

# Tehnologije u preciznom vinogradarstvu-pregled stanja vještina

Naslov originala: Technology in precision viticulture: a state of the art review

Izvor: <https://www.dovepress.com/>

Objavljeno: 18.05.2015. by Alessandro Matese,<sup>1</sup> Salvatore Filippo Di Gennaro<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Biometeorology, National Research Council (IBIMET-CNR), Florence, Italy;

<sup>2</sup>Department of Agricultural, Food and Environmental Sciences, University of Perugia, Perugia, Italy

Prevod: Dragutin Mijatović



**Apstrakt.** Precizno vinogradarstvo ima za cilj maksimiziranje enološkog potencijala vinograda. Ovo se posebno odnosi na regione u kojima visoki standardi kvaliteta proizvodnje vina opravdavaju usvajanje praksi upravljanja specifičnostima za lokaciju kako bi istovremeno povećali kvalitet i prinos. Uvođenje novih tehnologija za podršku upravljanja vinogradima omogućava poboljšanje efikasnosti i kvaliteta proizvodnje, a istovremeno smanjuje uticaj na životnu sredinu. Brza evolucija informacijskih komunikacionih tehnologija i geografskih nauka nudi ogroman potencijal za razvoj optimalnih rješenja za distribuiranje informacija za precizno vinogradarstvo. Nedavna tehnološka dostignuća omogućila su korisne alate koji bi pomogli u praćenju i kontroli mnogih aspekata rasta vinove loze. Precizno vinogradarstvo stoga pokušava da iskoristi najširi spektar dostupnih opservacija kako bi opisalo prostornu varijabilnost vinove loze sa visokom rezolucijom i pružilo preporuke za poboljšanje efikasnosti upravljanja u pogledu kvaliteta, proizvodnje i održivosti. Ovaj rad predstavlja kratak pregled najsavremenijih tehnologija u preciznom vinogradarstvu. Podijeljen je u dva dijela, **prvi** se fokusira na tehnologije praćenja kao što su geolociranje i daljinsko i proksimalno (neposredno) senziranje; **drugi** se fokusira na tehnologije promjenljive brzine i nove poljoprivredne robote.

**Ključne riječi:** *daljinsko istraživanje, proksimalno istraživanje, tehnologija promjenjive brzine, robot*

**Uvod.** U uslovima sve veće konkurencije na međunarodnim tržištima, od najvećeg je značaja postizanje viših standarda kvaliteta u vinogradu. To je dovelo do radikalne obnove vinogradarstva i preispitivanja poljoprivrednih tehnika, s ciljem maksimiziranja kvaliteta i održivosti kroz smanjenje i efikasnije korištenje proizvodnih **ulaza** kao što su **energija, đubriva** i **hemikalije** i minimiziranje **ulaznih troškova** uz **osiguranje očuvanja okoline**.

Koncept preciznog vinogradarstva predstavlja korak u tom smjeru, i to kao diferencirani pristup upravljanju čiji je cilj zadovoljiti stvarne potrebe svake parcele unutar vinograda. Nekoliko autora proučavalo je preciznost vinogradarstva u Australiji i Evropi (*ref.1–14*). Vinogradi se odlikuju velikom heterogenošću zbog strukturnih faktora kao što su pedo-morfološke karakteristike i druge dinamike, poput rezidbe i sezonskih vremenskih prilika (*ref.15*). Ova varijabilnost uzrokuje različiti fiziološki odgovor vinove loze, sa direktnim posljedicama na kvalitet grožđa (*ref.16*).

Zbog toga vinogradi zahtijevaju specifično agronomsko upravljanje da bi zadovoljili stvarne potrebe prinosa, u odnosu na prostornu varijabilnost unutar vinograda (*ref.17*). Uvođenje novih tehnologija za podršku gospodarenja vinogradom omogućava poboljšanje efikasnosti i kvaliteta proizvodnje i na u isto vrijeme smanjenje uticaja na okolinu. Nedavna tehnološka dostignuća omogućila su izradu korisnih alata koji pomažu u praćenju i kontroli mnogih aspekata uzgoja vinove loze.

Daljinski i neposredno osjetljiviji senzori postaju snažni instrumenti ispitivanja stanja vinograda, poput raspoloživosti vode i hranjivih sastojaka, zdravlja biljaka i napada patogena ili stanja tla. Precizno vinogradarstvo stoga nastoji iskoristiti najširi raspon raspoloživih opažanja za opisivanje prostorne varijabilnosti vinograda sa visokom rezolucijom i dati preporuke za poboljšanje učinkovitosti upravljanja u pogledu kvaliteta, proizvodnje i održivosti.

Ovaj rad predstavlja pregled tehnologija koje se koriste u preciznom vinogradarstvu. Podijeljen je u dva glavna dijela. **Prvi** se fokusira na tehnologije praćenja, koje su osnova mapiranja prostorne varijabilnosti; **drugi** dio govori o tehnologijama koje se koriste za pružanje agronomskih inputa specifičnih za lokaciju, identifikovanih kao tehnologije sa promjenjivom brzinom (VRT-Variable-Rate Technologies) i „agbot“ sistemima kao što je (Multipurpose drone for precision agriculture, <http://www.aerialtechnology.com/>).



**Tehnologije praćenja.** Primarni cilj postupka praćenja je prikupljanje maksimalne količine podataka o georeferenciji u vinogradu. Širok spektar senzora kojima se nadgledaju različiti parametri koji karakterišu okruženje rasta biljaka koristi se u preciznom vinogradarstvu za daljinsko i blisko (proximal) nadgledanje geolociranih podataka.

**Geolokacija.** Georeferenciranje je proces uspostavljanja odnosa između prostornih informacija i njegovog geografskog položaja. To omogućava poređenje između različitih prostornih podataka otkrivenih u vinogradu, poput fizičkih svojstava tla, prinosa i sadržaja vode ili đubriva (*ref.18*). Globalni sistem za pozicioniranje (GPS-Global Positioning System) je satelitski navigacioni sistem temeljen na satelitu koji korisnicima pruža vrlo tačne, 3D pozicije (x, y, z) i brze i pravovremene informacije.

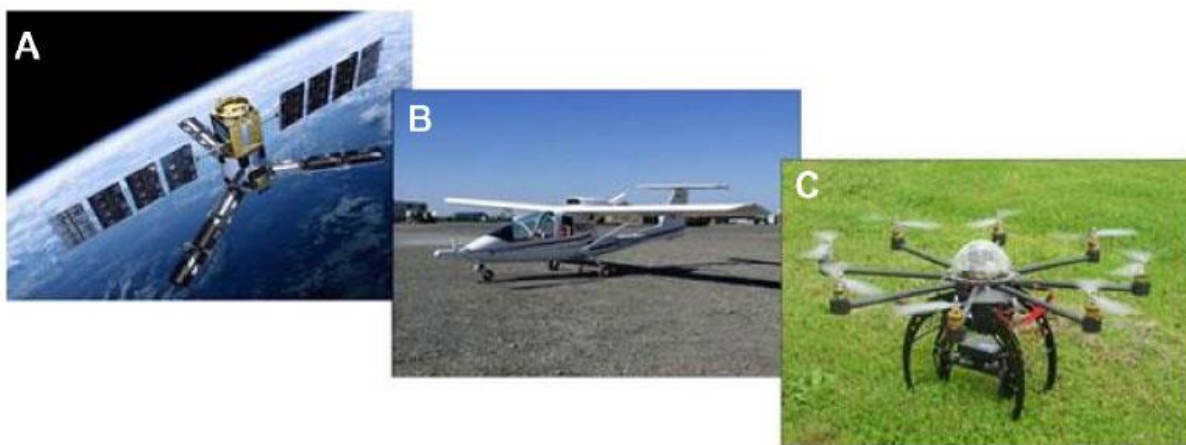
Dok GPS prijemnik izračunava svoj položaj na zemlji na osnovu informacija koje dobija sa četiri ili više lociranih satelita, sa preciznošću od oko 3–15 m, diferencijalne tehnike pružaju centimetrsku tačnost lokacije zahvaljujući mreži fiksnih, prizemnih referentnih stanica da ispravi položaje naznačene satelitskim sistemima sa poznatim fiksnim položajima. Ova vrsta GPS tehnologije korisna je u obavljanju zadataka koji zahtijevaju visoku preciznost, kao što su mapiranje prinosa, automatski vođena poljoprivredna vozila, uzorkovanje tla i distribucija đubriva i pesticida uz različite brzine.

**Daljinsko očitavanje.** Tehnike daljinskog senziranja brzo daju opis oblika, veličine i bujnosti čokota vinove loze i omogućavaju procjenu varijabilnosti unutar vinograda. Ovo je snimanje slike na daljini sa različitim razmjerima skale, koja je u stanju opisati vinograd otkrivanjem i snimanjem sunčeve svjetlosti reflektovane od površine predmeta na zemlji (*ref.19*).

Podaci sa daljinskog računara omogućavaju opisivanje fiziologije biljke pomoću izračunavanja indeksa vegetacije, poput poznatog normalizovanog indeksa razlike vegetacije (NDVI-Normalized Difference Vegetation Index), koji koristi različit odgovor vegetacije na vidljive (crvene) i bliske infracrvene spektralne pojaseve koji su usko povezani sa statusom prinosa (*ref.20*). Odbojnost zelene mase špalira u vidljivom i blizu infracrvenom pojasu snažno zavisi i o strukturnom indeksu površine listova (LAI-Leaf Area Index) i biohemijskim svojstvima (sadržaj klorofila) zelene mase čokota u špaliru (*ref.21*).

Kombinacija biomase lišća čokota i fotosintetskog potencijala definisana je kao fotosintetski aktivna biomasa (PAB-Photosynthetically Active Biomass), a daljinsko istraživanje može otkriti PAB kroz sinergetski učinak pojedinačnih vrijednosti piksela (fotosintetski potencijal) i raspodjelu piksela (biomasa) u spektralnom potpisu (*ref.22*). PAB vinove loze pod uticajem geo-pedo-morfoloških uslova specifičnih za lokaciju, i njihova varijacija unutar vinograda uzrokuje prostorne varijacije u karakteristikama zelene mase čokota u špaliru.

Bujnost čokota, koja se tradicionalno mjeri putem parametara poput površine poprečnog presjeka debla, prosječne dužine lastara i težine rezidbom odbačene loze, ima značajan uticaj na prinos i kvalitet grožđa (*ref.23–25*). Tri platforme koje se uglavnom koriste u daljinskom ispitivanju su: sateliti, avioni i bespilotne letilice (UAV-Unmanned Aerial Vehicles) (**slika 1**), sa različitim načinima primjene i vrstama senzora.



**Slika 1.** Platforme za daljinsko istraživanje koje se koriste u preciznoj poljoprivredi.

(A) Satelit.

(B) Avion.

(C) Bespilotna letilica.

**Sateliti.** Sateliti se koriste u preciznom uzgoju biljaka već više od 40 godina. Kada je **Landsat 1** lansiran u orbitu 1972. bio je premljen multispektralnim senzorom i pružao je prostornu rezoluciju od 80 metara po pikselu sa intervalima ponovnog pregleda od oko 18 dana. **Landsat 5** predstavljen je 1984. godine i prikupljao je slike u plavom, zelenom, crvenom, blizu infracrvenom i termalnom pojasu u prostornoj rezoluciji od 30 m.

Prva primjena daljinskog senziranja u preciznoj poljoprivredi dogodila se kada su **Landsat**-ove slike golog tla korištene za procjenu prostornih obrazaca u sadržaju organske materije u tlu (*ref.26,27*). U međuvremenu, bilo je nekoliko tekućih napora da se brže dizajniraju satelitski sistemi za snimanje veće prostorne rezolucije sa bržim ciklusima ponovne revizije. Prostorna razlučivost sistema za obradu slika poboljšala se sa 80 m sa Landsat-om u rezoluciju podmjera sa **GeoEye** i **WorldView**, a frekvencija je poboljšana sa 18 dana na 1 dan sa novim satelitskim platformama, uz značajan napredak u performansama senzora.

Najnoviji satelit, **WorldView 3**, uspješno predstavljen u avgustu 2014. godine, čak je sposoban pružiti rezoluciju od 0,30 metra u vidljivom spektru, 1,30 metra u multispektralnom i 3,70 metra u kratkotalasnom infracrvenom, sa frekvencijom ponovnog pregleda između 1 i 4 dana. Upotreba satelita u daljinskom sondiranju stoga ima veliki potencijal, ali prostorne rezolucije nisu dovoljne za preciznost vinogradarstva zbog nedovoljnog razmaka čokota. Druga ograničenja su vremenska rezolucija i oblačni dani koji se mogu pojaviti u trenutku prolaska satelita (*ref.28,29*). Troškovi slika održivi su samo na velikim površinama: s obzirom na veličinu jedne slike, ne manjim od 50 ha.

**Avioni.** Avioni omogućuju nadzor nad zemljištem sa širokim dometom leta i velikim opterećenjem u pogledu težine i dimenzija, pružajući tako mogućnost upravljanja velikim brojem senzora. Avion zaobilazi neka ograničenja satelitske aplikacije programirajući snimanje vremena slike i pružajući veću rezoluciju tla, ovisno o visini letenja.

Međutim, smanjena fleksibilnost raspoloživosti vremena, zbog krutog rasporeda planiranja leta i visokih operativnih troškova, čini ga ekonomski održivim samo na površinama većim od 10 ha. Primer je **Sky Arrow 650 TC/P68**, avion izgrađen u potpunosti od ugljena i Kevlar-a (sintetički fiber), opremljen motorom Rotax od 100 KS, sa dometom leta od oko 6 sati. Riječ je o fleksibilnom avionu, koji može uzlijetati i slijetati na sportske aerodrome i aerodrome sa dužinom piste od samo 500 m.

**UAV (Unmanned Aerial Vehicles - Bepilotne letilice).** Tehnološki razvoj na polju automatizacije obogatio je precizno vinogradarstvo novim rješenjem za daljinsko nadgledanje, UAV-ovima. Te nepokretne ili rotirajuće krilate platforme mogu samostalno letjeti. One se ponekad nepravilno zovu i „dronovi“, zbog monotonog tihog zvuka poput zujanja muške pčele. Bepilotne letilice mogu se daljinski upravljati vizualnim dometom od strane pilota na zemlji ili samostalno letjeti prema definisanom korisničkom skupu putnih tačaka, pomoću složenog sistema senzora upravljanja letom (žiroskopi, magnetni kompas, GPS, senzor pritiska i triosovinske ascelaracije) kojim kontroliše mikroprocesor.

Te se platforme mogu opremiti sa nizom senzora koji omogućavaju obavljanje širokog spektra operacija praćenja. Posebnost UAV aplikacije u daljinskom senzoru je visoka prostorna rezolucija tla (centimetara), te mogućnost vrlo fleksibilnog i pravovremenog nadzora, zbog skraćenog vremena planiranja. Ova svojstva čine ga idealnim u vinogradima srednje do male veličine (1–10 ha), posebno u područjima koja se karakterišu velikom fragmentacijom zbog povišene heterogenosti. Vinogradi su uobičajeni cilj istraživanja u zemljama koje se bave proizvodnjom vina, poput SAD-a, Španije, Francuske, Italije i Australije (*ref.30–42*).

Uprkos ovim pozitivnim aspektima, UAV platforme imaju važno ograničenje u pogledu težine korisnog opterećenja i radnog vremena. Nadalje, primjena UAV-a zahtijeva da se primjenom propisa o letenju uklone prepreke za certifikovanje UAV-a i koriste za sve aplikacije koje uključuju veliku grupu agenata i institucija koje daju doprinose. (*ref.43*)

Propisi o UAV-u raspravljaju se u izvještajima Evropske upravljačke grupe za RPAS- Remotely Piloted Aircraft Systems (ERSG) (ref.44) i Federalne uprave za vazduhoplovstvo (FAA-Federal Aviation Administration), (ref.45), a opširan opis najnovijih radova predstavio je *Van Blyenburgh* (ref.46), koji izvještava o iskustvima različitih stručnih grupa iz nekoliko zemalja širom svijeta.

**Daljinski senzori i aplikacije.** Primjene daljinskog senziranja u preciznom vinogradarstvu fokusirane su uglavnom na reflektivnu spektroskopiju, optičku tehniku koja se zasniva na mjerenju refleksije incidentnog elektromagnetskog zračenja različitih talasnih dužina, posebno u vidljivoj regiji (400–700 nm), u blizini infracrvenog (700–1,300 nm), i termički infracrvenoj (7.500–15.000 nm).

Odnos između intenziteta reflektovanog i padajućeg zračećeg toka specifičan je za svaku vrstu površine. Spektralna refleksija tijela, poput vinograda ili tla, naziva se "spektralnim potpisom" i predstavljena je na XY grafu, sa vrijednosti odbojnosti na ordinati i talasnom dužinom spektra na apscisi.

Najčešća klasa senzora sposobna je otkriti promjenu transpiracije ili fotosintetsku aktivnost na površini lista. Toplotni senzori koriste se za daljinsko mjerenje temperature listova, koja se povećava kada se pojave uslovi vodnog stresa, a slijedi zatvaranje stoma, koje smanjuje gubitak vode i istovremeno prekida efekt hlađenja isparavanjem. Promjene u fotosintetskoj aktivnosti povezane su sa statusom ishrane, zdravljem i energijom biljaka te se mogu otkriti multispektralnim i hiperspektralnim sensorima.

Na odbojnost listova utiču različiti faktori u specifičnim područjima spektra: *u vidljivim fotosintetskim pigmentima*, poput klorofila a, klorofila b, i karotenoida; *u bliskoj infracrvenoj strukturi lišća* (veličina i raspodjela vazduha i vode unutar lisne mase čokota); i *u infracrvenom prisustvu vode i biohemijskih supstanci* poput lignina, celuloze, škroba, proteina i azota.

Satelitski i avionski snimci često se koriste za procjenu prostornih obrazaca biljne biomase i prinosa, koristeći vegetacijske indekse poput NDVI. Povezanost ovih indeksa sa strukturnim ili fiziološkim karakteristikama čokota dobro je proučena. NDVI se može povezati sa različitim faktorima, kao što su LAI, prisustvo hranjivih sastojaka, vodni stres status ili zdravstveno stanje, dok su uskopojasni hiperspektralni indeksi vegetacije osjetljivi na sadržaj klorofila (ref.47–53).

Hiperspektralno daljinsko istraživanje omogućuje snažan uvid u spektralni odgovor tla i vegetacijskih površina, prikupljajući podatke o refleksiji u širokom spektralnom rasponu pri visokoj rezoluciji (obično 10 nm), dok multispektralni senzori dobijaju podatke refleksije u smanjenom rasponu spektra fokusiranom na plavu, zelene, crvene i blisko infracrvene regije, sa manjom rezolucijom (najmanje 40 nm). Drugo područje primjene je proučavanje strukture zelene mase čokota i biomase pomoću sistema za otkrivanje i usmjeravanje svjetlosti (LiDAR), tehnologija za daljinsko istraživanje, koja mjeri udaljenost osvjetljavanjem cilja laserom i analizom reflektovane svjetlosti. Na **slici 2** prikazani su neki od najnovijih senzora za daljinsko istraživanje koji se koriste u preciznom vinogradarstvu.

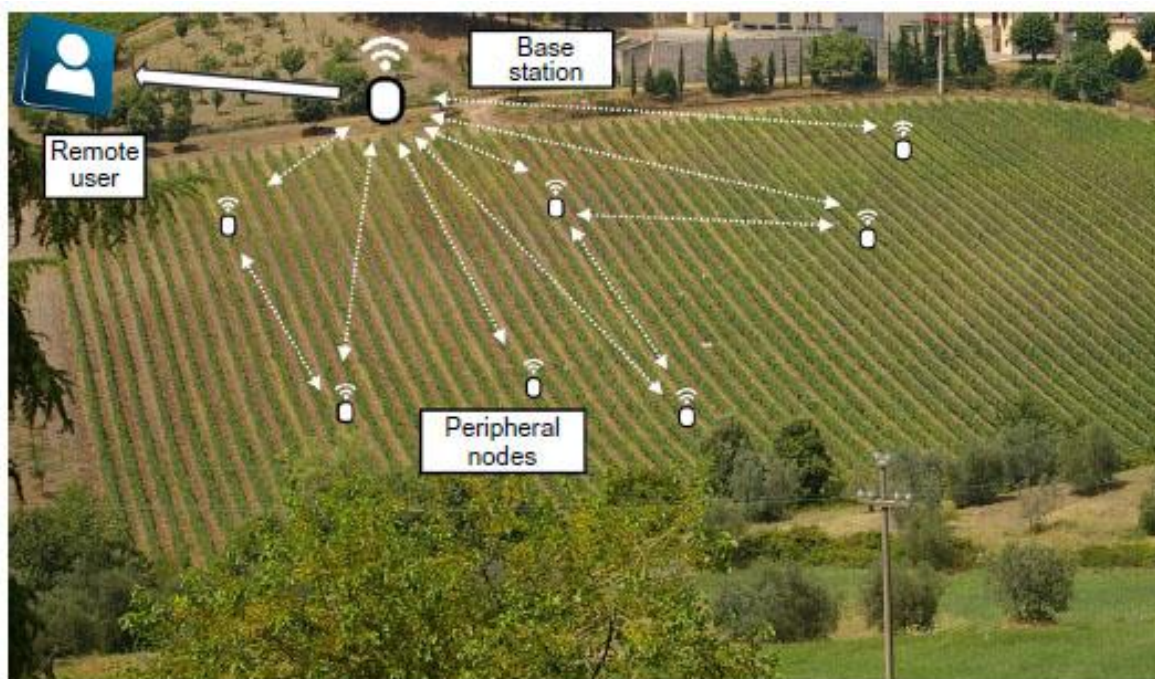


**Slika 2.** Neke vrste senzora razvile su se *ad hoc* za kontrolu aplikacija za bespilotne letjelice. (A) Tropojasni multispektralni fotoaparati Tetracam ADC-Lite (Three-band multispectral camera Tetracam ADC-Lite). (B) Šesteropojasni multispektralni fotoaparati Tetracam Mini-MCA (Six-band multispectral camera Tetracam Mini-MCA). (C) Hiperpektralna kamera Micro-Hyperspec VNIR (Micro-Hyperspec VNIR hyperspectral camera). (D) Spektrometar Ocean Optics USB4000 (Ocean Optics USB4000 spectrometer). (E) FLIR TAU II. (F) YellowScan LiDAR (Light Detection And Ranging), otkrivanje svjetlosti i raspona svjetlosti.

**Proksimalno istraživanje (Blisko, neposredno snimanje, sensorisanje, istraživanje).** Unutar primjene bliskog senziranja dostupni su brojni alati za kontinuirana mjerenja koja se vrše u pokretnim vozilima ili instrumenti za precizna opažanja tla koja je napravio operator.

**Bežična senzorska mreža.** Tehnologije bežične senzorske mreže (WSN-Wireless sensor network) pružaju koristan i efikasan alat za daljinsko i u stvarnom vremenu praćenje važnih varijabli koje su uključene u proizvodnju grožđa, obradu podataka i prenošenje potrebnih informacija korisnicima. WSN je mreža perifernih čvorova koja se sastoji od senzorske ploče opremljene sensorima i bežičnim modulom za prijenos podataka sa čvorova na baznu stanicu, gdje se podaci pohranjuju i dostupni su krajnjem korisniku.

Čvorovi su energetske neovisni i instalirani su u područjima koja su reprezentativna za vinogradarsku varijabilnost, a koja se mogu identifikovati sa podacima obezbijeđenom mapom energije (slika 3). Ruiz-Garcia i drugi napisali su opsežni osvrt na stanje tehnike WSN u poljoprivredi i prehrambenoj industriji (ref.54). Što se tiče vinogradarstva, Burrell et al (ref.55) je opisao WSN aplikacije i konfiguracije za različite svrhe u vinogradu, dok su Beckwith et al (ref.56) implementirali WSN koji se sastojao od 65 dijelova (čestica) koji su sakupljali mjerenja temperature u vinogradu preko jednog mjeseca.



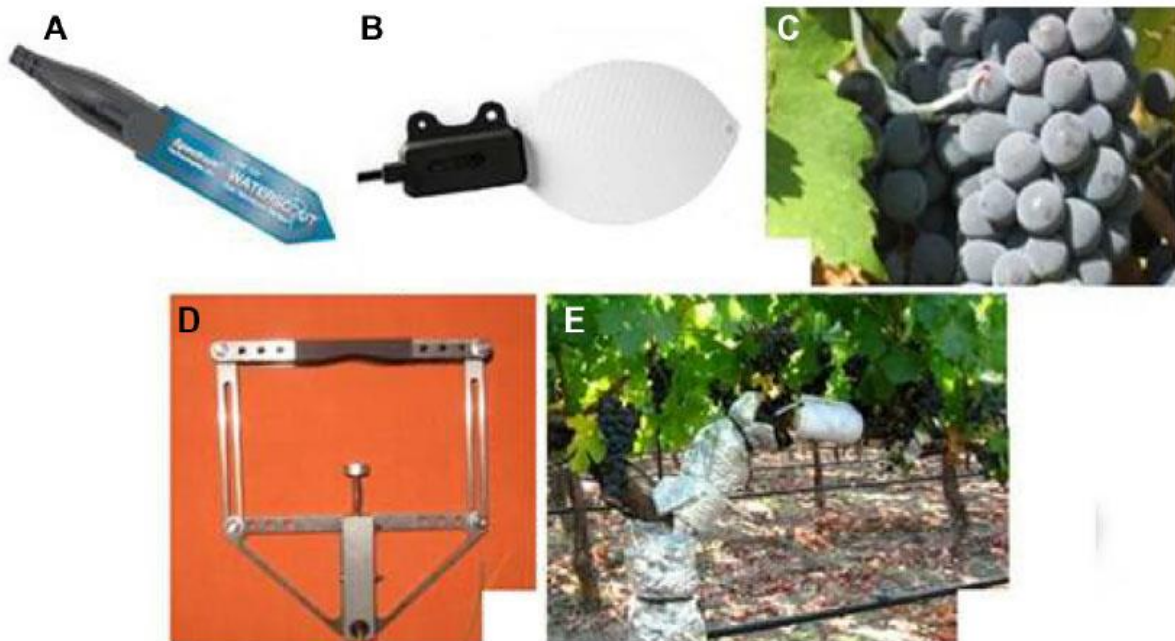
*Slika 3. Arhitektura bežične senzorske mreže postavljena u vinogradu Azienda Agricola Castello di Brolio, Siena, Italija.*

Matese et al (*ref.57*) predložili su bežičnu aplikaciju senzora u preciznom vinogradarstvu, koja omogućava praćenje mikroklima specifične za lokaciju za površine različite bujnosti vinograda. Posljednjih godina, pojava jeftinih i tehnologija otvorenog koda (open-source) dovela je do njihove široke primjene u naučnoj zajednici (*ref.58,59*)

Mogućnosti koje pruža hardverski sistem otvorenog koda, najpoznatiji primjer je **Arduino** projekt, uključuju brzo prototipiranje informacijsko-komunikacijske tehnologije gdje su modeli sklopova licencirani pod **Creative Commons**, a izvorni kodovi su javno dostupni i prilagodljivi od strane korisnika (*ref.60*).

To dovodi do koordinisanog razvoja hardverskih i softverskih rješenja, uz široku i efikasnu podršku mrežnih zajednica, stoga je širok raspon softverskih aplikacija spremnih za upotrebu dostupan na Webu, skraćujući vrijeme razvoja.

U isto vrijeme tehnologija koja se razvija pruža rješenja koja su sve efikasnija u pogledu minimalnih veličina, male potrošnje i napajanja električnom energijom i poboljšanog prijenosa snage, koji omogućavaju prelazak veće udaljenosti smanjenom potrošnjom. Primarna primjena WSN-a je dobijanje mikrometeoroloških parametara na zelenoj masi čokota i na nivou tla. U posljednjim decenijama, kontinuirani inovacijski proces omogućio je razvoj novih vrsta senzora za praćenje fiziologije biljaka, poput dendrometra i senzora protoka soka, za kontinuirano mjerenje stanja vode u biljkama za planiranje navodnjavanja. **Slika 4** prikazuje neke senzore koji se koriste u WSN-u.



**Slika 4.** Neki senzori koji se koriste u bežičnim senzorskim mrežama za proksimalno (blisko) mjerenje u vinogradima.

- (A) Vlažnost tla (Spectrum Technologies Aurora, IL, SAD).  
 (B) Vlažnost lišća (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, SAD).  
 (C) Temperatura grožđa i  
 (D) Dendrometar (GMR Strumenti SAS Scandicci, Italija).  
 (E) Protokol soka (Fruition Sciences Inc., Montpellier, Francuska).

**Praćenje tla.** Važna primjena inovativnih tehnika u preciznom vinogradarstvu je proksimalno nadgledanje varijabilnosti tla, što uključuje upotrebu širokog spektra senzora. Mjerenje prividne električne provodljivosti tla može se otkriti pokretnim platformama opremljenim sa elektromagnetskim senzorima tla i GPS-om za kontinuirane mjere (ref.61,62). Taj parametar je snažno povezan sa mnogim svojstvima tla, poput teksture i dubine, kapaciteta zadržavanja vode, sadržaja organske materije i slanosti.

Senzori koji se koriste za ovu vrstu mjerenja su ili invazivni električni otpori ili neinvazivni senzori elektromagnetske indukcije. Prva vrsta (električni otpor) koristi se za kontrolu otpornosti, a time i provodljivosti određenog volumena tla, generiranja električnih struja i naknadnog mjerenja potencijalnih razlika.

Među dostupnim komercijalnim sistemima najčešći su **Veris 3100** (Veris Technologies Inc, Salina, KS, SAD) i (**ARP**-Automatic Resistivity Profiling) tj. sistem automatskog profilisanja otpora (Geocarta Ltd, Pariz, Francuska). Princip rada senzora elektromagnetske indukcije uključuje generisanje magnetskog polja koje indukuje električnu struju u zemlji, što zauzvrat stvara drugo magnetsko polje srazmjerno provodljivosti tla koja se mjeri senzorom.

Neki uređaji na tržištu su **DualEM** (DualEM, Milton, ON, Kanada) i **EM-31** i **EM-38** (Geonics Ltd, Mississauga, ON, Kanada). Tu su i novorazvijeni senzori za mobilne platforme, za mjerenje pH, jonskog azota i sadržaja kalijuma, za mjerenje u infracrvenom i srednjem infracrvenom spektru, radaru koji prodire u zemlju i radiometrima. Svojstva tla imaju važnu ulogu u uzgoju vinove loze, pa poznavanje prostorne varijabilnosti karakteristika tla unutar vinograda omogućava bolje razumijevanje varijabilnosti fiziološkog odgovora vinove loze.



**Praćenje prinosa.** Mnogi sistemi su razvijeni za nadgledanje vinograda, koji pružaju skining visoke rezolucije sa strane zelene mase čokota u kombinaciji sa GPS sistemom za georeferenciranje podataka. U vezi sa sensorima prinosa, *Zhang* i ostali ističu različite mogućnosti (*ref.63*). Jedan od primjera tih senzora je **GrapeSense** (Lincoln Ventures Ltd, Hamilton, Novi Zeland) koji snima visokofrekventnu digitalnu sliku površine čokota, prikupljajući informacije o visini i gustini zelene mase lišća i lastara čokota uz red.

Ostali sistemi temelje se na multispektralnim sensorima poput **GreenSeeker®** (NTECH Industries Inc, Ukiah, Kalifornija, SAD) i **Cropcircle** (Netherlands Scientific Inc, Lincoln, NE, USA) koji daju informacije za izračunavanje vegetacijskih indeksa, čvrsto koreliranih sa vertikalnom LAI i gustinom sloja lišća. Ovi su senzori dizajnirani za ugradnju na strojeve i traktore (**slika 5**), čime se omogućava prikupljanje prostornih podataka tokom svakodnevnog upravljanja vinogradima.

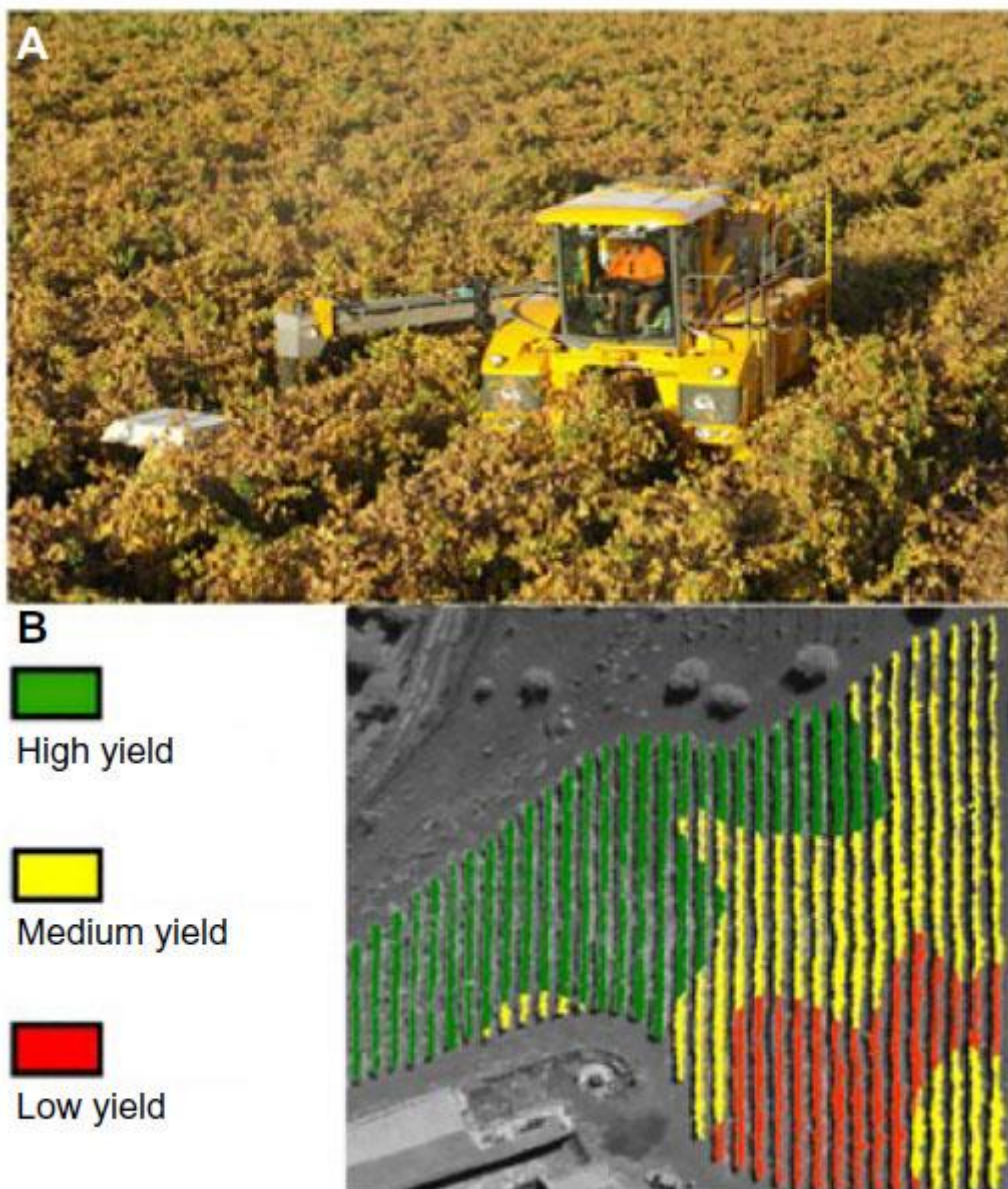
Drugo rješenje u kontinuiranom razvoju je upotreba **LiDAR** senzora, koji mogu pružiti georeferentnu 3D rekonstrukciju svake pojedine biljke i generisati mape prostorne varijabilnosti koje se odnose na volumetrijsku veličinu čokota, izravno korelisanu sa LAI. Zahvaljujući ovim sistemima proksimalnog (bliskog) praćenja, moguće je analizirati prostornu varijabilnost sa većom rezolucijom nego što je to omogućeno radom na daljinu.



**Slika 5.** Trimble® GreenSeeker® multispektralni senzor za nadgledanje čokota, nošen na četverotočkašu (Practical Precision Inc., Tavistock, Kanada) (A) ili traktoru (Avidorhightech SA, Le Mont-Pèlerin, Švajcarska) (B).

**Praćenje prinosa i kvaliteta.** Mnogi sistemi razvijeni su za dobijanje georeferencijalnih podataka o prinosu, posebno integrisani na mehaničkim kombajnim. Na tržištu su sada dostupne različite vrste rješenja kao što su **HarvestMaster Sensor System HM570** (Juniper Systems Inc., Logan, UT, SAD), **Canlink Grapen Yield Monitor 3000GRM** (Farmscan, Bentley, WA, Australija), te **Advanced Technology and Viticulture -ATV** (Advanced Technology Viticulture, Joslin, SA, Australija).

Princip rada sistema HM570 zasnovan je na volumetrijskom mjerenju grožđa na transportnoj traci kombajna; 3000GRM i ATV sistemi izvode direktno mjerenje prevezene težine grožđa pomoću ćelija za opterećenje. Ovi alati daju vingradaru mogućnost mapiranja produktivnosti vinograda sa nikad ranije postignutom rezolucijom (**Slika 6**). Karte prinosa realizovane pomoću ovih senzora predstavljaju izvrstan alat za provjeru efektivnosti upravljačkih praksi primijenjenih u vinogradu.



*Slika 6. Kombajn (GREGOIRE Grupa, Cognac Cedex, Francuska) opremljen sistemom za praćenje prinosa georeferentnim (A) i geografskom karticom vinograda (B).*

Nerazorno praćenje parametara kvalitet grožđa (direktno, bez gnječenja grožđa) temelji se na optičkim senzorima dizajniranim kao "ručni uređaji", instrumentima koje prenosi operator, a koriste se za proksimalna (bliska) georeferentna mjerenja (**slika 7**). Među najvažnijim dostupnim uređajima, **Spectron** (Pellenc SA, Pertuis Cedex, Francuska) je prenosni spektrofotometar sa integrisanim GPS-om, dizajniran za praćenje sazrijevanja grožđa nerazornim mjerenjima parametara u vezi sa kvalitetom grožđa, poput šećera, kiselina i koncentracije antocijanina i sadržaj vode.

**Multipleks** (Force-A, Orsay Cedex, Francuska) je prenosivi optički senzor koji koristi fluorescenciju za kvantificiranje polifenola i sadržaja hlorofila, uz georeferentna nekontaktna mjerenja i na lišću i grožđu (*ref.64*). Obrada prikupljenih podataka omogućava dobijanje pokazatelja (indeksa) koji se odnosi na koncentraciju flavonola, antocijana, hlorofila i ishranu azotom. S obzirom na svoje tehničke specifikacije, ovaj se alat primjenjuje i na pokretnim vozilima koja se koriste u vinogradu.



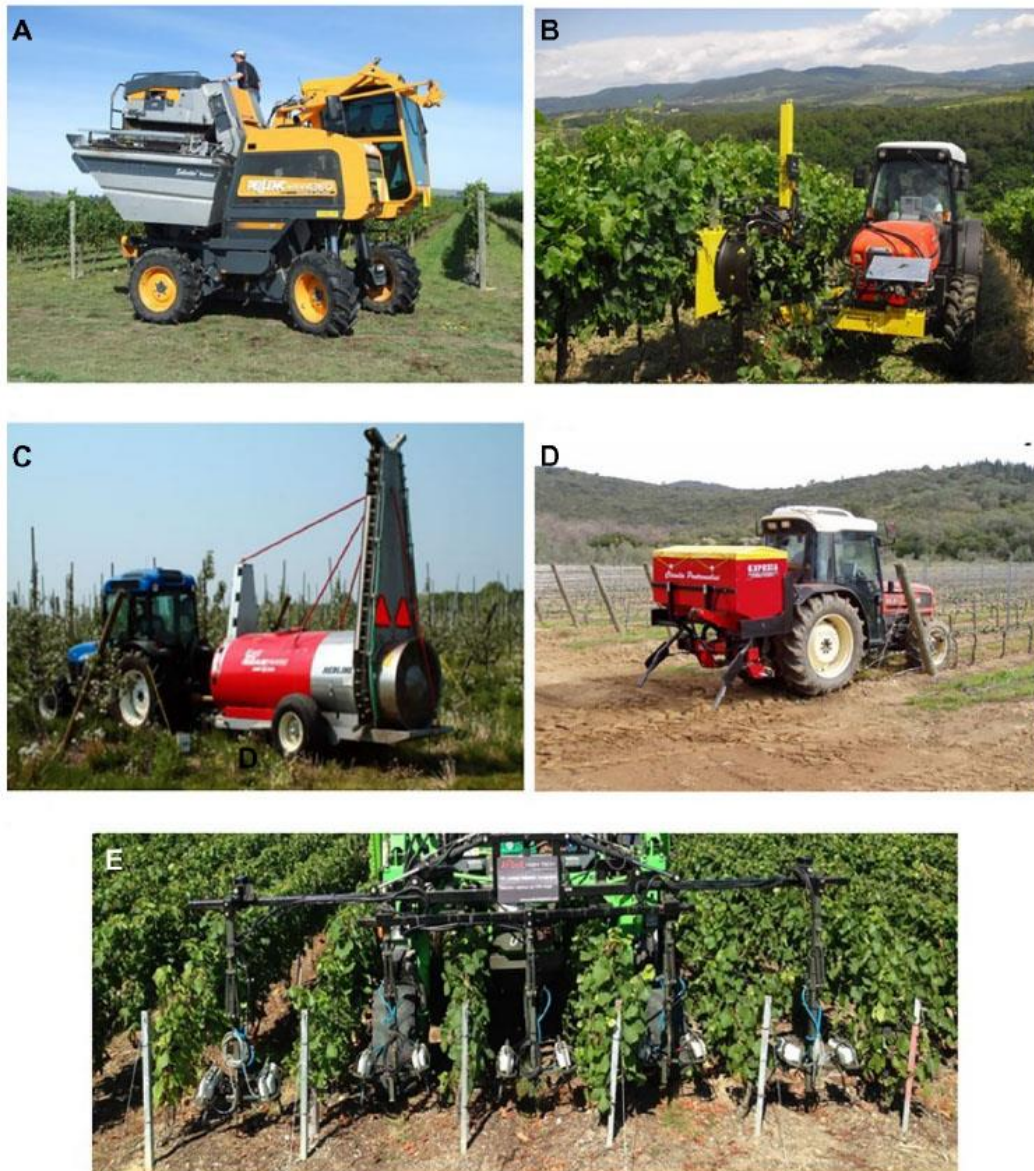
**Slika 7.** Senzori ručnih uređaja Spectron (A) i Multiplex (B) za proksimalnu (blisku, neposrednu) kontrolu kvaliteta grožđa, koji omogućava realizaciju mapa kvaliteta.

**VRT** (Variable rate technology) i **agbot** (agricultural robot). VRT u preciznom vinogradarstvu omogućava razlikovanje agronomskog upravljanja i unošenje doza u vremenu i prostoru. Ova tehnologija koristi softver koji može kombinovati informacije o položaju, dobijene pomoću GPS modula, sa mapama koje se generiraju na recept za svaku određenu operaciju (*ref.65*). Poljoprivredni unosi više se neće primjenjivati kao prosječne količine po hektaru, već prema stvarnim potrebama vinove loze izvedenim iz heterogenosti vinograda.

Istovremeni razvoj standardne elektronske komunikacije u poljoprivrednoj mehanizaciji olakšao je vezu između traktora i opreme. Uloženi su značajni naponi na razvoju međunarodnih standarda za regulisanje komunikacijskih protokola i razmjenu informacija između senzora, pokretača i softvera različitih proizvođača. Istraživanje provedeno na VRT-u istraživalo je mnoga rješenja primjene, uključujući diferenciranu raspodjelu đubriva i pesticida i metoda rezidbe (*ref.66,67*).

Ključni faktori potencijala strategije sa promjenljivom stopom zasnivaju se na razvoju inovativnih tehnologija u oblasti praćenja vegetacije i visoko-performansnih sistema automatizacije. Primjena upravljanja vinogradima specifična za lokaciju ima za cilj napustiti koncept vinograda kao teritorijalne jedinice, te predlaže nivo upravljanja parcelama, pa čak i dijelovima parcele. Sa inženjerskim razvojem, posebno na polju satelitskih navigacijskih sistema, VRT će postati precizniji i jednostavniji za upotrebu, sa nižim troškovima.

**VRT.** Moderne poljoprivredne mašine koriste tehnologije automatizacije kako za kontrolu kretanja unutar vinograda, tako i za brzinu i smjer vožnje i ugao upravljanja, kao i za upravljanje agronomskim operacijama. Napredna tehnologija panoa omogućava uspostavljanje automatskog sistema vođenja koji se temelji na upotrebi GPS-a i senzora blizine (*ref.68*). U isto vrijeme, traktori su projektovani da samostalno obavljaju operacije specifične za lokaciju bez ljudske intervencije, zahvaljujući interpretaciji mapa napravljenih sa sensorima za nadzor montiranim na kontrolnoj tabli, koji mogu nadgledati stanje postrojenja tokom kretanja kroz red, interpretirati informacije i upravljati operacijama u realnom vremenu. Postoji mnogo komercijalnih rješenja za VRT u vinogradima (**slika 8**).



**Slika 8.** Neka automatizovana komercijalna rješenja koja se koriste u preciznom vinogradarstvu.

- (A) Pellenc Australia 600 LM SP selektivni kombajn.
- (B) Tecnovit Mod. 111 S VRT skidač lišća sa promjenjivom brzinom.
- (C) Durand-Wayland SmartSpray selektivni atomizer sa ultrazvučnim sensorima.
- (D) Tecnovit Mod. VRT 150, rasipač đubriva sa varijabilnom brzinom.
- (E) GreenSeeker® sistem za nadgledanje bujnosti za tretmane u varijabilnoj brzini.

Ova tehnologija zadovoljava trenutne potrebe prehrambene industrije, osiguravajući odgovarajuću produktivnost i profitabilnost u vinogradu. Dobijene koristi značajno vode smanjenju rada i ubrzanju operacija. Sistemi navođenja mogu smanjiti radni stres, dok VRT pruža racionalnu upotrebu agronomskih ulaza, sa izravnim uticajem na troškove, kvalitet i održivost okoline.

**Robotika.** Upotreba robotike u preciznom vinogradarstvu još je u fazi prototipa, ali mnogi su projekti već u završnoj fazi razvoja, a neki su već stavljeni na tržište. Profesor *Simon Blackmore*, vodeći stručnjak za preciznu poljoprivredu, rekao je 2014. na Oxford Farming Conference u Velikoj Britaniji da je njegova vizija bila „poljoprivreda sa robotima 2050. godine“ i da su „farmbots“ ili „agbots“ budućnost poljoprivrede (*ref.69*).

Ako su zadnjih godina uloženi važni naponi inovativnih tehnologija u poljoprivredi, naredne godine će imati eksponencijalno povećanje sa rješenjima visokih performansi i smanjenim troškovima. Automatizacija i robotika bit će dostupne malim firmama, postat će raširene, ali ne smijemo zaboraviti da je sva ova tehnologija za praćenje i intervenciju beskorisna bez podrške poljoprivrednog iskustva.

Slijedi pregled robotskih inovacija za precizno vinogradarstvo. Projekt **VineRobot** koji koordiniraju Televisis grupa, na Univerzitetu La Rioja u Logroñu, La Rioja, Španija, dobio je više od dva miliona evra finansiranja od strane Evropske unije (*ref.70*). Cilj projekta je razvoj novog poljoprivrednog robota, opremljenog neinvazivnim senzorskim tehnologijama, kao što su senzori, fluorescencija, multispektralnost, RGB za mašinsku viziju, termički infracrveni i GPS. Sistem je osmišljen za obavljanje posmatranja različitih kritičnih parametara poput prinosa, bujnosti, vodnog stresa i kvaliteta grožđa, a proizvođaču pruža alat za podršku odlučivanju za poboljšanje upravljanja vinogradom (**slika 9A**).



**Slika 9.** Neki prototipovi robota i komercijalna rješenja za precizno vinogradarstvo.

(A) VineRobot.

(B) VINBOT.

(C) Zid-Ye.

(D) VineGuard.

(E) Vitirover.

(F) Robot Vision Robotics Corporation (VRC).

(G) Robotska platforma Forge.

**VINBOT** projekt koristi tehnologiju koju je predložila španska **Robotnik Automation Company** (ref.71). Kompanija je razvila robotsku platformu sa softverom sa otvorenim kodom. Sistem je opremljen senzorima za 3D rekonstrukciju lisne površine i multispektralnim kamerama za mjernje bujnosti čokota, kako bi se pružile važne informacije kao što je procjena produktivnosti. Robot dobija podatke radnom brzinom koja može nadzirati površinu od jedan hektar za sat vremena; može se kretati na padinama do 45°, a pokreće ga električni motor u rasponu od 8 sati dnevno (**slika 9B**).

Robot **Wall-Ye** je proizvod koji je *Christophe Millot* razvio za nadzor u vinogradu (ref.72). Može se samostalno kretati redovima, prikupljajući podatke o svakom čokotu i izrađujući vrlo detaljnu kartu vinograda. Zahvaljujući sistemu praćenja koji se temelji na mnogim optičkim senzorima, ovaj robot ne samo da može izvršavati ispravne pomake unutar vinograda, već vrši i precizno orezivanje, poštujući specifičnu strukturu svakog pojedinog čokota. Wall-Ye ima autonomiju od 12 sati i može orezati oko 600 čokota dnevno. Može se nadgledati i daljinski pomoću aplikacije razvijene za iPad. Tridesetak je već prodano francuskim vinogradarima, po tržišnoj cijeni od oko 25.000 evra (**slika 9C**).

Univerzitet Ben-Gurion iz Negev, u Beer Shevi, Izrael, razvio je prototip dizajniran za folijarne aplikacije (ref.73). Robot, nazvan **VineGuard**, može se kretati unutar vinograda koristeći složeni skup senzora, sa sistemom pokreta optimiziranim za grubi teren. Pored ove aplikacije, u razvoju je i robotska ruka dizajnirana za berbu grožđa koja koristi umjetnu inteligenciju za vođenje robota u nizu operacija, poput lokalizacije, procjene stanja sazrijevanja te odabira i skidanja grožđa sa čokota (**Slika 9D**).

**Vitirover** je rezultat projekta koji je osmislio i producirao *Xavier David Beaulieu*, vlasnik Chateau Coutet (Saint Emilion, Francuska), a dobio je nagradu na Velikoj nagradi inovacija 2012. u salonu Vinitech-Sifel (ref.74). Ovaj mali robot je u stanju da kosi travu na udaljenosti 2–3 cm od osnove čokota, u potpunosti poštujući biljku, osiguravajući visinu košenja između 4 i 10 cm. Robot ima četiri pogonska točka, koja mu omogućuju rad na strmim vinogradima do maksimalnog nagiba od 15%.

Sistem napajanja je potpuno samostalan zahvaljujući solarnom panelu; međutim, radna brzina je mala (500 m/h), tako da je za pokrivanje 1 ha vinograda potrebno oko 100 sati rada. Robot radi samostalno na osnovu GPS koordinata, ali može ga kontrolisati i računar ili pametni telefon zahvaljujući jednostavnoj aplikaciji kompatibilnoj sa iPhone, BlackBerry i Android. Iako je mašina u stanju da radi konstantno, vreme potrebno za obradu jednog hektara ostaje veliko, pa je i funkcija relativno niskog troška (oko 5.000 €). Proizvođači preporučuju korištenje više jedinica za efektivno upravljanje vinogradima (**slika 9E**).

Američka kompanija **Vision Robotics Corporation** (VRC) razvila je prototip u stanju da izvede precizno orezivanje, pomoću optičkih senzora koji izvršavaju 3D rekonstrukciju strukture čokota (ref.75). Robot identifikuje tačke intervencije u skladu sa specifikacijama koje daje kombajn, a izvodi vrlo detaljnu rezidbu za rezanje pomoću dva para hidrauličnih makaza. Prototip je još uvijek u eksperimentalnoj fazi, ali očekuje se da će konačni proizvod biti na tržištu 2016. godine po osnovnoj cijeni od oko 120.000 evra (**slika 9F**).

Prototip robotskog traktora razvio je **Autonomous Solutions** (ASI) (ref.76). Robotska platforma **Forge** može se pokretati daljinski ili biti potpuno autonomna, ali bit će dostupna i u verziji kabine za prijevoz operatera na postolju. Pravi je traktor sposoban podržati poljoprivredni alat koji se obično koristi u upravljanju vinogradima. Faza testiranja ovog prototipa je gotovo završena. Planira se na tržištu do kraja 2015. godine, a cijena se kreće između 60.000 i 120.000 evra, ovisno o konfiguraciji (**slika 9G**).

**Zaključak.** Cilj ovog pregleda je izvijestiti vinogradare o stanju tehnike u području preciznog vinogradarstva. Posljednjih godina ove su tehnologije imale brzi razvoj i veću primjenjivost zbog manjih troškova, jednostavnosti upotrebe i svestranosti. Uopšteno, primjena ovih inovativnih rješenja je smanjenje troškova u proizvodnji grožđa, kroz poboljšanje kvaliteta grožđa i proizvodnje grožđa, sljedivost procesa i održivost sredine uz racionalnu upotrebu hemijskih sredstava.

Brze inovacije u tehnologijama posmatranja u neposrednoj blizini uključuju optimizaciju sistema za podršku odlučivanju (DSS-Decision Support System) i na taj način omogućavaju provođenje strategija brze intervencije. Međutim, bit će potrebno odabrati najbolju platformu za daljinsko istraživanje, za svaku vrstu aplikacije.

Čak i ako su sateliti i avioni odlični alati za izradu karata na recept za primjenu varijabilnih stopa, satelit već ima ograničenja zbog niske rezolucije za precizno vinogradarstvo, a avioni podrazumijevaju vrlo visoke operativne troškove. U isto vrijeme, UAV platforma predstavlja visoku rezoluciju tla, veliku fleksibilnost upotrebe i pravovremenu intervenciju, ali ekonomski je izvediva samo za male površine (oko 10 ha) i eksperimentisanje. VRT-ovi su dobro razvijeni i naširoko se koriste, posebno u aplikaciji hemijskih sredstava.

Trenutno se široko primjenjuju tehnologije daljinskog i neposrednog (bliskog) praćenja i mašine sa promjenjivom brzinom, dok se robotika o kojoj je riječ u ovom pregledu nalazi u eksperimentalnoj fazi. Uopšteno, postoje problemi koji treba savladati prije nego što se dogodi široko usvajanje ovih tehnologija, a koje su povezane ne samo sa potrebom za daljnjim istraživanjem potencijala ovih alata, nego prije svega sa sposobnostima poljoprivrednih imanja da obuče tehničare koji su sposobni razumjeti i pravilno koristiti ovu vrstu tehnologije.

---

## References

1. Bramley RGV, Proffitt APB, Corner RJ, Evans TD. Variation in grape yield and soil depth in two contrasting Australian vineyards. Australian and New Zealand Second Joint Soils Conference; December 3–8, 2000; Lincoln, New Zealand. 29–30.
2. Bramley R, Pearse B, Chamberlain P. Being profitable precisely – a case study of precision viticulture from Margaret River. *Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker*. 2003;473a:84–87.
3. Bramley RGV. Progress in the development of precision viticulture – variation in yield, quality and soil properties in contrasting Australian vineyards. In: Currie LD, Loganathan P, editors. *Precision Tools for Improving Land Management: Proceedings of the Workshop held by the Fertilizer and Lime Research Centre in Conjunction with the NZ Centre for Precision Agriculture at Massey University, Palmerston North, New Zealand*, 14–15 February, 2001:25–43.
4. Bramley RGV, Williams SK. A protocol for winegrape yield maps. Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture. June 18–21, 2001; Montpellier, France. 773–778.
5. Bramley RGV, Lamb DW. Making sense of vineyard variability in Australia. Proceedings IX Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología. November 24–28, 2003; Santiago, Chile. 35–54.
6. Bramley RGV, Hamilton RP. Understanding variability in winegrape production systems. 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2004;10:32–45.
7. Taylor JA. *Digital Terroirs and Precision Viticulture: Investigations into the Application of Information Technology in Australian Vineyards* [doctoral thesis]. Sydney: University of Sydney; 2004.
8. Tisseyre B, Mazzoni C, Ardoin N, Clipet C. Yield and harvest quality measurement in precision viticulture – application for a selective vintage. Proceedings of the 3rd European Conference on Precision Agriculture. June 18–21, 2001; Montpellier, France. 133–138.
9. Arnó J, Bordes X, Ribes-Dasi M, Blanco R, Rosell JR, Esteve J. Obtaining grape yield maps and analysis of within-field variability in Raimat (Spain). Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture June 8–11, 2005; Uppsala, Sweden. 899–906.
10. Arnó J, Martínez-Casasnovas JA, Blanco R, Bordes X, Esteve J. Viticultura de precisión en Raimat (Lleida): experiencias durante el período 2002–2004 [Precision viticulture in Raimat (Lleida): experiences during the period 2002–2004]. *ACE: Revista de Enología*. 2005;64. Available from [http://www.acenologia.com/ciencia73\\_01.htm](http://www.acenologia.com/ciencia73_01.htm) [April 20, 2008]. Spanish.

11. Arnó J. *Variabilidad Intraparcelaria en Viña y uso de Sensores Láser en Viticultura de Precisión* [doctoral thesis]. [Laser sensor in Precision Viticulture to describe intra-field variability in the vineyard] Lleida: University of Lleida; 2008. Spanish.
12. Penn C. *Grape growers gravitating toward space age technologies*. In Wine Business Monthly, Wine Communications Group, Sonoma, CA, USA. 1999.
13. Carothers J. Imagery technology meets vineyard management. *Practical Winery and Vineyard*. 2000;21(1):54–62.
14. Aho JE. NASA providing new perspectives on vineyard management. *Vineyard and Winery Management*. 2002;28(4):74–77.
15. Bramley R. Smarter thinking on soil survey. *Australian and New Zealand Wine Industry Journal*. 2003;18(3):88–94. Available from <http://iwrdb.org/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=30800>.
16. Smart RE. Principles of grapevine canopy management microclimate manipulation with implications for yield and quality. *American Journal of Enology and Viticulture*. 1985;36(3):230–239. Available from <http://www.ajevonline.org/content/36/3/230.full.pdf>.
17. Proffit T, Bramley R, Lamb D, Winter E. *Precision Viticulture – A New Era in Vineyard Management and Wine Production*. Winetitles Pty Ltd., Ashford, South Australia; 2006:1–90.
18. Vieri M, Lisci R, Rimediotti M, Sarri D. The innovative RHEA airblast sprayer for tree crop treatment. Proceedings of the 1st International Conference on Robotics and Associated High-Technologies and Equipment for Agriculture (RHEA'12), Pisa, Italy, Sept 2012. 93–98.
19. Hall A, Lamb DW, Holzappel B, Louis J. Optical remote sensing applications in viticulture – a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2002;8:36–47.
20. Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Fraden SC, Marcanti EP, Becker MA, editors. *3rd ERTS-1 Symposium. December 10–14, 1973; NASA SP-351, Washington DC, U S A. 309–317*. <ftp://landsat-legacy.gsfc.nasa.gov/outgoing/documents/LL-36976330531.pdf>.
21. Zarco-Tejada PJ, Miller JR, Mohammed GH, Noland TL, Sampson PH. Scaling-up and model inversion methods with narrow-band optical indices for chlorophyll content estimation in closed forest canopies with hyperspectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2001;39:1491–1507.
22. Tisseyre B, Ardoin N, Sevilla F. Precision viticulture: precise location and vigour mapping aspects. Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture; 1999; Odense, Denmark. 319–330.
23. Dry PR. Canopy management for fruitfulness. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2000;6:109–115.
24. Haselgrove L, Botting D, van Heeswijck R, et al. Canopy microclimate and berry composition: the effect of bunch exposure on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L cv Shiraz grape berries. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2000;6:141–149.
25. Petrie PR, Trought MCT, Howell GS. Growth and dry matter partitioning of Pinot Noir (*Vitis vinifera* L) in relation to leaf area and crop load. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2000;6:40–45.
26. Bhatti AU, Mulla DJ, Frazier BE. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. *Remote Sens Environ*. 1991;37:181–191.
27. Mulla DJ. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*. 2013;114(4):358–371.
28. Marçal ARS, Cunha M. Vineyard monitoring in Portugal using multi-sensor satellite images. In: Gomasasca MA, editor. *Proceedings of the 27th EARSeL Symposium, Geoinformation in Europe*. Rotterdam Millpress; 2007:327–335.
29. Marçal ARS, Gonçalves JA, Gonçalves H, Cunha M. Analysis of the temporal signature of vineyards in Portugal using vegetation. In: Bochenek Z, editor. *Proceedings of the 26th EARSeL Symposium, New Developments and Challenges in Remote Sensing*. Rotterdam: Millpress; 2007:377–384.
30. Berni J, Zarco-Tejada PJ, Suárez L, Fereres E. Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2009;47:722–738.
31. Johnson LF, Herwitz S, Dunagan S, Lobitz B, Sullivan D, Slye R. Collection of ultra high spatial and spectral resolution image data over California vineyards with a small UAV. In: *Proceedings of 2003 International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE). November 10–14, 2003; Honolulu, HI, U S A. 3–5*. East-West Center, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing and International Center for Remote Sensing of Environment, editor. International Center for Remote Sensing of Environment 2003.
32. Scholasch T, Dawson T, Bellon-Maurel V, Rubin Y. Role of vapor pressure deficit and soil moisture at different depths on stomatal conductance regulation. Insufficiency of midday stem water potential for explaining stomatal conductance (Cabernet-Sauvignon- Napa Valley). Proceedings of the Fruits and Nuts and Vegetable Production Engineering TIC (Frutic05) Conference. 2005; Montpellier, France. 279–288.



33. Gago J, Martorell S, Tomás M, et al. High-resolution aerial thermal imagery for plant water status assessment in vineyards using a multicopter-RPAS. In: *Proceedings of 2013 VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas*. Ayuga, F, Masaguer, A, Mariscal Ignacio, Villarroel M, Ruiz-Altisent M, Riquelme F, Correa E, editors. Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid. August 26–29, 2013; Madrid, Spain. 1–6.
34. Baluja J, Diago MP, Balda P, et al. Assessment of vineyard water status variability by thermal and multispectral imagery using an unmanned aerial vehicle (UAV). *Irrigation Science*. 2012;30:511–522.
35. Zarco-Tejada PJ, Miller JR, Mohammed GH, Noland TL, Sampson PH. Vegetation stress detection through chlorophyll a + b estimation and fluorescence effects on hyperspectral imagery. *Journal of Environmental Quality*. 2002;31(5):1433–1441.
36. Santesteban LG, Tisseyre B, Royo JB, Guillaume S. Is it relevant to consider remote sensing information for targeted plant monitoring? Proceedings of the 7th International Terroir Congress. 2008; Nyon, Suisse. 469–474.
37. Acevedo-Opaz C, Tisseyre B, Guillaume S, Ojeda H. Test of NDVI information for a relevant vineyard zoning related to vine water status. Proceedings of 6th ECPA-European Conference on Precision Agriculture. June 3–6, 2007; Skiathos, Greece. 547–554.
38. Matese A, Primicerio J, Di Gennaro SF, Fiorillo E, Vaccari FP, Genesio L. Development and application of an autonomous and flexible unmanned aerial vehicle for precision viticulture. *Acta Horticulturae*. 2013;978:63–69.
39. Lamb DW. The use of qualitative airborne multispectral imaging for managing agricultural crops – a case study in south-eastern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 2000;40(5):725–738.
40. Proffitt APB, Pearse B. Adding value to the wine business precisely: using precision viticulture technology in Margaret River. *Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker*. 2004;491:40–44. Available from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1048626>
41. Lamb DW, Weedon MM, Bramley RGV. Using remote sensing to predict phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard: timing observations against vine phenology and optimising image resolution. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2004;10:46–54. Available from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1755-0238.2004.tb00007.x/full>. Accessed April 28, 2015.
42. Bramley RGV, Proffitt APB, Hinze CJ, Pearse B, Hamilton RP. Generating benefits from precision viticulture through differential harvest. Proceedings of 5th European Conference on Precision Agriculture. 2005; Uppsala. 891–898.
43. Colomina I, Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. *ISPRS J Photogramm Remote Sens*. 2014;92:79–97.
44. European RPAS Steering Group (ERSG). Roadmap for the Integration of Civil Remotely-Piloted Aircraft Systems into the European Aviation Systems: Final Report from the European RPAS Steering Group. ERSG; 2013.
45. Federal Aviation Administration. *Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System (NAS) Roadmap*. 1st ed. Washington, DC: US Department of Transportation, Federal Aviation Administration; 2013.
46. van Blyenburgh P, editor. *RPAS: Remotely Piloted Aircraft Systems: The Global Perspective*. 2013/2014. 11th ed. Paris: Blyenburgh and Co; 2013.
47. Montero FJ, Meliá J, Brasa A, Segarra D, Cuesta A, Lanjeri S. Assessment of vine development according to available water resources by using remote sensing in La Mancha, Spain. *Agricultural Water Management*. 1999;40:363–375.
48. Arkun S, Honey F, Johnson L, Lamb D, Lieff W, Morgan G. 2000. *Airborne Remote Sensing of the Vine Canopy. Vineyard Monitoring and Management Beyond 15–26, 2000*. Wagga Wagga: Cooperative Research Centre for Viticulture, National Wine and Grape Industry Centre; 2001. Available from <http://www.crcv.com.au/research/programs/one/finalreport.pdf>.
49. Johnson LF, Roczen DE, Youkhana SK, Nemani RR, Bosch DF. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2003;38:33–44.
50. Ortega-Farias S, Rigetti T, Sasso F, Acevedo C, Matus F, Moreno Y. Site-specific management of irrigation water in grapevines. Proc IX Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología. November 24–28, 2003; Santiago, Chile. 55–71.
51. Acevedo-Opazo C, Tisseyre B, Guillaume S, Ojeda H. The potential of high spatial resolution information to define within-vineyard zones related to vine water status. *Precision Agriculture*. 2008;9(5):285–302.
52. Zarco-Tejada PJ, Berjón A, López-Lozano R, et al. Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sens Environ*. 2005;99:271–287.
53. Martín P, Zarco-Tejada PJ, González MR, Berjón A. Using hyperspectral remote sensing to map grape quality in ‘Tempranillo’ vineyards affected by iron deficiency chlorosis. *Vitis*. 2007;46(1):7–14.

54. Ruiz-Garcia L, Lunadei L, Barreiro P, Robla JI. A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends. *Sensors (Basel)*. 2009;9:4728–4750.
55. Burrell J, Brooke T, Beckwith R. Vineyard computing: sensor networks in agricultural production. *IEEE Pervasive Comput*. 2004;3:38–45.
56. Beckwith R, Teibel D, Bowen P. Report from the field: results from an agricultural wireless sensor network. Proceedings of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks. Nov 2004; Tampa, FL, USA. 471–478.
57. Matese A, Vaccari FP, Tomasi D, et al. CrossVit: enhancing canopy monitoring management practices in viticulture. *Sensors (Basel)*. 2013;13(6):7652–7667.
58. Vellidis G, Tucker M, Perry C, Kvien C, Bednarz C. A real-time wireless smart sensor array for scheduling irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2008;61(1):44–50.
59. Fisher DK, Kebede H. A low-cost microcontroller-based system to monitor crop temperature and water status. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2010;74(1):168–173.
60. Arduino [homepage on the Internet]. The Arduino Project. Available from: <http://arduino.cc/>. Accessed February 10, 2015.
61. Corwin DL, Lesch SM. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity. Part II. Case study. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2005;46:135–152.
62. Samouëlian A, Cousin I, Tabbagh A, Bruand A, Richard G. Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil and Tillage Research*. 2005;83:173–193.
63. Zhang X, Smith KA, Worsnop DR, Jimenez J, Jayne JT, Kolb CE. A numerical characterization of particle beam collimation by an aerodynamic lens-nozzle system. Part I. An individual lens or nozzle. *Aerosol Sci Technol*. 2002;36:617–631.
64. Cerovic ZG, Moise N, Agati G, Latouche G, Ben Ghazlen N, Meyer S. New portable optical sensors for the assessment of winegrape phenolic maturity based on berry fluorescence. *J Food Compost Anal*. 2008;21(8):650–654.
65. Escolà A, Camp F, Solanelles F, et al. Variable dose rate sprayer prototype for tree crops based on sensor measured canopy characteristics. Proceedings of VI ECPA-European Conference on Precision Agriculture. June 3–6, 2007; Skiathos, Greece. 563–571.
66. Gil E, Escolà A, Rosell JR, Planas S, Val L. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. *Crop Prot*. 2007;26(8):1287–1297.
67. Pérez-Ruiz M, Gonzalez-de-Santos P, Ribeiro A, et al. Highlights and preliminary results for autonomous crop protection. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015;110:150–161.
68. Vieri M, Sarri D, Rimediotti M, Perria R, Storchi P. The new architecture in the vineyard system management for variable rate technologies and traceability. *Acta Horticulturae*. 2013;978:47–53.
69. Blackmore S. A vision of farming with robots in 2050. Address to the Oxford Farming Conference. January 8 2014. Oxford, UK. <http://www.ofc.org.uk/videos/2014/vision-farming-robots-2050>Oxford Farming Conference.
70. VineRobot [homepage on the Internet]. The VineRobot project coordinated by Televisis group, at the University of La Rioja in Spain. Available from: <http://www.vinerobot.eu/>. Accessed February 10, 2015.
71. Robotnik [homepage on the Internet]. Valencia: Robotnik Automation SLL Available from: <http://www.robotnik.eu/>. Accessed February 10, 2015.
72. Wall-ye softwares and robots [homepage on the Internet]. Available from: <http://www.wall-ye.com/>. Accessed February 10, 2015.
73. Robotics.bgu.ac.il [homepage on the Internet]. The VineGuard project. Available from: [http://robotics.bgu.ac.il/index.php/Development\\_of\\_an\\_Autonomous\\_vineyard\\_sprayer](http://robotics.bgu.ac.il/index.php/Development_of_an_Autonomous_vineyard_sprayer). Accessed February 10, 2015.
74. Vitirover micro winery robotics [homepage on the Internet]. Saint-Émilion: Vitirover. Available from: <http://www.vitirover.com/>. Accessed February 10, 2015.
75. Vision Robotics Corporation [homepage on the Internet]. San Diego, CA: Vision Robotics Corporation (VRC). Available from: <http://www.visionrobotics.com/>. Accessed February 10, 2015.
76. ASI [homepage on the Internet]. Mendon, UT: Autonomous Solutions, Inc. Available from: <http://www.asirobots.com/>. Accessed February 10, 2015.