razvili su novi višekriterijski indeks temeljen na GIS-u za procjenu potencijalne mehanizacije vinogradarskih područja u Italiji. Indeks je primijenjen za klasifikaciju mehaničke pristupačnosti talijanskih regija, na temelju zemljopisnih parametara kao što su: srednji nagib (prosječni stupanj nagiba vinograda u odnosu na vodoravnu ravninu), oblik bloka (oblik operativno neovisnog vinograda), omjer dužine i širine (omjer između prosječne duljine redova i širine bloka mjereno okomito na redove), veličine uvratine, sustava za obuku (za kontrolu oblika i veličine vinove loze) i razmaka redova. Indeks mehanizacije može se odrediti prema sljedećoj formuli:

$$IaM(\%) = \frac{EM}{EM + EH + EA}$$

pri čemu je  $IaM$  – indeks mehanizacije,  $EM$  – rad stroja u terenskim operacijama,  $EH$  – ljudski rad u terenskim operacijama,  $EA$  – rad životinja u terenskim operacijama. Na temelju  $IaM$  rezultata, regije su podijeljene u pet klasa mehanizacije: 0–20%, 20–40%, 40–60%, 60–80% i 80–100% (slika 8.). Koeficijenti određivanja između ocjena pripisanih doprinošenim

parametrima bili su vrlo niski (između  $3,8 \times 10^{-5}$  i 0,14), isključujući tako korelaciju parametara.



Slika 8. Prikaz klasifikacije mehaniziranosti talijanskih regija (Izvor: Cogato i sur. (2020.))

Prema istim autorima razina mehanizacije u obrađenom području može se definirati kao omjer između mehanizirane operacije i ukupne obrađene površine.

## 4. ZAKLJUČAK

Vinova loza je prepoznata u Republici Hrvatskoj kao visoko dohodovna kultura, gdje se posljednjih godina iskorištava njezin pun potencijal, ponajprije zbog rasta kvalitete proizvedenih vina i dobivenih visokih ocjena na međunarodnim vinskim natjecanjima, a zatim i iskorištavanja sjemenki od kojih se proizvode hladno prešana ulja, te korištenja biomase vinove loze nakon zimske rezidbe u proizvodnji peleta. Prema kartama vinogradarskih zona, Republika Hrvatska je podijeljena na 4 zone, čime dolazimo do zaključka kako je potrebno provesti mnogo višekriterijskih analiza za svaku zonu zbog svojih različitih prirodnih, klimatskih, ekonomskih, kulturoloških, tehničkih i drugih obilježja i uvjeta.

Trend uzgoja vinove loze u svijetu je u blagom padu zbog sve izraženijih klimatskih promjena koje znatno otežavaju proizvodnju kvalitetnog grožđa. Velike temperaturne promjene usred ljeta 2021. godine u Hrvatskoj rezultirale su pojavom raznih bolesti i tuče koja je desetkovala mnogobrojne vinograde, što je rezultiralo povećanim troškovima proizvodnje i smanjenim urodom. Jedno od rješenja za lakšu i učinkovitiju proizvodnju i nošenje s klimatskim promjenama je uvođenje preciznih sustava u trajne nasade. Korištenjem GIS-a i višekriterijske analize možemo dobiti detaljnu agronomsku i gospodarsku procjenu trenutnog stanja vinogradarstva, proizvodni procesi postaju konkurentniji i održiviji te nam može pomoći pri odabiru alternativnih lokacija sa svim najvažnijim parametrima koje uzimamo u obzir pri zasnivanju novih nasada vinograda. Višekriterijska analiza može se provesti za različita djelatna područja koja su direktno povezana s uzgojem vinove loze, poput analize utjecaja klimatskih prilika, analize stupnja mehaniziranosti vinogradarskih područja, analize pogodnosti područja za zasnivanje vinograda, analize ekonomske isplativosti, što sve znatno pridonosi konačnoj uštedi sredstava i vremena, te postizanju optimalne kvalitete grožđa. Navedene analize treba provesti uz međusobnu suradnju vinara, vinogradara i znanstvenog osoblja gdje bi se ukomponiralo znanje, iskustvo i moderne tehnologije kako bi se u konačnici donijele najbolje odluke.

Uporaba kombajna za branje grožđa je opravdana kada su u pitanju velike vinogradarske površine sa vrhunskim urodom na određenim lokacijama koje bi se trebale obrati u specifičnom vremenu kako bi se zadržala visoka kvaliteta. Međutim, iako kombajni za berbu grožđa raspolažu sa sensorima koji se prilagođavaju trsovima, njihova preciznost nikada

neće biti dovoljno velika kako bi se spriječili udarajući batovi za berbu i time ne bi oštetili grozdove. Stoga kako bi se maksimalno sačuvala kvaliteta grožđa, bez puknuća bobica, sa mnogo manje prisutnog lišća, berba grožđa namijenjenog za proizvodnju vrhunskih vina se obavlja ručno.

## 5. POPIS LITERATURE

1. Apex Publishers (2021.): Precision Viticulture Variable-Rate Application Technology [http://www.wine-grapegrowing.com/wine\\_grape\\_growing/precision\\_viticulture/precision\\_viticulture\\_variable\\_rate\\_technology.htm](http://www.wine-grapegrowing.com/wine_grape_growing/precision_viticulture/precision_viticulture_variable_rate_technology.htm) (posljednji pristup 13.8.2021.)
2. Canopy vinski portal (2019.): Roboti dolaze <https://www.internationalwinechallenge.com/> (posljednji pristup 26.7.2021.)
3. Cogato, A., Pezzuolo, A., Sozzi, M., Marinello, F. (2020.): A sample of Italian vineyards: Landscape and management parameters dataset, Department of Land, Environmental, Agriculture and Forestry, University of Padova, 35020 Legnaro, PD, Italy
4. Duarte, L., Silva, P., Teodoro, A.C. (2018.): Development of a QGIS Plugin to Obtain Parameters and Elements of Plantation Trees and Vineyards with Aerial Photographs, *International Journal of Geo-information*, 7(3), 109
5. eVineyard (2020.): Precizna tehnologija vinogradarstva ključ za proizvodnju vrhunskih vina u promjenjivoj klimi <https://www.evineyardapp.com/> (posljednji pristup 26.7.2021.)
6. Horvat, A. dipl. ing., Kretanja hranjiva u tlu (2019.) <https://medjimurje.hr/aktualno/ziva-zemlja/osnovni-principi-gnojidbe-i-kretanja-hranjiva-u-lozi-i-u-tlu-39823/> (posljednji pristup 31.7.2021.)
7. Hrvatska agencija za poljoprivredu (2019.) Stanje vinogradarstva u Republici Hrvatskoj 2020. godine <https://www.hapih.hr/wp-content/uploads/2020/11/CVVU-CVP-Godisnje-izvjesce-za-2019.pdf> (posljednji pristup stranici 25.4.2021.)
8. Jobbágy, J., Krištof, K., Schmidt, A., Križan, M., Urbanovičová, O. (2018.): Evaluation of the mechanized harvest of grapes with regards to harvest losses and economical aspects, *Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Engineering, Department of Machines and Production Biosystems, Agronomy Research* 16(2), 426 - 442,
9. Jocić, D. dipl. ing.: Vinogradarstvo <https://agroinfonet.com/vinogradarstvo/uzgoj-vinove-loze-temperatura-zemljiste/>, (posljednji pristup 31.7.2021.)
10. Knowledge4food portal znanja (2015.): Precizna gnojidba vinograda <https://knowledge4food.net/> (posljednji pristup 22.7.2021.)

11. Kumara, K.J.C., Sendanayake, S. (2016.): GIS Multi-Criteria Analysis to Explore Potential Wine-Grape Growing Sites In The Tropics, Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR) Vol-2, Issue - 8
12. Kurtural kaan, S., Dami, I.E., Taylor, B. (2008.): Utilizing GIS Technologies in Selection of Suitable Vineyard Sites, International Journal of Fruit Science, volume 6, str. 87-107
13. Maletić, E., Karlogan Kontić, J., Pejić, I. (2008.): Vinova loza, Udžbenik Sveučilišta u Zagrebu, Školska knjiga d.d. Zagreb
14. Matese, A., Di Gennaro, S.F. (2015.): Technology in precision viticulture: a state of the art review, Pregledni rad, Institut za biometeorologiju, Nacionalno istraživačko vijeće (IBIMET-CNR), Firenca, Odjel za poljoprivrednu, prehrambenu i ekološku znanost, Sveučilište Perugia, Perugia, Italija
15. Nesbitt, A., Dorling, S., Lovett, A. (2018.): A suitability model for viticulture in England and Wales: opportunities for investment, sector growth and increased climate resilience, Journal of Land Use Science, Volume 13, Issue - 4
16. Patriche, C.V., Liviu, I., Condorachi, D. (2011.): Aspects regarding the use of GIS for quantifying climatic factors influencing vineyards suitability, Znanstveni anali Sveučilišta Alexandru I. Cuza, Iasi
17. Pinova.hr (2019.): Uzgoj vinove loze <http://pinova.hr/hr> (posljednji pristup stranici 18.7.2021.)
18. Poblete-Echeverría, C.; Olmedo, G.; Ingram, B.; Bardeen, M. (2017.): Detection and Segmentation of Vine Canopy in Ultra-High Spatial Resolution RGB Imagery Obtained from Unmanned Aerial Vehicle (UAV): A Case Study in a Commercial Vineyard. Remote Sens
19. Pokos, V. (2013.): Ekološko vinogradarstvo, Glasnik zaštite bilja 1/2013. pregledni rad
20. Smith, L. (2002.): Site Selection for Establishment & Management of Vineyards, Spatial Information Research Centre University of Otago., Dunedin
21. Srđević, B. Jandrić, Z. (2000.): Analitički hijerarhijski proces u strateškom gazdovanju šumama, studija rađena za J.P. 'Srbijasume'
22. Stević, A. (2014.): Primjena GIS tehnologije u sustavu precizne poljoprivrede pri sadnji trajnih nasada, Diplomski rad, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet Osijek

23. Stojkov, M., Provči, I., Mišćenić, D. (2011.): Primjena višekriterijske AHP metode pri odabiru visokonaponskih sklopnih aparata, Hrvatski ogranak međunarodnog vijeća za velike elektroenergetske sustave – CIGRE, 10. savjetovanje HRO CIGRÉ Cavtat, 6. – 10. studenoga 2011.
24. Strmšnik, K., Kiš, K., Dusik, J., Harmel, M., Smutny, M. (2014.): Smjernice za primjenu pogodnih alata za analizu, IPA 2010 projekt „Jačanje kapaciteta za provedbu strateške procjene utjecaja na okoliš (SPUO) na regionalnoj i lokalnoj razini“, Zagreb lipanj 2014.
25. Vlahović-Vitasović, S. (2020.): Razvoj i utjecaj vinskog turizma u Republici Hrvatskoj, Diplomski rad, Sveučilište Jurja Dobrile u Puli, Fakultet ekonomije i turizma
26. Zabihi, H., Alizadeh, M., Wolf, I. D., Karami, M., Ahmad, A., Salamian, H. (2020.): A GIS-based fuzzy-analytic hierarchy process (F-AHP) for ecotourism suitability decision making: A case study of Babol in Iran, Science Direct Journal, Volume 36

## 6. SAŽETAK

Vinova loza (*Vitis Vinifera*) jedna je od najkorisnijih kulturnih biljaka u svijetu zbog svoje mnogostruke primjene i gotovo potpune iskoristivosti. Početci uzgoja vinove loze na prostoru današnje Republike Hrvatske sežu još iz antičkih vremena, te imaju duboki utisak na ovdašnju kulturu i značaj gospodarstva. Uvođenjem GIS tehnologija u vinogradarstvo nastoji se povećati kvaliteta uzgajanog grožđa koje je preduvjet nastanka vrhunskih vina uz smanjenje troškova proizvodnje i uštedu potrebnog vremena za obavljanje pojedinih radnih operacija. Uporaba senzora za daljinsko istraživanje omogućuje nam praćenje stanja nasada vinograda, poput količine nutrijenata u tlu i biljci, dostupnost vode u tlu, zdravlje biljaka, tehnološke zrelosti grožđa i drugo. Višekriterijska analiza kompleksan je, ali važan element moderne tehnologije koji u svom širokom rasponu kriterija omogućava donošenje najprikladnijih skupova rješenja, a time i najboljih odluka, čime se doprinosi rastu kvalitete finalnih proizvoda i zaštiti okoliša.

**Ključne riječi:** Vinova loza, vinogradarstvo, GIS, višekriterijska analiza



## 7. SUMMARY

Vine (*Vitis Vinifera*) is one of the most useful cultivated plants in the world due to its multiple applications and almost complete utilization. The beginnings of vine growing in the area of today's Republic of Croatia date back to ancient times, and have a deep impression on the local culture and the importance of the economy. The introduction of GIS technologies in viticulture seeks to increase the quality of cultivated grapes, which is a prerequisite for the production of premium wines while reducing production costs and saving the time required to perform certain work operations. The use of sensors for remote sensing allows us to monitor the condition of vineyards, such as the amount of nutrients in the soil and the plant, the availability of water in the soil, plant health, technological maturity of grapes and more. Multicriteria analysis is a complex but important element of modern technology that in its wide range of criteria allows the most appropriate sets of solutions, and thus the best decisions, thus contributing to the growth of quality of final products and environmental protection.

**Keywords:** Grapevine, viticulture, GIS, multicriteria analysis

## 8. POPIS TABLICA

Tablica 1. Saaty-eva skala (Izvor: Hrvatski ogranak međunarodnog vijeća za velike elektroenergetske sustave – CIGRE)

Tablica 2. Najvažniji čimbenici koji utječu na nasad vinograda (Izvor: Maletić i sur. (2008.), <http://www.agr.unizg.hr/>, <https://agroinfonet.com/>, <http://www.petrokemija.hr>)

Tablica 3. Raspon pogodnosti čimbenika pri odabiru lokacije vinograda (Izvor: Maletić i sur. (2008.), <http://www.agr.unizg.hr/>, <https://agroinfonet.com/>, <http://www.petrokemija.hr>)

Tablica 4. Prikaz kriterija prema dodijeljenoj važnosti (Izvor: vlastiti)

## 9. POPIS SLIKA

Slika 1. Shema upravljanja senzorom (Izvor: <https://www.evinyardapp.com/>)

Slika 2. Bežični čvor senzora u vinogradu koji nadgleda mikroklimu vinove loze (Izvor: <https://www.evinyardapp.com/>)

Slika 3. Senzor tla mjeri električnu vodljivost u vinogradu kako bi pružio kartu karakteristika tla (Izvor: <https://www.evinyardapp.com/>)

Slika 4. A) Kombajn opremljen sa sustavom za praćenje prinosa

B) Zemljopisna referenca i karta uroda vinograda (Izvor: Matese i Di Gennaro, 2015.)

Slika 5. Robot za mehaničko uništavanje korova (Izvor: <https://www.internationalwinechallenge.com/>)

Slika 6. Prikaz robota za prorjeđivanje vinove loze (Izvor: <https://www.internationalwinechallenge.com/>)

Slika 7. Gnojdba s promjenjivom stopom u vinogradu (Izvor: <https://www.evinyardapp.com/>)

Slika 8. Prikaz klasifikacije mehaniziranosti talijanskih regija (Izvor: Cogato i sur. (2020.))

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Diplomski rad Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Sveučilišni diplomski studij, smjer Mehanizacija

**Primjena GIS tehnologije u vinogradarstvu i proizvodnji vrhunskih vina**

**Luka Gjajić**

**Sažetak:** Vinova loza (*Vitis Vinifera*) jedna je od najkorisnijih kulturnih biljaka u svijetu zbog svoje mnogostruke primjene i gotovo potpune iskoristivosti. Početci uzgoja vinove loze na prostoru današnje Republike Hrvatske sežu još iz antičkih vremena, te imaju duboki utisak na ovdašnju kulturu i značaj gospodarstva. Uvođenjem GIS tehnologija u vinogradarstvo nastoji se povećati kvaliteta uzgajanog grožđa koje je preduvjet nastanka vrhunskih vina uz smanjenje troškova proizvodnje i uštedu potrebnog vremena za obavljanje pojedinih radnih operacija. Uporaba senzora za daljinsko istraživanje omogućuje nam praćenje stanja nasada vinograda, poput količine nutrijenata u tlu i biljci, dostupnost vode u tlu, zdravlje biljaka, tehnološke zrelosti grožđa i drugo. Višekriterijska analiza kompleksan je, ali važan element moderne tehnologije koji u svom širokom rasponu kriterija omogućava donošenje najprikladnijih skupova rješenja, a time i najboljih odluka, čime se doprinosi rastu kvalitete finalnih proizvoda i zaštiti okoliša.

**Glavne riječi:** Vinova loza, vinogradarstvo, GIS, višekriterijska analiza

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

**Mentor:** prof. dr. sc. Mladen Jurišić

**Broj stranica:** 40

**Broj grafikona i slika:** 8

**Broj tablica:** 4

**Broj literaturnih navoda:** 26

**Broj priloga:** 0

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, predsjednik
2. prof. dr. sc. Mladen Jurišić, mentor
3. Dorijan Radočaj mag. ing. geodet, član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayeru Osijeku i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek  
Vladimira Preloga 1, 31000 Osijek

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek**

**Graduate thesis Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek**

**University Graduate Studies, course Mechanisation**

### **Application of GIS technology in viticulture and production of premium wines**

**Luka Gjajić**

**Abstract:** Vine (*Vitis Vinifera*) is one of the most useful cultivated plants in the world due to its multiple applications and almost complete utilization. The beginnings of vine growing in the area of today's Republic of Croatia date back to ancient times, and have a deep impression on the local culture and the importance of the economy. The introduction of GIS technologies in viticulture seeks to increase the quality of cultivated grapes, which is a prerequisite for the production of premium wines while reducing production costs and saving the time required to perform certain work operations. The use of sensors for remote sensing allows us to monitor the condition of vineyards, such as the amount of nutrients in the soil and the plant, the availability of water in the soil, plant health, technological maturity of grapes and more. Multicriteria analysis is a complex but important element of modern technology that in its wide range of criteria allows the most appropriate sets of solutions, and thus the best decisions, thus contributing to the growth of quality of final products and environmental protection.

**Keywords:** Grapevine, viticulture, GIS, multicriteria analysis

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

**Mentor:** prof. dr. sc. Mladen Jurišić

**Number of pages:** 40

**Number of figures:** 8

**Number of tables:** 4

**Number of references:** 26

**Number of appendices:** 0

**Original in:** Croatian

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. Assoc. Prof. Ivan Plaščak, PhD
2. Prof. Dr. Mladen Jurišić, PhD
3. MSc Dorijan Radočaj

**Thesis deposited at:** Library of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, University J.J. Strossmayer in Osijek and in the digital repository of final and graduate theses of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Vladimira Preloga 1, 31000 Osijek