

Prečiščena odpadna voda za namakanje v Sloveniji: potencial, tveganja in sistemske rešitve

Špela ŽELEZNIKAR^{1, 2}, Darja ISTENIČ^{3, 4}

Received October 13, 2025; accepted November 20, 2025
Delo je prispelo 13. oktober 2025, sprejeto 20. november 2025

Prečiščena odpadna voda za namakanje v Sloveniji: potencial, tveganja in sistemske rešitve

Izvleček: Voda je ključen naravni vir, ki omogoča življenje in razvoj družbe, zato postaja njeno trajnostno upravljanje vse pomembnejše. Ena izmed možnosti za ohranjanje vodnih virov je uporaba prečiščene odpadne vode (POV) kot alternativnega vira za namakanje v kmetijstvu. POV je voda, ki je po sekundarnem čiščenju in osnovnem razkuževanju ponovno primerna za uporabo po iztoku iz komunalne čistilne naprave. Kljub razpoložljivim količinam POV in obstoječi zakonodajni podlagi se ta možnost v Sloveniji še ni uveljavila v praksi. Prispevek obravnava priložnosti in izzive, povezane z uvajanjem POV za namakanje, ter poudarja potrebo po sistemske pristopu, ki bi omogočil varno in učinkovito uporabo tega vodnega vira. V okviru raziskave je bil analiziran zakonodajni okvir na evropski in nacionalni ravni in pripravljen pregled obstoječih prakse ter tehničnih in institucionalnih izzivov, ki vplivajo na izvajanje uporabe POV. Opravljena je bila ocena potenciala rabe POV v Sloveniji, ki upošteva razpoložljive količine POV, stopnjo čiščenja ter prostorsko razporeditev čistilnih naprav v odnosu do kmetijskih površin.

Ključne besede: prečiščena odpadna voda, ponovna uporaba, kmetijstvo, klimatske spremembe

Using treated wastewater for irrigation in Slovenia: Opportunities, risks and systemic frameworks

Abstract: Water is a key natural resource essential for life and societal development, making its sustainable management increasingly important. One promising approach to preserving water resources is the use of treated wastewater (TWW) as an alternative source for agricultural irrigation. TWW refers to water that has undergone at least secondary treatment and basic disinfection, making it suitable for reuse after discharge from municipal wastewater treatment plants. Despite the available quantities of TWW and an established legislative framework, its practical application in Slovenia remains limited. This contribution examines the opportunities and challenges associated with introducing TWW for irrigation and highlights the need for a systematic approach to ensure its safe and efficient use. The study analyses the legislative framework at both the European and national levels and provides an overview of current practices as well as the technical and institutional challenges influencing the implementation of TWW reuse. An assessment of the potential for TWW use in Slovenia was conducted, taking into account the available volumes, treatment levels, and the spatial distribution of wastewater treatment plants in relation to agricultural land.

Key words: municipal wastewater, reuse, agriculture, climate change

¹ Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana, Slovenija

² korenspondenčni avtor: spela.zeleznikar@bf.uni-lj.si

³ Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana, Slovenija

⁴ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, Slovenija

1 UVOD

Eden izmed osrednjih svetovnih izzivov pri uresničenju ciljev trajnostnega razvoja je učinkovito upravljanje vodnih virov (Hashem & Qi, 2021; Lu et al., 2023). Pomanjkanje vode, onesnaženje ter hitro naraščanje svetovnega prebivalstva, predstavljajo vseprisoten izziv za številne regije po svetu. Na nekaterih območjih povpraševanje po vodi presega razpoložljive količine sladkovodnih virov, tako površinskih kot podzemnih (Csordás, 2024; Hashem & Qi, 2021; Phogat et al., 2020).

Voda predstavlja enega najpomembnejših naravnih virov, saj omogoča življenje, spodbuja gospodarsko rast in podpira industrijsko ter kmetijsko dejavnost. Svetovne zaloge čiste sladke vode se vztrajno zmanjšujejo, medtem ko povpraševanje po vodi, zaradi demografskih in gospodarskih dejavnikov, vztrajno narašča (Al-Hazmi et al., 2023; Valipour & Singh, 2016).

Zaradi pričakovane rasti svetovnega prebivalstva se pričakuje tudi povečano povpraševanje po kmetijski pridelavi, kar še dodatno povečuje pritisk na razpoložljive zaloge sladke vode. V številnih sušnih in polsušnih območjih so ti izzivi še posebej pereči, saj že zdaj primanjuje sladkovodnih virov za zadostitev potreb kmetijskega sektorja (Qadir et al. 2010; Hamilton et al. 2007; Otoo in Drechsler 2018). Namakanje za potrebe kmetijske pridelave predstavlja največjo porabo sladke vode na svetovni ravni, saj porabi približno 70 % celotnega odvzema iz površinskih in podzemnih vodnih virov (Al-Hazmi et al., 2023; Zhang et al., 2022).

V luči ohranjanja vodnih virov, predstavlja uporaba prečiščene odpadne vode (POV) vse bolj pomembno izbiro ter alternativni vir vode v kmetijstvu (Drechsel et al., 2022; Valipour & Singh, 2016; Zhang et al., 2022). POV je opredeljena kot voda, ki je bila vsaj sekundarno čiščena in osnovno razkužena ter se ponovno uporabi po iztoku iz komunalne čistilne naprave (KČN) (Ofori et al., 2021). Lastnosti POV se lahko bistveno razlikujejo glede na njen izvor (Kesari et al., 2021) in tehnologijo čiščenja, zato je potreben individualen pristop k spremljanju varnosti ponovne uporabe, *še posebej ko gre* za namakanje (Csordás, 2024; Tian et al., 2025). Glavno tveganje pri ponovni uporabi POV, predstavljata varna uporaba in kakovost POV, saj lahko nezadostno prečiščena POV vsebuje ostanke patogenov, težkih kovin ali farmacevtskih sredstev (Koumaki et al., 2025; Tian et al., 2025; Rizzo et al., 2020; Scheierling et al., 2010) water resource shortages are becoming increasingly prominent and directly affect the sustainable development of society. As an unconventional water resource, reclaimed water has several advantages, such as being unaffected by climate, being stable and reliable, and being widely used for vegetation irrigation. Nevertheless, long-term safety of irrigation

with reclaimed water (IRW, ki se lahko prenašajo po prehranjevalni verigi).

Uporaba POV za namakanje ima dolgo zgodovino, saj so v Evropi že v začetku 20. stoletja uporabljala odpadno vodo v kmetijstvu (Ofori et al., 2021). Čeprav je ta praksa prispevala k povečanju kmetijske produktivnosti, so se hkrati pojavila tveganja za zdravje ljudi in onesnaženje okolja. Danes države kot so Kitajska, Indija, Vietnam in Pakistan uporabljajo POV za namakanje več kot milijon hektarjev kmetijskih površin (Lu et al., 2023; Zhang et al., 2022) investigating the adaptation status of the "Water-Social-Economy" composite system (WSE oz. 10 % vseh površin, ki se jih globalno namaka.

Globalna proizvodnja odpadne vode je ocenjena na 380 milijard m³ letno in se vseskozi povečuje (Pratap et al., 2023). Ker se sočasno pojavlja tudi potreba po novih vodnih virih, postaja POV vse bolj prepoznana kot zanesljiv vir vode za sušne in polsušne regije. Poleg kmetijstva je uporaba POV možna tudi za okoljske, industrijske in urbane namene, vendar se prav uporaba za namakanje uveljavlja kot najbolj razširjena praksa. Kmetijstvo predstavlja največjega porabnika vodnih virov, zato ponovna uporaba POV v tem sektorju omogoča pomembno razbremenitev pritiskov na sladkovodne vire. Poleg tega POV po sekundarnem čiščenju pogosto doseže ustrezno kakovost za namakanje določenih skupin rastlin (okrasne rastline, drevjem ipd.) brez potrebe po zahtevnih terciarnih postopkih. POV lahko vsebuje tudi koristna hranila, kot so dušik in fosfor, kar pri namakanju prispeva k delnemu zapiranju hranilnih ciklov in zmanjšanju potrebe po mineralnih gnojilih. Logistično je raba POV za namakanje pogosto lažje izvedljiva, saj so kmetijske površine v številnih regijah umeščene v neposredno bližino KČN, kar zmanjšuje stroške distribucije (Chojnacka et al., 2020; Ghernaout, 2017; Intriago et al., 2018) 2020; Ghernaout, 2017; Intriago et al., 2018.

V Sloveniji je bilo doslej objavljenih razmeroma malo znanstvenih in strokovnih prispevkov, ki obravnavajo ponovno uporabo POV v kmetijstvu, vendar razpoložljive študije predstavljajo pomemben temelj za nadaljnji razvoj tega področja. Najobsežnejši in najdlje delujoči raziskovalni poligon v Sloveniji je KČN Ajdovščina, na kateri je bile izvedene glavna opravljena študij. Med najpomembnejšimi so eksperimentalne študije, ki so raziskale vpliv namakanja s POV na rastline in tla, vključno z dolgoročni spremljanjem prenosa različnih vrst onesnaževal v rastline in plod paradižnika (Kovačič et al., 2023) ter oceno učinkov POV na kakovostne parametre plodov paradižnika (Heath et al., 2025). Raziskave so se osredotočale tudi na širšo oceno možnosti uporabe POV v slovenskem prostoru ter na poskuse, izvedene na KČN Ajdovščina v obdobju 2020–2023, ki so pokazali, da lahko POV zagotavlja stabilen vir vode ter vpliva na nekatere

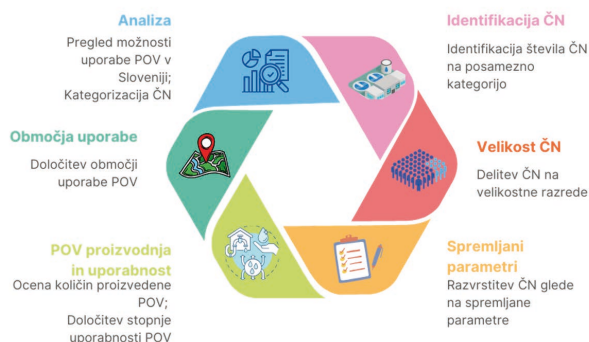
re fizikalno-kemijske lastnosti tal in odzive proučenih kulturnih rastlin (Železnikar et al., 2023).

Kljub evropski Uredbi (Uredba EU 2020/741, 2020), ki od junija 2023 uvaja minimalne zahteve glede kakovosti in spremljanja vode za ponovno uporabo v kmetijstvu, v Sloveniji POV za namakanje še ni v splošni rabi prav tako ni sistemske zakonodaje glede rabe POV za namakanje ter navodil za pridobitev dovoljenj za njeno rabo (vodno in druga dovoljenja za odvzem). Po podatkih Agencije RS za okolje je leta 2019 v Sloveniji prečiščeno okoli 158 mio m³ komunalne odpadne vode, pri čemer je bilo 113 mio m³ čiščenih po terciarnih postopkih (z odstranitvijo hranil), kar predstavlja dobršen potencial za ponovno uporabo POV (Leskovar, 2020; Pavlin, 2024). Pri tem je zato pomembno celostno razumevanje možnosti in izzivov, povezanih z uporabo POV v slovenskem prostoru, kar predstavlja izhodišče za pripravo tega prispevka. Njegov namen je oris uporabe POV za namakanje, pregled potenciala v Sloveniji ter predstavitev izhodišč za postavitve sistemskega pristopa k uporabi POV za namakanje kmetijskih zemljišč.

2 MATERIAL IN METODE

Na začetku smo pregledali obstoječe stanje na področju uporabe POV, in sicer zakonodajni okvir na evropski in nacionalni ravni, s poudarkom na predpisih, ki urejajo ponovno uporabo POV v kmetijstvu. Nadalje smo analizirali trenutne prakse in možnosti uporabe POV kot alternativnega vodnega vira za namakanje v slovenskem prostoru, pri čemer so bile upoštevane tako tehnične kot institucionalne omejitve in priložnosti. Sledila je analiza dejanskega potenciala rabe POV v Sloveniji, z upoštevanjem razpoložljivih količin prečiščene vode, stopnje čiščenja ter prostorske razporeditve čistilnih naprav v povezavi s kmetijskimi površinami. Delo je temeljilo na pregledu znanstvene in strokovne literature, veljavne zakonodaje, strateških dokumentov ter podatkov nacionalnih in evropskih institucij (Slika 1).

V Sloveniji upravljavci komunalnih ČN zagotavljajo obratovalno sledenje skladno z zakonodajnimi zahtevami. Podatke o delovanju ČN zbira Agencija RS za okolje (ARSO). Del podatkov je javno objavljen na spletnem portalu, medtem ko so preostali podatki na voljo na zahtevo. Za potrebe analize potenciala uporabe POV v Sloveniji so bili od ARSO pridobljeni podatki o iztočnih vrednostih tistih parametrov, za katere so v Uredbi o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode določene mejne vrednosti. Poleg tega so bili za vsako javno ČN zbrani tudi podatki o njeni velikosti (izraženi v populacijskih ekvivalentih – PE), letni količini prečiščene



Slika 1: Shematski prikaz posameznih korakov analize možnosti uporabe ter značilnosti POV v Sloveniji

vode, vrsti sprejemnega vodnega telesa, lokaciji naprave in upravljavcu.

2.1 ANALIZA POTENCIALA RABE POV V SLOVENIJI

V tej analizi smo vse javne komunalne ČN razvrstili v kategorije glede na obseg sledljivosti (monitoringa) kakovosti iztoka za parametre, ki jih opredeljuje Uredba o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode (Uredba (EU) 2020/741, 2020). Razvrstitev temelji na parametrih, ki se redno spremljajo v okviru obratovalnega monitoringa in ali so ti parametri vključeni tudi v Uredbo o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode.

Za ČN s kapaciteto manjšo od 2.000 PE smo upoštevali enak nabor parametrov, kot se zahteva za srednje velike naprave, kapaciteto med 2.000 ≤ PE < 10.000. Razvrstitev v kategorije ne predstavlja ocene kakovosti iztoka, temveč zgolj podatkovni okvir oziroma obseg razpoložljivih informacij, ki izhajajo iz rutinskega monitoringa posamezne naprave.

Kategorije so bile oblikovane tako, da višja kategorija pomeni širši nabor spremljanih parametrov, kar posredno kaže na manjšo potrebo po nadgradnji čiščenja, če bi želeli iztok uporabiti za namakanje. Posledično so ČN, ki spadajo v višje kategorije, prioritete za vključevanje v sisteme ponovne uporabe POV, saj je v teh primerih voda že lahko ustrezna za določene načine uporabe ali pa bi bile potrebne le minimalne izboljšave postopkov čiščenja. V Preglednici 1 so predstavljene oblikovane kategorije ČN, glede na posamezne parametre iztoka. V Uredbi o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode (Ur. l. RS, 98/15) motnost ni predpisana kot parameter spremljanja, zato se ne spremlja na nobeni od obravnavanih ČN.

Znotraj posamezne kategorije smo ČN nadalje razvrstili v kakovostne razrede A, B, C in D, kot jih določa

Preglednica 1: Klasifikacijske kategorije ČN. Simbol kljukica pomeni, da se parameter spremlja in iztoki ustrezajo zahtevam Uredbe o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode, simbol vprašaj, da podatek o parametru ni na voljo oz. se ne spremlja. V peto kategorijo sodijo ČN, pri katerih vaj en parameter na iztoku ne ustreza zahtevam Uredbe.

KATEGORIJA	BPK _s	NERAZTOPLJENE SNOVI	E.COLI	MOTNOST
I	✓	✓	✓	?
II	✓	?	✓	?
III	✓	✓	?	?
IV	✓	?	?	?
V	vsaj en parameter ne ustreza			?

Uredba o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode (Uredba (EU) 2020/741, 2020). Razvrstitev temelji na tistih parametrih, za katere so bili na voljo podatki. V nekaterih primerih je bil kakovostni razred določen pogojno, saj je za posamezen parameter podatek manjkal. Poleg tega smo ČN razporedili tudi v velikostne razrede glede na število populacijskih ekvivalentov (PE), kot prikazuje Preglednica 2.

Preglednica 2: Razporeditev ČN v velikostne razrede glede na število populacijskih ekvivalentov (PE).

Velikostni razred	Število PE
1	PE < 50
2	50 < PE ≤ 2 000
3	2 000 < PE ≤ 10 000
4	10 000 < PE ≤ 100 000
5	PE > 100 000

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

3.1 PREGLED ZAKONODAJNIH OKVIROV NA EVROPSKI IN NACIONALNI RAVNI

Zgodovinski pregled mednarodnih priporočil za ponovno uporabo POV kaže na dolgoročna prizadevanja za vzpostavitev kakovostnih standardov varne uporabe. Svetovna zdravstvena organizacija (World Health Organization – WHO) je prvi dokument z merili kakovosti POV za ponovno uporabo izdala že leta 1973. Dokument je bil posodobljen leta 2006 in vključuje obsežne napotke za varno uporabo POV, predvsem z vidika varovanja

javnega zdravja in okolja. Podoben dokument je izdala tudi Organizacija Združenih narodov za prehrano in kmetijstvo (Food and Agriculture Organization – FAO) leta 1999, ter Agencija za varstvo okolja Združenih držav Amerike (Environmental Protection Agency – EPA) leta 2012 (Železnikar et al., 2023). Ti dokumenti skupaj tvorijo pomemben strokovni okvir, ki ga posamezne države lahko prilagajajo svojim lokalnim razmeram in zakonodajnim zahtevam.

V slovenskem prostoru je do leta 2017 področje namakanja kmetijskih zemljišč in kakovosti vode urejala Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla (Uradni list RS, št. 84/05, 62/08, 113/09, 99/13, 19/17), ki je določala tudi mejne vrednosti nekaterih parametrov vode za namakanje, skladno s smernicami FAO. Po njenem prenehanju nacionalnega predpisa, ki bi opredeljeval minimalne zahteve za kakovost vode, namenjene namakanju, ni več v veljavi, kar ustvarja regulatorno vrzel v upravljanju tveganj in varni rabi POV.

Pomemben mejnik k ureditvi področja uporabe POV predstavlja sprejem Uredbe EU o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode, ki je stopila v veljavo junija 2023. Uredba določa kakovostne razrede obdelane vode na podlagi njene predvidene uporabe (npr. vrsta kulturnih rastlin, način namakanja) (Preglednica 3), ter ustrezne mejne vrednosti ključnih parametrov. Predstavlja temeljno zakonodajno osnovo za vzpostavitev sistema ponovne rabe POV v kmetijstvu v državah članicah EU, vključno s Slovenijo. Pri implementaciji pa lahko kot dopolnilna strokovna podlaga služijo tudi prej omenjene smernice WHO, FAO in EPA.

Pomembno vodilo za POV v kmetijstvu predstavljajo mednarodne smernice Guidelines for Treated Wastewater Use for Irrigation Projects, predvsem pa ISO standardi serije ISO 16075 in ISO 20419:2018, ki zajemajo celoten okvir projekta ponovne rabe – od osnovnega načrtovanja, razvoja in tehničnih sestavnih delov, prek nadzora in spremljanja kakovosti, do razkuževanja, enakovrednih postopkov obdelave ter ocene hranilne vrednosti in prilagoditve gnojenja ter ustrezne prilagoditve namakalnih sistemov glede na kakovost vode. V praksi te smernice omogočajo varno, učinkovito in tehnično ter zdravstveno skladno izvajanje ponovne rabe POV v kmetijstvu. Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije leta 2017 izdala dobre prakse za namakanje z vidika mikrobiološke ustreznosti vode, ki pa ne predstavljajo celovite zakonodajne rešitve (Dobre prakse namakanja kmetijskih zemljišč z vidika mikrobiološke ustreznosti, KGZS, 2018).

Ti rezultati kažejo, da je Slovenija trenutno v prehodnem obdobju brez aktivnega nacionalnega predpisa, hkrati pa obstajajo jasne usmeritve na ravni EU in mednarodni standardni ravni, ki omogočajo sistemati-

čen razvoj področja. Ključna izziva ostajata harmonizacija evropske uredbe z nacionalnim pravnim redom ter vzpostavitev operativnega sistema nadzora, izvajanja in podpore uporabnikom POV v kmetijstvu.

Pri načrtovanju ponovne uporabe POV za namakanje kmetijskih zemljišč je nujno upoštevati tako zahteve evropske Uredbe (EU) 2020/741 o minimalnih standardih za ponovno uporabo vode kot tudi zahteve slovenske zakonodaje, ki ureja čiščenje komunalnih odpadnih voda. Slovenska Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode (Uradni list RS, št. 98/15) določa mejne vrednosti osnovnih parametrov kakovosti vode glede na zmogljivost čistilnih naprav, izraženo v populacijskih ekvivalentih (PE), ter glede na stopnjo čiščenja (sekundarno ali terciarno). V preglednici 4 so povzete mejne vrednosti za ključne parametre, ki jih je mogoče uporabiti pri oceni primernosti POV za kmetijsko rabo.

Pri dodatni obdelavi komunalne odpadne vode, kadar gre za izpust v občutljiva okolja, kot so vplivna območja kopalnih voda ali podzemni vodonosniki razpoklinskih (vključno s kraškimi) območij, slovenska zakonodaja določa tudi mejne vrednosti za mikrobiološke parametre. V skladu z Uredbo o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode (Uradni list RS, št. 98/15) so te

zahteve obvezne za čistilne naprave z zmogljivostjo nad 500 PE, kadar se voda izteka v kopalne vode, oziroma nad 2.000 PE za izpuste v podzemne vodonosnike. Med ključnimi mikrobiološkimi parametri sta določena največja dovoljena koncentracija črevesnih enterokokov, ki znaša 400 CFU 100 ml⁻¹ za vodotoke in 200 CFU 100 ml⁻¹ za morje, ter *E. coli*, katere koncentracija ne sme preseči 1.000 CFU 100 ml⁻¹ v vodotokih oziroma 500 CFU 100 ml⁻¹ v morju. Takšne mejne vrednosti so ključnega pomena za zaščito kopalcev in ohranjanje kakovosti vodnih virov, namenjenih pitni vodi ali rekreaciji.

Slika 2 prikazuje pregled predpisanih parametrov, ki jih določata evropska (ES 2020/741) ter nacionalna uredba (Uradni list RS, 98/15). Razvidno je, da evropska uredba (ES 2020/741) za ponovno uporabo vode predpisuje širši nabor mikrobioloških parametrov (npr. *E. coli*, *Legionella* spp., helminti) ter fizikalnih parametrov (npr. motnost), ki jih nacionalna uredba ne zajema, zlasti pri manjših ČN. Po drugi strani pa nacionalna uredba dodatno vključuje parametre kakovosti vode, kot so kemična potreba po kisiku (KPK), amonijev dušik, celotni fosfor in celotni dušik – a le za večje ČN (≥ 2000 PE).

Različni parametri spremljanja kažejo na potrebo po zagotavljanju dodatnega monitoringa POV na iztoku

Preglednica 3: Kakovostni razredi prečiščene odpadne vode, pripadajoče mejne vrednosti in pogoji uporabe (povzeto po Uredba EU 2020/741)

Razred	<i>E. coli</i> (št. 100 ml ⁻¹)	BPK _s (mg l ⁻¹)	Nerazto-pl- jene snovi (mg l ⁻¹)	Motnost (NTU)	Dodatne zahteve	Kategorija kultur- nih rastlin ¹	Metoda namakanja
A	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	<i>Legionella</i> spp. ≤ 1 000 CFU/L (če obstaja nevarnost aerosolizacije); helminti ≤ 1 jajčece/L (za krmne rastline)	Prehrambene rastline za surovo uživanje, ter korenovke in gomoljnice, kjer užitni del ni v stiku s prečiščeno vodo	Vse metode namakanja
B	≤ 100	Skladno z Dire. 91/271/EGS	/	/	/	Surove (brez stika z vodo), predelane, neprehrambene in krmne rastline	Vse metode namakanja
C	≤ 1 000	/	/	/	/	Enake rastline kot v razredu B	Kapljичno namakanje ali načini, kjer ni stika vode z užitnim delom
D	≤ 10 000	/	/	/	/	Industrijske, energetske in semenske rastline	Vse metode namakanja (z ustreznimi zaščitnimi ukrepi)

¹ Uporaba najstrožjih zahtev - če sta rastlinska vrsta spada v več kategorij

Preglednica 4: Mejni parametri za kakovost prečiščene odpadne vode glede na zmogljivost čistilne naprave (v PE) in stopnjo čiščenja (povzeto po Uradni list. RS 98/15)

Parameter (mg l ⁻¹)	< 50 PE	50 ≤ PE < 2.000	2.000 ≤ PE < 10.000	10.000 ≤ PE < 100.000	PE ≥ 100.000
BPK ₅ ¹	/	/	25	20	20
KPK ²	200	150	125	110	100
Neraztopljene snovi	/	/	35	35	35
Amonijev dušik ²	/	/	10	10	10
Celotni fosfor	/	/	2	2	1
Celotni dušik ^{2,3}	/	/	15	15	10

1Biokemijska potreba po kisiku

2Kemijska potreba po kisiku

2,3Mejni vrednosti za celotni in amonijev dušik veljata pri temperaturi POV ≥ 12 °C na iztoku

iz ČN. Ker so upravljalci čistilnih naprav obvezani k doseganju parametrov, ki jih določa Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode, se odpira vprašanje, kdo je odgovoren za dodatno čiščenje odpadne vode in izvajanje monitoringa v skladu z Uredbo o minimalnih zahtevah za ponovno rabo POV. Ponovna uporaba POV tako zahteva revizijo in ponovno definiranje odgovornosti javnih služb na področju voda.

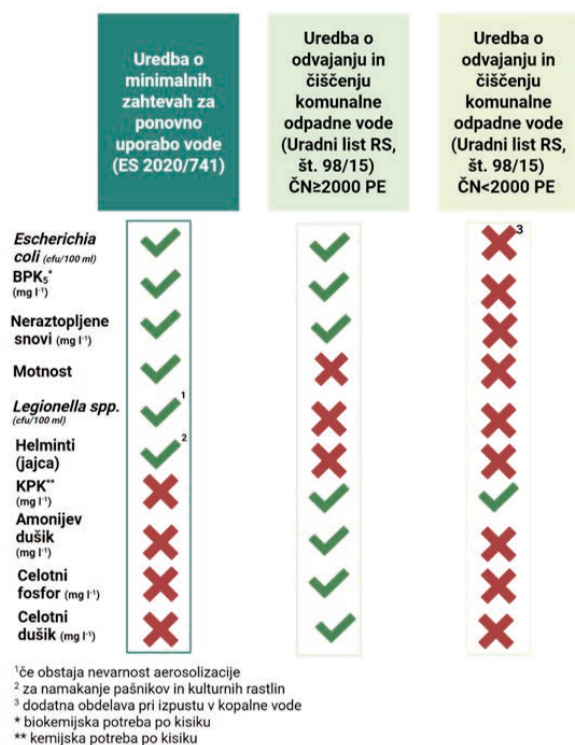
3.2 UPORABA POV KOT ALTERNATIVNEGA VODNEGA VIRA

Zaradi pritiskov na vodne vire opisanih v uvodu, Evropska unija spodbuja širšo uporabo POV in hkrati predlaga omejevanje odvzema vode iz površinskih in podzemnih virov. Takšen pristop prispeva tudi k zmanjševanju neposrednih izpustov POV v naravne vodne ekosisteme.

Trend povečevanja uporabe POV za namakanje je mogoče opaziti tudi na svetovni ravni. Podatki kažejo, da se obseg namakanja s POV, ki trenutno obsega okrog 10 % vseh namakanih površin na svetu, letno povečuje za 10–29 % v Evropi, Združenih državah Amerike in na Kitajskem, v Avstraliji pa celo za približno 41 % (AQUASTAT - FAO's Global Information System on Water and Agriculture, 2025; Hashem & Qi, 2021). Ti podatki odražajo naraščajoče zanimanje za alternativne vire vode, ki lahko zmanjšajo pritisk na konvencionalne vodne vire in hkrati omogočajo bolj trajnostno upravljanje z vodo v kmetijstvu. Uporaba POV, tako omogoča nadomestitev dela konvencionalne oskrbe s vodo, hkrati prispeva k trajnostnemu upravljanju z vodo, saj se poveča učinkovitost rabe razpoložljivih vodnih virov, zmanjša odtok hranil in onesnaževal ter podpre krožno gospodarjenje z vodo in hranil (Al-Hazmi et al., 2023; Ofori et al., 2021).

Po zbranih podatkih deluje v Sloveniji 118 naprav s kapaciteto 2.000 PE ali več, ki skupno prečistijo okoli 135 milijonov m³ ter 415 čistilnih naprav s kapaciteto manjšo od 2.000 PE, ki skupaj prečistijo približno 7 milijonov m³ odpadne vode letno. Skupna letna količina proizvedene POV tako znaša 142 milijonov m³.

V letu 2024 je bilo za potrebe namakanja v Sloveniji porabljenih 3,2 milijonov m³ vode, s katerimi je bilo namakanih 4.085 ha kmetijskih zemljišč (SURS - Namakanje Zemljišč, 2024). Teoretično bi bilo z vso pro-



Slika 2: Pregled predpisanih parametrov, ki jih določata Evropska uredba (ES 2020/741) ter nacionalna uredba (Uradni list RS, 98/15)

izvedeno POV mogoče namakati približno 207.000 ha zemljišč, kar skoraj v celoti pokriva celotno površino zemljišč, ki so opredeljena kot potencialno primerna za namakanje v Sloveniji (221.355 ha, po podatkih Načrta razvoja namakanja in rabe vode za namakanje v kmetijstvu do leta 2023). Za to je v prvi vrsti potrebna ustrezne kakovosti POV, ki ne predstavlja tveganja za ljudi, živali in okolje.

Poleg ustrezne kakovosti je pri oceni potenciala uporabe POV potrebno izpostaviti še nekaj vidikov. Če POV odteka neposredno v reko, se razredči in postane del rečnega toka, zaradi česar je za kmetijstvo pogosto nepredvidljivo, kje in kdaj bo na voljo zadostna količina vode. S tem, ko POV uporabljamo neposredno za namakanje, zagotavljamo stalno in lokalno razpoložljivo vodo, kar je še posebej pomembno v sušnih obdobjih. Poleg tega POV vsebuje hranila, kot so dušik in fosfor, ki so koristna za rastline. Kontrolirana raba POV obenem zmanjšuje okoljski vpliv, saj direktno spuščanje v reko lahko povzroča obremenitev ekosistemov s hranili. Čistilne naprave in s tem tudi viri POV so razpršeni po celotnem ozemlju Slovenije, kar pomeni, da je POV lahko lokalno lažje dostopna kar zmanjšuje potrebo po daljšem transportiranju POV do območja namakanja. Po drugi strani pa so čistilne naprave v lokalnem okolju pogosto majhne, kar pomeni manjšo količino proizvedene POV, prav tako lahko izziv predstavlja vzpostavitev ustrezne dezinfekcije, kvartarnega čiščenja ali načrta obvladovanja tveganj. Prav tako POV nastaja skozi vse leto razmeroma enakomerno, medtem ko so potrebe po namakanju skoncentrirane v čas rastne sezone. Zaradi te časovne neusklajenosti je smiselno razmisliti o možnostih shranjevanja POV, pri čemer je potrebno za posamezno lokacijo izdelati študijo izvedljivosti, ki upošteva lokalne potrebe, možnosti in omejitve.

Na podlagi zbranih podatkov o posameznih ČN je bila opravljena razvrstitev ČN glede na spremljane parametre. V I. kategorijo ČN, kjer se spremljajo parametri BPK₅, neraztopljen snovi ter *E.coli*, se je uvrstilo 11 ČN (Preglednica 5). Glede na spremljanje parametrov bi tri ČN (Tolmin, Idrija, Cerknica) lahko dosegale kakovostni razred A, če bi uvedle merjenje motnosti in dosegle predpisano mejno vrednost 5 NTU. Štiri ČN (Dolenjske Toplice, Sežana, Pivka, Sečovelje) so v razredu B zaradi rahlo povečanih neraztopljenih snovi ali povečane vsebnosti *E. coli* (10–100 CFU), kar omogoča namakanje rastlin, katerih užiten del ni v stiku s POV. Preostale štiri ČN (Semič, Logatec, Koper, Kozina) so v razredu C (*E. coli* 100–1.000 CFU), kjer je možno kapljično namakanje rastlin, ki se uživajo surove, ob pogoju, da užiten del ni v stiku s POV. Z izboljšanjem dezinfekcije in spremljanjem motnosti bi te naprave lahko

dosegle razred A, kar bi omogočilo namakanje rastlin tudi z užitim delom v neposrednem stiku s POV. ČN Koper (4. velikostni razred), ki letno proizvede 4,9 mio m³ POV, dovolj za namakanje 7.166 ha, lahko pokrije potrebe približno 3.583 ha kmetijskih površin v zaledju.

V II. kategorijo sodijo ČN, katerih iztok ustreza zahtevam glede BPK₅ in *E. coli*. Po Uredbi o minimalnih zahtevah bi bilo potrebno uvesti še merjenje motnosti in neraztopljenih snovi. Sem spada 6 ČN, od tega tri dosegajo kakovostni razred B, ki omogoča namakanje prehrabnih rastlin brez stika užitnega dela z vodo. Posebej izstopa ČN Dragonja (razred D; *E. coli* 1.000–10.000 CFU), kjer je dovoljena uporaba za semenske, industrijske in energetske rastline. Z izboljšano dezinfekcijo in spremljanjem neraztopljenih snovi ter motnosti bi lahko dosegla razred C ali B ter omogočila namakanje prehrabnih rastlin. Letno proizvede 41.659 m³ POV – dovolj za 61 ha ob skladiščenju izven sezone oz. 30 ha v rastni sezoni. V kategorijo sodi tudi ČN Ravnica pri Novi Gorici (razred B), ki letno proizvede 5.680 m³ POV – dovolj za 8,3 ha ob skladiščenju oz. 4 ha brez njega (Preglednica 5).

V III. kategorijo sodijo ČN, ki dosegajo zahtevano kakovost iztoka za BPK₅ in neraztopljen snovi (Preglednica 5). Kategorijo sestavlja 182 naprav po vsej Sloveniji, vključno z ČN večjih slovenskih mest. Ker se iztoki iz teh naprav ne odvajajo v kopalne vode ali razpoklinske vodonosnike, dezinfekcija po Uredbi o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode ni potrebna. Za potrebne uporabe POV bi bilo zato potrebno te naprave nadgraditi minimalno z dezinfekcijo ter spremljanjem motnosti.

V IV. kategorijo smo uvrstili ČN, pri katerih kakovost iztoka ustreza zahtevam za BPK₅, medtem ko se parametri, kot so motnost, neraztopljen snovi in *E. coli*, ne spremljajo. V to kategorijo je uvrščenih 301 ČN, razpršenih po celotnem ozemlju Slovenije. Gre izključno za male čistilne naprave z zmogljivostjo pod 2.000 PE, ki posledično proizvedejo tudi manjše količine POV (Preglednica 5).

V V. kategorijo (Preglednica 5) so uvrščene ČN, katerih kakovost iztoka ne dosega zahtev, določenih v Uredbi o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode, pri vsaj enem od spremljanih parametrov. V to skupino spada 51 ČN, od katerih jih je večina razvrščena v 1. in 2. velikostni razred (male ČN), le tri pa sodijo med večje naprave 3. velikostnega razreda.

Pri vsaki ČN je potrebno v skladu z Uredbo o minimalnih zahtevah izdelati tudi Načrt obvladovanja tveganj, ki je podrobneje opisan v naslednjem poglavju. Načrt med drugim zahteva presojo po morebitnih dodatnih parametrih spremljanja kot so na primer težke kovine in onesnaževala, ki vzbujajo skrb (ostanki

Preglednica 5: Pregled značilnosti in zahtev za ČN razvrščene v kategorije I-V, glede na možnost uporabe POV.

Parametri	Opis
I. kategorija	
Število ČN	11
Velikost naprav	2x 50 < PE < 2.000 7x 2.000 < PE < 10.000 PE 2x 10.000 < PE < 100.000
Spremljani parametri	BPK ₅ , neraztopljene snovi in <i>E. coli</i> (dosegajo predpisano kakovost)
Lokacija	Prispevne površine kopalnih voda ali razpoklinski vodonosniki
POV proizvodnja	~6,7 milijonov m ³ /leto
Zahteve za uporabo POV	Povečanje učinkovitosti dezinfekcije in uvedbo spremljanja motnosti Načrt obvladovanja tveganj
Uporabnost POV	Velika - zaradi možnosti uporabe ter hitrega dodatnega izboljšanja kakovosti pri nekaterih napravah ter bližine kmetijskih površin
Potencialna območja uporabe POV	Kmetijska zemljišča brez vira namakanja v bližini ČN
II. kategorija	
Število ČN	6
Velikost naprav	6x 50 < PE < 2.000
Spremljani parametri	BPK ₅ in <i>E. coli</i> (dosegajo predpisano kakovost)
Lokacija	Ležijo na območjih prispevnih površin kopalnih voda ali razpoklinskih vodonosnikov
POV proizvodnja	~86.000 m ³ /leto
Zahteve za uporabo POV	Izboljšanje dezinfekcije in spremljanje neraztopljenih snovi Načrt obvladovanja tveganj
Uporabnost POV	Srednja – zaradi možnosti hitrega izboljšanja kakovosti pri nekaterih napravah ter bližine kmetijskih površin
Potencialna območja uporabe POV	Kmetijska zemljišča brez vira namakanja v bližini ČN
III. kategorija	
Število ČN	182
Velikost naprav	61x 50 < PE < 2.000 79x 2.000 < PE ≤ 10.000 38x 10.000 < PE ≤ 100.000 4x PE > 100.000
Spremljani parametri	BPK ₅ in neraztopljene snovi (dosegajo predpisano kakovost)
Lokacija	Razpršene po celotni Sloveniji, vključno z vsemi ČN večjih mest
POV proizvodnja	135 milijonov m ³ /leto
Zahteve za uporabo POV	Nadgradnja: dezinfekcija, monitoring <i>E. coli</i> , motnosti (za razred A) Načrt obvladovanja tveganj
Uporabnost POV	Prednost imajo naprave v neposredni bližini kmetijskih zemljišč
Potencialna območja uporabe POV	Kmetijska zemljišča brez vira namakanja v bližini ČN

IV. kategorija

Število ČN	301
Velikost naprav	301x 50 < PE < 2.000
Spremljani parametri	BPK ₅ (dosegajo predpisano kakovost)
Lokacija	Niso na občutljivih območjih (kopalne vode, vodonosniki)
POV proizvodnja	~5 milijonov m ³ /leto (7.000 m ³ /leto/naprava)
Zahteve za uporabo POV	Nadgradnja: dezinfekcija, monitoring <i>E. coli</i> , neraztopljenih snovi, motnosti (za razred A)
Uporabnost POV	Načrt obvladovanja tveganj Nizka prioriteta, a možna za lokalne potrebe po ekonomski presoji
Potencialna območja uporabe POV	Kmetijska zemljišča brez vira namakanja v bližini ČN predvsem v Vipavski dolina, na Krasu ter v Slovenski Istri

V. kategorija

Število ČN	51
Velikost naprav	46x 50 < PE < 2.000 3x 2.000 < PE < 10.000
Spremljani parametri	KPK, BPK ₅ , neraztopljene snovi (ne dosegaajo predpisane kakovosti za vsaj enega od parametrov)
Lokacija	Večina v SV delu države, nekaj v centralni Sloveniji in drugod
POV proizvodnja	1,8 milijona m ³ /leto
Zahteve za uporabo POV	Izboljšanje učinkovitosti čiščenja, uvedba dezinfekcije, monitoring <i>E.coli</i> , po potrebi razširitev monitoringa Načrt obvladovanja tveganj
Uporabnost POV	Nizka – zaradi obsežnih potreb po nadgradnji in neustreznih izhodnih parametrov
Potencialna območja uporabe POV	V specifičnih okoljih, kjer bi ekonomska analiza pokazala upravičenost

zdravil, izdelkov osebne higiene ipd.), kar je potrebno presoditi za vsako ČN, kjer se načrtuje raba POV, ločeno. Med onesnaževala, ki vzbujajo skrb (contaminants of emerging concern - CEC), sodijo številne organske spojine, kot so farmacevtiki, hormoni, pesticidi in mikroplastika. Prisotnost CEC v POV lahko vpliva na kakovost tal, podzemne vode in ekosisteme, zato je njihovo spremljanje in obvladovanje pomemben del celovite ocene tveganj. Poleg neposrednega vpliva na okolje lahko nekateri CEC povzročajo tudi kopičenje v prehranski verigi ter dolgoročno vplivajo na zdravje ljudi in živali (EurEau - Resources - Position Papers, 2025.). Odstranjevanje mikroonesnaževal (kvartarno čiščenje) je predpisano tudi s prenovljeno Direktivo EU o čiščenju komunalne odpadne vode (2024/3019), in sicer za čistilne naprave z več kot 150.000 PE oz za aglomeracije z več kot 10.000 PE na območjih, kjer koncentracija ali kopičenje onesnaževal iz ČN predstavlja tveganje za okolje ali zdravje ljudi.

3.3 SISTEMSKI PRISTOP K VARNI UPORABI PREČIŠČENE ODPADNE VODE

3.3.1 Prilagoditev odstranjevanja hranil potrebam kmetijstva

Pri določanju kakovosti iztoka iz ČN za ponovno uporabo v namakanju je treba v prvi vrsti upoštevati varnost ponovne uporabe z vidika tveganj za zdravje ljudi, živali in okolja. Za preprečevanje evtrofikacije in ohranjanje kakovosti površinskih in podzemnih vodnih teles, je iz odpadne vode pri večjih ČN potrebno odstranjevati tudi hranila, za kar so potrebni dodatni vložki energije, kemikalij in finančnih sredstev. Ohranjanje hranil v POV, ki je namenjena ponovni uporabi, prispeva h krožnemu gospodarstvu in zmanjšuje porabo mineralnih gnojil. Hranila v POV je možno ponovno uporabiti v kmetijski proizvodnji prek fertigacije. Ključnega pomena je usklajeno delovanje med upravljavci naprav za čiščenje oziroma predelavo vode in uporabniki v kmetijstvu, pri

čemer bi moralo biti čiščenje vode prilagojeno potrebam v kmetijstvu (npr. manjše odstranjevanje hranil v obdobju potreb po fertigaciji ter popolno odstranjevanje hranil, ko hranila niso potrebna oz. izven rastne sezone). Kljub temu morajo upravljavci zagotoviti tudi skladnost z zakonodajo glede odstranjevanja onesnažil, pri čemer ima pomembno vlogo prenovljena Direktiva EU o čiščenju komunalne odpadne vode (2024/3019), ki uvaja strožje standarde tudi za odstranjevanje hranil.

3.3.2 Razmejitev pristojnosti in odgovornosti

Poleg ustrezne kakovosti POV, je za učinkovito implementacijo ponovne uporabe vode potrebna natančna opredelitev odgovornosti vseh deležnikov, zlasti med upravljavci ČN in končnimi uporabniki prečiščene vode. Dodatna obdelava vode se lahko izvaja v sklopu obstoječe ČN ali v ločenem objektu za predelavo, vendar morata biti oba na isti lokaciji in v upravljanju istega pravnega subjekta.

3.3.3 Načrt obvladovanja tveganj

Uredba o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode predpisuje pripravo načrta obvladovanja tveganj, ki mora skladno s Prilogo II vključevati: opis sistema ponovne uporabe, opredelitev vseh vpletenih deležnikov, njihovih vlog in odgovornosti; identifikacijo nevarnosti; določitev občutljivih populacij in okolja ter poti izpostavljenosti; oceno tveganj za zdravje ljudi, živali in ekosistemov; dodatne zahteve spremljanja; preventivne ukrepe in sisteme nadzora kakovosti; monitoring stanja okolja; protokole za odzivanje v primeru incidentov in izrednih razmer; ter mehanizme za učinkovito koordinacijo med deležniki.

3.3.4 Načrtovanje sistemskega pristopa

Pri načrtovanju sistemskega pristopa je ključno, da se prioriteta območja določijo na podlagi različnih kriterijev. Med njimi so potrebe po količini in kakovosti prečiščene odpadne vode glede na značilnosti posamezne lokacije in tip kmetijskih kultur. Pomembno je upoštevati tudi razpoložljivost POV iz obstoječih čistilnih naprav, vključno s sezonskimi in letnimi količinami iztoka ter kakovostjo vode na posamezni lokaciji. Prav tako je treba oceniti prostorsko bližino med iztokom in območji namakanja ter logistične možnosti transporta in lokalnega skladiščenja vode.

Pri tem je treba upoštevati tudi potrebne tehnološke nadgradnje čistilnih naprav, bodisi za doseganje predpisanih standardov bodisi za prilagoditev vode tako, da omogoča fertigacijo. Poleg kmetijskega namakanja se lahko prečiščena odpadna voda uporabi tudi za oskrbo urbanih zelenih površin ali kot procesna voda v industrijskih sistemih,

kar prinaša dodatne možnosti za racionalno rabo vodnih virov. Socio-ekonomski vidiki, vključno s stroškovno upravičenostjo, lokalnimi gospodarskimi učinki in vplivi na rabo naravnih virov, prav tako igrajo pomembno vlogo pri določanju prioriteten območij.

4 SKLEPI

V prispevku je predstavljena analiza obstoječega stanja uporabe POV, ki kaže, da se kljub znatnim količinam potencialno uporabne POV in evropski zakonodajni podlagi njena uporaba za namakanje v Sloveniji še ni uveljavila. Razlogi za to so povezani tako s tehničnimi in logističnimi omejitvami kot tudi z zakonodajnimi, ekonomskimi in družbenimi vidiki. V prispevku smo zato obravnavali možnosti in izzive, ki jih ponuja uporaba POV v slovenskem prostoru, z namenom osvetlitve njenega potenciala in opredelitve pogojev za učinkovito implementacijo. Poseben poudarek je bil namenjen pregledu možnosti uporabe POV za namakanje, oceni razpoložljivosti vodnih virov ter oblikovanju zakonodajnih in tehničnih izhodišč, ki so nujna za vzpostavitev celovitega in sistemskega pristopa k rabi POV na kmetijskih zemljiščih v Sloveniji.

Uredba (EU) 2020/741, ki določa minimalne zahteve za ponovno uporabo vode, vzpostavlja jasne mejne vrednosti za parametre POV glede na kakovostne razrede, vrsto rastlin in način namakanja ter jasno opredeli načrta za obvladovanje tveganj, ki mora biti izdelan za vsako uporabo POV ločeno. Primerjava z obstoječimi slovenskimi standardi kaže delno skladnost, pri čemer so nekateri ključni parametri, kot sta motnost in prisotnost bakterij iz rodu *Legionella* spp., v nacionalnem monitoringu še nepokriti.

Slovenija letno proizvede približno 142,5 milijonov m³ POV, pri čemer se večina nastaja enakomerno skozi leto, potrebe po namakanju pa so sezonske. V okviru analize, ji jo predstavljamo v prispevku so bile ČN razvrščene v kategorije glede na skladnost z zahtevami uredbe o minimalnih standardih. Naprave v višjih kategorijah zahtevajo manjše tehnološke nadgradnje in so zato prednostne pri uvajanju ponovne rabe vode. Znotraj posamezne kategorije je bila izvedena dodatna razvrstitev v kakovostne razrede A, B, C in D, odvisno od razpoložljivih podatkov za posamezne parametre. Takšna razčlenitev omogoča ciljno usmerjeno načrtovanje ukrepov ter optimizacijo postopkov za uvajanje sistemske uporabe POV za namakanje v Sloveniji.

ZAHVALA

Avtorci se zahvalujeta Javni agenciji za znanstveno-raziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije.

je (ARIS) za podporo projekta J2-4427 in programa P4-0085 ter P3-0388.

Podatki, uporabljeni v tej raziskavi, so javno dostopni v Repozitoriju UL (RUL).

5 VIRI

- Al-Hazmi, H. E., Mohammadi, A., Hejna, A., Majtacz, J., Esmaeili, A., Habibzadeh, S., Saeb, M. R., Badawi, M., Lima, E. C., & Măkinia, J. (2023). Wastewater reuse in agriculture: Prospects and challenges. *Environmental Research*, 236, 116711. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116711>
- AQUASTAT - FAO's Global Information System on Water and Agriculture. (n.d.). Retrieved 7 August 2025, from <https://www.fao.org/aquastat/en/>
- Chojnacka, K., Witek-Krowiak, A., Moustakas, K., Skrzypczak, D., Mikula, K., & Loizidou, M. (2020). A transition from conventional irrigation to fertigation with reclaimed wastewater: Prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 109959. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109959>
- Csordás, A. (2024). Beyond water stress: Exploring the wastewater-irrigation for sustainable Agriculture. *GeoScape*, 18(2), 162–172. <https://doi.org/10.2478/geosc-2024-0012>
- Dobre prakse namakanja kmetijskih zemljišč z vidika mikrobiološke ustreznosti. (n.d.). KGZS. Retrieved 8 August 2025, from <https://www.kgz-ptuj.si/nasveti/namakanje/Art-MID/811/ArticleID/939>
- Drechsel, P., Qadir, M., & Galibourg, D. (2022). The WHO guidelines for safe wastewater use in agriculture: A review of implementation challenges and possible solutions in the global south. *Water (Switzerland)*, 14(6). Scopus. <https://doi.org/10.3390/w14060864>
- EurEau—Resources—Position papers. (n.d.). Retrieved 13 October 2025, from <https://www.eureau.org/resources/position-papers>
- Ghernaout, D. (2017). Water Reuse (WR): The ultimate and vital solution for water supply issues. *International Journal of Sustainable Development Research*, 3(4), Article 4. <https://doi.org/10.11648/j.ijdsr.20170304.12>
- Hashem, M. S., & Qi, X. (2021). Treated wastewater irrigation—A review. *Water*, 13(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/w131111527>
- Intriago, J. C., López-Gálvez, F., Allende, A., Vivaldi, G. A., Camposeo, S., Nicolás Nicolás, E., Alarcón, J. J., & Pedrero Salcedo, F. (2018). Agricultural reuse of municipal wastewater through an integral water reclamation management. *Journal of Environmental Management*, 213, 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.011>
- Koumaki, E., Konomi, A., Gkotsis, G., Nika, M.-C., Seintos, T., Statiris, E., Maragou, N., Thomaidis, N. S., Kouris, N., Maimais, D., Stasinakis, A. S., Malamis, S., Katsou, E., & Noutsopoulos, C. (2025). Circular water management in agriculture: Screening of contaminants of emerging concern in a real-world water-soil-crop system and human health risk assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 492, 138167. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.138167>
- Kovačič, A., Andreasidou, E., Brus, A., Vehar, A., Potočnik, D., Hudobivnik, M. J., Heath, D., Pintar, M., Maršič, N. K., Ogrinc, N., Blaznik, U., & Heath, E. (2023). Contaminant uptake in wastewater irrigated tomatoes. *Journal of Hazardous Materials*, 448, 130964. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130964>
- Leskovar, G. (2020). *Uporaba različno prečiščene odpadne vode za namakanje Hokkaido buč (Cucurbita maxima L.)* [Thesis, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta]. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=121915>
- Lu, Y., Su, Y., Cui, C., Ren, L., Zhang, K., Wang, Y., Yang, J., & Huang, Y. (2023). Adaptability of water resources development and utilization to social-economy system in Hunan province, China. *Scientific Reports*, 13(1), 19472. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46678-9>
- Namakanje zemljišč. 2024. (n.d.). Retrieved 8 August 2025, from <https://www.stat.si/StatWeb/news/Index/13614>
- Ofori, S., Puškáčová, A., Růžicková, I., & Wanner, J. (2021). Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Science of The Total Environment*, 760, 144026. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144026>
- Pavlin, J. (2024). *Analiza možnosti uporabe prečiščene odpadne vode v kmetijstvu: Diplomsko delo = Analysis of the possibility of using treated wastewater in agriculture* [[J. Pavlin]]. <https://plus.cobiss.net/cobiss/si/sl/bib/208631043>
- Phogat, V., Mallants, D., Cox, J. W., Šimunek, J., Oliver, D. P., Pitt, T., & Petrie, P. R. (2020). Impact of long-term recycled water irrigation on crop yield and soil chemical properties. *Agricultural Water Management*, 237, 106167. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106167>
- Rizzo, L., Gernjak, W., Krzeminski, P., Malato, S., McArdell, C. S., Perez, J. A. S., Schaar, H., & Fatta-Kassinos, D. (2020). Best available technologies and treatment trains to address current challenges in urban wastewater reuse for irrigation of crops in EU countries. *Science of The Total Environment*, 710, 136312. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136312>
- Repozitorij Univerze v Ljubljani, RUL ID=176177. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=176177>
- Scheierling, S. M., Bartone, C., Mara, D. D., & Drechsel, P. (2010). *Improving wastewater use in agriculture: An emerging priority*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-5412>
- Tian, Z., She, D., Wang, H., Sun, X., Fang, K., Qiu, C., & Li, Y. (2025). Influence of long-term irrigation with reclaimed water on the soil quality of different land use types. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-025-04232-4>
- Uredba (EU) 2020/741 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 25. maja 2020 o minimalnih zahtevah za ponovno uporabo vode (Besedilo velja za EGP), 177 OJ L (2020). <http://data.europa.eu/eli/reg/2020/741/oj/slv>
- Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih nevarnih snovi v tleh (PISRS). (n.d.). Retrieved 7 August 2025, from <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED114>
- Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode (PI-SRS). (n.d.). Retrieved 7 August 2025, from <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED6951>
- Valipour, M., & Singh, V. P. (2016). Global Experiences on Was-

- tewater Irrigation: Challenges and Prospects. In B. Maheshwari, B. Thoradeniya, & V. P. Singh (Eds.), *Balanced Urban Development: Options and Strategies for Liveable Cities* (Vol. 72, pp. 289–327). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28112-4_18
- Železnikar, Š., Leskovar, G., Kacjan-Maršič, N., Griessler Bulc, T., Kastelec, D., & Pintar, M. (2023). *Uporaba prečiščene odpadne vode za namakanje: Rezultati in spoznanja iz izvedenih poskusov* (B. Čeh, P. Dolničar, D. Stajnko, I. Šantavec, & I. Škerbot, Eds.; pp. 222–229). Slovensko agronomsko društvo = Slovenian Society of Agronomy. <https://plus.cobiss.net/cobiss/si/sl/bib/141880835>
- Zhang, K., Li, X., Zheng, D., Zhang, L., & Zhu, G. (2022). Estimation of global irrigation water use by the integration of multiple satellite observations. *Water Resources Research*, 58(3), e2021WR030031. <https://doi.org/10.1029/2021WR030031>