



TRAJNOSTNI
PREHRANSKI
SISTEMI:

**INTERDISCIPLINARNI
POGLED NA IZZIVE
IN MOŽNE REŠITVE**

**Zbornik prispevkov okrogle mize
programa Tutorstvo ASEF**

September 2024 - Junij 2025



TRAJNOSTNI PREHRANSKI SISTEMI: **INTERDISCIPLINARNI POGLED NA IZZIVE IN MOŽNE REŠITVE**

Zbornik prispevkov okrogle mize
programa Tutorstvo ASEF

September 2024 – junij 2025

Trajnostni prehranski sistemi: interdisciplinarni pogled na izzive in možne rešitve

Inštitut ASEF za izobraževanje in raziskovanje
Digitalna izdaja, Ljubljana 2026
© 2026, Inštitut ASEF za izobraževanje in raziskovanje in avtorji

Uredniki:	Kaja Cunk, Kaja Ravnak, Anja Robida, dr. Jože Rožanec, dr. Rok Sekirnik
Avtorji prispevkov:	Živa Alif, Lana Nastja Anžur, Jernej Birk, Veronika Bračič, Jaka Godejša, Matej Igličar, Vesna Jurjevič, Martin Jurkovič, Lena Kogoj, Jerneja Koren, Adrian Mladenič Grobelnik, Zala Perko, Gregor Puhar, Miha Rožič, Črt Rozman, Domen Škerlep, Juš Žavbi
Avtorji uvodnega nagovora:	prof. dr. Emil Erjavec, prof. dr. Nataša Fidler Mis, dr. Jože Rožanec
Tutorji:	prof. dr. Ivan Bratko (skupina računalništvo), prof. dr. Sašo Grozdanov (skupina fizika in tehnika), prof. dr. Miha Humar (skupina varstvo okolja in turizem), dr. Alen Krajnc (skupina biokemija in kemija), izr. prof. dr. Petra Weingerl (skupina pravo in družbene vede), prof. dr. Janez Žibert (skupina medicina)
Recenzija:	izr. prof. dr. Andrej Košmrlj, dr. Taja Ložar, dr. med., dr. Jana Obšteter, Pavlin Poličar, dr. Jože Rožanec, dr. Rok Sekirnik, prof. dr. Verica Trstenjak
Jezikovni pregled:	K&J Translations
Tehnični pregled:	Kaja Cunk, Inštitut ASEF
Izdajatelj:	Inštitut ASEF za izobraževanje in raziskovanje, Tehnološki park 19, 1000 Ljubljana
Leto izida:	2026



REPUBLIKA SLOVENIJA
**MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,
ZNANOST IN ŠPORT**



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA JAVNO UPRAVO



Javna agencija za znanstvenoraziskovalno
in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije



Cobiss ID: 279805699
Zapis CIP: Kataložni zapis o publikaciji (CIP)
pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani
COBISS.SI-ID 279805699
ISBN 978-961-95811-7-9 (PDF)

Kazalo

Uvodnik	7
Trajnostni kmetijsko-prehranski sistem: mit ali realnost? prof. dr. Emil Erjavec	
Uvodnik	9
Prehrana, zdravje in trajnost: Slovenija med znanjem in implementacijo prof. dr. Nataša Fidler Mis	
Predgovor	12
dr. Jože Rožanec, vodja programa Tutorstvo ASEF	
Skupina biokemija in kemija	14
Trajnostna prehrana prihodnosti kot pot k zniževanju protimikrobne odpornosti	15
Avtorji: Jernej Birk, Veronika Bračič, Lena Kogoj, Zala Perko, Gregor Puhar, Miha Rožič Tutor: dr. Alen Krajnc	
Skupina fizika in tehnika	24
Modeliranje optimalnega substrata za rast rastlin v vesolju	25
Avtor: Črt Rozman Tutor: prof. dr. Sašo Grozdanov	
Integracija brezpilotnih letal v kmetijstvo: tehnični, ekonomski in okoljski vidiki	36
Avtor: Domen Škerlep Tutor: prof. dr. Sašo Grozdanov	
Skupina medicina	46
Indeks napovedovanja lakote: orodje v boju proti kronični in akutni lakoti	47
Avtorji: Jerneja Koren, Juš Žavbi, Vesna Jurjevič Tutor: prof. dr. Janez Žibert	

Podhranjenost, njeni fiziološki učinki, možni terapevtski posegi in trajnostnost	57
Avtorji: Jerneja Koren, Juš Žavbi, Vesna Jurjevič	
Tutor: prof. dr. Janez Žibert	
Skupina pravo in družbene vede	70
Pravni ukrepi za zmanjšanje zavržene hrane v Evropski uniji	71
Avtor: Matej Igličar	
Tutorka: izr. prof. dr. Petra Weingerl	
Skupina računalništvo	80
Analiza medu: priložnost za Slovenijo	81
Avtor: Martin Jurkovič	
Tutor: prof. dr. Ivan Bratko	
Prepoznavanje peloda z umetno inteligenco	88
Avtor: Adrian Mladenec Grobelnik	
Tutor: prof. dr. Ivan Bratko	
Skupina varstvo okolja in turizem	94
Interdisciplinarni pristop k zagotavljanju avtentičnosti slovenskega medu	95
Avtorica: Lana Nastja Anžur	
Tutor: prof. dr. Miha Humar	
Apiturizem: medena obljuba trajnosti	112
Avtor: Jaka Godejša	
Tutor: prof. dr. Miha Humar	
Pomen divjih opraševalcev za trajnostne prehranske sisteme	124
Avtorica: Živa Alif	
Tutor: prof. dr. Miha Humar	

UVODNIK

Trajnostni kmetijsko-prehranski sistem: mit ali realnost?

**prof. dr. Emil Erjavec, agrarni ekonomist,
Biotehniška fakulteta Univerza v Ljubljani**

Pojem kmetijsko-prehranski sistem (angl. »food system«) označuje celotno prehransko verigo – od virov za kmetijsko pridelavo (npr. semena in drugi viri), kmetijskih gospodarstev, odkupovalcev kmetijskih surovin in predelave v živila do trgovine, prehranskih storitev ter končnega potrošnika. Vključuje torej pridelavo surovin, predelavo, hlajenje, pakiranje, logistiko, distribucijo ter ravnanje z odpadki in izgubami hrane.

Za razliko od sorodnega pojma agroživilska veriga nas pri kmetijsko-prehranskem sistemu ne zanima zgolj pot hrane od pridelovalca do potrošnika, temveč širši ekosistem, v katerem hrana nastaja, skupaj z vsemi učinki, povratnimi zankami in posledicami. Vplivi pridelave, predelave in porabe hrane so mnogoplastni in kompleksni. Sistem ima izrazite pozitivne, pa tudi negativne učinke na okolje in podnebje, na zdravje prebivalstva, na stanje narave ter na dobrobit živali.

V družbi ni enotnega soglasja o tem, kateri vidiki sistema so sprejemljivi in kateri problematični. Pogosta sta zanikanje ali zmanjševanje pomena negativnih učinkov ter podcenjevanje globine sprememb, ki so potrebne, da postane sistem trajnosten. Trajnosten kmetijsko-prehranski sistem pomeni, da je proizvodnja hrane načrtovana, upravljana in razvijana tako, da zadovoljuje individualne in družbene potrebe danes, ne da bi pri tem ogrožala možnosti prihodnjih generacij.

Vse več dokazov kaže, da v sodobnih kmetijsko-prehranskih sistemih negativni učinki prevladujejo nad pozitivnimi, zato je potrebna korenita preobrazba. Spremeniti moramo prehransko okolje, zmanjšati ogljični in vodni odtis, ohranjati biotsko raznovrstnost, varovati tla ter zdravje rastlin in živali, zmanjšati izgube in količine zavržene hrane, zagotavljati dobrobit živali, ohranjati kulturne tradicije in družbeno pravičnost, vzpostavljati ekonomsko vzdržne kmetije in podjetja ter krepiti njihovo odpornost.

Slovenija pri nujnosti trajnostne preobrazbe ni izjema. Na nekaterih področjih smo morda uspešnejši od drugih, odvisno od primerjave, vendar tudi pri nas potrebujemo temeljit premik v ravnanju in sistemskih ureditvah, če želimo bistveno izboljšati trajnost.

Slovenija za zdaj nima celovite Vizije trajnostne preobrazbe kmetijsko-prehranskih sistemov. Razen pozivov posameznikov in nekaterih strokovnih krogov to še ni postala resna družbena tema. Avtonomen razvoj in tržno gospodarstvo sama po sebi ne vodita nujno v trajnostno preobrazbo, pogosto celo nasprotno – od trajnosti se oddaljujemo. Prehranjujemo se slabše in manj primerno, kar ogroža naše zdravje, hkrati pa povečujemo pritiske na podnebje, naravo in dobrobit živali.

Zahteva po preobrazbi pogosto sproža napetosti znotraj sistema. Kmetje jo lahko doživljajo kot napad in opozarjajo na svojo ključno vlogo pri prehranski varnosti. Živilska industrija in trgovina pa trajnostno preobrazbo prepogosto razumeta predvsem kot strošek ali oviro za konkurenčnost.

Za uspešno preobrazbo potrebujemo jasna pravila in ustrezne podpore, kombinacijo spodbud in regulacije, s katero država usmeri sistem tako, da poleg osnovnega poslanstva (zagotavljanja hrane) ustvarja tudi želene družbene koristi. Potrebni sta kolektivna in osebna zaveza k spremembam. Predvsem pa potrebujemo znanje, vizijo in usklajeno delovanje na ravni države, gospodarstva ter vsakdanjih praks posameznikov. V tem procesu smo še na začetku, v Sloveniji morda še posebej. Brez dialoga med politiko, znanostjo in ključnimi deležniki sistema se ne bo zgodilo nič bistvenega.

Sodobni svet je poln dobrih namenov in zvenečih pojmov, ki pa pogosto ostanejo neuresničeni. Tudi v Sloveniji je trajnostna preobrazba kmetijsko-prehranskega sistema za zdaj predvsem prizadevanje posameznikov in nekaterih strok ter zato lahko deluje kot še en »zveneč« izraz. Preobrazba še ni dovolj razumljena niti zares vsidrana v vse pore družbenega življenja. Prav zato so pomembne pobude, ki širijo razumevanje in iščejo rešitve.

Pomembne so tako manjše pobude in inovacije kot tudi velike ideje, ki prinašajo systemske spremembe. Če nam primanjkuje slednjih, je toliko pomembneje sistematično širiti znanje in rešitve o nujnosti trajnostne preobrazbe. Prej ali slej se bo družba, tudi z menjavo generacij, spremenila in zahtevala celovito preobrazbo. Zato so tudi drobni projekti, kot jih predstavlja ta zbornik, majhen, a nujen korak k širjenju razumevanja in podpore trajnostni preobrazbi kmetijsko-prehranskih sistemov. Pot je cilj.

UVODNIK

Prehrana, zdravje in trajnost: Slovenija med znanjem in implementacijo

prof. dr. Nataša Fidler Mis, univ. dipl. inž.

Prehrana je eden ključnih dejavnikov zdravja prebivalstva in trajnosti družbe. Globalni podatki kažejo, da neustrezne prehranske navade sodijo med vodilne dejavnike tveganja za obolevnost in prezgodnjo umrljivost [1]. Hkrati prehranski sistemi pomembno prispevajo k podnebnim spremembam, degradaciji okolja in izgubi biotske raznovrstnosti [2]. Slovenija ima nove prehranske smernice, ki temeljijo na sodobnih znanstvenih dokazih in so usklajene z mednarodnimi priporočili Svetovne zdravstvene organizacije (WHO), Organizacije Združenih narodov za prehrano in kmetijstvo (FAO) ter EAT–Lancet [2, 3, 4, 5]. Smernice trenutno še niso formalno potrjene. Ključni izziv danes ni pomanjkanje znanja, temveč njegovo učinkovito uresničevanje v praksi.

Prehranske navade v Sloveniji bistveno odstopajo od priporočil. Značilni vzorci vključujejo previsok vnos rdečega in predelanega mesa, prekomeren vnos soli, sladkorja in sladkih pijač, previsok vnos visoko procesirane hrane, nezadosten vnos zelenjave, sadja, stročnic, polnozrnatih žit, orešchkov in semen [6, 7]. Tak prehranski vzorec pomembno prispeva k razvoju kroničnih nenalezljivih bolezni, vključno s srčno-žilnimi boleznimi, sladkorno boleznijo tipa 2 in debelostjo [1, 8]. Dokazano je, da lahko celostne spremembe življenjskega sloga bistveno zmanjšajo pojavnost teh bolezni [9]. Poleg zdravstvenih posledic imajo prehranske navade tudi ekonomski vpliv. V Sloveniji bolniška odsotnost predstavlja veliko breme za zdravstveni sistem in gospodarstvo, pri čemer ima življenjski slog, vključno s prehrano, pomembno vlogo [10].

Prehrana ni zgolj individualna izbira, temveč del širšega prehranskega sistema. Proizvodnja hrane prispeva približno 20–30 % globalnih emisij toplogrednih plinov ter pomembno vpliva na rabo naravnih virov [2, 11]. Posebej velik vpliv ima proizvodnja mesa, zlasti govejega, ki ima bistveno večji okoljski odtis kot rastlinska živila [11, 12]. Trajnostni prehranski vzorci, ki temeljijo na večjem deležu rastlinskih živil, lahko hkrati izboljšajo zdravje, zmanjšajo okoljski odtis in prispevajo k dolgoročni stabilnosti prehranskega sistema [2, 12]. Pomembni elementi trajnostne prehrane

vključujejo tudi podporo lokalni in ekološki pridelavi, zmanjševanje zavržene hrane ter zmanjšanje uporabe plastične embalaže [3, 13]. Trajnostni prehranski sistemi vključujejo tudi etične vidike, kot je dobrobit živali, kar dodatno poudarja potrebo po odgovornem prehranskem modelu [3, 14].

Slovenija sodi med države, ki aktivno razvijajo sodobne prehranske politike. Proces priprave novih smernic je temeljil na interdisciplinarnem pristopu ter usklajevanju z mednarodnimi priporočili [15, 16]. Posebna vrednost slovenskega pristopa vključuje: povezovanje zdravja, trajnosti in družbene odgovornosti, uporabo znanstvenih dokazov kot osnove za priporočila ter razvoj praktičnih modelov implementacije [17]. Ključni izziv ostaja prenos smernic v prakso, zlasti v delovna okolja, zdravstveni sistem in izobraževanje.

Prehranske izbire niso zgolj rezultat individualnih odločitev, temveč so močno odvisne od širšega prehranskega okolja. Na njih vplivajo cenovna dostopnost hrane, dostopnost zdravih izbir, marketing in oglaševanje ter javne politike [18, 19]. Brez sistemskih ukrepov, kot so regulacija oglaševanja, fiskalne politike in izboljšave v prehranskem okolju, ostajajo spremembe omejene [18]. Pomemben, a pogosto spregledan dejavnik predstavlja tudi vloga javno financiranega marketinga hrane. Analize v Sloveniji kažejo, da promocijske kampanje, financirane z javnimi sredstvi, prispevajo k normalizaciji prekomernega vnosa mesa [19]. Posebej problematično je, da se del javnih sredstev namenja promociji mesa, kljub dokazom, da je zmanjšanje njegovega prekomernega vnosa pomembno za zdravje in okolje. Takšna neskladja med javnozdravstvenimi cilji in financiranjem predstavljajo pomemben sistemski izziv [19].

Znanost ima ključno vlogo pri oblikovanju smernic in vrednotenju ukrepov. Izobraževanje omogoča prenos znanja v prakso, medtem ko praktični programi omogočajo merljive učinke na zdravje in kakovost življenja. Največji učinek dosegajo celostni pristopi, ki povezujejo posameznika, okolje in sistemske ukrepe.

Prehrana predstavlja eno najmočnejših orodij za izboljšanje zdravja prebivalstva in trajnosti okolja. Slovenija ima znanstveno utemeljene temelje za prehod v bolj zdrav in trajnosten prehranski sistem, vendar ostaja ključni izziv njegova implementacija. Vendar brez sistemske implementacije tudi najboljše smernice ne prinašajo merljivih učinkov na zdravje prebivalstva. Prihodnost zdrave in trajnostne prehrane ni le vprašanje individualne izbire, temveč odraz usklajenega delovanja znanosti, politike in prakse. Le s celostnim pristopom lahko zagotovimo prehranski sistem, ki podpira zdravje ljudi, varuje okolje in prispeva k dolgoročni družbeni blaginji.

Literatura

[1] Afshin A., Sur P. J., Fay K. A., Cornaby L., Ferrara G., Salama J. S., Mullany E. C., Abate K. H., Abbafati C., Abebe Z. idr. Health Effects of Dietary Risks in 195 Countries, 1990–2017: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet* 2019, 393, 1958–1972.

[2] Willett W., Rockström J., Loken B., Springmann M., Lang T., Vermeulen S., Garnett T., Tilman D., DeClerck F., Wood A. idr. Food in the Anthropocene: The EAT–Lancet Commission on Healthy Diets from Sustainable Food Systems. *The Lancet* 2019, 393, 447–492.

[3] Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization. Sustainable Healthy Diets: Guiding Principles; Food and Agriculture Organization of the United Nations: World Health Organization, 2019.

[4] Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization What Are Healthy Diets? Joint Statement by the Food and Agriculture Organization of the United Nations and the World Health Organization;

[5] Rockström J., Thilsted S. H., Willett W. C., Gordon L. J., Herrero M., Hicks C.C., Mason-D'Croz D., Rao N., Springmann M., Wright E. C. idr. The EAT–Lancet Commission on Healthy, Sustainable, and Just Food Systems. *The Lancet* 2025, 406, 1625–1700.

[6] Gregorič M., Hristov H., Blaznik U., Koroušič Seljak B., Delfar N. in Pravst I. Dietary Intakes of Slovenian Adults and Elderly: Design and Results of the National Dietary Study SI.Menu 2017/18. *Nutrients* 2022, 14, 3618.

[7] Zupanič N., Hristov H., Gregorič M., Blaznik U., Delfar N., Seljak B. K., Ding E. L., Mis N. F., Pravst I., Koroušič Seljak B. idr. Total and Free Sugars Consumption in a Slovenian Population Representative Sample. *Nutrients* 2020, 12, 1–16.

[8] World Health Organization. Regional Office for Europe WHO European Regional Obesity Report 2022, 2022.

[9] World Health Organization. Regional Office for Europe. Plant-Based Diets and Their Impact on Health, Sustainability and the Environment: A Review of the Evidence; 2021.

[10] Zavod za zdravstveno zavarovanje Slovenije Letno Poročilo ZZZS 2025, 2025.

[11] Poore J. in Nemecek T. Reducing Food's Environmental Impacts through Producers and Consumers. *Science* (1979). 2018, 360, 987–992.

[12] Springmann M., Clark M., Mason-D'Croz D., Wiebe K., Bodirsky B. L., Lassaletta L., de Vries W., Vermeulen S.J., Herrero M., Carlson K. M. idr. Options for Keeping the Food System within Environmental Limits. *Nature* 2018, 562, 519–525.

[13] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Food-Based Dietary Guidelines and Sustainability; Rome, Italy, 2021.

[14] European Commission. A Farm to Fork Strategy for a Fair, Healthy and Environmentally-Friendly Food System; Brussels, Belgium, 2020.

[15] Fras Z., Jakše B., Kreft S., Malek Ž., Kamin T., Tavčar N. in Fidler Mis N. The Activities of the Slovenian Strategic Council for Nutrition 2023/24 to Improve the Health of the Slovenian Population and the Sustainability of Food: A Narrative Review. *Nutrients* 2023, 15, 1–21.

[16] Fras Z., Jug B., Jakše B., Kreft S., Mikec N., Malek Ž., Bavec M., Vovk A., Frelih-Larsen A. in Fidler Mis N. Slovenia's Food-Based Dietary Guidelines 2024: Eating for Health and the Planet. *Foods* 2024, 13, 3026.

[17] Fidler Mis N., Jakše B. in Fras Z. The Slovenian Nutrition Guidelines 2025: A Comparison with the Prior Slovenian FBDG, Dietary Intake, and the EAT–Lancet Diet. *Foods* 2026, 15, 524.

[18] Mis N. F., Jakše B., Kreft S., Vovk A. in Fras Z. Three-Tier Plate, Triple Win: Health, Sustainability, and Equity in the Slovenian Nutrition Guidelines 2025. *Foods* 2026, 15, 656.

[19] Gerdina S. in Kamin T. Public Funds, Private Interests: A Critical Social Marketing Perspective on National Local Meat Promotion. *J. Soc. Mark.* 2026, 1–17.

PREDGOVOR VODJE TUTORskega PROGRAMA

dr. Jože Rožanec, vodja programa Tutorstvo ASEF

Eden najbolj očitnih znakov revščine v svetu je lakota. Ta spremlja človeštvo od venomer, ne glede na velike napore, da bi jo odpravili in vsem omogočili dostojno življenje. Lakota je v ne tako daljni preteklosti v Evropi in svetu spodbudila razne sistemske ukrepe, da bi pred njo zavarovali najbolj ranljive. Med pionirskimi prizadevanji na tem področju sta bila ustvaritev Rumfordove juhe ob koncu 18. stoletja, ki je omogočila poceni vendar hranljiv obrok za revne, ter kasneje, v 19. stoletju, razvoj menz. Vendar ta prizadevanja niso uspela popolnoma rešiti problema lakote, ki je tudi spodbudila številne migracije po svetu. Ko danes govorimo o odpravi lakote v svetu, moramo imeti pred očmi raznolike kontekste, v katerih se ta pojavlja, da postanejo rešitve učinkovite in trajne. Koncept odprave lakote lahko tudi razširimo na ustrezno prehranjevanje, saj smo priče paradoksu, kjer po eni strani obstajajo dežele in kraji, kjer ljudje nimajo dostopa do dovolj oziroma ustrezne hrane, da bi potešili lakoto oziroma hranilne potrebe, drugod pa kljub obilju ostajajo podhranjeni zaradi slabih prehrabnih navad oziroma prehranjevalnega sloga.

Združeni Narodi glede odprave lakote med drugim posvečajo pozornost indeksu zavržene hrane (Food Waste Index). Poročilo iz leta 2024 kaže, da večina podatkov ne izhaja iz reprezentativnih študij na državni ravni in da je potrebno boljše razumevanje in sledenje zavržene hrane na področju prodaje in prehrabnih storitev. Pozornost še posebej vzbuja količina odvržene hrane v gospodinjstvih po celem svetu – ne glede na razvitost dežele. V Evropi ta dosega skoraj 70 kg na osebo na leto – kar predstavlja 53 % v celoti zavržene hrane. Stopnja zavržene hrane v gospodinjstvih je včasih celo višja v nerazvitih deželah. Na primer, v Afriki ponekod dosega nad 100 kg zavržene hrane na osebo na leto.

Prizadevanja za odpravo lakote zahtevajo vsaj dve dimenziji delovanja: vzgoja za pravilen odnos do hrane ter celostne sistemske rešitve za njeno pridelavo in logistiko. Vzgoja za pravilen odnos do hrane vključuje spoštljiv odnos do nje, je ne jemlje za samoumevno, ampak v njej vidi odraz truda mnogih rok in nenazadnje tudi kot dar, ki presega človeški napor. Namreč kljub človeškim prizadevanjem, da bi hrano proizvedli, so nam suše, poplave in razni škodljivci v opomin, da ne glede na naš trud, vedno obstaja tveganje, da hrane ne bo. Ta ponižnost nas vodi v to, da vsak obrok cenimo in smo zanj hvaležni – da ga razumemo kot odraz soodvisnosti, da smo tudi

bolj čuječi do naših potreb in potreb drugih. Drug vidik vzgoje za pravilen odnos do hrane je vzgoja za pravilno prehrano, da bi prehrambne navade in zmožnosti zagotovile prehrambne snovi, ki jih potrebujemo. Te namreč lahko pogojujejo naše zdravje in razvoj. Pomanjkljiva prehrana bremeni potencial oseb in posledično nalaga nepotrebna bremena na družbo, ter tako okrniti tudi potencial države in naroda.

Tehnološki napredek je lahko brez dvoma zaveznik v iskanju celostnih rešitev za pridelavo hrane in njeno logistiko. Znana so prizadevanja za vzgojo novih različic rastlin in živali, ki so odporne na specifične razmere, kot je pomankanje vode oziroma ekstremno vreme. Umetna inteligenca je vse bolj prisotna tudi v upravljanju naravnih virov, ki ne le omogočajo njihovo smotrno uporabo, temveč mnogokrat pripomorejo k premikanju meja, kje in kako je možno pridelati hrano. Vse bolj je pomemben tudi razvoj novih pristopov sveže laboratorijske pridelave hrane. Ti bodo omogočali dostop do sveže zelenjave ne glede na lokalne razmere, ki bi bile potrebne za njeno pridelavo. Koncept bo v bodoče zagotavljal tudi porazdeljenost proizvodnje, ki je lahko ključnega pomena za sistemsko odpornost in zmanjšanje logističnih potreb, ob tem pa zmanjšal potrebo uporabe pesticidov, katerih stranski učinki na zdravje ljudi so vse bolj očitni.

Vsako leto se generacija ASEF študentov sooči s cilji trajnostnega razvoja v okviru programa ASEF tutorstvo. Letos so pod vodstvom mentorjev razmišljali o odpravi lakote ter na to temo izoblikovali stališča in možne rešitve. V letošnjem zborniku objavljamo izbrane eseje, za katere upamo, da bodo znali osvetliti omenjeno problematiko in pomagati graditi prihodnost, kjer bomo vsi ljudje cenili dar hrane in si prizadevali, da ta doseže vsakogar.



SKUPINA

Biokemija in kemija

01

Trajnostna prehrana prihodnosti kot pot k zniževanju protimikrobne odpornosti

Sustainable food of the future as a path to reducing antimicrobial resistance

Miha Rožič¹, Gregor Puhar², Veronika Bračič³, Lena Kogoj^{2,4},
Zala Perko², Jernej Birk²
dr. Alen Krajnc (tutor) ^{1,†}

¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo, Aškerčeva cesta 7, 1000 Ljubljana, Slovenija

² Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Večna pot 113, 1000 Ljubljana, Slovenija

³ University of Copenhagen, Department of Drug Design and Pharmacology, Jagtvej 160, Copenhagen, Danska

⁴ ETH Zürich, Oddelek za biosistemsko znanost in inženirstvo, Klingelbergstraße 48, 4056 Basel, Švica

[†] **Korespondenca/Corresponding author:** alen.krajnc@ffa.uni-lj.si

Povzetek

Globalni prehranski sistem se sooča z izzivi, kot so podnebne spremembe, degradacija okolja, izguba biotske raznovrstnosti in rast svetovnega prebivalstva. Poleg tega je eden izmed ključnih zdravstveno-ekonomskih problemov protimikrobna odpornost, ki jo povzroča prekomerna uporaba antibiotikov v medicini in kmetijstvu. Protimikrobna odpornost je leta 2019 neposredno povzročila več kot 1,27 milijona smrti in prispevala k skoraj petim milijonom presežnih smrti po svetu. Najbolj prizadete so države v razvoju, kjer je dostop do zdravstva omejen. V našem prispevku predstavljamo tri ključne pristope, ki bi lahko zmanjšali širjenje protimikrobne odpornosti in hkrati pripomogli k bolj trajnostni pridelavi hrane: pridelava umetno gojenega mesa, uporaba gensko spremenjenih organizmov ter prehod k rastlinski prehrani. Vsi pristopi predstavljajo alternativne poti za zmanjšanje porabe antibiotikov in onesnaževanja, hkrati pa obljublajo izboljšano prehransko varnost in javno zdravje. Kljub številnim prednostim se ti pristopi soočajo s tehnološkimi, ekonomskimi, etičnimi in kulturnimi izzivi.

Ključne besede

protimikrobna odpornost, gensko spremenjeni organizmi, rastlinska prehrana, umetno gojeno meso, trajnostna prehrana

Abstract

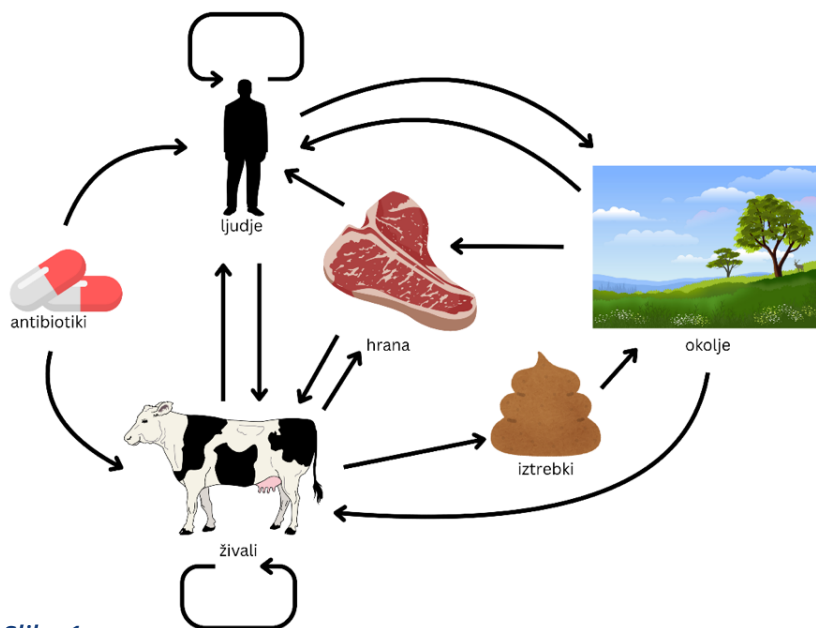
The global food system is currently facing multifaceted challenges, including climate change, environmental degradation, biodiversity loss, and the rapid growth of the world's population. Among the most critical health and economic threats is antimicrobial resistance (AMR), which has emerged as a consequence of the excessive and often inappropriate use of antibiotics in both human medicine and agriculture. In 2019, AMR directly caused more than 1.27 million excess deaths and contributed to nearly five million additional deaths worldwide, with developing countries being disproportionately affected due to limited access to healthcare and effective treatment options. Herein we explore three key approaches that could mitigate the spread of AMR while fostering a more sustainable and resilient food production system: production of cultivated meat, use of genetically modified organisms (GMOs), and the transition toward plant-based diets. Collectively, these approaches offer alternative pathways to reducing antibiotic consumption, environmental pollution, and the overexploitation of natural resources, thereby contributing to improved food security and public health outcomes. Nevertheless, their large-scale implementation remains constrained by significant technological, economic, ethical, and cultural challenges that must be addressed through interdisciplinary research and policy innovation.

Keywords

antimicrobial resistance, cultivated meat, genetically modified organisms, plant-based diet, sustainable food systems

1 UVOD

Naraščajoče svetovno prebivalstvo in vse večji pritisk, ki ga povzročajo podnebne spremembe, zahtevajo nove, trajnostne rešitve za prehransko varnost [1]. Tradicionalna živinoreja je eden največjih porabnikov naravnih virov: zavzema tretjino vseh kmetijskih površin, povzroča 72 % globalnega krčenja gozdov in porabi približno 32 % pitne vode [2]. Hkrati predstavlja enega največjih virov neustrezne uporabe antibiotikov, saj se le-ti pogosto uporabljajo za pospeševanje rasti živali in preprečevanje bolezni v neustreznih higienskih razmerah [3, 4]. Navedeno doprinaša k razvoju in pojavnosti protimikrobne odpornosti (angl. antimicrobial resistance – AMR) na antibiotike, kar ogroža zdravje ljudi in živali. V živinoreji se namreč pogosto uporabljajo antibiotiki, namenjeni zdravljenju ljudi (npr. penicilini), kar dodatno povečuje tveganje za razvoj večkratno odpornih bakterij, škodljivih zdravju ljudi [5].



Slika 1:

Kroženje antibiotikov med ljudmi in živalmi. Antibiotiki se uporabljajo ne le za zdravljenje bolezni pri ljudeh, ampak tudi v živinoreji. Kroženje antibiotikov in ostankov antibiotikov poteka prek hrane, iztrebkov in okolja ter prispeva k razvoju protimikrobne odpornosti. Prirejeno po [6].

Antibiotiki iz živinorejskih odpadkov in živalskih izdelkov pogosto »onesnažujejo« okolje, saj se posledično pojavljajo tudi v naši vsakodnevni prehrani ter tako spodbujajo širjenje AMR. Živalski iztrebki namreč vsebujejo stranske razgradne produkte antibiotikov, ki se lahko vsrkajo v prst ter raznovrstne vodne vire. Onesnažena prst ter voda nato oskrbujeta rast nove generacije prehranskih rastlin ter s tem prisostvujeta pri širjenju AMR [6]. Leta 2019 je bila AMR neposredno odgovorna za 1,27 milijona smrti in je prispevala k dodatnih 4,95 milijona smrti po svetu. Do leta 2050 se lahko število smrti močno poveča, zlasti v državah v razvoju, ob hkratni eksponentni rasti ekonomskih stroškov zdravljenja, ki so ocenjena na 1 bilijon ameriških dolarjev letno [43]. Ob odsotnosti nadaljnjih ukrepov lahko AMR izniči desetletja napredka v sodobni medicini, ki sloni na uporabi antibiotikov za preprečevanje okužb, zato moramo razmišljati o novih tehnologijah ter načinih prehranjevanja.

V nadaljevanju eseja se bomo poglobili v alternativne rešitve, ki lahko pripomorejo k premostitvi problema protimikrobne odpornosti z vidika trajnostne prehrane ter tako spremenijo prehranjevalni sistem.

2 RAZPRAVA

2.1 Umetno gojeno meso

Proizvodnja umetno gojenega mesa spada v področje t. i. celičnega kmetijstva, kjer mišične in maščobne celice nastajajo v bioreaktorjih iz živalskih matičnih celic [7, 8]. Tam se matične celice pod skrbno nadzorovanimi laboratorijskimi pogoji diferencirajo in množijo v posebnih hranilnih medijih, obogatenih s potrebnimi vitamini, aminokislinami in rastnimi faktorji. Da končni izdelek po videzu, okusu in teksturi spominja na klasično meso, se diferencirane celice nanesejo na ogrodja iz biokompatibilnih materialov, kot so kolagen ali alginati [9]. Ideje o umetnem mesu

segajo že v 20. stoletje [10], a šele leta 2013 je bil predstavljen prvi laboratorijski hamburger znanstvenika Marka Posta. Danes umetno gojeno meso prodajajo le tri države: Singapur, Izrael in ZDA [11], kar je predvsem posledica politične ter regulatorne podpore in večje odprtosti družbe za nove prehranske tehnologije v teh državah.

Priprava umetno gojenega mesa ima v primerjavi s tradicionalno živinorejo številne prednosti. Ker proizvodnja poteka pod sterilnimi pogoji, je tveganje kontaminacije z mikroorganizmi izjemno nizko in znaša le okoli 2 % [12]. Posledično se v primerjavi s tradicionalno živinorejo v takih procesih porabi bistveno manj oziroma pogosto praktično nič antibiotikov, kar bi lahko v prihodnosti pomembno zmanjšalo enega ključnih dejavnikov za razvoj AMR. Ker za predelavo umetno gojenega mesa namesto zakola več živali potrebujemo le majhen vzorec matičnih celic, je tak način pridelave tudi etično bolj sprejemljiv [13]. Proizvodnja umetnega mesa ima tudi bistveno manjši vpliv na okolje; če bi na primer tak način pridelave mesa popolnoma nadomestil tradicionalno živinorejo, bi se emisije toplogrednih plinov po nekaterih ocenah lahko zmanjšale za 78–96 % [14], poraba zemeljskih površin in vode pa za več kot 90 % [15]. Težko je napovedati, kdaj bodo te koristi tudi v praksi dosežene, saj je razvoj umetno gojenega mesa šele v začetnih fazah in ga trenutno spremljajo številni izzivi, tudi regulatorni. Zaradi kompleksnosti tehnologije cena takšnega mesa zaenkrat ostaja precej višja od klasičnega [16]. Prav tako uporaba fetalnega govejega seruma (FBS), ki je potreben za gojenje celic v laboratorijih, sproža etične dileme, zato ravno na tem področju potekajo intenzivna prizadevanja za nadomestitev FBS z bolj etičnimi gojitvenimi mediji [17]. Umetno gojeno meso se sooča tudi z družbenim odporom, saj ga mnogi dojemajo kot »nenaravnega«, kljub temu pa raziskave napovedujejo, da bi lahko do leta 2040 umetno gojeno meso predstavljajo kar 60 % vsega mesa na trgu [18].

2.2 Gensko spremenjeni organizmi

Poljedelstvo

Gensko inženirstvo v primerjavi s klasičnimi metodami križanja in mutageneze rastlin omogoča hitrejši razvoj, selekcijo in pridobivanje poljščin z izboljšanimi lastnostmi. Pridelava poljščin je pod vplivom številnih biotskih in abiotičnih dejavnikov. Pojav invazivnih vrst, bolezni zaradi škodljivcev, podnebnih sprememb in z njimi povezanih ekstremnih vremenskih pojavov, kot so suša, zmrzal, poplave in povečana slanost tal, uničujejo pridelek in ogrožajo svetovno prehransko varnost [19, 20].

Gensko spreminjanje omogoča vnos genov za povečanje odpornosti na škodljivce, posledično višji pridelek in nižjo uporabo pesticidov [21]. Z višjim pridelkom se bistveno zmanjšajo poraba obdelovalnih površin, erozija tal, onesnaženost vode in emisije izpustov CO₂ [22]. Kmete zaradi višjega prihodka postavi v boljši ekonomski položaj. Gensko spremenjene rastline s povišano vsebnostjo mikrohranil lahko v državah v razvoju, kjer ljudje uživajo pretežno en vir hrane (npr. riž), prispevajo k izboljšanju zdravja ljudi [21]. Prekomerna uporaba pesticidov je povezana z razvojem

AMR, ker se pod selektivnim pritiskom ohranijo na pesticide odporni organizmi. To lahko posredno vpliva na razvoj odpornosti pri ljudeh, saj se fungicidi uporabljajo tudi za zdravljenje mikoz pri ljudeh, njihova široka uporaba v poljedelstvu pa je eden od vzrokov za AMR [23]. Pozitivna lastnost gensko spremenjenih poljščin je nizko tveganje prenosa označevalcev odpornosti proti antibiotikom z rastlin na mikroorganizme v primerjavi s pretiranim predpisovanjem antibiotikov in pojavom AMR v bolnišničnem okolju [24]. Študije so pokazale, da lahko herbicidi (npr. glifosat) v bakterijah aktivirajo mehanizme AMR oz. spremenijo občutljivost na protimikrobne snovi [25].

Uporaba gensko spremenjenih rastlin se sooča z izzivi, kot so skepticizem javnosti, povečana odvisnost kmetov od proizvajalcev semen [26], izguba biotske raznovrstnosti [27] in stroga regulacija v EU [28]. Veliko kmetov v državah v razvoju tudi zavrača pridelavo gensko spremenjenih poljščin zaradi nižje izobrazbe in omejenega dostopa do informacij o novih tehnologijah [29].

Živinoreja

Živinoreja predstavlja več kot dve tretjini svetovne porabe antibiotikov [36]. Antibiotiki se uporabljajo ne le za zdravljenje, temveč tudi za rast in preprečevanje bolezni, pogosto preventivno [37]. Živali lahko gensko spremenimo, da so bolj odporne na bolezni, imajo večjo hranilno vrednost ter so zmožne preživeti v zahtevnejših življenjskih okoljih [30]. Vnos genov za odpornost na bakterije v žival omogoča manjšo uporabo antibiotikov pri vzreji živine in s tem zmanjšano tveganje za razvoj AMR. Nekaj primerov uspešne uporabe tehnologij genskega spreminjanja na živalih predstavljajo AquAdvantage losos, ki je spremenjen tako, da hitreje raste [31], CRISPR-prašiči, odporni na virus prašičjega reprodukcijskega in respiratornega sindroma [32], ter Enviropig, ki učinkovitejše presnavlja fosfor in tako povzroča manj onesnaževanja [33]. Kljub visokemu potencialu gensko spremenjene živine pa ostajajo odprta vprašanja etike [34] in visokih stroškov genskega inženiringa živali [35].

2.3 Rastlinska prehrana

Prehod družbe na rastlinsko prehrano bi lahko prispeval k reševanju tako AMR kot tudi številnih drugih okoljskih in zdravstvenih težav. Za pridelavo rastlinske prehrane se uporabi zanemarljivo malo antibiotikov v primerjavi z živinorejo [38], hkrati pa je onesnaženje z antibiotiki iz gnoja veliko manjše [39] (Tabela 1). Z okoljskega vidika poljedelstvo v primerjavi z živinorejo zaseda veliko manj zemljišč, izpusti toplogrednih plinov in poraba vode pa so običajno signifikatno nižji. Spodnja tabela prikazuje primerjavo okoljskih in ekonomskih vplivov različnih mesnih in rastlinskih živil. Z izjemo oreščkov, ki za pridelavo porabijo večjo količino vode kot mesna živila, izbrani rastlinski alternativni za pridelavo porabita manj naravnih dobrin, proizvedeta manj toplogrednih plinov in ne prispevata k širjenju AMR. Glede na koristi za zdravje, minimalno porabo antibiotikov in ostalih naravnih virov ter cenovno dostopnost predstavljajo stročnice odlično rešitev za več izzivov, s katerimi se moderna civilizacija

Prehranska skupina	Poraba antibiotikov [mg]	Poraba vode [hl]	Poraba zemlje [m2]	Emisije toplogrednih plinov [kg]	Povprečna cena [€]	Letna pridelava [milijon ton]
Govedina	17	7,3	163,6	49,9	4,3	69
Svinjina	77	11,1	10,7	7,6	3,8	123
Perutnina	64	3,8	7,1	5,7	2,5	124
Oreški	0,0	25,3	7,9	0,3	2,9	55
Stročnice	0,0	1,8	3,4	0,4	2,1	550

Tabela 1:

Primerjava porabe antibiotikov, porabe vode, porabe zemlje, nivojev izpusta emisij toplogrednih plinov in povprečnih cen za pridelavo različnih prehranskih skupin, ki vsebujejo 100 g proteina (podatki, pridobljeni na portalu Our World in Data). Podana je tudi ocena o celokupni letni pridelavi posameznih prehranskih skupin, pridobljena iz zbornika World Food and Agriculture [42]

sooča. Prihodnost prehranjevanja morda zatoorej leži v predominantno rastlinski prehrani.

Rastlinska prehrana je ugodna tudi z zdravstvenega vidika, saj predstavlja nižje tveganje za razvoj srčno-žilnih bolezni, nekaterih vrst raka in sladkorne bolezni [40]. Danes se približno 1 % svetovnega prebivalstva opredeljuje kot vegani, 15–20 % pa kot vegetarijanci [41]. V razvitih državah je že dalj časa opazen trend naraščanja povpraševanja po veganskih in vegetarijskih izdelkih, ki jih spodbujajo vse večja ozaveščenost o trajnostnem načinu življenja, želja po bolj zdravi prehrani in skrb za pravice živali. V državah v razvoju pa veliko ljudi medtem uživa rastlinsko prehrano predvsem zaradi omejenih ekonomskih možnosti; ob izboljšanju materialnega položaja in višji ravni dohodkov pa se v teh državah povečuje poraba mesa. Kot posledica rasti prebivalstva in izboljšanja gospodarskih razmer po svetu pridelava mesa narašča v povprečju za 2 % letno [42] in je v letu 2022 dosegla vrednosti, prikazane v zgornji tabeli. Popoln prehod na rastlinsko prehrano v bližnji prihodnosti pa kljub vsemu ostaja malo verjeten zaradi močnih kulturnih navad in družbenega pomena mesa, poleg tega posamezniki pogosto izražajo zaskrbljenost glede morebitnega pomanjkanja hranil v popolnoma rastlinski prehrani.

3 ZAKLJUČEK

Trajnostna prehrana prihodnosti predstavlja eno ključnih priložnosti za zaščito našega planeta in kaže potencial, da lahko upočasni tudi širjenje AMR. Slednja ostaja ena največjih groženj javnemu zdravju in hitro ruši napredke sodobne medicine. Kombinacija inovativnih tehnologij, kot so razvoj pridelave umetno gojenega mesa, uporaba gensko spremenjenih organizmov in zvišanje deleža rastlinske prehrane, lahko bistveno zmanjšajo globalno porabo antibiotikov in okoljsko breme ter tako pomembno prispevanju k zamejitvi širjenja AMR.

Trije ključni pristopi k zmanjšanju AMR iz vidika trajnostne prehrane so:

1. **umetno gojeno meso**, ki zmanjša potrebo po uporabi antibiotikov (saj pri gojenju, ki poteka v sterilnih razmerah, le-teh ne potrebuje) in zniža obremenitev okolja, a njegovo uporabo omejujejo potreben tehnološki razvoj, visoki stroški proizvodnje in omejeno družbeno sprejemanje;
2. **gensko spremenjeni organizmi**, ki ponujajo večjo odpornost rastlin in živali, višje donose ter izboljšano prehransko vrednost, vendar sprožajo razprave o etiki, varnosti in ekonomski neenakosti;
3. **rastlinska prehrana**, ki neposredno zmanjšuje uporabo antibiotikov in ima dokazane koristi za zdravje ter okolje, a jo omejujejo kulturne navade in prehranske preference.

Za uspešen razvoj in prehod na bolj trajnostne prehranske navade bo potrebna kombinacija omenjenih pristopov. Ključna bo tudi usklajena podpora s strani odločevalcev na lokalni, nacionalni in mednarodni ravni, kar bo omogočilo oblikovanje ustrezne zakonodaje, usmerjalo finančne spodbude ter spodbujalo nadaljnje investicije v razvoj okolju bolj prijaznih tehnologij na področju prehrane. Prav tako je nujno potrebno izobraževanje javnosti o pomenu trajnostne prehrane in njenem neposrednem vplivu na zdravje ljudi ter okolje, saj lahko le ozaveščeni potrošniki sprejemamo odgovorne odločitve. Le interdisciplinaren pristop ter integrirana prizadevanja, ki bodo združila znanstvenike, odločevalce, zdravstvene delavce in gospodarstvo, bodo omogočila razvoj novih prehranskih rešitev, ki bodo bolj učinkovite in družbeno sprejemljive.

4 VIRI IN LITERATURA

[1] ICMC – Sustainable Development Goals and Refugee Integration. [Pridobljeno 7. 7. 2025]. Dostopno na: <https://connect.icmc.net/sustainable-development-goals-and-refugee-integration/>

[2] Herrero M. in Thornton P. K. Livestock and global change: Emerging issues for sustainable food systems. *Proc Natl Acad Sci*. 24. dec. 2013; 110(52): 20878–81.

[3] Martin M. J., Thottathil S. E. in Newman T. B. Antibiotics Overuse in Animal Agriculture: A Call to Action for Health Care Providers. *Am J Public Health*. Dec. 2015; 105(12): 2409–10.

[4] Ritchie H. in Spooner F. Large amounts of antibiotics are used in livestock, but several countries have shown this doesn't have to be the case. [Pridobljeno 7. 7. 2025]. Dostopno na: <https://ourworldindata.org/antibiotics-livestock>

[5] Ghimpețeanu O. M., Pogurschi E. N., Popa D. C., Dragomir N., Drăgoteiu T., Mihai O. D. idr. Antibiotic Use in Livestock and Residues in Food – A Public Health Threat: A Review. *Foods*. 16. maj 2022; 11(10): 1430.

[6] McEwen SA, Collignon PJ. Antimicrobial Resistance: a One Health Perspective. *Microbiol Spectr*. 2018 Mar;6(2):ARBA-0009-2017. doi: 10.1128/microbiolspec.arba-0009-2017. Cited by: 1729.

[7] Tian M., He X., Feng Y., Wang W., Chen H., Gong M. idr. Pollution by Antibiotics and Antimicrobial Resistance in LiveStock and Poultry Manure in China, and Countermeasures. *Antibiotics*. 6. maj 2021; 10(5): 539.

- [8] Reiss J., Robertson S. in Suzuki M. Cell Sources for Cultivated Meat: Applications and Considerations throughout the Production Workflow. *Int J Mol Sci.* Jan. 2021; 22(14): 7513.
- [9] Choi K.-H., Yoon J.-W., Kim M., Lee H.-J., Jeong J., Ryu M. idr. Muscle stem cell isolation and in vitro culture for meat production: A methodological review. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2021; 20(1): 429–57.
- [10] Ben-Arye T. in Levenberg S. Tissue Engineering for Clean Meat Production. [Pridobljeno 12. 7. 2025]. Dostopno na: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2019.00046/full>
- [11] Carrel A. ON THE PERMANENT LIFE OF TISSUES OUTSIDE OF THE ORGANISM. *J Exp Med.* 1. maj 1912; 15(5): 516–28.
- [12] Hocquette J. F., Chriki S., Fournier D. in Ellies-Oury M. P. Review: Will “cultured meat” transform our food system towards more sustainability? *animal.* 1. feb. 2025; 19: 101145.
- [13] Cultivating a future where antibiotics still work – The Good Food Institute. [Pridobljeno 12. 7. 2025]. Dostopno na: <https://gfi.org/blog/cultivating-a-future-where-antibiotics-still-work/>
- [14] Melzener L., Verzijden K. E., Buijs A. J., Post M. J. in Flack J. E. Cultured beef: from small biopsy to substantial quantity. *J Sci Food Agric.* 2021; 101(1): 7–14.
- [15] Tech OS and. Can lab grown meat help solve the climate crisis? [Pridobljeno 12. 7. 2025]. Dostopno na: <https://www.oxfordstudent.com/2023/10/10/can-lab-grown-meat-help-solve-the-climate-crisis/>
- [16] Stout A. J., Mirliani A. B., Rittenberg M. L., Shub M., White E. C., Yuen J. S. K. idr. Simple and effective serum-free medium for sustained expansion of bovine satellite cells for cell cultured meat. *Commun Biol.* 2. jun. 2022; 5(1): 466.
- [17] Making Meat Affordable: Progress Since The \$330,000 Lab-Grown Burger. [Pridobljeno 12. 7. 2025]. Dostopno na: <https://www.forbes.com/sites/lanabandoim/2022/03/08/making-meat-affordable-progress-since-the-330000-lab-grown-burger/>
- [18] Lee D.-Y., Lee S.-Y., Yun S.-H., Jeong J.-W., Kim J.-H., Kim H.-W. idr. Review of the Current Research on Fetal Bovine Serum and the Development of Cultured Meat. *Food Sci Anim Resour.* Sep. 2022; 42(5): 775–99.
- [19] Global Cultured Meat Markets Report – By 2040, a Projected 60 % of Meat will be Created from Cells Grown Within Bioreactors and Sold Across Grocery Stores and Restaurants Worldwide. [Pridobljeno 12. 7. 2025]. Dostopno na: <https://vegconomist.com/businesswire/global-cultured-meat-markets-report-by-2040-a-projected-60-of-meat-will-be-created-from-cells-grown-within-bioreactors-and-sold-across-grocery-stores-and-restaurants-worldwide/>
- [20] Hamdan M. F., Karlson C. K. S., Teoh E. Y., Lau S. E. in Tan B. C. Genome Editing for Sustainable Crop Improvement and Mitigation of Biotic and Abiotic Stresses. *Plants.* Jan. 2022; 11(19): 2625.
- [21] Pandey P., Irulappan V., Bagavathiannan M. V. in Senthil-Kumar M. Impact of Combined Abiotic and Biotic Stresses on Plant Growth and Avenues for Crop Improvement by Exploiting Physio-morphological Traits. [Pridobljeno 7. 10. 2025]. Dostopno na: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2017.00537/full>
- [22] Acker R. V., Rahman M. M. in Cici S. Z. H. Pros and Cons of GMO Crop Farming. V: Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science. [Pridobljeno 7. 10. 2025]. Dostopno na: <https://oxfordre.com/environmentalscience/display/10.1093/acrefore/9780199389414.001.0001/acrefore-9780199389414-e-217?d=%2F10.1093%2Facrefore%2F9780199389414.001.0001%2Facrefore-9780199389414-e-217&p=emailACZHunw0b7Sn>
- [23] Kovak E., Blaustein-Rejto D. in Qaim M. Genetically modified crops support climate change mitigation. *Trends Plant Sci.* 1. jul. 2022; 27(7): 627–9.
- [24] Miller S. A., Ferreira J. P. in Lejeune J. T. Antimicrobial Use and Resistance in Plant Agriculture: A One Health Perspective. *Agriculture.* Feb. 2022; 12(2): 289.

- [25] Gay P. B. in Gillespie S. H. Antibiotic resistance markers in genetically modified plants: a risk to human health? *Lancet Infect Dis.* 1. okt. 2005; 5(10): 637–46.
- [26] Miller S. A., Ferreira J. P. in LeJeune J. T. Antimicrobial Use and Resistance in Plant Agriculture: A One Health Perspective. *Agriculture.* Feb. 2022; 12(2): 289.
- [27] Africa And The Monopolization Of GM Technology – The Yale Review Of International Studies. [Pridobljeno 7. 10. 2025]. Dostopno na: <https://yris.yira.org/column/africa-and-the-monopolization-of-gm-technology/>
- [28] What is Agrobiodiversity? [Pridobljeno 7. 10. 2025]. Dostopno na: <https://www.fao.org/4/y5609e/y5609e02.htm>
- [29] Turnbull C., Lillemo M. in Hvoslef-Eide T. A. K. Global Regulation of Genetically Modified Crops Amid the Gene Edited Crop Boom. [Pridobljeno 7. 10. 2025]. Dostopno na: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.630396/full>
- [30] Are Genetically Modified Crops the Answer to World Hunger? [Pridobljeno 7. 10. 2025]. Dostopno na: <https://education.nationalgeographic.org/resource/are-genetically-modified-crops-answer-world-hunger>
- [31] Laible G. Enhancing livestock through genetic engineering—Recent advances and future prospects. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis.* 1. mar. 2009; 32(2): 123–37.
- [32] Medicine C for V. Q&A on FDA's Approval of AquAdvantage Salmon. [Pridobljeno 7. 10. 2025]. Dostopno na: <https://www.fda.gov/animal-veterinary/aquadvantage-salmon/qa-fdas-approval-aquadvantage-salmon>
- [33] FDA approves gene-editing tech creating PRRS-resistant pigs. [Pridobljeno 7. 10. 2025]. Dostopno na: <https://www.avma.org/news/fda-approves-gene-editing-tech-creating-prrs-resistant-pigs>
- [34] Golovan S. P., Meidinger R. G., Ajakaiye A., Cottrill M., Wiederkehr M. Z., Barney D. J. idr. Pigs expressing salivary phytase produce low-phosphorus manure. *Nat Biotechnol.* Avg. 2001; 19(8): 741–5.
- [35] Ormandy E. H., Dale J. in Griffin G. Genetic engineering of animals: Ethical issues, including welfare concerns. *Can Vet J. Maj* 2011; 52(5): 544–50.
- [36] Kues W. A. in Niemann H. Advances in farm animal transgenesis. *Prev Vet Med.* 1. nov. 2011; 102(2): 146–56.
- [37] Ritchie H. in Spooner F. Large amounts of antibiotics are used in livestock, but several countries have shown this doesn't have to be the case. [Pridobljeno 7. 10. 2025]. Dostopno na: <https://ourworldindata.org/antibiotics-livestock>
- [38] Martin M. J., Thottathil S. E. in Newman T. B. Antibiotics Overuse in Animal Agriculture: A Call to Action for Health Care Providers. *Am J Public Health.* Dec. 2015; 105(12): 2409–10.
- [39] Rubio N. R., Xiang N. in Kaplan D. L. Plant-based and cell-based approaches to meat production. *Nat Commun.* 8. dec. 2020; 11(1): 6276.
- [40] Tian M., He X., Feng Y., Wang W., Chen H., Gong M. idr. Pollution by Antibiotics and Antimicrobial Resistance in LiveStock and Poultry Manure in China, and Countermeasures. *Antibiotics.* 6. maj 2021; 10(5): 539.
- [41] Melina V., Craig W. in Levin S. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Vegetarian Diets. *J Acad Nutr Diet.* Dec. 2016; 116(12): 1970–80.
- [42] Veganism Statistics 2025 You Need To Know. [Pridobljeno 7. 10. 2025]. Dostopno na: <https://worldanimalfoundation.org/advocate/veganism-statistics/>
- [43] FAO: World Food and Agriculture – Statistical Yearbook. Rim. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2024
- [44] WHO: Antimicrobial resistance. [Pridobljeno 15. 3. 2026]. Dostopno na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>



SKUPINA

Fizika in tehnika

02

Modeliranje optimalnega substrata za rast rastlin v vesolju

Modeling the optimal substrate for plant growth in space

Črt Rozman¹

prof. dr. Sašo Grozdanov (tutor)¹

¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

Korespondenca/Corresponding author: saso.grozdanov@fmf.uni-lj.si

Povzetek

Mikrogravitacija moti rast rastlin, saj vpliva na gravitropizem. Da bi izboljšali rast rastlin v okolju mikrogravitacije, je potrebno razumevanje fizikalnih lastnosti substrata, da se lahko zagotovi ustrezna dostava hranil in plinov. Izbira materialov je ključnega pomena za nadzor zadrževanja vode, izmenjavo plinov in celoten transport hranilnih snovi. Matematični modeli, ki opisujejo kapilarno delovanje, vsebnost vode in difuzijo plinov, so bistveni za napovedovanje obnašanja teh elementov v rastnem mediju. Končni cilj je ustvariti optimizirano rastno okolje, ki uravnoteži potrebe rastlin v vesolju.

Ključne besede

mikrogravitacija, rast rastlin, substrat, zadrževanje vode, izmenjava plinov, transport hranil, matematični modeli

Abstract

Microgravity impedes plant growth by affecting gravitropism. Enhancing plant cultivation in a microgravity environment therefore requires a thorough understanding of the physical properties of the substrate to ensure the proper delivery of nutrients and gases. The selection of materials is critical for regulating water retention, facilitating gas exchange, and enabling the effective transport of nutrients. Mathematical models describing capillary action, water content, and gas diffusion are indispensable for predicting the behavior of these processes within the growth medium. The overarching objective is to design an optimized growth environment that adequately balances the physiological requirements of plants in space.

Keywords

microgravity, plant growth, substrate, water retention, gas exchange, nutrient transport, mathematical models

1 UVOD

Pridelava hrane v vesolju predstavlja ključni element za dolgoročne vesoljske misije, saj zagotavlja ne le vir hrane, temveč služi tudi kot način recikliranja vode in proizvodnje kisika. Začetni pristop k zagotavljanju prehrane v vesolju je bil osredotočen na vnaprej pripravljene obroke, vendar ta metoda ni primerna za dolgotrajne odprave. Zato je razvoj bioregenerativnih sistemov za pridelavo hrane v vesolju postal nujen. Nacionalna agencija za aeronavtiko in vesolje (NASA) je že v 80. letih prejšnjega stoletja začela program Controlled Ecological Life Support System (CELSS), katerega cilj je raziskati in razviti sisteme za pridelavo hrane v vesolju. Program CELSS se je sprva osredotočil na večje sisteme za površinske misije, kasneje pa tudi na manjše sisteme, kot je »solatni stroj« na slikah 1 in 2 za kratkoročne misije in potovanja na Mars.

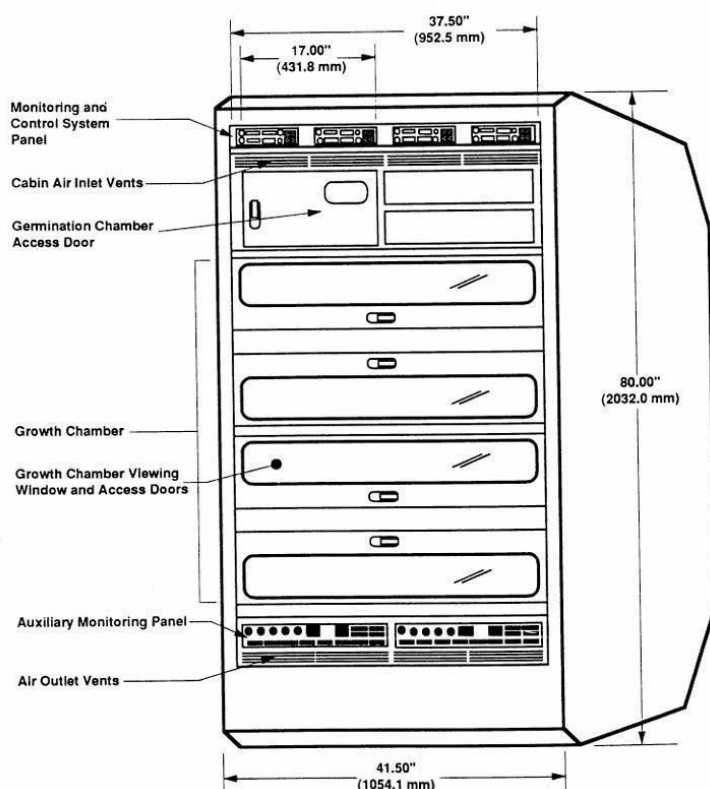
Obstaja več metod za gojenje rastlinstva v vesolju, med drugim hidroponični sistemi [5], ki pa so v mikrogravitaciji zaradi težav z upravljanjem tekočin manj primerni. Zato se pogosteje uporabljajo substratni sistemi, ki uporabljajo materiale, kot sta arkilit¹ ali zeoponika² [5]. V teh sistemih se pogosto uporabljajo porozne cevi za dostavo vode in hranil. Porous Ceramic Tube Plant Nutrifcation System (PCTPNS) je bil razvit prav za uporabo v mikrogravitaciji [5]. Kljub napredku na področju pridelovanja hrane v vesolju se vodilni znanstveniki še vedno soočajo s številnimi izzivi. Vsak sistem za pridelovanje hrane v vesolju mora ustrezati naslednjim pogojem [5]:

- **Varnost:** Živilski sistem mora zmanjšati vsa tveganja, ki bi lahko ogrozila zdravje astronautov ali delovanje vesoljskega plovila. To vključuje obsežno obdelavo in testiranje hrane na Zemlji, da se prepreči zastrupitev s hrano. Za živila, ki se gojijo na vesoljskem plovilu, morajo biti zagotovljeni mikrobiološki testi in metode čiščenja.
- **Stabilnost:** Živilski sistem, sestavine in oprema morajo biti stabilni za dolgoročno shranjevanje. Trenutne misije na Mars zahtevajo stabilnost vsaj pet let. To predstavlja izziv, saj še noben obstoječi sistem ni dokazal ustrezne sprejemljivosti in hranilne vrednosti za tako dolgo obdobje [5], hkrati pa izpolnjeval omejitve vesoljskega okolja (izpostavljenost sevanju, ekstremne temperature). Hladilno in zamrzovalno shranjevanje sta lahko možnost, vendar ju je treba uravnovežiti z omejitvami glede mase, prostornine in porabe energije na misiji.

¹ To je sintetični zeolit, ki se pogosto uporablja kot adsorbent ali ionski izmenjevalec zaradi svoje visoke poroznosti in selektivnosti za določene katione. Nastane z alkalno obdelavo aluminijevih silikatov, pri čemer se tvorijo kristalinične strukture s tuneli in kletkastimi votlinami.

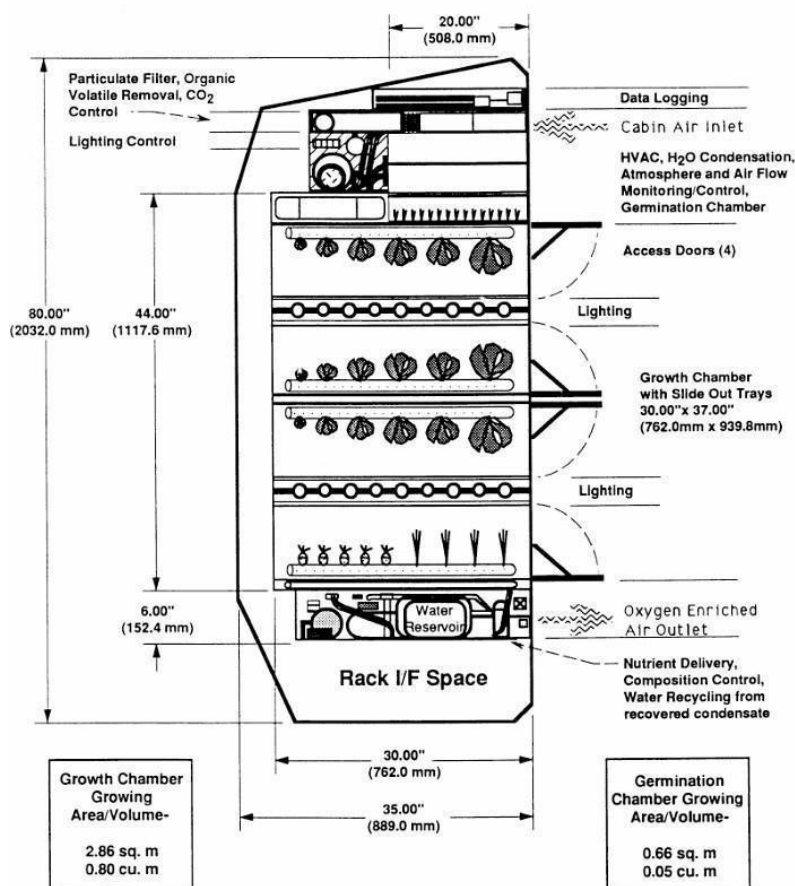
² Metoda hidroponskega gojenja rastlin, pri kateri se kot substrat uporablja zeolit.

- **Okusnost:** Hrana mora biti okusna, da zagotovi, da astronauti zaužijejo zadostne količine za svoje zdravje, delovanje in dobro počutje. Okusna hrana postaja še pomembnejša, ko se misije podaljšujejo. Živilski sistem naj bi hkrati omogočal enostavno in hitro pripravo hrane.
- **Hranilna vrednost:** Živilski sistem mora zagotoviti zadostno količino hranil. Optimiziran sistem lahko celo spodbuja zdravje in delovanje. Zgodovinsko gledano so bile številne smrtne žrtve in neuspehi misij posledica pomanjkljivosti v živilskem sistemu, vključno s pomanjkanjem ali presežkom hranil, nezadostno kalorično oskrbo in neustreznim shranjevanjem.
- **Raznolikost:** Živilski sistem mora zagotoviti raznolikost v vrsti, teksturi in okusu hrane, da se prepreči monotonija v jedilniku. Potrebna je kombinacija predpakirane in gojene hrane, saj ena sama vrsta živila ne more zadostiti potrebam celotne odprave.
- **Zanesljivost:** Sistem mora biti zanesljiv, saj lahko izguba dela ali celotnega živilskega sistema vodi do katastrofe. Vsi sistemi morajo biti potrjeni v realnih ali simuliranih razmerah vesoljskih poletov (pritisk, gravitacija, temperatura, sevanje).
- **Uporabnost:** Živilski sistem mora omogočati astronautom enostavno in hitro pripravo ali proizvodnjo hrane. Pri raziskovalnih misijah naj bi bila priprava hrane podobna tisti, ki jo običajna oseba opravlja v kuhinji, čeprav tehnične zahteve vesoljskih poletov lahko predstavljajo izzive.
- **Upravljanje virov:** Sistem mora uravnovežiti količino in raznolikost sprejemljive, hranljive hrane ter potrebne vire, kot so prostornina, čas posadke, voda, energija in oprema. Upoštevati mora tudi odpadke, kot so odpadna voda, embalaža, hlapne snovi in biološki odpadki.



Slika 1:

Solatni stroj – pogled od spredaj. Na vrhu je prikazan sistem za zajemanje podatkov in kontrolo okolja. Direktno pod tem so nameščene cevi za dovod zraka. Prostor za rast je popolnoma avtomatiziran in se nahaja blizu zgornjega levega roba stroja. Ne potrebuje nobene svetlobe, hkrati pa priskrbi 8–10-kratni donos v biomasi v primerjavi z maso začetnih semen. Poleg tega dovajajo majhne količine UV-svetlobe, ki preprečuje kontaminacijo [1].



Slika 2:

Solatni stroj – pogled od strani. Na vrhu se nahaja strojna oprema, ki skrbi za rast solate, sistemi za odstranitev kondenzirane vode ter kontrolna sistema za vsebnost ogljikovega dioksida in svetlobe. Štirje pladnji za rast, prikazani na sredi skice, so nameščeni na premikajoč mehanizem, kar omogoča lažji dostop do pridelka. Rastline so osvetljene z fluorescentnimi lučmi. Posledično je treba dodati sistem hlajenja, ki odvaja odvečno toploto, ki jo proizvedejo luči. Na dnu stroja se nahajajo sistemi za dovod hranilnih snovi in rezervoar vode [1].

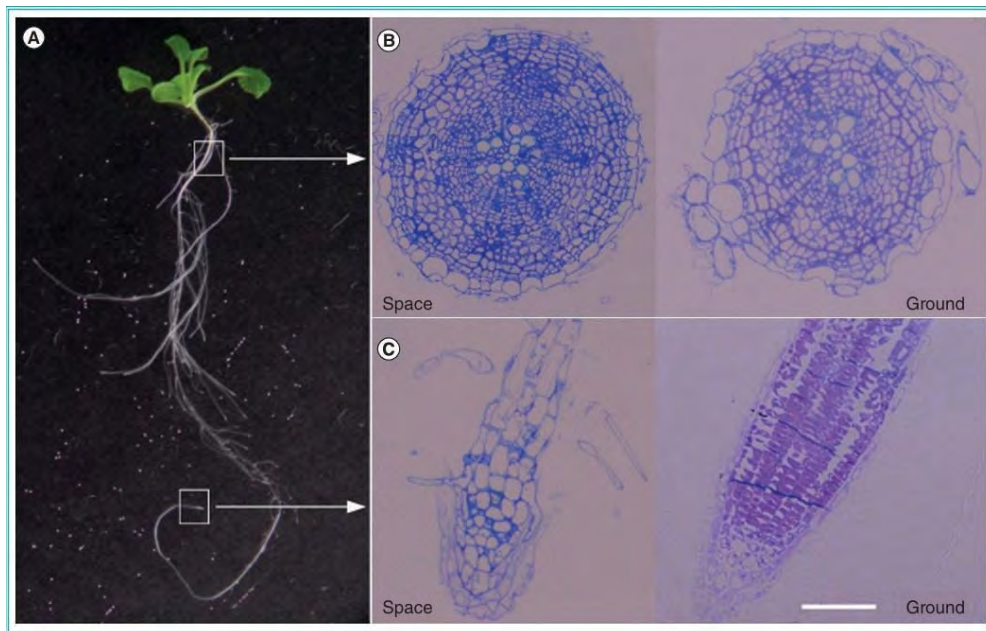
V preostanku članka bom predstavil, kako se rastline odzovejo na rast v okolju mikrogravitacije in kako lahko uporaba matematičnih modelov pomaga pri načrtovanju optimalnih pogojev za rast v vesolju. Ogledali si bomo tudi eksperimentalno potrditev modelov in predstavili možne izboljšave za prihodnje misije.

2 RAZPRAVA

2.1 Vpliv mikrogravitacije na rast rastlin

Mikrogravitacija je stanje zmanjšane gravitacije, kjer so gravitacijske sile bistveno manjše kot na Zemlji. V vesolju morajo rastline delovati zunaj gravitacijskih in sončnih zakonitosti, ki veljajo za zemeljsko življenje. V mikrogravitaciji pomanjkanje nadzora in kvantifikacije odnosov med rastnimi mediji, rastlinami in tekočinami predstavlja velik izziv. Na Zemlji rastline uporabljajo gravitropizem – proces, pri katerem korenine rastejo navzdol v smeri gravitacijske sile, medtem ko poganjki rastejo navzgor, proti gravitaciji [2]. Ta proces jim omogoča dostop do hranil v tleh in svetlobe. V mikrogravitaciji je ta proces moten, zato se morajo rastline prilagoditi. Brez gravitacije in sončne svetlobe se morajo rastline zanašati na druge signale, kar vpliva na njihove celične in molekularne funkcije. Poleg tega pride do pomembnih sprememb v izražanju genov, ki kodirajo beljakovine celične stene, medtem ko se sinteza teh beljakovin poveča [2]. Spremenjena sestava celičnih sten, zlasti spremembe v glikanih celične stene, je opazna z uporabo tehnik glikomske profilacije in imunohistokemije (slika 3). S primerjavo sadik so ugotovili, da so bile

korenine, ki so rastle v vesolju, nagnjene na stran, medtem ko je bil rast poganjkov enaka ne glede na to, kje so bile rastline gojene, kar je spodbudilo raziskovalce, da so se osredotočili na razlike v koreninah. V kontrolnih in vesoljsko gojenih rastlinah je ekipa ugotovila, da sta bila ksilan in ksiloglukan najpogostejša ogljikova hidrata. Kljub temu so odkrili indikatorje različne sestave korenin.

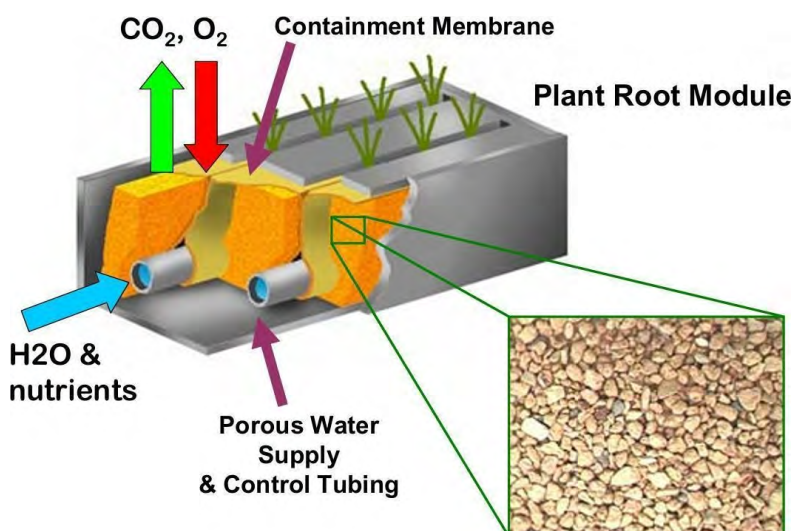


Slika 3:

Sadika navadnega repnjaka (A), gojene v vesolju, v primerjavi s sadiko, gojeno na Zemlji, z opazovanjem (B) vrha korenin in (C) stičišča korenine in hipokotila z uporabo imunohistokemije [2].

2.2 Modeliranje optimalnega substrata

Kljub številnim raziskavam na temo rasti rastlin v mikrogravitaciji še vedno obstajajo »neznani« učinki mikrogravitacije. Te bi lahko pripisali neustrezni izbiri medija (substrata) ter pomanjkanju zmožnosti spremljanja in modeliranja. V razmerah mikrogravitacije bi največ izboljšav dosegli z optimizacijo tokov tekočin in plinov do korenin rastlin ob omejenih prostorskih pogojih in z uporabo primernejših substratov.



Slika 4:

Shema modela za pridelavo rastlin v mikrogravitaciji. Model vključuje porozne cevi za oskrbo vode. Cilj je omogočiti neprekinjeno oskrbo z vodo, hranili in plini [3].

Dostop do vode, kisika in hranil je odvisen od pretoka na ravni por v poroznem mediju [3]. Fizične lastnosti rastiščnega medija je treba karakterizirati z uporabo splošnih metod, da omogočimo določeno stopnjo napovedljivosti za prihodnje načrtovanje in upravljanje. Korenine rastlin in njihove zahteve glede tekočine, plinov ter tokov predstavljajo pomembno dinamično komponento pri izbiri in karakterizaciji medijev. Intenzivni pogoji rasti v mikrogravitaciji, z majhnimi posodami in zeleno visoko učinkovitostjo rasti, povečujejo kompleksnost problema. Zaradi prostorskih omejitev korenin v okolju vesoljskih poletov je gostota korenin običajno 10-krat večja kot gostota korenin rastlin, gojenih v rastlinjakih, in 100-krat večja kot pri rastlinah, gojenih na poljih [3]. To pomeni, da je povpraševanje po kisiku in vodi na enoto prostornine precej večje kot pri običajni pridelavi pridelkov, kar še dodatno poveča zahtevo po izboljšanju lastnosti mikrogravitacijskih poroznih medijev.

2.1.1 Kapilarnost

Prvi pojem teoretičnega ozadja za modeliranje substrata za rast rastlin v vesolju je kapilarnost oziroma kapilarni dvig³. Kapilarni dvig v poroznem mediju je povezan z značilnostjo zadrževanja vode v tem mediju, pri čemer manjši delci (pore) povzročajo večji kapilarni dvig.

Primer kapilarnega dviga je prikazan za dve različno veliki kapilarni cevi na sliki 5. Kapilarne sile prevladujejo v mikrogravitaciji in so na Zemlji prevladujoče v drobnozrnati porozni podlagi (npr. glinah). Enačba za kapilarni dvig je izpeljana iz ravnotežja kapilarne sile F_c , ki je podana kot [3]:

$$F_c = 2\pi r \cdot \sigma \cdot \cos(\gamma) \quad (1)$$

in gravitacijske sile F_g , ki je podana kot:

$$F_g = \pi r^2 \cdot h \cdot \rho_w \cdot g, \quad (2)$$

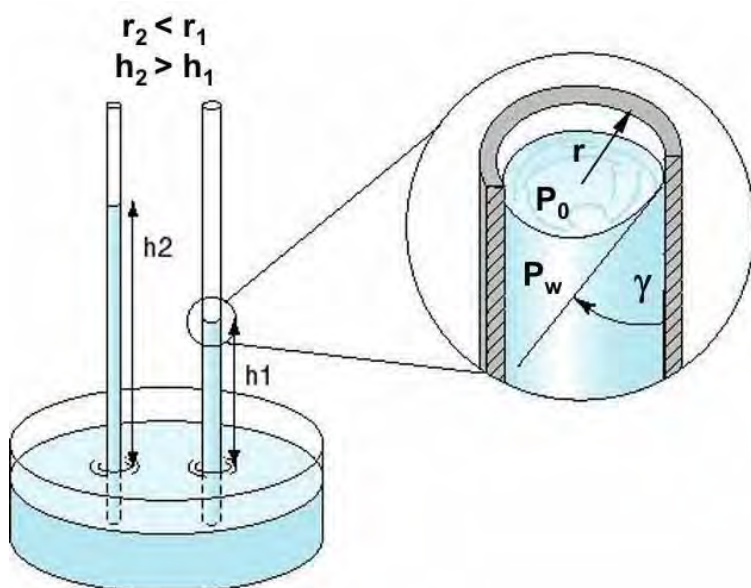
kjer je h višina dviga, r radij kapilarne cevi, σ površinska napetost, γ kot med stikom tekočine in površine, ρ_w gostota vode in g gravitacijski pospešek. S preureditvijo enačb 1 in 2 dobimo enačbo za višino kapilarnega dviga:

$$h = \frac{2\sigma \cdot \cos(\gamma)}{r \cdot \rho_w \cdot g} \quad (3)$$

Vidimo, da se teža tekočine v enačbi 2 spreminja z gravitacijskim pospeškom, medtem ko je kapilarna sila v enačbi 1 neodvisna od gravitacije. Energijo, pri kateri voda ostane zadržana v pori, lahko izrazimo na različne načine: kot kemijski potencial μ , matrični potencial ψ ali z višino h . Razmerje med temi izrazi energije je zapisano kot [3]:

$$\mu = \frac{\psi}{\rho_w} = g \cdot h \quad (4)$$

³ Kapilarni dvig je pojav, pri katerem tekočina zaradi sil med tekočino in steno ter sil znotraj tekočine spontano naraste v ozki cevi ali poroznem materialu. Višina dviga je odvisna od polmera kapilare, površinske napetosti tekočine in kontaktnega kota med tekočino in površino materiala.

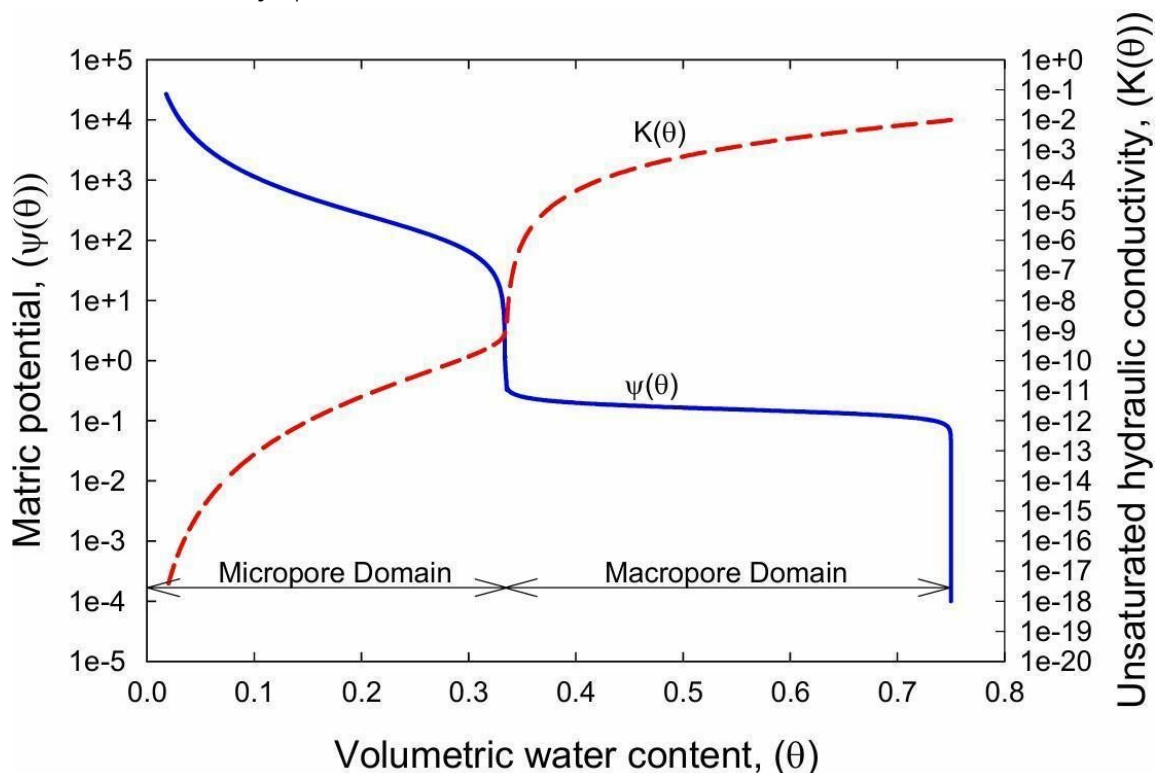


Slika 5:

Višini kapilarnega dviga h_1 in h_2 v navpičnih ceveh uravnovežita gravitacijo in površinsko napetost med tekočino in steno cevi [3].

2.2.2 Vsebnost vode v substratu

Količina vode, zadržane v porah poroznega medija, vpliva na poti, ki so na voljo za difuzijo plinov. Oboje je povezano z zračno poroznostjo ϵ , tj. razliko med skupno poroznostjo ϕ in volumnom vsebovane vode θ . Tipična krivulja funkcije vsebnosti vode v substratu je prikazana na sliki 6.



Slika 6:

Slika prikazuje, kako se voda zadržuje v substratu in kako to vpliva na dostopnost kisika za korenine rastlin. Na grafu sta prikazani dve krivulji: Modra krivulja ($\psi(\theta)$) prikazuje, kako se voda v substratu obnaša pri različnih pogojih. Na levi strani grafa vidimo, da je pri visokih vrednostih (ψ) substrat skoraj suh (volumski delež je približno 0). Rdeča krivulja ($\kappa(\theta)$) prikazuje, kako hitro lahko voda potuje skozi substrat. Na desni strani grafa sta označeni dve vrsti por: makropore (večje pore) vsebujejo vodo, ki je rastlinam na voljo, in hkrati omogočajo dostop kisika; mikropore (manjše pore) bolj zadržujejo vodo, kar pomeni, da rastline težje dostopajo do te vode [3].

Če je substrat preveč nasičen z vodo, rastline težko dostopajo do kisika, kar lahko upočasni rast ali celo povzroči propadanje korenin. Če je substrat preveč suh, pa rastline ne dobijo dovolj vode. Cilj je torej najti ravnovesje, kjer je substrat dovolj vlažen, da rastline dobijo vodo, in hkrati dovolj porozen, da omogoča kroženje zraka.

Poleg vsebnosti vode sta pomembni tudi difuzija⁴ vode in plinov. Difuzija plinov skozi zrak je približno 10.000-krat hitrejša kot skozi vodo, zato je razvoj modelov osredotočen predvsem na izboljšanje difuzije plinov. Oboje lahko moduliramo s pomočjo zakonov difuzije in diferencialnih enačb, ki jih rešimo s pomočjo matematičnih trikov in z upoštevanjem robnih pogojev, pogosto tudi numerično. Ker je to za širšo javnosti precej kompleksno, se raje obrnemo k eksperimentalno pridobljenim rezultatom.

2.2.3 Eksperimentalno delo

Eksperimentalni pristop k modeliranju substrata vključuje karakterizacijo samega substrata in njegovih difuzijskih lastnosti za pline. V enem izmed dosedanjih eksperimentov so uporabili lunin simulant⁵ z Minnesote, zdrobljeno bazaltno kamnino z visokim deležem titana, ki zelo dobro ustreza granulacijski porazdelitvi vzorcev z Lune. Simulant vsebuje 54,3 % peska, 44,2 % melja in 1,5 % gline ter ima gostoto delcev 3,20 g/cm³ [3]. Izmerjene minimalne in maksimalne nasipne gostote za rahlo in zgoščeno strukturo simulanta znašajo 1,56 g/cm³ oziroma 2,20 g/cm³.

Drugi zanimiv eksperiment se osredotoča na difuzijo plinov v okviru projekta ORZS⁶, ki si prizadeva določiti difuzijske lastnosti plinov v nenasičenih poroznih medijih v mikrogravitacijskem okolju [3]. Projekt ORZS uporablja sistem za letenje na Mednarodni vesoljski postaji (ISS), ki vključuje devet cilindričnih celic za difuzijo plinov z zračnimi komorami na obeh straneh poroznega vtiča, ter zemeljsko različico difuzijske celice z ravnimi pravokotnimi celicami in plitvimi vzorci poroznega medija za zmanjšanje gravitacijskih učinkov. Predhodni rezultati eksperimentov na Zemlji kažejo na odvisnost difuzije od velikosti delcev pri gravitaciji 1-g, pri čemer so izmerjeni difuzijski koeficienti pri večjih delcih višji od napovedanih vrednosti, pridobljenih z uporabo teoretičnih difuzijskih modelov. Difuzijski koeficienti manjših delcev pa se dobro ujemajo z napovedjo statističnih modelov [3].

2.3 Izбира materiala za substrat

Izbor materialov in velikosti por za EPGM⁷ je ključnega pomena za optimizacijo rasti rastlin, zlasti v okoljih, kot je vesolje, kjer so viri omejeni in pogoji drugačni kot na Zemlji [3]. Primerjava velikosti por za doseganje enakovrednega kapilarnega dviga na Zemlji in Luni je prikazana na sliki 7. Običajni delčni materiali za koreninsko cono, ki

⁴ Difuzija je spontano gibanje delcev (atomov, molekul ali ionov) iz območja višje koncentracije proti območju nižje koncentracije zaradi termičnega gibanja.

⁵ Simulant je material/kamnina z Zemlje, ki služi kot dober približek kamnin, prisotnih na Luni.

⁶ Optimization of Root Zone Substrates

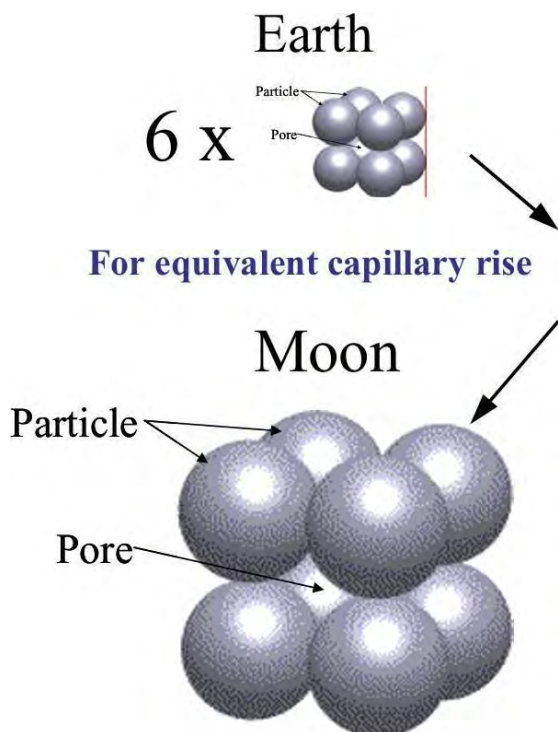
⁷ Engineered Plant Growth Media

se uporabljajo v vrtnarstvu, so nagnjeni k variabilnosti velikosti delcev in porazdelitvi velikosti por, kar vodi v nekonsistentno vsebnost vode in lastnosti transporta vode ter plinov [3]. Umetno proizvedeni porozni mediji lahko zmanjšajo to variabilnost z nadzorom porazdelitve velikosti por in drugih lastnosti materialov. V EPGM uporabljajo različne materiale s specifičnimi funkcijami, vključno s:

- hidrofobnimi materiali za uravnavanje vsebnosti vode in preprečevanje zasičenja;
- hidrofilnimi materiali za pomoč pri zadrževanju vode in dostavi hranil;
- vlaknatimi materiali, ki so lažji in imajo višjo poroznost kot zrnati mediji, kar je koristno za prostorske in masne omejitve;
- kompozitnimi materiali, ki združujejo različne lastnosti za optimizacijo transportnih karakteristik.

Tehniški pristopi lahko vključujejo tudi modifikacijo površinskih lastnosti za nadzor omočenja, kot so asperiteti⁸ s predhodno določeno obliko za uravnavanje kontaktnih kotov (slika 8). Drugi koncepti za EPGM vključujejo uporabo pen in tkanin za doseganje nadzorovanih velikosti por glede na projektna merila [3].

Korenine rastlin, kot je riž, lahko pod nizkimi pogoji kisika razvijejo aerenhime (slika 8b)⁹. Napredki v kemijskem inženirstvu omogočajo ustvarjanje pen s specifičnimi velikostmi in porazdelitvami por, vključno z bimodalnimi porazdelitvami (slika 8c)¹⁰, kar lahko optimizira transport hranil in plinov do korenin (sliki 9 in 10).



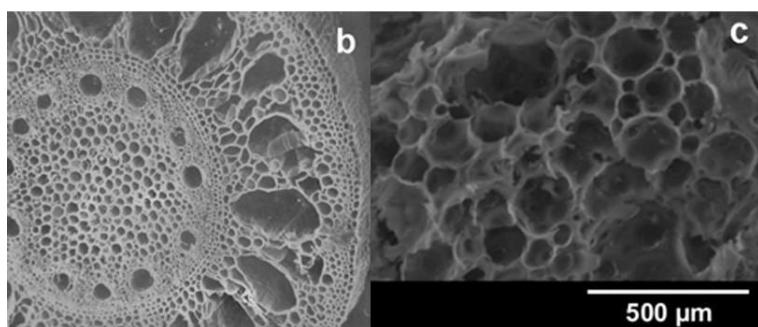
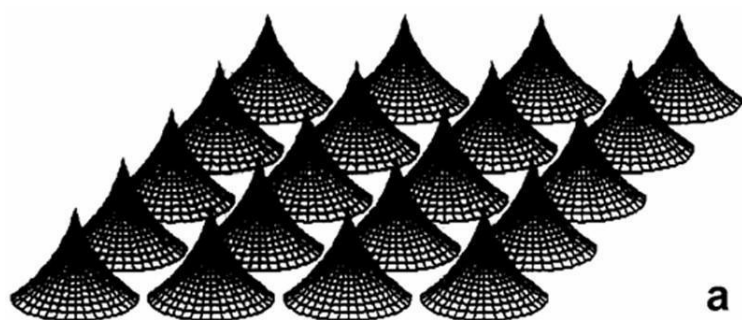
Slika 7:

Povečanje velikosti por pri doseganju enakovrednega kapilarnega dviga na Luni (spodaj) kot na Zemlji (zgoraj) [3].

⁸ So mikroskopske hrapavosti ali nepravilnosti na površini materiala

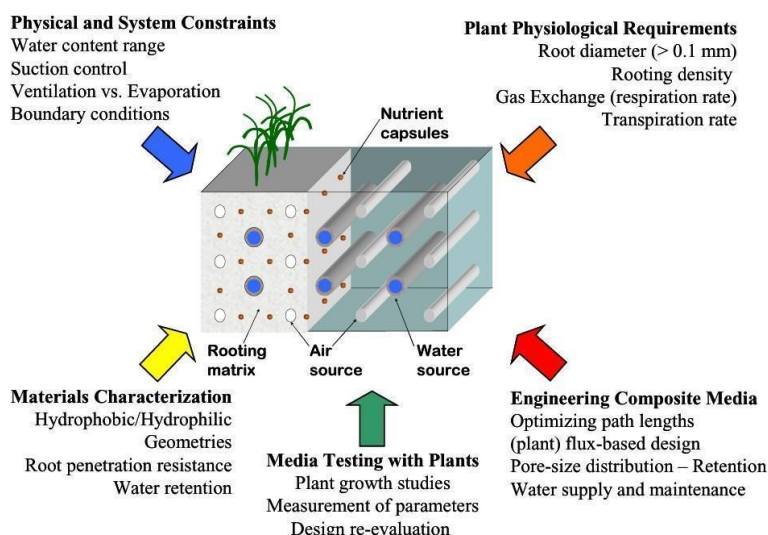
⁹ Specializirano rastlinsko tkivo z velikimi medceličnimi zračnimi prostori, ki omogočajo izmenjavo plinov in plovnost rastlin v vlažnih ali vodnih okoljih.

¹⁰ Dve značilni velikosti por, ki se pojavljata kot ločena vrhova v porazdelitvi. Takšna struktura se pogosto pojavlja v naravnih in sintetičnih poroznih materialih, kot so zeoliti, aerogeli ali sedimentne kamnine.



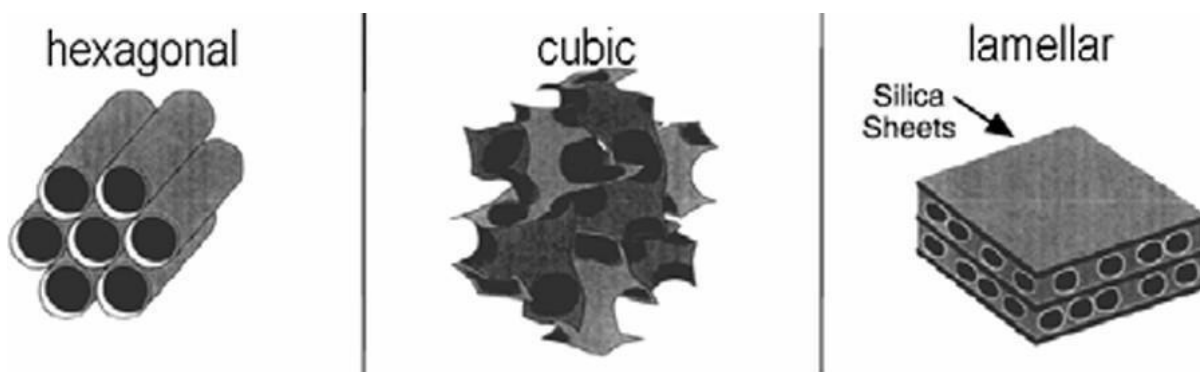
Slika 8:

Modelirana površina (a), ki naj bi omogočala omečitev vseh površin v substratu. Aerenhima (b) se razvije v koreninah rastlin zaradi hipoksičnih razmer kot sredstvo za dovajanje O₂ koreninam. Kemično proizvedena pena (c) z bimodalno porazdelitvijo velikosti por [3].



Slika 9:

Model za optimizacijo okolja za ukoreninjenje rastlin v razmerah z zmanjšano gravitacijo vključuje fiziološke zahteve rastlin, fizikalne in sistemske omejitve, karakterizacijo materialov, inženiring kompozitnih medijev ter testiranje z rastlinami [3].



Slika 10:

Možne strukture sinteze molekularnih sit, ki omogočajo prilagajanje strukture, sestave in velikosti por [3].

3 ZAKLJUČEK

Razvoj bioregenerativnih sistemov za pridelavo hrane je ključen za dolgotrajne vesoljske misije, pri čemer mikrogravitacija predstavlja poseben izziv, ki zahteva optimizacijo rastnih substratov. Mikrogravitacija moti procese, kot je gravitropizem, in vpliva na rastlinske celice ter dostopnost vode in plinov. Kapilarne sile imajo v mikrogravitaciji ključno vlogo pri zadrževanju in transportu vode znotraj substrata, zato so za načrtovanje učinkovitih rastnih okolij potrebni natančni matematični modeli, ki opisujejo kapilarni dvig, vsebnost vode, transport hranil in difuzijo plinov. Določeni matematični modeli za načrtovanje in analizo rastnih okolij se že uporabljajo v praksi [4].

V prihodnosti bodo raziskave osredotočene na razvoj substratov, ki omogočajo natančno regulacijo vodnih in plinskih tokov v mikrogravitacijskih pogojih. Glavni izzivi vključujejo izboljšanje materialov za substrat, ki bodo hkrati zagotavljali optimalno vlažnost in zadostno zračnost za korenine, ne da bi pri tem prišlo do zasičenja ali izsušitve. Razvoj inženirskih poroznih materialov, kot so biomimetične pene s kontrolirano porazdelitvijo velikosti por, bo ključnega pomena za optimizacijo rasti rastlin. Prav tako bo treba izboljšati razumevanje interakcij med substratom, rastlinami in mikrobiološkim okoljem, saj lahko simbiotski mikroorganizmi igrajo pomembno vlogo pri oskrbi rastlin s hranili v vesoljskih razmerah. Poleg tega bo treba preučiti dolgoročne učinke mikrogravitacije na rastline in substrat, saj so trenutni poskusi omejeni na relativno kratke časovne okvire. Razvoj eksperimentalnih platform na Mednarodni vesoljski postaji (ISS) in prihodnjih luninih ali marsovskih bazah bo omogočil natančnejše raziskave. Cilj prihodnjih študij bo ustvariti substrat, ki bo zagotavljal stabilne in predvidljive rastne pogoje v različnih vesoljskih okoljih, hkrati pa bo energetsko in masno učinkovito rešitev za dolgotrajne misije.

4 VIRI IN LITERATURA

- [1] Kliss M. in MacElroy R. D. Salad Machine: A Vegetable Production Unit for Long Duration Space Missions. SAE tech pap ser. 1990 07; 3: 90–92.
- [2] Bowlby B. Extraterrestrial Agriculture: plant cultivation in space. BioTech. 2024 06; 13: 15–28.
- [3] Jones S. B, Heinse R., Bingham G. E. in Or D. Modeling and Design of Optimal Growth Media from Plant-Based Gas and Liquid Fluxes. SAE tech pap ser. 2005 07; 1: 17–25.
- [4] Teh-Wei-Tsao D., Okos M. R., Sager J. C. in Dreschel T. W. Development of Physical and Mathematical Models for the Porous Ceramic Tube Plant Nitrification System. NASA tech mem. 1992; 5: 99–112.
- [5] Douglas G. L., Zwart S. R. in Smith S. M. Space Food for Thought: Challenges and Considerations for Food and Nutrition on Exploration Missions. J Nutr. 2020 12; 150: 3042–3044.

Integracija brezpilotnih letal v kmetijstvo: tehnični, ekonomski in okoljski vidiki

Integration of Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture: Technical, Economic, and Environmental Aspects

Domen Škerlep¹

prof. dr. Sašo Grozdanov (tutor)²

¹ Tehniška Univerza v Delftu, Fakulteta za aero-vesoljsko inženirstvo, Kluyverweg 1, 2629 HS Delft, Nizozemska

² Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana

Korespondenca/Corresponding author: skerlep.domen@gmail.com

Povzetek

Sodobno kmetijstvo se sooča z izzivi, kot so naraščajoče svetovno prebivalstvo, omejeni naravni viri in potreba po trajnostni pridelavi hrane. Ena izmed tehnoloških rešitev, ki naslavlja te izzive, je uporaba brezpilotnih letal (dronov) v preciznem kmetijstvu. [1–3] V članku analiziramo ključne prednosti uporabe dronov v kmetijstvu, pri čemer se osredotočamo na daljinsko zaznavanje, časovno učinkovitost škropljenja, finančno analizo in vpliv na okolje. Daljinsko zaznavanje omogoča spremljanje zdravstvenega stanja rastlin in tal z uporabo multispektralnih in termalnih kamer, pri čemer je eden izmed ključnih indikatorjev normaliziran vegetacijski indeks (NDVI), ki omogoča zgodnje odkrivanje morebitnih težav. [4] Uporaba dronov za škropljenje je hitrejša v primerjavi s konvencionalnimi metodami. Sodobni droni lahko namreč obdelajo do 21 hektarjev na uro, kar je občutno hitreje od traktorskih škropilnic. [5–6] Finančna analiza kaže, da imajo droni nižje operative stroške na hektar v primerjavi s tradicionalnimi metodami. [7–9] Prav tako je začetna investicija veliko manjša od traktorskih škropilnic. [10] Poleg ekonomskih prednosti droni zmanjšujejo vpliv na okolje, saj omogočajo natančno doziranje škropiv, kar zmanjšuje izpiranje kemikalij in obremenitev ekosistema. [11] Glede globalne implementacije dronov v kmetijstvu Evropa in Slovenija zaostajata za vodilnimi državami, kot so Kitajska, Japonska in ZDA, predvsem zaradi strogih regulativnih omejitev. [12] Poudarjamo potrebo po optimizaciji zakonodaje in nadaljnjem razvoju tehnologij, ki temeljijo na umetni inteligenci, da bi omogočili širšo implementacijo dronov v kmetijstvu.

Ključne besede

kmetijstvo, droni, daljinsko zaznavanje, stroškovna učinkovitost, škropljenje, trajnost

Abstract

Modern agriculture faces challenges such as a growing global population, limited natural resources, and the need for sustainable food production. One technological solution addressing these challenges is the use of unmanned aerial vehicles (drones) in precision agriculture. [1-3] This article analyzes the key advantages of using drones in farming, focusing on remote sensing, spraying efficiency, cost analysis, and environmental impact. Remote sensing allows monitoring of plant and soil health using multispectral and thermal cameras, with one of the key indicators being the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which enables early detection of potential issues. [4] Drone-based spraying is significantly faster than conventional methods—modern drones can cover up to 21 hectares per hour, more than twice the speed of tractor-mounted sprayers. [5, 6] Cost analysis indicates that drones have lower operational costs per hectare compared to traditional methods. [7-9] The initial investment is also much lower than that of tractor-mounted sprayers. [10] In addition to economic benefits, drones reduce environmental impact by enabling precise chemical dosing, which minimizes runoff and ecosystem strain. [11] Finally, global adoption of drones in agriculture is discussed, showing that Europe and Slovenia lag behind leading countries such as China, Japan, and the United States, mainly due to strict regulatory constraints. [12] In conclusion, the article emphasizes the need for optimized legislation and further development of AI-based technologies to enable broader implementation of drones in agriculture.

Keywords

Agriculture, Drones, Remote sensing, Cost-effectiveness, Spraying, Sustainability

1 UVOD

Globalni kmetijski sektor se sooča z vedno večjimi izzivi pri zagotavljanju zadostne količine hrane za naraščajoče svetovno prebivalstvo ob hkratnem zmanjševanju negativnih vplivov na okolje in omejenih naravnih virih. Pri tem je treba upoštevati, da pomemben delež svetovne kmetijske proizvodnje ni namenjen neposredni prehrani ljudi, temveč krmi za živali, proizvodnji biogoriv in drugim industrijskim namenom, kar dodatno povečuje pritisk na kmetijske površine in naravne vire. Ker se trend rasti prebivalstva ter pritiska na ekosisteme verjetno ne bo kmalu obrnil, postaja optimizacija rabe virov ob hkratnem ohranjanju produktivnosti ključnega pomena za prihodnost kmetijstva. [2] Tradicionalne metode pridelave hrane pogosto trpijo zaradi neučinkovite porabe sredstev, kar vodi do prekomerne uporabe gnojil in pesticidov, večjih stroškov dela ter neenakomerne obdelave posevkov. [13] V zadnjem desetletju se zato vse več pozornosti namenja preciznemu kmetijstvu, ki ga omogočajo napredne digitalne tehnologije, med njimi brezpilotna letala (UAV),

splošno znana kot droni, ter različne tehnologije daljinskega zaznavanja in analize podatkov. [3] Ti omogočajo zbiranje visokoločljivostnih podatkov o stanju posevkov, vlagi tal in prisotnosti škodljivcev, kar bistveno izboljša odločanje v realnem času. Z uporabo daljinskega zaznavanja, multispektralnega slikanja in avtomatiziranih sistemov škropljenja droni povečujejo natančnost kmetijskih postopkov, zmanjšujejo odpadke ter prispevajo k večji produktivnosti in okoljski trajnosti. Poleg neposrednih koristi za pridelavo hrane imajo droni tudi potencialno pomembno vlogo v razvoju trajnostnih prehranskih sistemov, saj omogočajo boljšo sledljivost, racionalnejšo porabo vode ter zmanjšanje ogljičnega odtisa kmetijske proizvodnje. [1] Kljub številnim prednostim pa velika večina kmetijskih praks še vedno temelji na tradicionalnih tehnikah. Razlogi za relativno počasno uvajanje naprednih tehnologij v kmetijstvu so različni, med drugim dodatni začetni stroški, pomanjkanje tehničnega znanja ter omejena dostopnost tehnologije. [14] Interdisciplinarni pristopi, ki povezujejo agronomijo, informacijsko tehnologijo, ekonomijo in okoljske vede, so zato ključni za uspešno integracijo dronov v sodobno kmetijstvo.

2 PRIMERJALNA ANALIZA KMETIJSKIH METOD

V tej raziskavi smo izvedli kvantitativno in kvalitativno primerjavo med metodami, ki temeljijo na uporabi dronov, in konvencionalnimi kmetijskimi tehnikami, pri čemer smo se osredotočili na stroškovno učinkovitost, prihranek časa ter trajnostno rabo naravnih virov. Poseben poudarek je namenjen tudi oceni, kako lahko uporaba dronov prispeva k oblikovanju bolj odpornih in trajnostno naravnanih prehranskih sistemov.

2.1 Tehnologije daljinskega zajema podatkov

Daljinsko zaznavanje je temeljna komponenta preciznega kmetijstva, saj omogoča sprotno spremljanje zdravstvenega stanja rastlin in razmer v tleh. Medtem ko lahko stanje tal in rastlin določamo s senzorji, ki so nameščeni v zemlji oziroma rastlinah, se tak način ne obnese na večjih kmetijskih zemljiščih. Tu pridejo do izraza droni, ki lahko iz zraka hitro skenirajo veliko površino in zagotavljajo konsistentne podatke. Droni, opremljeni z multispektralnimi in termalnimi kamerami, lahko zagotovijo podrobne vegetacijske indekse, ki kmetom omogočajo odločanje na podlagi pridobljenih podatkov. [1]

Pogosto uporabljen kazalnik za oceno zdravja vegetacije je indeks normalizirane razlike vegetacije (angl. NDVI) [4], ki ga izračunamo po enačbi:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

NIR predstavlja odbojnost v bližnjem infrardečem spektru, RED pa odbojnost v rdečem spektru. Postopek je mogoč z uporabo multispektralnih kamer, ki zaznavajo različno odbojnost zajete slike v različnih spektrih. Višje vrednosti NDVI kažejo na bolj zdrave rastline, medtem ko lahko nižje vrednosti nakazujejo na stres zaradi suše, bolezni ali pomanjkanja hranil. Droni omogočajo hitro zbiranje podatkov NDVI, kar kmetom

omogoča, da natančno določijo območja, ki potrebujejo poseg ali dodatno preiskavo, s čimer zmanjšajo nepotrebno uporabo kemikalij in izboljšajo splošni pridelek. [15] Poleg NDVI se pogosto uporabljajo tudi drugi vegetacijski indeksi, kot je SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), ki dodatno omogoča bolj natančno zaznavanje stresa rastlin in oceno biomase, še posebej v območjih z različno pokritostjo tal. SAVI je zasnovan za zmanjšanje vpliva svetlosti tal na spektralne meritve, kar omogoča bolj stabilno oceno zelenja rastlin kot NDVI, zlasti na območjih z redkim rastlinjem. Izračunamo ga po enačbi:

$$SAVI = \frac{(1+L) \cdot (NIR-RED)}{NIR+RED+1+L}$$

Tako kot pri NDVI, NIR predstavlja odbojnost v bližnjem infrardečem spektru, RED pa odbojnost v rdečem spektru. Dodan je še prilagoditveni faktor krošnje L , ki zmanjšuje vpliv tal, pri čemer se običajno uporablja vrednost 0,5 za uravnoteženje prispevkov rastlinja in tal. [16]

Uporaba UAV-jev pri ocenjevanju vlažnosti tal dodatno povečuje učinkovitost rabe virov. Termalne kamere lahko zaznajo temperaturne razlike v tleh, ki so povezane z ravno vlago, kar omogoča optimizirano načrtovanje namakanja. Za razliko od tradicionalnih metod, ki temeljijo na ročnem vzorčenju ali stacionarnih senzorjih, droni zagotavljajo dinamičen in celovit pregled nad stanjem polja v realnem času. [1, 17]

Senzorji, ki temeljijo na uporabi kamere, vseeno ne morejo nadomestiti vseh senzorjev in zajeti podatkov, kot je npr. pH zemlje. Zato je včasih še vedno dodatno potrebna uporaba konvencionalnih metod. Ugotavljamo, da je najboljša praksa kombinacija dronov in stacionarnih senzorjev ali ročnega vzorčenja, kjer droni identificirajo potencialna problematična območja, ki jih je nato mogoče natančno analizirati z drugimi instrumenti. Tak pristop omogoča optimizacijo časa, zmanjšanje stroškov monitoringa ter večjo natančnost pri odločanju.

2.2 Časovna učinkovitost in okoljevarstveni vpliv

Ena izmed najpomembnejših prednosti uporabe dronov v primerjavi s konvencionalnimi metodami je njihova izjemna časovna učinkovitost. Tradicionalne traktorje ali ročne metode škropljenja pogosto ovirajo teren, vremenski pogoji in fizične omejitve delovne sile, kar lahko znatno podaljša čas obdelave. Nasprotno droni omogočajo hitro pokritje velikih površin ne glede na konfiguracijo terena, saj njihovo delovanje ni omejeno z nagibi, majhnimi prehodi ali vodnimi ovirami.

Glede na trenutno tehnologijo kmetijskih dronov lahko sistemi za škropljenje pokrijejo do 21 hektarjev na uro, medtem ko tradicionalni samoškropilni stroji običajno obdelajo le 10–15 hektarjev na uro. [5, 6] Pri tem pomembno vlogo igra tudi teren, ki lahko močno otežuje vožnjo stroja, medtem ko za drone hribovit teren ne predstavlja večje ovire. Za 100-hektarsko kmetijo to pomeni, da lahko droni opravijo škropljenje v približno 5 urah, medtem ko konvencionalne metode v optimalnih pogojih zahtevajo 7–10 ur. Takšna časovna prednost omogoča kmetom, da reagirajo na spremembe v stanju rastlin in razmere v tleh v realnem času, kar neposredno prispeva k večji produktivnosti in zmanjšanju izgub pridelka.

Poleg hitrosti droni omogočajo tudi izvajanje škropljenja v bolj optimalnih časovnih oknih, kar je ključnega pomena za maksimalno učinkovitost pesticidov in gnojil. Na primer, škropljenje zgodaj zjutraj ali pozno popoldne, ko je hitrost vetra nižja in se izhlapevanje zmanjšuje, je z droni izvedljivo brez dodatnega napora ali spremembe delovnega načrta. Poleg tega lahko droni za škropljenje integrirajo podatke iz daljinskega zaznavanja, kot so NDVI ali SAVI indeksi, kar omogoča ciljani in heterogeni nanos kemikalij. Tak pristop zmanjšuje nepotrebno škropljenje in optimizira uporabo virov, hkrati pa skrajša skupni čas obdelave. [1, 18]

Natančno nanašanje kmetijskih škropil s pomočjo dronov prispeva tudi k okoljski trajnosti. Za razliko od tradicionalnih metod, ki pogosto povzročajo pretirano izpiranje kemikalij, droni nanašajo pesticide in gnojila z visoko natančnostjo ter tako zmanjšujejo nenamerne ekološke posledice. Z optimizacijo tlaka v šobah in višine leta droni zagotavljajo natančno disperzijo kapljic, zmanjšujejo odpadke kemikalij in maksimizirajo učinkovitost absorpcije. Prav tako krajši čas uporabe dronov pomeni manjšo porabo energije v primerjavi s traktorji, kar neposredno prispeva k zmanjšanju ogljičnega odtisa kmetijskih operacij. Raziskave namreč kažejo, da naj bi tradicionalne metode kmetijstva porabile kar 2,43-krat več energije kot metode z uporabo dronov. [1, 17]

2.3 Finančna analiza

Ekonomska upravičenost uporabe dronov v kmetijstvu je odvisna od ravnovesja med začetno naložbo in prihranki pri obratovalnih stroških. Čeprav je začetna cena kmetijskega drona višja v primerjavi z avtomatskimi škropilnimi vozili, droni pogosto dolgoročno prinašajo nižje obratovalne stroške na hektar zaradi nižje porabe kemikalij, manjše potrebe po delovni sili in večje natančnosti škropljenja. [5, 8, 9, 10] Tabela 1 prikazuje primerjalno analizo stroškov in učinkovitosti dveh različnih metod škropljenja.

Metoda	Operativni strošek (USD/ha)	Učinkovitost (ha/h)	Cena nakupa opreme (USD)
Zračno škropljenje z droni	7-8	15-21	16.000–22.000
Talno škropljenje z avtomatskimi škropilnimi vozili	10-11	10-15	50.000–600.000

Tabela 1:
Primerjava stroškov metod škropljenja v kmetijstvu [5–10]

Treba je poudariti, da so ti podatki okvirne ocene, ki se lahko razlikujejo glede na teren, veter, gostoto posevka in zahtevano natančnost škropljenja. Študije so pokazale, da lahko integracija dronov zmanjša porabo pesticidov in gnojil za 40 %, vode za 70 % in CO₂ emisij za 50 %, kar neposredno vpliva na zmanjšanje stroškov in okoljski odtis kmetijskih praks. [19] Poleg neposrednih finančnih koristi droni omogočajo tudi boljšo časovno usklajenost škropljenja, kar zmanjšuje izgube pridelka in povečuje donosnost.

Pomemben vidik stroškovne analize je amortizacija opreme. Kljub začetni investiciji

nekatero študije kažejo, da se lahko dron v povprečni kmetiji povrne že v enem letu, odvisno od velikosti kmetije, pogostosti škropljenja in intenzivnosti uporabe. [20] Prav tako napredni droni pogosto omogočajo zbiranje podatkov za precizno kmetijstvo, kar predstavlja dodano vrednost, ki ni prisotna pri tradicionalnih metodah.

2.4 Uporaba dronov v globalnem in slovenskem kmetijstvu

Medtem ko je na globalnem nivoju uporaba dronov zaradi njihovih prednosti v kmetijstvu vedno večja, se njihova implementacija v kmetijski prostor zelo razlikuje glede na državo. V preteklosti se je dostikrat zgodilo, da so se podobni tehnološki napredki začeli pojavljati predvsem v državah zahodnega sveta in so šele nato prodrli na druge trge. V primeru dronov je zanimivo opaziti prav nasproten trend. Največja uporaba dronov je prisotna predvsem na Kitajskem, Japonskem, Tajskem in v Južni Koreji. Večjo rast je počasi zaznavati tudi v Južni in Severni Ameriki, medtem ko Evropa in posledično tudi Slovenija zaostajata v primerjavi s svetom. [12, 21]

Razloge za to gre na podlagi poročil iskati predvsem v zelo striktnih regulativah Agencije Evropske unije za varnost v letalstvu. Ta določa zelo striktne pogoje glede certifikacije dronov, ki jih kmetje lahko uporabljajo pri svojem delu, hkrati pa določa tudi stroga pravila glede registracije drona in usposabljanja upravljalca le-tega. [22] Operacije kmetijskih dronov pogosto spadajo v t. i. »specifično« operativno kategorijo, kar pomeni, da mora operater pred uporabo pridobiti operativno odobritev ter izvesti oceno tveganja (SORA – Specific Operations Risk Assessment). Takšni postopki lahko predstavljajo administrativno oviro, saj lahko pridobivanje dovoljenj traja več mesecev in zahteva obsežno dokumentacijo. [23, 24] Poleg tega je v nekaterih evropskih državah uporaba dronov za škropljenje še vedno omejena zaradi zakonodaje, ki brezpilotna letala obravnava podobno kot tradicionalno letalsko škropljenje, kar lahko zavira širšo implementacijo teh tehnologij kljub njihovim potencialnim okoljskim in agronomskim prednostim. [25]

Če se osredotočimo na proizvajalce kmetijskih dronov, lahko vidimo, da ima zelo velik delež trga kitajsko podjetje DJI. [21] Eden izmed njihovih glavnih produktov je dron DJI AGRAS T50, ki je viden na sliki 1.



Slika 1:
Kmetijski dron DJI Agras T50 [26]

Posledično je za kitajskega proizvajalca veliko lažje zagotoviti izdelek, ki je primeren in certificiran za kitajski trg, medtem ko je evropska in ameriška zakonodaja bolj stroga in zato zahteva daljši razvoj. Kot primer je prav zaradi tega na tem področju že razviden odziv s strani brazilske vlade, ki je prilagodila nekatere pogoje certifikacije, da bi kmetom omogočili lažjo uporabo DJI dronov. [27] Prenos določenih dobrih praks, kot so prilagojene operativne kategorije za kmetijske drone ali poenostavljeni postopki certificiranja, bi lahko prispeval k širši implementaciji teh tehnologij tudi v evropskem prostoru. [25] Hkrati je treba upoštevati, da uporaba večjih kmetijskih dronov, kot je Agras T50, zahteva dodatna finančna sredstva, tehnično znanje ter usposabljanje upravljalcev, kar lahko predstavlja pomembno oviro za širšo implementacijo te tehnologije. [12]

V Sloveniji je uporaba dronov v kmetijstvu še vedno v razvoju, vendar se na področju raziskav in razvoja pojavlja vse več projektov, povezanih s preciznim kmetijstvom. Raziskovalne aktivnosti potekajo predvsem na univerzah in raziskovalnih inštitutih, kot je Univerza v Ljubljani, kjer so v okviru projekta AgriAdapt razvili sisteme umetne inteligence za analizo posnetkov dronov in zaznavanje plevela v realnem času. [28] Takšne rešitve omogočajo učinkovitejšo obdelavo velikih kmetijskih površin ter podpirajo ciljno usmerjene agronomske posege. Pomembno vlogo pri prenosu teh tehnologij v prakso imajo tudi demonstracijski projekti in izobraževalni dogodki, kjer se kmetom predstavljajo digitalne in robotske tehnologije za trajnostno kmetijsko proizvodnjo. Eden izmed takih projektov je bil lani organiziran v Infrastrukturnem centru Ptuj pod okriljem Kmetijskega inštituta Slovenije. [29]

3 ZAKLJUČEK

Integracija dronov v sodobno kmetijstvo predstavlja pomemben korak k večji učinkovitosti, prihranku stroškov in trajnostni pridelavi hrane. Z uporabo naprednega daljinskega zaznavanja, natančnega nanašanja kemikalij in hitrega pokrivanja velikih površin droni omogočajo kmetom, da reagirajo v realnem času, zmanjšajo izgube pridelka ter optimizirajo uporabo naravnih virov. Primerjalna analiza jasno kaže, da imajo droni potencial za transformacijo kmetijskih praks, saj ne le povečujejo produktivnost, temveč tudi zmanjšujejo negativne vplive na okolje. Prihodnost uporabe dronov v kmetijstvu je tesno povezana z nadaljnjim razvojem avtomatizacije, umetne inteligence in optimizacijo zakonodaje, ki bi omogočila širšo implementacijo teh tehnologij. Pomembno je tudi dolgoročno spremljanje ekonomskih učinkov, da se zagotovi finančna vzdržnost in dostopnost dronov za različne tipe kmetij.

Poleg tehnološkega napredka pa je ključnega pomena interdisciplinarni pristop, ki združuje agronomijo, informacijsko tehnologijo, ekonomijo in okoljske vede. Takšen pristop omogoča celovito razumevanje in obvladovanje izzivov sodobnega kmetijstva ter oblikovanje trajnostnih prehranskih sistemov, ki so odporni, ekonomsko vzdržni in okoljsko prijazni. Integracija dronov v te sisteme ne predstavlja le inovacije na nivoju posamezne kmetije, temveč prispeva k razvoju širše, trajnostno naravnane prehranske infrastrukture, ki lahko podpira rastoče svetovno prebivalstvo ob hkratnem ohranjanju ekosistemov.

Za zagotavljanje konkurenčnosti in trajnostnega razvoja evropskega kmetijstva je nujno preučiti optimizacijo regulativnih okvirov, hkrati pa spodbujati izobraževanje in usposabljanje kmetov za uporabo novih tehnologij. Prav tako lahko sodelovanje med državami in proizvajalci ter razvoj lokalnih inovacijskih rešitev pospeši širšo implementacijo dronov in prispeva k učinkovitejšim in trajnostno naravnanim prehranskim sistemom.

4 VIRI IN LITERATURA

- [1] Guebsi R., Mami S. in Chokmani K. Drones in precision agriculture: a comprehensive review of applications, technologies, and challenges. *Drones* (Basel). Nov. 2024; 8(11): 686. doi:10.3390/drones8110686 [spletna stran; pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: https://www.researchgate.net/publication/385939070_Drones_in_Precision_Agriculture_A_Comprehensive_Review_of_Applications_Technologies_and_Challenges.
- [2] Foley J. A., Ramankutty N., Brauman K. A., Cassidy E. S., Gerber J. S., Johnston M. idr. Solutions for a cultivated planet. *Nature*. Okt. 2011; 478(7369): 337–342. doi:10.1038/nature10452
- [3] Bacco M., Barsocchi P., Ferro E., Gotta A. in Ruggeri M. Smart farming: Opportunities, challenges and technology enablers. In: 2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture – Tuscany (IOT Tuscany); 2018 maj; Toskana, Italija. Piscataway (NJ): IEEE; 2018. p. 1–6. doi:10.1109/IOT-TUSCANY.2018.8373021
- [4] U. S. Geological Survey. Landsat Normalized Difference Vegetation Index [spletna stran]. 2025. [Posodobljeno 2025; pridobljeno 5. 3. 2025]. Dostopno na: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index>
- [5] DJI. DJI Agras T40 [spletna stran]. Shenzhen (Kitajska): DJI; [Pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: <https://www.dji.com/t40>
- [6] Farmonaut. Spraying machine for agriculture: 7 top types & uses [spletna stran]. [Pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: <https://farmonaut.com/precision-farming/spraying-machine-for-agriculture-7-top-types-uses>
- [7] Langemeier M. 2023 Indiana farm custom rates [spletna stran]. West Lafayette, IN: Purdue University, Department of Agricultural Economics; 2023. [Pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: https://ag.purdue.edu/commercialag/home/wp-content/uploads/2021/04/202303_Langemeier_2023IndianaFarmCustomRates.pdf
- [8] Langemeier M. Farm machinery costs and custom rates [spletna stran]. West Lafayette, IN: Purdue University, Center for Commercial Agriculture; 2017. [Pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: https://ag.purdue.edu/commercialag/home/wp-content/uploads/2017/05/201708_Langemeier_FarmMachineryCostsandCustom-Rates.pdf
- [9] Rocha A. Jr, Kientzy D. in Singh G. Economics of drone ownership for agricultural spray applications [spletna stran]. Columbia, MO: University of Missouri Extension; 2025. [Pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: <https://extension.missouri.edu/publications/g1274>
- [10] Van Wall Equipment. Self-Propelled Sprayers for Agriculture [spletna stran]. 2025. [Posodobljeno 2025; pridobljeno 5. 3. 2025]. Dostopno na: <https://vanwall.com/product-category/agriculture/sprayer-applicators/self-propelled-sprayers/>
- [11] Kim J., Kim S., Ju C. in Son H. I. Unmanned aerial vehicles in agriculture: a review of perspective of platform, control, and applications. *IEEE Access*. 2019 [spletna stran; pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: https://www.researchgate.net/publication/334778584_Unmanned_Aerial_Vehicles_in_Agriculture_A_Review_of_Perspective_of_Platform_Control_and_Applications

- [12] Atlas H2020. Leveraging automation and digitalization for precision agriculture [poročilo]. [Pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: <https://www.atlas-h2020.eu/wp-content/uploads/2022/12/Leveraging-automation-and-digitalization-for-precision-agriculture.pdf>
- [13] Radoglou-Grammatikis P., Sarigiannidis P., Lagkas T. in Moscholios I. A compilation of UAV applications for precision agriculture. *Computer Networks*. 2020 maj; 172: 107148. doi:10.1016/j.comnet.2020.107148
- [14] Lowenberg-DeBoer J. in Erickson B. Setting the record straight on precision agriculture adoption. *Agronomy Journal*. Jul. 2019; 111(4): 1552–1569. doi:10.2134/agronj2018.12.0779
- [15] NASA Earthdata. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) [spletna stran]. NASA; [pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: <https://www.earthdata.nasa.gov/topics/land-surface/normalized-difference-vegetation-index-ndvi>
- [16] Huete A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. Avg. 1988; 25(3): 295–309. doi:10.1016/0034-4257(88)90106-X
- [17] Safaeinejad M., Ghasemi-Nejad-Raeini M. in Taki M. Reducing energy and environmental footprint in agriculture: a study on drone spraying vs. conventional methods. *PLoS One*. 9. jun. 2025; 20(6): e0323779 [spletna stran; pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0323779&type=printable>
- [18] Times of India. Droni v kmetijstvu ustvarjajo valove, pomagajo zmanjšati porabo vode in povečati pridelke [spletna stran]. 2025. [Pridobljeno 5. 3. 2025]. Dostopno na: <https://timesofindia.indiatimes.com/city/bengaluru/drones-in-farming-makes-waves-help-reduce-water-use-and-increase-yields/articleshow/122586346.cms>
- [19] Safaeinejad M., Ghasemi-Nejad-Raeini M. in Taki M. Optimizing UAV Spraying for Sustainable Agriculture: A Life Cycle and Efficiency Analysis in India [članek]. *Sustainability*. 2023; 17(13): 6211. [Pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: <https://doi.org/10.3390/su17136211>
- [20] Toll Uncrewed Systems. Merjenje donosnosti (ROI) programov kmetovanja z droni. Toll Uncrewed Systems [spletna stran]. 31. avg. 2025. [Pridobljeno 12. 10. 2025]. Dostopno na: <https://tolluncrewedsystems.com/blog/measure-roi-of-drone-based-farming-programs/>
- [21] DJI Agriculture. Agricultural Drone Application Report [spletna stran]. 2023. [Posodobljeno 2023; pridobljeno 5. 3. 2025]. Dostopno na: https://www1.djicdn.com/cms_uploads/ckeditor/attachments/9171/03e81f9a23cf4df447b66c91c43d929a.pdf
- [22] European Union Aviation Safety Agency. Understanding European drone regulations and the aviation regulatory system [spletna stran; pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/drones-air-mobility-landscape/Understanding-European-Drone-Regulations-and-the-Aviation-Regulatory-System>
- [23] SUAS News. Grounded by bureaucracy: how SORA is holding Europe's drones back [spletna stran]. Dec. 2025. [Pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: <https://www.suasnews.com/2025/12/grounded-by-bureaucracy-how-sora-is-holding-europes-drones-back/>
- [24] 5G!Drones Project Consortium. Report on UAV business and regulatory ecosystem and the role of 5G [poročilo]. 2020. [Spletna stran; pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: https://5gdrones.eu/wp-content/uploads/2020/06/D1.4-Report-on-UAV-business-and-regulatory-ecosystem-and-the-role-of-5G_v3.pdf
- [25] ICAERUS Project. Drone spraying in Europe: current legislative framework and the way forward [spletna stran]. [Pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: <https://icaerus.eu/drone-spraying-in-europe-current-legislative-framework-and-the-way-forward/>

[26] DJI Agriculture. DJI T50: Advanced Agricultural Drone for Precision Spraying and Spreading [spletna stran]. 2024. [Posodobljeno 2024; pridobljeno 5. 3. 2025]. Dostopno na: <https://ag.dji.com/t50?site=ag&from=nav>

[27] Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) Brasil. Certificação de três novos modelos DJI para pulverização agrícola: T30, T40, T20P obtêm certificação de aeronavegabilidade [spletna stran; pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: https://www1.djicdn.com/cms_uploads/ckeditor/attachments/9171/03e81f9a23cf4df447b66c91c43d929a.pdf

[28] University of Ljubljana Faculty of Computer and Information Science. Projects [spletna stran]. Ljubljana: University of Ljubljana; [pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: <https://fri.uni-lj.si/en/projects/1762>

[29] CircSyst Project. From automation to robotics in agriculture: Circular water solutions promoted in Slovenia [spletna stran]. 31. okt. 2025. [Pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: <https://circsyst.eu/from-automation-to-robotics-in-agriculture-circular-water-solutions-promoted-in-slovenia/>



SKUPINA

Medicina

03

Indeks napovedovanja lakote: Orodje v boju proti kronični in akutni lakoti

How a predictive hunger index can help combat chronic and acute hunger

Juš Žavbi¹, Vesna Jurjevič², Jerneja Koren³
prof. dr. Janez Žibert (tutor)⁴

¹ Univerza v Utahu, Moran Eye Center, 65 Mario Capecchi Dr, 84132 Salt Lake City

² Univerza v Ljubljani, Oddelek za Zootehniko, Groblje 3, 1230 Domžale

³ Univerza v Baslu, Oddelek za Biomedicino, Hebelstrasse 20, 4031 Basel

⁴ Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Zdravstvena pot 5, 1000 Ljubljana

Korespondenca/Corresponding author: janez.zibert@zf.uni-lj.si

Povzetek

Lakota ostaja zapleten globalni problem, ki kljub napredku v proizvodnji hrane prizadene več kot 800 milijonov ljudi po svetu. Ta izziv izvira iz neenakosti, podnebnih sprememb in konfliktov. Mednarodne organizacije so razvile indekse (GHI, PoU, IPC) za sistematično kvantificiranje in analizo dveh oblik lakote: akutne (kratkoročna, humanitarni odziv) in kronične (dolgotrajna, strukturne rešitve).

Ti indeksi so ključni za usmerjanje mednarodne pomoči in oblikovanje politik. Ker pa zbiranje podatkov ostaja omejitvev, je cilj te raziskave, ki temelji na obstoječih ugotovitvah, raziskati integracijo teh indeksov z analitiko v realnem času. To omogoča razvoj napovednih modelov, ki bi s pomočjo novih tehnologij preoblikovali sposobnost preprečevanja in odzivanja na krize lakote.

Ključne besede

lakota, indeksi lakote, akutna lakota, kronična lakota, napovedni modeli, prehranska varnost, globalni indeks lakote (GHI), sistemi za zgodnje opozarjanje

Abstract

Hunger remains a complex global problem that affects more than 800 million people worldwide, despite advances in food production. This challenge stems from inequality, climate change, and conflict. International organizations have developed indexes (GHI, PoU, IPC) to systematically quantify and analyze two forms of hunger: acute

(short-term, humanitarian response) and chronic (long-term, structural solutions). These indexes are key to guiding international aid and policy-making. However, as data collection remains a limitation, the aim of this research, based on existing findings, is to explore the integration of these indexes with real-time analytics. This enables the development of predictive models that would transform the ability to prevent and respond to hunger crises with the help of new technologies.

physical properties of the substrate to ensure the proper delivery of nutrients and gases. The selection of materials is critical for regulating water retention, facilitating gas exchange, and enabling the effective transport of nutrients. Mathematical models describing capillary action, water content, and gas diffusion are indispensable for predicting the behavior of these processes within the growth medium. The overarching objective is to design an optimized growth environment that adequately balances the physiological requirements of plants in space.

Keywords

Hunger, hunger indexes, acute hunger, chronic hunger, predictive models, food security, global hunger indexes (GHI), early warning systems.

1 UVOD

Kljub znatnemu napredku v kmetijski tehnologiji in svetovni pridelavi hrane ostaja lakota vztrajen in kompleksen izziv, ki je leta 2024 prizadel več kot 800 milijonov ljudi po vsem svetu [18]. Lakota vztraja in se pojavlja zaradi prepleta dejavnikov, vključno z neenakomernim razvojem, podnebnimi spremembami, konflikti in neustrezno infrastrukturo. Za boljše razumevanje in reševanje tega večplastnega vprašanja so mednarodne vlade in organizacije s sodelovanjem razvile vrsto indeksov lakote, ki omogočajo sistematične načine za kvantificiranje in analizo tako kronične kot akutne lakote.

Lakoto lahko na splošno razvrstimo v dve obliki: akutno lakoto, ki se nanaša na kratkotrajno, življenjsko nevarno pomanjkanje hrane, ki jo pogosto sprožijo nesreče ali konflikti; ter kronično lakoto, za katero sta značilni dolgotrajna podhranjenost in neustrezna prehrana, običajno pa jo povzročajo strukturne neenakosti in revščina. Ti dve obliki zahtevata različne strategije: akutna lakota zahteva takojšen humanitarni odziv, medtem ko kronična lakota zahteva dolgoročne politike in razvojne rešitve [2].

Nekateri ključni indeksi vključujejo:

- Globalni indeks lakote (The Global Hunger Index – GHI) – ocenjuje dolgoročne trende kronične lakote z uporabo kazalnikov, kot so podhranjenost, hiranje otrok (wasting), zaostajanje v rasti (stunting) in smrtnost [5].
- Razširjenost podhranjenosti (The Prevalence of Undernourishment – PoU) – je razvil FAO in izračunava akutno prehransko negotovost na podlagi preskrbe z energijsko vrednostjo hrane in njene porazdelitve [9].
- Integrirana klasifikacija faz prehranske varnosti (The Integrated Food Security Phase Classification – IPC) – razvršča akutne prehranske krize v realnem času v pet faz, od minimalne negotovosti do lakote [10].

Ti indeksi se v veliki meri opirajo na podatke institucij, kot so Organizacija Združenih

narodov za prehrano in kmetijstvo (Food and Agriculture Organisation – FAO), Svetovna zdravstvena organizacija (World Health Organisation – WHO), UNICEF ter nacionalne zdravstvene raziskave, in imajo ključno vlogo pri usmerjanju mednarodne pomoči, oblikovanju politik in razporejanju virov. Pomembno je poudariti, da se akutna in kronična lakota pogosto prekrivata, zlasti v regijah, ki jih prizadene dolgotrajna nestabilnost. Vendar zbiranje podatkov ostaja velika omejitev, zlasti na območjih konfliktov ali tam, kjer je zmogljivost državnih institucij šibka. Raziskava avtorjev Caccavale in Giuffrida je izpostavila potencial združevanja podatkov indeksov z zgodnjimi opozorilnimi sistemi, kot sta GIEWS and AQUASTAT, za razvoj napovednih modelov, ki bi lahko izboljšali preventivno ukrepanje [1, 2].

V tem prispevku želimo nadgraditi te ugotovitve z raziskovanjem, kako je mogoče indekse lakote povezati s podatki v realnem času in napovedno analitiko ter kako bi nove tehnologije in podatkovna partnerstva lahko preoblikovali našo sposobnost za pravočasno preprečevanje in odzivanje na prehranske krize.

2 METODOLOGIJA IZDELAVE INDEKSA LAKOTE

Kakovostni vhodni podatki so ključen temelj vsakega trdnega indeksa. Prvi korak je določitev merjenih končnih točk, da se opredelijo ustrezni vhodni podatki, ki so potrebni. Vzroki za lakoto so politični, gospodarski, socialni in okoljski, ti pa se pogosto prepletajo. Izbira prednostnih področij narekuje, kateri nabori podatkov se bodo uporabili za analizo. Časovni okviri, geografske omejitve, metode zbiranja, zanesljivost in reprezentativnost podatkov so pomembni dejavniki, ki jih je treba upoštevati pri izbiri ustreznih podatkov za preučevanje.

Da bi lahko napovedali prihodnja tveganja za pojav lakote, je treba kazalnike šokov (konflikti, skoki cen, suša itd.) in trendov (gospodarski upad, pridelava poljščin) združiti v sestavljeni indeks. Z uporabo obstoječih naborov podatkov iz trenutno uveljavljenih indeksov lakote je mogoče določiti kritična interesna področja in jih oceniti na podlagi njihovega faktorja tveganja za dovzetnost za lakoto.

Napovedni indeks lakote mora zato sintetizirati različne tokove podatkov, da izpostavi, kje in kdaj bodo skupine prebivalstva izpostavljene akutnemu tveganju.

Nabori podatkov, ki jih je treba upoštevati:

- Poraba hrane – Strmi porasti cen osnovnih živil ali splošna inflacija so močni napovedovalci lakote. Ko cene poskočijo ali valute propadejo, si revna gospodinjstva nenadoma ne morejo več privoščiti hrane, kar vodi v zmanjšanje dejanske porabe hrane. Analitiki Svetovne banke na primer ocenjujejo, da že zgolj 1-odstotno povišanje svetovnih cen hrane potisne približno 10 milijonov dodatnih ljudi v ekstremno revščino (Svetovna banka, 2025). Visoki indeksi cen hrane Mednarodnega denarnega sklada (International Monetary Fund – MDS) in drugi ekonomski kazalniki (inflacija, devizni tečaji) so zato ključni indikatorji [8]. Napovedni model bi moral neobičajne poraste cen označiti kot predhodnike krize (MDS, 2025). Ocena porabe hrane (Food Consumption Score – FCS) je

standardizirana meritev, ki jo je razvil Svetovni program za hrano (World Food Programme – WFP) za oceno raznolikosti prehrane v gospodinjstvih in pogostosti uživanja hrane. Izračuna število dni (v zadnjih sedmih dneh), ko je gospodinjstvo uživalo določene skupine živil, pri čemer je vsaki skupini dodeljena hranilna vrednost. Indeks Proteus nato združi te podatke za oblikovanje regionalnega napovedovalca prehranske varnosti [1].

- Podhranjenost – Kazalniki, ki merijo trenutne trende podhranjenosti, odražajo razmere akutne lakote. Posebej se spremljajo specifična hranila, ki so ključna za razvoj otrok, saj je njihovo pomanjkanje nujno treba nasloviti. Prevalenca shiranosti otrok »child wasting« (nizka telesna teža glede na višino) se hitro poveča, ko gospodinjstva nimajo dovolj hrane, zato je to občutljiv kazalnik krize. Na primer leta 2024 je bilo globalno skoraj 38 milijonov otrok, mlajših od pet let, akutno podhranjenih [17]. Poslabšanje trendov teh prehranskih kazalnikov kaže na akutne spremembe v zdravstvenem stanju prebivalstva in pogosto napoveduje izredne prehranske razmere [18].
- Konflikti in razseljenost – Oboroženi konflikti in politična nestabilnost so med najmočnejšimi povzročitelji lakote. Nasilni konflikti uničujejo pridelke, motijo trge in silijo ljudi v beg iz njihovih zemljišč. Globalno poročilo o prehranskih krizah za leto 2025 je ugotovilo, da je bil konflikt glavni vzrok lakote v letu 2024, ki je prizadel skoraj 140 milijonov ljudi [4]. Velike populacije beguncev in notranje razseljenih oseb (Internal Displacement – IDP) prav tako kažejo na visoko akutno ranljivost [4].
- Agrikolturna proizvodnja – Skupna razpoložljivost hrane je odvisna od pridelkov in zalog. Kazalniki vključujejo napovedi nacionalne proizvodnje žit, potek žetve in zaloge hrane. FAO-jev globalni informacijski in zgodnji opozorilni sistem (Global Information and Early Warning System – GIEWS) vzdržuje bilanco žit po državah (Country Cereal Balance Sheet), ki zajema letno proizvodnjo, porabo in trgovino za več kot 220 držav [3]. Satelitsko pridobljeni vegetacijski indeksi, kot je normalizirani diferenčni vegetacijski indeks (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI), in FAO-jev sistem indeksa kmetijskega stresa (Agricultural Stress Index System – ASIS) zagotavljajo skoraj realnočasovna opozorila o stresu pridelkov ter služijo kot zgodnje opozorilo o morebitnem padcu pridelka [7, 16].
- Vremenski in okoljski šoki – Podnebni ekstremi (suše, poplave, vročinski valovi) lahko sprožijo akutne krize. Poročilo Združenih narodov iz leta 2024 je navedlo, da so suše in poplave, povezane z El Niňom, potisnile več kot 96 milijonov ljudi v prehranske krize v južni Afriki, Aziji in na Afriškem rogu [18]. Ključni kazalniki vključujejo odklone padavin (NOAA/CPC, podatki CHIRPS), standardizirane indekse suše (SPEI, vlaga tal iz NASA SMAP) ter vegetacijske anomalije (NDVI, VHI iz satelitov) [12]. FAO GIEWS izrecno uporablja NDVI in ASIS signale suše kot vhodne podatke v svojih analizah zgodnjega opozarjanja. Vključevanje teh okoljskih metrik (primanjkljaj padavin, pomanjkanje vlage v tleh, pogostost ekstremnih temperatur) pomaga napovedati, kje in kdaj bodo pridelki slabi, s tem pa se poveča tveganje za lakoto.

Kategorija	Dostopnost in relevantnost podatkov	Vključeno v indekse	Tip lakote, ki se meri	Konsideracija pri podatkih
Poraba hrane	Srednja – IMF cenovni indeksi in WFP FCS se objavljajo letno	IMF Food Price Index, WFP Food Consumption Score (FCS), Proteus Index	Tako kronični kalorični primanjkljaj kot nenadni padci vnosa kalorij	Podatki o cenah lahko zamujajo; FCS temelji na samoporočanju; ne zajame dobro neenakosti v dostopu
Nutricija (Nutrition)	Nizka – WHO in agencije ZN zbirajo standardizirane podatke o podhranjenosti, vendar neenakomerno in niso vedno reprezentativni	WHO podatki o akutni podhranjenosti, IPC/CH pragovi akutne podhranjenosti	Oboje – dolgoročne posledice stradanja, zlasti pri otrocih	Časovno občutljivo; zahteva klinične meritve; ni vedno dostopno na območjih z omejenim zdravstvenim sistemom
Konflikti in razseljenost	Srednja – podatki FSIN, OZN, IOM; splošne novice so ažurne, vendar nepopolne v nestabilnih regijah	FSIN Global Report on Food Crises, IPC kazalniki konfliktov	Akutno – poudarja družbene krize	Težko določiti vzročnost; podporačanje v vojnih območjih; razseljenost zaostaja za dejanskimi razmerami
Agrikulturna produkcija	Srednja za makro podatke FAO, NDVI; nizka za lokalne, neformalne trge	FAO GIEWS, ASIS, Country Cereal Balance Sheet, modeli NDVI (npr. IFPRI, USGS)	Kronično – dolgoročni gospodarski učinki	Ne zazna pomanjkanja na ravni gospodinjstev; napovedi lahko motijo šoki; NDVI ne odraža dostopa do hrane
Vreme/okoljski dejavniki	Visoka – satelitski in podnebni podatki so široko dostopni	FAO GIEWS, NDVI, VHI, SPEI, CHIRPS, NOAA, NASA SMAP	Akutno – hitro zaznavne okoljske katastrofe	Ne zajame prilagoditvene sposobnosti prebivalstva; vremenski stres ne vodi vedno v lakoto (zlasti v razvitih državah); ne upošteva gostote prebivalstva

Tabela 1:

Pregled kategorij, upoštevanih v našem napovednem indeksu. Vsi izbrani podatki imajo tudi kontekstualne omejitve, ki jih je treba upoštevati. Dostopnost, relevantnost in konsistentnost so odvisne od načina zbiranja podatkov ter institucije, ki jih zbira [1].

2.1 Napovedni indeks lakote na podlagi zemljevida lakote WFP

Pragovno določanje metrik iz zemljevida lakote WFP omogoča organizacijo regij zanimanja glede na tveganje za lakoto. Zemljevid zagotavlja relativno primerjavo padavin in vegetacije glede na svetovno povprečje; regije z neoptimalno preskrbo s hranili in porabo hrane; pojav nasilja in naravnih nesreč; ter integrirano lestvico IPC kritičnih regij.

Kot prvi osnutek so predlagane tri kategorije, ki predstavljajo naraščajočo stopnjo resnosti dovzetnosti za podhranjenost:

- Varne države: države brez realnega tveganja za stradanje v bližnji prihodnosti. Stabilne države s funkcionalnimi socialnimi storitvami in zdravim gospodarstvom.
- Države v tveganju: države, ki so ogrožene zaradi stradanja. Prisotna je določena podhranjenost, gre za države z nizkimi dohodki v razvoju in/ali države v družbenem ali političnem nemiru.
- Države v stradanju: države, ki trenutno doživljajo stradanje in so ranljive za nadaljnje poslabšanje prehranske varnosti.

Razvita je bila tudi točkovna lestvica za določanje faktorja tveganja na podlagi analiziranih podatkov. Glede na zanesljivost podatkov in vpliv na stradanje so posameznim kategorijam dodeljene točke. Ocena 3+ pomeni kategorijo v tveganju, 6+ pa stradanje:

- Nevarnost (Hazardous): če je več kot 1 »Watch« poročilo na 1 milijon prebivalcev, se doda +1 na lestvici tveganja; če gre za »Warning« poročilo, se doda +2.
- Konflikt (Conflict): bojna območja ali aktivna vojna takoj dodajo +3 na lestvici tveganja.
- Trenutna poraba hrane: če je razširjenost nezadostne porabe hrane 10–30 %, se doda +2; če je 30 %+, se doda +4.
- Prehrana (Nutrition): država z zabeleženimi prehranskimi pomanjkljivostmi prejme +1.
- Vegetacija: če spremembe NDVI kažejo manj kot 90 % povprečne zelenosti, se doda +1.
- Padavine: če so enomesečne padavine pod 90 % 20-letnega povprečja v več kot polovici države, se doda +1.
- IPC/CH: če je država označena na zemljevidu, prejme +3; če je več kot polovica prebivalstva razvrščena vsaj v IPC 3, država prejme +6.



Slika 1:

Primer zemljevida lakote (Hunger Map), ki prikazuje trenutno porabo hrane na podlagi FCS. To je prekrivno z žarišči konfliktov, kjer so bila v zadnjih 30 dneh zabeležena poročila o nasilju [20].

2.2 Trajnosten dostop do podatkov o lakoti in kazalnikov

Da bi takšni indeksi lahko obstajali, potrebujemo zanesljiv vir informacij. Stabilnost in verodostojnost teh indeksov sta odvisni od organizacij, ki jih vzdržujejo. Te organizacije vključujejo agencije Združenih narodov (na primer FAO, WFP in WHO), javne raziskovalne institucije ter nevladne organizacije (Non-governmental organization – NGO). Idealno bi bilo podatke medsebojno navzkrižno preverjati, vendar v krhkih ali konfliktnih območjih podatki pogosto prihajajo iz enega samega institucionalnega vira. To otežuje oceno njihove zanesljivosti. Nedavne raziskave kažejo, da lahko stabilna internetna povezava ter usposabljanje lokalnega prebivalstva za uporabo mobilnih in oblčnih (cloud-based) orodij za zbiranje podatkov bistveno izboljšata hitrost, natančnost in uporabnost informacij o lakoti. Na primer, Stites idr. (2021) opisujejo, da lahko mobilna orodja za zbiranje podatkov, skupaj z usposabljanjem digitalnih veščin, izboljšajo spremljanje prehranske varnosti na kriznih območjih. Na primer, v severovzhodni Nigeriji sta WFP in UNICEF usposobila člane skupnosti v zveznih državah Borno in Yobe za uporabo mobilnih orodij za zbiranje podatkov o prehrani in prehranski varnosti. Ta sistem lokalnega poročanja je omogočil hitrejše posodobitve klasifikacij IPC, kar je omogočilo bolj ciljno usmerjen in odziven humanitarni odziv [21].

Kako lahko zbiranje teh podatkov naredimo bolj trajnostno?

- Vlaganje v lokalne zmogljivosti – Gradnja trajnostnih podatkovnih sistemov se začne z opolnomočenjem ljudi, ki so najbližje krizi. Usposabljanje zdravstvenih delavcev v skupnosti, učiteljev ali osebja lokalnih nevladnih organizacij za zbiranje

in interpretacijo podatkov o prehranski varnosti zagotavlja, da znanje ostane znotraj skupnosti. Ko je zbiranje podatkov vključeno v lokalne vloge in institucije, namesto da se v krizah uvaja od zunaj, postane bolj zanesljivo in dolgoročno kontinuirano [14].

- Uporaba »offline-first« in nizkotehnoloških orodij – Za premagovanje nezanesljivega interneta in elektrike na oddaljenih območjih morajo biti orodja za zbiranje podatkov preprosta, delujoča brez povezave in odporna. Platforme, kot sta KoboToolbox ali Open Data Kit (ODK), omogočajo zbiranje podatkov brez povezave in kasnejši prenos, ko je povezava na voljo. V kombinaciji z mobilnimi telefoni, solarnimi polnilci ali baterijskimi paketi ta orodja omogočajo dosledno zbiranje podatkov tudi v najbolj omejenih okoljih [11, 13].
- Uporaba lokalnih institucij in šol – Trajnost se izboljša, ko obstoječe skupnostne institucije, kot so šole, zdravstvene ambulate ali zadruge, postanejo lokalna središča za zbiranje podatkov. Učitelji, babice ali kmetijski delavci se lahko usposobijo za zbiranje in poročanje ključnih kazalnikov lakote kot del svojega rednega dela. To temelji na že obstoječih strukturah in zmanjšuje potrebo po ustvarjanju novih, dragih vzporednih sistemov [21].
- Vključevanje podatkovnih nalog v humanitarne in državne programe – Praktičen pristop k dolgoročni trajnosti je vključitev zbiranja podatkov v obstoječe vladne ali humanitarne programe. Na primer, centri za razdeljevanje hrane ali cepljenja lahko vključujejo osnovne naloge poročanja. Ko spremljanje lakote postane del nacionalnega načrtovanja ob naravnih nesrečah ali programov zmanjševanja revščine, pridobi trajnost in politično podporo [10].
- Krepitev povratnih zank in spodbud – Zbiranje podatkov je uspešnejše, ko skupnosti vidijo, da njihovi podatki vodijo do konkretnih ukrepov. Povratne informacije – na primer prikaz, kako so lokalni podatki sprožili dostavo hrane ali podporo zdravstveni oskrbi – krepijo zaupanje. Majhne spodbude, kot so telefonski krediti ali priznanja v skupnosti, lahko prav tako izboljšajo doslednost in natančnost poročanja [15].
- Spodbujanje regionalnih dogovorov o deljenju podatkov – Trajnost je odvisna tudi od sodelovanja. Regionalna zavezištva, kot sta ECOWAS ali IGAD, lahko podpirajo čezmejno zbiranje podatkov o cenah hrane, razseljenosti in kmetijski proizvodnji. Skupne nadzorne plošče in sistemi zgodnjega opozarjanja omogočajo več agencijam in državam, da prispevajo k enotnemu informacijskemu omrežju in od njega tudi koristijo [6].
- Vlaganje v trajnostno infrastrukturo – Noben podatkovni sistem ne more dolgoročno delovati brez osnovne infrastrukture. Donatorji in vlade morajo prioriteto vlagati v podeželsko povezljivost, širitev mobilnih omrežij in lokalne strežniške kapacitete. Dolgoročno financiranje ne sme podpirati le zbiranja podatkov, temveč tudi orodja in sisteme, ki omogočajo njegovo redno in zanesljivo delovanje [19].

3 ZAKLJUČEK

Razvoj napovednega indeksa lakote lahko pomaga pri predvidevanju in odzivanju na prehransko negotovost. Z združevanjem raznolikih podatkovnih virov, ki jih zbira ZN WFP, predlagamo model, ki omogoča proaktiven pristop k prepoznavanju držav z zvišanim tveganjem za lakoto. Za razliko od tradicionalnih indeksov, kot sta GHI in PoU, ki predvsem spremljata pretekle ali trenutne ravni lakote, napovedni okvir omogoča oblikovalcem politik, humanitarnim organizacijam in mednarodnim institucijam ukrepanje še pred izbruhom kriz, s čimer se zmanjšuje trpljenje in rešujejo življenja.

Ključno je, da integracija orodij, kot so GIEWS, ASIS, NDVI in klasifikacija IPC, v model ocenjevanja tveganja v realnem času omogoča boljše spremljanje razmer in strateško razporejanje virov. Z vzpostavitvijo pragovnih kategorij tveganja je mogoče ukrepe prioritarno izvajati vnaprej, še preden se lakota razširi. Ker se globalni izzivi, kot so podnebne spremembe, politična nestabilnost in gospodarska neenakost, stopnjujejo, bo razvoj in izpopolnjevanje takšnih napovednih mehanizmov ključnega pomena za dolgoročno prehransko varnost ter izpolnjevanje globalne zaveze o odpravi lakote.

4 VIRI IN LITERATURA

[1] Caccavale O. M. in Giuffrida, V. (2020). The Proteus composite index: Towards a better metric for global food security. *World Development*, 126, 104709. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104709> [1.10.2025]

[2] FAO. (2024). The State of Food Security and Nutrition in the World 2024. FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. <https://doi.org/10.4060/cd1254en> [1.10.2025]

[3] FAO. (2025). Crop Prospects and Food Situation. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd4597en>

[4] FSIN. (2025). Global Report on Food Crises. <https://www.fsinplatform.org/report/global-report-food-crises-2025/> [1.10.2025]

[5] GHI. (2025). Global Hunger Index [Data set]. <https://www.globalhungerindex.org/> [1.10.2025]

[6] IGAD ICPAC. (b. d.). Agriculture and Food Security. <https://www.icpac.net/agriculture-and-food-security/> [1.10.2025]

[7] IFPRI. (2025). Food Commodity Volatility [Dataset]. <https://www.foodsecurityportal.org/> [1.10.2025]

[8] IMF. (2025). IMF Primary Commodity Prices [Dataset]. <https://www.imf.org/en/Research/commodity-prices> [1.10.2025]

[9] INDDX. (2025). Prevalence of Undernourishment [Data set]. <https://inddex.nutrition.tufts.edu/data4diets/indicator/prevalence-undernourishment> [1.10.2025]

[10] https://www.ipcinfo.org/fileadmin/user_upload/ipcinfo/manual/IPC_Technical_Manual_3_Final.pdf [1.10.2025]

[11] KoboToolbox. (b. d.). Data Collection Tools for Challenging Environments. <https://www.kobotoolbox.org/> [1.10.2025]

[12] NOAA. (2025). Gridded Climate Data [Dataset]. <https://psl.noaa.gov/data/gridded/> [1.10.2025]

- [13] Open Data Kit (ODK). (b. d.). ODK: Build better data collection forms. <https://getodk.org/>
- [14] Stites E., Humphrey A. in Krystalli R. (2021). Social connections and displacement from South Sudan to Uganda. <https://doi.org/10.1093/jrs/feaa109> [1.10.2025]
- [15] UNICEF. (b. d.). U-Report: Amplifying Youth Voices. <https://ureport.in/> [1.10.2025]
- [16] USGS. (2025). Landsat Surface Reflectance-derived Spectral Indices [Dataset]. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-surface-reflectance-derived-spectral-indices> [1.10.2025]
- [17] Wiemers M., Bachmeie M., Hanano A., Folley C. in Fritschehel H. (2024). 2024 Global Hunger Index Report. Welt Hunger Life. <https://www.globalhungerindex.org/pdf/en/2024.pdf> [1.10.2025]
- [18] WHO. (2024). United Nations Secretary-General's Call to Action on Extreme Heat. WHO. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/376869/9789240094703-eng.pdf> [1.10.2025]
- [19] World Bank. (b. d.). Pathways Out of the Polycrisis – Poverty, Prosperity and Planet Report (No. 2024), iz <https://www.worldbank.org/en/publication/poverty-prosperity-and-planet> [1.10.2025]
- [20] World Food Programme. (2025). WFP HungerMap. UN. <https://hungermap.wfp.org/> [1.10.2025]
- [21] WFP – SMP. (b. d.). World Food Programme (WFP) School Meals Programme. <https://www.wfp.org/school-meals> [1.10.2025]

Podhranjenost, njeni fiziološki učinki, možni terapevtski posegi in trajnostnost

Undernourishment, its physiological effects, potential treatment interventions and sustainability

Jerneja Koren¹, Vesna Jurjevič², Juš Žavbi³
prof. dr. Janez Žibert (tutor)⁴

¹ Univerza v Baslu, Oddelek za Biomedicino, Hebelstrasse 20, 4031 Basel

² Univerza v Ljubljani, Oddelek za Zootehniko, Groblje 3, 1230 Domžale

³ Univerza v Utahu, Moran Eye Center, 65 Mario Capecchi Dr, 84132 Salt Lake City

⁴ Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Zdravstvena pot 5, 1000 Ljubljana

Korespondenca/Corresponding author: janez.zibert@zf.uni-lj.si

Povzetek

Podhranjenost ostaja globalni zdravstveni izziv, ki najbolj prizadene otroke in nosečnice v državah v razvoju. Ta esej raziskuje fiziološke in imunološke posledice podhranjenosti v njenih štirih osnovnih oblikah: beljakovinsko-energetska podhranjenost, pomanjkanje vitamina A, anemija zaradi pomanjkanja železa ter motnje zaradi pomanjkanja joda. Vsaka od teh oblik vpliva na delovanje imunskega sistema in posledično povečuje ranljivost za nalezljive bolezni (npr. tuberkuloza in ošpice). Poleg tega esej opisuje in ocenjuje trenutne intervencije, kot so prehranski dodatki, dodajanje mikrohranil (vitamin A, D, železo in folna kislina) ter nov pristop imunoprehrane, ki združuje prehransko okrevanje z obnovo imunskega sistema. Obravnava tudi trajnostne rešitve, kot so lokalna proizvodnja obogatenih in bioobogatenih živil (npr. Zlati riž), za reševanje izziva podhranjenosti na gospodarsko in okoljsko vzdržen način. Eseg se na koncu osredotoči na to, da je treba dolgoročno in kratkoročno dodajanje hranil združiti v postopnem pristopu, da bi zmanjšali globalno podhranjenost in z njo povezane zdravstvene posledice.

Ključne besede

podhranjenost, imunost, imunski sistem, pomanjkanje, pomanjkanje vitamina A, anemija zaradi pomanjkanja železa, beljakovinsko-energetska podhranjenost, pomanjkanje joda, dodajanje hranil, imunoprehrana, trajnostna proizvodnja, globalno zdravje, obogatena živila, bioobogatitev, javno zdravje

Abstract

Undernutrition remains a global health challenge that particularly affects children and pregnant women in low- and middle-income countries. This essay aims to explore the physiological and immunological consequences of undernutrition in its four primary forms: protein-energy malnutrition, vitamin A deficiency, iron deficiency anaemia, and iodine deficiency disorders. Each of these affects the immune function and consequently increases vulnerability to infectious diseases (e.g., tuberculosis, and measles). Furthermore, the essay outlines and reviews current interventions such as oral nutritional supplements, targeted micronutrient supplementation (vitamin A, D, iron, and folic acid), and the emerging approach of immunonutrition, which combines nutritional recovery with immune system restoration. It also discusses sustainable solutions such as local production of fortified and biofortified foods (e.g., Golden Rice) to address undernutrition challenge in an economically and environmentally viable way. Ultimately, the essay discusses that long- and short-term supplementation must be combined in a phased approach to reduce global undernutrition and its associated health consequences.

Keywords

Undernutrition; malnutrition; immunity; immune system; deficiency; vitamin A deficiency; iron deficiency anaemia; protein-energy malnutrition; iodine deficiency; supplementation; immunonutrition; sustainable production; global health; fortified foods; biofortification; public health.

1 UVOD

Kljub napredku v proizvodnji hrane podhranjenost, opredeljena kot znatno pomanjkanje ali odsotnost esencialnih hranil, ostaja velik javnozdravstveni izziv [25]. Na svetovni ravni to stanje prizadene približno 148 milijonov otrok, mlajših od pet let (UNICEF). Najpogostejša je v državah z nizkimi in srednjimi dohodki ter je pogosto povezana s socialnimi dejavniki, vključno z negotovostjo preskrbe s hrano, izoliranimi življenjskimi razmerami, revščino in neustreznim zdravstvenim varstvom. Namen tega eseja je raziskati podhranjenost kot zdravstveni problem z vidika osnovnih fizioloških učinkov na človeško telo, zlasti na različne komponente imunskega sistema, ter preučiti možne ukrepe za njihovo preprečevanje.

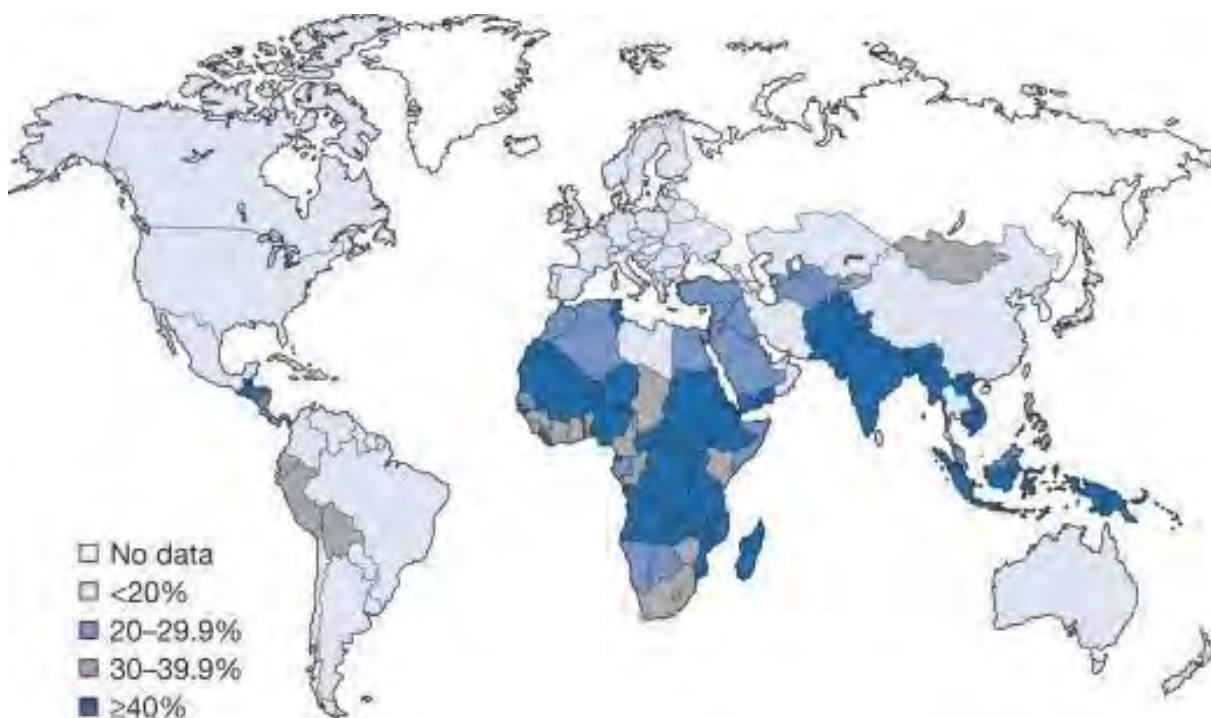
2 OBLIKE PODHRANJENOSTI IN NJIHOVI NEGATIVNI UČINKI

Podhranjenost je fiziološko stanje, ki nastane zaradi nezadostnega vnosa esencialnih hranil, kot so vitamini, esencialne aminokisline in minerali [32]. To posledično negativno vpliva na rast, razvoj in druge telesne funkcije ter lahko, če traja dlje časa, vodi v smrt. Svetovna zdravstvena organizacija (World Health Organisation – WHO) ocenjuje, da je skoraj polovica smrti otrok, ki se zgodijo pred petim letom starosti, povezana s podhranjenostjo [18]. Zaradi teh skrajnih in daljnosežnih učinkov so Združeni narodi odpravo svetovne lakote določili kot enega izmed 17

ciljev trajnostnega razvoja. Pomembno pa je poudariti, da obstajajo različne oblike podhranjenosti, ki imajo lahko različne učinke na človeško telo. Stephenson idr. [43] v svojem članku navajajo štiri najpomembnejše entitete: anemija zaradi pomanjkanja železa (iron deficiency anaemia – IDA), pomanjkanje vitamina A (vitamin A deficiency – VAD), beljakovinsko-energijska podhranjenost (protein-energy malnutrition – PEM) in motnje zaradi pomanjkanja joda (iodine deficiency disorders – IDD).

2.1 Beljakovinsko-energijska podhranjenost

Ta oblika podhranjenosti je običajno posledica izrazitega pomanjkanja predvsem beljakovin in energije, kar vodi v hiranje (wasting) in zaostajanje v rasti (stunting) [1]. WHO opredeljuje posameznika kot podhranjenega (prenizka telesna masa), kadar njegova telesna teža pade vsaj za dve standardni deviaciji (SD) pod mediano telesne teže [18]. Zaostajanje v rasti pa je predvsem povezano z višinsko rastjo; WHO otroka opredeli kot zaostalega v rasti, če je njegova telesna višina več kot 2 SD pod mediano višine referenčne populacije (zdravih otrok iste starosti iz različnih delov sveta). V večini primerov se ti dve stanji pojavljata skupaj in skupno prispevata k obolevnosti in umrljivosti zaradi podhranjenosti. Do tega pride zaradi naravnega odziva človeškega telesa na lakoto – zaradi hudega pomanjkanja energije telo za proizvodnjo energije uporablja vse razpoložljive vire, v tem primeru aminokisliline, namesto da bi jih porabljalo za sintezo beljakovin in rast. Klinično se to kaže kot izrazita izguba telesne maščobe in mišic, spremljana z dermatitisom in spremembami na koži [24]. Na svetovni ravni je 36 držav povezanih s približno 90 % otrok z zaostajanjem v rasti, pri čemer jih je največ v Aziji in Afriki, kjer delež takih otrok dosega približno 25 % oziroma 40 % (slika 1) [10].



Slika 1:

Razširjenost zaostanka v rasti pri otrocih, mlajših od 5 let (ustvarjeno leta 2008) [10].

Glede na specifično pomanjkanje hranil se PEM naprej deli na kvašiorkor in marazem. Pri prvem je prevladujoč patofiziološki mehanizem izrazito pomanjkanje beljakovin, medtem ko je pri drugem glavni vzrok nezadosten energijski (kalorični) vnos [21]. Marazem je značilen po hudem hiranju in ga je mogoče razmeroma uspešno zdraviti s ponovnim hranjenjem. Kvašiorkor pa je običajno povezan z edemi in otekanjem, zlasti v predelu trebuha, ter s hepatomegalijo, in ga je tudi težje zdraviti. Otekanje je posledica hudega pomanjkanja albuminov (hipoalbuminemija), kar poruši intravaskularno onkotsko ravnovesje in povzroči izhajanje ter kopičenje tekočine v tkivih [13]. Pri nekaterih bolnikih se lahko razvije kombinacija obeh stanj, imenovana marazmični kvašiorkor.

2.2 Pomanjkanje vitamina A

Vitamin A je pomemben v maščobi topen vitamin s ključno vlogo pri vidu, razmnoževanju in rasti. Njegovo pomanjkanje predstavlja velik zdravstveni problem, saj je pogost in pomemben vzrok slepote ter je povezano tudi z drugimi škodljivimi učinki na zdravje. Več kot polovica držav po svetu se še vedno sooča s to obliko podhranjenosti, pri čemer so – podobno kot pri PEM – najbolj prizadete države v južni Aziji in Afriki [16]. Demografsko so najbolj ogroženi majhni otroci in nosečnice. VAD se diagnosticira na podlagi serumskega retinola; vrednosti pod $0,70 \mu\text{mol/L}$ kažejo na subklinično pomanjkanje, vrednosti pod $0,35 \mu\text{mol/L}$ pa na hudo pomanjkanje. Klinično se kaže kot skupina simptomov, imenovana kseroftalmija. Začetni stadiji vključujejo nočno slepoto, ki lahko napreduje v suhost očesa in poškodbe roženice. V najhujših primerih lahko pride do ulceracije in keratomalacije (nekroze). Vsako leto zaradi tega 0,25–0,5 milijona otrok oslepi, skoraj polovica pa jih v naslednjem letu ne preživi [44].

2.3 Anemija zaradi pomanjkanja železa

To je najpogostejši zdravstveni zaplet podhranjenosti in ni omejen zgolj na države v razvoju, saj kar 90 % primerov prihaja iz razvitih držav. Njeni učinki so najizrazitejši pri otrocih in ženskah v rodnem obdobju; geografsko je najbolj prizadeta jugovzhodna Azija s 184,8 milijona bolnikov [42].

Železo je esencialni element v sledovih s pomembno vlogo kot gradnik hemoglobina, zato je ključno za prenos kisika, pomembno pa je tudi za sintezo DNA. Ima tudi pomembno vlogo v imunskem sistemu, kjer sodeluje pri razvoju in delovanju tako prirojene kot pridobljene imunosti, zlasti pri aktivaciji nevtrofilcev in makrofagov, proliferaciji limfocitov ter tvorbi citokinov. Pomanjkanje železa je povezano s povečano dovzetnostjo za številne okužbe, vključno z gastrointestinalnimi, dihalnimi in parazitskimi (npr. malarija) [37].

Najpogostejši vzroki za IDA vključujejo malarijo, prehrano, genetsko predispozicijo in nizko porodno težo. Diagnoza temelji na serumskem feritinu; vrednosti pod 12–15 ng/ml so značilne za IDA [42]. Fiziološke posledice vključujejo utrujenost in zmanjšano produktivnost, pri otrocih pa tudi razvojne in kognitivne motnje [37].

2.4 Motnje zaradi pomanjkanja joda

Jod je ključen za normalno rast in razvoj. Pri odraslih njegovo pomanjkanje povzroča golšo, zato je ustrezna raven joda pomembna v vseh življenjskih obdobjih. Posebej kritičen je med nosečnostjo, saj lahko njegovo pomanjkanje vodi v moten razvoj možganov ploda ter trajne motorične in kognitivne okvare. Po podatkih UNICEF-a je pomanjkanje joda najpomembnejši vzrok, ki ga je mogoče preprečiti, duševne zaostalosti in poškodb možganov. V najhujših primerih lahko povzroči spontani splav ali mrtvorojenost [53].

2.5 Druge pomanjkljivosti (deficiencies)

Poleg glavnih štirih skupin obstajajo tudi druge oblike podhranjenosti, ki predstavljajo pomemben zdravstveni problem. Na primer, pomanjkanje cinka lahko zavira rast in razvoj pri otrocih [31].

3 VPLIVI NA IMUNSKI SISTEM

Eden temeljnih patofizioloških mehanizmov, ki je skupen vsem različnim vrstam pomanjkanja, je negativen vpliv na imunski sistem. Podhranjenost oslabi naravni obrambni sistem telesa, zlasti prilagodljivi (adaptivni) imunski odziv, ki ga posredujejo celice B in T, kar vodi do večjega tveganja za poznejše okužbe [39]. Ker se to najpogosteje pojavlja v državah v razvoju, kjer je tveganje za smrtno nevarne nalezljive bolezni veliko večje, to predstavlja resno zdravstveno težavo in dodatno potrjuje potrebo po zgodnjem, hitrem in učinkovitem ukrepanju. Vsaka od štirih glavnih kategorij podhranjenosti vpliva na imunski sistem na nekoliko drugačen in specifičen način, zato je razumevanje teh procesov ključno za prihodnje preprečevanje in zdravljenje.

3.1 Učinki različnih oblik podhranjenosti na imunski sistem

Interakcije med različnimi oblikami podhranjenosti in imunskim sistemom so zelo kompleksne. Tukaj predstavljamo primera PEM in IDA ter njun vpliv na delovanje imunskih celic

PEM oslabi imunski sistem in posledično poveča dovzetnost posameznika za več življenjsko nevarnih okužb, vključno s tuberkulozo, meningitisom in hepatitisom [5]. Beljakovine so ključne za ohranjanje funkcij imunskih celic (limfociti B in T ter mieloidne celice), prav tako pa zagotavljajo učinkovito delovanje komplementnega sistema, ki je pomemben pri proinflammatoryh odzivih na patogene, tvorbi citokinov ter celjenju ran [34]. Prisotnost različnih aminokislin je bistvena – arginin je na primer ključen za delovanje limfocitov T in makrofagov, medtem ko je histidin pomemben za tvorbo histamina, pomembnega proinflammatory mediatorja [30]. Posledično imajo posamezniki s PEM večjo verjetnost za razvoj hudih zdravstvenih zapletov, ki pogosto zahtevajo kompleksno zdravljenje (tako za odpravljanje podhranjenosti kot tudi za ustrezno antibiotično terapijo, vključno z intravenskim zdravljenjem ali dolgotrajno uporabo antibiotikov širokega spektra), kar vodi v zmanjšano delovno

sposobnost in dodatno pogloblja socialno-ekonomske neenakosti.

Otroci brez suplementacije vitamina A pogosteje doživljajo hujše zdravstvene zaplete [43]. To je še posebej pomembno, saj je znano, da nekatere okužbe, vključno z noricami in ošpicami, znižujejo raven vitamina A v serumu [14]. Nasprotno pa dodajanje vitamina A zmanjša tveganje za smrt zaradi nalezljivih bolezni za približno 23 %, višje ravni vitamina A pa so povezane tudi z višjimi ravni CD4 T limfocitov [43]. Nezadostne ravni železa, povezane z IDA, prav tako pomembno vplivajo na imunski sistem, zlasti na odzive makrofagov in delovanje limfocitov B [36].

3.2. Pogosto povezane okužbe

Tuberkuloza, pogosta in neredko smrtna nalezljiva bolezen, ki jo povzroča *Mycobacterium tuberculosis*, je tesno povezana s PEM. Podhranjenost velja za pomemben dejavnik tveganja za razvoj te bolezni [26]. Podobno so ošpice močno odvisne od ravni vitamina A. Dojenčki, ki prejemajo dodatek vitamina A, imajo za 23–30 % manjše tveganje za smrt ali hude zaplete zaradi ošpic. To je spodbudilo WHO, da priporoča preventivno dodajanje vitamina A otrokom v regijah z izbruhi ošpic [51]. Okužbe s črevesnimi paraziti so prav tako povezane z različnimi oblikami podhranjenosti, pri čemer lahko nastane patološki, samoohranjujoč se krog. Podhranjenost poveča dovzetnost za parazitske okužbe, te pa dodatno poslabšajo prehransko stanje, saj zmanjšujejo absorpcijo hranil v prebavilih [34].

4 PREHRANSKA DOPOLNILA IN NJIHOVI UČINKI

Za obvladovanje zgoraj opisane podhranjenosti je na voljo več možnosti prehranskega dopolnjevanja. Najbolj znani so peroralni prehranski dodatki (oral nutritional supplements – ONS), vendar so bili preučeni tudi bolj specifični vitaminski dodatki.

4.1 Peroralni prehranski dodatki

ONS je splošen izraz za dodatke v suhi, polsuhi ali tekoči obliki. Vsebujejo sterilne kombinacije visokoenergijskih formulacij (1,0–1,5 kcal/mL), ki omogočajo hitro izboljšanje prehranskega stanja. Proizvajalci običajno sledijo prehranskim smernicam glede razmerja hranil: 10–15 % beljakovin, 30–35 % maščob in 50–60 % ogljikovih hidratov. Zaradi tega splošnega pristopa so ONS razmeroma uspešni pri odpravljanju podhranjenosti. Sistematična analiza [3], ki je vključevala več randomiziranih študij, je pokazala pomembno izboljšanje telesne mase in hitrejše okrevanje. ONS delujejo na več načinov: zaradi visoke energijske vrednosti hitro nadomestijo izgubljeno telesno maso [9]. Poleg tega lahko zaradi svoje sestave delno obnovijo ravni ključnih vitaminov in mineralov, vključno z železom, cinkom, jodom ter vitaminoma C in D [10]. Uporabljajo se tudi kot podpora ženskam med nosečnostjo in po njej. Na podlagi teh lastnosti jih priporočata tako WHO kot UNICEF, zlasti za zdravljenje otrok s hudimi oblikami podhranjenosti, vključene pa so tudi v smernice za skupnostno obravnavo akutne podhranjenosti (CMAM) [18].

4.2 Beljakovinski dodatki

Beljakovine so esencialna makrohranila s pomembno vlogo pri obnovi tkiv, delovanju imunskega sistema, tvorbi hormonov in encimov ter splošnem razvoju. Njihove ravni so pogosto znižane v okoljih z visoko stopnjo podhranjenosti in revščine, kar pomembno prispeva k hiranju in zaostajanju v rasti pri otrocih ter k hitrejšemu širjenju nalezljivih bolezni zaradi oslabljenega imunskega sistema [12]. Zaradi njihove ključne vloge v prehrani so beljakovine pogosto vključene v prehranske podporne pripravke, vključno s terapevtsko pripravljeno hrano za takojšnjo uporabo (ready-to-use therapeutic food – RUTF). Najpogosteje se zagotavljajo v obliki praškastih prehranskih dodatkov ali obogatenih mok ter drugih osnovnih živil. Dokazano je, da beljakovinski prehranski dodatki izboljšujejo stopnjo preživetja, zlasti pri otrocih, ter pozitivno vplivajo na porodno težo, čas okrevanja in trajanje hospitalizacije [9]. Kljub visoki učinkovitosti pa je v praksi pogosto težko pravočasno zagotoviti zadostno količino beljakovin v vseh prizadetih regijah. Zato je smiselno razmisliti, katera specifična hranila so najbolj ključna, da se ta zagotovijo takoj ali čim prej, zlasti v primerih akutne podhranjenosti.

5 IMUNONUTRICIJA

Eden najbolj opisanih pojavov, ki dodatno zapleta podhranjenost, je tako imenovano »dvosmerno razmerje« oziroma »začarani krog« med podhranjenostjo in povečano dovzetnostjo za okužbe [48, 12]. Znano je, da je podhranjenost povezana s sistemsko aktivacijo imunskih celic in zmanjšanim delovanjem efektorskih spominskih T-celic [12]. To je postalo posebej očitno med pandemijo COVID-19, ko je bilo slabše prehransko stanje povezano s povečano dovzetnostjo za okužbo [2]. Zato je ena izmed možnih strategij zdravljenja ta, da se prizadetim otrokom zagotovi dodatke, ki ciljajo na obnovo imunskega sistema. To je vodilo v razvoj posebnega področja, imenovanega imunonutricija, ki se osredotoča na razvoj specifičnih terapevtskih hranil za obnovo imunosti po obdobju podhranjenosti [12]. Ključna hranila za okrevanje vključujejo predvsem mikrohranila, kot so cink, selen, železo, baker in β -karoten, pa tudi vitamine A, C in E ter folno kislino [46].

5.1 Vitamin A

Vitamin A je ključno hranilo za normalno delovanje človeškega telesa. Njegovo pomanjkanje lahko vodi v eno izmed najpogostejših oblik podhranjenosti in povzroči nočno slepoto. Poleg tega je pomanjkanje vitamina A tesno povezano s povečano umrljivostjo otrok [7]. Zaradi teh pomembnih učinkov je bilo vloženega veliko truda v boj proti pomanjkanju vitamina A. Dodajanje vitamina A (vitamin A supplementation – VAS) predstavlja cenovno dostopno intervencijo, ki lahko pomembno izboljša javno zdravje, zlasti v socialno-ekonomsko ogroženih regijah. Po priporočilih WHO naj bi dodajanje vitamina A prejeli vsi otroci med 6. in 59. mesecem starosti s hudo (akutno) podhranjenostjo. Ta je opredeljena kot izrazito nizka telesna masa glede na telesno višino, pogosto skupaj z edemi in majhnim obsegom nadlakti [18]. Priporočeni

odmerek je 5000 IU, bodisi s hrano bodisi kot dodatek. S temi programi so tudi države z visoko stopnjo podhranjenosti dosegle razmeroma dobro pokritost z dodajanjem vitamina A, ki se običajno izvaja v obliki peroralnih dodatkov. Glavni problem ostajajo odročna podeželska območja, ki jih ti programi težje dosežejo [29]. Dokazano je, da VAS zmanjša umrljivost otrok do 24 % v regijah z izrazitim pomanjkanjem vitamina A [28]. Prav tako izboljša imunsko odpornost in pomaga preprečevati širjenje nekaterih nalezljivih bolezni. Kljub tem spodbudnim učinkom pa je pomembno poudariti, da je peroralno dodajanje, zlasti enega samega hranila, le kratkoročna rešitev, dokler ni zagotovljena celostna prehranska podpora za popolno obnovo organizma.

5.2 Železo

Pomanjkanje železa je najpogostejša oblika podhranjenosti in ni omejena zgolj na države v razvoju. Zato predstavlja dodajanje železa pomemben ukrep, ki lahko odpravi njegove učinke, zlasti obnovi delovanje T-limfocitov, izboljša tvorbo protiteles in zmanjša zaplete anemije. Vendar pa je pomembno poudariti, da lahko prekomerno dodajanje železa spodbuja rast nekaterih patogenov, zato je treba dodajanje izvajati previdno in ne tako rutinsko kot pri VAS [37]. WHO zato priporoča dnevno dodajanje železa otrokom (stari 6–59 mesecev) ter menstruirajočim in nosečnicam le v območjih, kjer prevalenca anemije presega 40 % [45].

5.3 Folna kislina

Folna kislina, znana tudi kot vitamin B9, je ključno hranilo s pomembno vlogo pri celični delitvi, sintezi DNA, metilaciji, delovanju imunskega sistema in tvorbi krvnih celic (hematopoezi) [6]. V območjih s podhranjenostjo so njene ravni pogosto nizke, zlasti pri nosečnicah in majhnih otrocih. Njeno pomanjkanje povzroča več pomembnih posledic, vključno z zmanjšano tvorbo protiteles, zmanjšano proliferacijo limfocitov ter počasnejšim odzivom na okužbe in vnetja [41]. Prav tako ima ključno vlogo pri razvoju ploda med nosečnostjo [6]. Na podlagi tega WHO že priporoča dodajanje folne kisline (400 µg/dan) za vse ženske pred zanositvijo in zlasti v zgodnji nosečnosti [41]. Glede na njen pomen pa bi bilo smiselno, da podobno podporo prejmejo vsi posamezniki na območjih s podhranjenostjo. Raziskave kažejo, da dodajanje folne kisline lahko obnovi tvorbo in delovanje citokinov ter spodbuja proliferacijo limfocitov [6]. Prav tako prispeva k obnovi imunskega sistema pri podhranjenih posameznikih in pri osebah z okužbo HIV. Na podlagi teh ugotovitev lahko zaključimo, da bi bilo dodajanje folne kisline smiselno vključiti kot obliko hitre prehranske podpore v prizadetih populacijah.

5.4 Vitamin D

Vitamin D je še eno hranilo, ki je pogosto znižano pri podhranjenih populacijah, zlasti pri otrocih z omejeno izpostavljenostjo soncu. Gre za v maščobi topen hormon, ki je najbolj znan po svoji vlogi pri presnovi kalcija ter rasti in zdravju kosti. V zadnjem času pa se vse bolj poudarja tudi njegova pomembna vloga pri delovanju imunskega sistema [15]. Pomanjkanje vitamina D je povezano z oslabljenim odzivom prirojenega

imunskega sistema (tj. slabši začetni odziv na patogene) ter z motnjami v adaptivnem imunskem odzivu, pri čemer so posebej prizadete subpopulacije Th1, Th17 in Treg celic. Posamezniki s pomanjkanjem vitamina D imajo tudi večje tveganje za hujše okužbe, zlasti tuberkulozo in okužbe dihal. Kljub temu smernice za dodajanje vitamina D še niso povsem enotne. WHO na primer še ni podala univerzalnih priporočil. Na podlagi trenutnih dokazov se priporočajo odmerki 400–1000 IU/dan za otroke in do 2000 IU/dan za odrasle, pri čemer je dnevno dodajanje običajno bolj priporočljivo kot enkratni visoki odmerki [33]. Takšno dodajanje lahko izboljša odziv na okužbe dihal in poveča učinkovitost cepljenja, zlasti pri starejših [23].

6 TRAJNOST PREHRANSKIH INTERVENCIJ

Pomembno je upoštevati takojšnje stroške in količino odpadkov pri trajnostnih rešitvah za obvladovanje podhranjenosti, ki je posledica lakote in prehranskih kriz. Vendar te rešitve niso vedno dolgoročno vzdržne, zlasti v območjih z veliko konflikti in omejenimi finančnimi sredstvi. Pogoste prekinitve, visoki stroški in odvisnost od zunanje pomoči otežujejo vzpostavitev stabilnih, skupnostno podprtih rešitev.

Pomembno je, da se prehranske intervencije začnejo čim bolj zgodaj v razvoju človeka. Priporočljivo je, da nosečnice prehrano dopolnjujejo z železom in folno kislino, da se zagotovi optimalen razvoj in zdravje ploda. To lahko zmanjša tveganje za negativne izide, kot sta zaostajanje v rasti in nizka porodna teža [35]. Železo in folno kislino je mogoče zagotoviti iz različnih virov, vključno s tabletami in obogatenimi mokami. Programi redne prenatalne oskrbe so se izkazali za najučinkovitejšo strategijo za zagotavljanje ustreznega vnosa teh hranil pri nosečnicah.

Logistični stroški, zlasti pri dostavi do zadnjega uporabnika (t. i. »last-mile delivery«), lahko predstavljajo več kot 50 % vseh stroškov intervencij. Vključevanje kombiniranih dodatkov in lokalne proizvodnje lahko pomembno izboljša trajnost teh programov. Najbolj učinkovite oblike pomoči v takšnih razmerah so lokalno proizvedena obogatena osnovna živila, RUTF ter biofortificirani pridelki, kot je zlati riž (Golden Rice) [52]. Zlati riž, kot biofortificirano osnovno živilo, predstavlja obetavno dolgoročno rešitev v regijah s pomanjkanjem vitamina A in velja za eno izmed stroškovno najučinkovitejših oblik pomoči. Razlika med obogatenimi (fortificiranimi) in biofortificiranimi žvili je v načinu proizvodnje. Pri fortifikaciji se hranila dodajo žvilom med proizvodnim procesom (npr. dodajanje železa in folne kisline rižu v mlinu). Pri biofortifikaciji pa se hranilna vrednost rastlin izboljša že med njihovo rastjo, na primer s selektivnim žlahtnjenjem, kar omogoča višje vsebnosti mikrohranil, kot sta cink in železo [8].

Pomen biofortifikacije je v njeni sposobnosti, da zadosti prehranskim potrebam populacij, ki nimajo dostopa do komercialno obogatenih živil. V podeželski Indiji, kjer so milijoni ljudi odvisni od lokalno pridelanih osnovnih živil, kot so pšenica, riž in proso, ima uvedba biofortificiranih poljščin velik potencial za odpravljanje pomanjkanja esencialnih mikrohranil v regiji. To je zato, ker lahko biofortificirane poljščine zagotavljajo ta ključna hranila brez potrebe po obsežni industrijski predelavi.

Zaradi tega biofortifikacija predstavlja optimalno rešitev za reševanje problema skrite lakote v težko dostopnih skupnostih. Poleg tega je biofortifikacija prepoznana tudi kot strategija za blaženje vplivov podnebnih sprememb. Veliko biofortificiranih poljščin je vzgojenih z namenom povečanja njihove odpornosti na okoljske stresne dejavnike, vključno s sušo, škodljivci in boleznimi. To zagotavlja zanesljivost preskrbe s hrano tudi v zahtevnih razmerah. Izrazit primer je biofortificirano biserno proso, znano tudi kot »bajra«, ki ima naravno odpornost na sušo, zaradi česar predstavlja ključno poljščino za plosušna območja. Dodatni primeri projektov biofortifikacije vključujejo obogatitev riža, fižola, sladkega krompirja, kasave in stročnic z železom; obogatitev pšenice, riža, fižola, sladkega krompirja in koruze s cinkom; obogatitev sladkega krompirja, koruze in kasave s provitaminom A (karotenoidi); ter obogatitev sirka in kasave z aminokislinami in beljakovinami [50].

7 ZAKLJUČEK

V eseju smo skušali orisati glavne oblike podhranjenosti in njihove patofiziološke učinke. Posebej je bila raziskana povezava med temi pojavi in imunskim sistemom, da bi se izpostavila kompleksna, samovzdrževalna medsebojna dinamika, ki prizadene milijone podhranjenih ljudi po svetu.

Prav tako smo želeli razmisliti o trenutnem družbeno-ekonomskem stanju v svetu. Čeprav so te rešitve tehnično izvedljive, se mnoge še vedno ne uporabljajo v regijah, kjer je lakota najbolj razširjena. Glavni razlog za to so verjetno visoki stroški dostave teh prehranskih dopolnil v oddaljena in težko dostopna območja, kjer je lakota najpogostejša. Bi pa lahko reševanje teh težav prineslo pomembne spremembe, zlasti v krajih, ki jih prizadenejo akutni izbruhi lakote – zaščita ljudi pred imunskimi zapleti z zagotavljanjem prehranskih dopolnil folne kisline ali železa bi lahko preprečila uničujoče dolgoročne posledice, ki lahko dodatno spodbujajo in širijo kronično lakoto v regiji.

Če povzamemo, je ta esej poskušal orisati glavne možnosti prehranske podpore pri (akutni in kronični) podhranjenosti. Razprava se je sprva osredotočila na splošno peroralno in beljakovinsko dopolnjevanje, nato pa se razširila na pregled specifičnih hranil in vitaminskih dopolnil, zlasti v kontekstu imunskega sistema. Optimalna rešitev in zaželen končni cilj je celosten pristop prehranskega dopolnjevanja, pri katerem se vsa hranila povrnejo na zdrave ravni. V začetnih fazah, ko so hitri odzivi ključni, pa je treba kot prehodni ukrep razmisliti o dodajanju posameznih ključnih hranil (npr. vitamina A, D, folne kisline in železa, kot je opisano zgoraj), da se preprečijo najhujše, škodljive posledice.

8 VIRI IN LITERATURA

[1] Ahmed T. idr. (2020). Protein-energy malnutrition in children. *Hunter's Tropical Medicine and Emerging Infectious Diseases*, 1034–1041. doi:10.1016/b978-0-323-55512-8.00143-5.

[2] Alam S. idr. (2021). Prospects of nutritional interventions in the care of COVID-19 patients. *Heliyon*, 7(2). doi:10.1016/j.heliyon.2021.e06285.

- [3] An R. idr. (2024). Effect of oral nutritional supplementation on health-related outcomes and nutritional biomarkers in children and adolescents with undernutrition: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 16(17), 2970. doi:10.3390/nu16172970.
- [4] Argimón S. in Aanensen D. M. (2016). Species mash-up. *Nature Reviews Microbiology*, 14(12), 730–730. doi:10.1038/nrmicro.2016.175.
- [5] Batool R. idr. (2014). Protein–energy malnutrition: A risk factor for various ailments. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(2), 242–253. doi:10.1080/10408398.2011.651543.
- [6] Barua S., Kuizon S. in Junaid M. A. (2014). Folic acid supplementation in pregnancy and implications in health and disease. *Journal of Biomedical Science*, 21(1). doi:10.1186/s12929-014-0077-z.
- [7] Bello S. idr. (2016). Routine vitamin A supplementation for the prevention of blindness due to measles infection in children. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2016(8). doi:10.1002/14651858.cd007719.pub4.
- [8] Better Nutrition. (2024). Biofortification vs. Fortification: Why the Future Lies in Nature's Design. [Pridobljeno 23. 1. 2025]. Dostopno na: <https://betternutritionforall.in/blogs/all-blogs/biofortification-vs-fortification-why-the-future-lies-in-nature-s-design?srltid=AfmBOormMZjpgxhMcDLR73benqstml81-ojck5lZv66BkfjLMpo-APZy>
- [9] Bhutta Z. A. idr. (2013). Evidence-based interventions for improvement of maternal and child nutrition: What can be done and at what cost? *The Lancet*, 382(9890), 452–477. doi:10.1016/s0140-6736(13)60996-4.
- [10] Black R. E. idr. (2008). Maternal and child undernutrition: Global and regional exposures and health consequences. *The Lancet*, 371(9608), 243–260. doi:10.1016/s0140-6736(07)61690-0.
- [11] Borràs J. M. idr. (2003). Lung cancer mortality in European regions (1955–1997). *Annals of Oncology*, 14(1), 159–161. doi:10.1093/annonc/mdg016.
- [12] Bourke C. D., Berkley J. A. in Prendergast A. J. (2016). Immune dysfunction as a cause and consequence of malnutrition. *Trends in Immunology*, 37(6), 386–398. doi:10.1016/j.it.2016.04.003.
- [13] Briend A. (2022). Kwashiorkor – new evidence in the puzzle of Oedema Formation', *eBioMedicine*, 80, p. 104070. doi:10.1016/j.ebiom.2022.104070.
- [14] Campos F. A., Flores H. in Underwood B. A. (1987). Effect of an infection on vitamin A status of children as measured by the relative dose response (RDR). *The American Journal of Clinical Nutrition*, 46(1), 91–94. doi:10.1093/ajcn/46.1.91.
- [15] Chang S.-W. in Lee H.-C. (2019). Vitamin D and health – the missing vitamin in humans. *Pediatrics & Neonatology*, 60(3), 237–244. doi:10.1016/j.pedneo.2019.04.007.
- [16] D'Ambrosio D. N., Clugston R. D. in Blaner W. S. (2011). Vitamin A metabolism: An update. *Nutrients*, 3(1), 63–103. doi:10.3390/nu3010063.
- [17] Escher N. A. idr. (2024). The effect of nutrition-specific and nutrition-sensitive interventions on the double burden of malnutrition in low-income and middle-income countries: A systematic review. *The Lancet Global Health*, 12(3). doi:10.1016/s2214-109x(23)00562-4.
- [18] Fact sheets – malnutrition. (2024). World Health Organization. [Pridobljeno 3. 2. 2025]. Dostopno na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition>
- [19] Fahmy R. idr. (2018). A new insight into the immune regulatory functions of vitamin A in children and adolescents. *Journal of The Arab Society for Medical Research*, 13(1), 1. doi:10.4103/jasmr.jasmr_30_17.

- [20] Floch M. H. in Fuchs H.-M. (1978). Modification of stool content by increased Bran Intake. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 31(10). doi:10.1093/ajcn/31.10.s185.
- [21] Franco V. H. idr. (1999). Plasma fatty acids in children with grade III protein-energy malnutrition in its different clinical forms: Marasmus, Marasmic Kwashiorkor, and Kwashiorkor. *Journal of Tropical Pediatrics*, 45(2), 71–75. doi:10.1093/tropej/45.2.71.
- [22] Gilbertson H. R. idr. (2003). Effect of low-glycemic-index dietary advice on dietary quality and food choice in children with type 1 diabetes. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 77(1), 83–90. doi:10.1093/ajcn/77.1.83.
- [23] Gombart A. F., Pierre A. in Maggini S. (2020). A review of micronutrients and the immune system—working in harmony to reduce the risk of infection. *Nutrients*, 12(1), 236. doi:10.3390/nu12010236.
- [24] Grover Z. in Ee L. C. (2009). Protein energy malnutrition. *Pediatric Clinics of North America*, 56(5), 1055–1068. doi:10.1016/j.pcl.2009.07.001.
- [25] Hegazi R., Miller A. in Sauer A. (2024). Evolution of the diagnosis of malnutrition in adults: A Primer for clinicians. *Frontiers in Nutrition*, 11. doi:10.3389/fnut.2024.1169538.
- [26] Hood M. L. (2013). A narrative review of recent progress in understanding the relationship between tuberculosis and protein energy malnutrition. *European Journal of Clinical Nutrition*, 67(11), 1122–1128. doi:10.1038/ejcn.2013.143.
- [27] Howson C. P., Kennedy E. T. in Horwitz A. (1998). Prevention of micronutrient deficiencies: Tools for policymakers and public health workers. Washington, D. C: National Academy Press.
- [28] Imdad A. idr. (2017). Vitamin A supplementation for preventing morbidity and mortality in children from six months to five years of age. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2017(11). doi:10.1002/14651858.cd008524.pub3.
- [29] Kraemer K. in Gilbert C. (2013). Do vitamin A deficiency and undernutrition still matter? *Community Eye Health*, 26(84), 61–63.
- [30] Li P. idr. (2007). Amino acids and immune function. *British Journal of Nutrition*, 98(2), 237–252. doi:10.1017/s000711450769936x.
- [31] Lowe N. M. idr. (2024). Preventing and controlling zinc deficiency across the life course: A call to action. *Advances in Nutrition*, 15(3), 100181. doi:10.1016/j.advnut.2024.100181.
- [32] Martins V. J. idr. (2011). Long-lasting effects of undernutrition. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(6), 1817–1846. doi:10.3390/ijerph8061817.
- [33] Martineau A. R. idr. (2017). Vitamin D supplementation to prevent acute respiratory tract infections: Systematic review and meta-analysis of individual participant data. *BMJ*, i6583. doi:10.1136/bmj.i6583.
- [34] Morales F. idr. (2023). Effects of malnutrition on the immune system and infection and the role of nutritional strategies regarding improvements in children's Health Status: A literature review. *Nutrients*, 16(1), 1. doi:10.3390/nu16010001.
- [35] Moyer C. idr. (2020). Delivering Nutrition Interventions to Women and Children in Conflict Settings. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2020-002509>
- [36] Ni S. idr. (2022). Iron metabolism and immune regulation. *Frontiers in Immunology*, 13. doi:10.3389/fimmu.2022.816282.
- [37] Olivares M. idr. (1999). Anaemia and iron deficiency disease in children. *British Medical Bulletin*, 55(3), 534–543. doi:10.1258/0007142991902600.

- [38] Pfeiffer C. M. idr. (2013). The CDC's second national report on biochemical indicators of Diet and nutrition in the U.S. population is a valuable tool for researchers and policy makers. *The Journal of Nutrition*, 143(6). doi:10.3945/jn.112.172858.
- [39] Phiri T. N. idr. (2023). Severe acute malnutrition promotes bacterial binding over proinflammatory cytokine secretion by circulating innate immune cells. *Science Advances*, 9(44). doi:10.1126/sciadv.adh2284.
- [40] Pooja D. idr. (2007). A pilot study on the effects of curd (dahi) & leaf protein concentrate in children with protein energy malnutrition (PEM). *Indian Journal of Medical Research*, 126(3), 199–203.
- [41] Rossi M., Amaretti A. in Raimondi S. (2011). Folate production by probiotic bacteria. *Nutrients*, 3(1), 118–134. doi:10.3390/nu3010118.
- [42] Stephensen C. B. (2001). Vitamin A, infection, and immune function. *Annual Review of Nutrition*, 21(1), 167–192. doi:10.1146/annurev.nutr.21.1.167.
- [43] Stephenson L. S., Latham M. C. in Ottesen E. A. (2000). Global malnutrition. *Parasitology*, 121(S1). doi:10.1017/s0031182000006478.
- [44] Stevens G. A. idr. (2015). Trends and mortality effects of vitamin A deficiency in children in 138 low-income and middle-income countries between 1991 and 2013: A pooled analysis of population-based surveys. *The Lancet Global Health*, 3(9). doi:10.1016/s2214-109x(15)00039-x.
- [45] The state of food security and Nutrition in the world 2021 (2021) World Health Organization. [Pridobljeno 1. 2. 2025]. Dostopno na: <https://www.who.int/publications/m/item/the-state-of-food-security-and-nutrition-in-the-world-2021>
- [46] Tourkochristou E., Triantos C. in Mouzaki A. (2021). The influence of nutritional factors on immunological outcomes. *Frontiers in Immunology*, 12. doi:10.3389/fimmu.2021.665968.
- [47] UNICEF data – Malnutrition in children. [Pridobljeno 15. 6. 2025]. Dostopno na: <https://data.unicef.org/topic/nutrition/malnutrition/>
- [48] Walson J. L. in Berkley J. A. (2018). The impact of malnutrition on childhood infections. *Current Opinion in Infectious Diseases*, 31(3), 231–236. doi:10.1097/qco.0000000000000448.
- [49] WFP. (2022). Nigeria. [Pridobljeno 16. 2. 2025]. Dostopno na: <https://www.wfp.org/countries/nigeria>
- [50] WHO. (2023). Biofortification of staple crops. [Pridobljeno 27. 4. 2025]. Dostopno na: <https://www.who.int/tools/elena/interventions/biofortification>
- [51] Wirth J. idr. (2017). Vitamin A supplementation programs and country-level evidence of vitamin A deficiency. *Nutrients*, 9(3), 190. doi:10.3390/nu9030190.
- [52] Qaim idr. (2007). Economics of biofortification, *Agricultural Economics*. https://www.researchgate.net/publication/4987481_Economics_of_biofortification
- [53] Zhao W. idr.. (2018). Iodine nutrition during pregnancy: Past, present, and future. *Biological Trace Element Research*, 188(1), 196–207. doi:10.1007/s12011-018-1502-



SKUPINA

Pravo in družbene vede

04

Pravni ukrepi za zmanjšanje količine zavržene hrane v Evropski uniji

Legal measures for reducing food waste in the European union

Matej Igličar, LL. M.¹

*izr. prof. dr. Petra Weingerl (tutorka)*²

¹ Univerza v Ljubljani, Pravna fakulteta, Poljanski nasip 2, 1000 Ljubljana

² Univerza v Mariboru, Pravna fakulteta, Mladinska ulica 9, 2000 Maribor

Korespondenca/Corresponding author: matej.iglicar@gmail.com

Povzetek

Zavržena hrana predstavlja resen okoljski, ekonomski in družbeni problem, ki ga zgolj ozaveščanje ne more učinkovito odpraviti. Evropska unija zato potrebuje pravno zavezujoče ukrepe za doseg cilja prepolovitve živilskih odpadkov do leta 2030. Ključna področja ukrepanja so: omilitev estetskih standardov hrane, optimizacija embalaže, jasnejše označevanje datumov uporabnosti in spodbujanje darovanja hrane. Celovit pristop, ki vključuje pravne obveznosti, finančne spodbude in institucionalno podporo, lahko bistveno prispeva k trajnostni porabi in zmanjšanju zavržene hrane v EU.

Ključne besede

zavržena hrana, odpadna hrana, Evropska unija, estetski standardi, pakiranje in embalaža, datumi uporabnosti, darovanje hrane, SDG 30, trajnostni razvoj

Abstract

Food waste represents a serious environmental, economic, and social problem that cannot be effectively addressed through awareness campaigns alone. The European Union therefore requires legally binding measures to achieve the goal of halving food waste by 2030. Key areas of action include relaxing aesthetic standards for food, optimizing packaging, clarifying date labelling, and promoting food donation. A comprehensive approach combining legal obligations, financial incentives, and institutional support can significantly contribute to sustainable consumption and the reduction of food waste in the EU.

Keywords

food waste, food loss, European Union, aesthetic food standards, packaging, use-by-date labelling, food donation, SDG 30, sustainable development

1 UVOD

Zavržena hrana predstavlja velik globalni problem z obsežnimi okoljskimi, družbenimi in ekonomskimi posledicami. Za hrano, ki je pridelana, nazadnje pa izgubljena ali zavržena, se vsako leto nameni približno četrтина v kmetijstvu porabljene vode, njena pridelava pa letno proizvede približno 8% svetovnih emisij toplogrednih plinov [6]. Trenutni ukrepi za zmanjšanje količine zavržene hrane se v veliki meri osredotočajo na ozaveščanje. Zgolj informiranje potrošnikov in drugih relevantnih deležnikov v verigi preskrbe s hrano se je izkazalo za nezadostno, saj pogosto trči ob močnejše, predvsem ekonomske interese tako proizvajalcev kot potrošnikov. Poleg tega ozaveščanje ne naslavlja potrebe po sistemskih spodbudah in subvencioniranju na državni ter evropski ravni. V iskanju rešitev, ki presegajo dosedanje ureditev, bodo v nadaljevanju po kratkem uvodu predstavljeni štiri sklopi pravno zavezujočih ukrepov za zmanjšanje količine zavržene hrane – ureditev estetskih standardov, optimizacija pakiranja, označevanje datumov uporabnosti ter spodbujanje darovanja hrane.

2 ZMANJŠANJE KOLIČINE ZAVRŽENE HRANE

Organizacija združenih narodov je leta 2015 sprejela Agendo za trajnostni razvoj do leta 2030 [11]. V njej je v sklopu 17 ciljev zastavila skupni načrt za mir in blaginjo za ljudi in planet zdaj in v prihodnosti. Z dvanajstim ciljem zasleduje trajnostno proizvodnjo in porabo. Podcilj št. 12.3 pa se glasi: »Do leta 2030 na svetovni ravni prepoloviti količino zavržene hrane na prebivalca v prodaji na drobno in pri potrošnikih ter zmanjšati izgube hrane vzdolž proizvodne in dobavne verige, skupaj z izgubami po spravilu pridelka«.

Pomena zmanjšanja količine zavržene hrane se zaveda tudi Evropska unija (EU). Njeni organi in institucije že vrsto let opozarjajo na problematično količino zavržene hrane in pozivajo k spremembam. V okviru Evropskega zelenega dogovora (angl. European green deal) je Evropska komisija opredelila strategijo »od vil do vilic« (»Farm to fork strategy«) [1], v kateri je poudarila, da »proizvodnja hrane še vedno [...] porabi čezmerne količine naravnih virov, poleg tega pa se precejšen del hrane zavrže« in se zavezala »da bo predlagala ukrepe za pomoč potrošnikom pri izbiri zdrave in trajnostne hrane in zmanjševanju količine živilskih odpadkov« [4].

Raziskava v okviru Evropskega projekta FUSIONS [12] (»Food Use for Social Innovation by Optimising Waste Prevention Strategies«) je ocenila količino zavržene hrane v EU v višini 88 milijonov ton¹, kar pomeni 173 kilogramov odpadne hrane na osebo. Skupne količine hrane, proizvedene v EU, so znašale približno 865 kg na osebo, kar pomeni,

¹ Na mestu je opozorilo, da pri tej oceni obstaja zmerno velika negotovost; približno 95-odstotni interval zaupanja določa razpon rezultatov znotraj 74 milijonov ton do 101 milijona ton.

da se je skupaj završlo skoraj 20 % vse proizvedene hrane. Ti podatki predstavljajo izhodiščno stanje, ki ga lahko izboljšajo sledeči pravni ukrepi.

2.1 Ureditev estetskih standardov hrane

Eden izmed ključnih vzrokov za nastajanje zavržene hrane se skriva v togih estetskih merilih, ki jih določa zakonodaja in jih dodatno zaostrejujejo trgovci sami. Ta merila določajo velikost, obliko in barvo hrane, ki sme doseči izložbene police. Živila, ki jim ne ustrezajo, so zavržena. Evropska unija je v preteklosti že omilila specifične standarde za videz sadja in zelenjave², vendar trgovske verige večinoma ohranjajo stroge interne zahteve glede oblike, barve in velikosti pridelkov. Tako se še vedno zavrže veliko užitnih proizvodov, ki zgolj vizualno ne ustrezajo predpisanim normam, posledično pa nikoli ne dosežejo prodajnih polic. Te prakse ne postavljajo zgolj moralnega vprašanja o upravičenosti tovrstnega zavračanja hrane, temveč lahko ustvarjajo tudi neželene učinke za prost pretok blaga v notranjem trgu EU, saj se proizvajalci srečujejo z različnimi specifikacijami, ki zavirajo prosto trgovanje.

Ker zgolj informiranje potrošnikov o tem, da majhne lepotne napake pri hrani ne vplivajo na njeno užitnost, ni dovolj, je treba ukrepati sistemsko. Pri omejevanju nepotrebno strogih trgovinskih standardov bi lahko pomembno vlogo odigrali pravni predpisi, ki bi trgovskim verigam preprečevali zavračanje hrane iz razlogov, ki niso povezani z varnostjo ali higienskimi zahtevami. V okviru notranjega trga je treba pretehtati, ali tovrstni interni standardi trgovcev pomenijo neupravičeno oviro za prost pretok blaga, saj v prakso uvajajo dvonivojsko selekcijo pridelkov: najprej skozi splošne estetske zahteve na ravni EU, nato pa še skozi višje zahteve prodajalcev.

Ob tem se zastavi vprašanje ekonomske spodbude: kmetje in trgovci strogim merilom sledijo, ker so prepričani, da bodo kupci vizualno popolne izdelke plačali raje in po višji ceni. A nekatere raziskave kažejo, da je marsikateri potrošnik pripravljen kupiti »nepopolno« oblikovane pridelke, če je cena nižja ali je na voljo preprosta razlaga, da izdelek kljub nepravilni obliki ni nič manj kvaliteten [10]. Vzpostavitev kratkih dobavnih verig in lokalnih trgov se kaže kot dodaten, zelo učinkovit instrument, saj potrošnik v neposrednem stiku z lokalnim pridelovalcem pogosto bolj zaupa kakovosti hrane, obenem pa takšna veriga praviloma dopušča večjo toleranco do estetskih nepopolnosti. Ker se hkrati več držav članic EU zaveda potrebe po krajšanju dobavnih verig, je na tem področju razvidno večje soglasje, a zavedati se moramo tudi možnosti kolizije s pravili o prepovedi državnih pomoči. Če bi se spodbujanje lokalnih trgov načrtovalo z velikimi subvencijami, bi morali oblikovati take ukrepe, ki ne bi izkrivljali konkurence in ostajali skladni z zakonodajo EU.

2.2 Optimizacija pakiranja in embalaže

Drugo področje, na katerem se lahko bistveno zmanjša količina zavržene hrane, je ustrenejša zasnova in uporaba embalaže. V skladu z dosedanjimi izsledki Evropske komisije in različnih projektov, ki preučujejo zmanjševanje živilskih odpadkov,

² Ti so urejeni v delu B priloge I k izvedbeni uredbi Komisije (EU) št. 543/2011.

nespametno pakiranje povečuje količino neporabljenih živil tako v distribucijski fazi kakor tudi v gospodinjstvih.³

Če je embalaža prevelika in potrošnik kupi več, kot v resnici potrebuje, se rok uporabnosti pogosto izteče, hrano pa zavrže. Podobno je pri izdelkih, ki niso dodatno zaprti po prvi uporabi in jih potrošnik zato ne more dlje časa hraniti v ustreznih pogojih.

Obenem se postavlja vprašanje cene. Razvoj bolj napredne, denimo inteligentne ali aktivne embalaže, ki natančneje ohranja živilo in upočasnjuje njegovo kvarjenje, zahteva dodatne stroške razvoja in proizvodnje. Kdo krije te stroške? Če jih v celoti prevzamejo trgovci, se bo to najverjetneje odrazilo v višji prodajni ceni, kar bo neugodno za potrošnika. Država in EU lahko zato z ustreznimi spodbudami (na primer z delnim sofinanciranjem razvoja inovativnih pakirnih rešitev) ustvarita pogoje, kjer so napredne embalaže dostopnejše in posledično manj obremenjujoče za končno ceno. Tak pristop ima lahko večplasten učinek: poleg zmanjšanja količine zavržene hrane se ob tem namreč ustvarjajo tudi pogoji za razvoj novih »zelenih« delovnih mest na področju materialnih inovacij.

Največja praktična težava ostaja prilagoditev velikosti embalaže dejanskim potrebam različnih potrošnikov. Enočlanska gospodinjstva pogosto nimajo enakih nakupovalnih navad kot veččlanska; velikokrat se zgodi, da posameznik zaradi neustreznih pakiranj kupi več hrane, kot jo potrebuje, posledično pa del živil pristane med odpadki. Vse bolj se zato priporoča, da trgovske verige uvedejo različne velikosti pakiranj istega izdelka ali pa potrošnikom ponudijo možnost nakupa nepakiranih izdelkov v samopostrežnih oddelkih [15]. S tem lahko vsakdo kupi točno tolikšno količino, kot jo bo verjetno uspel porabiti. Tudi tu se postavlja vprašanje stroškov:

za uvedbo samopostrežnega načina (denimo v manjših oddelkih za razsuto hrano) so potrebne naložbe v ustrezne vsebnike, varnostne ukrepe in vzdrževanje higiene. Zato imajo tudi pri takem ukrepu ključno vlogo državni in evropski skladi, saj lahko s finančno podporo pospešijo razširitev infrastrukture.

Naposled je pri optimizaciji pakiranja pomembna še vloga oblikovanja in označevanja embalaže, ki lahko potrošnika spodbuja k bolj trajnostnim odločitvam. Barve, napisi in simboli na embalaži lahko poudarijo vidike učinkovite rabe živil, možen način shranjevanja ali pa opomnijo na okoljske koristi varčnega ravnanja s hrano. Čeprav gre tu za bolj mehke prijeme, lahko v kombinaciji z ekonomsko privlačno ceno in vsestranskimi inovacijami precej prispevajo k zmanjšanju živilskih odpadkov.

³ Glej npr. Evropski parlament. Resolucija z dne 19. januarja 2012 o preprečevanju nastajanja živilskih odpadkov: strategije za učinkovitejšo živilsko verigo v EU (2011/2175(INI)). Glej tudi Evropski parlament. Resolucija z dne 16. maja 2017 o pobudi za učinkovito rabo virov: zmanjšanje živilskih odpadkov, izboljšanje varnosti hrane (2016/2223(INI)).

2.3 Označevanje datumov uporabnosti

Zmeda glede pomena napisov »porabiti do« in »uporabno najmanj do« je med poglavitnimi razlogi, da se vsako leto v EU po nepotrebnem zavrže ogromna količina povsem užitne hrane. Prva navedba potrošniku sporoča, da je živilo po izteku roka lahko zdravstveno oporečno in kot tako neprimerno za uživanje, druga pa, da hrana po izteku roka morda ne dosega več optimalne kakovosti (denimo hrustljivosti ali najboljšega okusa), a praviloma ni nevarna.⁴ Številne raziskave v državah članicah kažejo, da potrošniki teh razlik večinoma ne razumejo; ko vidijo, da je oznaka rok uporabnosti pretečena, živilo praviloma zavržejo brez preverjanja dejanskega stanja živila [2].

Takšno ravnanje ima za posledico visok odstotek zavržene hrane v gospodinjstvih [3], pri čemer nosijo svoj del odgovornosti tudi proizvajalci in trgovci. Včasih je na embalaži oznaka natisnjena premajhno ali postavljena na manj viden del embalaže, zato potrošnik ne razbere razlike med »porabiti do« in »uporabno najmanj do«. Poleg tega imajo nekateri izdelki za vsak primer še posebej »varno« zastavljeno obdobje trajnosti, kar služi predvsem tržnim interesom (pogostejši nakupi, večja prodaja) in ne dejanskim zdravstvenim razlogom.

Za izboljšanje stanja bo treba ukrepati na vsaj dveh ravneh. Prvič, EU lahko uvede strožja pravila glede standardizacije in jasnosti označb: velikost pisave, lokacija na embalaži, dobro razlikovanje med pomenoma »porabiti do« in »uporabno najmanj do«, morda celo dodajanje kratke razlage ali simbolov, ki ponazarjajo razliko med varnostjo in kakovostjo. Drugič, treba je oblikovati enoten pristop k označevanju na ravni držav članic, saj zdaj obstajajo primeri, ko so isti izdelki v različnih članicah označeni različno, kar le še krepi zmedo.

Zelo pomemben je tudi t. i. preventivni vidik, saj se z nesmotrnim označevanjem podaljšuje veriga zavrženja, ki se lahko začne že pri pridelovalcu. Kot smo videli, visoki estetski standardi in slaba praksa označevanja skupaj vodijo v to, da se živila ne prodajo dovolj hitro, kljub temu da bi morda imela še povsem ustrezen rok trajanja. Nekatere raziskave predlagajo celo prerazporejanje izdelkov: ob preteku »uporabno najmanj do« bi se hrano namesto v uničenje preusmerilo v nižjo cenovno kategorijo ali v dobrodelne namene [2]. Na tej točki spet pridemo do vprašanja (so)financiranja, saj bo večina podjetij ob prostovoljni osnovi raje izbrala finančno ugodnejšo rešitev (hitrejše odprodaje ali zavrženje). Država in EU bi lahko s primernimi subvencijami, davčnimi olajšavami ali sofinanciranjem logistike spodbudili preusmeritev neprodanih izdelkov k potrošnikom, ki jih nujno potrebujejo, ali vsaj k tistim, ki bi jih želeli kupiti po znižani ceni.

⁴ Glej Uredba (EU) št. 1169/2011 Evropskega parlamenta in sveta z dne 25. oktobra 2011 o zagotavljanju informacij o živilih potrošnikom, spremembah uredbe (ES) št. 1924/2006 in (ES) št. 1925/2006 Evropskega parlamenta in Sveta ter razveljavitvi Direktive Komisije 87/250/EGS, Direktive Sveta 90/496/EGS, Direktive Komisije 1999/10/ES, Direktive 2000/13/ES Evropskega parlamenta in Sveta, direktiv Komisije 2002/67/ES in 2008/5/ES in Uredbe Komisije (ES) št. 608/2004.

2.4 Spodbujanje darovanja hrane

Ob navedenih možnostih za zmanjšanje količin zavržkov v primarni proizvodnji, distribuciji ter pri gospodinjstvih je še en ključen segment prav gotovo spodbujanje darovanja presežkov. Številna podjetja in trgovske verige imajo redno presežek hrane, ki se ji približuje rokoporabnost ali pa gre za sezonske izdelke, ki niso več aktualni. Kljub temu pogosto hrana konča med odpadki, ker so postopki darovanja zahtevni, podjetja pa se bojijo pravnih tveganj.⁵ Ena največjih ovir je vprašanje odgovornosti: kdo nosi odgovornost, če se hrana, ki je bila podarjena dobrodelni organizaciji, izkaže za neustrezno? Poslovni subjekti se zaradi morebitnih sankcij raje odločijo za uničenje.

V zvezi s tem vprašanjem se ponuja več možnih pravnih rešitev. Prva je delna omejitev ali omilitev odgovornosti darovalca. Ključna ideja je, da se darovalec, ki v dobri veri podari hrano pred potekom njenih resnično varnostno kritičnih rokov, zaščiti pred odškodninskimi zahtevki, če je hrana ob darovanju izpolnjevala zahteve varnosti. To ne pomeni, da se povsem izključi odgovornost, temveč se oblikuje jasen okvir, v katerem darovalec nima dolžnosti previsokega standarda, ki ga sicer zahteva trženje hrane.

Naslednji korak je davčna politika. Trenutno se pri večini držav članic uveljavlja DDV tudi za hrano, ki je podarjena – pri čemer se običajno vrednost presežkov določi po simbolični (zelo nizki) osnovi, vendar to v praksi še vedno lahko povzroča administrativne zaplete.⁶ Če želi EU uresničiti cilj prepolovitve zavržene hrane, mora omogočiti jasne oprostitve ali vsaj znatnejše olajšave darovanja, ne da bi se istočasno posegalo v konkurenco na notranjem trgu. Davčne olajšave je namreč mogoče oblikovati tako, da ne postanejo prikriti mehanizmi za nepošteno trgovinsko prednost. Kjer se darovanje usmerja v banke hrane in druge dobrodelne organizacije, ki nimajo tržnega namena, se možnost izkrivljanja trga dejansko zelo zmanjša.

Francoski in belgijski model, po katerem imajo večji trgovci zakonsko obveznost darovati presežke hrane, ki je še varna za uporabo, je pomemben primer pritiska na gospodarske subjekte. Na drugi strani se pojavi kritika, da bi bilo namesto prisile morda učinkovitejše ponuditi privlačne ekonomske spodbude – a realnost kaže, da prostovoljne rešitve doslej niso ustvarile zadostnega učinka. Ker takšni modeli posegajo v svobodo gospodarske pobude, se odpira vprašanje morebitnega nasprotja z evropskim pravnim redom, vendar je argument javnega interesa (boj proti lakoti, varovanje okolja) lahko ustrezno legitimen temelj. Vsekakor pa uvedba obveznosti zahteva dobro zakonsko dodelanost, da ne bi podjetij dodatno obremenili s pretirano birokracijo.

⁵ Glej npr. Uredba (EU) št. 1169/2011 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 25. oktobra 2011 o zagotavljanju informacij o živilih potrošnikom, spremembah uredb (ES) št. 1924/2006 in (ES) št. 1925/2006 Evropskega parlamenta in Sveta ter razveljavitvi Direktive Komisije 87/250/EGS, Direktive Sveta 90/496/EGS, Direktive Komisije 1999/10/ES, Direktive 2000/13/ES Evropskega parlamenta in Sveta, direktiv Komisije 2002/67/ES in 2008/5/ES in Uredbe Komisije (ES) št. 608/2004 (UL L 304, 22.11.2011, str. 18)).

⁶ Glej Direktiva Sveta 2006/112/ES z dne 28. novembra 2006 o skupnem sistemu davka na dodano vrednost.

Subvencioniranje v tej fazi je smiselno predvsem pri zagotavljanju ustrezne infrastrukture (hladilniki, prevoz, skladišča za banke hrane) in pri razvoju digitalnih platform, ki povezujejo darovalce z dobrodelnimi organizacijami.⁷

Dolgoročni učinek je dvojno koristen: zmanjša se količina živilskih odpadkov, hkrati pa se izboljšuje socialna varnost tistih, ki si polnovredne hrane ne morejo privoščiti. V takšnem ekosistemu, ki ga financira ali vsaj sofinancira država (z morebitno podporo iz evropskih skladov), bi se postopoma odpravile tudi ovire, kot sta strah pred visokimi kaznimi in nezaupanje v logistične verige.

3 ZAKLJUČEK

Zmanjšanje zavržene hrane zahteva usklajeno delovanje na različnih ravneh, saj zgolj informiranje posameznikov ne zadošča za razrešitev sistemskih ekonomskih interesov in pravnih ovir. S celovitim pristopom na štirih predstavljenih področjih, podprtim z ustreznimi subvencijami in pravno zavezujočimi ukrepi, lahko EU in države članice naredijo konkreten korak k uresničevanju cilja prepolovitve živilskih odpadkov do leta 2030.

4 VIRI IN LITERATURA

[1] European Commission. Farm to Fork Strategy. 2020; 4. [Pridobljeno 9. 10. 2025]. Dostopno na: https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf

[2] European Commission. Flash Eurobarometer 425: Consumer food waste habits and understanding of "use by" and "best before" labels. Bruselj: Evropska komisija; 2016. [Pridobljeno 9. 10. 2025]. Dostopno na: <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2095>

[3] European Commission. Market study on date marking and other information provided on food labels and food waste prevention: final report. Bruselj: Evropska komisija; 2021. [Pridobljeno 9. 10. 2025]. Dostopno na: https://food.ec.europa.eu/system/files/2021-05/fs_eu-actions_action_platform_key-rcmnd_en.pdf

[4] Evropska komisija. Evropski zeleni dogovor [spletna stran]. Bruselj: Evropska komisija; 2019–2024. [Pridobljeno 9. 10. 2025]. Dostopno na: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_sl

[5] Evropska komisija. Izvedbena uredba Komisije (EU) št. 543/2011, Priloga I, del B. Uradni list EU; 2011.

[6] Evropska komisija. Smernice EU o doniranju hrane. Sporočila institucij, organov, uradov in agencij Evropske unije. Obvestilo Komisije. 2017; 361/01.

[7] Evropski parlament. Resolucija z dne 16. maja 2017 o pobudi za učinkovito rabo virov: zmanjšanje živilskih odpadkov, izboljšanje varnosti hrane (2016/2223(INI)).

[8] Evropski parlament. Resolucija z dne 19. januarja 2012: Kako preprečevati nastajanje živilskih odpadkov: strategije za učinkovitejšo živilsko verigo v EU (2011/2175(INI)).

⁷ Npr. Too Good To Go: Gre za mobilno aplikacijo, ki povezuje uporabnike z lokalnimi trgovinami in restavracijami, da lahko po znižani ceni kupijo presežke hrane, ki bi sicer končali med odpadki in; »Donirana hrana«: Projekt, ki ga je leta 2013 začela Zveza Lions klubov Slovenije, v katerem sodelujejo trgovci, kot je HOFER, ki neprodano, a še vedno užitno hrano donirajo socialno ogroženim in ranljivim skupinam.

- [9] Evropski parlament in Svet EU. Uredba (EU) št. 1169/2011 o zagotavljanju informacij o živilih potrošnikom. UL L 304, 22. 11. 2011, str. 18.
- [10] Loebnitz N., Schuitema G. in Grunert K. G. Who buys oddly shaped food and why? Impacts of food shape abnormality and organic labeling on purchase intentions. *Psychol Mark.* 2015; 32(4): 408–421.
- [11] Organizacija združenih narodov. Agenda za trajnostni razvoj do leta 2030. 2015; 8. [Pridobljeno 9. 10. 2025]. Dostopno na: <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- [12] Stenmarck A., Jensen C. idr. Estimates of European food waste levels. Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute; 2016.
- [13] Svet Evropske unije. Direktiva 2006/112/ES o skupnem sistemu davka na dodano vrednost. UL L 347, 11. 12. 2006.
- [14] Too Good To Go. Mobilna aplikacija za zmanjšanje živilskih odpadkov [spletna stran]. København: Too Good To Go; 2025. [Pridobljeno 9. 10. 2025]. Dostopno na: <https://toogoodtogo.com/>
- [15] Wunder S. REFRESH Policy Brief: Reducing consumer food waste. EU Horizon 2020 REFRESH; 2019. [Pridobljeno 9. 10. 2025]. Dostopno na: https://eu-refresh.org/sites/default/files/REFRESH_policy-brief_consumer%20food%20waste%20190311.pdf
- [16] Zveza Lions klubov Slovenije. Donirana hrana [projekt na internetu]. Ljubljana: Lions Slovenija; 2013. [Pridobljeno 9. 10. 2025]. Dostopno na: <https://www.lions.si/projekti/donirana-hrana>.



SKUPINA

Računalništvo

05

Analiza medu: priložnost za Slovenijo

Honey analysis: an opportunity for Slovenia

Martin Jurkovič¹
*prof. dr. Ivan Bratko (tutor)*¹

¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Večna pot 113,
1000 Ljubljana

Korespondenca/Corresponding author: martin.jurkovic19@gmail.com

Povzetek

Preverjanje izvora medu je ključno za zagotavljanje kakovosti, varovanje potrošnikov in preprečevanje goljufij. Trenutna metoda melisopalinologije temelji na ročni identifikaciji pelodnih zrn, kar je počasno, drago in občutljivo na človeške napake. Napredki v mikroskopiji in globokem učenju omogočajo avtomatizirano prepoznavanje peloda z visoko natančnostjo, kar bistveno poveča učinkovitost analiz. Ker so pelodni profili geografsko specifični, obstoječi modeli, razviti na tujih podatkih, niso primerni za slovenski med. Potrebna je vzpostavitev slovenske podatkovne zbirke in razvoj lokalnega modela umetne inteligence, ki bo omogočil hitrejše, natančnejše in cenejše preverjanje pristnosti. S tem bi Slovenija okrepila nadzor kakovosti in konkurenčnost domačega medu na evropskem in svetovnem trgu. V tej publikaciji raziščemo obstoječe podatkovne baze in metode strojnega učenja za klasifikacijo pelodnih zrn.

Ključne besede

melisopalinologija, med, umetna inteligenca, globoko učenje, klasifikacija pelodnih zrn, podatkovne zbirke, Slovenija, sledljivost porekla, analiza kakovosti

Abstract

Verifying the origin of honey is essential for ensuring quality, protecting consumers, and preventing fraud. The current method of melissopalynology relies on manual identification of pollen grains, which is slow, expensive, and prone to human error. Advances in microscopy and deep learning enable automated pollen recognition with high accuracy, significantly improving the efficiency of analyses. Since pollen profiles are geographically specific, existing models developed on foreign data are

not suitable for Slovenian honey. Establishing a Slovenian pollen database and developing a locally tailored AI model are therefore necessary to enable faster, more accurate, and more cost-efficient authenticity verification. This would strengthen quality control and enhance the competitiveness of Slovenian honey on the European and global markets. In this publication, we review existing datasets and machine learning methods for pollen grain classification.

Keywords

Melissopalynology, honey, artificial intelligence, deep learning, pollen grain classification, datasets, Slovenia, origin traceability, quality analysis.

1 UVOD

Preverjanje izvora medu je ključno za nadzor kakovosti in boj proti goljufijam. Osnovna metoda je melisopalnologija – identifikacija pelodnih zrn v vzorcu medu pod mikroskopom, s čimer se ugotovi, katere rastline so obiskovale čebele. Na podlagi tega lahko potrdimo, ali je kozarec »slovenskega gozdnega medu« res pristen, kar ščiti tako potrošnike kot ugled slovenskih čebelarjev. Ta analiza je bistvena za certificiranje vrst medu z zaščiteno označbo porekla, kot je na primer Kočevski gozdni med [8]. Klasifikacija in označevanje medu v EU in Sloveniji temeljita na kombinaciji botaničnega izvora, fizikalno-kemijskih meril ter (pri geografskih označbah) strogo opredeljenega območja in sledljivosti. Direktiva 2001/110/ES določa, da se lahko uporabi poimenovanje po rastlinskem izvoru, če med v celoti ali pretežno izvira iz navedene rastline in ima skladne organoleptične, fizikalno-kemijske in mikroskopske značilnosti; slovenski Pravilnik o medu te zahteve povzema. Ključni parametri vključujejo vsebnost sladkorja, vsebnost vode, vsebnost v vodi netopnih snovi, električno prevodnost, vsebnost prostih kislin ter vsebnost hidroksi metil fufurala (HMF) [17, 18].

Težava je v tem, da je ta metoda v osnovi zastarela. Gre za ročen, zamuden postopek, ki je v celoti odvisen od peščice visoko usposobljenih strokovnjakov. Analitik mora ročno poiskati, prepoznati in prešteti na stotine pelodnih zrn, kar je počasno, drago in subjektivno. Stopnje napak pri ročni analizi so lahko visoke, v nekaterih primerih dosežejo tudi do 33 % pri klasifikaciji posameznih pelodnih zrn [6]. Ta postopek je še posebej problematičen zaradi porasta goljufij na trgu, kjer se poceni sladkorni sirupi pogosto lažno predstavljajo kot visokokakovosten med. Nedavne preiskave Evropske unije so pokazale, da je skoraj polovica uvoženega medu sumljivega izvora, kar resno ogroža pošteno konkurenco in obstoj evropskih čebelarjev [4]. Obstoječi sistem se s tem izzivom ne more učinkovito spopasti, zato je avtomatizirana tehnološka rešitev pomembna alternativa.

2 PREGLED RAZVOJA

Veda o preučevanju peloda (palinologija) je bila vedno odvisna od tehnologije. Že v 17. stoletju so prvi mikroskopisti, kot sta Grew in Malpighi, opazili, da ima vsaka rastlinska vrsta svoja, edinstveno oblikovana pelodna zrna [5]. Ta ugotovitev je postavila temelje za celotno področje.

Dolgo časa je bil glavno orodje svetlobni mikroskop (LM). Velik preskok naprej je prinesel vrstični elektronski mikroskop (SEM) sredi 20. stoletja, ki je omogočil podrobne 3D-slike površin peloda [9]. Zadnji del sestavljanke pa je bil hiter razvoj globokega učenja, natančnejše konvolucijskih nevronske mreže (CNN). Ti modeli umetne inteligence (UI) so izjemno učinkoviti pri prepoznavanju kompleksnih vzorcev na slikah in so idealno orodje za avtomatizacijo identifikacije peloda [6].

2.1 Obstoječe rešitve

Uporaba umetne inteligence za klasifikacijo peloda ni novost. Ključni pogoj za učenje kateregakoli modela UI je velika in dobro označena zbirka podatkov. V zadnjih letih je bilo ustvarjenih več takšnih javnih zbirk, kar je spodbudilo raziskave in dokazalo učinkovitost pristopa. Seznam teh zbirk skupaj z njihovimi lastnostmi je predstavljen v Tabeli 1.

Primeri takšnih zbirk so POLLEN73S iz Brazilijske [1], CPD-1 s Krete [10, 11], Pollen13K za analizo delcev v zraku [2] in New Zealand Pollen Dataset [7]. Te zbirke se razlikujejo po številu slik, številu vrst peloda in tehniki slikanja, a vse služijo istemu namenu: učenju in testiranju modelov umetne inteligence. Večina projektov uporablja arhitekture CNN, kot so ResNet in DenseNet, ki na teh zbirkah dosegajo visoko, pogosto več kot 95-odstotno natančnost [6, 7].

Ime zbirke	Število razredov (taksonov)	Število slik	Tip mikroskopije	Arhitekture strojnega učenja	Najboljša dosežena klasifikacijska točnost
POLLEN13K[2]	5 (4 tipi peloda + ostanki)	> 13.000	Svetlobna (svetlo polje)	RBF SVM	87 %
POLLEN73S[1]	73	2.523	Svetlobna	DenseNet-201	96 %
POLLEN23E [12]	23	805	Svetlobna (svetlo polje)	MobileNet	100 %
Cretan Pollen Dataset (CPD-1) [10, 11]	20	4.034	Svetlobna	Ensemble CNN	98 %
New Zealand Pollen Dataset (NPD) [7]	46	19.667	Svetlobna (temno polje)	Alexnet	98 %
Great Basin Desert Dataset [13]	40	10.000	Svetlobna	ResNet	98 %
Indian Medicinal Plants Dataset [14]	28	269 (začetnih)	Elektronska (SEM)	ViT	100 %
PalDat [15]	4.563 vrst	36.444	Svetlobna (LM), Elektronska (SEM, TEM)	/	/
3D Pollen Library (Cardiff/NIH) [16]	158 vrst	173 (3D modeli)	Konfokalna	/	/

Tabela 1:

Primerjava ključnih javno dostopnih podatkovnih zbirk pelodnih slik

2.2 Utemeljitev: Zakaj je potrebna slovenska rešitev

Če ta orodja obstajajo, zakaj jih ne bi preprosto uporabili? Razlog je preprost: model umetne inteligence je le tako dober, kot so podatki, na katerih se je učil. Model, ki se je učil izključno na brazilskem ali novozelandskem pelodu [1, 7], še nikoli ni videl peloda kostanja, lipe ali jelke, ki so značilni za slovenski med. Za naše potrebe bi bil torej neuporaben. To ni napaka v tehnologiji, temveč temeljna lastnost strojnega učenja.

Za izgradnjo zanesljivega avtomatiziranega sistema za preverjanje pristnosti slovenskega medu moramo zgraditi lastno, lokalno in specifično zbirko podatkov. Vsebovati mora visokokakovostne slike peloda rastlinskih vrst, ki so pomembne za naše okolje. Slovenske sheme kakovosti, kot je Slovenski med z zaščiteno geografsko označbo (ZGO), seveda že obstajajo in temeljijo na edinstveni flori ter domači kranjski čebeli [3]. Vendar pa je uveljavljanje teh standardov trenutno v celoti odvisno od ročnega dela peščice strokovnjakov v Sloveniji, ki so edini usposobljeni za prepoznavanje specifične pelodne slike. To predstavlja ozko grlo, ki omejuje obseg in hitrost analiz. S slovensko podatkovno zbirko ter primernim modelom strojnega učenja bi to delo lahko avtomatizirali in ga naredili dostopnejšega.

2.3. Konceptualna zasnova in smernice za vzpostavitev slovenske zbirke

Čeprav je potreba po slovenski podatkovni zbirki očitna, je za njeno uspešno implementacijo ključno opredeliti metodologijo zbiranja, ustrezen obseg in izhodiščne arhitekture modelov. Za učinkovito klasifikacijo tipičnih vrst slovenskega medu, ter za prepoznavanje pogostih primesi, bi morala začetna baza zajemati približno 20 različnih razredov peloda (vir: Čebelarska Zveza). Če se zgledujemo po uspešnih tujih zbirkah, kot sta kretenska zbirka CPD-1 (z 20 razredi ter okoli 4000 slikami) in novozelandska zbirka NPD (s 46 razredi ter skoraj 20.000 slikami), bi morali za robustno učenje modela zagotoviti vsaj nekaj sto slik na posamezen razred. Zbiranje je logistično povsem izvedljivo, če se vzpostavi sodelovanje med botaničnimi laboratoriji in čebelarskimi zvezami, ki že izvajajo ročne analize in certificiranje shem kakovosti.

Pri izbiri podatkovne modalnosti se, kot prikazuje Tabela 1, v praksi najpogosteje uporabljata svetlobna mikroskopija in elektronska mikroskopija. Čeprav elektronska mikroskopija (SEM) ponuja izjemno natančnost zajema 3D-struktur, kar se denimo odraža v 100-odstotni klasifikacijski točnosti pri zbirki indijskih zdravilnih rastlin, je priprava vzorcev za tovrstno mikroskopijo predraga, prepočasna in tehnološko prezahtevna za rutinski nadzor kakovosti. Svetlobna mikroskopija je bistveno cenejša, hitrejša in neposredno odraža trenutno referenčno metodo ročne melisopalinologije. To pomeni, da bi avtomatiziran sistem neposredno nadgradil obstoječo laboratorijsko opremo in uveljavljene postopke, ne da bi zahteval popolno zamenjavo strojne opreme.

Za začetni razvoj slovenskega modela prav tako ni potrebe po snovanju povsem novih arhitektur umetne inteligence. Glede na visoko uspešnost na obstoječih pelodnih

zbirkah predstavljajo uveljavljene konvolucijske nevronske mreže (CNN) idealno izhodišče. Arhitekture, kot sta ResNet in DenseNet, ki sta na tujih podatkovnih bazah že dokazali več kot 95-odstotno točnost (Tabela 1), bi lahko brez težav služile kot primarni referenčni modeli. Z uporabo prenosnega učenja (angl. transfer learning) bi lahko modele, ki so bili predhodno naučeni na velikih splošnih slikovnih zbirkah ali na zgoraj omenjenih tujih pelodnih zbirkah, hitro in računsko učinkovito prilagodili (angl. fine-tuning) za specifične morfološke značilnosti slovenskega peloda.

2.4 Izzivi prepoznavanja uvoženega medu

Poleg klasifikacije lokalnega medu je ena izmed nalog tudi preverjanje globalnega izvora medu. Ta je ključen v boju proti goljufijam na trgu. Prepoznavanje specifičnega tujega izvora medu predstavlja ločeno nalogo od potrjevanja pristnosti slovenskega medu glede na pričakovan lokalni pelodni profil.

Uporaba modela, naučenega izključno na slovenski flori, pripelje do izziva pri analizi tujega medu, saj se model sreča s podatki zunaj učne porazdelitve (angl. out-of-distribution – OOD). Če bi takšen model na primer analiziral pelod, katerega še ni videl v učni množici, bi ga zaradi omejenega nabora znanih razredov lahko napačno uvrstil med enega izmed slovenskih pelodov. Reševanje tega problema zahteva vpeljavo tehnik detekcije OOD. Konkreten pristop bi bila uporaba pragov zaupanja (angl. confidence thresholding), kjer se napovedi z nizko stopnjo gotovosti samodejno zavržejo in označijo kot neznan pelod, ali pa uporaba metod za detekcijo anomalij, ki bi zaznale pelode, ki močno odstopajo od znanih lokalnih vzorcev.

Za prehod od zgolj zaznavanja neznanega peloda k dejanskemu prepoznavanju tujega izvora medu bi bilo treba slovensko bazo združiti z že obstoječimi mednarodnimi zbirkami (Tabela 1). Takšno združevanje pa lahko prinese izziv premika podatkovnih razdelitev (angl. dataset shift). Ker so bile različne zbirke zajete z različno opremo, na primer z uporabo različnih tehnik mikroskopije, bi model namesto bioloških razlik med pelodi hitro začel prepoznavati zgolj lastnosti posamezne tehnike. Da bi se temu izognili, bi bilo treba vpeljati tehnike domenskega prilagajanja, recimo z uporabo domensko-nasprotniških mrež (angl. domain-adversarial neural networks) [19], ki s pomočjo gradientnega obrata model prisilijo k učenju značilnosti peloda.

3 ZAKLJUČEK

Ročna analiza peloda je zastarel postopek v svetu naraščajočih goljufij s hrano [4]. Avtomatizirana klasifikacija z umetno inteligenco je dokazano učinkovita, vendar ni univerzalna rešitev [6]. Ker so pelodni profili geografsko specifični, obstoječa orodja, naučena na tuji flori, niso primerna za analizo slovenskega medu. Zato je logičen in nujen naslednji korak razvoj rešitve, prilagojene Sloveniji. To zahteva izgradnjo namenske slovenske zbirke podatkov o pelodu in njeno uporabo za učenje modela UI po meri.

4 VIRI IN LITERATURA

- [1] Astolfi G., Gonçalves A. B., Menezes G. V., Borges F. S. B., Astolfi A. C. M. N., Matsubara E. T., Alvarez M. in Pistori H. (2020). POLLEN73S: An image dataset for pollen grains classification. *Ecological Informatics*, 60, 101165. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101165>
- [2] Battiato S., Ortis A., Trenta F., Ascari L., Politi M. in Siniscalco C. (Okt. 2020). Pollen13K: A Large Scale Microscope Pollen Grain Image Dataset. In 2020 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) (pp. 2456–2460). IEEE.
- [3] Čebelarska zveza Slovenije. (b. d.). Slovenski med z zaščiteno geografsko označbo. Slovenskimed.si. [Pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: <http://www.slovenskimed.si/Si/smgo.php>
- [4] European Commission. (2023). From the Hives: A coordinated action to deter fraudulent practices in the honey market. [Pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: https://food.ec.europa.eu/food-safety/eu-agri-food-fraud-network/eu-coordinated-actions/honey-2021-2022_en
- [5] Grew N. (1682). *The Anatomy of Plants*. W. Rawlins.
- [6] Rostami M. A., Kydd L., Balmaki B., Dyer L. A. in Allen J. M. (2025). Deep learning for accurate classification of conifer pollen grains: enhancing species identification in palynology. *Frontiers in Big Data*, 8. <https://doi.org/10.3389/fdata.2025.1507036>
- [7] Sevillano V., Holt K. A. in Aznarte J. L. (2020). Precise automatic classification of 46 different pollen types with convolutional neural networks. *PLOS ONE*, 15(6), e0229751. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229751>
- [8] Španring R. (2020). Kočevski gozdni med ZOP. Kraševka. [Pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: <https://www.krasevka.si/blogs/okrepimo/kocevski-gozdni-med-zop>
- [9] Thornhill J. W., Matta R. K. in Wood W. H. (1965). Examining three-dimensional microstructures with the scanning electron microscope. *Grana Palynologica*, 6(1), 3–6.
- [10] Tsiknakis N., Savidakis E., Kafetzopoulos S., Manikis G., Vidakis N., Marias K. in Alissandrakis E. (2021). Segmenting 20 Types of Pollen Grains for the Cretan Pollen Dataset v1 (CPD-1). *Applied Sciences*, 11(14), 6657. <https://doi.org/10.3390/app11146657>
- [11] Tsiknakis N., Savidakis E., Manikis G. C., Gotsiou P., Remoundou I., Marias K., Alissandrakis E. in Vidakis N. Pollen Grain Classification Based on Ensemble Transfer Learning on the Cretan Pollen Dataset. *Plants* 2022, 11, 919. <https://doi.org/10.3390/plants11070919>
- [12] Sevillano V. in Aznarte J. L. (2018) Improving classification of pollen grain images of the POLEN23E dataset through three different applications of deep learning convolutional neural networks. *PLoS ONE* 13(9): e0201807. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201807>
- [13] Konijn T., Bijl I., Cao L. in Verbeek F. (2025). Analysis of 3D Urticaceae pollen classification using deep learning models. In *Proceedings of the 18th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies*, 288–295.
- [14] Khalane J. S., Gawande N. D., Raman S. in Sankaranarayanan S. (2025). IMPORTANT: Advanced pollen classification of Indian medicinal plants through SEM and computer vision. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2025.01.08.631879>
- [15] Halbritter H. (2005). *Amorphophallus asterostigmatus*. V: PalDat – A palynological database. [Pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: https://www.paldat.org/pub/Amorphophallus_asterostigmatus/100496
- [16] Wilson O. J. (2023). The 3D Pollen Project: An open repository of three-dimensional data for outreach, education and research. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 312, 104860. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2023.104860>

[17] Council Directive 2001/110/EC of 20 December 2001 relating to honey (consolidated version 23 June 2014). Official Journal of the European Union, L 10, 47–52.

[18] Republika Slovenija. (2011). Pravilnik o medu (Uradni list RS, št. 4/2011, s spremembami). PISRS. [Pridobljeno 13. 10. 2025]. Dostopno na: <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=PRAV9963>

[19] Ganin Y., Ustinova E., Ajakan H., Germain P., Larochelle H., Laviolette F., ... Lempitsky V. (2016). Domain-adversarial training of neural networks. Journal of Machine Learning Research, 17(59), 1–35.

Prepoznavanje peloda z umetno inteligenco

Pollen identification with artificial intelligence

Adrian Mladenić Grobelnik¹
prof. dr. Ivan Bratko (tutor)¹

¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Večna pot 113, 1000 Ljubljana

Korespondenca/Corresponding author: adrian.m.grobelnik@ijs.si

Povzetek

Ročna analiza peloda v medu je zamudna, draga in pogosto nezanesljiva. Naš esej predstavi sistem za avtomatizirano prepoznavanje peloda z uporabo umetne inteligence, ki rešuje te izzive. V prvem koraku sistem samodejno izolira pelodna zrna iz mikroskopskih slik, s čimer se izogne potrebi po ročnem označevanju. V drugem koraku konvolucijska nevronska mreža, naučena s tehniko prenosa učenja, klasificira izolirana zrna. Na javni podatkovni zbirki POLLEN73S je model dosegel 96,63-% natančnost, kar presega obstoječe rezultate in dokazuje izvedljivost koncepta. Pristop je tudi časovno učinkovit, saj je učenje trajalo le eno uro. Uspešen dokaz koncepta nam zdaj omogoča, da pričnemo z izgradnjo celovite podatkovne zbirke slovenskega peloda.

Ključne besede

prepoznavanje peloda, umetna inteligenca, globoko učenje, računalniški vid, analiza medu, konvolucijske nevronske mreže

Abstract

Manual analysis of pollen in honey is time-consuming, expensive, and often unreliable. This essay presents a two-stage system for automated pollen recognition using artificial intelligence that addresses these challenges. In the first stage, the system uses a zero-shot detector to automatically isolate pollen grains from microscopic images, thus avoiding the need for manual annotation. In the second stage, a convolutional neural network, trained using transfer learning, classifies the isolated grains. On the public POLLEN73S dataset, the model achieved an accuracy of 96.63%, which surpasses

existing results and proves the feasibility of the concept. The approach is also time-efficient, as training took only one hour. This successful proof of concept provides the foundation for the next step: building a comprehensive dataset of Slovenian pollen. A comprehensive approach combining legal obligations, financial incentives, and institutional support can significantly contribute to sustainable consumption and the reduction of food waste in the EU.

Keywords

pollen recognition, artificial intelligence, deep learning, computer vision, honey analysis, convolutional neural networks

1 UVOD

Standardni postopek za določanje botaničnega izvora medu predstavlja melisopalinološka analiza. Pri tej metodi najprej ustrezno pripravimo mikroskopski preparat, čemur sledi sistematično štetje pelodnih zrn pod mikroskopom. Njihovo klasifikacijo izvajamo na podlagi ključnih morfoloških značilnosti, med katere uvrščamo obliko, velikost in površinsko teksturo.

Razvoj avtomatiziranega sistema za analizo medu je ključen za nadgradnjo obstoječih, počasnih postopkov. Ročno prepoznavanje peloda pod mikroskopom je zamudno in drago. Strokovnjaki pri ročni analizi dosegajo različne stopnje točnosti, odvisno od izkušenj. Napake so lahko pogoste in v nekaterih primerih dosežejo tudi do 33 % [10]. Posledično je pri avtomatizirani rešitvi potrebna tudi točnost vsaj 70 %.

Razvoj avtomatiziranega sistema se sooča z dvema tehničnima ovirama. Prvič, na mikroskopski sliki je treba najprej zanesljivo izločiti pelodna zrna. Drugič, za učenje modela umetne inteligence potrebujemo obsežno zbirko označenih slik, ki pa za slovenski pelod še ne obstaja.

Naš projekt je zato zasnovan kot dokaz koncepta (proof of concept), s katerim smo želeli odgovoriti na ključno vprašanje: ali je z obstoječimi orodji mogoče zgraditi sistem, ki je dovolj natančen za ustvarjanje lastne zbirke slik slovenskega peloda? V tem eseju podrobneje predstavimo tehnično rešitev, ki odgovori na to vprašanje.

2 PODATKI, METODE IN RAZPRAVA

Naš sistem rešuje problem v dveh korakih, razdeljen je na dva ločena modula globokega učenja, prikazano na sliki 1.



Slika 1:

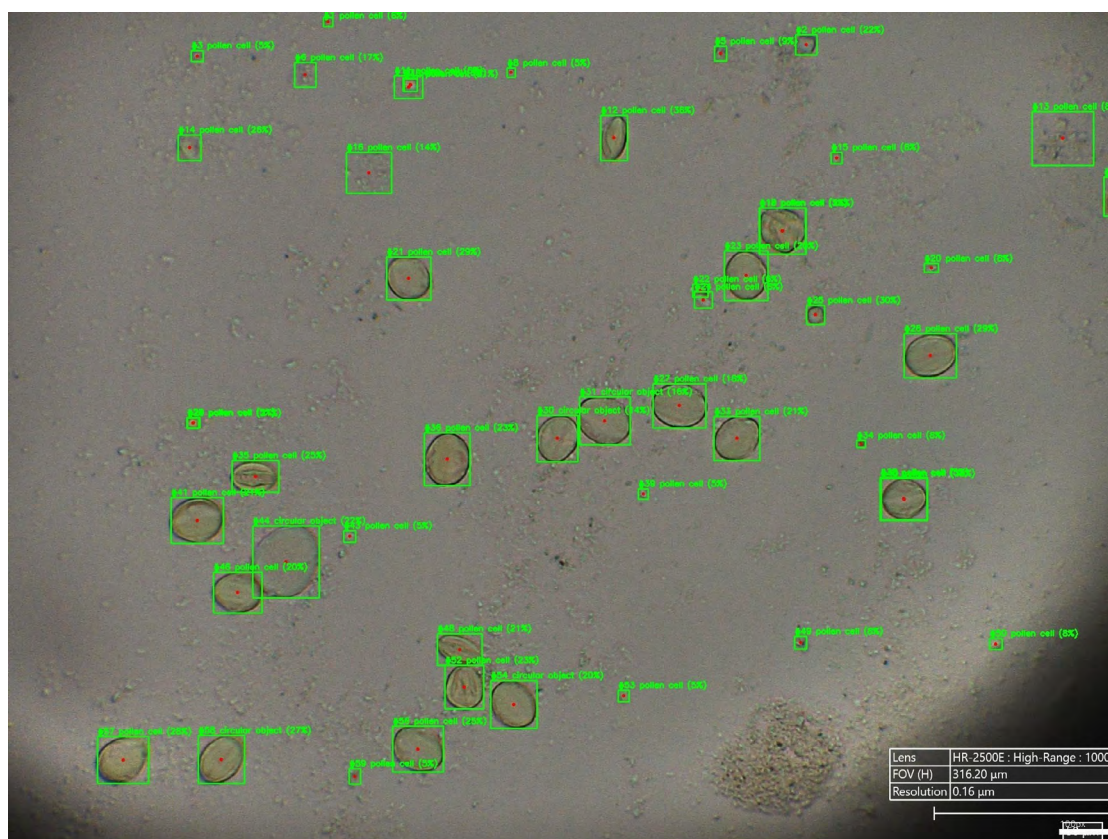
Dvostopenjska arhitektura našega sistema (vir: osebni arhiv)

2.1 Samodejna detekcija pelodnih zrn

Prva naloga je, da na originalni mikroskopski sliki, ki je polna različnih delcev, sistem samodejno identificira in izloči potencialna pelodna zrna. Namesto da bi mesece ročno označevali slike, smo uporabili naprednejši pristop: Googlov model OWLv2 [1].

OWLv2 je t. i. »zero-shot« detektor, kar pomeni, da lahko zazna predmete na sliki, ne da bi bil predhodno naučen na naših specifičnih primerih. Ko model na sliki najde potencialni objekt, vrne tudi besedilni opis, za katerega meni, da najbolje opiše najdeni objekt. S tem nam omogoča, da med vsemi detekcijami izberemo tiste, ki jih je model opisal kot »pelodna celica« ali »okrogel predmet«. S tem zmogljivim orodjem smo avtomatizirali proces detekcije, saj bi bilo ročno izrezovanje posameznih pelodnih zrn iz mikroskopskih slik preveč zamudno in nagnjeno k napakam [2]. Primer detekcije je prikazan na Sliki 2, kjer imamo samo en tip peloda.

Slika prikazuje mikroskopsko sliko vzorca medu z različnimi delci in možnimi pelodnimi zrni. Model OWLv2 za vsak zaznan objekt določi tip objekta in stopnjo zanesljivosti v odstotkih. Na primer, »pollen cell (25 %)« pomeni, da je model 25-% prepričan, da gre za pelodno zrno, medtem ko »circular object (20 %)« označuje 20-% zanesljivost, da gre za okrogel predmet. Ta pristop omogoča filtriranje zaznav in izbiro samo tistih objektov, ki so najverjetneje pelodna zrna. V tem koraku je treba pelod le ločiti od ozadja, ne pa ga še razvrstiti po vrstah, kar je naloga naslednjega modula.



Slika 2:
Primer detekcije pelodnih zrn kostanja (vir: osebni arhiv)

Za preverjanje splošne uporabnosti detekcijskega modula smo uporabili 87 mikroskopskih slik slovenskega medu, ki smo jih pripravili za namene te raziskave in trenutno niso javno dostopne. Model je uspešno izoliral približno 4.500 pelodnih zrn, kar potrjuje njegovo učinkovitost na novih podatkih. Na podlagi vizualnega pregleda rezultatov smo ugotovili, da sistem ob ustrezno izbrani povečavi mikroskopa uspešno zazna skoraj vsa pelodna zrna na sliki, hkrati pa detektira tudi objekte, ki niso pelodna zrna in lahko v najslabšem primeru predstavljajo do polovice vseh zaznav.

2.2 Podatkovna zbirka

Za klasifikacijski korak sistema smo potrebovali podatkovno zbirko s pravilno označenimi vrstami peloda. Ker takšna zbirka za slovenski pelod ne obstaja, smo v naši raziskavi uporabili javno dostopno zbirko POLLEN73S, ki je bistveno obsežnejša od našega nabora ter obsega 2.523 slik posameznih pelodnih zrn in predstavlja 73 vrst peloda iz brazilske savane. Slike so bile zajete z mikroskopom pri 40-kratni povečavi, pri čemer je za posamezno vrsto na voljo približno 35 slik, z izjemo treh vrst z manjšim številom primerov. Velikost slik je spremenljiva, pri čemer 88,6 % vseh posnetkov ne presega velikosti 512×512 slikovnih pik. Podatki so opremljeni izključno z oznakami vrst peloda in ne vsebujejo anotacij z označevalnimi okviri, saj vsaka slika prikazuje eno samo, že izrezano pelodno zrno. Zbirko smo razdelili na 1.765 učnih, 253 validacijskih in 505 testnih slik.

2.3. Klasifikacija kot dokaz koncepta

Ko imamo enkrat izolirane slike posameznih pelodnih zrn, sledi naloga njihove klasifikacije po vrstah. Za to smo uporabili konvolucijsko nevronske mreže (CNN) in tehniko, imenovano »transfer learning« (prenos učenja) [3, 4]. To pomeni, da smo vzeli model, ki je bil že naučen na več kot milijon splošnih slik, in ga nato dodatno naučili za specifično nalogo prepoznavanja različnih vrst peloda. Ta pristop bistveno zmanjša potrebno količino podatkov in čas učenja [5]. Uporabljena funkcija izgube (loss) je kategorična navzkrižna entropija, ki meri razliko med napovedmi modela in dejanskimi oznakami.

Z uporabo arhitekture MobileNetV3-Large in prilagojenim procesom učenja smo na javno dostopni zbirki POLLEN73S dosegli 96,63-% natančnost (95-% interval zaupanja: 94,7–97,9 %; makro F1-mera 96,70 %). Naš rezultat presega prag 70 %, ki je potreben za praktično uporabo. Zbirka POLLEN73S vsebuje 2.523 slik pelodnih zrn 73 različnih vrst iz brazilske savane. Podatke smo razdelili na učno (70 %), validacijsko (10 %) in testno množico (20 %). Model smo s prilagajanjem vseh parametrov (4.030.841) učili za 26 epoh z optimizatorjem Adam in mehanizmom zgodnjega ustavljanja.

V referenčni raziskavi [7] so avtorji na istih podatkih testirali osem arhitektur (npr. DenseNet-201, ResNet-50), ki so jih učili 50 epoh z optimizatorjem Adagrad. Najboljša rezultata so dosegli z modeloma DenseNet-201 (95,7-% natančnost) in ResNet-50 (94,0-% natančnost).

Naš pristop se razlikuje v ključnih elementih: uporabili smo manjši model MobileNetV3-Large (4 mio parametrov proti 20 mio), optimizator Adam in manj epoh (26). Kljub temu smo dosegli višjo natančnost (96,63 %). Najpomembnejša prednost je čas učenja: naš model smo na prenosnem računalniku z eno grafično kartico (GPU) naučili v eni uri. To dokazuje, da je mogoče zgraditi zelo natančen klasifikator peloda brez dostopa do dragih superračunalnikov, kar povečuje praktično uporabnost in dostopnost rešitve.

Po uspešni detekciji in klasifikaciji pelodnih zrn je zadnji korak sistema določitev botaničnega izvora medu, ki temelji na izračunu relativnih deležev posameznih prepoznanih vrst peloda v analiziranem vzorcu. Na podlagi teh deležev in z uporabo uveljavljenih melisopalinoloških standardov se nato določi tip medu; če na primer večinski delež prisotnega peloda pripada eni sami rastlinski vrsti, se vzorec opredeli kot monofloralni med. Ker je opisan postopek vrednotenja računsko preprost in temelji na osnovnih matematičnih operacijah, ne zahteva uporabe strojnega učenja. Tega koraka v raziskavi nismo implementirali, saj neposredna določitev botaničnega izvora presega obseg naše raziskave, ki je osredotočena na razvoj metod za detekcijo in klasifikacijo peloda.

2.4 Gradnja zbirke slovenskega peloda

Uspešen dokaz koncepta nam daje trdno podlago za naslednji korak: ustvarjanje lastne zbirke podatkov s slikami slovenskega peloda. V sodelovanju s Čebelarsko zvezo Slovenije bomo določili najpomembnejše medonosne rastline v Sloveniji. Strokovnjaki na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo v Ljubljani bodo pripravili in fotografirali mikroskopske vzorce. Naš cilj je zbrati vsaj 200 visokokakovostnih slik, ki bodo služile kot osnova za učenje končnega, klasifikacijskega modela.

3 ZAKLJUČEK

Naš dvostopenjski sistem ponuja pragmatično in učinkovito rešitev problema avtomatizirane analize peloda. Z uspešnim dokazom koncepta smo potrdili, da je tehnologija dovolj zrela in natančna, da upravičuje nadaljnje delo. Pot naprej je jasna: dokončati zbirko podatkov slovenskega peloda, na njej naučiti klasifikacijski model in na koncu povezati oba modula v preprosto, funkcionalno orodje za končne uporabnike. Čeprav obstajajo tudi druge napredne metode, kot je DNA črtno kodiranje [8, 9], naš pristop, ki temelji na slikah in globokem učenju, trenutno ponuja najboljše razmerje med hitrostjo, ceno in natančnostjo za to praktično uporabo.

4 VIRI IN LITERATURA

[1] Minderer M. idr. Simple Open-Vocabulary Object Detection with Vision Transformers. V: Computer Vision – ECCV 2022. Cham: Springer Nature Switzerland; 2022. Str. 714–732.

[2] Long Y. idr. HieraEdgeNet: A Multi-Scale Edge-Enhanced Framework for Automated Pollen Recognition [spletna stran]. arXiv; 2025 [pridobljeno 5. 10. 2025]. Dostopno na: <https://arxiv.org/abs/2506.07637>.

- [3] He K., Zhang X., Ren S. in Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition. V: 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Las Vegas: IEEE; 2016. Str. 770–778.
- [4] Panda A., Panigrahi D., Mitra S., Mittal S. in Rahimi S. Transfer Learning Applied to Computer Vision Problems: Survey on Current Progress, Limitations, and Opportunities [spletna stran]. arXiv; 2024 [pridobljeno 5. 10. 2025]. Dostopno na: <https://arxiv.org/abs/2409.07736>.
- [5] Daood A., Ribeiro E. in Bush S. P. Pollen Grain Recognition Using Deep Learning. V: Bebis G. idr., ur. Advances in Visual Computing. Cham: Springer International Publishing; 2016. Str. 321–330.
- [6] Howard A. idr. Searching for MobileNetV3. V: 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). Seoul: IEEE; 2019. Str. 1314–1324.
- [7] Astolfi G., Gonçalves A. B., Souza A. C. D. S. in Arruda H. F. POLLEN73S: An image dataset for pollen grains classification. Ecol Inform. 2020;60:101165.
- [8] Keller A. idr. Using DNA metabarcoding to investigate honey bee foraging dynamics. Oecologia. 2018;186(1):227–239.
- [9] Richardson R. T., Johnson R., Cornman R. S., Gardner D. S. in Lopez-Urbe M. M. Application of ITS2 metabarcoding to determine the provenance of pollen collected by honey bees. PLoS One. 2015;10(6):e0127209.
- [10] Rostami M. A. idr. Deep learning for accurate classification of conifer pollen grains: enhancing species identification in palynology. Front Big Data. 2025;8:1507036.



SKUPINA

Varstvo okolja n turizem

06

Interdisciplinarni pristop k zagotavljanju avtentičnosti slovenskega medu

An interdisciplinary approach to assuring the authenticity of slovenian honey

Lana Nastja Anžur¹

prof. dr. Miha Humar (tutor)²

¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Večna pot 113, 1000 Ljubljana

² Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina, Cesta VIII/34, 1000 Ljubljana

Korespondenca/Corresponding author: lananastja.anzur@fkkt.uni-lj.si

Povzetek

Med ima v Sloveniji poseben pomen kot del bogate čebelarke tradicije in kulturne dediščine, ki se odraža tako v načinu pridelave kot tudi v prepoznavnih lokalnih vrstah medu. Ohranjanje te dediščine zahteva učinkovite mehanizme za zaščito avtentičnosti in kakovosti tradicionalnih proizvodov, saj so ti vse pogostejše izpostavljeni ponarejanju in nepravilnemu označevanju. Eden ključnih pristopov k varovanju takšnih izdelkov je sistem geografskih označb, ki omogoča zaščito proizvodov, tesno povezanih z določenim okoljem in znanjem lokalnih skupnosti. Za dodeljevanje geografskih označb ter tudi širše za preverjanje pristnosti medu je zato bistvenega pomena zanesljivo določanje njegovega botaničnega in geografskega porekla. Pri tem ima pomembno vlogo melisopalinologija, ki temelji na analizi pelodnih zrn, vendar pa je ta metoda časovno zahtevna, zahteva visoko stopnjo strokovnega znanja ter je odvisna od omejenega števila usposobljenih strokovnjakov. Avtomatizirana melisopalinologija omogoča zgodnje zaznavanje nepravilnosti in krepi zaupanje v slovenski nadzorni sistem. Poleg varovanja potrošnikov projekt prispeva k večji odpornosti lokalne proizvodnje, kar je posebej pomembno v času podnebnih sprememb, upada opraševalcev in volatilitnosti svetovnih trgov.

V tem eseju predstavljam: (1) zgodovinski in kulturni pomen pridelave medu; (2) regulativni in tržni kontekst nadzora kakovosti medu, zlasti v EU in Sloveniji; (3) razloge za poskus modernizacije pristopa z avtomatizacijo melisopalinološke analize s pomočjo pristopov umetne inteligence; ter (4) način, kako skupna interdisciplinarna raziskava tutorske skupine za Varstvo okolja in turizem ter tutorske skupine za

Računalništvo, pod mentorstvom prof. dr. Mihe Humarja in prof. dr. Ivana Bratka, naslavlja ozko grlo v slovenski praksi analiziranja cvetnega prahu.

Ključne besede

melisopalnologija, med, umetna inteligenca, globoko učenje, klasifikacija pelodnih zrn, podatkovne zbirke, Slovenija, sledljivost porekla, analiza kakovosti

Abstract

Honey is one of the oldest natural sweeteners and occupies a unique position at the intersection of nutrition, tradition, and trade. As both a natural product and a high-quality food item, ensuring its authenticity and quality is crucial for consumer food safety—especially today, when adulteration, mislabeling, and other forms of fraud regarding its origin have become a persistent problem.

In the European Union, increasing regulatory pressures are encouraging producers to provide more precise information about provenance, with pollen analysis (melissopalynological analysis) becoming one of the key methods for verifying the botanical and geographical origin of honey. However, this method remains time-consuming, technically demanding, and dependent on a limited number of specialists qualified to perform it.

In this essay, I present:

- (1) the significance of honey as a food product and the need for stricter quality control;
- (2) the regulatory and market context of honey quality assurance, particularly in the EU and Slovenia, including geographical indications and forthcoming labeling changes;
- (3) the rationale for modernizing the approach through the automation of melissopalynological analysis using artificial-intelligence methods; and finally
- (4) the way in which the joint interdisciplinary research of the tutoring group for Environmental Protection and Tourism and the tutoring group for Computer Science, under the mentorship of Prof. Dr. Miha Humar and Prof. Dr. Ivan Bratko, addresses the bottleneck in Slovenian pollen-analysis practice.

Keywords

Slovenian honey, cultural heritage, geographical indications, melissopalynology, artificial intelligence, interdisciplinary research

1 UVOD

Med je eno najstarejših sladil in zavzema edinstveno mesto na presečišču prehrane, tradicije in trgovine. Ker je med hkrati naravni produkt in obenem visoko kakovosten prehrambni izdelek, je zagotavljanje njegove pristnosti in kakovosti ključnega pomena za prehransko varnost potrošnikov – še posebej v današnjem času, ko so njegovo ponarejanje, napačno označevanje in druge goljufije glede porekla dlje trajajoč problem. V Evropski uniji naraščajoči regulativni pritiski proizvajalce spodbujajo

k zagotavljanju natančnejših informacij o izvoru, pri čemer se analiza cvetnega prahu (melisopalinološka analiza) vse bolj uveljavlja kot ena izmed ključnih metod za preverjanje kakovosti medu z vidika njegovega botaničnega in geografskega porekla. Istočasno pa je ta metoda časovno neučinkovita, zahtevna in odvisna od omejenega števila strokovnjakov, ki so usposobljeni za njeno izvajanje. V tem eseju predstavljam: (1) pomen medu kot prehranskega izdelka in potrebo po strožjem nadzoru kakovosti; (2) regulativni in tržni kontekst nadzora kakovosti medu, zlasti v EU in Sloveniji, vključno z geografskimi označbami in prihajajočimi spremembami pri označevanju; (3) razloge za poskus modernizacije pristopa z avtomatizacijo melisopalinološke analize s pomočjo pristopov umetne inteligence; ter (4) ugotovitve skupne interdisciplinarne raziskave tutorske skupine za Varstvo okolja in turizem ter tutorske skupine za Računalništvo, pod mentorstvom prof. dr. Mihe Humarja in prof. dr. Ivana Bratka, ki naslavlja ozko grlo v slovenski praksi analiziranja cvetnega prahu.

2 MED KOT ŽIVILO IN POTREBA PO NADZORU NJEGOVE KAKOVOSTI

2.1 Prehranski, kulturni in ekonomski pomen medu

Arheološki dokazi o tem, da je med del človeške prehrane, segajo približno 9.000 let v preteklost. Jamarska poslikava iz Cueve de la Araña v Španiji, stara okoli 8.000–9.000 let, prikazuje človeka, ki pleza po vrvi in skuša vzeti med iz čebeljega panja, medtem ko ga obletavajo čebele (slika 1) [1, 2].



Slika 1:
Stenska poslikava v jami Cueva de la Araña v Španiji (najzgodnejši dokaz o človeškem pridobivanju medu) [40]



Slika 2:

Upodobitev staroegipčanskega pridobivanja medu, stenska poslikava v Sončnem templju faraona Neusera [50]

Egipčani so že takrat selili panje vzdolž reke Nil, da so čebele lahko sledile cvetenju rastlin – to velja za najzgodnejšo obliko nomadskega čebelarstva [3, 4]. Grki in Rimljani so čebelarstvo nadgradili; že Aristotel je v 4. stoletju pr. n. št. pisal o vedenju čebel [3, 5]. Čebelarstvo se je nato hitro razširilo po vsej Evropi. V srednjem veku so bili čebelnjaki pogosti zlasti v okolici samostanov, kjer so med uporabljali tako za hrano kot tudi za sveče in zdravila [5]. Stari Slovani so poznali predvsem gozdno čebelarjenje, pri katerem so med pridobivali iz naravnih bivališč čebel v drevesih in skrbno označevali lastništvo dreves, za kar obstajajo podatki iz območja Poljske. Za območje Slovenije obstajajo pisni viri, ki navajajo intenzivno pridelavo in prodajo medu v času Karantanije, kjer so že razvili naprednejše čebelarjenje v panjih ter med tudi izvažali. V srednjem veku so na slovenskem med, vosek in panji predstavljali pomemben del fevdalnih dajatev, z razvojem kmetijstva pa se je čebelarjenje preselilo iz gozdov k domačijam, ob čemer je pridelavo medu povečala tudi medonosna žitarica ajda. Janez Vajkard Valvasor je v svojem delu Slava vojvodine Kranjske prvi opisal čebelarstvo na Kranjskem, vključno s čebelnjaki, trgovino z medom in njegovo široko uporabo [43]. Sloveniji je bilo čebelarstvo v 17.–18. stoletju že izjemno razvito. Anton Janša (1734–1773), pionir sodobnega čebelarstva, je bil učitelj čebelarstva na cesarskem dvoru na Dunaju, imenovan s strani cesarice Marije Terezije [6, 7]. Napisal je dva pomembna priročnika: Razprava o rojenju čebel (Abhandlung vom Schwärmen der Bienen, 1771) ter Popolni nauk o čebelarstvu (Vollständige Lehre von der Bienenzucht, 1775) (slika 3) [6, 7]. Na njegov rojstni dan, 20. maja, danes obeležujemo Svetovni dan čebel, ki so ga Združeni narodi razglasili leta 2017 na pobudo Slovenije [8, 9].



Slika 3:

Razprava o rojenju čebel in Popolni nauk o čebelarstvu Antona Janše [39]

Slovenija je zaradi svoje izjemne čebelarске tradicije, ki jo je z vpisom na Seznam nesnovne kulturne dediščine človeštva UNESCO leta 2022 uradno prepoznal tudi UNESCO, pogosto opisana kot »čebelarška država« (slika 4) [10]. Število čebelarjev na število prebivalcev je med najvišjimi v Evropski uniji – približno 4–5 čebelarjev na 1.000 prebivalcev [11]. Leta 2019 je 10.145 čebelarjev skrbelo za približno 208.000 panjev, kar pomeni povprečno 21 panjev na čebelarja [12].



Slika 4:

Unesco je leta 2022 nesnovno dediščino slovenskega čebelarstva vpisal na Seznam svetovne dediščine [42]

Edina čebelja podvrsta, ki jo je v Sloveniji skladno z zakonodajo dovoljeno gojiti, je kranjska sivka (*Apis mellifera carnica*) (slika 5) [14]. Gre za avtohtono in genetsko zaščiteno podvrsto, katere vzreja matic poteka na odobrenih vzrejališčih, kjer se vodijo rodovniške knjige [15]. Proizvodnja medu je na letni ravni močno odvisna od ustreznih vremenskih pogojev in čebelje paše. Leta 2020 je tako proizvodnja medu na območju Slovenije znašala približno 1.293 ton, medtem ko je zgodovinski vrh leta 2001 dosegel proizvodnjo 2.550 ton [13]. Stopnja samooskrbe z medom je leta 2020 znašala približno 67 % [13], v letu 2024 pa 48 % .



Slika 5:

Kranjska čebela – Apis Mellifera Carnica [42]

Manko zaloge na domačem trgu moramo dopolnjevati z uvozom. To zahteva strog nadzor kakovosti in preverjanje porekla [12]. Glede na visoko tržno vrednost medu in prepoznano visoko stopnjo tveganja za ponarejanje (npr. z dodajanjem sladkornih sirupov idr.) je ugotavljanje neoporečnosti kemijske sestave in geografskega ter botaničnega izvora medu ključno za ohranjanje varnosti hrane, s tem pa tudi zaupanja potrošnikov. Na strani proizvajalcev pa s tem skrbimo za zaščito tradicije in lokalnih čebelarских družin.

2.2 Izzivi nadzora kakovosti in laboratorijske zahteve

Z vidika zakonodaje in trga mora med izpolnjevati več kakovostnih meril:

1. fizikalno-kemijska merila (vsebnost vode, profil sladkorjev, električna prevodnost, vsebnost HMF, encimske aktivnosti, količina netopnih delcev, kislost ipd.);
2. senzorična oziroma organoleptična merila (okus, vonj, barva);
3. melisopalinološka analiza, ki potrjuje botanični in geografski izvor medu.

Številni nacionalni in evropski organi te preiskave zahtevajo ali priporočajo v kombinaciji [16]. Celovit nadzor kakovosti tehnično gledano zahteva usposobljeno osebje, kalibrirano opremo, čas in ustrezne finančne vire. Zlasti analiza cvetnega prahu je močno odvisna od strokovnega znanja in je časovno zahtevna, saj vključuje mikroskopsko prepoznavanje in štetje posameznih zrn različnih vrst cvetnega prahu, kar je lahko, skladno z rezultati študij, podvrženo razlikam med izvajalci [17]. Zaradi vseh naštetih omejitev je izvedba melisopalinološkega vzorčenja pogosto omejena, kar predstavlja ozko grlo pri preverjanju porekla medu v večjem obsegu [17].

3 REGULATIVNI, PRAVNI OKVIR V EU IN SLOVENIJI

Geografske označbe (GO) predstavljajo osrednji instrument Evropske unije za zaščito tradicionalnih prehranskih proizvodov, saj povezujejo kakovost izdelka z njegovim geografskim poreklom, lokalnimi naravnimi pogoji in tradicionalnim znanjem, ki predstavlja del kulturne dediščine držav. Za pridelavo medu imajo GO posebno vlogo, ker botanična in okoljska raznolikost neposredno vplivata na njegove lastnosti, kar omogoča diferenciacijo medov glede na izvor. Za učinkovito delovanje sistema GO je ključno jasno opredeljen zakonodajni okvir, ki določa pravila glede sestave, označevanja in preverjanja porekla. Ta okvir je v Evropski uniji vzpostavljen na ravni skupne zakonodaje, ki jo dopolnjujejo nacionalni predpisi držav članic. V nadaljevanju so zato predstavljeni ključni elementi evropske in nacionalne zakonodaje, ki urejajo področje medu in njegovih geografskih označb.

3.1 Geografske označbe (GO) medu

Ključni mehanizem, s katerim lahko čebelarji izboljšajo kredibilnost glede pristnosti medu, je uporaba geografskih označb. Najbolj poznana je zaščitena označba porekla (ZOP) in zaščitena geografska označba (ZGO) [24]. Geografska označba povezuje izdelek z določenim območjem ter njegovimi edinstvenimi okoljskimi, botaničnimi

ali proizvodnimi pogoji. Za uveljavitev zaščite pa je treba imeti zanesljive analitske dokaze, da izdelek dejansko izvira iz navedenega območja. Pri medu to običajno pomeni, da se »cvetnopršni odtis«, torej sestava in delež posameznih vrst cvetnega prahu v vzorcu, (ter nekatere kemijske in organoleptične lastnosti) ujema z referenčno bazo rastlin za določeno regijo [25].

Slovenija že uporablja geografske označbe za med. Na primer, »Slovenski med z zaščiteno geografsko označbo« lahko imajo medovi, kot so cvetlični, smrekov, akacijev, gozdni, lipov, kostanjev in hojev med [26]. Poleg ZGO Slovenski med imamo v Sloveniji še tri tipe medu, zaščitene z Zaščiteno označbo porekla (ZPO), Kraški med (akacijev, cvetlični, gozdni, lipov, kostanjev, divje češnje, rešeljike in žepkov), Kočevski gozdni med (gozdni, smrekov, hojev in lipov med) in Istrski med (žajbljev, akacijev, kostanjev, cvetlični, gozdni, šetrajev in lipov med) [44] (slika 6). Da bi bile geografske označbe verodostojne, mora biti analiza cvetnega prahu dovolj natančna, da lahko ločuje medove iz različnih območij, tudi kadar se rastlinske vrste deloma prekrivajo [25, 26]. V okviru geografskih označb analiza cvetnega prahu ni izbirna, temveč predstavlja ključni verifikacijski instrument, s katerim se potrjuje, da med dejansko prihaja iz navedenega območja in ne npr. iz sosednje regije s podobno vegetacijo.



Slika 6:
Slovenski med z zaščiteno geografsko označbo ter Kraški in Kočevski gozdni med z zaščiteno označbo porekla [42]

3.2 Direktiva EU o medu in spremembe pri označevanju

Osrednji evropski pravni okvir, ki ureja področje medu, je Direktiva 2001/110/ES, ki opredeljuje pojem medu, določa merila sestave ter pravila označevanja in navajanja porekla [18]. Direktiva (EU) 2024/1438, ki spreminja direktivo iz leta 2001, pa uvaja strožja pravila glede sledljivosti in označevanja porekla, ki se bodo začela uporabljati 14. junija 2026 [19]. Z njeno uveljavitvijo bodo morale oznake na medu navajati državo ali države izvora, pri mešanicah medu pa tudi odstotni delež posameznega izvora na podlagi dokumentacije o sledljivosti [19]. Za mešanice, ki vsebujejo med iz več kot štirih držav, lahko države članice dovolijo, da se navedejo le štirje največji deleži, če ti predstavljajo več kot 50 % celotne količine, preostali izvori pa morajo biti vseeno navedeni v padajočem vrstnem redu [19]. Ker je cvetni prah naravna

sestavina medu, direktiva po novem pooblašča Evropsko komisijo, da določi merila za ugotavljanje botaničnega ali geografskega izvora medu [19]. Zahteva, da mora med ohraniti »pomembno količino cvetnega prahu« (razen, ko se ta lahko filtrira iz tehnično upravičenih razlogov), je v novi direktivi posebej poudarjena kot mehanizem za ugotavljanje pristnosti in preprečevanje ponarejanja [20].

3.3 Nacionalne in evropske zakonodajne posebnosti; pravila za monofloralne medove

Direktiva 2001/110/ES določa le splošna merila sestave medu, ne določa pa podrobneje pragov vsebnosti cvetnega prahu oziroma t. i. organoleptičnih pragov za monofloralne medove [23]. Zato je veliko držav članic EU sprejelo nacionalna pravila, ki določajo minimalne organoleptične pragove za posamezne vrste monofloralnih medov (npr. kostanjev, akacijev, lipov) [23]. Tako lahko nekatere nacionalne smernice zahtevajo, da monofloralni med vsebuje npr. $\geq 80\%$ cvetnega prahu iz navedene rastline, čeprav se natančne vrednosti razlikujejo glede na državo in rastlinsko vrsto [23]. Ta neusklajenost predpisov otežuje nadzor in enotno izvajanje zakonodaje v okviru Evropske unije [21]. Poleg tega je treba poudariti, da mora ustreznost vzorcev medu temeljiti na analizi cvetnega prahu in biti obenem potrjena z ustreznimi fizikalno-kemijskimi in organoleptičnimi lastnostmi [21] zaradi postopka njegove pridelave in ker na kemijske, organoleptične in mikroskopske parametre vpliva veliko različnih parametrov. Z letom 2026, ko bodo začela veljati nova pravila o označevanju, bo preverjanje porekla na osnovi cvetnega prahu postalo nujno, zaradi česar bodo proizvajalci in nadzorni organi potrebovali zanesljiva in (časovno) učinkovita orodja, s katerimi bo mogoče preveriti, ali se navedeni deleži in izvor ujemajo z izsledki mikroskopskega, melisopalinološkega preverjanja [22].

3.4 Slovenska zakonodaja na področju medu

V Sloveniji področje medu ureja predvsem Pravilnik o medu, ki je usklajen z Direktivo 2001/110/ES in določa minimalne zahteve glede sestave, kakovosti in označevanja medu. Pravilnik opredeljuje ključne fizikalno-kemijske parametre, kot so vsebnost vode, električna prevodnost, vsebnost hidroksimetilfurfurala (HMF) ter encimska aktivnost (diastazno število), ki morajo biti znotraj predpisanih mej za zagotavljanje kakovosti in svežine medu. Poleg splošnih zahtev pa imajo pomembno vlogo tudi specifikacije za med z zaščitnimi geografskimi označbami, ki dodatno opredeljujejo botanične, organoleptične in melisopalinološke kriterije za posamezne vrste medu. Te specifikacije pogosto vključujejo minimalne deleže značilnega cvetnega prahu ter opis senzoričnih lastnosti, ki morajo ustrezati referenčnim profilom za določeno geografsko območje. V praksi to pomeni, da mora biti ustreznost medu potrjena s kombinacijo melisopalinološke analize ter fizikalno-kemijskih in organoleptičnih metod, saj na končne lastnosti vpliva več dejavnikov, vključno z rastlinskim izvorom, podnebnimi razmerami in načinom pridelave. Kljub relativno dobro opredeljenemu zakonodajnemu okviru pa ostajajo izzivi, povezani z interpretacijo mejnih vrednosti, razpoložljivostjo referenčnih baz ter zagotavljanjem ponovljivosti analiz, kar je še

posebej pomembno v kontekstu vse strožjih zahtev glede sledljivosti in označevanja porekla.

4 ANALIZA CVETNEGA PRAHU (MELISOPALINOLOGIJA): METODA, IZZIVI IN POTENCIAL AVTOMATIZACIJE

Melisopalinologija je znanstvena veda, ki preučuje zrna cvetnega prahu v medu ter njihov botanični in geografski izvor [27]. V praksi to pomeni, da se vzorec medu najprej obdela – običajno se raztopi, centrifugira, spere in po potrebi acetolizira, nato se pripravijo mikroskopski preparati, na katerih se zrna cvetnega prahu prepoznajo (pogosto do ravni rodu ali vrste), preštejejo in izražajo v odstotkih [27, 28, 34]. V analizi so lahko omenjeni tudi cvetni prahovi pomembnih vrst, ki so opaženi v nedoločljivih deležih (običajno manj kot 1 %), a so pomembni za karakterizacijo. Iz dobljene relativne zastopanosti posameznih taksonov je mogoče sklepati o prevladujočih rastlinskih virih in jih primerjati z referenčnimi »prstnimi odtisi« znanih regij ali botaničnih skupin [27, 29, 34]. Ker so nekateri rastlinski taksoni bolj značilni za določene regije ali rastlinske združbe, lahko spekter pomaga potrditi ali ovreči deklarirani izvor medu [30]. V Sloveniji se melisopalinološke analize izvajajo po harmoniziranih metodah Mednarodne komisije za med (IHC), ki jih uporablja tudi Kmetijski inštitut Slovenije v sodelovanju s Čebelarsko zvezo Slovenije, pri čemer se botanično poreklo določa z mikroskopsko analizo po postopku Piana in drugih (2006) [34].

Številne raziskave dokazujejo, da analiza cvetnega prahu omogoča razlikovanje medov glede na botanični ali geografski izvor [27, 29, 34]. Kljub temu obstajajo omejitve:

1. podzastopanost ali nadzastopanost določenih vrst cvetnega prahu zaradi razlik v prenosu ali obnašanju čebel pri paši,
2. prisotnost vetrocvetnega oziroma nektarju tujega cvetnega prahu,
3. težavna ali dvoumna morfološka določitev zrn,
4. medletne in sezonske razlike v sestavi cvetnega prahu tudi znotraj istega panja ali lokacije [30, 31, 34].

Za kvantitativno določanje se pogosto uporablja Neubauerjeva izboljšana celična komora, ki omogoča natančno štetje števila zrn na gram medu [28]. Metoda, prvotno uporabljena v hematologiji, je bila prilagojena za čebelarske analize ter validirana kot standardna metoda za kvantitativno melisopalinologijo [28, 31].

4.1 Izzivi ročne analize cvetnega prahu

Ročna melisopalinologija se sooča z več pomembnimi ozkimi grli [34–36]:

- Časovna in delovna zahtevnost: priprava mikroskopskih preparatov, pregledovanje vzorcev, prepoznavanje in štetje stotin do tisočev zrn cvetnega prahu je izjemno počasno.
- Omejeno strokovno znanje: le malo strokovnjakov (usposobljenih palinologov)

zna zanesljivo določiti taksone cvetnega prahu, pri čemer so razlike med analitiki pogosto znatne, kar potrjujejo tudi rezultati primerjalnih testov med laboratoriji [31, 35].

- Omejena pretočnost: pri nacionalnih nadzorih ali večjih proizvajalcih količina vzorcev pogosto presega zmogljivosti človeške obdelave, kar povzroča časovne zamude pri preverjanju pristnosti [34].
- Težave s skalabilnostjo: ko bo nova direktiva EU zahtevala označevanje deležev porekla, bo število potrebnih analiz (npr. več vzorcev na serijo ali pošiljko) še naraslo; ročne metode pa tega ne bodo zmogle podpreti v zadostnem obsegu [19, 34].
- Subjektivnost in napake: utrujenost analitika ali dvoumna morfologija zrn lahko povzročita napačne klasifikacije ali netočna štetja [35].

Ker ima Slovenija trenutno le enega pooblaščenega strokovnjaka za analizo cvetnega prahu v medu, kar izhaja iz konteksta nacionalnega projekta karakterizacije čebeljih pridelkov, ta oseba predstavlja ozko grlo sistema: vsa preverjanja porekla na osnovi cvetnega prahu morajo potekati prek enega človeka, kar omejuje pretok vzorcev, podaljšuje postopke certificiranja in lahko zavira rast trga [34].

4.2 Uporaba UI metod v melisopalinologiji v svetu

Na področju avtomatizirane analize peloda in mikroskopskih vzorcev je bilo v zadnjih letih razvitih več pristopov, ki temeljijo na umetni inteligenci in računalniškem vidu. Ti sistemi omogočajo samodejno zaznavanje, štetje in klasifikacijo pelodnih zrn na podlagi mikroskopskih slik ali optičnih senzorjev, pogosto z visoko natančnostjo ter bistveno hitreje kot ročne metode [45]. Primeri vključujejo globoke nevronske mreže (npr. YOLO) ter integrirane sisteme z mikroskopijo ali optičnimi merilniki, ki omogočajo skoraj realnočasovno analizo vzorcev [47].

Poleg raziskovalnih rešitev so se na trgu že pojavili tudi komercialni sistemi, kot je platforma Honey.AI, ki združuje robotiziran digitalni mikroskop, računalniški vid in globoko učenje za avtomatsko analizo peloda neposredno na lokaciji uporabnika [49]. Takšni sistemi omogočajo hitro, standardizirano in ponovljivo analizo brez potrebe po visoko specializiranem osebju, pri čemer lahko obdelajo velike količine slik in prepoznajo pelod različnih rastlinskih vrst na podlagi predhodno naučenih modelov [49].

Kljub tem prednostim pa imajo obstoječe rešitve pomembne omejitve. Njihova učinkovitost je močno odvisna od kakovosti in reprezentativnosti učnih podatkov, ki so pogosto omejeni na specifične geografske regije ali omejen nabor vrst [48]. Posledično lahko sistemi brez ustreznih lokalnih referenčnih baz generirajo napačne ali pristranske rezultate. Dodatni izzivi vključujejo težave pri razlikovanju morfološko podobnih vrst ter omejeno sposobnost generalizacije na nove ali redke vrste, kar še vedno zahteva vključevanje strokovnjakov v validacijo rezultatov [46].

5 KAKO INTERDISCIPLINARNI PROJEKT ASEF TUTORSKIH SKUPIN NASLAVLJA SLOVENSKO OZKO GRLO AVTOMATIZACIJE MELISOPALINOLOŠKE ANALIZE

Osrednji cilj interdisciplinarnega projekta tutorskih skupin za Varstvo okolja in turizem ter Računalništvo je avtomatizacija analize cvetnega prahu v medu, kar pomeni razvoj sistema, ki bo iz mikroskopskih slik cvetnega prahu zmožen samodejno prepoznati, razvrstiti in količinsko oceniti posamezne vrste peloda. Takšna rešitev omogoča, da se podatki o sestavi medu uporabljajo za preverjanje njegovega geografskega in botaničnega izvora.

Z vidika slovenskega čebelarstva in gospodarstva ima ta pristop večplastne koristi:

1. Povečanje učinkovitosti in pretočnosti postopkov – omogoča obdelavo bistveno več vzorcev v krajšem času, kar pospešuje certificiranje in zmanjšuje zamude pri prodaji ali izvozu.
2. Decentralizacija postopkov – omogoča, da analize izvajajo tudi drugi laboratoriji, ne le en pooblaščen strokovnjak, kar krepi odpornost sistema in zmanjšuje administrativna tveganja.
3. Večja doslednost in objektivnost – zmanjšuje vpliv človeškega dejavnika ter povečuje zaupanje kupcev in nadzornih organov v rezultate.
4. Pripravljenost na novo zakonodajo EU – sistem neposredno podpira izpolnjevanje novih zahtev po navajanju deležev porekla na etiketi (od leta 2026 dalje).
5. Krepitev sistema geografskih označb (ZGO, ZOP) – omogoča znanstveno in analitsko podlago za zaščito slovenskih medov z geografskim poreklom, kar povečuje njihovo tržno vrednost in ugled v tujini.

V slovenskem kontekstu, kjer trenutno obstaja le en pooblaščen strokovnjak za analizo cvetnega prahu, bi avtomatizacija pomenila preboj – povečanje obsega melisopalinoloških analiz, posledično pa zmanjšanje ozkih grl in krepitev zagotavljanja kakovosti in kredibilnosti sestave slovenskega medu na domačem in mednarodnem trgu. S tem bi Slovenija utrdila svoj položaj kot država z visoko razvito tehnologijo in znanjem na področju čebelarstva.

Istočasno pa smo pri tem prepoznali določene omejitve in tveganja:

1. Neobstoj poenotene centralizirane podatkovne zbirke rastlinskih vrst in pelodov za Slovenijo in neobstoj digitaliziranih podatkov že opravljenih melisopalinoloških analiz, ki bi predstavljale referenčne rezultate.
2. Možnost napačne klasifikacije: napačna prepoznava peloda bi lahko vplivala na oceno porekla. Ukrepi: ohranitev manualnega pregleda pri mejnih primerih.
3. Spremembe v vzorcih (t. i. »premik domene«): sistem, usposobljen na določenih vzorcih, lahko težje prepozna nove vrste. Ukrepi: redno dopolnjevanje podatkov in prilagajanje modela.

4. Redke vrste peloda: manj pogoste vrste so lahko podzastopane. Ukrepi: razširitev slikovne baze in hierarhična klasifikacija (npr. najprej rod, nato vrsta).
5. Zaupanje uporabnikov: regulatorji in laboratoriji lahko sprva dvomijo v avtomatizirane rezultate. Ukrepi: uvedba preglednih kazalnikov zaupanja in revizijskih poročil.

Skupni cilj je vzpostaviti sistem, ki ne nadomešča strokovnjaka, temveč ga razbremeni rutinskih opravil in poveča zanesljivost postopkov. V okviru ASEF interdisciplinarnega projekta tutorskih skupin smo poskusili implementirati predlagane spremembe.

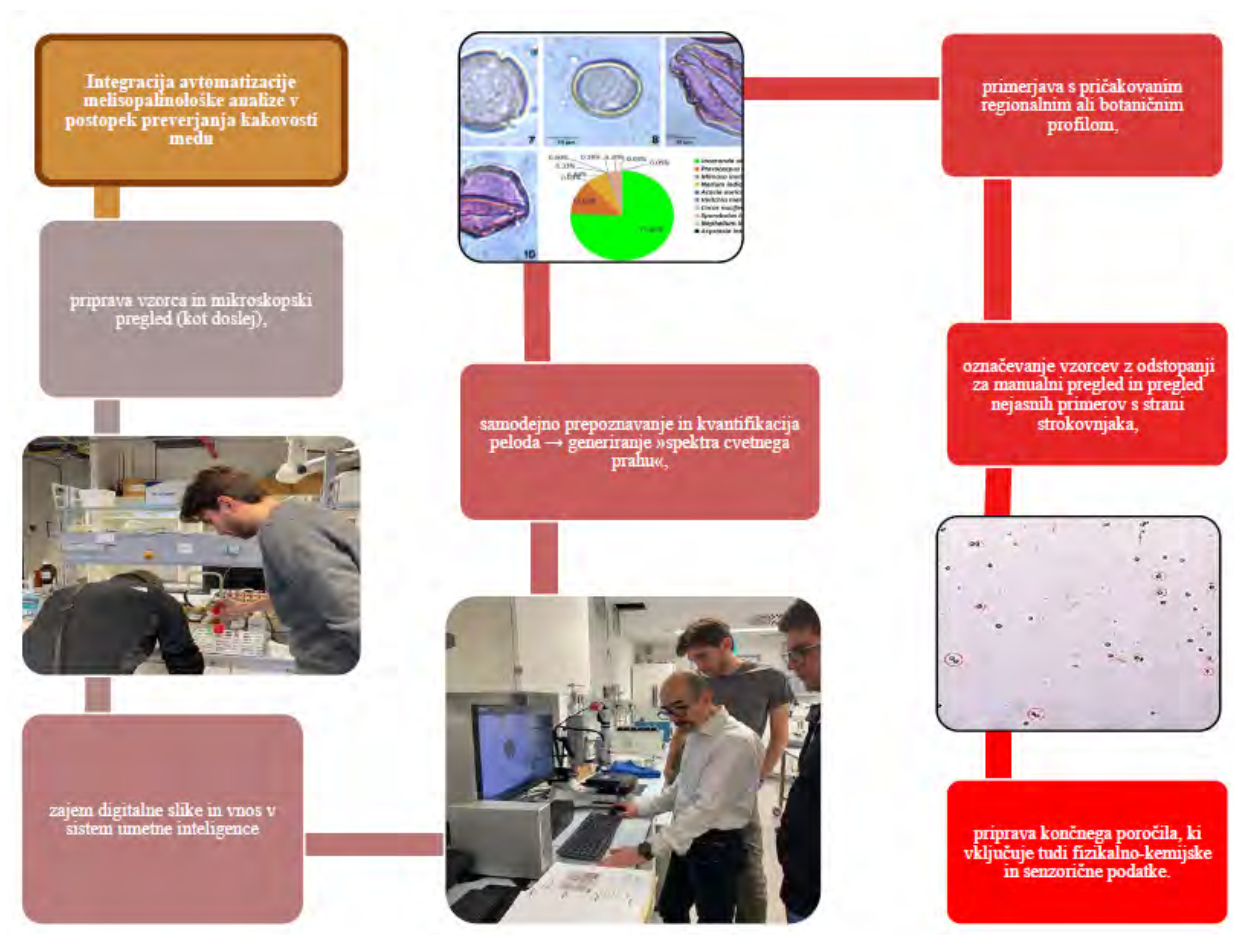
Pod vodstvom g. Aljaža Debelaka iz Čebelarske zveze Slovenije smo v sklopu ASEF tutorskih skupin izvedli vzorčenje treh vrst medu, na podlagi katerih smo na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani opravili mikroskopiranje z mikroskopom Hirox. Pridobljene mikroskopske slike smo pregledali in na njih označili posamezne vrste peloda. Ker število pridobljenih slik še ni zadostovalo minimalni potrebni količini za učenje računalniškega modela, smo nato za učenje uporabili drugo zbirko podatkov, ki je vsebovala slike peloda z območja Brazilije, o kateri kolegi podrobneje pišejo v svojem prispevku. Postopek učenja je bil uspešen, zato smo kot ključno ugotovitev naše raziskave prišli do sklepa, da je ta sistem avtomatizacije izvedljiv, vendar pa bi bila za uspešno učenje potrebna večja baza mikroskopskih slik peloda z območja Slovenije. Raziskavo smo sklenili z oblikovanjem predlaganega delotoka, prikazanega v Shemi 1.

5.1 Integracija avtomatizacije melisopalinološke analize v postopek preverjanja kakovosti medu

V praksi bi bil predlagani sistem avtomatizirane melisopalinološke analize integriran v obstoječi laboratorijski potek:

1. priprava vzorca in mikroskopski pregled (kot doslej);
2. zajem digitalne slike in vnos v sistem umetne inteligence;
3. samodejno prepoznavanje in kvantifikacija peloda → generiranje »spektra cvetnega prahu«;
4. primerjava s pričakovanim regionalnim ali botaničnim profilom;
5. označevanje vzorcev z odstopanji za manualni pregled in pregled nejasnih primerov s strani strokovnjaka;
6. priprava končnega poročila, ki vključuje tudi fizikalno-kemijske in senzorične podatke.

Z večjo zanesljivostjo sistema se bo delež vzorcev, ki zahtevajo ročni nadzor, postopno zmanjševal. Za Slovenijo to pomeni krajši čas certificiranja, večjo frekvenco preverjanja medu z ZGO in boljšo konkurenčnost slovenskih pridelkov na evropskem trgu.



Slika 7:

Predlagani model integracije melisopalinološke analize v obstoječi delotok analize kakovosti medu (vir: osebni arhiv)

6 ZAKLJUČEK

Interdisciplinarna raziskava tutorskih skupin, v kateri smo se ukvarjali s kontekstom zagotavljanja avtentičnosti slovenskega medu kot dela kulturne dediščine Slovenije s pomočjo razvoja avtomatizirane analize cvetnega prahu v medu, je osvetlila nišno, a strateško priložnost za Slovenijo, da poveže svojo bogato čebelarstvo z najmodnejšimi znanstvenimi in tehnološkimi pristopi. Delo tutorske skupine je pri tem omogočilo povezovanje različnih strokovnih področij ter preizkus predlaganih rešitev v praksi, kar predstavlja pomemben korak od teoretičnih izhodišč k dejanski implementaciji. S tem bi lahko Slovenija ne le naslovila konkretno ozko grlo v sistemu preverjanja geografskega in botaničnega izvora medu, temveč vzpostavila model, kako se lahko kulturna dediščina in tehnološko inoviranje medsebojno krepi v korist gospodarstva, varovanja kulturne dediščine in varnosti hrane.

Z gospodarskega vidika avtomatizacija pomeni učinkovitejšo, preglednejšo in stroškovno ugodnejšo verifikacijo medu, kar neposredno povečuje konkurenčnost slovenskih čebelarjev in proizvajalcev ter prehranskih izdelkov. Hitrejše certificiranje omogoča boljši dostop na tuje trge, zlasti pri medu z zaščitnimi geografskimi označbami (ZGO, ZOP), kjer zaupanje v poreklo določa tržno vrednost. S tem projekt

prispeva h krepitvi izvozne blagovne znamke »Slovenski med«, spodbuja ustvarjanje dodane vrednosti na podežlju ter prispeva k ohranjanju ekonomske vitalnosti in medgeneracijskega prenosa znanja v čebelarških skupnostih.

Kulturno in dediščinsko gledano raziskava uteleša sinergijo med tradicijo in sodobnostjo. Čebelarstvo, vpisano na UNESCOV seznam nesnovne kulturne dediščine leta 2022, je v slovenski družbi več kot gospodarska dejavnost – je del nacionalne identitete in skupnostne solidarnosti. Razvoj analitičnih orodij, ki omogočajo zaupanje v pristnost in kakovost medu, prispeva k ohranjanju kulturne kontinuitete in hkrati modernizaciji dediščine. S tem projekt vzpostavlja zgled, kako je mogoče varovanje dediščine uresničevati skozi znanstveno inovacijo – s spoštovanjem tradicionalnega znanja, odgovornim odnosom do narave in uporabo napredne analitike za trajnostno prihodnost.

V celoti gledano projekt odpira novo poglavje v razvoju slovenskega čebelarstva: utrjuje znanstveno verodostojnost, krepi gospodarsko in kulturno suverenost ter postavlja temelje za trajnostno prihodnost, v kateri tradicija in znanost delujeta z roko v roki. Avtomatizirana analiza cvetnega prahu ni le tehnološka inovacija, temveč orodje za ohranjanje identitete, zaupanja v kakovost in globalne prepoznavnosti Slovenije kot dežele čebel.

7 VIRI IN LITERATURA

[1] González Morales M. R. et al. The earliest representation of honey gathering: Cueva de la Araña rock art, Spain. *Antiquity*. 2014; 88(340): 1226–1234.

[2] Roffet-Salque M. idr. Widespread exploitation of beeswax as a raw material in prehistoric Europe. *Nature*. 2015; 527: 226–230.

[3] Crane E. *The World History of Beekeeping and Honey Hunting*. London: Routledge; 1999.

[4] Hepburn H. R. in Radloff S. E. *Honeybees of Asia*. Berlin: Springer; 2011. [14]

[5] Dalby A. *Food in the Ancient World: From A to Z*. London: Routledge; 2003.

[6] Janša A. *Abhandlung vom Schwärmen der Bienen* [Razprava o rojenju čebel]. Dunaj: Kaiserliche Hofkammer; 1771.

[7] Janša A. *Vollständige Lehre von der Bienenzucht* [Popolni nauk o čebelarstvu]. Dunaj: Nachlass; 1775.

[8] Food and Agriculture Organization (FAO). *World Bee Day – Celebrating Anton Janša and the importance of bees*. Rim: FAO; 2018.

[9] United Nations. Resolution adopted by the General Assembly on 20 December 2017: World Bee Day (A/RES/72/211). New York: UN; 2017.

[10] UNESCO. *Beekeeping in Slovenia – A Way of Life*. Nomination form for Representative List of the Intangible Cultural Heritage of Humanity. Paris: UNESCO; 2022. [Pridobljeno 31. 10. 2025]. Dostopno na: <https://ich.unesco.org/doc/download.php?versionID=65579>

[11] I Feel Slovenia. *Slovenia – the Land of Bees*. Ljubljana: Slovenska turistična organizacija; 2023.

[12] Statistični urad Republike Slovenije (SURS). *Čebelarstvo v Sloveniji, 2019–2020*. Ljubljana: SURS; 2021.

- [13] Portal GOV.SI. Slovenija in čebelarstvo. Ljubljana: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano; 2021. [Pridobljeno 31. 10. 2025]. Dostopno na: <https://www.gov.si/zbirke/projekti-in-programi/svetovni-dan-cebel/slovenija-in-cebelarstvo/>
- [14] Zakon o živinoreji (ZŽiv). Uradni list Republike Slovenije, št. 18/02, 110/02. Ljubljana: MKGP; 2002.
- [15] Pravilnik o pogojih za odobritev vzrejališč čebeljih matic, testnih postaj in priznanje drugih organizacij v čebelarstvu ter o pogojih glede reje in prometa s čebeljim plemenskim materialom. Uradni list Republike Slovenije, št. 125/2003, str. 17009. Ljubljana: MKGP; 2003.
- [16] Pravilnik o medu. Uradni list Republike Slovenije, št. 4/11, 26/14. Ljubljana: MKGP; 2014.
- [17] Von der Ohe W., Persano Oddo L., Piana M. L., Morlot M. in Martin P. Harmonized methods of melissopalynology. *Apidologie*. 2004; 35 (Suppl. 1): S18–S25.
- [18] Evropski parlament in Svet Evropske unije. Direktiva 2001/110/ES o medu. Uradni list Evropskih skupnosti, L 10, 12. jan. 2002, 47–52.
- [19] Evropski parlament in Svet Evropske unije. Direktiva (EU) 2024/1438 z dne 14. maja 2024 o spremembi Direktive 2001/110/ES glede označevanja in sledljivosti porekla medu. Uradni list Evropske unije, L 2024/1438, 14. jun. 2024.
- [20] Véto-pharma. EU Honey Directive 2024/1438: What changes for beekeepers? [Internet]. 2024. [Pridobljeno 30. 9. 2025]. Dostopno na: <https://www.veto-pharma.com>
- [21] International Federation of Beekeepers' Associations (Apimondia). Standards and recommendations for monofloral honey identification in the EU. Apimondia Working Group on Honey Quality; 2022.
- [22] European Commission, DG AGRI. Implementation guidelines for Directive (EU) 2024/1438 – traceability and pollen origin verification. Brussels: European Commission; 2024.
- [23] Thrasyvoulou A., Tananaki C., Goras G., Karazafiris E., Dimou M., Liolios V., Kanelis D. in Gounari S. Legislation of honey criteria and standards. *Journal of Apicultural Research*. 2018; 57(1): 88–96.
- [24] European Commission. Geographical indications and quality schemes explained [Internet]. Brussels: DG AGRI; 2024. [Pridobljeno 30. 9. 2025]. Dostopno na: https://agriculture.ec.europa.eu/farming/geographical-indications-and-quality-schemes/geographical-indications-and-quality-schemes-explained_en.
- [25] Bodor Z., Kovács Z., Benedek C., Hitka G. in Behling H. Origin identification of Hungarian honey using melissopalynology, physicochemical analysis, and near infrared spectroscopy. *Molecules*. 2021; 26(23): 7274.
- [26] Čebelarstva zveza Slovenije. Pravilnik za Slovenski med z zaščiteni geografsko označbo [Internet]. Ljubljana: ČZS; 2009. [Pridobljeno 30. 9. 2025]. Dostopno na: https://www.czs.si/Files/Pravilnik%20SMGO-sprejet%2012%2003%202009-%20dopolnjen%2002%2007%202009_dopolnjen%2005.07.%202012.pdf
- [27] Barth O. M. O pólen no mel brasileiro. Graffica Luxor; 1989.
- [28] Hassanien M. M., El-Sherif M. E., Salem A. A. A. in Ali M. A. M. Quantitative pollen analysis of bee honey at certain apiaries in Qalyubia Governorate and available honey in the local market, Egypt. *Arab Univ J Agric Sci (Ain Shams Univ)*. 2018; 26(1): 303–311.
- [29] Anklam E. A review of analytical methods to determine the geographical and botanical origin of honey. *Food Chem*. 1998; 63(4): 549–562.
- [30] White J. W. Honey. *Adv Food Res*. 1978; 24: 287–374.

- [31] von der Ohe W., Persano Oddo L., Piana M. L., Morlot M. in Martin P. Harmonized methods of melissopalynology. *Apidologie*. 2004; 35(Suppl. 1): S18–S25.
- [32] Rutar R. in Kregar M. Pelodna analiza medu v Sloveniji – Cvetlični med. Ljubljana: Kmetijski inštitut Slovenije; 2006.
- [33] Bogdanov S. Harmonized methods of the International Honey Commission. Swiss Bee Research Centre; 2002.
- [34] Kandolf Borovšak A., Lilek N., Samec T., Bertonecelj J., Korošec M., Debelak A. in Janžekovič A. Aplikativna raziskava: Karakterizacija čebeljih pridelkov – Delno poročilo za leto 2024. Lukovica: Čebelarstva zveza Slovenije; 2024.
- [35] Hassanien M. M., El-Sherif M. E., Salem A. A. A. in Ali M. A. M. Quantitative pollen analysis of bee honey at certain apiaries in Qalyubia Governorate and available honey in the local market, Egypt. *Arab Univ J Agric Sci (Ain Shams Univ)*. 2018; 26(1): 303–311.
- [36] Čebelarstva zveza Slovenije. Karakterizacija slovenskega medu – metodologija in priporočila za laboratorijsko prakso. Notranje poročilo ČZS; 2024.
- [37] Atelšek S. Popolni nauk o čebelarstvu (slovenska izdaja) [Internet]. DEDI – Digitalna enciklopedija naravne in kulturne dediščine na Slovenskem; 2014. [Pridobljeno 30. 9. 2025]. Dostopno na: <http://www.dedi.si/dediscina/483-popolni-nauk-o-cebelarstvu-slovenska-izdaja>
- [38] Slovenska čebelarstva zveza. Slovenski med z zaščiteno geografsko označbo [Internet]. 2025. [Pridobljeno 30. 9. 2025]. Dostopno na: <https://www.okusi-med.eu/slovenski-med-z-zgo>
- [39] Šalehar A. Anton Janša, prvi učitelj čebelarstva na svetu. *Delo*. 16. nov. 2017: 15.
- [40] Museu de Prehistòria de València. Cueva de la Araña [Internet]. 2025. [Pridobljeno 30. 9. 2025]. Dostopno na: <https://mupreva.org/yacimientos/?q=es&id=3871>
- [41] UNESCO. Beekeeping in Slovenia – A way of life [Internet]. Paris: UNESCO; 2025. [Pridobljeno 30. 9. 2025]. Dostopno na: <https://ich.unesco.org/en/RL/beekeeping-in-slovenia-a-way-of-life-01857>
- [42] Slovenska čebelarstva akademija. Slovensko čebelarstvo [Internet]. 2025. [Pridobljeno 30. 9. 2025]. Dostopno na: <https://sca.kis.si/slovensko-cebelarstvo/>
- [43] Porenta T. Razvoj čebelarstva in društvene organiziranosti čebelarjev Zgornje Gorenjske. *Kronika*. 2017; 65(2): 159–174.
- [44] Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Potrjena specifikacija št. 33203-1/2017/116: Specifikacija izdelka »Istarski med«/»Istrski med« (ZOP). 2024. [Pridobljeno 30. 9. 2025]. Dostopno na: https://www.gov.si/assets/ministrstva/MKGP/PODROCJA/HRANA/HEME-KAKOVOSTI/CERTIFICIRANI-PROIZVAJALCI-IZBRANA-KAKOVOST/CERTIFICIRANI-PROIZVAJALCI-ZASCITENIH-KMETIJSKIH-PRIDELKOV/Istrski_med_Istarski_med.pdf
- [45] Yu X., Zhao J., Xu Z., Wei J., Wang Q., Shen F., Yang X. in Guo Z. Alpollen: An analytic website for pollen identification through convolutional neural networks. *Plants*. 2024; 13(22): 3118. Dostopno na: <https://doi.org/10.3390/plants13223118>
- [46] Mahmood T., Choi J. in Park K. R. Artificial intelligence-based classification of pollen grains using attention-guided pollen features aggregation network. *J King Saud Univ Comput Inf Sci*. 2023; 35(2): 740–756. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.01.013>
- [47] Jofre R., Tapia J., Troncoso J., Staforelli J., Sanhueza I., Jara A., Machuca G., Rondanelli-Reyes M., Lamas I., Godoy S. E. in Coelho P. YOLOv8-based on-the-fly classifier system for pollen analysis of *Eucryphia glutinosa* honey and assessment of its monoflorality. *J Agric Food Res*. 2025; 19: 101665. Dostopno na: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101665>

[48] Wäldchen J. in Mäder P. Machine learning for image-based species identification. *Methods Ecol Evol.* 2018; 9: 2216–2225. Dostopno na: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13075>

[49] Microfy Systems. Honey.AI technology: Automated pollen analysis using AI-powered digital microscopy [Internet]. 2026. [Pridobljeno 26. 3. 2026]. Dostopno na: <https://www.honey-ai.com/en/our-technology>

[50] Kritsky G. *The quest for the perfect hive: A history of innovation in bee culture.* Oxford: Oxford University Press; 2010.

Apiturizem: medena obljava trajnosti

Apitourism: a honeyed promise of sustainability

Jaka Godejša¹
prof. dr. Miha Humar (tutor)²

¹ Univerza na Primorskem, Fakulteta za turistične študije – Turistica, Obala 11a, 6320 Portorož

² Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

Korespondenca/Corresponding author: jaka.godejsa@fts.upr.si

Povzetek

Esej obravnava vlogo apiturizma pri doseganju ciljev trajnostnega razvoja, zlasti drugega cilja – Odprava lakote. Na podlagi slovenskih praks pokaže, kako apiturizem kot preplet čebelarstva, dediščine in turizma prispeva k ozaveščanju o pomenu čebel za prehransko varnost, spodbuja lokalne proizvajalce in ponuja inovativne turistične izkušnje. Čeprav apiturizem krepi ekonomsko stabilnost čebelarjev in ohranja kulturno dediščino, ostaja odprto vprašanje, ali resnično prispeva k prehranski varnosti ali zgolj reproducira tržne obljube trajnosti. Kritični pogled opozarja, da apiturizem ne more sam rešiti globalnih prehranskih izzivov, temveč mora biti del širšega sistema trajnostnega razvoja, ki povezuje turizem, kmetijstvo, tehnologijo in podnebne politike.

Ključne besede

apiturizem, trajnostni razvoj, prehranska varnost, inovacije, SDG

Abstract

The essay examines the role of apitourism in achieving the Sustainable Development Goals, with particular emphasis on the second goal – Zero Hunger. Based on Slovenian practices, it demonstrates how apitourism, as an intersection of beekeeping, heritage, and tourism, contributes to raising awareness of the importance of bees for food security, supports local producers, and offers innovative tourist experiences. While apitourism strengthens the economic stability of beekeepers and preserves cultural heritage, the question remains whether it genuinely contributes to food security or

merely reproduces market-driven promises of sustainability. A critical perspective highlights that apitourism alone cannot resolve global food challenges but must be embedded in a broader system of sustainable development that integrates tourism, agriculture, technology, and climate policy.

Keywords

apitourism, sustainable development, food security, innovation, SDG

1 UVOD

Turizem je ena izmed ključnih panog svetovnega gospodarstva [1] in družbenega napredka, hkrati nosi veliko odgovornost pri uresničevanju ciljev trajnostnega razvoja (v nadaljevanju SDG). Cilji trajnostnega razvoja (SDG) so globalni okvir Združenih narodov za odpravo revščine, zmanjšanje neenakosti in spopadanje s podnebnimi spremembami do leta 2030. Temeljijo na uravnoteženem razvoju družbe, gospodarstva in okolja ter spodbujajo trajnostno rabo naravnih virov za prihodnje generacije. Združeni narodi (ZN) prepoznavajo turizem kot sredstvo za doseganje večine od 17 ciljev trajnostnega razvoja, saj spodbuja gospodarsko rast, zaščito okolja in socialno vključenost. Turizem ima močan vpliv na doseganje ciljev, kot so odprava revščine (SDG 1), dostojno delo in gospodarska rast (SDG 8), trajnostna poraba in proizvodnja (SDG 12) ter ohranjanje kopenskih in morskih ekosistemov (SDG 14 in 15) [2].

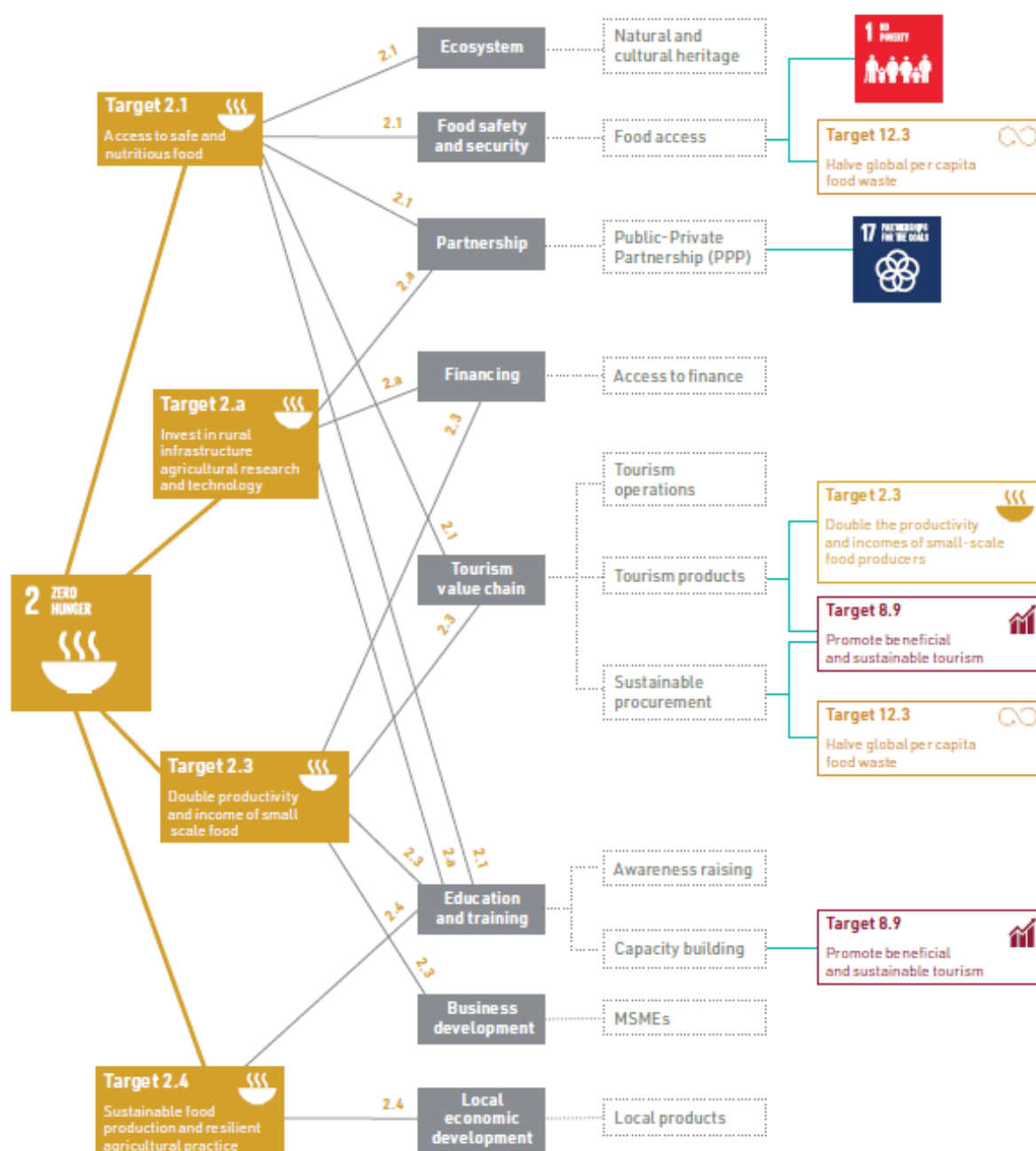
V nadaljevanju se bomo posvetili cilju SDG 2 – Odprava lakote. Ta cilj stremi k izkoreninjenju lakote, izboljšanju prehranske varnosti, trajnostnemu kmetijstvu in povečanju produktivnosti malih kmetov.

Cilj SDG 2 – Odprava lakote vključuje štiri ključne podcilje, ki so močno povezani s turizmom in prehransko varnostjo [3]:

1. 2.1 Dostop do varne, hranljive in zadostne hrane – do leta 2030 zagotoviti vsem, še posebej revnim in ranljivim skupinam, dostop do varne, hranljive in zadostne hrane skozi vse leto.
2. 2.3 Podvojitev produktivnosti in dohodkov malih proizvajalcev hrane – zlasti žensk, avtohtonih prebivalcev, družinskih kmetov in ribičev, s pomočjo enakopravnega dostopa do zemlje, znanja, finančnih storitev, trgov in drugih virov.
3. 2.4 Trajnostna pridelava hrane in odporne kmetijske prakse – ki povečujejo produktivnost in proizvodnjo, pomagajo ohranjati ekosisteme ter izboljšujejo kakovost tal in odpornost na podnebne spremembe.
4. 2.a Povečanje vlaganj v podeželsko infrastrukturo, kmetijske raziskave in razvoj tehnologije – z namenom krepitev zmogljivosti kmetijske proizvodnje, zlasti v manj razvitih državah.

Turizem ima več vzvodov, s katerimi lahko prispeva k uresničevanju teh podciljev [3]:

- Spodbujanje trajnostne pridelave hrane: Turistična industrija lahko poveča povpraševanje po lokalno pridelani hrani in s tem podpre male kmete, čebelarje ter agroekološke prakse.
- Integracija agroturizma v turistično vrednostno verigo: Agroturizem, katerega podvrsta je tudi apiturizem, ki ga obravnavamo v prispevku, omogoča obiskovalcem neposreden stik s pridelavo hrane, kar spodbuja trajnostne prehranske izbire in krepi povezave med turizmom in kmetijstvom.
- Izobraževanje in ozaveščanje: Turizem lahko služi kot platforma za ozaveščanje o pomenu prehranske varnosti, trajnostnega kmetijstva in vpliva podnebnih sprememb na pridelavo hrane.



Slika 1:
SDG 2 – Odprava lakote (UNWTO) [3]

V nadaljevanju predstavljamo apiturizem in njegov potencialni prispevek k uresničevanju cilja trajnostnega razvoja – Odprava lakote. Slovenija kot vodilna država na področju apiturizma [4] predstavlja pomemben vir inovativnih turističnih praks ter referenčni primer za regije, ki so na tem področju manj razvite.

Da bi razumeli potencial apiturizma za prispevanje k prehranski varnosti, je najprej treba osvetliti vlogo čebel v kmetijskih sistemih in globalni pridelavi hrane. Čebele kot ključni opraševalci igrajo temeljno vlogo pri zagotavljanju prehranske varnosti. Ocenjuje se, da je približno tretjina svetovne pridelave hrane neposredno odvisna od živalskega opraševanja, pri čemer imajo čebele osrednjo vlogo [5, 6]. Opraševanje ne vpliva le na količino pridelka, temveč tudi na kakovost plodov, njihovo velikost, obliko in hranilno vrednost, zlasti pri sadju, zelenjavi, oreščkih in oljnicah, ki so ključni viri vitaminov in mikrohranil [7, 8]. Upad populacij opraševalcev zato neposredno ogroža prehransko varnost in trajnost kmetijskih sistemov [5].

Dodati je potrebno, da trajnost čebelarstva ni samoumevna, temveč je odvisna od konkretnih praks upravljanja, vpliva na divje opraševalce in rabe krajine [5, 9]. Med intenzivnim in ekološko usmerjenim čebelarstvom obstajajo pomembne razlike glede vpliva na biotsko raznovrstnost in dolgoročno stabilnost agroekosistemov [10].

Trajnost v kontekstu razvoja pomeni zadovoljevanje potreb sedanjih generacij brez ogrožanja možnosti prihodnjih generacij, da zadovoljijo svoje potrebe [11]. V kmetijstvu in turizmu se trajnost običajno razume kot uravnoteženje okoljskih, ekonomskih in družbenih vidikov delovanja. To vključuje ohranjanje biotske raznovrstnosti, odgovorno rabo naravnih virov ter zagotavljanje dolgoročne ekonomske vzdržnosti in družbene pravičnosti [12]. V tem okviru je mogoče čebelarstvo in apiturizem presojati glede na njihov prispevek k trajnostnemu razvoju.

Apiturizem, kot podvrsta agroturizma, se je razvil iz čebelarstva in apiterapije ter združuje ekološke, prehranske in zdravstvene vidike čebeljih pridelkov. Apiturizem definiramo kot obliko turizma, ki temelji na doživljanju sveta čebel in čebelarstva. Obiskovalcem ponuja možnost ogleda čebelnjakov, poskušanja čebeljih pridelkov ter doživljanja apiterapije, kjer se uporabljajo čebelji izdelki za dobro počutje in zdravje. Poleg promocije čebelarstva prispeva k ohranjanju naravne in kulturne dediščine ter trajnostnemu razvoju podeželja. Ponuja edinstveno izkušnjo, kjer lahko turisti ne le obiščejo čebelnjake, čebelarske muzeje in na prostem postavljene razstave, temveč spoznajo zgodovino in tradicijo čebelarstva ter se povežejo s kulturno in naravno dediščino določene regije [13]. Poleg tega je apiturizem še posebej zanimiv za turiste, ki se sicer ukvarjajo s čebelarstvom.

Prispevek se osredotoča na inovacije v slovenskem apiturizmu ter osvetljuje njihov potencialni prispevek k cilju odprave lakote. Ob tem odpira vprašanje, ali bi bilo treba razvoj apiturizma bolj strateško usmerjati v podporo ciljem trajnostnega razvoja.

2 INOVACIJE ZA DOSEGANJE CILJEV TRAJNOSTNEGA RAZVOJA

Kot je razvidno iz postavljenih podciljev, zgolj ozaveščanje turistov in turističnih deležnikov o ciljih trajnostnega razvoja ni dovolj. Potreben je proaktiven pristop, ki bo na različnih stičnih točkah uvajal različne tipe inovacij in oblikovnih elementov. Inovacije po Schumpeterju [14] razumemo kot početi nove stvari ali početi obstoječe stvari na nov način. Inovacija postane inovacija, ko preide v uporabo, ne glede na to, ali gre za družbeno ali tehnično inovacijo. V turizmu med drugim inoviramo, da bi izboljšali izkušnjo gosta, krepili konkurenčno prednost podjetja/destinacije, optimizirali poslovanje in se usmerjali v trajnost. Da bi bolje razumeli, kako inovativne prakse v Sloveniji prispevajo k trajnostnemu razvoju, bomo te prakse predstavili skozi različne tipe inovacij, kot so te predstavljene v modelu EDIT (Experiences, Design, Innovation and Touch Points) [15]. Model EDIT predstavlja tridimenzionalni okvir razvoja novih storitev, ki povezuje tipe inovacij, oblikovne elemente in stične točke uporabniške poti ter omogoča analizo, kako inovacije prispevajo k celostni turistični izkušnji.

V nadaljevanju bomo izpostavili najpomembnejše novosti, ki smo jih zasledili v slovenskem turizmu na področju apiturizma skozi prizmo različnih tipov inovacij. Primere bomo povezali s ciljem SDG 2.

2.1 Produktne inovacije

To so otipljive inovacije, ki jih potrošnik lahko nemudoma opazuje in zazna kot nove. V turizmu so to npr. novi koncepti nastanitvenih obratov, transportnih sredstev in atrakcij [15]. V okviru samega čebelarstva v to kategorijo sodijo tudi novi izdelki iz čebeljih produktov.

Tak primer je v Sloveniji npr. Hiša kranjske čebele [16] v Višnji Gori, ki združuje doživljajski center, hostel in turistično-informacijsko točko. Z oblikovnimi elementi, kot so sobe v obliki panja in jekleni kip čebele sivke, ta na novo ustvarjena atrakcija jasno izraža svojo usmerjenost v apiturizem ter postaja pomembna točka obiska v sicer manj turistično znanem kraju, kot je Višnja Gora. Gre za odličen primer, kako lahko ciljno usmerjene inovacije postanejo gonilo turističnega razvoja in prispevajo k decentralizaciji turizma. K SDG 2 prispeva predvsem z izobraževanjem o vlogi čebel (razstava in pedagoški program), spodbujanjem lokalne pridelave hrane ter podporo malim čebelarjem in kmetom, saj deluje kot stičišče, ki obiskovalce usmerja k lokalnim ponudnikom.



Slika 2:
*Kip kranjske čebele, Višnja
Gora (vir: osebni arhiv)*

2.2 Storitvene inovacije

To so neotipljive inovacije, ki jih potrošnik lahko nemudoma opazuje in zazna kot nove. Produkti so osnova za ustvarjanje novih storitev. Storitve turisti soustvarjajo z uporabo produktov in osebja [15].

Na to temo je moč naštet več tipov storitev, ki so se razvile z apiturizmom: degustacija medu in izdelkov iz čebeljih produktov, ogled panjev, medena masaža, aerosol – inhalacija zraka iz panjev itd.

Posebej bi izpostavili storitev spanja s čebelami kot ene izmed najbolj edinstvenih in inovativnih apiturističnih storitev v Sloveniji, kjer so ponudniki zasnovali posebne spalne kabine, ki hkrati delujejo kot čebelnjaki. Gre za edinstveno izkušnjo s področja zdravja in dobrega počutja. Turisti, ki preživijo noč v tem tipu nastanitve, poročajo o številnih blagodejnih učinkih – od sproščujočega vpliva konstantnega brenčanja in vibracij tisočerih čebel do aromaterapije s sladkimi vonjavami medu in visoko ioniziranega zraka iz panjev [17]. Ta storitev predstavlja nadgradnjo produkta, kot recimo čebelje obarvan hostel, saj ne temelji le na oblikovnih elementih, temveč vključuje tudi multisenzorno izkušnjo, kar je v sodobni ekonomiji doživetij izjemno pomembno [18]. V tem primeru gre za butični pristop, ki nudi storitve z visoko dodano vrednostjo.

Kljub številnim promocijskim obljubam o pozitivnih vplivih na zdravje pa se apiturizem še vedno sooča s pomanjkanjem znanstvenih raziskav, ki bi te učinke tudi empirično potrdile. Kot ugotavlja Šuligoj [13], je ena izmed ključnih pomanjkljivosti apiturizma

prav odsotnost medicinskih študij, ki bi validirale zdravilne učinke, ki jih ponudniki pogosto izpostavljajo v svoji ponudbi. Nadaljnje raziskave na tem področju bi lahko povečale ali ovrgele kredibilnost apiturističnih storitev.

V povezavi s SDG 2 – Odprava lakote ima spanje s čebelami predvsem posreden vpliv, saj prispeva k večji prepoznavnosti čebelarstva in pomena čebel za prehransko varnost. Gre za doživetje, ki obiskovalce na edinstven način približa čebelam in ozavešča o njihovem pomenu pri opraševanju kmetijskih rastlin ter jih spodbuja k podpori lokalnih čebelarjev. Poleg ozaveščanja takšne inovativne storitve in produkti omogočajo vključevanje apiturizma v širšo turistično vrednostno verigo in ustvarjajo dodano vrednost.

V tem sklopu bi izpostavili tudi lectarstvo, saj tesno povezuje čebelarstvo s kulinariko in rokodelsko dediščino. V Sloveniji imajo delavnice, kot so Perger 1757 v Slovenj Gradcu, Lectar v Radovljici in druge, dolgo zgodovino izdelovanja medenih izdelkov, sveč iz čebeljega voska in alkoholnih medenih napitkov. Te delavnice ne le ohranjajo nesnovno kulturno dediščino, temveč tudi ponujajo interaktivne izkušnje, kjer obiskovalci lahko ustvarjajo lastne lectarske izdelke, spoznavajo tradicionalne recepte ter se seznanjajo s pomenom medu kot naravne sestavine v prehrani in rokodelstvu.

Podoben primer so tudi Dražgoški kruhki, kjer znanje izdelave, po besedah Cirile Šmid, počasi izginja [19]. Turizem igra pomembno vlogo pri ohranjanju takšnih tradicij pri življenju. Ključno je, da turistični akterji prepoznajo vrednost dejavnosti, povezanih s čebelarstvom, ter jih vključujejo v turistično vrednostno verigo, s čimer male ponudnike tudi opolnomoči za aktivnejšo vlogo na trgu. To vključuje uporabo ustreznih distribucijskih kanalov in digitalnih platform za predstavitev doživetij, ki omogočajo večjo dostopnost lokalnih vsebin [20].

Povezava s SDG 2 – Odprava lakote je očitna, saj te delavnice krepijo ozaveščenost o pridelavi medu, spodbujajo uporabo lokalnih sestavin in prispevajo k vključevanju apiturizma v širšo prehransko vrednostno verigo. Poleg tega takšne delavnice ekonomsko podpirajo lokalne rokodelce, čebelarje in male proizvajalce, hkrati pa obiskovalcem ponujajo pristen vpogled v slovensko čebelarstvo dediščino.



Slika 3: Dražgoški kruhki, Železniki (vir: osebni arhiv)

2.3 Institucionalne inovacije

To so spremembe v organizacijskih strukturah, navadah, tradicijah na nekem trgu [15].

Eden najpomembnejših primerov je Svetovni dan čebel, ki ga 20. maja obeležujemo na pobudo Slovenije, s čimer se globalno ozavešča o pomenu čebel za prehransko varnost in trajnostno kmetijstvo [21]. Slovenija je tudi unikum na svetu, ker imamo certificirane čebelarstvo-turistične vodnike, ki posedujejo poglobljeno znanje o čebelarstvu, apiterapiji in trajnostnih praksah ter s tem dvigujejo kakovost apiturističnih izkušenj [22].

Tudi certificiranje ponudnikov apiturizma predstavlja pomembno institucionalno inovacijo, ki prispeva k dvigu kakovosti in prepoznavnosti apiturističnih storitev. Čebelarska zveza Slovenije in ARITOURS, d. o. o., sta razvila enega prvih sistematičnih modelov certificiranja apiturizma ter podeljujeta certifikate odličnosti ponudnikom, ki izpolnjujejo vnaprej določene kriterije. Ti vključujejo stopnjo specializiranosti in usmerjenosti dejavnosti, urejenost objektov in okolice, način čebelarjenja (vključno z ekološkimi ali biodinamičnimi praksami), kakovost interpretacije in predstavitve dejavnosti, inovativnost produktov ter sposobnost ustvarjanja celostnega doživetja.

Sistem označevanja z eno, dvema ali tremi čebelicami zagotavlja prepoznavnost kakovostnih apiturističnih ponudnikov, kar ne-le dviguje raven storitev, temveč tudi krepi povezavo med apiturizmom in trajnostnim razvojem [23].

Izpostavljeni primeri prispevajo k profesionalizaciji apiturizma ter njegovi boljši integraciji v turistični in prehranski vrednostni verigi, kar dolgoročno podpira cilje SDG 2 – Odprava lakote.

3 RAZPRAVA

Slovenija je ena vodilnih držav na področju apiturizma [4] in se lahko pohvali z izjemno inovativnostjo pri valorizaciji čebelarske dediščine. V eseju smo izpostavili le nekaj primerov apiturističnih storitev, ki pa predstavljajo zgolj vrh ledene gore celovite ponudbe. Kljub številnim inovacijam in institucionalnim spremembam pa ostaja ključno vprašanje: ali apiturizem dejansko prispeva k odpravi lakote in zagotavljanju prehranske varnosti ali le krepi ekonomsko vrednost čebelarskega turizma?

Trenutne prakse apiturizma, kot smo jih analizirali skozi tipe inovacij, se sicer navezujejo na trajnostni razvoj, vendar predvsem v smislu gospodarskih koristi in ohranjanja kulturne dediščine, manj pa v kontekstu konkretnega naslavljanja SDG 2 – Odprava lakote. Če turizem postane sam sebi namen, se lahko sooči z negativnimi eksternalijami, kot je preturizem (overtourism), kar lahko vodi v degradacijo prostora in izgubo prvotnih trajnostnih vrednot. Primeri malverzacij v slovenskem čebelarstvu, ki so privedli do odvzemanja ekoloških certifikatov [24], opozarjajo, da brez ustreznega

nadzora in odgovornega upravljanja lahko tudi trajnostno naravnane pobude izgubijo kredibilnost in povzročajo škodo lokalni skupnosti.

Turizem, kot gonilo trajnostnega razvoja, ni brez kritik in ga ne bi smeli jemati za samoumevnega. Sharpley [25] meni, da je prilagajanje turizma ciljem trajnostnega razvoja večinoma simbolično in neučinkovito. Prepričan je, da so cilji trajnostnega razvoja nerealno in protislovno osredotočeni na gospodarsko rast, zaradi česar je trajnostni razvoj turizma v sedanjem okviru nedosegljiv cilj. Sicer Sharpley [25] priznava, da so nekatere oblike, vključno z agroturizmom, v skladu z načeli trajnostnega razvoja in bolj primerne od masovnega turizma. Vendar pa te pobude vidi kot mikro rešitve za makro problem. Čeprav lahko pozitivno prispevajo na lokalni ravni s spodbujanjem razvoja skupnosti, ohranjanjem kulturne dediščine in zmanjšanjem okoljskega odtisa v primerjavi z množičnim turizmom, ne obravnavajo temeljnega protislovja turizma kot panoge, ki je odvisna od gospodarske rasti [25].

S tem v mislih se postavlja vprašanje, kako lahko inovacije v slovenskem apiturizmu dejansko presežejo zgolj ekonomsko vrednost in se usmerijo v konkretne rešitve za prehransko varnost. Ena od možnosti je vlaganje presežnih sredstev iz apiturizma v raziskave in razvoj, ki bi pripomogli k izboljšanju prehranske varnosti ter kmetijskih praks. To bi v akademskem smislu pomenilo, da bi morali SDG cilje in podcilje (Slika 1) predrugačiti in predvsem narediti povratno zanko med turističnimi produkti in cilji 2.1, 2.a in 2.4.

Prav tako v eseju nismo podrobneje obravnavali procesnih inovacij, ki bi lahko igrale ključno vlogo pri optimizaciji oskrbovalnih verig in učinkovitejši rabi virov. Ali gre za pomanjkanje raziskav na tem področju ali za dejansko vrzel v apiturizmu, ostaja odprto vprašanje. Če razmišljamo skozi model EDIT in SDG 2, se hitro ponujajo tehnološke rešitve, kot so pametni senzorji za nadzor čebeljih panjev ter tehnologija veriženja blokov (blockchain) za sledljivost in transparentnost oskrbovalne verige medu [26]. Takšne inovacije bi lahko neposredno prispevale k zagotavljanju prehranske varnosti, saj bi gostom in kupcem omogočale preverjanje porekla in kakovosti medu, hkrati pa bi okrepile ekonomsko stabilnost čebelarjev.

Temu sledi, da se naslednje prebojne inovacije za doseganje ciljev trajnostnega razvoja skrivajo predvsem na presekih različnih strokovnih polj. Tako že Yunkaporta razlaga, da imajo agenti za trajnostni razvoj nekaj preprostih smernic delovanja – »raznolikost, povezovanje, interakcija in prilagajanje« [27]. Globalnih izzivov ne bomo rešili v okvirih posameznih sektorjev, temveč le z odprtimi sistemi, interdisciplinarnim sodelovanjem in pripravljenostjo na spremembe, tudi kadar le-te izpodbijajo ustaljene poglede na svet.

Zato je usmerjanje slovenskega turizma v trajnostne oblike, kot je apiturizem, nedvomno pozitivna poteza, ki podpira ekonomsko blaginjo čebelarjev in ohranjanje kulturne dediščine. Vendar ne smemo pozabiti, da je končni cilj trajnostnega razvoja

reševanje ključnih globalnih izzivov, kot so podnebne spremembe in prehranska varnost.

4 ZAKLJUČEK

Slovenija s svojo bogato čebelarско tradicijo in inovativnimi apiturističnimi praksami ponuja močan primer, kako lahko turizem prispeva k uresničevanju SDG 2 – Odprava lakote. Apiturizem ne le omogoča ekonomsko stabilnost čebelarjev, temveč tudi spodbuja ozaveščenost o trajnostni pridelavi hrane in povečuje prepoznavnost čebel kot ključnih opraševalcev v prehranski verigi. Vendar pa turizem, naj bo še tako zelen in odgovoren, sam po sebi ne more rešiti prehranske varnosti planeta.

Podnebne spremembe že danes drastično vplivajo na kmetijske prakse, biotsko raznovrstnost in stabilnost prehranskih sistemov, kar pomeni, da je nujno iskati celovite rešitve, ki povezujejo turizem, trajnostno kmetijstvo, inovacije v pridelavi hrane in sistemske spremembe v potrošnji. Kot opozarja McGuire, »Kar zadeva kmetijstvo, v igri globalnega segrevanja ni zmagovalcev. Vsi izgubljajo« [28], se moramo zavedati, da nobena posamezna panoga ne more sama zagotoviti trajnostne prihodnosti.

Zato mora biti apiturizem del širšega sistema trajnostnega razvoja, ki vključuje nove modele kmetovanja, regenerativne prakse in podporne politike, ki omogočajo dolgoročno odpornost prehranskih verig. Turizem lahko služi kot orodje za ozaveščanje, povezovanje in podporo lokalnim proizvajalcem, vendar mora delovati skupaj s kmetijsko in podnebno politiko, če želimo, da bo njegov vpliv resnično trajnosten.

Naj bodo prihodnje inovacije v apiturizmu vodene z mislijo, da trajnost ni zgolj tržni argument, temveč potreba za preživetje čebel, ekosistemov in nas vseh. In naj bodo naslednje počitnice čebelje obarvane – predvsem pa bližje domu in v sožitju z naravo.

5 ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem organizaciji ASEF za podporo pri mojem raziskovanju in izobraževanju. Posebna zahvala gre tudi mojemu mentorju, ki mi je s svojim znanjem in usmerjanjem pomagal pri oblikovanju tega prispevka. Prav tako se zahvaljujem preostalima članicama tutorske skupine za njuno angažiranost in dodatno motivacijo, ki sem jo pridobil z delovanjem v skupini.

6 VIRI IN LITERATURA

[1] World Travel & Tourism Council. Travel & tourism economic impact [Internet]. [Pridobljeno 23. 2. 2025]. Dostopno na: <https://wtcc.org/research/economic-impact>

[2] Tourism for SDGs. Welcome to the Tourism for SDGs Platform [Internet]. [Pridobljeno 22. 2. 2025]. Dostopno na: <https://tourism4sdgs.org>

[3] World Tourism Organization. Achieving the Sustainable Development Goals through tourism: Toolkit of Indicators for Projects (TIPs). Madrid: UNWTO; 2023. <https://doi.org/10.18111/9789284424344>

- [4] Topal E., Adamchuk L., Negri I., Kösoğlu M., Papa G., Dârjan M. S. idr. Traces of honeybees, api-tourism and beekeeping: From past to present. *Sustainability*. 2021; 13(21): 11659. <https://doi.org/10.3390/su132111659>
- [5] Potts S. G., Imperatriz-Fonseca V., Ngo H. T., Aizen M. A., Biesmeijer J. C., Breeze T. D. idr. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*. Dec. 2016; 540(7632): 220–9. <https://doi.org/10.1038/nature20588>
- [6] Khalifa S. A. M., Elshafiey E. H., Shetaia A. A., El-Wahed A. A. A., Algethami A. F., Musharraf S. G. idr. Overview of bee pollination and its economic value for crop production. *Insects*. 31. jul 2021; 12(8): 688. <https://doi.org/10.3390/insects12080688>
- [7] Gazzea E., Batáry P. in Marini L. Global meta-analysis shows reduced quality of food crops under inadequate animal pollination. *Nat Commun*. 25. jul. 2023; 14(1): 4463. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-40231-y>
- [8] Requier F., Pérez-Méndez N., Andersson G. K. S., Blareau E., Merle I. in Garibaldi L. A. Bee and non-bee pollinator importance for local food security. *Trends Ecol Evol*. 1. feb. 2023; 38(2): 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.10.006>
- [9] IPBES. The assessment report on pollinators, pollination and food production [Internet]. Bonn: IPBES; Dec. 2016 [Pridobljeno 28. 2. 2026]. Dostopno na: <https://zenodo.org/records/3402857>
- [10] Klein A. M., Vaissière B. E., Cane J. H., Steffan-Dewenter I., Cunningham S. A., Kremen C. idr. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc Biol Sci*. 22. jan. 2007; 274(1608): 303–13. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- [11] World Commission on Environment and Development. *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press; 1987.
- [12] Mensah J. Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Soc Sci*. 2019; 5(1): 1653531. <https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531>
- [13] Šuligoj M. Origins and development of apitherapy and apitourism. *J Apic Res*. 2021; 60(3): 369–74. <https://doi.org/10.1080/00218839.2021.1874178>
- [14] Schumpeter J. A. *The theory of economic development*. London: Routledge; 2021. <https://doi.org/10.4324/9781003146766>
- [15] Zach F. J. in Križaj D. Experiences through design and innovation along touch points. V: Fesenmaier D. R., Xiang Z., editors. *Design science in tourism: Foundations of destination management*. Cham: Springer; 2017; 215–32. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42773-7_14
- [16] Hiša kranjske čebele. Življenje kot v panju [Internet]. [Pridobljeno 22. 2. 2025]. Dostopno na: <https://www.hisakranjskecebele.si>
- [17] Smith A. Apitourism in Slovenia: 17 awesome bee experiences you have to try [Internet]. 7. jul. 2023 [Pridobljeno 22. 2. 2025]. Dostopno na: <https://www.mywanderlustylife.com/apitourism-in-slovenia-bee-experiences>
- [18] Pine B. J. in Gilmore J. H. *The experience economy*. Boston: Harvard Business Press; 2011.
- [19] Hrstar A. M. Dražgoški kruhki, dediščina, ki izginja [Internet]. 21. mar. 2014 [Pridobljeno 22. 2. 2025]. Dostopno na: <https://siol.net/trendi/kulinarika/drazgoski-kruhki-dediscina-ki-izginja-foto-in-video-115211>

- [20] Rogelja T., Križaj D., Bratec M., Medved R. in Godejša J. Oblikovanje novega poslovnega modela za aktivacijo mladih in opolnomočenje periferne turizma: Primer platforme Locals From Zero. V: Turizem 4.0 in znanost: Zbornik konference; 2021. 55–61. Dostopno na: <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=86836>
- [21] Bajželj M. Svetovni dan čebel [Internet]. Statistični urad Republike Slovenije; 16. maj 2018 [Pridobljeno 22. 2. 2025]. Dostopno na: <https://www.stat.si/StatWeb/news/Index/7414>
- [22] Čebelarstvo-turistični vodniki. Apiturizem [Internet]. [Pridobljeno 22. 2. 2025]. Dostopno na: <https://www.apiturizem.si/apiroutes-izleti/cebelarstvo-turisticni-vodniki-2>
- [23] Čebelarstva zveza Slovenije. Apiturizem [Internet]. [Pridobljeno 3. 3. 2026]. Dostopno na: <https://cza.si/api/apiturizem>
- [24] Prijatelj Videmšek M. Čebelarstvo sumijo »goljufive prakse večjih razsežnosti« [Internet]. 17. jan. 2025 [Pridobljeno 22. 2. 2025]. Dostopno na: <https://www.delo.si/novice/okolje/cebelarstvo-sumijo-goljufive-prakse-vecjih-razseznosti>
- [25] Sharpley R. Tourism, sustainable development and the theoretical divide: 20 years on. *J Sustain Tour.* 2020; 28(11): 1932–46. <https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1779732>
- [26] Srivastava A. in Dashora K. Application of blockchain technology for agrifood supply chain management: A systematic literature review on benefits and challenges. *Benchmarking.* 2022; 29(10): 3426–42. <https://doi.org/10.1108/BJ-08-2021-0495>
- [27] Yunkaporta T. *Sand talk: How Indigenous thinking can save the world.* New York: HarperOne; 2020.
- [28] McGuire B. *Hothouse earth: An inhabitant's guide.* London: Icon Books; 2022.

Pomen divjih opraševalcev za trajnostne prehranske sisteme

The importance of wild pollinators for sustainable food systems

Živa Alif¹

prof. dr. Miha Humar (tutor)¹

¹Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

Korespondenca/Corresponding author: ziva.alif@bf.uni-lj.si

Povzetek

Na svetovni ravni se soočamo z drastičnim upadom populacij divjih opraševalcev. Ti so ključni za zagotavljanje storitve opraševanja kmetijskih rastlin in jih zaradi visoke učinkovitosti pri opraševanju čebelarstvo z medonosno čebelo težko nadomesti. Za preprečevanje upada divjih opraševalcev je pomembno, da se v kmetijski krajini ohranjajo manj intenzivno rabljeni habitati, kot je lesna vegetacija in pozneje košeni travniki ali travniški pasovi z visoko pestrostjo rastlinskih vrst.

Ključne besede

opraševanje, divji opraševalci, medonosna čebela

Abstract

Populations of wild pollinators are facing drastic declines on a global scale. Wild pollinators are key for providing pollination services for agricultural plants and can hardly be replaced by beekeeping of honeybee due to their high pollination effectiveness. To prevent further pollinator decline it is important to preserve extensively used semi-natural habitats in agricultural landscapes, such as woody vegetation and late mown meadows or flower strips with high flowering plant diversity.

Keywords

Pollination, Wild pollinators, Honeybee

1 UVOD

Kar ena tretjina vse proizvodnje hrane je vsaj deloma odvisna od opraševanja [1]. Opraševanje po eni strani stabilizira in poveča vsakoletno letino [2, 3], po drugi strani pa tudi izboljša kvaliteto pridelkov [4]. Skupna vrednost storitev opraševanja z žuželkami za kmetijske in divje vrste rastlin na svetu je ocenjena na kar 151 milijard USD letno [5]. Hkrati divji opraševalci igrajo pomembno vlogo ne le v kmetijstvu, temveč tudi pri ohranjanju biotske raznovrstnosti v naravnih ekosistemih. Kar 70 % divjih rastlin je odvisnih od opraševalcev za razmnoževanje, kar pomeni, da zmanjšanje populacij opraševalcev lahko vpliva na celotne ekosisteme [6]. Pomanjkanje opraševalcev in s tem prenizka raven opraševanja močno vpliva na dostopnost do kvalitetne hrane in povzroča kar 450.000 smrti letno [7]. Za zagotavljanje trajnosti prehranskega sistema v prihodnosti je tako ključno poskrbeti za zadostno opraševanje. V eseju tako s predstavitevijo različnih skupin opraševalcev, trendov storitev opraševanja in razlogov zanje raziščem, kaj so ključni izzivi pri zagotavljanju zadostnega opraševanja v prihodnosti.

2 KDO OPRAŠUJE?

Najbolj znan opraševalec, je medonosna čebela (*Apis mellifera*). Samo v Sloveniji imamo z okrog 200.000 čebeljimi družinami eno izmed najgostejših populacij medonosne čebele na svetu [8]. Čebelarstvo se kot panoga pogosto omenja kot tista, s promocijo katere lahko zagotovimo zadostno opraševanje v prihodnje [9]. Medonosne čebele so namreč, poleg čmrljev, edini opraševalci, s katerimi lahko upravljamo in jih tako gojimo v velikem številu. Hkrati lahko na njih izvajamo tudi selekcijo za specifične lastnosti.

Hkrati pa v naravi opraševanje opravlja še mnogo drugih taksonomskih skupin: čmrlji (*Bombus* spp.), samotarske čebele, muhe trepetavke (*Syrphidae*), metulji, na drugih območjih pa tudi netopirji in ptice [10]. Ti divji opraševalci so nujni za zagotavljanje stabilnega in zanesljivega opraševanja.

Čmrlji so ključni opraševalci mnogih sadnih vrst, saj imajo v primerjavi z medonosno čebelo več prednosti. Aktivni so namreč tudi pri nizkih temperaturah (manj kot 10 °C in v deževnem vremenu), ko medonosne čebele ne zapuščajo panja. Ker so takšne vremenske razmere zelo pogoste zgodaj spomladi, ko cveti sadno drevje in jagodičevje (npr. ameriška borovnica), so ključni opraševalci teh kmetijskih rastlin. Hkrati pa so zaradi teh lastnosti za razliko od medonosnih čebel aktivni čez celoten dan – tudi ob jutrih in večerih. Cvetove oprašujejo hitreje kot medonosne čebele in odložijo več cvetnega prahu, zato so kar dvakrat učinkovitejši [11]. Čmrlji zaradi daljših jezičkov dosežejo tudi globlje cvetove, zaradi svoje velikosti in teže pa cvetove lažje stresejo, da se iz njih usuje cvetni prah. Tako lahko oprašijo tudi vrste rastlin, ki jih medonosne čebele ne morejo, kot so na primer paradižniki. Uporabni so tudi za opraševanje v rastlinjakih, saj za razliko od čebel ne pobegnejo iz njih [12].

Divje čebele (katerih poznamo kar 1965 vrst) so pri opraševanju prav tako bolj

učinkovite kot medonosna čebela, saj lahko na določenih poljščinah ena čebela samotarka opravi delo kar 100 medonosnih čebel [13]. Njihova visoka učinkovitost izvira iz dveh glavnih razlogov. Kot prvo, cvetni prah pri divjih čebelah ni zlepljen, zato lažje pade na cvet. Po drugi strani cvetni prah nekatere divje čebele prenašajo na spodnji strani zadka, medonosne čebele pa na nogah, zaradi česar imajo slednje slabši stik s cvetom in posledično pride do manj opraševanja.

V primerjavi z divjimi opraševalci so medonosne čebele visoko specializirane za zbiranje nektarja, zaradi česar pogosto prenašajo manj cvetnega prahu med rastlinami kot drugi opraševalci, kar zmanjšuje njihovo opraševalno učinkovitost [14]. Čeprav se divji opraševalci tudi soočajo z boleznimi in paraziti, so zaradi večje gostote kolonij medonosne čebele bolj dovzetne za bolezni, kot je varoza, kar lahko povzroči nenadne padce populacij in zmanjša njihovo vlogo pri zagotavljanju stabilnega opraševanja [15]. Vendar pa so že samo zaradi svoje številčnosti pomembne opraševalke sploh zgodaj spomladi in pozno jeseni, ko je zaradi drugačnih razmnoževalnih ciklov število divjih opraševalcev, še posebej čmrljev, nizko [16].

3 STANJE OPRAŠEVANJA IN OPRAŠEVALCEV

Raziskave kažejo, da zaradi zgoraj navedenih prednosti divjih opraševalcev gojenje medonosne čebele ni zagotovilo za zadostno opraševanje, saj divji opraševalci opravijo več kot polovico celotne ekonomske vrednosti opraševanja [17]. V Združenem kraljestvu se je kljub naraščajočemu povpraševanju po opraševanju in večanju števila panjev največja možna opraševalna zmogljivost medonosnih čebel od leta 1984 zmanjšala za več kot 50 % in se bo ob upoštevanju trenutnih trendov še naprej zmanjševala [17]. Poleg tega samo majhen delež čebelarjev aktivno zagotavlja storitev opraševanja kmetijskih rastlin, kar vpliva tako na količino opraševanja kot tudi na ekonomiko čebelarstva [18]. Prisotnost različnih vrst opraševalcev pa izboljšuje tudi odpornost ekosistemov proti motnjam, kot so podnebne spremembe, kar dolgoročno pripomore k stabilnosti ekoloških procesov [19].

Kljub pomembnosti opraševalcev pa njihove populacije močno upadajo. Ta trend vključuje tako zmanjšanje opraševanja s strani medonosne čebele, še bolj zaskrbljujoči pa so upadi divjih opraševalcev. Na podlagi Evropskega rdečega seznama čebel kar 10 % izmed skupno 1.965 vrst divjih čebel grozi izumrtje, med čmrlji pa ta številka dosega kar 25 % [20]. Pomanjkanje opraševalcev ima lahko resne posledice za kmetijsko proizvodnjo. Raziskave so pokazale, da je v določenih regijah zaradi zmanjšanja števila opraševalcev prišlo do znatnega zmanjšanja pridelkov sadja in drugih kultur. V britanskih sadovnjakih je bil opraševalni deficit ocenjen na 22 %, kar pomeni, da kmetje ne dosegajo optimalnega pridelka, saj nimajo zadostne podpore opraševalcev [21]. Hkrati pa za pridobitev optimalnega pridelka ni pomembno le število opraševalcev, temveč nanj pomembno vpliva tudi vrstna pestrost [22, 23].

Glavni razlog za upad divjih opraševalcev je izguba habitatov, še posebej kot posledica intenzifikacije kmetijstva in s tem povezanega povečanja kmetijskih površin, manjše

raznolikosti kmetijskih rastlin in večje uporabe fitofarmaceutskih sredstev [36]. Ta proces sicer v Evropi ni enakomeren – medtem ko se na marginalnih območjih kmetijstvo opušča in prihaja do zaraščanja, je pridelava na bolj produktivnih območjih že zelo intenzivna ali v procesu intenzifikacije [24]. Na območjih intenzivne rabe lahko tako pogosta raba mehanizacije uniči talna gnezda divjih opraševalcev. Druge vrste za razmnoževanje uporabljajo mejice in drugo lesnato vegetacijo, ki zaradi povečevanja površin in lažje uporabe mehanizacije prav tako hitro izginja iz kmetijske krajine [25]. Hkrati je ključen problem za divje opraševalce tudi pomanjkanje hrane. Na kmetijsko intenzivnih območjih je namreč pogosta premena travnikov v njive, kjer najpogostejše poljščine (koruza in pšenica) ne ponujajo hrane za opraševalce. Preostali travniki pa so na intenzivnih območjih prav tako rabljeni vedno intenzivneje (so gnojni ter košeni zgodaj in velikokrat), zaradi česar je medovitih rastlin vedno manj. Kljub temu da so nekatere poljščine, kot sta oljna repica in ajda, dober vir hrane za opraševalce, pa te rastline cvetijo le kratek čas in ne morejo zagotavljati hrane čez celo leto. Težavo predstavljajo tudi podnebne spremembe z ekstremnimi vremenskimi dogodki, kot so vse pogostejše zmrzali spomladi in suše poleti, ki prav tako zmanjšajo cvetenje rastlin in tako otežijo preživetje opraševalcev [26]. V obdobjih z malo hrane na divje opraševalce negativno vplivajo tudi visoke gostote medonosne čebele prek kompeticije za prehranske vire [16, 27, 28].

Na opraševalce negativno vpliva tudi pogosta raba pesticidov. Za zmanjšanje njihovega vpliva se spodbuja večerna raba teh sredstev, ko medovite čebele niso več aktivne in jim tako ne škodijo. Ker pa so čmrlji za razliko od čebel aktivni tudi pozno zvečer in zgodaj zjutraj, ta praksa zanje ni zadostno učinkovita. Hkrati pa tako medonosnim čebelam kot divjim opraševalcem grozijo tudi bolezni, ki imajo zaradi podnebnih sprememb in prenosa novih patogenov iz drugih okolij vedno večji učinek na populacije [29].

4 KAKO ZAGOTOVITI ZADOSTNO OPRAŠEVANJE V PRIHODNOSTI?

Za izboljšanje populacij divjih opraševalcev je nujno predvsem ohranjanje in obnova ekstenzivno rabljenih površin v kmetijski krajini. Še posebno pomembno je ohranjanje in obnova ekstenzivnih travnikov z visoko rastlinsko raznovrstnostjo ter preprečevanje njihovega zaraščanja. V bolj intenzivni kmetijski krajini je ključno ohranjanje minimalni delež krajinskih značilnosti – strokovnjaki priporočajo vsaj 10 % [30, 31]. Krajinske značilnosti naj vključujejo mešanico ukrepov, ki koristijo opraševalcem (in ostalim vrstam kmetijske krajine), kot so praha, mejice in lesnata vegetacija ter travniški ali cvetni pasovi [32–35]. Hkrati je za učinkovitost teh ukrepov nujno optimizirati njihovo razporeditev po krajini, da je povezljivost med posameznimi krpami habitatov dovolj velika za gibanje opraševalcev. Zaradi negativnega vpliva pesticidov na opraševalce je smiselno tudi spodbujati zmanjšanje njihove uporabe z alternativnimi načini kmetijske proizvodnje, kot sta ekološka in integrirana pridelava.

Ker gre za ukrepe na površinah s kmetijsko rabo, s katerimi upravljajo kmetje, je za izboljšanje stanja opraševalcev treba predvsem spodbujati spremembe v načinu

kmetijske proizvodnje na nivoju posamezne kmetije. V Sloveniji in Evropski uniji je Skupna kmetijska politika (SKP) glaven vir financiranja in spodbujanja sprememb v kmetijski proizvodnji. Za spodbujanje okolju prijaznega kmetovanja so tako kmetom na voljo prostovoljni ukrepi (Kmetijsko-okoljsko-podnebna plačila – KOPOP in Shema za okolje in podnebje – SOPO), kjer so plačani za izvajanje okolju prijaznih praks [36]. Več praks, ki koristijo opraševalcem, je že na voljo kmetom prek KOPOP in shem SOPO, vendar kljub temu za zdaj izboljšanja populacij opraševalcev in drugih vrst kmetijske krajine ni zaznati [37]. Razlogi za premajhno učinkovitost ukrepov so predvsem premalo ambiciozno zasnovani ukrepi, prenizek vpis kmetov v bolj ambiciozne ukrepe in hkrati pomanjkanje prostorske koordinacije izvajanja ukrepov, ki so posledično manj učinkoviti. Za izboljšanje stanja je tako ključno izboljšati ukrepe kmetijske politike, ki najbolj direktno vplivajo na rabo kmetijskih zemljišč in posledično na stanje biodiverzitete v kmetijski krajini v Evropi [31, 38].

5 ZAKLJUČEK

Opraševanje je ena izmed ključnih ekosistemskih storitev za proizvodnjo zadostne količine hranljive hrane. Kljub veliki gostoti medonosne čebele kot udomačenega opraševalca le-ta opravi le manjši delež opraševanja. Za zagotovitev zadostne ravni opraševanja je tako ključno ohranjati zdrave populacije divjih opraševalcev, kot so čmrlji, čebele samotarke, muhe trepetavke in drugi. To lahko storimo z ohranjanjem in obnovo krajinskih značilnosti in ekstenzivnih travnikov v kmetijski krajini.

6 VIRI IN LITERATURA

- [1] Klein A. M., Vaissière B. E., Cane J. H., Steffan-Dewenter I., Cunningham S. A., Kremen C. idr. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc R Soc B*. 7. feb. 2007; 274(1608): 303–13. doi:10.1098/rspb.2006.3721
- [2] Bishop J., Garratt M. P. D. in Nakagawa S. Animal pollination increases stability of crop yield across spatial scales. *Ecology Letters*. Sep. 2022; 25(9): 2034–47. doi:10.1111/ele.14069
- [3] Dainese M., Martin E. A., Aizen M. A., Albrecht M., Bartomeus I., Bommarco R. idr. A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *SCIENCE ADVANCES*. 2019.
- [4] Garratt M. P. D., Coston D. J., Truslove C. L., Lappage M. G., Polce C., Dean R. idr. The identity of crop pollinators helps target conservation for improved ecosystem services. *Biological Conservation*. 1. jan. 2014; 169: 128–135. doi:10.1016/j.biocon.2013.11.001
- [5] Gallai N., Salles J. M., Settele J. in Vaissière B. E. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*. 15. jan. 2009; 68(3): 810–21. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.06.014
- [6] Ollerton J., Winfree R. in Tarrant S. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*. 2011; 120(3): 321–6. doi:10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x
- [7] Smith M. R., Mueller N. D., Springmann M., Sulser T. B., Garibaldi L. A., Gerber J. idr. The lost opportunity from insufficient pollinators for global food supplies and human health. *The Lancet Planetary Health*. 1. okt. 2022; 6: S3. doi:10.1016/S2542-5196(22)00265-0 PubMed PMID: 36317621.
- [8] Portal GOV.SI [Internet]. [Pridobljeno 17. 10. 2025]. Slovenija in čebelarstvo | GOV.SI. Dostopno na: <https://www.gov.si/zbirke/projekti-in-programi/svetovni-dan-cebel/slovenija-in-cebelarstvo/>

- [9] Božič J. Gostota čebeljih družin v Sloveniji. Slovenski čebelar. 2014; 116(9): 276–7.
- [10] Garibaldi L. A., Steffan-Dewenter I., Winfree R., Aizen M. A., Bommarco R., Cunningham S. A. idr. Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. *Science*. 29. mar. 2013; 339(6127): 1608–11. doi:10.1126/science.1230200
- [11] Thomson J. D. in Goodell K. Pollen Removal and Deposition by Honeybee and Bumblebee Visitors to Apple and Almond Flowers. *Journal of Applied Ecology*. 2001; 38(5): 1032–44.
- [12] Nayak R. K., Rana K., Bairwa V. K., Singh P. in Bharti V. D. A review on role of bumblebee pollination in fruits and vegetables. *J Pharmacogn Phytochem*. 1. maj 2020; 9(3): 1328–34. doi:10.22271/phyto.2020.v9.i3v.11494
- [13] Bernauer O. M., Tierney S. M. in Cook J. M. Efficiency and effectiveness of native bees and honey bees as pollinators of apples in New South Wales orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1. okt. 2022; 337: 108063. doi:10.1016/j.agee.2022.108063
- [14] Russo L., Park M. G., Blitzer E. J. in Danforth B. N. Flower handling behavior and abundance determine the relative contribution of pollinators to seed set in apple orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1. avg. 2017; 246: 102–8. doi:10.1016/j.agee.2017.05.033
- [15] Kremen C., Williams N. M. in Thorp R. W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 24. dec. 2002; 99(26): 16812–6. doi:10.1073/pnas.262413599
- [16] Wignall V. R., Campbell Harry I., Davies N. L., Kenny S. D., McMinn J. K. in Ratnieks F. L. W. Seasonal variation in exploitative competition between honeybees and bumblebees. *Oecologia*. 1. feb. 2020; 192(2): 351–61. doi:10.1007/s00442-019-04576-w
- [17] Breeze T. D., Bailey A. P., Balcombe K. G. in Potts S. G. Pollination services in the UK: How important are honeybees? *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Avg. 2011; 142(3–4): 137–43. doi:10.1016/j.agee.2011.03.020
- [18] Breeze T. D., Dean R. in Potts S. G. The costs of beekeeping for pollination services in the UK – an explorative study. *Journal of Apicultural Research*. 27. maj 2017; 56(3): 310–7. doi:10.1080/00218839.2017.1304518
- [19] Dicks L. V., Breeze T. D., Ngo H. T., Senapathi D., An J., Aizen M. A. idr. A global-scale expert assessment of drivers and risks associated with pollinator decline. *Nat Ecol Evol*. 16. avg. 2021; 5(10): 1453–61. doi:10.1038/s41559-021-01534-9
- [20] European Commission. Directorate General for the Environment., IUCN (International Union for Conservation of Nature). European red list of bees. [Internet]. LU: Publications Office; 2014. [Pridobljeno 17. 2. 2025]. Dostopno na: <https://data.europa.eu/doi/10.2779/77003>
- [21] Garratt M. P. D., De Groot G. A., Albrecht M., Bosch J., Breeze T. D., Fountain M. T. idr. Opportunities to reduce pollination deficits and address production shortfalls in an important insect-pollinated crop. *Ecological Applications*. Dec. 2021; 31(8): e02445. doi:10.1002/eap.2445
- [22] Image M., Gardner E., Clough Y., Smith H. G., Baldock K. C. R., Campbell A. idr. Does agri-environment scheme participation in England increase pollinator populations and crop pollination services? *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Feb. 2022; 325: 107755. doi:10.1016/j.agee.2021.107755
- [23] Senapathi D., Fründ J., Albrecht M., Garratt M. P. D., Kleijn D., Pickles B. J. idr. Wild insect diversity increases inter-annual stability in global crop pollinator communities. *Proc R Soc B*. 31. mar. 2021; 288(1947): rspb.2021.0212, 20210212. doi:10.1098/rspb.2021.0212
- [24] Kuemmerle T., Levers C., Erb K., Estel S., Jepsen M. R., Müller D. idr. Hotspots of land use change in Europe. *Environ Res Lett*. Jun. 2016; 11(6): 064020. doi:10.1088/1748-9326/11/6/064020

- [25] Alif Ž., Šumrada T., Tomšič M., Blažič B., Pršin T., Kozina A. idr. Analiza izvedljivosti prenosa projektnih rešitev za izboljšanje stanja biotske pestrosti na nižinskih kmetijah v Sloveniji [Internet]. Univerza v Ljubljani; 2024. Dostopno na: https://www.researchgate.net/publication/378012865_Kmetovanje_za_biodiverziteteto_na_nizinskih_kmetijah_v_Sloveniji_-_EIP_VIVEK_Analiza_izvedljivosti_prenosa_projektnih_resitev_za_izboljšanje_stanja_biotske_pestrosti_na_nizinskih_kmetijah_v_Sloveniji
- [26] Kerr J. T., Pindar A., Galpern P., Packer L., Potts S. G., Roberts S. M. idr. Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science*. 10. jul. 2015; 349(6244): 177–80. doi:10.1126/science.aaa7031
- [27] Nielsen A., Reitan T., Rinvoll A. W. in Brysting A. K. Effects of competition and climate on a crop pollinator community. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1. avg. 2017; 246: 253–60. doi:10.1016/j.agee.2017.06.006
- [28] Page M. L. in Williams N. M. Honey bee introductions displace native bees and decrease pollination of a native wildflower. *Ecology*. 2023; 104(2): e3939. doi:10.1002/ecy.3939
- [29] Vanbergen A. J. Initiative the IP. Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2013; 11(5): 251–9. doi:10.1890/120126
- [30] Garibaldi L. A., Oddi F. J., Miguez F. E., Bartomeus I., Orr M. C., Jobbágy E. G. idr. Working landscapes need at least 20% native habitat. *Conservation Letters*. 2021;14(2):e12773. doi:10.1111/conl.12773
- [31] Pe'er G., Finn J. A., Díaz M., Birkenstock M., Lakner S., Röder N. idr. How can the European Common Agricultural Policy help halt biodiversity loss? Recommendations by over 300 experts. *Conservation Letters*. 2022; 2022(15): e12901. doi:10.1111/conl.12901
- [32] Gardner E., Breeze T. D., Clough Y., Smith H. G., Baldock K. C. R., Campbell A. idr. Field boundary features can stabilise bee populations and the pollination of mass-flowering crops in rotational systems. *Journal of Applied Ecology*. Okt. 2021; 58(10): 2287–304. doi:10.1111/1365-2664.13948
- [33] McKerchar M., Potts S. G., Fountain M. T., Garratt M. P. D. in Westbury D. B. The potential for wildflower interventions to enhance natural enemies and pollinators in commercial apple orchards is limited by other management practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Okt. 2020; 301: 107034. doi:10.1016/j.agee.2020.107034
- [34] Montgomery I., Caruso T. in Reid N. Hedgerows as Ecosystems: Service Delivery, Management, and Restoration. *Annu Rev Ecol Evol Syst*. 2. nov. 2020; 51(1): 81–102. doi:10.1146/annurev-ecolsys-012120-100346
- [35] Tarjuelo R., Margalida A. in Mougeot F. Changing the fallow paradigm: A win-win strategy for the post-2020 Common Agricultural Policy to halt farmland bird declines. *Journal of Applied Ecology*. 2020; 57(3): 642–9. doi:10.1111/1365-2664.13570
- [36] Röder N., Krämer C., Grajewski R., Lakner S. in Matthews A. What is the environmental potential of the post-2022 common agricultural policy? *Land Use Policy*. 1. sep. 2024;144: 107219. doi:10.1016/j.landusepol.2024.107219
- [37] Van Swaay C. A. M., Dennis E. B., Schmucki R., Sevilleja C. G., Åström S., Balalaikins M. idr. European Grassland Butterfly Indicator 1990-2020 Technical report [Internet]. Butterfly Conservation Europe & SPRING/eBMS (www.butterfly-monitoring.net) & Vlinderstichting report VS2022.039; 2022. [Pridobljeno 25. 1. 2024]. Report No. Dostopno na: <https://assets.vlinderstichting.nl/docs/290cb16a-e90f-4c5b-a7df-9b954d511cfa.pdf>
- [38] Pe'er G., Dicks L. V., Visconti P., Arlettaz R., Báldi A., Benton T. G. idr. EU agricultural reform fails on biodiversity. *Science*. 6. jun. 2014; 344(6188): 1090–2. doi:10.1126/science.1253425

INŠTITUT ASEF

Naše poslanstvo

Gradimo mostove med slovensko identiteto in svetovnim znanjem. Z mednarodnim sodelovanjem opolnomočimo talente, da svoje globalne izkušnje vpletejo v razvoj slovenske družbe in ohranijo stik s svojimi koreninami.

Naša zgodba

Korenine organizacije ASEF segajo v leto 2014, ko sta jo v San Franciscu zasnovala prof. dr. Jure Leskovec (Univerza Stanford) in Peter Rožič, takratni namestnik direktorja Evropskega socialnega centra v Bruslju. Njuno vizijo je leta 2016 nadgradila ustanovitev Inštituta ASEF v Ljubljani, pri kateri sta se pridružila še prof. dr. Andrej Košmrlj (Univerza Princeton) in prof. dr. Marinka Žitnik (Univerza Harvard).

Danes ASEF predstavlja živo mrežo več kot 290 štipendistov in 150 vrhunskih slovenskih mentorjev doma in po svetu. Prek vodilnih programov Raziskovanje v tujini in Obisk Slovenije brišemo meje znanja, od leta 2020 pa s Tutorskim programom, zasnovanim po vzoru prestižnih univerz Oxford in Cambridge, mladim talentom nudimo neprecenljivo individualno podporo.

Smo več kot le štipendijski sklad; smo živa skupnost, ki spodbuja kroženje znanja nazaj v slovenski prostor. S podkasti, simpoziji in raziskavami o diaspori krepimo znanstveno diplomacijo in Slovenijo trdno umeščamo v globalni akademski prostor.

AKADEMSKA ODLIČNOST



Iščemo brezkompromisen standard odličnosti pri poučevanju, učenju, ustvarjalnosti in štipendiranju znotraj in med disciplinami.

OBLIKOVANJE KARAKTERJA



Prizadevamo si oblikovati celotne osebe: posameznike, ki jih odlikuje intelektualna strogost, moralni značaj, izgradnja skupnosti in sposobnost sprejemanja etičnih odločitev.

VRAČANJE SKUPNOSTI



Prizadevamo si pripraviti svetovne državljane, ki se zavzemajo za dobrobit človeštva in prispevajo k intelektualni, gospodarski in kulturni vitalnosti družbe, tako da služijo tistim z najmanjšim dostopom do oblasti, da bi spodbudili razcvet vseh.



Zbornik razkriva razmišljanja ASEF štipendistov o trajnostnih prehranskih sistemih, ki so jih oblikovali v okviru programa ASEF Tutorstvo. Program tutorstva študentom ponuja edinstveno priložnost za akademski in osebni razvoj po zgledu univerz Oxford in Cambridge.

Prispevki v letošnjem zborniku obravnavajo širok spekter tem, povezanih s trajnostnimi prehranskimi sistemi ter izzivi zagotavljanja prehranske varnosti v sodobni družbi. Štipendisti so raziskovali različne vidike trajnostne prehrane, od vpliva prehranskih praks na zdravje ljudi in okolje do tehnoloških inovacij v kmetijstvu, pravnih ukrepov za zmanjšanje zavržene hrane ter pomena opraševalcev za stabilnost prehranskih verig. Posebno pozornost so namenili tudi vprašanjem podhranjenosti, lakote ter razvoju orodij in pristopov, ki lahko prispevajo k učinkovitejšemu načrtovanju in upravljanju prehranskih sistemov.

Prispevki odražajo interdisciplinarni pristop, povezovanje znanj s področij naravoslovja, tehnologije, prava, zdravstva in družboslovja ter zavedanje o pomenu trajnostnega ravnanja z naravnimi viri. Zbornik ponuja dragocen vpogled v aktualne izzive in priložnosti, povezane z razvojem trajnostnih prehranskih sistemov, ter prispeva k razumevanju možnih rešitev za prihodnost in s tem k uresničevanju drugega cilja trajnostnega razvoja Združenih narodov.

Naj vam bo v navdih za nadaljnje raziskovanje in razmislek o vlogi, ki jo ima trajnostna prehrana pri oblikovanju bolj odporne, pravične in trajnostne družbe.

**QR koda
(www.asef.net)**

