

ROBOTIZACIJA OBIRANJA IN SPRAVILA GROZDJA V VINOGRADIH

Povzetek: Članek se osredotoča na razvoj robotskih sistemov za avtomatizacijo obiranja in spravila grozdja, s čimer rešuje težave pomanjkanja sezone delovne sile, visokih stroškov in časovnih zamud. Cilj je uporaba avtonomnih robotskih vozil in tračnih transporterjev za zmanjšanje poškodb pridelka in hitrejšo manipulacijo. Raziskava vključuje analizo obstoječih praks, ideje o razvoju senzorjev in algoritmov ter kasnejšega testiranja prototipov. Projekt podpira trajnostno vinogradništvo v skladu z evropskimi strategijami, kot sta European Green Deal in Farm to Fork, ter prispeva k večji produktivnosti, kakovosti in konkurenčnosti panoge.

Ključne besede: agrikultura, vinogradništvo, robotika, avtonomnost

ROBOTISATION OF GRAPE HARVESTING AND HARVESTING IN VINEYARDS

Abstract: This paper focuses on the development of robotic systems for the automation of grape harvesting and harvesting, addressing the problems of seasonal labour shortages, high costs and time delays. The aim is to use autonomous robotic vehicles and conveyor belts to reduce crop damage and speed up manipulation. The research includes analysis of existing practices, ideas for sensor and algorithm development and subsequent prototype testing. The project supports sustainable viticulture in line with European strategies such as the European Green Deal and Farm to Fork, and contributes to increasing the productivity, quality and competitiveness of the sector.

Keywords: agri-culture, viticulture, robotics, autonomy

¹ Univerzitet u Mariboru, Fakultet za logistiko, Celje, Slovenija

1. UVOD

Četrta industrijska revolucija, znana tudi kot Industrija 4.0, je trenutni proces, za katerega je značilno povezovanje novih tehnologij, kot so internet stvari (IoT), robotika, velepodatki, umetna inteligenca in tehnologija veriženja blokov. Rezultat tega tehnološkega napredka je, da so industrijski proizvodni procesi in dobavne verige postali bolj avtonomni in inteligentni. Posledično povezovanje industrije 4.0 in kmetijstva ponuja priložnost za preoblikovanje industrijskega kmetijstva v naslednjo generacijo, in sicer Agrikulturo 4.0 (De Clercq et al., 2018).

Za doseganje trajnostnega in inteligentnega industrijskega kmetijstva je potrebno zbiranje, obdelava in analiza podrobnih prostorsko-časovnih podatkov v realnem času na vseh področjih kmetijske industrije. To vključuje proizvodnjo, predelavo, distribucijo in izkušnje potrošnikov. Vključitev sistema upravljanja kmetij v realnem času z visoko stopnjo avtomatizacije in inteligentnega odločanja na podlagi podatkov v ekosistem industrijskega kmetijstva, bi znatno izboljšala produktivnost, učinkovitost agroživilske dobavne verige, varnost hrane in izkoriščenost naravnih virov (Liu et al., 2021).

Vinogradništvo predstavlja eno ključnih kmetijsko-gospodarskih panog v Sloveniji in Evropski uniji (EU), kjer povpraševanje po visokokakovostnem vinu narašča.

Kljub temu se industrija sooča s številnimi izzivi, med katerimi je najbolj pereče pomanjkanje sezonske delovne sile. To povzroča zamude pri obiranju in spravilu grozdja ter povečuje stroške proizvodnje (Wang et al., 2022).

Zmanjšanje delovnih virov je privedlo do težav s težkim zaposlovanjem in visokimi stroški dela v kmetijski proizvodnji, posledično pa tudi v vinogradništvu. Zato trenutna pridelava sadja in zelenjave ne more v celoti zadostiti potrebam (Wang et al., 2022). Dolgoročno to predstavlja resen problem za vse vpletene strani, od proizvajalcev do končnih potrošnikov (Eurostat, 2024). Reševanje tega problema je ključnega pomena za ohranjanje konkurenčnosti in trajnostnega razvoja kmetijske industrije, kot tudi samega vinogradništva. V tem kontekstu Industrija 4.0 prispeva k reševanju ključnih izzivov sodobnega kmetijstva, kot so povečanje učinkovitosti, zmanjšanje okoljskega vpliva in prilagajanje podnebnim spremembam. Na primer, internet stvari (IoT) omogoča natančno spremljanje stanja tal in rastlin, umetna inteligenca pa analizira zbrane podatke za optimizacijo pridelave. Robotika in avtomatizacija prispevata k zmanjšanju odvisnosti od ročnega dela, medtem ko tehnologija veriženja blokov zagotavlja sledljivost in transparentnost v dobavnih verigah. Tako povezovanje Industrije 4.0 z vinogradništvom ne prinaša le tehnoloških izboljšav, temveč tudi strateške prednosti za bolj trajnostno in konkurenčno kmetijsko proizvodnjo (De Clercq et al., 2018).

Za pripravo tega znanstvenega članka smo uporabili sistematičen pristop k iskanju in analizi relevantnih virov. Metodologija je temeljila na pregledu obstoječih projektov in znanstvenih člankov, ki so povezani s temo našega raziskovanja. Glavni cilj je bil identificirati ključne trende, metode in rezultate, ki so bili doseženi v podobnih projektih, ter pridobiti vpogled v aktualnostanje raziskav na tem področju.

Pregledali smo CORDIS bazo (Community Research and Development Information Service) Evropske unije. CORDIS je centralna platforma, ki zbira informacije o razi-

skovalnih projektih, financiranih s strani EU. Z uporabo ključnih besed, povezanih z našim projektom, smo identificirali projekte, ki so se ukvarjali s podobno problematiko. Pregledali smo njihove cilje, metodologije, rezultate in morebitne izsledke, ki bi lahko bili koristni za našo raziskavo. To nam je omogočilo, da smo pridobili širši kontekst in razumeli rešitve za podobne izzive.

2. PREGLED OBSTOJEČIH REŠITEV

V zadnjih letih se je avtomatizacija kmetijskih procesov izkazala kot potencialna rešitev za podobne izzive. Glede na to, da se v tem članku osredotočamo na vinogradništvo, smo se osredotočili na projekte, ki spodbujajo uporabo avtomatizacije v tej kmetijski panogi. Na območju Evropske unije sta se v zadnjih petih letih na tem področju uveljavila predvsem dva projekta: VineScout in GRAPE.

Projekt VineScout se osredotoča na razvoj avtonomnega robota za spremljanje stanja vinogradov. Njegov cilj je izboljšati natančnost pridelave grozdja s stalnim nadzorom ključnih parametrov, kot so vlažnost tal, temperatura zraka in zdravje trte. Vendar se njegova funkcionalnost omejuje le na spremljanje stanja, ne pa tudi na obiranje grozdja (Cordis, 2024).

Evropski projekt GRAPE pa se osredotoča na uporabo avtonomnih robotov v kmetijstvu, vključno z vinogradništvom. Njegov glavni cilj je avtomatizacija delovnih procesov, kot so obiranje grozdja, transport in sortiranje pridelka. Kljub temu se ta projekt sooča z izzivi, povezanimi z navigacijskimi algoritmi in hitrostjo dela robota (Grape Project, 2025).

Kljub raziskavam so obstoječi sistemi za avtomatizacijo v vinogradih v EU še vedno omejeni. Večina teh sistemov se osredotoča na preprosto mehansko obiranje, ki pogosto povzroča poškodbe grozdja ali zahteva pomoč delavca za usmerjanje. Poleg tega ti sistemi ne ponujajo natančnega prepoznavanja zrelosti grozdja in se ne prilagajajo kompleksnim vinogradniškim pogojem.

Najboljši približek rešitve je bil razvit na Kitajskem, kjer se taki roboti uporabljajo v majhnem obsegu, vendar še vedno obstaja veliko prostora za izboljšave (Li, 2024).

Reševanje problema časovne optimizacije obiranja in spravila grozdja je tesno povezano s cilji Evropske unije, zlasti s strategijama European Green Deal in Farm to Fork. Te strategije spodbujajo trajnostno pridelavo hrane z nižjim ogljičnim odtisom in povečano uporabo avtomatiziranih sistemov (European Commission, 2025a) (European Commission, 2025b). Avtomatizacija vinogradniških procesov ne le zmanjša odvisnost od sezonske delovne sile, ampak tudi prispeva k bolj trajnostni in okolju prijazni kmetijski praksi (Wang et al., 2022).

3. PROJEKтна IDEJA IN ZASNOVA

Naša projektna ideja predstavlja inovativno rešitev, ki presega trenutno stanje z razvojem avtonomnih robotskih vozil in pametnega tračnega transporterja. Inovativnost našega projekta v primerjavi z obstoječimi rešitvami, kot sta VineScout in GRAPE, je v uvajanju novega načina obiranja grozdja z avtonomnimi robotskimi vozili, ki vključujejo napredne senzorje za prepoznavanje zrelosti grozdja, avtonomno navigacijo in energetsko trajnostne sisteme za napajanje ter pametnega tračnega

transporterja, prilagojenega za varen transport grozdja, ki zmanjšajo poškodbe pridelka med transportom.

Glavni cilj projektne ideje je razvoj sistema, ki omogoča avtomatizirano obiranje in spravilo grozdja z minimalnimi poškodbami pridelka in maksimalno učinkovitostjo. Specifični cilji projekta vključujejo:

Študijo velikosti vinogradov v obalno-kraški, podravski in pomurski statistični regiji ter jugovzhodni Sloveniji.

Analizo pridobivanja sezonskih kadrov in razvoj stroškovno učinkovite rešitve s pomočjo avtomatiziranih procesov.

Razvoj in integracijo senzorjev ter vizualnih sistemov za natančno obiranje grozdja. Vzpostavitev sistema za zaznavanje zrelosti grozdja in avtonomno navigacijo robotskih vozil.

Razvoj trajnostnega sistema za napajanje robotskih vozil.

Testiranje in implementacijo tračnega transporterja ter robotskega vozila na terenu. Oceno zadovoljstva uporabnikov, finančnih prihrankov in vpliva na okolje.

Projekt je usklajen z že zaključenim razpisom ICT-47-2020 v okviru programa Horizon 2020, ki spodbuja uporabo umetne inteligence in robotike za podporo trajnostnim kmetijskim praksam. S tem projektom želimo prispevati k razvoju trajnostnega kmetijstva, zmanjšanju ogljičnega odtisa in povečanju konkurenčnosti vinogradniške industrije v Sloveniji in širše.

Okrvino shemo našega projekta prikazuje slika 1.

Slika1:Skica projekta



Vir: (OpenAi,2024)

4. PRIČAKOVANI REZULTATI PROJEKTNE IDEJE

Projektna ideja je strukturirana v več delovnih sklopov, pri čemer vsak sklop obsega specifične aktivnosti, cilje in rezultate. Zasnovanje tako, da zagotovi sistematičen in učinkovit potek vseh faz, od načrtovanje do implementacije. Vsak delovni sklop je podrobno opisan z elementi, ki zagotavljajo preglednost in učinkovito upravljanje.

Za vsak delovni sklop so identificirani ključni partnerji, ki bi sodelovali pri izvajanju aktivnosti. Ti partnerji vključujejo akademske institucije, industrijske partnerje in druge zainteresirane strani, ki bi prispevali s svojim znanjem, viri in izkušnjami. Njihova vključenost bi bila ključna za uspešno izvedbo posameznih aktivnosti.

Časovnica vsakega delovnega sklopa je jasno določena, kar omogoča učinkovito spremljanje napredka. Začetek in konec aktivnosti ter vmesne faze so predvidene tako, da se projekt izvaja v skladu z načrtovanimi roki. To zagotavlja, da se vsaka faza zaključi pravočasno in da se celoten projekt ne odide iz časovnega okvira.

Vsak delovni sklop ima določene cilje in predvidene rezultate, ki bi bili doseženi ob zaključku aktivnosti. Poleg tega so določeni mejniki, ki označujejo ključne točke v projektu. Ti mejniki služijo kot kontrolne točke za oceno napredka in zagotavljajo, da projekt poteka po načrtu.

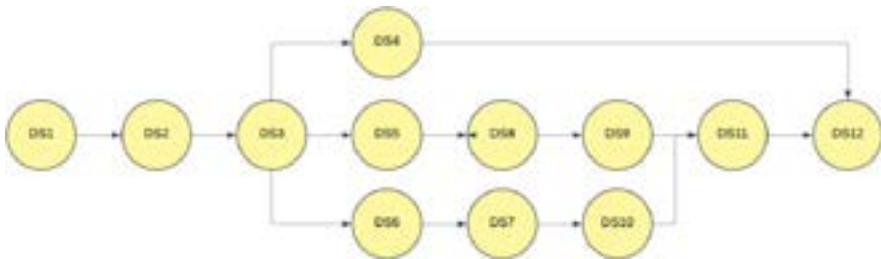
Pri vsakem delovnem sklopu so identificirana potencialna tveganja, ki bi lahko vplivala na uspešno izvedbo. Ta tveganja vključujejo tehnične, finančne, organizacijske ali zunanje dejavnike, ki bi lahko povzročili zamude ali druge težave. Za vsako identificirano tveganje so predlagani ustrezni ukrepi za njegovo omilitev ali odpravljanje. Ti ukrepi so zasnovani tako, da zmanjšajo verjetnost nastanka tveganj in zagotovijo, da projekt ostane na pravi poti.

S to strukturo projekt zagotavlja preglednost, učinkovito upravljanje in dosledno spremljanje napredka. Vsak delovni sklop je zasnovan tako, da prispeva k celotnemu cilju projekta, hkrati pa omogoča fleksibilnost za prilagajanje morebitnim izzivom, ki se pojavijo med izvajanjem.

Ganttov diagram na sliki 2, na katerem je predstavljen plan časovne izvedbe delovnih sklopov in njihovih aktivnosti po mesecih prikazuje tudi osredotočenost projekta na več ključnih področij v vinogradništvu, od analize velikosti vinogradov in sezonskega zaposlovanja do razvoja avtomatiziranih rešitev za obiranje in transport grozdja ter spremljanje zrelosti pridelka. Pri tem bi sodelovali različni partnerji iz Slovenije, Italije, Španije in Grčije, ki bi prispevali svoje strokovno znanje s področij kmetijstva, robotike in avtomatizacije. V začetnih fazah projekta bi bil poudarek na zbiranju podatkov o obstoječih vinogradih v določenih regijah, analizi trendov in oceni izzivov pri zaposlovanju sezonskih delavcev. Ti podatki bi služili kot osnova za nadaljnje raziskave in razvoj tehnoloških rešitev. Eden izmed pomembnih ciljev bi bil razvoj stroškovno učinkovitih avtomatiziranih sistemov, ki bi nadomestili določene ponavljajoče se procese v vinogradih, kot so obiranje in transport pridelka. Posebna pozornost bi bila namenjena integraciji senzorjev in vizualnih sistemov, ki bi omogočali natančnejše obiranje, spremljanje zrelosti grozdja ter navigacijo avtonomnih robotskih vozil po vinogradih. Projekt bi vključeval tudi razvoj trajnostnih energetskih sistemov, ki bi zagotavljali dolgotrajno delovanje teh naprav na terenu. V kasnejših fazah bi bil poudarek na vzpostavitvi sistemov za spremljanje delovanja

Na sliki 3 je prikazan Pertov diagram, ki vizualno predstavlja razporeditev in odvisnosti med posameznimi delovnimi sklopi projekta. Diagram prikazuje, kako si delovni sklopi sledijo in kateri se izvajajo vzporedno, kar omogoča učinkovito načrtovanje in upravljanje projekta.

Slika 3: Vizualna razporeditev delovnih sklopov



Vir: osebni vir

Celoten projekt vključuje tesno sodelovanje med podjetji, ki razvijajo robotske sisteme, raziskovalnimi ustanovami in vinogradniki, pri čemer se iščejo najboljše rešitve za modernizacijo in optimizacijo vinogradniških procesov. V nadaljevanju našeta podjetja in inštitucije bi bile po našem mnenju najbolj primerne za sodelovanje pri projektu, vendar obstajajo tudi mnoga druga podjetja, ki bi jih lahko omenili.

Raziskovalni center ATHENA, je javni raziskovalni center v Grčiji natančneje v mestu Maroussi, specializiran za informacijske tehnologije. Njihove raziskave vključujejo področja, kot so velika omrežja, baze podatkov, vgrajeni sistemi, avtomatizacija, robotika, umetna inteligenca in digitalna kuracija vsebin. Pri projektu bi prispevali z razvojem in implementacijo algoritmov za avtonomno navigacijo ter izogibanje oviram v vinogradu, poleg tega pa bi nudili podporo pri integraciji senzorjev in vizualnih sistemov na robotska vozila ter testiranju tehnologij v kompleksnih terenskih pogojih (Greek Secretariat for & Innovation, 2025).

Špansko podjetje Bodegas Torres iz Barcelona, je vodilno vinarstvo, znano po svoji osredotočenosti na trajnostno vinogradništvo in inovacije v pridelavi vina. Prispevali bi z zagotavljanjem realnih vinogradniških pogojev za testiranje tehnologij, izkušnjami pri uporabi obnovljivih virov energije za razvoj trajnostnega energetskega sistema ter oceno vpliva avtomatizacije na kakovost pridelka in zadovoljstvo uporabnikov (Torres, 2025).

Italijansko združenje ASSOCIAZIONE DISTRETTO PRODUTTIVO PUGLIA CREATIVA iz mesta Barideluje kot združenje za spodbujanje inovacij in kreativnih industrij. V projektu bi prispevali z raziskavo izzivov zaposlovanja sezonskih delavcev, analizo praks v vinogradništvu in podporo pri vrednotenju socialnega in ekonomskega vpliva projekta. Prav tako bi pomagali pri širjenju rezultatov projekta s povezovanjem z drugimi inovativnimi podjetji (Puglia Creativa, 2025).

Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru je raziskovalna institucija, osredotočena na razvoj tehnologij s področja elektrotehnike, informatike in robotike. Pri projektu bi prispevali z razvojem senzorjev in vizualnih sistemov za zaznavanje zrelosti grozdja, načrtovanjem trajnostnih energetskih sis-

temov ter podporo pri izdelavi in testiranju prototipov robotskih vozil in tračnega transporterja (Univerza v Mariboru, 2025).

Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije, bi kot osrednja institucija za kmetijsko politiko v Sloveniji omogočilo dostop do podatkov o vinogradniških površinah in zaposlovanju v kmetijstvu. Njihova vloga bi vključevala podporo pri analizi izzivov zaposlovanja ter prispevek k oblikovanju strategij za trajnostno avtomatizacijo vinogradniških procesov (Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, 2025).

Finančno področje projekta je razdeljeno na predviden čas delovanja projekta, torej za tri leta za vsako leto posebej. Stroški so razdeljeni na stroške plač, materialne in potne stroške ter stroške amortizacije. Glede proračuna smo se zgledovali po že prej omenjenem razpisu ICT-47-2020, vezan na Horizon 2020 Framework Programme projekt, kjer so upravičenci dobili približno sedem milijonov evrov. Okvirne stroške projekta in njihovo porazdelitev prikazuje tabela 1.

Tabela 1: P rojektzni stroški

Leto	Plače(€)	Materialni stroški(€)	Potnistroški(€)	Amortizacija(€)	Skupaj(€)
Prvo leto	1.180.000,00 €	460,00 €	115,00 €	940,00 €	2.695.000,00 €
Drugo leto	1.150.000,00 €	470,00 €	118,00 €	925,00 €	2.663.000,00 €
Tretje leto	1.160.000,00 €	465,00 €	117,00 €	930,00 €	2.672.000,00 €

5. SKLEP

Projekt bi na znanstvenem področju omogočil razvoj naprednih tehnologij na področju kmetijske robotike. Novi algoritmi za prepoznavanje zrelosti grozdja, avtonomno navigacijo in trajnostni energetski sistemi bi razširili znanstveno razumevanje avtomatizacije v kmetijstvu. To bi spodbudilo tudi razvoj novih znanstvenih metod in standardov, ki bi jih bilo mogoče prenesti tudi v druge sektorje kmetijstva.

Projekt bi znatno zmanjšal stroške dela v vinogradništvu, saj bi odvisnost vinogradnikov od sezonskih delavcev bila manjša. Natančnost in hitrost avtomatiziranih sistemov bi izboljšali učinkovitost pridelave, kar bi vodilo do večje količine in izboljšane kakovosti pridelka. Zaradi tega bi vinarji bili bolj konkurenčni nadomačem in mednarodnem trgu. Povečana kakovost vina bi izboljšala ugled slovenskih in evropskih vin, kar bi spodbudilo izvoz in povečalo prihodke vinarjev.

Projekt bi izboljšal delovne razmere v vinogradništvu, saj bi zmanjšal potrebo po težkem fizičnem delu, kar bi še posebej koristilo izkušenim starejšim delavcem. Uporaba novih tehnoloških rešitev bi odprla nova delovna mesta za tehnično usposobljene delavce, hkrati pa povečala zanimanje mladih za delo v vinogradništvu. Poleg tega bi robotska vozila in trajnostni energetski sistem zmanjšali uporabo fosilnih goriv, kar bi prispevalo k nižjemu ogljičnemu odtisu. Zmanjšanje odpadnega pridelka in optimizacija postopka obiranja in spravila grozdja bi izboljšali trajnostno prakso v vinogradništvu in imeli pozitiven vpliv na lokalne skupnosti ter okolje.

Mislimo, da projektna ideja predstavlja odličen primer, kako lahko tehnologija in inovacije izboljšajo tradicionalne panoge, kot je vinogradništvo. Z avtomatizacijo

in digitalizacijo procesov se ne le povečuje učinkovitost pridelave, temveč se tudi zmanjšuje odvisnost od sezone delovne sile, kar postaja vse večji izziv. Hkrati pa se odpira vprašanje ravnovesja med tehnološkim napredkom in ohranjanjem delovnih mest, kar bi bilo ključno pri dolgoročni implementaciji teh rešitev. Menimo, da so takšni projekti nujni za prihodnost, saj združujejo trajnost, ekonomičnost in tehnološki razvoj, a je hkrati pomembno, da se ob tem ne pozabi na ljudi, ki so bili do zdaj nepogrešljiv del teh procesov.

VIRI IN LITERATURA

1. Cordis. 2024. Robotics to accurately monitor grape production in European vineyards. <https://cordis.europa.eu/article/id/429638-robotics-to-accurately-monitor-grape-production-in-european-vineyards> (pristupljeno 2. marca 2025. g.).
2. European Commission. 2025a. Agriculture and Rural Development. https://commission.europa.eu/topics/agriculture-and-rural-development_en (pristupljeno 1. marca 2025. g.).
3. European Commission. 2025b. FarmtoForkStrategy. https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en (pristupljeno 1. marca 2025. g.).
4. Eurostat. 2024. EU agricultural output increased by 8% in 2024. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20241216-1> (pristupljeno 3. marca 2025. g.).
5. Greek Secretariat for Research & Innovation. 2025. Research Center for Innovation Technologies in Information, Communications, and Knowledge. https://gsri.gov.gr/foreas/athina-erevnitiko-kentro-kainotomias-stis-technologies-tis-pli-roforias-ton-epikoinonion-kai-tis-gnosis/?utm_source=chatgpt.com (pristupljeno 3. marca 2025. g.).
6. Li, B. 2024. Autonomous Vineyard Robot in Action. https://www.youtube.com/watch?v=hV-vs6_Wx2HM (pristupljeno 3. marca 2025. g.).
7. Liu, Y., Ma, X.Y., Shu, L., Hancke, G. P., & Abu-Mahfouz, A. M. 2021. From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(6), 4322-4334. <https://doi.org/10.1109/tii.2020.3003910> (pristupljeno 4. marca 2025. g.).
8. Univerza v Mariboru. 2025. Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko. <https://feri.um.si/> (pristupljeno 4. marca 2025. g.).
9. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. 2025. <https://www.gov.si/drzavni-organi/ministrstva/ministrstvo-za-kmetijstvo-gozdarstvo-in-prehrano/> (pristupljeno 4. marca 2025. g.).
10. OpenAI. 2024. Introducing ChatGPT. <https://openai.com/index/chatgpt/> (pristupljeno 4. marca 2025. g.).
11. GRAPE Project. 2025. Media Resources. <https://www.grape-project.eu/media/> (pristupljeno 4. marca 2025. g.).
12. PugliaCreativa. 2025. Puglia Creativa Website. <https://www.pugliacreativa.it/> (pristupljeno 4. marca 2025. g.).
13. Torres. 2025. Torres Website. <https://www.torres.es/> (pristupljeno 5. marca 2025. g.).
14. De Clercq, Mark, Anu Vatsi Andrea Biel. 2018. "Agriculture 4.0: The Future of Farming Technology." Rad predstavljen na Svetskom samitu vlada, Dubai, UAE.
15. Wang, Z. H., Xun, Y., Wang, Y. K., & Yang, Q. H. 2022. Review of smart robots for fruit and vegetable picking in agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 15 (1), 33-54. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20221501.7232> (pristupljeno 5. marca 2025. g.).