



Paradižnike so v projektu gojili v trojih različnih razmerah, med njimi je bilo tudi gojenje v hidroponu. FOTOGRAFIJE ARHIV IJS



Lončni poskus z zemljo, pomešano z odpadnim blatom

# Namakanje s prečiščeno vodo iz čistilnih naprav: da ali ne

**Raziskovalni projekt** Ugotavljali so, ali mikroonesnažila iz prečiščene vode prehajajo v paradižnik

V Sloveniji se lahko pohvalimo z dobro pitno vodo. To ne le pije, ampak jo med drugim uporabljamo za namakanje rastlin. Toda dolgotrajne suše so že pokazale, kakšen bo videti svet, ko bo voda še dragocenejša, zato je smiselno že danes iskati alternative za namakanje kmetijskih površin. Ena od teh je prečiščena odpadna voda iz čistilnih naprav. V nekaterih državah jo že uporabljajo. Na Inštitutu Jožef Stefan (IJS) so v projektu Uptake podrobneje preučili uporabo tako vode kot blata iz čistilnih naprav pri gojenju paradižnika.

SAŠA SENICA

»Skušali smo oceniti smiselnost uporabe prečiščene vode in ali so tako vzgojeni paradižniki varni za prehranjevanje,« je raziskavo na kratko strnila raziskovalka dr. Eirini Andreasiidou. Osrednji namen projekta je bil zapolniti vrzeli v znanju na tem področju. »Glavna težava je pomanjkanje zanesljivih in primerljivih raziskav v realnih pogojih ter dolgoročnih raziskav, iz katerih bi lahko potegnili verodostojne zaključke,« je poudarila vodja projekta prof. dr. Ester Heath z Odseka za znanosti o okolju IJS. »A na koncu je vse odvisno od tega, koliko vode je na razpolago v določeni državi in ali je korist večja od tveganja.« V Izraelu reciklirajo 90 odstotkov odpadnih voda, od tega se jih 85 odstotkov porabi za namakanje v kmetijstvu. V Evropi pri tem prednjači Španija, kjer prečiščeno odpadno vodo uporabljajo predvsem na območjih ob sredozemski obali, sledi Italija. EU je leta 2023 sprejela uredbo o ponovni uporabi vode, ki določa usklajene minimalne zahteve glede kakovosti prečiščene komunalne odpadne vode za varno uporabo pri kmetijskem namakanju.

27 mikroonesnažil

V izrazito interdisciplinarni raziskavi so se osredotočili na vpliv onesnažil, ki vzbujajo zaskrbljenost (angl. *contaminants of emerging concern, CEC*). Te snovi lahko prehajajo v rastline, vstopajo v prehransko verigo in tako potencialno ogrožajo zdravje ljudi, živali in okolje, je še pojasnila. Preučevali so vnos 27 mikroonesnažil v rastline paradižnika v različnih rastnih razmerah. »Med tarčnimi spojinami so ostanki učinkovin iz farmacevtskih izdelkov, izdelkov za osebno rabo, industrijske kemikalije, hormonski motilci, pesticidi. Spremljali smo na primer bisfenole (gradniki v proizvodnji polikarbonatne plastike), karbamazepin, ki je antiepileptik, pa ibuprofen in

druge,« je naštel Eirini Andreasiidou.

»V glavnem delu raziskave smo v paradižnikih, gojenih v zemlji in namakanih s prečiščeno odpadno vodo v izbranih eksperimentalnih pogojih, določili nad mejo kvantifikacije le karbamazepin, kar sovpada z literaturo o drugih raziskavah po svetu. Če upoštevamo le teh 27 preučevanih onesnažil, lahko rečemo, da bi bili naši paradižniki varni za uporabo. Vendar se je treba zavedati, da marsičesa še nismo preučili,« je bila jasna dr. Andreasiidou in nadaljevala, da naj na prečiščeno vodo gledamo kot na bodoči vir za namakanje, če se bo pojavila težava s pitno vodo. »Še posebej ob upoštevanju, da se pripravljajo novi ukrepi glede čiščenja odpadnih vod, kar bo pripomoglo k temu, da bo ta voda varnejša za uporabo.«

V prečiščeni odpadni vodi je po besedah profesorice Heath veliko več kot 27 mikroonesnažil. »In trenutno potekajo netačne analize, to je določanje vseh drugih spojin, ki so prisotne. To je zelo zahteven postopek, ki terja tako izurjeno osebo kot drago opremo.« Najbolj problematična so po njenih pojasnilih onesnažila, stabilna v odpadni vodi. »Med zdravilnimi učinkovinami sta to diklofenak in karbamazepin, ki se uporabljata tudi kot markerja antropogene onesnaženja. Drugi pogoj pa je strupenost, saj če spojina nima negativnega učinka na človeka oziroma okoljske organizme, je lahko prisotna v visokih koncentracijah brez tveganja,« je dejala. »Posebna

**Na koncu je vse odvisno od tega, koliko vode je na razpolago v določeni državi in ali je korist večja od tveganja.**

ESTER HEATH

kategorija so antibiotiki in antimikrobna sredstva zaradi njihove sposobnosti stimuliranja izražanja in perzistence genov odpornosti ter njihovega vpliva na strukturo in delovanje talnega mikrobioma,« je še nadaljevala prof. dr. Heath. »Te smo določili v tleh tudi po 30 mesecih od začetka poskusa, kjer je bil kvocient tveganja za azitromicin nad ena, za triklokarban pa nad 100.«

Skupna ugotovitev raziskovalcev z IJS in Nacionalnega inštituta za javno zdravje (NIJZ) ob koncu projekta je, da je tveganje vnosa organskih in anorganskih one-



Namakanje v lizimetrih

snažil v plod paradižnika »v običajnih kmetijskih pogojih nizko, vendar se lahko poveča ob višjih ali dolgotrajnejših obremenitvah ter neustreznih uporabi«. Z ekološkega vidika pa je po njihovi oceni tveganje nekoliko višje, predvsem zaradi kopičenja in obstojnosti onesnažil v tleh, kar omogoča njihov prenos v rastline. Ester Heath je tako povzela, da »ne moremo trditi, da ni tveganja ob uživanju teh plodov, vendar je treba preценiti, ali je tveganje manjše od koristi, ki jih tovrstna praksa prinaša.«

Gojenje paradižnika

V sodelovanju z Biotehniško fakulteto, Zdravstveno fakulteto in Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani so raziskovalci z IJS paradižnik gojili v trojih različnih razmerah. V rastnih poskusih so uporabili prečiščeno odpadno vodo iz ajdovske čistilne naprave (gojenje v hidroponu in namakanje v lizimetrih) in komunalno blato (lončni poskus z zemljo, pomešano z odpadnim blatom, ki ga pridobili iz Centralne čistilne naprave Domžale-Kamnik), z dodatkom onesnažil in brez njega, medtem ko sta pitna voda in šotni substrat služila kot kontrolni poskus. Komunalno blato se sicer za gojenje rastlin pri nas ne sme uporabljati. »Vzrok je bolj verjetno v vsebnosti kovin in mikrobioloških kontaminantov. Naši poskusi so pokazali omejeno tveganje za zdravje ljudi ob uživanju paradižnikov, gojenih z odpadnim blatom (zmešanim z zemljo),

Ekološko tveganje pa je pokazalo, da je problematična predvsem večkratna (dolgoročna) uporaba odpadnega blata v kmetijstvu,« je razložila profesorica.

Prehajanje kontaminantov v plodove paradižnika je po ugotovitvah projekta večinoma omejeno, kar je ključno z vidika varnosti hrane. Večina se jih kopiči predvsem v koreninah in listih. »Kateri pride do plodu, je odvisno od več dejavnikov: od fizikalno-kemijskih lastnosti onesnažil, od same rastline, ali je listnata ali plodovka in ali je plod gomolj ali nad zemljo, od fizikalno-kemijskih lastnosti zemlje oziroma tal, načina namakanja oziroma izpostavitve odpadni vodi,« je naštel dr. Heath. V hidroponskem poskusu so opazili upočasnjen rast rastlin, rumenenje listov in slabše razvite korenine, kar je oviralo razvoj plodov. Vnos v plodove je bil višji kot v lizimetrih in lončnem poskusu, tako po številu snovi kot po njihovi vsebnosti. Tudi pri uporabi komunalnega blata so bile v plodovih le posamezne snovi in še te v omejenem obsegu. Na podlagi eksperimentalnih podatkov je dr. Nadja Hvala z IJS razvila napovedni model, ki z uporabo metod strojnega učenja omogoča oceno vnosa različnih onesnažil v rastline glede na njihove fizikalno-kemijske lastnosti. Namen modela je napovedati vnos onesnažil v rastline za širok spekter spojin ter s tem podpreti oceno tveganja in varno rabo trajnostnih virov v kmetijstvu.

Poleg varnosti so raziskovali tudi kakovost plodov. »To smo preučevali skozi nutricionistični profil, in sicer smo analizirali aminokislino, sladkorje, fenole, maščobne kisline, pa tudi hlapne organske spojine. Profili paradižnikov so se glede na način gojenja razlikovali,« je pojasnila Anja Vežar z IJS. Vendar je težko govoriti o pozitivnih ali negativnih vplivih na samo kakovost. »V projektu namreč nismo opravljali senzoričnih testov, ocena kakovosti pa je odvisna predvsem od teh. Se je pa pokazalo, da so bila ta onesnažila vir stresa za rastline.« Na pogled se paradižniki sicer niso razlikovali. »Vsi so bili videti zdravi, lepi, rdeči.«

Mikro- in nanoplastika

V projektu so razvijali tudi metode za prizvem mikro- in nanoplastike v plodove paradižnika, preučevanje v realnih pogojih bo potekalo v naslednji študiji. V sodelovanju z Zdravstveno fakulteto so razvili metode za spremljanje mikroplastike v odpadnem blatu, v eksperimentalnem projektu pa so preučevali tudi prizvem s kovino dopirane polistirenske nanoplastike v paradižniku in njen vpliv na porazdelitve elementov v rastlinah paradižnika.

»Paradižniki, gojeni hidroponsko v pitni vodi, so bili v raziskavi izpostavljeni polistirenskim nanoplastikam velikosti 200 nanometrov,« je pojasnila dr. Janja Vidmar z IJS. »V znanstveni literaturi že obstajajo dokazi o prizvemu najmanjših delcev mikroplastike in nanoplastike v užitne dele rastlin. To je bilo doslej potrjeno pri vrtnarstvu, kot so kumare in solata, medtem ko paradižnik še ni bil predmet takšnih raziskav,« je razložila. Eden ključnih izzivov pri proučevanju nanoplastike v rastlinskih tkivih in okoljskih vzorcih ostaja pomanjkanje ustreznih analitskih metod za njihovo zanesljivo detekcijo. »Zato smo v raziskavi uporabili posredno metodo s kovinskimi sledilci. Rastline smo izpostavili

**Na podlagi eksperimentalnih podatkov so razvili napovedni model, ki z uporabo metod strojnega učenja omogoča oceno vnosa različnih onesnažil v rastline glede na njihove fizikalno-kemijske lastnosti.**

nanoplastiki, dopirani s kovino, pri čemer naj bi merjenje koncentracij kovin omogočilo spremljanje porazdelitve nanoplastike. Vendar se je med eksperimentom izkazalo, da prihaja do znatnega izluževanja kovinskega sledilca iz delcev, zaradi česar rezultati niso dovolj zanesljivi za dokončne sklepe,« je razložila potek pilotnega poskusa. Zato ni mogoče niti potrditi niti ovreči prisotnosti nanoplastike v plodovih paradižnika. So pa delce zaznali v koreninah, kar je bilo glede na način izpostavitve pričakovano. V eksperimentu je bila uporabljena pitna voda z dodano nanoplastiko v koncentraciji 1 mg/L, kar je primerljivo s pričakovanimi koncentracijami v okolju, medtem ko dejanske koncentracije nanoplastike v prečiščeni odpadni vodi še niso znane.

Za nadaljnje raziskave bodo na IJS uporabili nov specializiran instrument, ki bo omogočal neposredno identifikacijo in masno kvantifikacijo mikro- in nanoplastike brez potrebe po uporabi kovinskih sledilcev. S to pridobitvijo se bodo razširile možnosti določanja mikro- in nanoplastike v različnih okoljskih, zdravstvenih in prehranskih matrikah.

V sodelovanju z Zdravstveno fakulteto so v projektu Uptake po besedah Ester Heath spremljali tudi osnovne mikrobiološke parametre

pri ponovni uporabi odpadne vode pri klasičnem in hidroponskem načinu gojenja paradižnika. Ti so pokazali, da prečiščena odpadna voda ni primerna za gojenje paradižnika oziroma bi jo bilo nujno najprej dezinficirati, kar določa tudi evropska uredba o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode. »Slovenske čistilne naprave z redkimi izjemami dezinfekcije nimajo vključene v sistem čiščenja, kar pomeni, da naša odpadna voda ni primerna po veljavnih uredbah za ponovno uporabo. Slovenija za zdaj ni pristopila k sprejetju te uredbe, a odločitev ni dokončna, o tem bodo znova odločali leta 2028,« je še spomnila dr. Heath.

Nova študija

V Arisovem projektu Uptake so kemiki, biologi, mikrobiologi, agronomi, raziskovalci s področij okoljskega gradbeništva, vodarstva in ocene tveganja pridobili in ustvarili ogromno znanja. In seveda so se pojavila številna nova vprašanja. Tako že začenjajo nov projekt, Wider Uptake, *Od odpadka do pridelka: kvartarno čiščenje odpadne vode za varno ponovno uporabo v kmetijstvu*. »Rezultati projekta Uptake so jasno pokazali, da so nadaljnje raziskave nujne za celovitejšo oceno tveganja za potrošnika in okolje,« je poudarila vodja projekta.

Bodo pa že rezultati projekta Uptake veliko prispevali k oceni tveganj za zdravje ljudi in okolje ter k oblikovanju prihodnjih smernic za ponovno uporabo odpadne vode v kmetijstvu. Evropska ureditev iz leta 2020 sicer uvaja oceno tveganja na podlagi vsebnosti CEC, kot so ostanki zdravilnih učinkovin, sredstev za osebno nego in industrijskih kemikalij, medtem ko slovenska zakonodaja ponovne uporabe odpadne vode še ne uvaja na nacionalni ravni. Hkrati je zakonodaja o uporabi komunalnega blata zastarela, saj je še iz leta 1986, njena posodobitev pa se pričakuje v bližnji prihodnosti.

»Nova evropska direktiva o čiščenju odpadnih vod, veljavna od 1. januarja 2025, določa uvedbo dodatne stopnje čiščenja za večino komunalnih čistilnih naprav. Uvesti bodo morale dodatno kvartarno čiščenje, ki bo namenjeno odstranjevanju CEC. In to bo najverjetneje pripomoglo k manjšemu tveganju za potrošnika in okolje,« je razložila sogovornica. Vendar pa: »Zadeva ni tako enostavna. Kvartarno čiščenje lahko prispeva k tvorbi tako imenovanih transformacijskih produktov, ki so lahko tudi bolj strupeni od spojine, iz katere nastanejo. In tudi to obravnava naš naslednji projekt.«

## INTERDISCIPLINARNA RAZISKAVA

Projekt Uptake, *Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: prizvem in porazdelitev prioritarnih onesnažil v modelni rastlini paradižnika*, ki ga je koordinirala prof. dr. Ester Heath z IJS v obdobju 2022–2025, je financirala agencija za raziskovalno dejavnost (Aris), sofinancirala pa šest javnih komunalnih podjetij (Centralna čistilna naprava Domžale-Kamnik, Komunalno stanovanjska družba Ajdovščina, Komunala Novo mesto, Komunalno podjetje Velenje, Komunala Murska Sobota in Komunala Kranj) ter mestna občina Krško. Kot raziskovalni partnerji so sodelovali raziskovalci Univerze v Ljubljani (Biotehniška fakulteta, Zdravstvena fakulteta in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo) ter Nacionalnega inštituta za javno zdravje. Projekt podpira Zbornica komunalnega gospodarstva pri Gospodarski zbornici Slovenije in Skupnost občin Slovenije.