

Umjetna inteligencija u ekološkoj proizvodnji

Domuzin, Paško

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:906412>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

Preddiplomski studij:
Biljne znanosti

**UMJETNA INTELIGENCIJA U EKOLOŠKOJ
PROIZVODNJI**

ZAVRŠNI RAD

Paško Domuzin

Mentor: Doc.dr.sc. Dubravka Mandušić

Zagreb, lipanj, 2024

Izjava studenta o ak. čestitosti

Izvešće o ocjeni

Sadržaj

Sažetak	5
Summary	6
1. Uvod.....	1
2. Ekološka poljoprivreda	2
2.1. Definicija i načela ekološke poljoprivrede.....	2
2.2. Razlike između ekološke i konvencionalne poljoprivrede.....	4
2.3. Prednosti i izazovi ekološke proizvodnje za okoliš i zdravlje	8
3. Umjetna inteligencija	10
3.1. Duboko i strojno učenje u poljoprivredi	11
3.1.1. Strojno učenje	11
3.1.2. Duboko učenje	15
3.1.3. Računalni vid	18
3.2. Primjene umjetne inteligencije u poljoprivredi.....	19
4. Primjene umjetne inteligencije u ekološkoj proizvodnji.....	22
4.1. Optimizacija upotrebe resursa.....	23
4.2. Upravljanje štetočinama i bolestima	24
4.3. Automatizacija	25
4.4. Održavanje tla	26
5.1. Autonomni traktori.....	27
5.2. Dronovi za detaljno praćenje stanja usjeva.....	28
5.3. Napredni sustav za upravljanje farmom.....	30
6. Zaključak.....	32
Popis literature	33
Popis tablica	35
Popis slika	36

Sažetak

Ovaj rad istražuje mogućnosti primjene umjetne inteligencije (UI) u ekološkoj poljoprivredi s ciljem unapređenja održivosti i učinkovitosti poljoprivredne proizvodnje. Uvod daje pregled značaja ekološke poljoprivrede te uvodi temeljne koncepte UI. U drugom poglavlju objašnjavaju se definicija, načela i razlike između ekološke i konvencionalne poljoprivrede, uz analizu prednosti i izazova ekološke proizvodnje za okoliš i zdravlje. Treće poglavlje fokusira se na strojno i duboko učenje, uključujući računalni vid, te njihove primjene u poljoprivredi. Četrto poglavlje prikazuje specifične primjene UI u ekološkoj proizvodnji, poput optimizacije upotrebe resursa, upravljanja štetočinama i bolestima, automatizacije te održavanja tla. Poseban naglasak stavljen je na autonomne traktore, dronove za praćenje usjeva i napredne sustave za upravljanje farmom. Zaključak sumira ključne nalaze i ističe potencijal UI za transformaciju ekološke poljoprivrede u smjeru održive budućnosti.

Ključne riječi: ekološka poljoprivreda, održiva poljoprivreda, umjetna inteligencija (UI), strojno učenje, duboko učenje

Summary

This paper explores the potential applications of artificial intelligence (AI) in organic farming with the aim of improving the sustainability and efficiency of agricultural production. The introduction provides an overview of the importance of organic farming and introduces the fundamental concepts of AI. The second chapter explains the definition, principles, and differences between organic and conventional farming, along with an analysis of the advantages and challenges of organic production for the environment and health. The third chapter focuses on machine learning and deep learning, including computer vision, and their applications in agriculture. The fourth chapter presents specific applications of AI in organic production, such as resource optimization, pest and disease management, automation, and soil maintenance. Special emphasis is placed on autonomous tractors, drones for crop monitoring, and advanced farm management systems. The conclusion summarizes the key findings and highlights the potential of AI to transform organic farming towards a sustainable future.

Keywords: organic farming, sustainable agriculture, artificial intelligence (AI), machine learning, deep learning

1. Uvod

Ekološka poljoprivreda, poznata i kao organska poljoprivreda, postala je ključna komponenta suvremene poljoprivrede zahvaljujući rastućoj svijesti o važnosti očuvanja okoliša i zdravlja ljudi. Evolucija organskog uzgoja, inovativni marketinški sustavi i zabrinutost potrošača zbog konvencionalnih poljoprivrednih praksi poput uporabe antibiotika, kemijskih gnojiva i promotora rasta, potaknuli su brzi rast ekološke poljoprivrede. Ekološke karakteristike uključuju visoku razinu biološke raznolikosti biljaka i biota te pozitivnu korelaciju s bogatstvom vrsta, što je posljedica smanjene ili nikakve primjene kemikalija u tlu (Bengtsson i sur., 2005; Clough i sur., 2007).

Međutim, organska poljoprivreda suočava se s brojnim izazovima uključujući povećan broj štetnih insekata i patogenih bakterija što može rezultirati ekonomskim gubicima. Također, zabrana korištenja antimikrobnih promotora rasta predstavlja dodatni izazov (Hughes i Heritage, 2004). Rješavanje ovih izazova ključ je za održivost ekološke poljoprivrede, a moderna znanost i tehnologija mogu igrati značajnu ulogu.

Primjene umjetne inteligencije (UI) pokazale su obećavajuće rezultate u optimizaciji poljoprivredne proizvodnje. Tehnologije UI mogu pomoći u upravljanju štetočinama i bolestima, optimizaciji upotrebe resursa te automatizaciji različitih aspekata poljoprivrednih praksi.

Ovaj rad istražuje potencijal umjetne inteligencije u unaprjeđenju ekološke proizvodnje. Razmatraju se osnovne definicije i načela ekološke proizvodnje te razlike između ekološke i konvencionalne poljoprivrede s naglaskom na prednosti i izazove ekološke proizvodnje za okoliš i zdravlje. Dalje se analiziraju ključne tehnologije UI i njihove konkretne primjene u ekološkoj poljoprivredi te primjeri uspješnih implementacija UI u ekološkoj proizvodnji.

2. Ekološka poljoprivreda

Ekološka, organska ili biološka poljoprivreda često se u javnosti percipira kao proizvodnja "zdrave hrane" bez primjene agro-kemikalija poput mineralnih gnojiva, pesticida, hormona i sličnih tvari. Iako ova definicija donekle objašnjava srž ekološke poljoprivrede ona je ipak složeniji koncept koji podrazumijeva sveobuhvatno gospodarenje s ciljem postizanja održive i ekološki prihvatljive proizvodnje (Znaor, 1996).

2.1. Definicija i načela ekološke poljoprivrede

Ekološka poljoprivreda nije samo izostavljanje agro-kemikalija već predstavlja sustav koji nastoji maksimalno iskoristiti potencijale određenog ekosustava uključujući autonomno gospodarenje, stimuliranje, jačanje i harmoniziranje bioloških procesa unutar različitih dijelova gospodarstva (Znaor, 1996).

Ideja organske poljoprivrede razvila se početkom dvadesetog stoljeća kao reakcija na urbanizaciju i rastuću upotrebu agrokemijskih inputa. Pokret je započeo u njemačkom i engleskom govornom području pod utjecajem grupa koje su promovirale ruralne tradicije i biološka gnojiva. Popularnost se počela povećavati 1970-ih godina zbog rastuće zabrinutosti oko zdravstvenih i ekoloških učinaka industrijalizirane poljoprivrede (Lockeretz, 2007). Danas mnoge vlade subvencioniraju organski sektor kako bi nagradile ekološke performanse organskih poljoprivrednika i nadoknadile povećane troškove proizvodnje ili smanjene prinose (Stolze & Lampkin, 2009).

Međunarodna federacija za organsku poljoprivredu (IFOAM) osnovana je 1972. godine kao globalna krovna organizacija za organsku poljoprivredu. IFOAM promiče ekološki, društveno i ekonomski održivu proizvodnju hrane i vlakana s ciljem optimizacije kvalitete u svim aspektima poljoprivrede i okoliša. Osnovna načela IFOAM-a uključuju poticanje bioloških ciklusa, dugoročnu plodnost tla, mobilizaciju organske tvari unutar zatvorenih sustava, korištenje obnovljivih resursa, izbjegavanje onečišćenja, očuvanje genetske raznolikosti, omogućavanje životinjama da izraze svoje prirodno ponašanje, osiguravanje adekvatnih prihoda proizvođačima i proizvodnju kvalitetne hrane koja je društveno i ekonomski prihvatljiva (IFOAM, 2017).

Ekološka poljoprivreda predstavlja integrirani sustav gospodarenja koji teži održivoj i ekološki prihvatljivoj poljoprivrednoj proizvodnji koristeći suvremene znanstvene spoznaje i dostignuća. Unatoč izazovima ovaj sustav ima potencijal za značajan doprinos održivom razvoju kroz očuvanje prirodnih resursa, proizvodnju zdrave hrane i unapređenje socijalnih aspekata ruralnih zajednica (Seufert et al., 2017).

Osnovna načela ekološke poljoprivrede uključuju:

1. Harmonizaciju i pravilno gospodarenje - Fokus je na gnojidbi, plodoredu, raznolikosti i izboru kultura, sorti i pasmina, obradi tla te jačanju otpornosti na bolesti i štetnike. Naglasak je na stimuliranju bioloških procesa unutar gospodarstva uključujući aktivnosti mikroorganizama, biljnih i životinjskih vrsta (Veeresh, G.K. 2006).
2. Brigu za plodnost tla - Ekološka poljoprivreda pridonosi očuvanju i povećanju plodnosti tla, biološke aktivnosti, sadržaja organske tvari i hraniva te poboljšanju strukture tla i borbi protiv erozije. Plodnost tla jednako je važna kao rudna bogatstva, šume, more i ostali prirodni resursi te kao takva ima ključnu ulogu u očuvanju prirodnih potencijala svake države (Lori et al., 2017).
3. Isključivanje ili ograničavanje uporabe agro-kemikalija - Ekološka poljoprivreda isključuje ili samo iznimno dopušta upotrebu sintetičkih gnojiva, pesticida i hormona te se zalaže za očuvanje genetske raznolikosti biljnih i životinjskih vrsta kao i ostalih prirodnih bogatstava poput podzemnih voda i pejzažne raznolikosti (Veeresh, G.K. 2006).
4. Proizvodnju kvalitetnijih i zdravijih namirnica - Organska proizvodnja teži proizvodnji namirnica koje jačaju radni i duhovni potencijal pojedinaca, smanjujući izdatke za zdravstvo (Veeresh, G.K. 2006).
5. Održivi ekonomski uspjeh - Ekološka poljoprivreda nastoji postići zadovoljavajući ekonomski uspjeh poljoprivrednog gospodarstva, smanjiti njegovu ovisnost o industriji i njezinim proizvodima, te minimalizirati utrošak energije, fosilnih goriva i drugih neobnovljivih resursa (Niggli, 2015).
6. Socijalni aspekti – Ovakav oblik poljoprivrede podiže socijalni, gospodarski i intelektualni položaj seljaka, razvija zdrave socijalne odnose među ljudima i njeguje razumijevanje za prirodu

i njezine zakone. Cilj je stvaranje novog odnosa između čovjeka i prirode temeljenog na načelima duhovnosti i holizma (Veeresh, G.K. 2006).



Slika 1. Hrvatski eko znak

Izvor:

https://poljoprivreda.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/poljoprivreda/ekoloska/eko_znak/EKO_Logotip_Primarni_HR.png

2.2. Razlike između ekološke i konvencionalne poljoprivrede

Ekološka i konvencionalna poljoprivreda razlikuju se u pristupima upravljanju resursima, metodama proizvodnje i ekološkim učincima. Konvencionalna poljoprivreda oslanja se na intenzivnu upotrebu sintetičkih inputa kako bi povećala produktivnost usjeva i zadovoljila rastuće globalne potrebe za hranom (Evenson & Gollin, 2003; Qaim, 2017). Kao što je vidljivo u Tablici 1. ekološka poljoprivreda zahtjeva određen način gospodarenja u kojem postoje potrebne kao i zabranjene aktivnosti što nije slučaj u konvencionalnoj poljoprivredi.

Tablica 1. Sažetak zabranjenih i potrebnih aktivnosti u ekološkoj poljoprivredi

Aktivnosti	Biljna proizvodnja	Stočarstvo
Zabranjene aktivnosti	Upotreba sintetičkih gnojiva Upotreba kemijskih pesticida Upotreba genetski modificiranih organizama (GMO) Upotreba kanalizacijskog mulja	Upotreba hormona rasta Profilaktička primjena antibiotika Upotreba genetski modificiranih organizama
Potrebne aktivnosti	Upotreba organskih sjemena i lokalno prilagođenih sorti Primjena mjera za poboljšanje plodnosti tla (npr. plodored, organska gnojiva, kontrola erozije) Suzbijanje štetnika/korova samo mehaničkim/biološkim/termalnim mjerama	Smještaj životinja koji omogućuje prirodno ponašanje (npr. prirodno svjetlo, dovoljno prostora) Upotreba organske stočne hrane Pristup pašnjacima/vanjskim prostorim

Izvor: obrada autora, podaci iz Meekem i sur. (2018)

Jedan od ključnih izazova za ekološku poljoprivredu je postizanje prinosa usporedivih s konvencionalnom poljoprivredom. Istraživanja pokazuju da su prinosi ekoloških usjeva u prosjeku 19-25% niži od konvencionalnih (de Ponti et al., 2012; Ponisio et al., 2015; Seufert et al., 2012). Razlike u prinosima između ekološke i konvencionalne poljoprivrede često ovise o specifičnim uvjetima, vrsti usjeva i lokalnim ekološkim uvjetima. Primjerice, mahunarke i voće pokazuju manje razlike u prinosima u usporedbi s žitaricama i gomoljastim usjevima (de Ponti et al., 2012).

Ekološki sustavi često imaju nižu efikasnost korištenja zemljišta, što znači da zahtijevaju više zemljišta za proizvodnju iste količine hrane. Ovo je posebno važno u kontekstu rastuće globalne potražnje za hranom koja se predviđa povećati za 60-100% do 2050. godine (Godfray et al., 2010; Hertel, 2015). S druge strane, ekološki sustavi bolje zadržavaju vodu i imaju višu stopu infiltracije

vode što može poboljšati otpornost na sušu i stabilnost prinosa (Gomiero et al., 2011; Niggli, 2015).

Tablica 2. Prosječni prinosi organskih usjeva u usporedbi s konvencionalnim prinosima (rezultati globalnih meta-analiza)

Usjev	Meta-analize		
	Seufert et al. (2012)	de Ponti et al. (2012)	Ponisio et al. (2015)
Žitarice	-26%	-21%	-22%
Korijenasto povrće i gomolji	Nije uključeno	-26%	-29%
Uljarice	-11%	-26%	-12%
Mahunarke	-10%	-12%	-15%
Voće	-3%	-28%	-8%
Povrće	-33%	-20%	-13%
Svi usjevi	-25%	-20%	-19%

Izvor: obrada autora prema Meemken et al. (2018)

Jedna od glavnih prednosti ekološke poljoprivrede je smanjenje negativnih ekoloških eksternalija. Ekološki sustavi koriste manje energije po jedinici zemljišta i proizvodnje, uglavnom zbog nekorištenja sintetičkih gnojiva i pesticida (Meier et al., 2015; Smith et al., 2015). Međutim u nekim situacijama, ekološki sustavi mogu zahtijevati više goriva za mehaničko ili termalno suzbijanje korova (Lynch et al., 2011).

Tablica 3. Omjer dobivene naspram uložene energije pri pojedinim oblicima poljoprivredne proizvodnje

OMJER	OPIS
30:1	Krumpir uzgojen na tradicionalan način (ručna obrada, gnojidba stajskim gnojem, bez pesticida)
10:1	Tradicionalna poljoprivreda (bez upotrebe agrokemikalija i mehanizacije) općenito
7:1	Lov i skupljanje plodova
5:1	Uzgoj kukuruza bez upotrebe agrokemikalija i mehanizacije
2:1	Pašnjački uzgoj stoke
2:1	Soja i kukuruz uzgojeni na konvencionalan način (mehanizacija i agrokemikalije)
1:1	Tradicionalno ribarstvo
1:1	Tradicionalni uzgoj mliječnih krava (bez uvezenih koncentrata, antibiotika, ručna mužnja)
1:4	Industrijska proizvodnja jaja (kokoši u kavezima, antibiotici, umjetno svjetlo itd.)
1:20	Konvencionalni uzgoj mliječnih krava (krave stalno u staji, antibiotici, koncentрати itd.)
1:500 i više	Staklenička i hidroponska proizvodnja

Izvor: obrada autora, podaci iz Znaor (1996)

Ekološka poljoprivreda također pokazuje niže stope ispiranja nitrata po jedinici zemljišta iako ove prednosti mogu biti manje izražene kada se mjere po jedinici proizvodnje (Clark & Tilman, 2017). Što se tiče kvalitete tla, ekološki sustavi imaju veću organsku tvar i aktivnije mikrobne zajednice, što doprinosi boljoj strukturi tla i plodnosti (Lori et al., 2017; Niggli, 2015).

Ekološka poljoprivreda pridaje veliku važnost očuvanju genetske raznolikosti i dobrobiti životinja. Organski sustavi uključuju duže proizvodne cikluse i niže stope rasta životinja čime se povećavaju potrebe za stočnom hranom i zemljištem za proizvodnju hrane po jedinici mesa (Treu et al., 2017). S druge strane, ekološki sustavi omogućuju životinjama da izraze svoje prirodno ponašanje, čime se poboljšava njihova dobrobit (IFOAM, 2017).

Iako ekološka poljoprivreda nudi mnoge ekološke i društvene prednosti, izazovi poput nižih prinosa i veće potražnje za zemljištem ostaju značajni. Konvencionalna poljoprivreda uz visoku produktivnost, nosi rizike za okoliš zbog intenzivne upotrebe sintetičkih inputa. Budućnost održivog razvoja u poljoprivredi zahtijeva integraciju najboljih praksi iz oba sustava kako bi se postigla ravnoteža između proizvodnje hrane i očuvanja prirodnih resursa (Seufert & Ramankutty, 2017; Foley et al., 2011).

2.3. Prednosti i izazovi ekološke proizvodnje za okoliš i zdravlje

Ekološka poljoprivreda često se smatra manje štetnom za okoliš u usporedbi s konvencionalnom poljoprivredom što je jedan od glavnih razloga za subvencioniranje ovog sektora od strane mnogih država. Ova percepcija temelji se na dokazima da ekološki sustavi smanjuju negativne ekološke eksternalije poput emisije stakleničkih plinova, gubitka bioraznolikosti, degradacije tla i zagađenja vode (Foley et al., 2011). Međutim, prednosti i izazovi ekološke proizvodnje za okoliš i zdravlje su kompleksni i višeslojni.

Ekološki sustavi koriste manje energije po jedinici zemljišta, uglavnom zbog nekorištenja sintetičkih gnojiva i pesticida (Meier et al., 2015; Smith et al., 2015). Ova prednost može biti smanjena u situacijama gdje je potrebna veća količina goriva za mehaničko ili termalno suzbijanje korova (Lynch et al., 2011). Nadalje, ekološka poljoprivreda pokazuje niže stope ispiranja nitrata po jedinici zemljišta, ali te prednosti mogu biti manje izražene kada se mjere po jedinici proizvodnje (Clark & Tilman, 2017). Kvaliteta tla u ekološkim sustavima je poboljšana većim sadržajem organske tvari i aktivnijim mikrobnim zajednicama što doprinosi boljoj strukturi tla i plodnosti (Lori et al., 2017; Niggli, 2015).

Organska gospodarstva su biološki raznovrsnija što se pripisuje nižoj upotrebi pesticida, dužim plodoredima i većim brojem poluprirodnih krajolika kao što su živice (Niggli, 2015). Meta-analize pokazuju da su bogatstvo i ravnomjernost vrsta značajno veći na organskim farmama nego na konvencionalnim farmama (Hole et al., 2005; Tuck et al., 2014). Međutim, zbog nižih prinosa, velika skala prelaska na organsku poljoprivredu mogla bi zahtijevati dodatno korištenje prirodnih staništa za poljoprivrednu proizvodnju što bi moglo poništiti ekološke prednosti (Gabriel et al., 2013).

Ekološka poljoprivreda također doprinosi proizvodnji hrane koja je percipirana kao zdravija zbog izostavljanja sintetičkih kemikalija. Potrošači iz razvijenih zemalja često smatraju da je organska hrana sigurnija i zdravija od konvencionalne hrane (Funk & Kennedy, 2016). Međutim, upravljanje hranjivim tvarima u ekološkim sustavima može biti izazovno. Ograničenja u dostupnosti dušika i fosfora često dovode do sporijeg otpuštanja ovih elemenata iz organskih izvora što može rezultirati manjim prinosima i potencijalnim prehranbenim nedostacima u biljkama (Berry et al., 2002; Oehl et al., 2002).

Ekološka poljoprivreda pruža značajne ekološke i zdravstvene prednosti, ali također dolazi s izazovima poput nižih prinosa i složenog upravljanja resursima. Iako ekološki sustavi mogu smanjiti negativne ekološke eksternalije i poboljšati kvalitetu tla, njihova niža efikasnost korištenja zemljišta i zahtjevi za resursima predstavljaju izazove u kontekstu globalne prehrane sigurnosti. Dugoročno, održivi razvoj u poljoprivredi zahtijevat će integraciju najboljih praksi iz oba sustava kako bi se postigla ravnoteža između proizvodnje hrane i očuvanja prirodnih resursa (Seufert & Ramankutty, 2017; Foley et al., 2011).

3. Umjetna inteligencija

Umjetna inteligencija (UI) poznata pod engleskim akronimom AI (od Artificial Intelligence), predstavlja područje računalstva koje se bavi razvojem sposobnosti računala da izvršavaju zadatke koji zahtijevaju neki oblik inteligencije. Također, ovaj pojam označava karakteristike neživih sustava koji pokazuju inteligenciju, poznate kao inteligentni sustavi.

Razvoj UI temelji se na konceptima strojnog učenja i neuronskih mreža, što omogućuje takvim sustavima obradu velike količine informacija, komunikaciju s ljudima putem prirodnog jezika ili s drugim neživim sustavima, učenje iz iskustva, donošenje zaključaka, prilagodljivo ponašanje i složeno planiranje. Iako današnji inteligentni sustavi još uvijek imaju specijalizirane funkcije za uži raspon zadataka, za razliku od ljudske sposobnosti da istovremeno obavljaju raznovrsne funkcije, njihova primjena je široka i raznolika. Primjene uključuju strojno prevođenje, ekspertne sustave, robotiku, računalne igre i simulacije, generiranje teksta i razgovor (chatbotovi), stvaranje glazbe ili slika, računalni vid, pretraživanje podataka i automatsko programiranje.

Prema stupnju inteligencije UI se dijeli na slabu i jaku. Slaba UI, kojoj pripadaju svi do danas razvijeni sustavi, posjeduje samo neka inteligentna svojstva. S druge strane, jaka UI još nije dosegnuta; njezin bi razvoj značio postizanje inteligencije jednake ljudskoj (opća umjetna inteligencija) ili čak superiornije od nje (umjetna superinteligencija), uključujući i stanje svijesti.

Zamisli o UI prisutne su u mitovima, legendama i književnosti od davnina, često izazivajući nelagodu zbog mogućnosti da stroj nadmaši čovjeka intelektualno. Početak razvoja UI veže se uz pojavu elektroničkih računala u drugoj polovici 20. stoljeća, a pristupi i tehnike usvojeni su iz različitih disciplina, uključujući kognitivne znanosti, matematiku, logiku, filozofiju, psihologiju i lingvistiku. Pionirske teorijske radove o UI objavio je Alan Mathison Turing 1950-ih, koji je također osmislio Turingov test za procjenu inteligencije stroja. Prvim računalnim programom UI smatra se The Logic Theorist iz 1955. godine. Sustavnija istraživanja započela su sredinom 1950-ih, potaknuta kongresom na sveučilištu Dartmouth 1956. godine, gdje je John McCarthy skovao pojam "umjetna inteligencija" i razvio programski jezik LISP.

Tijekom 1960-ih postalo je jasno da je razvoj UI složen proces, pa su se istraživanja usmjerila prema specifičnim rješenjima. Tako su 1961. razvijeni programi za šahovske majstore, a 1965. sustavi za logičko zaključivanje. Ekspertni sustavi poput Dendrala i MYCIN-a pionirski su primjeri praktične primjene UI u dijagnostici. Početkom 1990-ih do danas, razvoj UI doživljava ubrzanje: šahovski sustav Deep Blue pobijedio je Garija Kasparova 1997., virtualni asistenti poput Appleove Siri omogućuju upravljanje aplikacijama glasovnim naredbama, a Google Translate pruža uspješne prijevode. Roboti poput Atlasa i Spota iz Boston Dynamicsa demonstriraju napredne motoričke sposobnosti, a programi DALL-E i Midjourney generiraju digitalne slike prema tekstualnim opisima. Veliki jezični modeli poput ChatGPT mogu kreirati tekstove, programirati i rješavati zadatke na više jezika.

Iako je UI postala integralni dio svakodnevne računalne tehnologije, njezin razvoj prate brojne etičke i pravne dileme, uključujući pitanja autorskih prava, privatnosti podataka, sigurnosti i zlouporabe deepfake sadržaja. Posebni izazov predstavlja problem crne kutije, odnosno teškoća u procjeni namjere i posljedica korištenja složenih algoritama strojnog učenja. Stoga se, usporedno s tehnološkim napretkom, intenzivno razmatraju etička i pravna pitanja primjene UI (Enciklopedije Hrvatske 2013).

3.1. Duboko i strojno učenje u poljoprivredi

Strojno i duboko učenje su ključne tehnologije koje omogućuju sustavima učenje iz podataka bez potrebe za eksplicitnim programiranjem. Strojno učenje koristi matematičke i statističke metode za analizu i predikciju, dok je duboko učenje podskup strojnog učenja koji koristi neuronske mreže za složene zadatke klasifikacije i predviđanja.

3.1.1. Strojno učenje

Strojno učenje omogućava sustavima da uče iz iskustva bez potrebe za eksplicitnim programiranjem, koristeći matematičke i statističke metode za poboljšanje na temelju podataka.

Različite faze obrade slika, uključujući predobradu, segmentaciju, ekstrakciju značajki, klasifikaciju i predikciju, mogu se implementirati pomoću različitih modela strojnog učenja.

Zadaci strojnog učenja se dijele na nadzirano i nenadzirano učenje, ovisno o signalu učenja. U nadziranom učenju, podaci su predstavljeni s ulazima i pripadajućim izlazima kako bi se konstruiralo pravilo koje mapira ulaze u izlaze. U nekim slučajevima, ulazi mogu biti djelomično dostupni, a neki ciljani izlazi nedostaju ili su dati samo kao povratne informacije u dinamičkom okruženju (potkrijepljeno učenje, Reinforcement Learning - RL). U nadziranom okruženju, stečeno znanje (trenirani model) koristi se za predviđanje nedostajućih izlaza (oznaka) za testne podatke. U nenadziranom učenju, podaci su neoznačeni, a cilj je otkriti skrivene obrasce (Liakos et al., 2018)

Modeli strojnog učenja mogu se klasificirati prema različitim pristupima (Jose et al., 2021):

Klasifikacija

1. Neutrosofijski pristup:

- Kombinira neutrosofijsku logiku i neizrazite skupove za segmentaciju i klasifikaciju bolesti.

2. Neuronske mreže:

- Koristi neuronske mreže za segmentaciju i uklanjanje šuma na slikama, postižući visoku točnost u klasifikaciji bolesti.

3. Potporna vektorska mašina (SVM):

- Modificirana verzija SVM-a za veću točnost u klasifikaciji biljnih bolesti.

4. Automatizirani sustavi:

- Kombinacija brzih i točnih podsustava za obradu slika, omogućujući učinkovitu detekciju usjeva i korova.

Detekcija

1. Kombinacija tehnika:

- Korištenje kombinacije detekcije žarišnih točaka i statističke inferencije za prepoznavanje bolesti.
2. Tekstura boje i diskriminantna analiza:
 - Korištenje teksture boje i diskriminantne analize za visoku točnost u detekciji bolesti.
 3. Podudaranje predložaka:
 - Korištenje tehnike podudaranja predložaka i SVM-a za klasifikaciju bolesti.
 4. Obrada slike za detekciju štetnika:
 - Korištenje obrade slike za ranu identifikaciju štetnika na zaraženim listovima.

Ekstrakcija značajki

1. Detekcija rubova:
 - Korištenje algoritama za detekciju rubova kako bi se kategorizirale bolesti biljaka na temelju simptoma.
2. Opposite Colour Local Binary Pattern:
 - Korištenje značajki boje i strojnog učenja za automatizirani sustav podrške odlučivanju.

Predikcija

1. Pregled predikcije prinosa:
 - Analiza različitih tehnika strojnog učenja za predikciju prinosa i procjenu stanja tla.

Segmentacija

1. Informacije o boji i tehnike rastućih regija:
 - Korištenje informacija o boji i tehnike rastućih regija za segmentaciju mrlja bolesti.
2. Obrada slike za detekciju i klasifikaciju bolesti:

- Tehnika temeljena na obradi slike za detekciju i klasifikaciju bolesti u biljkama.

3. Model ranog upozoravanja:

- Korištenje multidimenzionalnih podataka za predikciju štetnika.

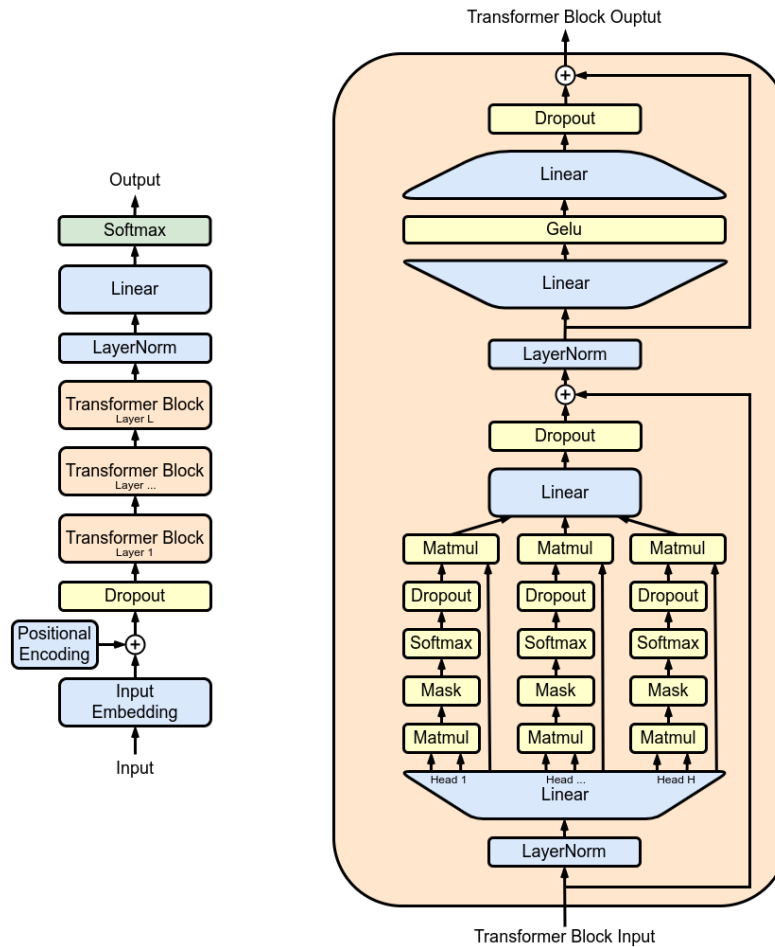
Stabla odluke (Decision Trees)

Stabla odluke su klasifikacijski ili regresijski modeli u obliku stabla. Ovi modeli organiziraju skup podataka u manje homogene podskupove, generirajući graf stabla. Svaki „nodij“ stabla predstavlja različite usporedbe na odabranim značajkama, dok „grane“ predstavljaju ishode tih usporedbi. „Listovi“ stabla predstavljaju konačne odluke ili predikcije. Najčešći algoritmi u ovoj kategoriji su klasifikacijska i regresijska stabla (CART, Classification and Regression Trees), automatski detektor interakcija (CHAID, Chi-square Automatic Interaction Detector) i iterativni dikotomizator (ID3, Iterative Dichotomiser 3).

Umjetne neuronske mreže (Artificial Neural Networks - ANN)

Umjetne neuronske mreže (ANN) dijele se na tradicionalne ANN i duboke ANN (DNN, Deep Neural Networks). ANN su inspirirane ljudskim mozgom i koriste se za složene funkcije kao što su prepoznavanje uzoraka, kognicija, učenje i donošenje odluka. ANN se sastoje od međusobno povezanih čvorova raspoređenih u slojeve: ulazni sloj, jedan ili više skrivenih slojeva gdje se odvija učenje, i izlazni sloj gdje se donosi odluka ili predikcija.

U poljoprivredi strojno učenje se koristi za optimizaciju opskrbnih lanaca, nadzor na terenu, predviđanje temperature i održivo upravljanje tлом. Različite tehnologije strojnog učenja omogućuju održivu poljoprivrednu proizvodnju. Tradicionalne metode procjene prikladnosti tla su skupe i vremenski zahtjevne, dok strojno učenje omogućuje brze i učinkovite procjene na velikim površinama.



Slika 2. Šematski prikaz strojnog učenja

Izvor: https://www.bug.hr/img/strojno-ucenje-neuronske-mreze-i-jezicni-modeli-covjek-uci-dok-je-ziv_cZ8bb1.png

3.1.2. Duboko učenje

Duboko učenje predstavlja metodu implementacije strojnog učenja, a specifično je podskup koji se oslanja na neuronske mreže za klasifikaciju informacija, oponašajući funkcionalnost ljudskog mozga. Ova tehnologija primjenjuje se i u klasifikaciji audio i video podataka. Kao ulazni podaci za modele dubokog učenja koriste se različiti poticaji, među kojima su meteorološke karakteristike kao što su temperatura, solarno zračenje, oborine i vlažnost zraka,

ili pak svojstva tla poput sadržaja minerala, tipa tla, vlage i organskog sadržaja. Integracijom s aplikacijama daljinskog istraživanja dodatno se ubrzava rad algoritama dubokog učenja, povećavajući njihovu učinkovitost. Ključni čimbenici za ulazne podatke dubokog učenja uključuju sustave navodnjavanja, upotrebu gnojiva i herbicida. Implementacija modela dubokog učenja omogućit će razvoj sustava za obradu informacija u poljoprivredi, unaprijediti proizvodne sustave putem pametne poljoprivredne mehanizacije, te optimizirati kontrolu i upravljanje poljoprivrednim ekonomskim sustavima.

Arhitekture dubokog učenja predstavljaju temeljne strukture za implementaciju različitih modela strojnog učenja, a ključne među njima su konvolucijske neuronske mreže (CNN- Convolutional Neural network), duboke vjerovne mreže (DBN- Deep belief networks) i rekurentne neuronske mreže (RNN- Recurrent neural networks). Konvolucijske neuronske mreže (CNN) prepoznate su po svojoj sposobnosti nadziranog učenja, gdje se primjenjuju u zadacima poput prepoznavanja i klasifikacije slika kroz slojevite filtre koji automatski uče značajke iz podataka.

Rekurentne neuronske mreže (RNN) posebno su dizajnirane za obradu sekvencijalnih podataka zbog svoje inherentne memorijske jedinice koja omogućava modelima da zadrže informacije iz prethodnih koraka. Ova karakteristika čini RNN posebno pogodnim za aplikacije kao što su obrada prirodnog jezika i vremenske serije, gdje je kontekst prethodnih elemenata kritičan za razumijevanje i predviđanje budućih elemenata.

Duboke vjerovne mreže (DBN), s druge strane, sastoje se od više slojeva ograničenih Boltzmannovih strojeva (RBM), koji omogućavaju slojevito učenje značajki iz podataka. DBN su učinkovite u ne-nadziranom učenju i mogu se primijeniti na razne zadatke uključujući klasifikaciju slika, gdje višestruki slojevi mreže omogućavaju modelu da nauči složene i apstraktne značajke.

Tablica 4. Primjena različitih arhitektonskih modela u dubokom učenju

Arhitektura	Područja primjene
Konvolucijska neuronska mreža (CNN)	Obrada prirodnog jezika, prepoznavanje slika, analiza videa
Rekurentne neuronske mreže (RNN)	Prepoznavanje rukopisa, prepoznavanje govora
Duga kratkoročna memorija (LSTM)/jedinica s povratnim informacijama (GRU)	Kompresija teksta prirodnog jezika, prepoznavanje rukopisa, prepoznavanje govora, prepoznavanje gesti, opisi slika
Duboke slojevite mreže (DSN)	Kontinuirano prepoznavanje govora, dohvaćanje informacija
Duboke vjerovne mreže (DBN)	Dohvaćanje informacija, prepoznavanje slika, razumijevanje prirodnog jezika, predikcija kvarova

Izvor: obrada autora, podaci iz Jose (2021)

Za implementaciju i razvoj ovih modela dubokog učenja koriste se različiti okviri (frameworks). Theano i TensorFlow pružaju moćne alate za definiciju i optimizaciju složenih matematičkih operacija unutar modela. Caffe je prepoznatljiv po svojoj efikasnosti u obradi slika, dok Keras nudi jednostavno i intuitivno sučelje za brzo prototipiranje modela. MxNet podržava fleksibilnost u distribuciji modela na različite uređaje, a Deeplearning4j je posebno dizajniran za integraciju s Java ekosustavom, omogućavajući implementaciju dubokog učenja unutar poslovnih aplikacija (Jose et al., 2021).

Primjena dubokog učenja (DL) u poljoprivredi obuhvaća različite oblasti koje omogućuju poboljšanje učinkovitosti i točnosti poljoprivrednih procesa. Najprimjenjivija područja uključuju identifikaciju bolesti biljaka, prepoznavanje vrsta biljaka te prepoznavanje pokrova zemljišta i korova.

Konvolucijske neuronske mreže (CNN) su najčešće korištena arhitektura u ovim primjenama zbog svoje sposobnosti analize vizualnih podataka. Duboko učenje omogućuje automatizaciju zadataka kao što su klasifikacija biljaka i detekcija bolesti, što doprinosi preciznom poljoprivrednom menadžmentu i optimizaciji resursa.

Također, duboko učenje se koristi za analizu podataka prikupljenih bespilotnim letjelicama (UAV- Unmanned Aerial Vehicle) i vozilima (UGV- Unmanned Ground Vehicle), što omogućuje detaljno praćenje usjeva i tla. Povećanje točnosti prepoznavanja i brza obrada podataka čine duboko učenje ključnim alatom u modernoj poljoprivredi (Smith et al., 2018).

3.1.3. Računalni vid

Računalni vid je područje umjetne inteligencije koje koristi strojno učenje i neuronske mreže kako bi naučilo računala i sustave da izvlače smislene informacije iz digitalnih slika, videozapisa i drugih vizualnih unosa te da donose preporuke ili poduzimaju akcije kada otkriju nedostatke ili probleme. Dok umjetna inteligencija omogućuje računalima da "misle", računalni vid im omogućuje da "vide", "promatraju" i "razumiju".

Računalni vid funkcionira slično kao ljudski vid, ali s određenim prednostima. Ljudi imaju prednost životnog konteksta za razlikovanje objekata, procjenu udaljenosti i prepoznavanje problema na slikama. Računalni vid uči strojeve da obavljaju te funkcije u puno kraćem vremenu koristeći kamere, podatke i algoritme umjesto mrežnica, optičkih živaca i vidnog korteksa. Sustavi obučeni za inspekciju proizvoda ili praćenje proizvodnih procesa mogu analizirati tisuće proizvoda ili procesa u minuti, primjećujući neprimjetne nedostatke ili probleme, što brzo nadmašuje ljudske sposobnosti.

Računalni vid zahtijeva veliku količinu podataka. Analizira podatke iznova i iznova dok ne prepozna razlike i konačno prepozna slike. Na primjer, kako bi se računalo obučilo da prepoznaje automobilske gume, mora mu se dati velika količina slika guma i predmeta vezanih uz gume kako bi naučilo razlike i prepoznalo gumu, posebno onu bez nedostataka.

Za postizanje ovoga koriste se dvije ključne tehnologije: strojno učenje i konvolucijska neuronska mreža (CNN).

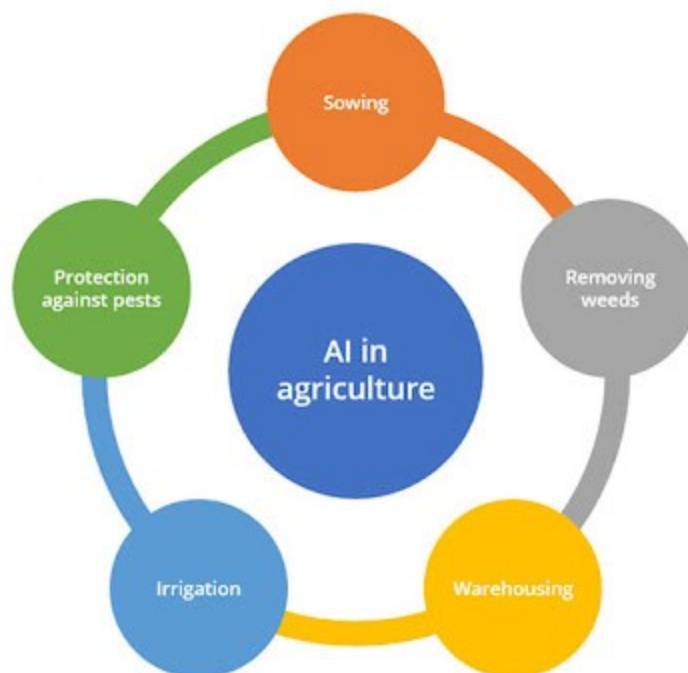
Strojno učenje koristi algoritamske modele koji omogućuju računalu da samo sebe podučava kontekstu vizualnih podataka. Ako se kroz model prođe dovoljno podataka, računalo će "gledati" podatke i samo se naučiti razlikovati jednu sliku od druge. Algoritmi omogućuju stroju da samostalno uči, umjesto da ga netko programira da prepozna sliku.

Konvolucijska neuronska mreža (CNN) pomaže modelu strojnog ili dubokog učenja da "gleda" razbijajući slike na piksele kojima se dodjeljuju oznake ili etikete. CNN koristi te oznake za izvođenje konvolucija (matematička operacija na dvije funkcije koje proizvode treću funkciju) i donosi predviđanja o onome što "vidi". Neuronska mreža izvodi konvolucije i provjerava točnost svojih predviđanja kroz niz iteracija dok predviđanja ne postanu točna. Na taj način prepoznaje ili "vidi" slike na sličan način kao ljudi.

Kao što ljudsko oko prvo prepoznaje rubove i jednostavne oblike, a zatim ispunjava informacije kroz iteracije svojih predviđanja, CNN prvo prepoznaje tvrde rubove i jednostavne oblike, a zatim ispunjava informacije kroz iteracije svojih predviđanja. CNN se koristi za razumijevanje pojedinačnih slika, dok se rekurentna neuronska mreža (RNN) koristi za video aplikacije kako bi se pomoglo računalima da razumiju kako su slike u nizu kadrova međusobno povezane (IBM 2024).

3.2.Primjene umjetne inteligencije u poljoprivredi

Sposobnosti umjetne inteligencije u poljoprivredi donose značajne promjene u načinu prikupljanja i analize podataka s farmi. UI omogućuje poljoprivrednicima pristup detaljnijim i preciznijim informacijama što im pomaže u donošenju informiranih odluka o upravljanju farmom. Primjeri precizne poljoprivrede, poput praćenja aktivnosti životinja i kreiranja visoko-rezolucijskih karata polja, već su u primjeni, a moderni algoritmi kontinuirano unapređuju ove tehnologije.



Slika 3. Umjetna inteligencija u poljoprivredi

Izvor: <http://www.allerin.com/wp-blog/wp-content/uploads/2017/08/30.8.jpg>

Napredak u razvoju algoritama umjetne inteligencije koji mogu vizualno prepoznati objekte i specifične vrste ponašanja omogućuje značajno poboljšanje detekcije slika, čime se postiže sveobuhvatnije i učestalije praćenje farmi. Osim toga, UI može analizirati podatke prikupljene putem različitih senzora za temperaturu, vlagu, pokret, zvuk i druge mjerljive signale, pružajući detaljne izvještaje o aktivnostima na farmi. Integracija različitih izvora informacija putem UI dodatno poboljšava točnost i učinkovitost prikupljanja podataka.

Jedna od ključnih primjena UI u poljoprivredi uključuje senzore pokreta na životinjama za praćenje njihovog zdravlja i ponašanja. Na primjer, pedometri za otkrivanje estrusa kod krava smanjuju potrebu za ručnim promatranjem i povećavaju uspješnost oplodnje. Napredak u digitalnoj povezanosti omogućuje implementaciju UI algoritama na udaljenim lokacijama, čime se rješava problem nedostatka povezanosti i omogućava daljinsko praćenje.

UI također poboljšava ekstrakciju informacija iz satelitskih i zračnih snimaka, što zahtijeva manje računalnih resursa i stručnosti. Ove tehnologije omogućuju poljoprivrednicima pristup ključnim informacijama o njihovim poljima na jednostavan i automatiziran način. Dodatno, UI za prevođenje jezika i chatbotovi olakšavaju komunikaciju i pristup informacijama za (strane) radnike na farmama, što može dovesti do šire primjene dobrih poljoprivrednih praksi.

Međutim, primjena UI u prikupljanju podataka nosi i izazove. Na primjer, ovisnost o računalnim sustavima za donošenje odluka može dovesti do prevelikog oslanjanja na tehnologiju, te je važno održati ulogu ljudske inspekcije. Također, edukacija poljoprivrednika za interpretaciju i korištenje novih informacija koje pruža UI postaje sve važnija. Ova potreba za obukom može otvoriti nove prilike za edukaciju i razvoj vještina budućih poljoprivrednih stručnjaka.

Napredak u UI također omogućuje poboljšanu dijagnostiku i predviđanja u poljoprivredi. Prikupljanje preciznijih podataka omogućava bolje razumijevanje međusobnih utjecaja različitih faktora na poljoprivredne sustave. Napredni algoritmi UI mogu predvidjeti složene fenomene uzimajući u obzir širok raspon međusobno djelujućih faktora.

Osim toga, UI poboljšava predviđanja performansi različitih sorti biljaka i životinja, kao i prognoze rasta u realnom vremenu. Ovo omogućava poljoprivrednicima optimiziranje aktivnosti i bolje planiranje proizvodnje. Integracija prediktivnih modela s podacima o okolišu, usjevima i životinjama omogućava precizne i pravovremene odluke, što je ključno za uspjeh velikih poljoprivrednih operacija.

Primjene UI u poljoprivredi ne samo da poboljšavaju učinkovitost i produktivnost, već također otvaraju nove mogućnosti za edukaciju i razvoj stručnih vještina, te unapređuju dijagnostiku i predviđanja, čineći poljoprivredu preciznijom i održivijom (Smith et al., 2018).

4. Primjene umjetne inteligencije u ekološkoj proizvodnji

Umjetna inteligencija (UI) u poljoprivredi omogućava tehnološke napretke, uključujući savjetodavne usluge, analitiku podataka, Internet stvari (IoT) te upotrebu kamera i senzora. UI će pružati bolje prediktivne uvide analizom podataka o vremenu, tlu, performansama usjeva i temperaturi. Istraženi su rizici kao što su interoperabilnost, sigurnost, pouzdanost podataka i neočekivane socio-ekološke posljedice. UI može poboljšati upravljanje usjevima prepoznavanjem bolesti biljaka i primjenom agrokemikalija. Strojno učenje može pomoći u fenotipiziranju biljaka, praćenju usjeva, procjeni sastava tla, prognozi vremena i predviđanju prinosa. Sve više poljoprivrednika usvaja UI, IoT i druge tehnologije za povećanje produktivnosti.

Tehnologije temeljene na UI obećavaju značajne promjene u poljoprivredi. Farme mogu koristiti UI i kognitivnu tehnologiju za poboljšanje donošenja odluka, analizu podataka, automatizaciju zadataka i povećanje učinkovitosti. Velike količine podataka mogu se koristiti za povećanje proizvodnje i održivosti pomoću napredne tehnologije i povjerenja u strojno učenje. Povećana upotreba senzora, brži pristup satelitskim slikama, niži troškovi snimača podataka, dronovi i bolji pristup vladinim podacima omogućuju korištenje UI. Banke mogu koristiti UI za procjenu kreditne sposobnosti poljoprivrednika i povijest proizvodnje prije odobravanja kredita, što povećava transparentnost i smanjuje rizik.

UI u poljoprivredi je još uvijek u ranim fazama razvoja. Prikupljanje informacija za optimizaciju odluka o sadnji, navodnjavanju, primjeni inputa i berbi zahtijeva više vremena. Količina i kvaliteta podataka za treniranje su nedostatni. UI aplikacije temeljene na računalnom vidu moraju biti trenirane na velikom i raznolikom skupu slika štetnika. Pristup postojećem poljoprivrednom znanju može postaviti temelj za razvoj skalabilnih UI aplikacija. UI model može učiti iz podataka i slika koristeći mrežu stručnjaka i poljoprivrednika, nadopunjujući njihovo znanje za donošenje boljih odluka. Prikupljanje podataka putem mehanizama sudjelovanja zajednice moglo bi pomoći u prikupljanju bogatijih kontekstualnih podataka, a različite tehnologije daljinskog istraživanja mogu pružiti lokalne podatke o padalinama i vremenskim pokazateljima (Mohd Javiad et al., 2023).

4.1. Optimizacija upotrebe resursa

UI tehnologija donijela je brojne prednosti u području organske poljoprivrede, značajno mijenjajući tradicionalne poljoprivredne metode. Upotrebom umjetne inteligencije, poljoprivrednici mogu unaprijediti proizvodnju, povećati učinkovitost i usvojiti održivije pristupe.

Jedna od značajnih prednosti primjene umjetne inteligencije u organskoj poljoprivredi je omogućavanje precizne i regulirane poljoprivredne prakse. UI sustavi analiziraju različite čimbenike, uključujući sastav tla, razinu vlage i vremenske obrasce, kako bi odredili optimalno vrijeme za provođenje različitih agrotehničkih operacija. Pružajući podatke u stvarnom vremenu, UI pomaže poljoprivrednicima donositi informirane odluke koje maksimiziraju prinos usjeva uz minimalnu potrošnju resursa.

Primjena UI sustava značajno doprinosi povećanju proizvodnje u organskoj poljoprivredi. Sustavi temeljenih na umjetnoj inteligenciji omogućuju praćenje zdravlja biljaka, otkrivanje bolesti i štetnika te pružanje preporuka za potrebne mjere. Rano prepoznavanje potencijalnih problema omogućava poljoprivrednicima da poduzmu preventivne mjere, smanjujući gubitke usjeva. Nadalje, automatizacija putem UI robota može ubrzati poljoprivredne operacije, omogućujući bržu i učinkovitiju žetvu, obradu i pakiranje poljoprivrednih proizvoda.

UI tehnologija u organskoj poljoprivredi posebno ističe optimizaciju korištenja resursa. Dronovi robotski sustavi upravljani umjetnom inteligencijom mogu obavljati zadatke poput kontrole korova, izviđanja usjeva i praćenja rasta biljaka, smanjujući potrebu za ručnim radom i povećavajući ukupnu produktivnost. UI sustavi također omogućuju optimizaciju upotrebe resursa poput vode i gnojiva, što dovodi do održivijih poljoprivrednih praksi. Precizna primjena ovih resursa ne samo da smanjuje troškove, već i minimalizira negativan utjecaj na okoliš, promovirajući održivu poljoprivrednu proizvodnju (Agrisurfer, 2024).

4.2. Upravljanje štetocinama i bolestima

Optimizacija korištenja umjetne inteligencije za upravljanje štetnicima, korovima i bolestima u organskoj poljoprivredi

U organskoj poljoprivredi, učinkovito upravljanje štetnicima, korovima i bolestima ključno je za održavanje zdravlja usjeva i minimiziranje gubitaka. Umjetna inteligencija pruža inovativna rješenja za prepoznavanje i kontrolu ovih izazova. Kroz analizu satelitskih snimaka i povijesnih podataka, umjetna inteligencija može precizno otkriti prisutnost štetnika, korova i bolesti u stvarnom vremenu. To omogućuje poljoprivrednicima poduzimanje proaktivnih mjera za sprječavanje infestacija i primjenu odgovarajućih strategija kontrole.

Umjetna inteligencija za identifikaciju i kontrolu štetnika

Sustavi temeljeni na umjetnoj inteligenciji omogućuju precizno praćenje zdravlja biljaka, identifikiranje štetnika i pružanje preporuka za potrebne mjere. Analizom podataka o ponašanju štetnika, obrascima hranjenja i životnom ciklusu, algoritmi temeljeni na umjetnoj inteligenciji nude uvid u učinkovite mjere kontrole. Time poljoprivrednici mogu odabrati najprikladnije metode kontrole, smanjujući štetu i utjecaj na okoliš.

Umjetna inteligencija za upravljanje korovima i bolestima

Tehnologije umjetne inteligencije također igraju ključnu ulogu u identifikaciji i kontroli korova i biljnih bolesti. Korištenjem robota i dronova temeljenih na umjetnoj inteligenciji, poljoprivrednici mogu učinkovito pratiti prisutnost korova, omogućujući ciljane mjere kontrole koje smanjuju potrebu za herbicidima. Slično tome, sustavi temeljeni na umjetnoj inteligenciji mogu detektirati rane znakove biljnih bolesti, omogućujući brzo djelovanje i primjenu odgovarajućih tretmana.

Održive prakse uz pomoć umjetne inteligencije

Korištenjem tehnologija umjetne inteligencije, poljoprivrednici mogu smanjiti upotrebu kemijskih pesticida, herbicida i fungicida, te usvojiti održivije prakse upravljanja. Precizno upravljanje resursima, kao što su voda i gnojivo, dodatno doprinosi održivosti. Sve ove mjere pomažu očuvanju prirodne ravnoteže u ekosustavu i povećavaju produktivnost usjeva bez negativnog utjecaja na okoliš (Agrisurfer, 2024).

4.3. Automatizacija

Pojmom automatizacije u poljoprivredi često se misli na upotrebu robota i drugih tehnologija kako bi se povećala efikasnost i produktivnost poljoprivrednih operacija. Automatizacija može obuhvatati širok spektar tehnologija i praksi.

Ograničena radna snaga u poljoprivredi uslijed urbanih migracija, intenzivne radne zahtjeve i visoke stope rasta populacije doprinijele su rastućoj popularnosti poljoprivrednih robota na globalnoj razini. Robotika je uvedena u poljoprivredu kako bi se pružila učinkovita rješenja za radno intenzivne i vremenski zahtjevne faze poljoprivredne proizvodnje, kao što su žetva i oranje (Bac et al., 2014). Poljoprivredni roboti nadmašuju ljudsku radnu snagu u pogledu fizičkog rada, stalnih radnih stopa pod različitim uvjetima, upravljanja vremenom i ukupne preciznosti (Solaiman et al., 2019).

Trenutne Primjene Poljoprivrednih Robota

Globalno tržište poljoprivrednih robota doživjelo je značajan rast, a dominiraju traktori bez vozača. Vodeće tehnološke kompanije iz Europe i SAD-a predstavile su prototipove potpuno ili djelomično autonomnih traktora opremljenih GPS vođenjem i naprednim sensorima kao što su radar, laserski i infracrveni sustavi (Gan-Mor et al., 2007; Nieuwenhuizen et al., 2010; Pérez-Ruiz et al., 2012). Autonomni i poluautonomni poljoprivredni strojevi sposobni su za precizne zadatke kada su opremljeni odgovarajućim alatima ili implementima (Solaiman et al., 2019).

Integracija i Dizajn Automatiziranih Sustava

Učinkovita primjena robotike u poljoprivredi zahtijeva integraciju vozila, specifičnih implementa i koordinirajućih sustava. Ovi sustavi, koji mogu biti upravljani vanjskim računalom, ručno od strane operatera ili putem samoučećih programa, omogućuju precizno izvođenje poljoprivrednih zadataka. Inovativna rješenja u dizajnu ovih sustava ključna su za ekonomičnu i praktičnu primjenu na organskim farmama (Rovira-Mas, 2010). Učinkovit dizajn koji povezuje vozilo, implement i koordinacijski sustav rezultira pouzdanim, efikasnim i praktičnim robotskim sustavom primjenjivim u poljoprivredi (Solaiman et al., 2019).

4.4.Održavanje tla

Osiguranje zdravlja tla ključno je za održivu organsku poljoprivredu, a umjetna inteligencija (UI) igra vitalnu ulogu u ovom procesu. Napredni UI sustavi omogućuju analizu faktora poput sadržaja hranjivih tvari i razine vlage u tlu, pružajući poljoprivrednicima vrijedne uvide. Na temelju tih informacija, poljoprivrednici mogu donositi informirane odluke o upravljanju hranjivim tvarima, kontroli štetnika i rotaciji usjeva, čime se doprinosi održavanju plodnosti tla i zdravlju usjeva.

Implementacija UI tehnologije omogućava usvajanje održivijih praksi i optimizaciju korištenja resursa poput vode i gnojiva. UI sustavi smanjuju potrebu za prekomjernom upotrebom gnojiva i pesticida, čineći organsku poljoprivredu učinkovitijom i ekološki prihvatljivijom. Analiza podataka s poljoprivrednih strojeva, dronova i IoT uređaja pomaže u praćenju i predviđanju utjecaja okoliša na prinos usjeva. UI također omogućuje obradu velikih količina strukturiranih i nestrukturiranih podataka, uključujući temperaturu, vlagu, vremenske uvjete i performanse usjeva, kako bi se pružile preciznije prognoze i poboljšala produktivnost poljoprivrede.

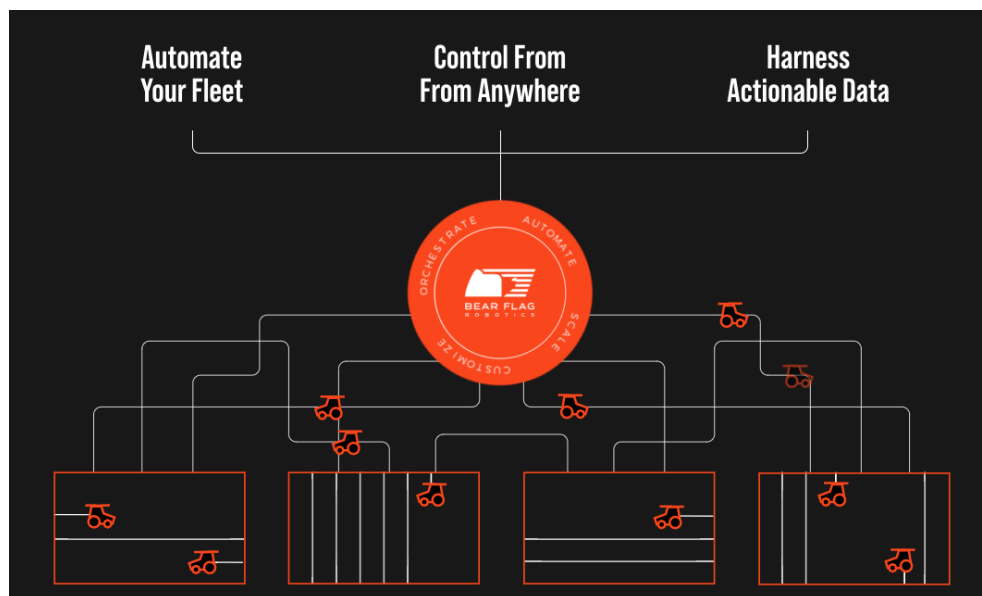
Prednosti uključuju preciznu procjenu hranjivih tvari, pravovremene preporuke za upravljanje resursima, poboljšane odluke o rotaciji usjeva te smanjen negativan utjecaj na okoliš. Umjetna inteligencija je ključni alat za održavanje tla, omogućujući poljoprivrednicima postizanje boljih rezultata uz očuvanje okoliša i zdravlja tla (Javaid et al., 2023).

5. Primjeri primjene umjetne inteligencije u ekološkoj proizvodnji

5.1. Autonomni traktori

Bear Flag Robotics Technology

Bear Flag Robotics integrira naprednu autonomnu tehnologiju u traktore što omogućuje povećanje poljoprivredne produktivnosti. Njihov sustav može se instalirati na postojeće traktore čime se eliminira potreba za kupovinom nove opreme. Sustav omogućuje brzo mapiranje polja i generiranje optimalnih putanja te se može skalirati za rad s više traktora odjednom. Operateri imaju mogućnost daljinskog nadzora i upravljanja traktorima putem korisničkog sučelja koje pruža podatke u stvarnom vremenu i video prikaze u 360 stupnjeva. Tehnologija podržava razne poljoprivredne priključke i koristi napredni generator putanja za optimizaciju rada na terenu. Ova tehnologija značajno doprinosi učinkovitosti i prilagodljivosti poljoprivrednih operacija, omogućujući bolje upravljanje resursima i smanjenje radnog vremena.



Slika 4. Autonomna poljoprivreda

Izvor: <https://www.trucks.vc/blog/safe-productive-and-efficient-farming-operations-for-the-next-generation-of-growers>

Autonomni traktori Bear Flag Robotics koriste umjetnu inteligenciju za analizu i prilagodbu terenskim uvjetima što uključuje prepoznavanje prepreka i prilagodbu rada u realnom vremenu. Tehnologija je dizajnirana tako da omogući neprekidni rad, smanjujući potrebu za ljudskom intervencijom i omogućujući poljoprivrednicima da se fokusiraju na strateške aspekte upravljanja farmom. Osim toga, sustav pruža detaljne analize i izvještaje, koji pomažu poljoprivrednicima u donošenju informiranih odluka o upravljanju usjevima.



Slika 5. Autonomni traktor

Izvor: <https://www.tradefarmmachinery.com.au/wp-content/uploads/2021/08/jd-13140737.jpg>

5.2. Dronovi za detaljno praćenje stanja usjeva

Taranis

Taranis koristi naprednu tehnologiju visoke rezolucije za snimanje i analizu usjeva na razini lista, primjenjujući umjetnu inteligenciju za otkrivanje različitih problema. Ova tehnologija omogućuje prepoznavanje bolesti, oštećenja od insekata, nutritivnih nedostataka, kao i brojanje biljaka i

korova. Korištenjem zračnih snimaka visoke rezolucije i AI analize, Taranis pomaže poljoprivrednicima u optimizaciji prinosa i smanjenju gubitaka. Sustav se može primijeniti na raznim kulturama kao što su kukuruz, pamuk, soja i šećerna repa, pružajući detaljan uvid u stanje usjeva.

Taranis tehnologija koristi dronove i satelite za prikupljanje slika visoke rezolucije koje omogućuju detaljno praćenje stanja usjeva. Umjetna inteligencija analizira te slike kako bi identificirala potencijalne probleme poput bolesti, štetnika i nutritivnih nedostataka na mikroskopskoj razini. Time poljoprivrednici dobivaju mogućnost brzog reagiranja i prilagođavanja svojih aktivnosti kako bi osigurali optimalne uvjete za rast usjeva.



Slika 6. Dron za praćenje stanja usjeva

Izvor: https://agairupdate.com/wp-content/uploads/sites/4/2021/09/Taranis_Drone_Pod2-min-1595256145-1536x1152-1.jpg

Prednosti sustava uključuju smanjenje potrebe za fizičkim pregledima polja, povećanje učinkovitosti tretmana i upravljanja resursima, te poboljšanje ukupne produktivnosti i prinosa. Tehnologija Taranisa također omogućuje precizno praćenje razvoja usjeva kroz vrijeme, što je ključno za donošenje informiranih odluka u poljoprivredi.

5.3. Napredni sustav za upravljanje farmom

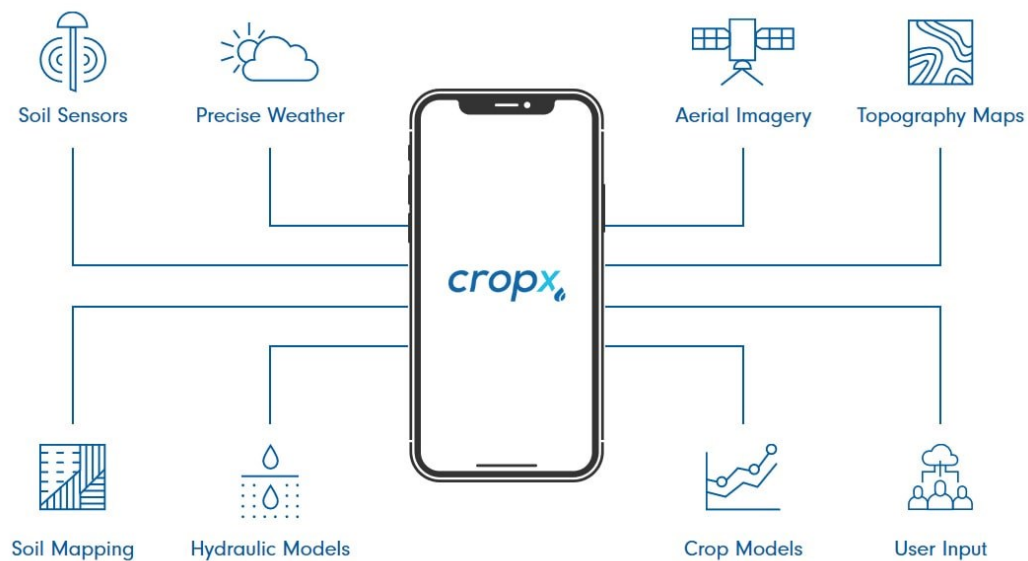
Cropx

CropX sustav predstavlja sveobuhvatan agronomski sustav za upravljanje farmama koji koristi napredne tehnologije za prikupljanje i analizu podataka iz tla i atmosfere. Kroz intuitivno korisničko sučelje, poljoprivrednici mogu upravljati brojnim farmama i poljima, pristupajući prilagodljivim prikazima podataka, daljinskom nadzoru i kontroli, te grafičkim prikazima i satelitskim slikama polja.

Ključne funkcionalnosti CropX sustava uključuju:

1. Prikupljanje Podataka: Sustav koristi senzore za mjerenje vlažnosti tla, temperature, električne vodljivosti i drugih parametara. Ovi podaci se koriste za precizno praćenje stanja tla i biljaka.
2. Analiza i Modeliranje: Vlasnički modeli usjeva integriraju podatke iz tla s vremenskim podacima, topografijom i tipom tla kako bi pružili prediktivne agronomске uvide. Ovi modeli omogućuju prilagođene preporuke za navodnjavanje, gnojidbu i zaštitu usjeva.
3. Upravljanje Navodnjavanjem: Sustav omogućuje planiranje i optimizaciju navodnjavanja na temelju stvarnih potreba biljaka, čime se štedi voda i povećava učinkovitost upotrebe resursa. Automatsko upravljanje navodnjavanjem smanjuje potrebu za ručnom intervencijom.
4. Kontrola Bolesti i Štetočina: Kroz praćenje uvjeta na terenu, CropX sustav može pružiti upozorenja o mogućim bolestima i infestacijama, omogućujući poljoprivrednicima da pravovremeno reagiraju i minimiziraju štete.

5. Optimizacija Gnojidbe: Sustav prati nutritivne vrijednosti tla i preporučuje optimalne doze gnojiva, što rezultira boljim prinosima i smanjenjem troškova.
6. Praćenje i Izvještavanje: Poljoprivrednici imaju pristup detaljnim izvještajima i analizama koje im pomažu u donošenju informiranih odluka o upravljanju farmom.
7. Održiva Poljoprivreda: CropX sustav doprinosi održivosti smanjujući potrošnju vode, gnojiva i pesticida, te smanjujući utjecaj poljoprivrede na okoliš.



Slika 7. Šematski prikaz CropX sustava

https://www.myreincloud.com/uploads/5/9/4/2/59423143/cropx-offering_orig.jpg

Ova tehnologija omogućuje poljoprivrednicima da povećaju produktivnost i efikasnost svojih operacija, smanje troškove i poboljšaju održivost svojih praksi.

6. Zaključak

Ekološka proizvodnja predstavlja održivu alternativu konvencionalnim poljoprivrednim praksama nudeći brojne prednosti za okoliš i zdravlje ljudi. Iako se suočava s izazovima poput upravljanja štetnicima i patogenima, zabrane korištenja kemijskih gnojiva i antibiotika te smanjenim prinosima, moderna znanost i tehnologija pružaju alate za prevladavanje ovih problema. Umjetna inteligencija (UI) pokazala se kao ključna tehnologija koja može značajno unaprijediti ekološku proizvodnju.

Integracija UI tehnologija, kao što su strojno učenje, duboko učenje i računalni vid, omogućuje precizno upravljanje resursima, učinkovitije upravljanje štetočinama i bolestima te automatizaciju različitih aspekata poljoprivredne proizvodnje. Korištenjem UI-a poljoprivrednici mogu optimizirati upotrebu vode i hranjivih tvari, povećati prinose usjeva i poboljšati ukupnu učinkovitost proizvodnje.

Zaključno, primjena umjetne inteligencije u ekološkoj proizvodnji predstavlja značajan korak prema održivijoj i učinkovitijoj poljoprivredi. Buduća istraživanja i razvoj trebaju se usmjeriti na daljnju integraciju tehnologija UI kako bi se maksimalno iskoristile njihove prednosti i omogućila ekološka proizvodnja koja je istovremeno ekonomski isplativa i ekološki održiva.

Popis literature

1. Agrisurfer.com (2024) AI in Organic Farming. Dostupno na: <https://www.agrisurfer.com/ai-in-organic-farming/> (Pristupljeno: 21. lipnja 2024).
2. Bear Flag Robotics: Bear Flag Robotics (n.d.) Technology. Available at: <https://www.bearflagrobotics.com/technology/> (Accessed: 21 June 2024).
3. Bhagat, P.R., Naz, F. and Magda, R., 2022. Artificial intelligence solutions enabling sustainable agriculture: A bibliometric analysis. *PloS one*, 17(6), p.e0268989, pp.11-14
4. CropX: CropX (n.d.) CropX System. Available at: <https://cropx.com/cropx-system/> (Accessed: 21 June 2024).
5. IBM. (2024.). What is Computer Vision? IBM. Dostupno na: <https://www.ibm.com/topics/computer-vision> (Pristupljeno: 20 June 2024)
6. Javaid, M., Haleem, A., Khan, I.H. and Suman, R., 2023. Understanding the potential applications of Artificial Intelligence in Agriculture Sector. *Advanced Agrochem*, 2(1), pp.15-30.
7. Jose, A., Nandagopalan, S. and Akana, C.M.V.S., 2021. Artificial Intelligence techniques for agriculture revolution: a survey. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, pp.2580-2597, pp. 1-9
8. Liakos, K.G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S. and Bochits, D., 2018. Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors* (Special Issue" Sensors in Agriculture 2018"), pp. 3-18
9. Meemken, E.M. and Qaim, M., 2018. Organic agriculture, food security, and the environment. *Annual Review of Resource Economics*, 10, pp.39-63.
10. Smith, M.J., 2018. Getting value from artificial intelligence in agriculture. *Animal Production Science*, 60(1), pp.46-54
11. Solaiman, S. and Salaheen, S., 2019. Future of organic farming: bringing technological marvels to the field. In *Safety and practice for organic food* (pp. 291-303). Academic Press.
12. Taranis: Taranis (n.d.) Insight Gallery. Available at: <https://www.taranis.com/gallery-cat/insight-gallery/> (Accessed: 21 June 2024).
13. umjetna inteligencija. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. Pristupljeno 19.6.2024.- <https://enciklopedija.hr/clanak/umjetna-inteligencija>

14. Veeresh, G.K. (2006) 'Organic Farming: Concepts and Principles', in Organic Farming. Foundation Books (Environment and Development Series), pp. 16–17.
15. Znaor, D., 1996. *Ekološka poljoprivreda–poljoprivreda sutrašnjice* (p. 467). Nakladni zavod Globus.

Popis tablica

Tablica 1. Sažetak zabranjenih i potrebnih aktivnosti u ekološkoj poljoprivredi	5
Tablica 2. Prosječni prinosi organskih usjeva u usporedbi s konvencionalnim prinosima (rezultati globalnih meta-analiza).....	6
Tablica 3. Omjer dobivene naspram uložene energije pri pojedinim oblicima poljoprivredne proizvodnje	7
Tablica 4. Primjena različitih arhitektonskih modela u dubokom učenju.....	17

Popis slika

Slika 1. Hrvatski eko znak	4
Slika 2. Šematski prikaz strojnog učenja	15
Slika 3. Umjetna inteligencija u poljoprivredi.....	20
Slika 4. Autonomna poljoprivreda	27
Slika 5. Autonomni traktor.....	28
Slika 6. Dron za praćenje stanja usjeva	29
Slika 7. Šematski prikaz CropX sustava.....	31