Korišćenje veštačke inteligencije za upravljanje održivom tranzicijom u vinogradarstvu „STIV“

MODUL 3: Zelena i energetska tranzicija u vinogradarstvu

Ovaj modul istražuje ključne strategije održivosti u vinogradarstvu, od regenerativnog upravljanja zemljištem i efikasnog korišćenja vode, do očuvanja biodiverziteta i odgovorne upotrebe energije. Analiziraju se inovativne tehnologije i agroekološke prakse koje smanjuju ekološki otisak i povećavaju otpornost vinograda na klimatske promene. Cilj je da se razume kako zelene prakse postaju ključni stub konkurentnog i održivog vinogradarstva, usklađenog sa Evropskim zelenim dogovorom.

Pravna napomena

Sufinansirano od strane Evropske unije. Međutim, stavovi i mišljenja izneta u ovom dokumentu isključivo su stavovi autora i ne odražavaju nužno stavove Evropske unije ili Izvršne agencije za obrazovanje i kulturu (EACEA). Ni Evropska unija ni EACEA ne mogu se smatrati odgovornim za njih.

Datum: 20/02/2026

STIV konzorcijum

université de BORDEAUX

CROPT

FONDAZIONE COMUNITARIA DI AGRIGENTO E TRAPANI

ESCUELA DE VITICULTURA Y ENOLOGÍA FÉLIX JIMÉNEZ DE REQUENA

LaUNIÓ Llauradora i Ramadera

Co-funded by the European Union

Еразмус+ Обогаћује животе, шири видике.

Sadržaj

1. Zelene prakse u vinogradarstvu: osnove i strategije 3
1.1. Održivo upravljanje zemljištem u vinogradarstvu 3
1.2. Efikasno korišćenje vode i tehnologije navodnjavanja u održivom vinogradarstvu 6
1.3. Upravljanje biodiverzitetom u vinogradu 10
1.4. Održivo korišćenje energije u vinogradima 14
1.4. Valorizacija orezanih ostataka i biomase iz vinograda 19
2. Energetska tranzicija u vinskoj industriji 23
2.1. Integracija obnovljivih izvora energije u vinskoj industriji 23
2.2. Planiranje i implementacija energetskih sistema u vinarijama 28
2.3. Strategije za smanjenje ugljeničnog otiska u proizvodnji vina 30
2.4. Digitalni alati za praćenje ugljeničnog otiska i potrošnje energije 33
2.5. Energetski kooperativizam u vinogradarskim zajednicama 35
3. Studije slučaja održivog vinogradarstva 42
3.1. Primeri uspešne energetske tranzicije i održivog vinogradarstva 42
3.2. Komparativna analiza održivih modela u vinogradarstvu 44
3.3. Ekonomski i ekološki uticaj energetske tranzicije na vinarije 47
Izvori 50
Aneks I – Pitanja za proveru znanja 53
Aneks II – Didaktička aktivnost: „Dizajniraj održiv vinograd“ 55

1. Zelene prakse u vinogradarstvu: osnove i strategije

Prelazak na održivo vinogradarstvo zahteva sveobuhvatan pristup koji obuhvata sve komponente proizvodnog ekosistema. Vinograd, kao agroekosistem, zavisi od zdravlja zemljišta, efikasnog korišćenja vode, očuvanja biodiverziteta i odgovornog upravljanja energijom. Ova četiri međusobno povezana stuba omogućavaju smanjenje uticaja proizvodnje vina na životnu sredinu, povećanje otpornosti na klimatske promene i dugoročno očuvanje kvaliteta vina.

1.1. Održivo upravljanje zemljištem u vinogradarstvu

Održivo upravljanje zemljištem predstavlja jedan od ključnih stubova zelene tranzicije u vinogradarstvu. Zemljište nije samo fizička podloga za vinovu lozu, već i živ ekosistem koji reguliše plodnost, vodni ciklus, mikrobiološku raznovrsnost i otpornost useva na klimatske promene (Bavaresco et al., 2016). U tom kontekstu, konvencionalne prakse zasnovane na intenzivnoj obradi zemljišta, prekomernoj upotrebi hemijskih đubriva i sintetičkih herbicida pokazale su negativne efekte, kao što su sabijanje zemljišta, gubitak organske materije i smanjenje biodiverziteta (Morlat & Symoneaux, 2008). Kao odgovor na ove izazove, neophodno je uvođenje regenerativnih i održivih strategija koje unapređuju zdravlje zemljišta i jačaju vinogradarske ekosisteme.



Značaj zdravlja zemljišta u vinogradarstvu

Zemljište deluje kao rezervoar hranljivih materija i vode, reguliše razmenu gasova i predstavlja stanište mikroorganizama koji su ključni za mineralizaciju i dostupnost hraniva (Tautges et al., 2019). Nedavna istraživanja pokazala su da degradacija zemljišta u vinogradarskim regionima, izazvana prekomernom obradom i gubitkom organske materije, smanjuje sposobnost zemljišta da zadrži vodu, čime se povećava ranjivost vinograda na sušu (Van Leeuwen et al., 2019). Pored toga, fizička struktura zemljišta direktno utiče na bujnost vinove loze, kvalitet grožđa i, samim tim, na senzorne karakteristike vina (Bordelon et al., 2020).

Zelene pokrovne kulture: ključna praksa

Primena vegetacionih pokrova u vinogradu predstavlja jednu od najefikasnijih strategija za unapređenje zdravlja zemljišta. Stalni ili privremeni pokrovi smanjuju eroziju, poboljšavaju infiltraciju vode i doprinose vezivanju ugljenika, čime ublažavaju klimatske promene (Celette et al., 2008). Takođe podstiču povećanje organske materije i mikrobiološke aktivnosti, što su ključni elementi plodnosti zemljišta (Abad et al., 2021).

Na primer, u mediteranskim vinogradima, setva leguminoznih biljaka (detelina, grahorica) kao pokrovnih kultura pokazala je značajno povećanje sadržaja dostupnog azota, čime se smanjuje zavisnost od sintetičkih đubriva (Ruiz-Colmenero et al., 2013). Osim toga, pokrovne kulture doprinose funkcionalnoj biodiverzitetu, obezbeđujući staništa za korisne insekte koji učestvuju u biološkoj kontroli štetočina (Garcia et al., 2018).



Slika 1. Vegetacioni pokrov u vinogradu. *Izvor: La Rioja Alta*

Smanjena obrada zemljišta i minimalna intervencija

Intenzivna obrada zemljišta dovodi do razbijanja zemljišnih agregata, gubitka poroznosti i smanjenja sadržaja organske materije, čime se ubrzavaju procesi erozije (Prosdocimi et al., 2016). Nasuprot tome, prakse smanjene ili nulte obrade zemljišta afirmisale su se kao održive alternative koje čuvaju strukturu zemljišta, poboljšavaju infiltraciju vode i smanjuju gubitak ugljenika (Novara et al., 2019).

Studija sprovedena u vinogradima u Alto Monferrato (Italija) pokazala je da kombinacija vegetacionog pokrova i smanjene obrade značajno smanjuje površinsko oticanje i eroziju zemljišta, kao i da poboljšava stabilnost agregata i infiltraciju u poređenju sa ogoljenim zemljištem (Biddoccu et al., 2016). Takođe, noviji pregledi

ukazuju da upotreba zeljastih pokrovnih kultura u vinogradima može smanjiti gubitke zemljišta za 30% do 70%, u zavisnosti od vrste biljaka i klimatskih uslova (Abad et al., 2021; SARE, 2022). Slično tome, istraživanja na nivou Evrope potvrđuju da minimalna obrada ne samo da doprinosi očuvanju strukture zemljišta, već i smanjuje potrošnju energije i emisije povezane sa upotrebom poljoprivredne mehanizacije (López-Vicente et al., 2020).



Slika 2. Upotreba vinske komine za proizvodnju biođubriva.

Prakse za poboljšanje zadržavanja vode

U uslovima sve češćih ekstremnih vremenskih pojava i smanjene dostupnosti vode, povećanje kapaciteta zemljišta za zadržavanje vode postaje od ključnog značaja. Upotreba vegetacionih pokrova u vinogradima poboljšava strukturu zemljišta, povećava njegovu poroznost i omogućava bolju infiltraciju i zadržavanje vode (Morlat & Jacquet, 2003). Takođe, primena organskog malča - kao što su slama ili biljni ostaci - pomaže u očuvanju površinske vlage smanjenjem isparavanja i povećanjem dostupne vode, naročito u polusušnim mediteranskim agroekosistemima (Hueso-González et al., 2016; Wikipedia, n.d.).

Primeri i sertifikacije

Brojne vinarije primenjuju ove prakse u okviru sertifikata kao što su **„Sustainable Winegrowing“** (Kalifornija) ili **„HVE - Haute Valeur Environnementale“** (Francuska), koji promovišu održivo upravljanje zemljištem. U Španiji, projekti poput **„Viñas Vivas“**

pokazali su smanjenje upotrebe herbicida za 40% zahvaljujući primeni vegetacionog pokrova i biođubrenja (MAPA, 2022).

1.2. Efikasno korišćenje vode i tehnologije navodnjavanja u održivom vinogradarstvu

Voda je jedan od najograničavajućih resursa u vinogradarstvu, posebno u mediteranskim regionima gde su padavine neredovne, a toplotni talasi sve učestaliji usled klimatskih promena (Ollas et al., 2019). U tom kontekstu, efikasno korišćenje vode nije samo agronomski zahtev, već i etička i regulatorna obaveza kako bi se obezbedila održivost vinograda (Jones et al., 2010). Efikasno upravljanje vodom podrazumeva primenu vode u odgovarajućoj količini, u pravom trenutku i na pravom mestu, uz izbegavanje gubitaka usled isparavanja, dubokog procenjivanja ili površinskog oticanja (Allen et al., 1998).



Slika 3. Sistem kap po kap za navodnjavanje. *Izvor: Lena Ti*

Značaj održivog upravljanja vodom

Vinova loza se smatra biljkom koja je umereno tolerantna na sušu, ali jak vodni stres tokom faza kao što su cvetanje i zametanje plodova može značajno smanjiti prinos i kvalitet grožđa (Medrano et al., 2015). Međutim, kontrolisani vodni deficit može poboljšati parametre kao što su koncentracija antocijana i intenzitet boje vina (Intrigliolo & Castel, 2011). Pored toga, primena pametnih sistema za navodnjavanje koji kombinuju tehnike kao što su regulisani deficit navodnjavanja (RDI), senzori, modeli i daljinske tehnologije sve je zastupljenija u područjima sa ograničenim vodnim resursima, čime se unapređuje upravljanje vodom i njena efikasnost korišćenja (Mirás-Avalos et al., 2021).

Ključne tehnologije za efikasno korišćenje vode

a) Kap po kap i podzemno navodnjavanje

Navodnjavanje kap po kap predstavlja najrasprostranjeniju tehniku u savremenom vinogradarstvu zbog visoke efikasnosti u dopremanju vode direktno do zone korena, uz minimalne gubitke usled isparavanja, procenjivanja i površinskog oticanja. U zemljama poput Španije, posebno u sušnim regionima kao što je Kastilja-La Manča, ovaj sistem je široko primenjen. Takođe, podzemno navodnjavanje (SDI) ili varijante poput direktnog navodnjavanja zone korena pokazuju dodatna poboljšanja u efikasnosti korišćenja vode i prinosu; na primer, studija „Optimization of Vineyard Water Management: Challenges, Strategies, and Perspectives“ iz 2021. godine zabeležila je povećanje proizvodnje od 9–12% i efikasnosti korišćenja vode od 9-11% u poređenju sa površinskim navodnjavanjem.

b) Senzori vlažnosti i vodnog potencijala

Uvođenje senzora vlažnosti zemljišta, kao što su tenziometrijski, kapacitivni ili TDR (time domain reflectometry), omogućava praćenje zapreminskog sadržaja vode u realnom vremenu i unapređuje planiranje navodnjavanja. Nedavna istraživanja ističu da integracija ovih alata u modele vodnog bilansa doprinosi optimizaciji potrošnje vode, smanjenju viškova i gubitaka usled procenjivanja ili oticanja (Jones, 2004).

Pored toga, fiziološke tehnologije kao što su senzori protoka soka pružaju direktne informacije o potrebama biljke za vodom. Ovi sistemi omogućavaju rano otkrivanje stresnih stanja pre nego što dođe do smanjenja fotosinteze ili prinosa, čime obezbeđuju precizniju osnovu za donošenje odluka u upravljanju navodnjavanjem (Kumar, 2022; Jones, 2004).

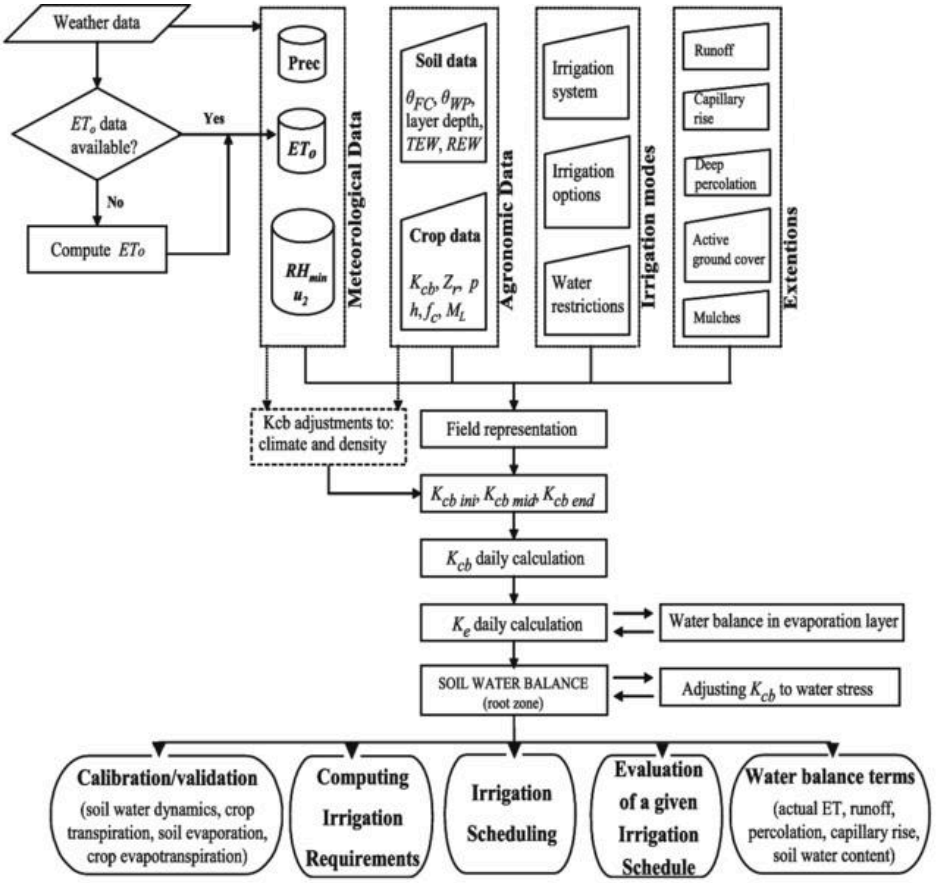


Slika 4. Senzor protoka soka. Izvor: Agronic

c) Modeli vodnog bilansa i DSS sistemi

Upotreba modela kao što je FAO-56 predstavlja osnovu za procenu evapotranspiracije vinograda, kroz integraciju klimatskih parametara (ET_0), koeficijenata useva i faktora vodnog stresa (Allen et al., 1998). Napredni modeli poput AquaCrop pokazali su svoju korisnost u vinogradarstvu: u vinogradima za proizvodnju stonog grožđa u Meksiku, model je preporučio količine vode za navodnjavanje približno 50% manje od onih koje tradicionalno primenjuju proizvođači, što je rezultiralo povećanjem produktivnosti vode za oko 45% (Er-Raki, 2024).

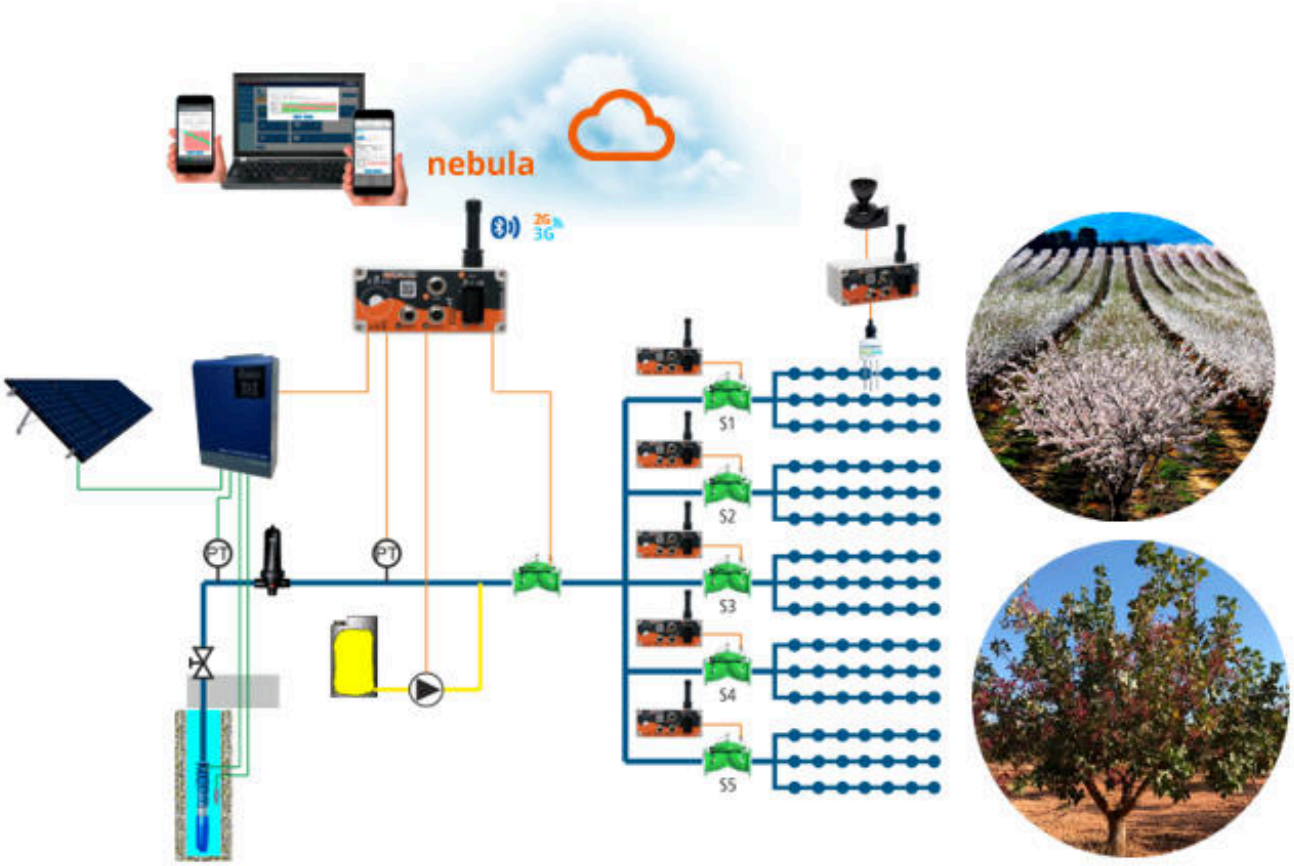
Kao dopuna, alati za vodni bilans kao što je SIMDualKc, zasnovan na dvostrukom koeficijentu useva, omogućili su preciznu procenu evapotranspiracije u vinogradima bez navodnjavanja, kombinovanjem klimatskih podataka sa informacijama o vodnom bilansu u zemljištu, uz visok stepen poklapanja sa stvarnim merenjima (Almeida et al., 2024).



Slika 5. Dijagram toka SIMDualKc modela Izvor: Paço et al. 2011

d) Precizno navodnjavanje uz primenu IoT tehnologije

Internet stvari (IoT) je revolucionisao upravljanje navodnjavanjem u vinogradarstvu putem digitalnih platformi koje integrišu senzore vlage, meteorološke stanice i automatizovane ventile. Primer je CropX, koji omogućava upravljanje navodnjavanjem putem mobilne aplikacije, kao i daljinsko aktiviranje ventila zahvaljujući integraciji sa kontrolerima za navodnjavanje (CropX, 2023a; CropX, 2023b). U regionima sa ograničenom konektivnošću, protokoli mreža niske potrošnje energije kao što su LoRaWAN i NB-IoT imaju ključnu ulogu, jer omogućavaju veliki domet, malu potrošnju energije i pouzdan prenos podataka u ruralnim sredinama (Promwad, 2025; Singh et al., 2020; Semtech, 2025).



Slika 6. Precizno navodnjavanje uz primenu IoT tehnologije. Izvor: Orionis Smart Water Network

Komplementarne agronomske strategije

Pored pametnog navodnjavanja, upravljanje zemljištem ima ključnu ulogu u očuvanju vode u vinogradu. Pokrovne kulture smanjuju isparavanje, povećavaju infiltraciju i poboljšavaju dostupnost vode u zemljišnom profilu (Celette, Gaudin, & Gary, 2008). Takođe, izbor podloga otpornih na sušu predstavlja efikasnu strategiju za povećanje otpornosti vinograda na nedostatak vode (Gambetta, Herrera, Dayer, Hochberg, & Castellarin, 2020).

Dokazane koristi i ekonomski efekti

Uštede vode u vinogradima ne smanjuju samo direktne troškove, već doprinose i energetskoj održivosti, s obzirom na to da su sistemi za navodnjavanje i pumpanje veliki potrošači energije (GESTI, 2025). Pored toga, postoje dokazi da primena pametnih sistema za navodnjavanje, kao što su kontinuirani monitoring i automatizacija, može značajno smanjiti potrošnju vode i energije, sa zabeleženim uštedama od 20% do 50% u zavisnosti od useva (FreshPlaza, 2022).

Sa druge strane, kao što je prethodno navedeno, kontrolisani vodni stres može imati pozitivan uticaj na kvalitet vina, povećavajući koncentraciju fenolnih jedinjenja i

aromatsku kompleksnost karakterističnu za vina visokog kvaliteta (Van Leeuwen & Darriet, 2016).

Primeri primene

- **Kalifornija:** E&J Gallo je zabeležio smanjenje potrošnje vode nakon uvođenja senzora vlage i DSS sistema povezanih sa kap po kap navodnjavanjem (Gallo Winery, 2021).
- **Australija**: Pilot projekti koji koriste **IoT i telemetriju** smanjili su potrošnju vode za 1.000 m³/ha bez smanjenja prinosa, kombinovanjem vodnog bilansa i kontrolisanog deficitnog navodnjavanja (SmartAqua Project, 2020).
- **Španija** (Ribera del Duero): Sistem **WANUGRAPE 4.0** integrisao je NDVI mape, senzore zemljišta i automatizovano navodnjavanje, ostvarivši uštede vode od 30% i smanjenje troškova energije od 20% (WANUGRAPE, 2023).

1.3. Upravljanje biodiverzitetom u vinogradu

Biodiverzitet predstavlja jedan od ključnih stubova održivih vinogradarskih sistema. Održavanje visokog nivoa biološke raznovrsnosti u vinogradu ne samo da doprinosi zdravlju ekosistema, već i povećava otpornost na štetočine, bolesti i ekstremne vremenske uslove (Altieri & Nicholls, 2017). Funkcionalni biodiverzitet omogućava uspostavljanje ekološke ravnoteže, smanjuje zavisnost od agrohemikalija i podstiče ključne ekosistemske usluge kao što su oprašivanje, biološka kontrola i unapređenje plodnosti zemljišta (Bàrberi et al., 2010).



Slika 7. Prevencija štetočina korišćenjem bubamara u vinogradu. *Izvor: Familia Torres, 2020*

Značaj biodiverziteta u vinogradarstvu

Intenzivne monokulture u vinogradarstvu dovele su do pojednostavljenja agroekosistema, smanjenja biodiverziteta i povećane osetljivosti vinograda na štetočine i bolesti (Altieri & Nicholls, 2002). Nasuprot tome, primena strategija strukturne diversifikacije, kao što su uvođenje drveća, živih ograda ili vegetacionih pokrova, doprinosi smanjenju pojave štetočina, smanjenju upotrebe agrohemikalija i unapređenju ključnih ekosistemskih usluga (Favor et al., 2023).

Strategije za povećanje biodiverziteta

a) Vegetacioni pokrovi

Stalni ili privremeni zeleni pokrovi predstavljaju ključnu praksu za podsticanje biodiverziteta. Ove zeljaste vrste, koje se sade između redova, povećavaju florističku raznovrsnost, obezbeđuju stanište za prirodne neprijatelje štetočina i poboljšavaju strukturu zemljišta (Celette et al., 2009). Takođe doprinose smanjenju erozije, povećanju infiltracije vode i unapređenju organske plodnosti. Na primer, istraživanja u vinogradima Langedok-Rusijona pokazala su da prisustvo travnih i leguminoznih pokrova smanjuje populaciju tripsa i grinja za 30% u odnosu na ogoljeno zemljište (Ripoche et al., 2011).

b) Ekološki koridori i žive ograde

Uspostavljanje živih ograda i zelenih koridora povezuje vinograd sa prirodnim staništima, stvarajući skloništa za ptice, oprašivače i korisne zglavkare (Bàrberi et al., 2010). U Toskani, uvođenje živih ograda od autohtonih vrsta u organskim vinogradima povećalo je prisustvo prirodnih parazitoida vrste Lobesia botrana, čime je smanjena upotreba insekticida (Gurr et al., 2017).

c) Integracija polikultura i zona utočišta

Kombinovanje vinograda sa maslinjacima, voćnjacima ili manjim površinama prirodne vegetacije stvara agroekološki mozaik koji podstiče biodiverzitet. Ova strategija, poznata kao integrisano vinogradarstvo, promoviše se od strane OIV (Međunarodna organizacija za vinovu lozu i vino) kao model tranzicije ka otpornim sistemima (OIV, 2020).

d) Očuvanje korisne faune

Vrste kao što su zlatooke, bubamare i pauci predstavljaju prirodne predatore koji pomažu u kontroli štetočina. Smanjenje upotrebe insekticida širokog spektra i obezbeđivanje staništa za ove organizme ključni su za održavanje njihove populacije (García et al., 2018). U Bordou, postavljanje kućica za insektivorne ptice smanjilo je pritisak grožđanog moljca (Lobesia botrana) za 50% u organskim vinogradima (Maison & Filaine, 2021).

Koristi biodiverziteta u vinogradu

1. **Prirodna biološka kontrola:** manja zavisnost od sredstava za zaštitu bilja.
2. **Poboljšanje zdravlja zemljišta:** povećanje organske materije i kapaciteta zadržavanja vode.
3. **Smanjenje erozije:** pokrovne kulture štite zemljište od spiranja.
4. **Otpornost na klimatske promene:** biodiverzitetni vinogradi bolje podnose toplotne talase i sušu (Altieri & Nicholls, 2017).
5. **Dodatna vrednost i marketing:** sertifikati kao što su Biodiversity & Wine Initiative ili oznake regenerativnog vinogradarstva imaju veću vrednost kod potrošača (Stolz et al., 2011).



Slika 8. Sertifikati za organsko vino. Izvor: piece-meal

Izazovi u implementaciji

Uvođenje mera za unapređenje biodiverziteta u vinogradu predstavlja ključnu strategiju ka održivijem i otpornijem vinogradarstvu. Međutim, njihova primena nije bez poteškoća. Izazovi obuhvataju ekonomske, tehničke, kao i društvene i kulturne aspekte, odražavajući složenost integracije ekoloških kriterijuma u sektor koji je tradicionalno usmeren na proizvodnju i kvalitet vina. Ove faktore dodatno otežavaju klimatska neizvesnost, nedostatak adekvatne podrške i tržišna ograničenja, što može usporiti širu primenu ovih praksi. Prepoznavanje i razumevanje ovih izazova ključno je za pronalaženje rešenja prilagođenih svakom vinogradarskom području.

- **Visoki početni troškovi:** Uspostavljanje živih ograda, cvetnih traka ili vegetacionih pokrova zahteva značajna finansijska ulaganja, kako u materijal, tako i u radnu snagu. Pored toga, ekološke i proizvodne koristi ovih mera obično se ispoljavaju tek na srednji ili duži rok, što može izazvati rezervu kod vinogradara koji posluju sa ograničenim budžetom ili očekuju brze rezultate. Nedostatak finansijskih podsticaja ili programa podrške dodatno pojačava ovaj problem.

- **Agronomski** konflikti: Uvođenje vegetacionih pokrova može dovesti do konkurencije sa vinovom lozom za vodu i hranljive materije, posebno u sušnim područjima ili na zemljištima slabije plodnosti. Neodgovarajući izbor vrsta ili loše upravljanje (npr. nepravovremeno košenje ili neprilagođena gustina) može povećati pritisak na vinograd, smanjiti prinos ili čak pogodovati razvoju štetočina i bolesti. Zbog toga je neophodno pažljivo planiranje i stručno upravljanje.
- **Nedostatak tehničkog znanja:** Uspešna primena mera za unapređenje biodiverziteta zahteva znanja iz agroekologije, funkcionalne ekologije i integrisanog upravljanja zemljištem i štetočinama. Mnogi radnici i upravljači vinogradima nemaju potrebnu obuku, što povećava rizik od grešaka u planiranju i održavanju ovih sistema. Nedostatak stručnih savetnika dodatno ograničava pristup praktičnim i prilagođenim rešenjima.
- **Društvena i kulturna prihvaćenost:** U tradicionalnim vinogradarskim regionima može postojati otpor prema promeni ustaljenih praksi. Percepcija da vinograd „zarastao travom“ ili sa „neobrađenim površinama“ izgleda zapušteno može izazvati negativne reakcije u lokalnoj zajednici i otežati primenu ovakvih pristupa.
- **Regulatorna i sertifikaciona ograničenja:** Iako politike Evropske unije i drugi regulatorni okviri podstiču održive prakse, administrativne procedure i nedovoljno jasni zahtevi mogu obeshrabriti proizvođače. Takođe, pojedini sistemi sertifikacije ne prepoznaju u dovoljnoj meri koristi ovih mera, što smanjuje motivaciju za njihovu primenu.
- **Složeno praćenje i evaluacija:** Merenje stvarnog uticaja mera biodiverziteta u vinogradu nije jednostavno. Zahteva alate za monitoring, indikatore biodiverziteta i često saradnju sa istraživačkim institucijama. Bez adekvatnog praćenja, teško je opravdati ulaganja i jasno prikazati koristi potrošačima i regulatornim telima.
- **Klimatski rizici i međugodišnja varijabilnost:** Dugotrajne suše, obilne padavine ili nagle promene temperature mogu otežati uspostavljanje i održavanje vegetacionih pokrova i živih ograda. U uslovima klimatskih promena, ove neizvesnosti dodatno rastu i utiču na dugoročnu održivost pojedinih mera.
- **Ograničena tržišna potražnja:** Iako sve veći broj potrošača ceni održivost i očuvanje biodiverziteta, oni nisu uvek spremni da plate višu cenu za takve proizvode. Ovaj nesklad između uloženog truda i tržišne valorizacije može obeshrabriti proizvođače.

Primeri uspešne primene

Uprkos izazovima, upravljanje biodiverzitetom u vinogradima pokazalo je značajne rezultate na međunarodnom nivou:

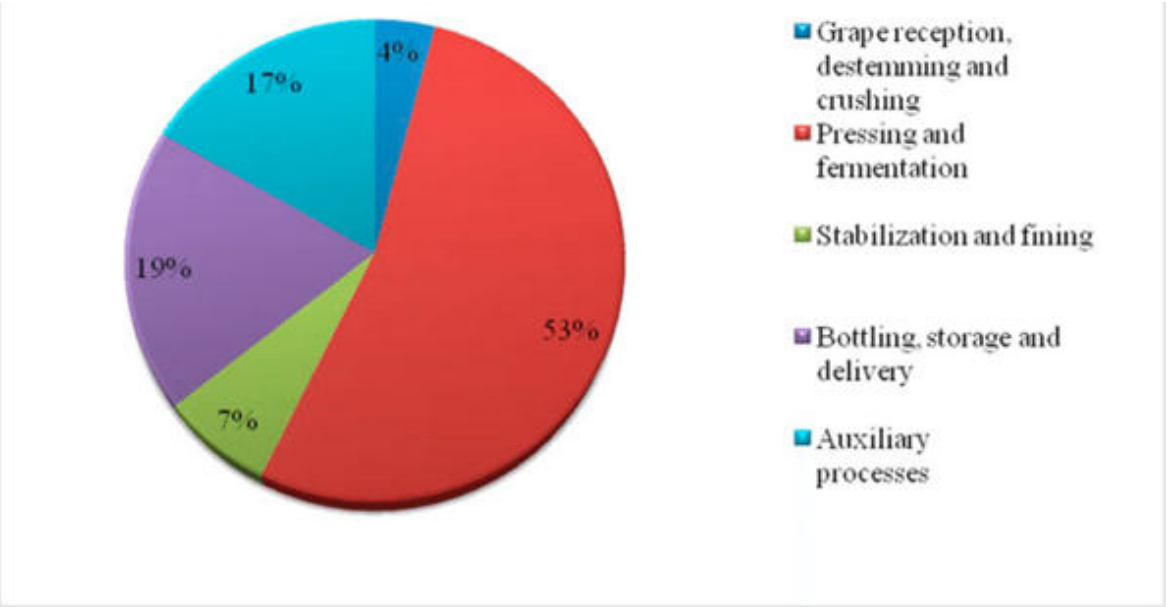
- **Francuska (Šampanja):** Sistematsko uvođenje vegetacionih pokrova, živih ograda i zelenih koridora dovelo je do smanjenja upotrebe herbicida za 40% u periodu od pet godina (Comité Champagne, 2022). Pored ekoloških koristi, ova strategija je ojačala reputaciju regiona kao lidera u održivosti.
- **Španija (Ribera del Duero):** Projekat „Viñas con Vida“ uveo je zone biodiverziteta, uključujući hotele za insekte, kućice za ptice i sadnju medonosnih biljaka. Rezultat je povećano prisustvo oprašivača i jačanje

ekosistemskih funkcija. Nekoliko vinarija dobilo je Wildlife Friendly Alliance (WFA) sertifikat.

- **Južna Afrika:** Program Biodiversity and Wine Initiative (BWI) zaštitio je više od 112.000 hektara prirodnih staništa u blizini vinograda (BWI, 2021), čime je očuvana biodiverzitet i ojačan tržišni imidž vina.
- **Italija (Toskana i Sicilija):** Uvođenje agrošumarskih sistema sa drvećem i žbunjem između parcela poboljšalo je zadržavanje vode, smanjilo eroziju i povećalo atraktivnost pejzaža, uz dodatne koristi za vinski turizam.
- **Čile (dolina Kolčagva):** U saradnji sa ekološkim organizacijama, vinogradi su uspostavili biološke koridore koji povezuju fragmentirana šumska područja, čime je povećano prisustvo divljih životinja i smanjena pojava štetočina kroz prirodnu kontrolu.

1.4. Održivo korišćenje energije u vinogradima

Efikasna i održiva upotreba energije u vinogradarstvu predstavlja ključnu komponentu za smanjenje ugljeničnog otiska sektora i prelazak ka ekonomiji sa niskim emisijama. Energija se koristi u različitim fazama proizvodnog ciklusa, od obrade zemljišta, navodnjavanja i zaštite bilja, do berbe i transporta do vinarije. Prema podacima Međunarodne organizacije za vinovu lozu i vino (OIV, 2021), potrošnja energije u konvencionalnom vinogradarstvu može činiti i do 25% operativnih troškova, uglavnom zbog upotrebe fosilnih goriva u poljoprivrednoj mehanizaciji i električne energije za sisteme pumpanja i navodnjavanja.



Slika 9. Raspodela potrošnje energije u proizvodnji vina u jednoj italijanskoj vinariji. Izvor: Malvoni et al. 2017

Strateški značaj uštede energije u vinogradarstvu

Savremeni kontekst klimatskih promena, energetske krize i politika dekarbonizacije (Pariski sporazum, Evropski zeleni dogovor) primorava vinogradarska

gazdinstva da optimizuju potrošnju energije, uz primenu obnovljivih izvora i tehnologija energetske efikasnosti (European Commission, 2020). Koncept klimatske neutralnosti u vinogradarstvu sve je prisutniji, posebno u okviru geografskih oznaka koje promovišu sertifikate održivosti kao što je International Wineries for Climate Action (IWCA, 2022).

Energetska efikasnost u vinogradarstvu predstavlja prioritet, jer potrošnja energije u navodnjavanju i upravljanju vinogradom čini značajan deo operativnih troškova i emisija. Studije procene životnog ciklusa (LCA) pokazale su da najveći deo ugljeničnog otiska potiče iz faza kao što su flaširanje, energija u podrumu i ambalažni materijali, a ne iz same proizvodnje grožđa (Pattara et al., 2012).

Primena održivih praksi i uvođenje eko-inovativnih tehnologija doprinosi unapređenju operativne održivosti i odgovoru na zahteve potrošača koji su sve svesniji klimatskih promena (Brito et al., 2024).

Glavne strategije za održivu upotrebu energije

a) Energetske revizije i praćenje potrošnje

Pre primene mera, neophodno je poznavati energetski profil vinograda. Energetske revizije omogućavaju identifikaciju ključnih tačaka potrošnje, kao što su pumpanje za navodnjavanje, klimatizacija objekata ili upotreba traktora. Alati kao što su **EnergyCheck Viticulture** ili **Intelligent Rural Energy** omogućavaju praćenje potrošnje u realnom vremenu i olakšavaju donošenje odluka (FAO, 2020).

b Efikasnost poljoprivredne mehanizacije

Korišćenje efikasnije i pravilno održavane mehanizacije predstavlja osnovnu praksu. Zamena dizel traktora hibridnim ili električnim modelima, kao što je New Holland T4 Electric Power, može smanjiti direktne emisije i do 90% i troškove goriva za 50% (New Holland, 2022). Pored toga, GPS sistemi navođenja i precizna poljoprivreda smanjuju nepotrebna kretanja i optimizuju potrošnju (Matese & Di Gennaro, 2015).

c) Optimizacija navodnjavanja

Navodnjavanje čini između 40% i 60% ukupne potrošnje energije u vinogradu (Allen et al., 1998). Tehnologije kao što su frekventni regulatori na pumpama, senzori vlage zemljišta i integracija solarne energije za fotonaponsko pumpanje imaju ključnu ulogu. U Španiji, projekat Solarwine smanjio je troškove energije za pumpanje za 70% instalacijom solarnih panela u vinskim zadrugama (IDAE, 2021).

d) Uvođenje obnovljivih izvora energije

Instalacija fotonaponskih sistema predstavlja najrasprostranjenije rešenje. Vinogradi u La Rioji i Bordou uveli su solarne sisteme na skladištima i lakim konstrukcijama iznad redova, proizvodeći energiju za navodnjavanje i senzorske sisteme. U vetrovitim regionima koristi se i energija vetra za napajanje meteoroloških stanica i sistema za monitoring (Bindi & Olesen, 2011).

e) Skladištenje i upravljanje energijom

Upotreba baterija i hibridnih sistema omogućava kontinuitet snabdevanja u ruralnim područjima sa ograničenom infrastrukturom. Takođe, implementiraju se

mikro-mreže koje povezuju više gazdinstava i smanjuju jedinične troškove energije (Kamilaris et al., 2017).

f) Digitalizacija i pametno upravljanje energijom

Koncept pametnih vinograda primenjuje se i na potrošnju energije. IoT platforme kao što je VitiEnergy integrišu podatke sa senzora, vremenske prognoze i algoritme optimizacije kako bi automatski upravljale navodnjavanjem, osvetljenjem i procesima u vinariji u periodima niže cene energije (Wolfert et al., 2017). Na taj način se smanjuju vršna opterećenja i optimizuje potrošnja.

Koristi energetske efikasnosti u vinogradima

- **Smanjenje operativnih troškova:** Primena mera energetske efikasnosti – kao što su modernizacija sistema navodnjavanja, zamena rasvete LED tehnologijom ili uvođenje obnovljivih izvora energije – može dovesti do ušteda od 20% do 40% ukupne potrošnje energije u vinogradu i pripadajućoj vinariji. Ove uštede su posebno značajne u regionima gde električna energija čini veliki deo proizvodnih troškova i omogućavaju oslobađanje finansijskih resursa koji se mogu reinvestirati u inovacije, enološki kvalitet ili upravljanje životnom sredinom.
- **Manji ugljenični otisak:** Smanjenje potrošnje fosilnih goriva i optimizacija efikasnosti u ključnim procesima (navodnjavanje, pumpanje, hlađenje, interni transport) omogućava značajno smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte. Ovo ne samo da doprinosi usklađenosti sa sve strožim ekološkim propisima, već i olakšava dobijanje sertifikata održivosti (IWCA, WFA, itd.), koji su postali strateška vrednost na međunarodnim tržištima osetljivim na održivost.
- **Energetska otpornost:** Diverzifikacija izvora energije kroz uvođenje solarne, vetro ili biomase smanjuje zavisnost od fosilnih goriva i globalnih energetskih tržišta. U uslovima nestabilnih cena energije, posedovanje sopstvenih energetskih sistema omogućava vinogradima da se zaštite od neočekivanih poskupljenja i obezbede kontinuitet poslovanja, čak i u uslovima energetske krize.
- **Dodatna vrednost u marketingu:** Energetska efikasnost ne donosi samo interne koristi, već se može komunicirati kao deo identiteta brenda. Koncepti kao što su „karbonski neutralno vino“ ili „vinarija sa nultom emisijom“ predstavljaju jasan diferencijator na sve konkurentnijem tržištu. Za svesnog potrošača, vino proizvedeno uz nizak energetski uticaj predstavlja konkretan doprinos zaštiti životne sredine, što povećava njegovu atraktivnost i može opravdati višu percipiranu vrednost.

Izazovi energetske tranzicije u vinogradima

- **Visoka početna ulaganja:** Instalacija fotonaponskih sistema, mikro vetroturbina ili baterija za skladištenje energije zahteva značajna kapitalna ulaganja, posebno u srednjim i malim vinogradima gde su profitne marže ograničene. Iako se isplativost postiže na srednji i duži rok, početni trošak može predstavljati

prepreku za proizvođače koji nemaju pristup kreditima ili posebnim izvorima finansiranja.

- **Održavanje i tehnološko unapređenje:** Tehnologije za proizvodnju obnovljive energije i energetsku efikasnost zahtevaju redovne kontrole, rezervne delove i ažuriranje softvera. U ruralnim područjima, gde je specijalizovana tehnička podrška ograničena, ove aktivnosti mogu dovesti do zastoja u radu ili dodatnih troškova. Takođe, brz tehnološki razvoj znači da oprema instalirana pre samo 10 godina već može biti manje efikasna ili bez adekvatne tehničke podrške.
- **Nedostatak jasnih podsticaja:** Iako postoje subvencije u okviru Zajedničke poljoprivredne politike (CAP), evropskih programa (Horizon Europe, LIFE) ili nacionalnih inicijativa za energetsku tranziciju, pristup ovim sredstvima često je uslovljen složenom birokratijom, dugim rokovima i tehničkim zahtevima koje je teško ispuniti. To obeshrabruje učešće malih i srednjih proizvođača, koji često nemaju administrativno osoblje za upravljanje prijavama.
- **Nedostatak znanja:** Digitalizacija i automatizacija energetskih sistema (senzori, softver za upravljanje, pametni paneli) zahtevaju nivo tehničke obuke koji nije uvek prisutan u vinogradarskim timovima. Bez specifične obuke postoji rizik od neefikasne ili čak pogrešne upotrebe tehnologija, što smanjuje očekivane koristi. Nedostatak programa obuke prilagođenih vinskom sektoru i dalje predstavlja izazov koji treba prevazići.

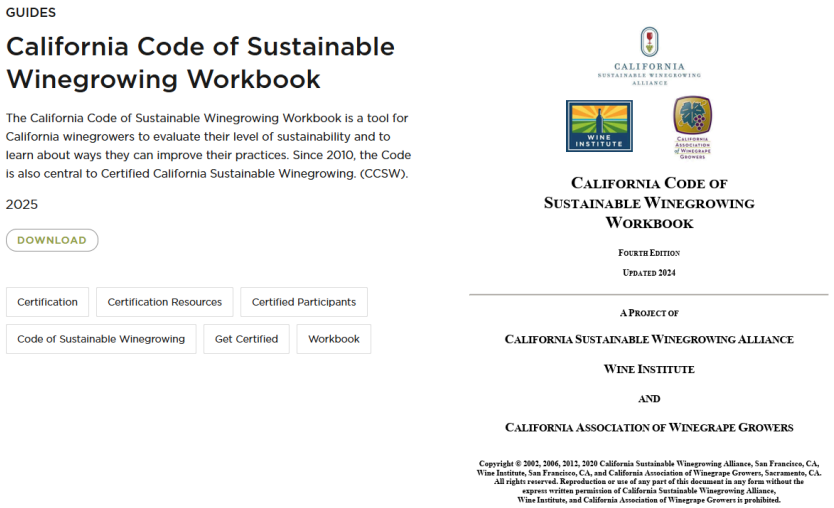
Primer uspešne primene

- **Familia Torres (Španija):** Ova vinarija je snažno posvećena energetskoj tranziciji, instalirala je fotonaponske sisteme koji pokrivaju oko 25% njenih potreba za električnom energijom i investirala u električne traktore kako bi postepeno zamenila flotu vozila na fosilna goriva. Zahvaljujući ovim merama, ostvarila je smanjenje ukupnih emisija CO_2 od 30% (IWCA, 2022). Takođe je kombinovala ove aktivnosti sa projektima vezivanja ugljenika kroz pošumljavanje i regeneraciju zemljišta.



Slika 10. Fotonaponske instalacije porodice Torres. Izvor: Familia Torres

- **Jackson Family Wines (SAD):** Sa sedištem u Kaliforniji, ova kompanija je sprovela ambiciozan plan korišćenja obnovljive energije koji uključuje mikro vetroturbine, solarne pumpe i sisteme za skladištenje energije. Kao rezultat toga, ostvarila je godišnje uštede od više od 2 miliona kWh, čime je povećala otpornost na suše i česte nestanke električne energije u regionu (Sustainable Winegrowing Alliance, 2021). Njihov model je repliciran kao referentni primer u američkom vinogradarstvu.



Slika 11. Priručnik za održivo vinogradarstvo u Kaliforniji. Izvor: California Sustainable Winegrowing Alliance

- **Château Smith Haut Lafitte (Francuska):** Ova vinarija iz Bordoa usvojila je primeran održivi pristup, kombinujući biodiverzitet, cirkularnu ekonomiju i energetsku efikasnost. Imanje je bilo pionir u hvatanju CO_2 koji se oslobađa tokom fermentacije i njegovoj ponovnoj upotrebi za proizvodnju sode bikarbone, što predstavlja jedinstvenu inovaciju u vinskoj industriji, kao deo podzemnog podruma sa niskom potrošnjom energije poznatog kao „Stealth Cellar“. Pored toga, ovaj projekat uključuje i elemente kao što su solarna energija, geotermalna razmena toplote, prikupljanje kišnice i upotreba lokalnih materijala kako bi se održala stabilna temperatura bez potrebe za intenzivnim mehaničkim sistemima hlađenja. Ova inicijativa prevazilazi energetsku efikasnost: podstiče model cirkularne ekonomije u kojem se poljoprivredni otpad i nusproizvodi iz vinarije koriste na više načina, na primer za proizvodnju kozmetičkih proizvoda, čime se dodatno jača održivi model gazdinstva.



Slika 12. Kolektor CO_2 za procese fermentacije. Izvor: Château Smith Haut Lafitte

1.4. Valorizacija orezanih ostataka i biomase iz vinograda

Upravljanje orezanim ostacima i drvenastom biomasom koja nastaje u vinogradima predstavlja stratešku komponentu tranzicije ka kružnijim i klimatski otpornijim proizvodnim sistemima. Tradicionalno, orezane grane vinove loze i drugi drvenasti ostaci uklanjani su sa parcele ili spaljivani na licu mesta. Ove prakse dovode do direktnih emisija gasova sa efektom staklene bašte, zagađenja česticama i gubitka potencijalno vrednih organskih resursa.

U okviru održivog vinogradarstva, ovi materijali se sve više prepoznaju kao strateški resursi koji mogu unaprediti plodnost zemljišta, povećati kapacitet zadržavanja vode i doprineti dugoročnom skladištenju ugljenika. Ova promena pristupa - od odlaganja otpada ka upravljanju resursima - pozicionira vinogradara kao aktivnog upravljača biogeokemijskim ciklusima unutar gazdinstva.

Evropska komisija i FAO ističu povećanje organskog ugljenika u zemljištu kao jednu od najefikasnijih mera za unapređenje zdravlja zemljišta i prilagođavanje klimatskim promenama (European Commission, 2021; FAO, 2017). U tom kontekstu, vraćanje biomase iz vinograda u zemljište predstavlja praksu sa velikim ekološkim i agronomskim potencijalom.

Od otpada do resursa: principi cirkularne ekonomije u vinogradu

Valorizacija rezidbenih ostataka zasniva se na principima cirkularne ekonomije primenjenim u poljoprivredi: zatvaranju ciklusa hraniva unutar gazdinstva. Umesto oslanjanja isključivo na spoljne mineralne đubriva, vinogradi mogu ponovo koristiti deo biomase koja se svake godine generiše kako bi održali ili unapredili fizička, hemijska i biološka svojstva zemljišta.

Naučna literatura pokazuje da poljoprivredni sistemi koji uključuju organski materijal imaju tendenciju postepenog povećanja sadržaja organskog ugljenika u zemljištu, čime se poboljšava struktura i stabilnost agregata (Lal, 2004; FAO, 2017). U mediteranskim regionima, gde zemljišta često imaju nizak sadržaj organske materije i visoku osetljivost na eroziju, ova praksa je posebno značajna.

Sa ekonomskog aspekta, interna ponovna upotreba biomase smanjuje zavisnost od spoljašnjih inputa i jača ekološki imidž vinarije - faktor koji je sve važniji na međunarodnim tržištima i u sistemima sertifikacije održivosti.



Slika 14. Prijanjanje orezanih ostataka uz zemljište

Glavni putevi valorizacije

Praktična primena ponovne upotrebe biomase može slediti različite pristupe u zavisnosti od uslova zemljišta, klime, dostupne mehanizacije i proizvodnih ciljeva.

- **Usitnjavanje i direktna inkorporacija:** Rezidbeni ostaci se mehanički usitnjavaju i raspoređuju po površini zemljišta ili se plitko unose u njega. Ovo ubrzava razgradnju i doprinosi formiranju humusa. Istraživanja u mediteranskom vinogradarstvu pokazala su povećanje organskog ugljenika u zemljištu i poboljšanje strukturne stabilnosti pri sistematskoj primeni usitnjavanja (Martínez-Casasnovas et al., 2012).
- **Kompostiranje:** Kompostiranje stabilizuje organski materijal i proizvodi ujednačeniji dodatak zemljištu. Smanjuje sanitarne rizike i omogućava bolju kontrolu odnosa ugljenika i azota, čime se sprečava privremena imobilizacija azota (FAO, 2017).
- **Malčiranje ili površinski pokrov:** Usitnjena biomasa ostavljena na površini deluje kao zaštitni malč, smanjuje isparavanje, suzbija korove i štiti zemljište od vodne erozije. Ovo je posebno efikasno u vinogradima na nagibu, sklonim površinskom oticanju.
- **Proizvodnja biouglja:** Kroz proces pirolize, drvenasti ostaci mogu se pretvoriti u biougalj - visoko stabilan oblik ugljenika koji može ostati u zemljištu decenijama. Biougalj poboljšava strukturu zemljišta i zadržavanje vode, a ima i značajan potencijal za sekvestraciju ugljenika (Woolf et al., 2010). Iako zahteva tehnološka ulaganja, njegov dugoročni doprinos ublažavanju klimatskih promena je značajan.

Uočene agronomske koristi

Evropska i mediteranska istraživanja dosledno identifikuju niz pozitivnih efekata kada se rezidbeni ostaci vraćaju u zemljište tokom više sezona:

- Povećanje sadržaja organskog ugljenika u zemljištu
- Poboljšanje stabilnosti agregata i strukture zemljišta
- Povećanje infiltracije i zadržavanja vode
- Povećanje mikrobiološke aktivnosti
- Smanjenje erozije u vinogradima na nagibu

FAO naglašava da povećanje organske materije u zemljištu jača otpornost na sušu i ekstremne klimatske uslove (FAO, 2017). Takođe, istraživanja pokazuju da kombinacija unosa biomase i pokrovnih kultura dodatno unapređuje fizička svojstva zemljišta i vodni režim (Martínez-Casasnovas et al., 2012).

Tehnička razmatranja i ograničenja

Valorizacija rezidbenih ostataka donosi jasne agronomske i ekološke koristi, ali njen uspeh zavisi od pravilne primene. Vraćanje drvenaste biomase u vinogradarski sistem mora se pažljivo planirati kako bi se izbegli neželjeni nutritivni ili fitosanitarni efekti.

Jedan od glavnih problema odnosi se na **fitosanitarne rizike**. Drvo od rezidbe može sadržati spore gljiva ili patogene iz prethodnih sezona. U područjima sa visokim pritiskom bolesti, ostatke treba fino usitniti kako bi se ubrzala razgradnja, a vidljivo zaraženi materijal ne bi trebalo vraćati u zemljište. Adekvatno praćenje i stručna podrška su ključni kako bi se sprečio prenos infekcija (Rossi et al., 2012).

Drugi važan faktor je **odnos ugljenika i azota (C/N).** Drvenasti ostaci su bogati ugljenikom i mogu privremeno vezati azot u zemljištu tokom razgradnje. Iako je ovaj efekat obično kratkotrajan, planovi đubrenja treba da predvide moguće privremene deficite, posebno na zemljištima niske plodnosti (FAO, 2017).

Brzina razgradnje zavisi od kvaliteta usitnjavanja, vlage, temperature i biološke aktivnosti zemljišta. Sitnije čestice i povoljni uslovi ubrzavaju razgradnju i integraciju u stabilnu organsku materiju (Lal, 2004).

Operativni aspekti takođe moraju biti uzeti u obzir. Usitnjavanje zahteva mehanizaciju i dodatno vreme rada, što može predstavljati ograničenje za mala gazdinstva. Sistemi zajedničkog korišćenja opreme mogu smanjiti ovaj problem i olakšati primenu.

Uvođenje biomase mora biti usklađeno sa drugim praksama upravljanja zemljištem, uključujući pokrovne kulture i mehaničke operacije. Integrisano planiranje upravljanja zemljištem maksimizuje koristi i smanjuje konflikte (Martínez-Casasnovas et al., 2012).

Na kraju, **poboljšanje zemljišta je postepen proces**. Praćenje pokazatelja kao što su sadržaj organske materije, kapacitet infiltracije i performanse vinove loze neophodno je za procenu dugoročnih efekata (European Commission, 2021).

Kada se pravilno primeni, valorizacija rezidbenih ostataka povećava otpornost zemljišta i doprinosi ciljevima ublažavanja klimatskih promena. Kada se loše planira, može dovesti do izbegljivih agronomskih rizika. Uspeh zavisi od integracije, praćenja i prilagođavanja lokalnim uslovima.

Ekonomska dimenzija

Iako su ekološke koristi dobro dokumentovane, vinogradari moraju proceniti i finansijske aspekte. Početna ulaganja u opremu za usitnjavanje ili dodatno radno vreme mogu biti potrebna. Međutim, regenerativne prakse upravljanja zemljištem pokazale su da dugoročno smanjuju troškove đubrenja i navodnjavanja, uz povećanje otpornosti (FAO, 2017).

Ekonomska isplativost je najveća kada je valorizacija biomase deo šire strategije održivosti, gde se ekološka unapređenja prevode u tržišnu diferencijaciju i dodatnu vrednost brenda.

Primeri uspešne primene:

- **VineAdapt (Španija):** Projekat LIFE VineAdapt analizirao je mere prilagođavanja klimatskim promenama u vinogradima u Španiji. Upotreba usitnjenih ostataka kao površinskog malča dovela je do smanjenja isparavanja i poboljšanja zadržavanja vode u zemljištu, čime su smanjene potrebe za navodnjavanjem u uslovima suše.
- **VITIREG (Španija, Portugal i Francuska):** Projekat VITIREG radio je na promociji regenerativnih praksi u vinogradima, uključujući usitnjavanje lastara i njihovo vraćanje u zemljište kao strategiju za povećanje organske materije i poboljšanje strukture zemljišta..

  Ispitivanja su pokazala da kontinuirana inkorporacija biomase podstiče biološku aktivnost i doprinosi većoj otpornosti na sušu, posebno u mediteranskim područjima sa niskom prirodnom plodnošću.



Slika 14. Konzorcijum VITIREG

- **Institut Français de la Vigne et du Vin (Francuska):** IFV je sproveo dugoročne eksperimentalne programe u vezi sa inkorporacijom usitnjenih rezidbenih ostataka. Rezultati ukazuju na postepeno povećanje organskog ugljenika u

zemljištu i poboljšanje strukturne stabilnosti, posebno kada se kombinuje sa stalnim pokrovnim kulturama.

2. Energetska tranzicija u vinskoj industriji

Energetska tranzicija predstavlja jedan od najvećih izazova, ali ujedno i jednu od glavnih prilika za vinsku industriju u savremenom kontekstu klimatske krize i prelaska ka ekonomiji sa niskim emisijama ugljenika. Vinski sektor, koji je tradicionalno energetski intenzivan u fazama kao što su proizvodnja vina, skladištenje, klimatizacija i transport, suočava se sa potrebom da smanji zavisnost od fosilnih goriva i pređe na modele proizvodnje usklađene sa Evropskim zelenim dogovorom i međunarodnim obavezama za ublažavanje klimatskih promena (European Commission, 2020).

U ovom kontekstu, uvođenje obnovljivih izvora energije, optimizacija energetske efikasnosti i primena digitalnih sistema upravljanja postaju strateški stubovi. Ove mere ne samo da smanjuju emisije gasova sa efektom staklene bašte, već doprinose povećanju konkurentnosti, smanjenju operativnih troškova i jačanju reputacije vinarija kao održivih brendova u očima sve svesnijih potrošača (OIV, 2021).

Energetska tranzicija u vinogradarstvu, stoga, ne treba da se posmatra samo kao ekološka obaveza, već kao strukturna promena koja podstiče tehnološke inovacije, promoviše cirkularnu ekonomiju i otvara nove mogućnosti za diferencijaciju na visoko konkurentnom globalnom tržištu.



Slika 15. Instalacija „pametnog zasenjivanja“ u vinariji San Gabriel. Izvor: Laura Cano Liébana, 2022

2.1. Integracija obnovljivih izvora energije u vinskoj industriji

Glavni cilj energetske tranzicije u vinskoj industriji je smanjenje zavisnosti od fosilnih goriva i minimizacija ugljeničnog otiska, u skladu sa međunarodnim obavezama vezanim za klimatske promene i smernicama Evropskog zelenog dogovora (European Commission, 2020). Integracija obnovljivih izvora energije u vinarijama i vinogradima ne predstavlja samo ekološki zahtev, već i ekonomsku priliku, jer dugoročno smanjuje troškove energije, obezbeđuje energetsku autonomiju i poboljšava imidž održivosti kod sve svesnijih potrošača (Stolz et al., 2011).

Međunarodna organizacija za vinovu lozu i vino (OIV) prepoznaje energiju kao ključni faktor u strategiji održivosti sektora, podstičući uvođenje obnovljivih sistema kao osnovnog stuba za postizanje klimatske neutralnosti (OIV, 2021). Među glavnim obnovljivim izvorima koji se mogu integrisati u vinsku industriju izdvajaju se:

a) Fotonaponska i solarno-termalna energija

Solarna energija predstavlja najzastupljeniju opciju u vinogradarstvu i vinarijama zbog obilnog sunčevog zračenja u mediteranskim, latinoameričkim i kalifornijskim vinogradarskim regionima (FAO, 2020). Postoje dve glavne tehnologije:

- **Fotonaponski (PV) sistemi:** Pretvaraju sunčevo zračenje u električnu energiju putem panela postavljenih na krovove vinarija, skladišta ili čak iznad redova vinograda (agrivoltaika). Ova energija se koristi za napajanje pumpi za navodnjavanje, rashladnih sistema u vinariji i električne mehanizacije. Istraživanja u vinogradima u Kastilji-La Manči i Bordou pokazuju smanjenje računa za električnu energiju i do 70% kombinovanjem sopstvene proizvodnje i baterijskog skladištenja (IDAE, 2021).
- **Solarno-termalna energija:** Koristi se pre svega za zagrevanje vode u procesima pranja buradi, tankova i u sistemima klimatizacije podruma. Jedan od poznatih primera **je Bodegas Torres (Španija)**, koja je uvođenjem solarnih kolektora smanjila potrošnju gasa za toplu vodu za 30% (IWCA, 2022).

Prednosti:

- Smanjenje direktnih emisija i energetske zavisnosti.
- Mogućnost primene agrivoltaike, koja smanjuje isparavanje u vinogradu i obezbeđuje korisnu senku u toplim klimama (Ravi et al., 2022).
- Veća energetska otpornost u uslovima kriza i promena cena energije.
- Dodatna vrednost u marketingu (karbonski neutralno vino) uz pristup zelenom finansiranju i poreskim olakšicama, koje su sve češće vezane za održive projekte.
- Poboljšana sledljivost i transparentnost, zahvaljujući mogućnosti praćenja potrošnje u realnom vremenu.

Izazovi:

- Visoka početna ulaganja i potreba za prostorom za instalaciju.
- Povremena (intermitentna) proizvodnja energije koja zahteva sisteme za skladištenje ili povezivanje na mrežu.
- Održavanje i tehnološko unapređenje, posebno u ruralnim područjima.
- Nedostatak jasnih podsticaja i složena birokratija.
- Nedostatak tehničkog znanja.
- Geografski i klimatski uslovi.
- Povraćaj investicije u srednjem ili dugom roku.

- Moguće neslaganje sa pejzažnim ili kulturnim vrednostima, naročito u istorijskim vinogradima.
- Zavisnost od eksternih tehnoloških dobavljača, što može dovesti do dodatnih troškova ili smanjene autonomije.



Slika 16. Agrivoltaika. Izvor: Iberdrola

b) Vinska biomasa: iskorišćenje komine i rezidbenih ostataka

Vinogradarstvo svake godine generiše velike količine organskog otpada, uključujući kominu, peteljke, talog i rezidbene ostatke vinove loze. Tradicionalno su se ovi nusproizvodi smatrali materijalima male vrednosti i često su bili namenjeni odlaganju ili ograničenoj upotrebi kao dodatak zemljištu. Međutim, u okviru cirkularne ekonomije i energetske tranzicije, ovaj otpad je ponovo vrednovan kao strateški izvor obnovljive energije i kao resurs za unapređenje održivosti vinskih sistema (Pérez-Pérez et al., 2021).

Vinska biomasa može se koristiti putem različitih tehnologija: direktnim sagorevanjem, gasifikacijom, anaerobnom digestijom za proizvodnju biogasa ili pirolizom za proizvodnju biouglja i bio-ulja. Ove primene omogućavaju pretvaranje otpada u toplotnu i električnu energiju, smanjujući zavisnost od fosilnih goriva i izbegavajući emisije povezane sa transportom i odlaganjem otpada. Takođe, korišćenje biomase doprinosi zatvaranju proizvodnog ciklusa vinograda, vraćajući hranljive materije i stabilni ugljenik u zemljište u obliku biouglja, sa pozitivnim efektima na plodnost i kapacitet zadržavanja vode.

- **Komina:** Ostatak iz proizvodnje vina koji se sastoji od pokožice, semenki i ostataka pulpe. Može se sušiti i koristiti kao čvrsta biomasa ili prerađivati u pelete za kotlove na biomasu. U La Rioji, projekat Biovino omogućio je da više vinarija pokrije 100% svojih zimskih potreba za toplotom pomoću sušene

komine, izbegavajući emisiju oko 1.500 tona CO_2 godišnje (González et al., 2022).

- **Rezidbeni ostaci vinove loze:** Otpad nastao rezidbom koji se, nakon usitnjavanja i sušenja, koristi kao biomasa za kotlove ili kao sirovina za proizvodnju biouglja. Biougalj ne samo da obezbeđuje energiju tokom proizvodnje, već i, kada se primeni u zemljištu, poboljšava zadržavanje hranljivih materija i vode i deluje kao dugoročni rezervoar ugljenika (Lehmann & Joseph, 2015).

Prednosti

- Smanjenje otpada i troškova upravljanja.
- Delimična ili potpuna zamena fosilnih goriva.
- Sinergija sa đubrenjem zemljišta u slučaju proizvodnje biouglja.
- Lokalno korišćenje resursa, čime se smanjuju troškovi transporta i povećava energetska autonomija vinarije.
- Doprinos ublažavanju klimatskih promena kroz skladištenje ugljenika i smanjenje emisija u odnosu na upotrebu dizela ili prirodnog gasa.

Izazovi:

- Potreba za logistikom prikupljanja, sušenja i skladištenja otpada.
- Zahtevi za specifičnom opremom za peletiranje ili obradu materijala.
- Sezonska varijabilnost dostupnosti biomase, koja zahteva planiranje skladištenja za pokrivanje godišnjih potreba.
- Moguće emisije čestica tokom sagorevanja, što zahteva filtere i usklađenost sa ekološkim propisima.



Slika 17. Sakupljanje rezidbenih ostataka vinove loze za njihovo iskorišćenje. Izvor: John O'Ryan

c) Mikrovetar i geotermalna energija

Iako su manje zastupljene od solarne energije i biomase, ove tehnologije se sve više pojavljuju u pilot projektima, posebno u vinarijama sa velikom potrebom za toplotom ili u regionima sa jakim vetrovima.

- Mikrovetar: Male vetroturbine (snage manje od 50 kW) postavljene u područjima sa stabilnim vetrovima. Koriste se za napajanje rashladnih sistema, osvetljenja ili punjenje električne mehanizacije. Grupa **Jackson Family Wines** u Oregonu uvela je mikro-turbine u kombinaciji sa fotonaponskim panelima, čime proizvodi 40% obnovljive energije na licu mesta (Sustainable Winegrowing Alliance, 2021).



Slika 18. Energija vetra u vinogradima. Izvor: Diario de Jerez.

- **Geotermalna energija:** Zasniva se na korišćenju toplotne energije podzemlja putem **geotermalnih toplotnih pumpi**, koje zimi izvlače toplotu, a leti je raspršuju. Ova tehnologija je idealna za vinarije, jer omogućava održavanje stabilne temperature u prostorijama za odležavanje, smanjujući potrošnju električne energije za klimatizaciju i do 50% (FAO, 2020). U Bordou, vinarija **Château Smith Haut Lafitte** kombinuje geotermalnu energiju i biomasu kako bi pokrila svoje toplotne potrebe, postižući smanjenje emisije od 180 tona CO_2 godišnje (Bindi & Olesen, 2011).



Slika 19. Geotermalna instalacija u vinariji Château Smith Haut Lafitte. Izvor: VitiViniCultura

Prednosti:

- Visoka energetska efikasnost (COP od 3 do 5 kod geotermalnih toplotnih pumpi).
- Tiha tehnologija sa malim prostornim zahtevima.
- Značajno smanjenje emisije CO_2 u poređenju sa fosilnim gorivima.
- Komplementarnost sa drugim obnovljivim izvorima energije, kao što su solarna energija ili biomasa, radi diverzifikacije energetskog miksa.

Izazovi:

- Potreba za logistikom prikupljanja, sušenja i skladištenja otpada.
- Zahtevi za specifičnom opremom za peletiranje ili obradu materijala.
- Sezonska varijabilnost dostupnosti biomase, koja zahteva planiranje skladištenja za pokrivanje godišnjih potreba.
- Moguće emisije čestica tokom sagorevanja, što zahteva sisteme filtracije i usklađenost sa ekološkim propisima.

2.2. Planiranje i implementacija energetskih sistema u vinarijama

Energetska tranzicija u vinskom sektoru ne svodi se samo na uvođenje obnovljivih tehnologija, već podrazumeva sveobuhvatan proces dijagnostike, planiranja, implementacije i praćenja. Ovaj proces mora biti prilagođen specifičnostima svake vinarije, uzimajući u obzir faktore kao što su veličina, lokacija, proizvodni kapacitet, klima i raspoloživi budžet. Cilj je maksimizacija energetske efikasnosti i smanjenje emisija gasova sa efektom staklene bašte, bez ugrožavanja kvaliteta vina, operativnog funkcionisanja i profitabilnosti (Finger et al., 2019).

1. Početna energetska dijagnostika

Prvi korak je sprovođenje energetske revizije kako bi se identifikovale ključne tačke potrošnje. Prema studijama OIV-a (2021) i Instituta za diverzifikaciju i uštedu energije (IDAE), u tipičnoj vinariji glavni izvori potrošnje su:

- **Procesi proizvodnje vina**: pumpe, prese, sistemi za kontrolisanu fermentaciju.

- **Klimatizacija i hlađenje**: održavanje temperature u tankovima i prostorijama za odležavanje (može činiti i do 50% ukupne potrošnje).
- **Rasveta i administrativni prostori.**
- **Navodnjavanje i pumpanje u vinogradu.**

Kvalitetna dijagnostika omogućava izračunavanje energetskog indeksa po litru proizvedenog vina, njegovo poređenje sa industrijskim standardima (benchmarking) i definisanje ciljeva smanjenja potrošnje (IDAE, 2021).

2. Izrada energetskog plana

Nakon identifikacije obrazaca potrošnje, izrađuje se sveobuhvatan energetski plan koji treba da obuhvati:

- **Definisanje strateških ciljeva**: smanjenje potrošnje za određeni procenat u narednih 5 godina, postizanje klimatske neutralnosti do 2030. godine i slično.
- **Optimalan izbor tehnologija:** zasnovan na tehničkoj, klimatskoj i ekonomskoj izvodljivosti.
- **Procenu životnog ciklusa (LCA):** za procenu ukupnog uticaja predloženih rešenja na životnu sredinu.

Preporučuje se primena metoda kao što je multikriterijumska analiza (CMA) za određivanje prioriteta ulaganja (Pardo et al., 2019). Ovaj pristup omogućava vrednovanje kriterijuma kao što su troškovi investicije, očekivane uštede, uticaj na životnu sredinu, lakoća integracije i vek trajanja.

3. Implementacija hibridnih tehnologija i rešenja

U praksi, većina vinarija se odlučuje za **hibridne sisteme** koji kombinuju više obnovljivih tehnologija uz energetski efikasne sisteme. Primeri:

- **Hibrid solarne energije i biomase:** fotonaponski paneli za pokrivanje dnevne potrošnje električne energije, biomasa za grejanje tokom zime.
- **Geotermalna i solarno-termalna energija:** za stabilnu klimatizaciju prostorija za odležavanje i smanjenje potrošnje električne energije za hlađenje.
- **Sistemi za skladištenje energije:** litijumske baterije ili napredne tehnologije kao što su protočne baterije, za povećanje energetske autonomije i upravljanje potrošnjom.

U Kaliforniji, vinarija Robert Mondavi instalirala je hibridni sistem koji kombinuje fotonaponske panele (1 MW), Tesla Powerpack baterije i kotlove na biomasu, čime je smanjila zavisnost od elektroenergetske mreže za 35% i ostvarila godišnje uštede veće od 300.000 dolara (IWCA, 2022).

4. Digitalno upravljanje i automatizacija

Energetska tranzicija u vinogradarstvu usko je povezana sa **digitalizacijom. Platforme za upravljanje energijom (EMS)** omogućavaju:

- Praćenje potrošnje i proizvodnje energije u realnom vremenu.

- Predviđanje vršnih opterećenja uz pomoć prediktivnih algoritama.
- Automatizaciju rada opreme i optimizaciju odnosa između proizvodnje i potrošnje energije.

Primer iz prakse je sistem **SmartVitis** u Italiji, koji integriše podatke o energiji, navodnjavanju i klimatskim uslovima kako bi planirao poljoprivredne operacije u skladu sa dostupnošću obnovljivih izvora energije (Moriondo et al., 2020).

5. Finansiranje i podsticaji

Jedan od glavnih izazova za implementaciju održivih energetskih sistema jeste **visoka početna investicija**, koja može iznositi **od 50.000 € do 500.000 €,** u zavisnosti od veličine i izabrane tehnologije (Boraud et al., 2022). Da bi se ova prepreka prevazišla, razvijeni su sledeći mehanizmi:

- Javne subvencije: kao što su sredstva iz Programa ruralnog razvoja (RDP) Evropske unije i fondova **Evropskog zelenog dogovora**.
- **Inovativni modeli finansiranja:**
    - **Energetski lizing:** kompanija dobavljač instalira sistem, a vinogradar plaća mesečnu naknadu koja je niža od prethodnog računa za energiju.
    - **Ugovori o otkupu energije (PPA):** dugoročni ugovori za kupovinu obnovljive energije bez početne investicije.
    - **Kooperativni sistemi:** više vinarija se udružuje kako bi delilo infrastrukturu i smanjilo jedinične troškove.

6. Praćenje i kontinuirano unapređenje

Energetsko planiranje se ne završava instalacijom sistema; neophodno je uspostaviti **kontinuirani sistem praćenja i evaluacije**. Najčešće korišćeni pokazatelji su:

- **kWh proizvedene obnovljive energije godišnje.**
- **Smanjenje emisije u tonama CO_2 ekvivalenta.**
- **Trošak energije po litru proizvedenog vina.**

Savremeni trend ide ka sertifikaciji prema standardima kao što su **ISO 50001 (upravljanje energijom)** i **ISO 14064 (ugljenični otisak),** koji ne samo da obezbeđuju usklađenost sa regulativom, već i povećavaju vrednost vina na tržištu (González-Fernández et al., 2022).

2.3. Strategije za smanjenje ugljeničnog otiska u proizvodnji vina

Smanjenje ugljeničnog otiska u vinskoj industriji predstavlja jedan od najvažnijih strateških pravaca u **okviru energetske tranzicije i održivosti**. Vinski sektor, iako manje emisijski intenzivan od drugih agroindustrijskih grana, generiše CO_2 i druge gasove sa efektom staklene bašte (GHG) u svim fazama proizvodnog ciklusa: od vinograda do distribucije vina (Jones et al., 2010). Ovaj uticaj uglavnom potiče iz sledećih izvora:

- **Potrošnja energije u vinarijama:** klimatizacija, hlađenje, pumpanje, flaširanje.
- **Upotreba đubriva i sredstava za zaštitu bilja:** emisije N_2O i CO_2.
- **Mehanizovane operacije:** radovi u polju, interni transport i distribucija.
- **Upravljanje nusproizvodima i otpadom:** fermentacija, komina, rezidbeni ostaci.
- **Ambalaža i logistika:** proizvodnja staklenih boca i međunarodni transport.

Strategija smanjenja ovog otiska podrazumeva sveobuhvatan i sistematski pristup, sa koordinisanim merama u oblasti energije, proizvodnih procesa, materijala i logistike.

1. Merenje ugljeničnog otiska kao početna tačka

Smanjenje emisija u vinskoj industriji zahteva, kao prvi korak**, precizno kvantifikovanje ugljeničnog otiska vinarije i vinograda**. Merenje omogućava razumevanje obima problema, identifikaciju glavnih izvora emisija i postavljanje **početne linije** za praćenje budućeg napretka.

Postoji više međunarodno priznatih metodologija za merenje:

- **ISO 14064:** međunarodni standard za kvantifikaciju i izveštavanje o emisijama i smanjenjima gasova sa efektom staklene bašte.
- **GHG Protocol:** metodologija koja deli emisije u tri kategorije:
    - *Opseg 1:* direktne emisije (goriva, sopstveni procesi).
    - *Opseg 2:* indirektne emisije povezane sa kupljenom energijom.
    - *Opseg 3:* emisije iz lanca vrednosti (transport, ambalaža, distribucija).
- **CO_2 ekvivalent (CO_2e):** indikator koji omogućava objedinjavanje uticaja različitih gasova (CO_2, CH_4, N_2O).

U vinogradarstvu, merenje mora obuhvatiti **poljoprivrednu fazu** (obrada zemljišta, đubriva, zaštita bilja, navodnjavanje, mehanizacija), **fazu u vinariji** (energija za fermentaciju, klimatizaciju, flaširanje, skladištenje) **i logističku fazu** (transport i distribucija).

OIV (2021) i organizacije kao što je **International Wineries for Climate Action (IWCA)** preporučuju uspostavljanje ove početne linije i ponavljanje procene **svake vinske sezone**, jer varijacije u klimi, proizvodnji i potrošnji energije značajno utiču na emisije.

Primer iz prakse je **Bodegas Torres (Španija),** koja je izračunala svoj ugljenični otisak i utvrdila da:

- **40%** emisija potiče od proizvodnje **staklenih boca,**
- **24%** od **potrošnje energije u vinariji,**
- **16%** od **transporta.**

Na osnovu ove analize, vinarija je prioritet dala **lakšoj i reciklabilnoj ambalaži** i **uvođenju obnovljivih izvora energije**, čime je značajno smanjila svoj ugljenični otisak poslednjih godina (IWCA, 2022).

2. Optimizacija energije i korišćenje obnovljivih izvora

Potrošnja energije čini između 20% i 40% ukupnog ugljeničnog otiska (Pardo et al., 2019). Ključne strategije uključuju:

- **Instalaciju solarnih panela za sopstvenu proizvodnju električne** energije, čime se smanjuje zavisnost od mreže i emisije iz fosilnih goriva.
- **Korišćenje vinske biomase** (rezidbeni ostaci, komina) za proizvodnju toplote, čime se smanjuje upotreba dizela ili prirodnog gasa (Brunori et al., 2020).
- **Rekuperaciju toplote** iz procesa fermentacije i destilacije radi smanjenja potrebe za kotlovima.
- **LED rasvetu i frekventne regulatore** u pumpama i opremi radi optimizacije potrošnje.

Jackson Family Wines (SAD) kombinuje solarnu energiju (6,7 MW instalirane snage) i efikasne sisteme hlađenja, čime je smanjio emisije u vinariji za 33% (IWCA, 2022).

3. Upravljanje zemljištem i sekvestracija ugljenika

Vinograd može postati **ponor ugljenika** ukoliko se primenjuju regenerativne prakse koje podstiču vezivanje CO_2 u zemljištu:

- **Stalne pokrovne kulture:** povećavaju sadržaj organske materije i vezuju ugljenik (Chirivella et al., 2021).
- **Smanjena obrada zemljišta**: sprečava oslobađanje ugljenika iz tla.
- **Primena komposta i biouglja:** poboljšava plodnost i deluje kao stabilan rezervoar ugljenika.

Istraživanja u Bordou i Toskani pokazuju da ove prakse mogu neutralisati između 8% i 12% godišnjih emisija vinograda (Brunori et al., 2020).

4. Smanjenje emisija u logistici i transportu

Transport vina, posebno u bocama, predstavlja značajan faktor u ukupnom ugljeničnom otisku. Neka od rešenja su:

- **Upotreba lakše ambalaže:** smanjenje mase boce za 100 g može smanjiti emisije za 6% (OIV, 2021).
- **Alternativna pakovanja:** reciklirane PET boce, aluminijum ili Bag-in-Box za lokalna tržišta.
- **Optimizacija ruta i objedinjavanje tereta** uz pomoć digitalnih alata radi smanjenja praznih vožnji.

5. Cirkularna ekonomija i iskorišćenje nusproizvoda

Organski otpad, kao što su komina i talog, može se pretvoriti u energiju ili koristiti kao sirovina u drugim sektorima:

- **Proizvodnja biogasa** putem anaerobne digestije.
- **Ekstrakcija polifenola i antioksidanata** za prehrambenu i kozmetičku industriju.
- **Proizvodnja peleta** od biomase za grejanje ili prodaju.

U Rioji, projekat VINySOST razvio je sisteme za pretvaranje vinskog otpada u biomasu i biođubriva, smanjujući ukupni ugljenični otisak za 20% (AENOR, 2022).

6. Sertifikacija i komunikacija klimatske odgovornosti

Sve veći broj potrošača vrednuje vina sa ekološkim sertifikatima, kao što su:

- **Carbon Neutral Wine (sertifikacija prema ISO 14064).**
- **IWCA Gold Standard.**
- **Organski i biodinamički sertifikati.**

Yealands Estate (Novi Zeland) postala je prva vinarija sertifikovana kao „karbonski neutralna“, kombinujući solarnu energiju, biomasu i smanjenje težine boca. Transparentna komunikacija kroz etikete i digitalne kanale jača brend i omogućava pristup premium tržištima koja vrednuju održivost.

.

2.4. Digitalni alati za praćenje ugljeničnog otiska i potrošnje energije

Digitalna transformacija u vinogradarstvu ne odnosi se samo na agronomski monitoring, već ima ključnu ulogu u **upravljanju održivošću i energetskom tranzicijom.** Smanjenje **ugljeničnog otiska** i optimizacija potrošnje energije **zahtevaju sisteme za praćenje u realnom vremenu**, prediktivnu analitiku i integrisane platforme koje podatke pretvaraju u strateške odluke (Wolfert et al., 2017; Verdouw et al., 2021). Ova sekcija

obrađuje najvažnije alate i tehnologije za kontrolu i praćenje ekološkog uticaja u vinogradima i vinarijama.

1. Digitalne platforme za upravljanje ugljeničnim otiskom

Sistemi za praćenje emisija omogućavaju vinarijama da izračunaju i izveštavaju o svom klimatskom uticaju u skladu sa međunarodnim standardima kao što su **ISO 14064, GHG Protocol** ili **PAS 2050**. Ovi alati se povezuju sa podacima o energiji, proizvodnji i transportu kako bi generisali sertifikovane izveštaje.

- **Značajni primeri:**
    - **SustainaWine®**: platforma razvijena u EU koja integriše indikatore ugljeničnog, vodnog i energetskog otiska i daje automatske preporuke za smanjenje emisija (CORDIS, 2021).
    - **Wine Carbon Calculator (California Sustainable Winegrowing Alliance):** : izračunava emisije od proizvodnje inputa do flaširanja i logistike, uključujući scenarije „šta ako“ za planiranje unapređenja.
    - **IWCA alat**: zvanični alat organizacije International Wineries for Climate Action za merenje i verifikaciju emisija prema metodologiji **opsega 1, 2 i 3** (IWCA, 2022).

Ove platforme ne samo da kvantifikuju emisije, već omogućavaju **i simulaciju scenarija**, na primer procenu uticaja zamene tradicionalne staklene ambalaže lakšom ili uvođenja fotonaponskih sistema.

2. IoT senzori i praćenje potrošnje energije u realnom vremenu

Primena Interneta stvari (IoT) u vinarijama i vinogradima značajno je unapredila mogućnost merenja i optimizacije potrošnje energije:

- **Senzori električnog i toplotnog protoka:** mere energiju koju troše pumpe, rashladni sistemi, prese i sistemi klimatizacije.
- **Pametna brojila povezana sa cloud platformama:** generišu upozorenja u slučaju neuobičajenih skokova potrošnje.
- **Integracija sa BMS sistemima (sistemi upravljanja zgradama)** radi optimizacije hlađenja u fermentacionim i skladišnim prostorima.

Château Larose-Trintaudon (Francuska) uveo je IoT senzore povezane sa platformom **Wattsense,** čime je postignuto smanjenje potrošnje električne energije od 18% zahvaljujući optimizaciji klimatizacije (European Commission, 2022).

3. Digitalni blizanci i prediktivna analitika

Koncept **digitalnog** blizanca primenjen u vinarijama omogućava simulaciju energetskih scenarija, optimizaciju procesa i procenu efekata strateških odluka. Ovi modeli integrišu podatke u realnom vremenu sa prediktivnim algoritmima kako bi:

- **Predvideli potrošnju energije** u zavisnosti od opterećenja (berba, flaširanje).

- **Simulirali uvođenje obnovljivih tehnologija** i izračunali povraćaj investicije i smanjenje emisija.
- **Optimizovali raspored navodnjavanja i pumpanja** u skladu sa periodima niže cene energije i manjeg ugljeničnog otiska (Verdouw et al., 2021).

Projekat **VitiGEOSS** (H2020) koristi digitalne blizance za integraciju podataka o energiji, vodi i logistici u vinogradima južne Evrope, uz predviđanje klimatskih i tržišnih scenarija (CORDIS, 2022).

4. Veštačka inteligencija i Big Data za energetsku efikasnost

Primena veštačke inteligencije u energetskoj tranziciji vinogradarstva obuhvata:

- **Predikciju energetske potražnje** pomoću neuronskih mreža koje kombinuju istorijske podatke, vremenske uslove i raspored proizvodnje.
- **Analizu odnosa energija–proizvodnja–kvalitet:** povezivanje podataka radi identifikacije optimalne potrošnje po litru vina.
- **Automatsko otkrivanje neefikasnosti**: algoritmi koji porede stvarnu potrošnju sa referentnim vrednostima i predlažu korektivne mere.

Softver EnergyMind® koristi mašinsko učenje za identifikaciju obrazaca rasipanja energije u skladištima i prilagođavanje rada opreme u realnom vremenu.

5. Blockchain za sledljivost i transparentnost energije

Sve više vinarija nastoji da svoj **održivi pristup predstavi** kroz proverljive podatke. Blockchain tehnologija koristi se za:

- Sertifikaciju porekla obnovljive energije korišćene u vinariji.
- Obezbeđivanje transparentnosti u lancu vrednosti.
- Prikaz podataka putem pametnih etiketa koje pokazuju ugljenični otisak po boci.

Projekat **GreenChain Wine** u Italiji koristi blockchain za sertifikaciju obnovljive energije i smanjenja emisija, omogućavajući potrošačima pristup podacima putem QR kodova na etiketi.

6. Integracija u jedinstvene upravljačke platforme (agronomski ERP sistemi)

Izazov nije samo merenje, već i **integracija** energetskih podataka sa ostalim procesima proizvodnje vina:

- ERP sistemi kao što su **AgriWebb**, **Farm360** i **Vite.net®** uključuju module za energiju i održivost.
- Napredne vinarije koriste objedinjene kontrolne table na kojima u realnom vremenu prate potrošnju energije, emisije, agronomske pokazatelje i finansijsko stanje.

Ovakav pristup omogućava **donošenje odluka zasnovanih na podacima**, umesto na intuiciji, i usklađivanje energetske efikasnosti sa kvalitetom i profitabilnošću.

2.5. Energetski kooperativizam u vinogradarskim zajednicama

Dekarbonizacija vinogradarstva ne zavisi samo od agronomskih praksi na nivou parcele. Potrošnja energije za navodnjavanje, mehanizaciju, hlađenje i rad vinarije čini značajan deo ugljeničnog otiska i troškova proizvodnje. U tom kontekstu, energetski kooperativizam se pojavljuje kao strateški pristup za vinogradarske zajednice koje žele da povećaju energetsku nezavisnost, smanje troškove i ubrzaju prelazak na obnovljive izvore energije.

Energetske zadruge predstavljaju kolektivne inicijative u kojima proizvođači zajednički investiraju u infrastrukturu za obnovljive izvore energije - najčešće fotonaponske sisteme - i dele proizvodnju, troškove i koristi. Ovaj model je u skladu sa politikama energetske tranzicije Evropske unije koje podstiču građanske i zajedničke energetske projekte kao instrumente decentralizovanih i demokratskih energetskih sistema (European Commission, 2019).



Slika 19. Članovi zadruge Westmill Solar Co-operative. Izvor: Westmill Solar Co-operative

U vinogradarstvu, gde mnogi proizvođači posluju u geografski koncentrisanim područjima i već sarađuju kroz tradicionalne poljoprivredne zadruge, energetski kooperativizam predstavlja prirodan nastavak postojećih kolektivnih struktura.

Strateško obrazloženje

Energija je postala ključna strateška varijabla za vinogradarske regione. Ona više nije samo operativni trošak, već faktor koji direktno utiče na konkurentnost, izloženost riziku i mogućnost prilagođavanja klimatskim promenama. Ovo je posebno važno u vinogradarstvu, jer potražnja za energijom nije konstantna: obično je koncentrisana u određenim periodima godine (navodnjavanje tokom leta; hlađenje i prerada tokom berbe i proizvodnje vina), što može pojačati uticaj rasta cena i ograničenja u snabdevanju.

U vinogradima, potrošnja električne energije najčešće je povezana sa pumpama za navodnjavanje, naročito u toplijim regionima gde su suše i toplotni talasi učinili dodatno navodnjavanje neophodnim. U vinarijama, potrošnja je koncentrisana u procesima hlađenja i kontrole temperature (upravljanje fermentacijom, stabilizacija, skladištenje), a dodatno se povećava radom linija za flaširanje i preradu, kompresorskim sistemima i opštom potrošnjom objekata (rasveta, sistemi za čišćenje, pomoćni motori). Kako digitalizacija napreduje, raste i potrošnja energije kroz sisteme za nadzor i upravljanje (oprema za povezivanje, senzori, automatizacija, prikupljanje podataka), što dodatno povećava značaj stabilnog i predvidivog snabdevanja električnom energijom.

Ovaj kontekst je važan jer profitabilnost energetski intenzivnih aktivnosti u velikoj meri zavisi od volatilnosti tržišta. Međunarodna agencija za energiju (IEA) pokazala je da je globalna energetska kriza dovela do značajnih skokova cena i nestabilnosti (posebno na tržištima gasa i električne energije), što direktno utiče na troškove i planiranje poslovanja. Novije analize IEA takođe ukazuju na strukturne promene na tržištima električne energije (uključujući sve češće periode sa negativnim cenama u nekim evropskim sistemima od 2022. godine), što pokazuje da dinamika cena postaje sve kompleksnija i manje predvidiva - dodatno naglašavajući značaj strategija samoproizvodnje i zaštite od rizika.

U takvim uslovima, energetski kooperativizam (ili kooperativni energetski modeli) predstavlja praktično rešenje: omogućava vinogradarskim zajednicama da zajednički investiraju u proizvodnju obnovljive energije - najčešće solarne - i upravljaju energijom kao zajedničkim strateškim resursom. Saradnjom proizvođači mogu ostvariti bolje projektovanje sistema, ekonomiju obima, veću pregovaračku moć i pristup znanju koje pojedinačna gazdinstva često nemaju. Na nivou teritorije, ovaj model doprinosi jačanju zajednice kroz zajednička ulaganja, uštede i upravljanje.

Kolektivna ulaganja u obnovljive izvore energije donose četiri ključne koristi:

- **Niže dugoročne troškove energije,** kroz zamenu dela energije iz mreže sopstvenom proizvodnjom tokom životnog veka sistema.
- **Veću stabilnost** cena, jer deo snabdevanja energijom postaje manje zavisan od tržišnih promena.
- **Bolje ekološke performanse,** kroz smanjenje emisija i podršku izveštavanju o održivosti i sertifikaciji.
- **Jaču teritorijalnu povezanost**, jer se model zasniva na zajedničkom odlučivanju i stvaranju vrednosti.

Na kraju, ovi projekti su u potpunosti usklađeni sa ciljevima Evropske unije u oblasti klime i energetike. EU zakonodavstvo prepoznaje i jača ulogu energetskih zajednica — posebno „građanskih energetskih zajednica“ i „zajednica za obnovljivu energiju“ - kao ključnog elementa decentralizovane energetske tranzicije. Ovo je naročito relevantno za vinogradarske regione gde već postoje oblici saradnje kroz zadruge, udruženja proizvođača ili sektorske organizacije.

Tehnički i organizacioni modeli

Energetski kooperativizam u vinogradarstvu može se primeniti kroz više praktičnih modela. Najefikasniji pristup zavisi od lokalnih ograničenja (raspoložive površine krovova ili zemljišta, priključenje na mrežu, regulatorne mogućnosti, profil potrošnje) i od načina na koji zajednica želi da organizuje ulaganja i raspodelu koristi.

1) Zajedničke fotonaponske instalacije

Ovo je najčešći i najjednostavniji model: proizvođači zajednički finansiraju fotonaponski sistem postavljen na krovovima zadružnih vinarija, zajedničkim objektima, pogodnom zemljištu ili u blizini infrastrukture za navodnjavanje. Proizvedena energija može se koristiti za kolektivnu sopstvenu potrošnju, raspodeliti među članovima prema dogovorenim pravilima ili koristiti za umanjenje potrošnje iz mreže.

Održivost modela zasniva se na kombinaciji sledećih faktora: predvidiva solarna proizvodnja, značajna dnevna potrošnja energije (pumpanje, hlađenje, operativni procesi) i mogućnost raspodele koristi između više članova. U praksi, zadruga mora definisati ko investira, kako se određuju učešća, kako se energija raspodeljuje i kako se meri i komunicira ostvarena ušteda.

Praktičan primer organizacije ovakvih sistema predstavlja pristup zadruge Som Energia, koja nudi modele kolektivne proizvodnje i upravljanja sopstvenom potrošnjom. Iako nije specifično vezan za vino, pokazuje kako se smanjuje administrativna složenost i olakšava učešće članova.

2 Energetske zajednice u okviru EU

U okviru paketa „Čista energija za sve Evropljane“, Evropska unija je formalno uvela energetske zajednice u zakonodavstvo - posebno kroz koncepte građanskih energetskih zajednica i zajednica za obnovljivu energiju - omogućavajući lokalnim akterima da zajednički proizvode, koriste, skladište i prodaju energiju iz obnovljivih izvora.

Za vinogradarske regione ovo je značajno jer obezbeđuje institucionalni okvir za modele koji prevazilaze princip „jedna instalacija za jednu lokaciju“. Energetske zajednice mogu povezati različite korisnike i namene (vinarije, sisteme za navodnjavanje, opštinske objekte, lokalna mala i srednja preduzeća) i omogućiti kombinovanje proizvodnje energije sa dodatnim uslugama kao što su zajednički monitoring, upravljanje potrošnjom i buduća skladištenja energije.

U Španiji, institucionalni okvir sve više podržava razvoj energetskih zajednica kroz nacionalne planove i posebne programe (npr. PNIEC okvir i linije podrške za energetske zajednice). Ovo je važno za vinogradarstvo jer se održivost kooperativnih projekata značajno povećava kada su podržani javnim sredstvima i jasnim pravnim okvirom.

3) Integracija navodnjavanja i energije

U mnogim mediteranskim vinogradarskim regionima, navodnjavanje je istovremeno alat za prilagođavanje klimatskim promenama i sve veći trošak. Solarni sistemi za pumpanje - bilo da ih koristi zajednica za navodnjavanje ili zadruga

proizvođača - mogu smanjiti zavisnost od električne mreže u periodima visokih cena, kao i upotrebu dizela tamo gde se još koristi.

Zajednički solarni sistemi za pumpanje posebno su atraktivni kada vinogradi dele pumpne stanice, rezervoare ili usklađene rasporede navodnjavanja. Kako potražnja za vodom često dostiže vrhunac u sunčanim periodima, proizvodnja solarne energije i potrebe za pumpanjem često se poklapaju, što povećava nivo sopstvene potrošnje i ekonomsku isplativost. Kooperativni pristup dodatno pojednostavljuje upravljanje: umesto da svaki proizvođač instalira mali sistem, zajednički sistem se može projektovati u skladu sa realnim potrebama celog područja.

Ekološke i ekonomske koristi

Koristi kooperativnih modela obnovljive energije treba predstaviti na način koji ima smisla za proizvođače i vinarije: ne kao apstraktne tvrdnje o održivosti, već kao konkretna poboljšanja u kontroli troškova, planiranju i upravljanju rizicima.

Sa ekološke strane, zamena električne energije iz mreže sopstveno proizvedenom obnovljivom energijom smanjuje operativne emisije i doprinosi klimatskim ciljevima. Međunarodna agencija za energiju (IEA) više puta je istakla ulogu obnovljivih izvora kao stabilnog i rastućeg segmenta energetskog sistema tokom nedavne energetske krize. U vinarijama je ovaj efekat posebno izražen kada se proizvodnja solarne energije poklapa sa dnevnom potrošnjom (pumpe, pomoćni rashladni sistemi, prerada), što je čest slučaj tokom leta i berbe.

Sa ekonomskog aspekta, najvažniji efekat je predvidivost. Kooperativna ulaganja smanjuju individualno finansijsko opterećenje, omogućavaju bolji pristup stručnom znanju i povećavaju mogućnosti za dobijanje subvencija ili učešće u programima energetske tranzicije. Na primer, u Španiji postoje posebni programi podrške za pilot projekte energetskih zajednica kroz IDAE, što jasno pokazuje pravac politike ka kolektivnim modelima.

Kooperativno upravljanje takođe omogućava efikasniju raspodelu rizika. Umesto da jedno gazdinstvo snosi sve neizvesnosti vezane za tehnologiju, održavanje i regulativu, odgovornosti se dele, a upravljanje se profesionalizuje kroz ugovore o održavanju, sistemsko praćenje i usklađenost sa propisima. Dugoročno, ovaj pristup jača otpornost lokalnih zajednica, jer uštede ostaju u regionu i mogu se reinvestirati u dodatne mere prilagođavanja, kao što su efikasnije korišćenje vode, unapređenje zemljišta i digitalizacija.

Primer uspeha: kooperativni energetski modeli u evropskim vinogradarskim regionima

Energetski kooperativizam u vinogradarstvu nije izolovan fenomen, već deo šire evropske tranzicije ka decentralizovanim, zajedničkim energetskim sistemima. U različitim vinogradarskim zemljama, inicijative zasnovane na saradnji pokazale su da zajednička ulaganja u obnovljive izvore mogu smanjiti troškove, povećati otpornost i ojačati teritorijalnu povezanost.

Iako se regulatorni okviri razlikuju među državama članicama, osnovni princip ostaje isti: lokalni akteri - uključujući vinarije, udruženja proizvođača, zajednice za navodnjavanje i opštine - sarađuju u proizvodnji, upravljanju i korišćenju obnovljive energije u okviru pravnog okvira koji omogućava EU paket za čistu energiju.

1. Francuska - teritorijalne energetske zadruge u vinogradarskim regionima

U Francuskoj su zadruge za obnovljive izvore energije sve više integrisane u strategije ruralnog razvoja. U vinogradarskim regionima kao što su Oksitanija i Nova Akvitanija, realizovani su kolektivni fotonaponski projekti kroz zadružne strukture poput SCIC (Sociétés Coopératives d'Intérêt Collectif). Ove inicijative često uključuju vinarije, poljoprivredne zadruge i lokalne vlasti koje zajednički investiraju u solarne sisteme postavljene na krovovima vinarija ili poljoprivrednih objekata.

Francuski model naglašava teritorijalnu dimenziju energetskog kooperativizma: projekti su deo širih regionalnih klimatskih strategija koje povezuju energetsku autonomiju sa ruralnim razvojem i održivim poljoprivrednim praksama. Za vinograde koji se suočavaju sa rastućim potrebama za navodnjavanjem i hlađenjem, zajednička solarna proizvodnja doprinosi stabilizaciji troškova i jačanju ekološke pozicije na konkurentnim izvoznim tržištima.

2. Italija - energetske zajednice u poljoprivrednim klasterima

Italija aktivno razvija energetske zajednice za obnovljive izvore (Comunità Energetiche Rinnovabili - CER), posebno u agro-prehrambenim regionima. U vinogradarskim područjima kao što su Emilija-Romanja i Veneto, pilot projekti povezali su vinarije, konzorcijume za navodnjavanje i agroindustrijske objekte kroz zajedničke fotonaponske sisteme.

Italijansko iskustvo pokazuje kako poljoprivredni klasteri mogu objediniti krovne i zemljišne resurse kako bi formirali distribuirane energetske sisteme koji koriste većem broju aktera. Ovi projekti često su podržani nacionalnim podsticajima i pojednostavljenim administrativnim procedurama, što pokazuje kako se EU direktive mogu efikasno primeniti na lokalnom nivou kada su usklađene sa nacionalnim politikama.

3. Nemačka - dugogodišnja tradicija energetskih zadruga u ruralnim područjima

Nemačka ima jednu od najrazvijenijih tradicija energetskih zadruga (Energiegenossenschaften). U vinogradarskim regionima kao što su Baden-Virtemberg i Rajnland-Pfalc, zadruge su finansirale solarne instalacije na krovovima vinarija i zajedničkim poljoprivrednim objektima, često uz integraciju sistema za praćenje energije i skladištenje.

Nemački pristup naglašava finansijsku transparentnost, učešće članova i dugoročno planiranje. On pokazuje kako kooperativni modeli mogu prerasti u inovacione platforme koje kombinuju proizvodnju energije sa digitalnim alatima za upravljanje potrošnjom i povećanje stepena sopstvene potrošnje.

4. Portugal – solarna rešenja u navodnjavanim vinogradarskim područjima

U dolini Doura i regionu Alentežo u Portugalu, gde je potreba za navodnjavanjem velika, a pritisak suše sve izraženiji, zajednički solarni sistemi za pumpanje vode pojavili su se kao praktično rešenje za rastuće troškove energije. Poljoprivredna udruženja i lokalne zadruge investirale su u zajedničke fotonaponske sisteme za snabdevanje infrastrukture za navodnjavanje i vinarija.

Ovi projekti pokazuju jasnu povezanost između prilagođavanja klimatskim promenama (upravljanje vodom) i energetske tranzicije, posebno u mediteranskim uslovima gde se dostupnost sunčeve energije i potrebe za navodnjavanjem sezonski poklapaju.

5. Španija – građanske energetske zadruge i učešće poljoprivrede

Španija takođe pruža relevantne primere kroz građanske zadruge za obnovljive izvore energije i modele kolektivne sopstvene potrošnje. U mnogim ruralnim područjima, fotonaponski sistemi postavljeni na krovovima zadružnih vinarija ili zajedničkim objektima omogućili su članovima da smanje kupovinu električne energije iz mreže i povećaju energetsku autonomiju.

Španska iskustva naglašavaju značaj posredničkih organizacija koje pružaju tehničku podršku, regulatorne smernice i modele upravljanja. Ovi akteri smanjuju administrativnu složenost i pomažu vinogradarima da efikasno učestvuju u sistemima kolektivne potrošnje. Nacionalne strategije koje podstiču energetske zajednice dodatno ubrzavaju razvoj ovakvih inicijativa u ruralnim područjima.

Izazovi i ključni uslovi za uspeh

Uprkos velikom potencijalu, energetski kooperativizam nije proces koji se odvija automatski. Njegov uspeh zavisi od toga da li se projekat istovremeno posmatra kao tehnički sistem i kao model upravljanja.

Prvi ključni uslov je **jasno definisano upravljanje**. Potrebno je uspostaviti transparentna pravila u vezi sa učešćem članova, visinom ulaganja, raspodelom koristi, procesima donošenja odluka i rešavanjem sporova. Ovo je posebno važno jer članovi moraju imati poverenje u pravičnost i profesionalno vođenje zadruge, naročito kada se povraćaj investicije očekuje kroz duži vremenski period.

Drugi izazov odnosi se **na regulatorni i administrativni kapacitet**. Energetske zajednice funkcionišu u okviru zakonskih sistema koji definišu prava i obaveze, pa je neophodno upravljati procesima kao što su izdavanje dozvola, priključenje na mrežu, ugovorni odnosi i usklađenost sa propisima. Evropska regulativa jasno pozicionira energetske zajednice kao deo tržišta električne energije i mehanizama zaštite potrošača, što dodatno naglašava značaj dobrog upravljanja.

Treći faktor je **obezbeđivanje početnog kapitala i tehnička izvodljivost projekta**. Iako se troškovi dele među članovima, projekti moraju biti finansijski održivi. To podrazumeva realne procene proizvodnje energije, pažljiv izbor lokacije i konzervativno finansijsko planiranje. Javne subvencije mogu pomoći, ali ne mogu nadomestiti kvalitetnu pripremu projekta.

Četvrti aspekt je **dugoročna koordinacija**. Energetski sistemi zahtevaju kontinuirano održavanje, praćenje performansi i donošenje periodičnih odluka

(ulaganja, unapređenja, promene u članstvu). Bez stabilne organizacije i koordinacije, postoji rizik da sistem ne ostvari očekivane rezultate i da poverenje članova oslabi.

Na kraju, potrebno je **upravljati sezonalnošću i varijabilnošću**. Solarna proizvodnja je najjača tokom leta, dok potrošnja energije može varirati u zavisnosti od faza proizvodnje (berba, prerada) i potreba za navodnjavanjem. U nekim regionima dodatni izazov predstavlja i sve složenija dinamika cena električne energije, uključujući periode negativnih cena. To dodatno naglašava značaj pametnog planiranja potrošnje, upravljanja opterećenjem i, gde je moguće, uvođenja sistema za skladištenje energije ili fleksibilne integracije sa mrežom.

3. Studije slučaja održivog vinogradarstva

3.1. Primeri uspešne energetske tranzicije i održivog vinogradarstva

Energetska tranzicija u vinogradarstvu više nije prolazni trend, već strateški pravac koji određuje konkurentnost i održivost vinskog sektora na globalnom nivou. Sve veći broj vinarija, svesnih uticaja klimatskih promena i regulatornih zahteva, uvodi obnovljive izvore energije, digitalna rešenja za energetsku efikasnost i cirkularne modele sa ciljem smanjenja ugljeničnog otiska, optimizacije resursa i obezbeđivanja dugoročne održivosti (International Organisation of Vine and Wine [OIV], 2021; IWCA, 2022).

Ova sekcija analizira stvarne primere iz Evrope, Amerike i Okeanije, kao i primenu **agrivoltaike** - inovativne tehnologije koja kombinuje poljoprivrednu proizvodnju i proizvodnju solarne energije, redefinišući upravljanje vinogradima.

1. Španija: lider u dekarbonizaciji i agrivoltaici

Familia Torres, jedna od najpoznatijih vinarija u Kataloniji, pozicionirala se kao globalni lider u borbi protiv klimatskih promena u vinskom sektoru. Kroz program **Torres & Earth**, pokrenut 2008. godine, kompanija je razvila sveobuhvatnu strategiju dekarbonizacije zasnovanu na tri ključna stuba: energetska efikasnost, obnovljivi izvori energije i regeneracija zemljišta. Među najvažnijim merama izdvaja se instalacija **12.000 m² fotonaponskih panela** koji proizvode oko **2,5 GWh godišnje**, pokrivajući približno **30% potreba vinarije za električnom energijom.** Ova proizvodnja dopunjena je korišćenjem **kotlova na biomasu koji koriste rezidbene ostatke vinove loze**, čime se formira cirkularni sistem koji zamenjuje fosilna goriva. Pored toga, Torres investira u projekte hvatanja **CO_2 iz atmosfere** i obnovu degradiranih zemljišta kroz regenerativne prakse, čime je postigao **kumulativno smanjenje emisija gasova sa efektom staklene bašte od 34% od 2008.** godine. Zahvaljujući ovom pristupu, kompanija je dobila priznanje kao **Gold član organizacije International Wineries for Climate Action (IWCA**), uz procenjenu godišnju uštedu energije od oko **450.000 evra.**

Takođe u Španiji, kompanija González Byass napravila je značajan iskorak ka čistoj energiji u svojim vinarijama u Heresu de la Frontera (Andaluzija). Instalirani **su solarni sistemi kapaciteta 2 MW** koji pokrivaju veliki deo potreba za električnom energijom. Istovremeno, sprovedena je potpuna automatizacija sistema klimatizacije i ventilacije, što je dovelo do **smanjenja potrošnje fosilne energije za oko 40%** (European Commission, 2022). Ove aktivnosti deo su strategije kompanije da dostigne klimatsku neutralnost do 2040. godine.

Španija se takođe ističe kao jedna od pionirskih zemalja u primeni **agrivoltaike u vinogradima**, kroz projekte koje vode organizacije poput Repsol-a, SMART PVwine i SOLARWINE inicijativa. Ovi projekti kombinuju **bifacijalne i poluprovidne solarne panele postavljene iznad vinograda,** uz upravljanje putem **digitalnih blizanaca i inteligentnih sistema kontrole.** Ciljevi su višestruki: **smanjenje klimatskog stresa u vinogradima, generisanje dodatnih prihoda kroz prodaju viška energije i razvoj agronomskih modela prilagođenih klimatskim promenama (**Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 2023). Preliminarni rezultati pokazuju značajno smanjenje

toplotnog stresa i potrošnje vode u vinogradima ispod solarnih panela, što ukazuje na veliki potencijal ove tehnologije kao strateškog pravca razvoja u budućnosti.

2. Francuska: klimatska neutralnost i napredne poljoprivredne tehnologije

Château Larose-Trintaudon, koji se nalazi u regionu Bordoa, jedan je od najvećih vinograda u tom području sa **190 hektara** i nedavno je postigao **sertifikovanu klimatsku neutralnost.** Ovaj rezultat ostvaren je zahvaljujući inovativnom pristupu zasnovanom na **digitalnom praćenju potrošnje energije putem IoT senzora integrisanih u BMS platforme,** korišćenju **100% obnovljive električne energije kroz PPA (Power Purchase Agreement)** ugovore, kao i sopstvenoj proizvodnji solarne energije. Pored toga, agroekološke prakse smanjuju upotrebu hemikalija i podstiču biodiverzitet u vinogradu. Ove mere dovele su **do smanjenja ukupne potrošnje energije za 18%,** uglavnom zahvaljujući primeni algoritama veštačke inteligencije za **optimizaciju termičkih procesa** u objektima, **uz potpuno neutralisanje preostalih emisija kroz sertifikovane šumske projekte.**

U regionu Langdok, vinarija Château Maris postala je primer ekološke arhitekture i energetske efikasnosti. Njena vinarija, izgrađena od prirodnih materijala poput **konoplje i kreča**, funkcioniše isključivo na **solarnu energiju, biomasu i električnu energiju iz sertifikovanih obnovljivih izvora**. Takođe, poseduje **B Lab (B-Corp) sertifikat** za svoje ekološke, društvene i ekonomske performanse, i uspešno se pozicionirala na **premium tržištima gde ostvaruje i do 15% veću vrednost** za vina sa niskim ugljeničnim otiskom (Wine Spectator, 2022).

Francuska je napravila značajan napredak i u oblasti agrivoltaike. U regionu Oksitanija, vinograd Domaine de Nidolères učestvuje u programu Sun'Agri, gde se **4,5 hektara vinograda uzgaja ispod dinamičkih fotonaponskih panela koji se automatski prilagođavaju sunčevom zračenju i vlažnosti vazduha**. Rezultati su izuzetni**: smanjenje potrebe za navodnjavanjem za 70%,** povećanje prinosa **od 20% do 60%** i poboljšanje kvaliteta grožđa zahvaljujući sporijem i ujednačenijem sazrevanju (INRAE, 2022). Ovi rezultati pozicioniraju Francusku kao jednog od lidera u održivom vinogradarstvu otpornom na klimatske promene.

3. Italija: energetske zajednice i agrivoltaičke zadruga

U Toskani, istorijska vinarija Cantina Gabbiano u potpunosti je modernizovala svoj energetski sistem instalacijom **solarnih panela snage 1,8 MW**, koji pokrivaju **oko 70% godišnje potrošnje električne energije.** Ova proizvodnja kombinuje se sa **geotermalnim toplotnim pumpama za klimatizaciju**, čime su **troškovi energije za regulaciju temperature smanjeni za 45%**. Zahvaljujući ovim merama, vinarija **godišnje izbegava emisiju oko 450 tona CO_2** i uspela je da povrati investiciju za samo pet godina, uz podršku subvencija iz programa Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

Dalje na severu, Consorzio Vini del Trentino okuplja **više od 3.000 vinogradara u regionu Trentino-Alto Adiđe** i predstavlja primer kako saradnja može ubrzati energetsku tranziciju u ruralnim područjima. Konzorcijum je razvio kolektivne sisteme **za proizvodnju energije iz biomase koji koriste kominu i rezidbene ostatke**, čime su **troškovi energije smanjeni za 30%** i **zatvoren ciklus otpada**, pretvarajući ga u čistu energiju (European Commission, 2021).

Italija takođe razvija projekte agrivoltaike zasnovane na zajednici. Jedan od najznačajnijih primera je projekat **Vigna Agrivoltaica di Comunità – La Svolta** u regionu Pulja, gde je instalirano **7.770 tankoslojnih solarnih panela ukupne snage 970 kW iznad vinograda**. Ovaj sistem omogućio je **odlaganje berbe za 3 do 4 nedelje,** čime se postiže **sporije i uravnoteženije sazrevanje grožđa**, uz **smanjenje vodnog stresa biljaka za 20%.** Dobijeno grožđe ima **veću kiselost i niži sadržaj šećera**, što omogućava proizvodnju **svežijih vina pogodnih za penušava vina** i otvara nove tržišne prilike u uslovima globalnog zagrevanja.

4. Čile: digitalni blizanci i energetska efikasnost na velikoj skali

Multinacionalna kompanija Concha y Toro, lider vinske industrije u Latinskoj Americi, razvila je **sveobuhvatan plan energetske održivosti** koji kombinuje obnovljive izvore energije, digitalizaciju i efikasnost. Kompanija je instalirala **solarne parkove u regionima Maule i Kolčagva kapaciteta oko 3 GWh godišnje**, kao i zamenila stare kotlove sistemima na **biomasu koji koriste poljoprivredne nusproizvode**. Pored toga, implementiran je **digitalni blizanac koji u realnom vremenu modeluje energetsko i vodno ponašanje proizvodnih postrojenja**, omogućavajući optimizaciju potrošnje i precizno planiranje operacija. Kao rezultat, kompanija je **smanjila potrošnju električne energije po litru proizvedenog vina za 10% i indirektne emisije iz opsega 2 za 30%,** čime je dobila priznanje „Energy Efficiency Seal“ Vlade Čilea (2021). Ovaj pionirski pristup sve više preuzimaju i druge vinarije u zemlji.

5. Sjedinjene Američke Države: pametna solarna energija i distribuirano skladištenje

U Kaliforniji, Jackson Family Wines podigao je energetsku efikasnost na viši nivo integracijom prediktivnih modela, obnovljivih izvora energije i pametnih sistema skladištenja. Kompanija je instalirala 12 MW fotonaponskih panela, koji pokrivaju oko 60% potražnje za energijom u periodima najvećeg opterećenja (tokom berbe), značajno smanjujući zavisnost od elektroenergetske mreže. Ovaj sistem dopunjen je Tesla Powerpack baterijama koje skladište energiju u periodima niže potrošnje i koriste je tokom vršnih opterećenja, dok algoritmi veštačke inteligencije dinamički optimizuju rad industrijske opreme.Ove inovacije omogućile su smanjenje emisija za oko 12.000 tona CO_2 godišnje i ostvarivanje finansijskih ušteda od približno 2,5 miliona dolara godišnje, čime je kompanija pre roka ostvarila cilj klimatske neutralnosti do 2030. godine (IWCA, 2022).

3.2. Komparativna analiza održivih modela u vinogradarstvu

Komparativna analiza različitih modela održivosti u vinogradarstvu omogućava razumevanje koje su strategije najefikasnije u pogledu **troškova, uticaja na životnu sredinu, povraćaja investicije (ROI) i društvene prihvaćenosti**. Ova sekcija prikazuje glavne pristupe koje **primenjuju međunarodno priznate vinarije**, upoređujući njihove ključne karakteristike: **primenjenu tehnologiju, početna ulaganja, ostvarene uštede, smanjenje emisija i dodatne koristi**.

1. Fotonaponska energija vs. biomasa: uticaj i isplativost

Fotonaponska solarna energija je najrasprostranjenija tehnologija u vinarijama, zahvaljujući visokom nivou sunčevog zračenja u vinogradarskim regionima. Primeri:

- **Jackson Family Wines (SAD):** 12 MW instalirane snage, procenjena investicija 14 miliona USD, godišnje uštede od 2,5 miliona USD i smanjenje emisija od **12.000 t CO_2 godišnje** (IWCA, 2022).
- **Cantina Gabbiano (Italija):** 1,8 MW instalirano, povraćaj investicije za 5 godina, pokrivanje 70% potreba za energijom (European Commission, 2021).

Sa druge strane, **biomasa u vinogradarstvu** koristi nusproizvode kao što su rezidbeni ostaci, semenke i komina, smanjujući troškove odlaganja i zatvarajući cirkularni proizvodni ciklus. Primeri:

- **Torres (Španija):** kotlovi na biomasu za grejanje vinarije, smanjenje od **200 t CO_2 godišnje.**
- **Consorzio Vini del Trentino:** kooperativni model koji smanjuje troškove energije **za 30%.**

Zaključak poređenja:

- **Fotonaponski** sistemi imaju visoke početne troškove, ali brži povraćaj investicije (5–7 godina), dok je biomasa dostupnija i donosi dodatne koristi u okviru cirkularne ekonomije.
- U regionima sa mnogo organskog otpada i manjim sunčevim zračenjem biomasa je efikasnija, dok u sunčanim područjima dominira solarna energija.

2. Hibridni sistemi: kombinacija solarne energije, geotermalne energije i skladištenja

Hibridni **sistemi** integrišu više izvora energije kako bi obezbedili stabilno snabdevanje. Primeri:

- **Château Maris (Francuska**) kombinuje solarnu energiju, biomasu i termalno skladištenje, postižući **energetsku autonomiju od 95%.**
- Primena **Tesla Powerpack baterija u Kaliforniji** omogućava balansiranje vršnih opterećenja i smanjenje zavisnosti od mreže.

Prednosti:

- Kontinuirano snabdevanje energijom čak i u periodima slabije solarne proizvodnje.
- Veća stabilnost sistema, uz visoke početne investicije (preko 500.000 € za srednje velike vinarije), ali značajno smanjenje ukupnih troškova energije.

3. Veštačka inteligencija (AI) za energetsku efikasnost

Digitalizacija u upravljanju energijom predstavlja kvalitativni iskorak u održivosti. Primeri:

- **Concha y Toro (Čile) koristi digitalne blizance** za simulaciju energetskih scenarija, postižući **smanjenje potrošnje električne energije po litru vina od 10%.**

- **Torres (Španija)** koristi **prediktivnu veštačku inteligenciju** za upravljanje hlađenjem u tankovima, optimizujući korišćenje obnovljivih izvora energije.

Prednosti u odnosu na tradicionalne modele:

- Dodatne uštede energije od **10–15%** bez velikih ulaganja u infrastrukturu.
- Bolja sledljivost i donošenje odluka koje sprečavaju nepotrebne troškove.

4. Sertifikati i tržišna vrednost: uticaj na cenu vina

Ekonomski efekti održivosti ne ogledaju se samo u uštedama energije, već i u **povećanoj tržišnoj vrednosti proizvoda:**

- Vinarije sa sertifikatom **klimatske neutralnosti** (npr. Château Larose-Trintaudon) postižu **premijum cenu vina veću za 10–15%** na zahtevnim tržištima (Wine Spectator, 2022).
- Programi kao što su **B-Corp ili IWCA Gold Member** olakšavaju ulazak na međunarodna tržišta i značajno povećavaju reputaciju brenda.

5. Poređenje povraćaja investicije (ROI) i ekoloških koristi

Tabela 1. Izrada autora na osnovu IWCA (2022), Torres (2021), European Commission (2021).

Tehnologija	Početna investicija (€)	ROI	Smanjenje CO_2/godišnje	Ostale koristi
Fotonaponski sistemi (1 MW)	700.000 – 1.000.000	5-7 godina	1,000 – 1,500 t	Delimična energetska nezavisnost, „zeleni“ imidž
Biomasa (kotao 500 kW)	250.000 – 400.000	3-4 godina	200 – 300 t	Iskorišćenje otpada
Geotermalna energija (srednja vinarija)	150.000 – 300.000	4-6 godina	150 – 250 t	Termička stabilnost
Veštačka inteligencija za efikasnost	50.000 – 100.000	2 godine	50 – 100 t	Digitalna optimizacija

Zaključak komparativne analize

Najisplativiji model za male i srednje vinarije predstavlja **kombinacija fotonaponskih sistema i biomase**, uz dodatnu primenu **veštačke inteligencije za upravljanje energijom**. Velike vinarije imaju mogućnost da integrišu i sisteme za **skladištenje energije i geotermalne tehnologije,** čime mogu dostići klimatsku neutralnost. Ključ uspeha leži u **fleksibilnosti sistema i dostupnosti javnih subvencija**, koje mogu smanjiti investiciju za **40–60%.**

3.3. Ekonomski i ekološki uticaj energetske tranzicije na vinarije

Energetska tranzicija u vinogradarstvu i vinarstvu ne podrazumeva samo tehnološku promenu, već i **duboku transformaciju strukture troškova, tržišnog pozicioniranja i ekološkog uticaja sektora**. Ova sekcija analizira glavne efekte iz dve perspektive: **ekonomske (troškovi, uštede, povraćaj investicije) i ekološke (smanjenje emisija, efikasnost korišćenja resursa),** na osnovu savremenih studija i primera iz prakse.

1. Ekonomski uticaj: Troškovi i povraćaj investicije (ROI)

Uvođenje obnovljivih izvora energije i mera energetske efikasnosti predstavlja **inicijalni finansijski izazov**, posebno za manje vinarije, gde ulaganja mogu iznositi **od 50.000 € do preko 1.000.000 €,** u zavisnosti od obima i kombinacije tehnologija (European Commission, 2021).

Procena raspodele investicija po tehnologijama:

- **Fotonaponski solarni sistemi (1 MW):** 700.000 – 1.000.000 €
- **Kotlovi na biomasu (500 kW):** 250.000 – 400.000 €
- **Geotermalni sistemi za klimatizaciju:** 150.000 – 300.000 €
- **Sistemi za skladištenje energije (baterije):** 200.000 – 350.000 €
- **AI i sistemi za upravljanje energijom:** 50.000 – 100.000 €

Povraćaj investicije zavisi od kombinacije tehnologija, nivoa potrošnje i dostupnih subvencija. Prema **IWCA (2022) i Torres (2021):**

- **Fotonaponski sistemi**: povraćaj **za 5–7 godina** kroz sopstvenu potrošnju i prodaju viškova energije.
- **Biomasa:** povraćaj **za 3–4 godine** uz dodatno smanjenje troškova upravljanja otpadom.
- **AI i optimizacija energije**: brz povraćaj **za 1–2 godine** zahvaljujući smanjenju potrošnje električne energije za 10–15%.

Vinarije koje kombinuju više tehnologija ostvaruju uštede **od 25–35% na računima** za električnu energiju i **oko 30% smanjenja ukupnih energetskih troškova**, čime oslobađaju kapital za inovacije i marketing (García et al., 2022).

2. Ekološki uticaj: smanjenje ugljeničnog otiska

radicionalna proizvodnja vina ima procenjeni ugljenični otisak između **1,5 i 2,0 kg CO_2 po boci (**Delmotte et al., 2020). Uvođenje obnovljivih izvora energije može značajno smanjiti ove emisije:

- **Fotonaponski sistemi:** smanjenje do 40% emisija iz električne energije.
- **Biomasa**: dodatno smanjenje od 15–20% zamenom fosilnih goriva.
- **Hibridni sistemi (solar + biomasa + skladištenje):** smanjenje od 70–80% emisija iz energetskog segmenta.
- **AI i digitalizacija:** indirektno smanjenje od oko 10% kroz optimizaciju procesa.

Kvantitativni primer:

- Vinarija sa proizvodnjom od **500.000 boca godišnje** i potrošnjom od **1,2 GWh**:
    - Pre: emisije oko 550 t CO_2 godišnje iz energije.
    - Nakon uvođenja solarnih sistema (70% pokrivenosti): smanjenje od 385 t CO_2 godišnje.
    - Dodavanjem biomase za grejanje: dodatno smanjenje od 90 t CO_2.
    - Ukupno: smanjenje **veće od 85%** energetskog ugljeničnog otiska.

Ovakav nivo smanjenja omogućava vinarijama da **steknu sertifikate kao što su Carbon Neutral ili ISO 14001**, čime povećavaju konkurentnost i pristup premium tržištima (Wine Spectator, 2022).

3. Uticaj na konkurentnost i tržišnu vrednost

Energetska održivost ne donosi samo uštede, već i **direktnu ekonomsku vrednost:**

- **Premium cene:** Vina sa sertifikatom održivosti postižu cenu **veću za 10–20%,** posebno na tržištima SAD i severne Evrope (Wine Intelligence, 2021).
- **Privlačenje „zelenih" investicija i fondova**: programi poput **NextGeneration EU** pokrivaju **40–60% investicija**, ubrzavajući tranziciju (European Commission, 2021).
- **Lojalnost potrošača:** 66% kupaca vina u EU navodi održivost kao ključni faktor pri kupovini (OIV, 2022).

4. Ekonomske prepreke i rešenja

- **Visoki početni troškovi:** rešenje su modeli kao što su **Energy as a Service** i **PPA (Power Purchase Agreements)** ugovori.
- **Neujednačen pristup finansiranju**: zadruge i klasteri mogu zajedničkim nabavkama smanjiti troškove za 20–30%.
- **Nedostatak pouzdanih podataka o povraćaju investicije: rešenje su sistemi za kontinuirano praćenje (IoT i AI)** koji generišu finansijske i ekološke izveštaje i olakšavaju donošenje odluka.

Economic and environmental impact summary table

Mera	Smanjenje CO_2	Godišnje uštede (%)	Procena ROI
Fotonaponski sistemi	40 %	20–25 %	5–7 godina
Biomasa	15–20 %	15 %	3–4 godine
AI i digitalizacija	10 % (indirektno)	8–12 %	1–2 godine
Hibridni sistemi	70–80 %	30–40 %	7–10 godina

Izvori

- Abad, J., Marqués, M. J., & Álvaro-Fuentes, J. (2021). Očuvanje zemljišta u vinogradima: globalni pregled. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(45), 1–22. https://doi.org/10.1007/s13593-021-00705-1
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Evapotranspiracija useva: smernice za izračunavanje potreba za vodom (FAO priručnik br. 56).* FAO. https://www.fao.org/4/x0490e/x0490e00.htm
- Almeida, W. S., et al. (2024). Procena evapotranspiracije vinove loze kombinovanjem daljinskih istraživanja i SIMDualKc modela. *Water*, 16(18), 2567. https://doi.org/10.3390/w16182567
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2017). Tehnološki pristupi održivoj poljoprivredi: agroekološka perspektiva. *Sustainability*, 9(3), 349. https://doi.org/10.3390/su9030349
- Bàrberi, P., et al. (2010). Funkcionalni biodiverzitet u poljoprivredi. *Weed Research*, 50, 388–401. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00798.x
- Bavaresco, L., et al. (2016). Podloge vinove loze i njihov uticaj. *Acta Horticulturae*, 1136, 41–50. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1136.6
- Biddoccu, M., et al. (2016). Kontrola erozije u vinogradima na padinama. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 22(1), 54–67. https://doi.org/10.1111/ajgw.12173
- Bindi, M., & Olesen, J. E. (2011). Poljoprivreda Evrope i klimatske promene. *Regional Environmental Change*, 11(1), S151–S158. https://doi.org/10.1007/s10113-010-0173-x
- Bordelon, B. P., et al. (2020). Uticaj upravljanja zemljištem na kvalitet grožđa. *American Journal of Enology and Viticulture*, 71(2), 123–134. https://doi.org/10.5344/ajev.2020.19054
- Brunori, G., et al. (2020). Bilans ugljenika u vinskom sektoru. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122645. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122645
- Celette, F., et al. (2008). Promene vodnog režima u vinogradima. *European Journal of Agronomy*, 29, 153–162. https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.04.007
- Celette, F., et al. (2009). Konkurencija za azot u vinogradima. *European Journal of Agronomy*, 30, 41–51. https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.07.003
- Delmotte, F., et al. (2020). Smanjenje pesticida u vinogradarstvu. *Science of the Total Environment*, 731, 139269. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139269

- Er-Raki, S. (2024). AquaCrop model za procenu navodnjavanja. *E3S Web of Conferences*, 489, 04011. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448904011
- European Commission. (2021a). *Strategija EU za zemljište do 2030.* https://environment.ec.europa.eu/publications/eu-soil-strategy-2030_en
- European Commission. (2021b). *Zelena tranzicija u vinarijama EU.*
- European Commission. (2022). *Digitalne tehnologije za energetsku efikasnost u vinskom sektoru.*
- FAO. (2017). *Budućnost hrane i poljoprivrede.* https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf
- Gambetta, G. A., et al. (2020). Fiziologija suše kod vinove loze. *Journal of Experimental Botany*, 71(16), 4658–4676. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa245
- García, L., et al. (2018). Pokrovni usevi i biodiverzitet. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 267, 100–111. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.017
- García, M., et al. (2022). Digitalni blizanci u vinogradarstvu. *Agronomy*, 12(4), 856. https://doi.org/10.3390/agronomy12040856
- Hueso-González, P., et al. (2016). Upravljanje zemljištem u suvim uslovima. *Solid Earth*, 7, 1479–1489. https://doi.org/10.5194/se-7-1479-2016
- IWCA. (2022). *Najbolje prakse za dekarbonizaciju proizvodnje vina.*
- Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2011). Deficitno navodnjavanje i kvalitet grožđa. *Irrigation Science*, 29(6), 443–452. https://doi.org/10.1007/s00271-010-0258-y
- Ismail, S. M. (2025). Biođubriva i organski ugljenik. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 25(3), 1023–1037. https://doi.org/10.1007/s42729-025-01234-9
- Jones, G. V., et al. (2010). Klimatske promene i vino. *Climatic Change*, 73(3), 319–343. https://doi.org/10.1007/s10584-005-4704-2
- Jones, H. G. (2004). Planiranje navodnjavanja. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2427–2436. https://doi.org/10.1093/jxb/erh213
- Kumar, P. (2022). Senzori protoka soka. *Frontiers in Plant Science*, 13. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1021387
- Lal, R. (2004). Sekvestracija ugljenika. *Science*, 304, 1623–1627.
- Lal, R. (2020). Organska materija i voda. *Agronomy Journal*, 112(5), 3755–3768. https://doi.org/10.1002/agj2.20282
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biočar za upravljanje životnom sredinom.*

- López-Vicente, M., et al. (2020). Očuvanje zemljišta u vinogradima. *Agricultural Water Management*, 240, 106267. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106267
- Lucchetta, M., et al. (2025). Kompost iz vinogradarskih ostataka. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9. https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1504761
- Malvoni, M., et al. (2017). Potrošnja energije u vinarijama. *Energy Procedia*, 126, 227–233. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.144
- Martínez-Casasnovas, J. A., et al. (2012). Zone upravljanja u vinogradima. *Precision Agriculture*, 13, 622–638.
- Medrano, H., et al. (2015). Efikasnost korišćenja vode. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 499–517. https://doi.org/10.1007/s13593-014-0280-z
- Mirás-Avalos, J. M., et al. (2021). Optimizacija navodnjavanja. *Water*, 13(6), 746. https://doi.org/10.3390/w13060746
- Morlat, R., & Symoneaux, R. (2008). Upravljanje zemljištem. *Vitis*, 47(4), 201–208.
- Pardo, G., et al. (2019). Emisije gasova u poljoprivredi. *Environmental Science & Policy*, 94, 119–129. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.020
- Pattara, C., et al. (2012). Ugljenični otisak vina. *Environmental Management*, 49(6), 1247–1258. https://doi.org/10.1007/s00267-012-9844-3
- Ripoche, A., et al. (2011). Upravljanje zemljištem u vinogradima. *Plant and Soil*, 339, 259–271. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0573-1
- Ruiz-Colmenero, M., et al. (2013). Erozija u vinogradima. *Soil and Tillage Research*, 126, 111–118. https://doi.org/10.1016/j.still.2012.09.006
- SARE. (2022). *Upravljanje pokrovnim usevima.* https://www.sare.org/resources/managing-cover-crops-profitably/
- Van Leeuwen, C., & Darriet, P. (2016). Klimatske promene i vino. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 150–167. https://doi.org/10.1017/jwe.2016.7
- Van Leeuwen, C., et al. (2019). Klimatske promene u vinogradarstvu. *Bulletin de l'OIV*, 92.
- Wine Intelligence. (2021). *Trendovi održivog vina.*
- Wine Spectator. (2022). *Održivo vino i tržište.*
- Wolfert, S., et al. (2017). Veliki podaci u poljoprivredi. *Agricultural Systems*, 153, 69–80. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023

Aneks I – Pitanja za proveru znanja

Blok 1: Zelene prakse u vinogradarstvu

1. Objasniti ulogu organske materije u plodnosti zemljišta i kapacitetu zadržavanja vode u vinogradima.
2. Koji su efekti intenzivne obrade zemljišta na strukturu zemljišta i mikrobni biodiverzitet?
3. Uporediti prednosti i nedostatke korišćenja pokrovnih useva u odnosu na golo zemljište u mediteranskim klimatskim uslovima.
4. Kako funkcionalni biodiverzitet doprinosi biološkoj kontroli štetočina u vinogradima?
5. Navesti tri prakse koje povećavaju funkcionalni biodiverzitet u vinogradu i objasniti kako doprinose njegovoj otpornosti.

Blok 2: Efikasnost korišćenja vode

1. Definisati koncept kontrolisanog vodnog deficita (RDI) i njegove efekte na kvalitet vina.
2. Objasniti prednosti senzora vlažnosti zemljišta u odnosu na fiksno planiranje navodnjavanja.
3. Ukratko opisati AquaCrop model i njegovu primenu u vinogradarstvu.
4. Šta mreže senzora zasnovane na Internetu stvari (IoT) doprinose upravljanju vodom?
5. Objasniti povezanost između uštede vode i uštede energije u vinogradarstvu.

Blok 3: Biodiverzitet u vinogradu

1. Definisati pojam funkcionalnog biodiverziteta i njegov značaj u održivom vinogradarstvu.
2. Kako intenzivna monokultura utiče na pojavu štetočina i bolesti?
3. Objasniti ulogu živih ograda i ekoloških koridora u očuvanju korisne faune.
4. Navesti tri direktne ekološke koristi primene pokrovnih useva u vinogradima.
5. Koje socio-ekonomske prepreke mogu otežati primenu praksi za unapređenje biodiverziteta?

Blok 4: Održivo korišćenje energije

1. Koliki je približan procenat troškova energije u konvencionalnom vinogradarstvu prema OIV-u?
2. Navesti dve tehnologije koje poboljšavaju energetsku efikasnost navodnjavanja u vinogradima.

3. Opisati osnovni princip rada fotonaponskog sistema i njegove glavne prednosti u vinogradarstvu.
4. Kakav doprinos energetska revizija ima u tranziciji vinograda ka obnovljivim izvorima energije?
5. Definisati hibridni energetski sistem i navesti primer njegove primene u vinarijama.

Blok 5: Energetska tranzicija u vinskoj industriji

1. Navesti faze vinskog ciklusa koje imaju najveću potrošnju energije i emisije gasova staklene bašte.
2. Objasniti pojam ugljeničnog otiska i razliku između opsega 1, 2 i 3 prema GHG protokolu.
3. Navesti tri strategije za smanjenje ugljeničnog otiska vinarije i njihov ekološki efekat.
4. Koje su prednosti sertifikacije International Wineries for Climate Action (IWCA)?
5. Definisati agrivoltaiku i objasniti njenu primenu u vinogradima.

Aneks II – Didaktička aktivnost: „Dizajniraj održiv vinograd“

Bićete deo tehničkog tima vinarije koja želi da transformiše svoj konvencionalni vinograd u održiv, efikasan i klimatski otporan proizvodni sistem. Vaš zadatak je da osmislite agroekološki i energetski plan tranzicije, primenjujući znanja iz oblasti zemljišta, vode, biodiverziteta, energije i ublažavanja klimatskih promena.

Početne informacije o vinogradu (fiktivni primer):

- **Lokacija:** unutrašnje područje sa polusušnom mediteranskom klimom
- **Površina:** 25 hektara vinograda
- **Zemljište:** peskovito-ilovasto, sa malo organske materije i znakovima erozije
- **Trenutno upravljanje:** intenzivna obrada, bez pokrovnih useva, mala zastupljenost korisne faune
- **Voda:** orošavanje bez senzora, velika potrošnja i neefikasnost
- **Plodnost:** korišćenje sintetičkih đubriva i pesticida
- **Energija:** potpuna zavisnost od električne mreže i dizela
- **Emisije:** visoke emisije gasova staklene bašte
- **Troškovi:** rastući energetski troškovi i niska efikasnost resursa

Vaš zadatak je da izradite plan održive tranzicije koji uključuje sledeće:

1. Upravljanje zemljištem i plodnošću

- **Predložiti strategije za poboljšanje zdravlja zemljišta (pokrovni usevi, smanjenje obrade, kompost, biođubriva).**
- **Objasniti kako svaka mera utiče na kvalitet zemljišta i grožđa**

2. Efikasno upravljanje vodom

- **Projektovati efikasniji sistem navodnjavanja (kap po kap, RDI, senzori, AquaCrop)**
- **Objasniti kako smanjuje potrošnju vode i energije**

3. Funkcionalni biodiverzitet

- **Predložiti mere (živice, koridori, kućice za ptice, korisne biljke)**
- **Objasniti kako doprinose kontroli štetočina i otpornosti sistema**

4. Energetska tranzicija

- **Predložiti mere za smanjenje potrošnje energije i prelazak na obnovljive izvore (solar, biomasa, geotermalna energija, hibridni sistemi)**

- Objasniti kako povećavaju energetsku nezavisnost i smanjuju emisije

5. Klimatska strategija i tržišna vrednost

Objasniti kako plan smanjuje ugljenični otisak (Scope 1, 2, 3). Predložiti 1–2 sertifikata (npr. IWCA ili B Lab) i objasniti njihov uticaj na tržište.

- Izaberite jedan ili dva sertifikata iz oblasti zaštite životne sredine ili održivosti (npr. International Wineries for Climate Action ili B Lab) koje bi vinarija mogla da dobije i objasnite kako bi oni unapredili imidž brenda i omogućili pristup premium tržištima.