



Ponovna
optimizacija u

dr Anita Leovac Maćerak

CPD kurs

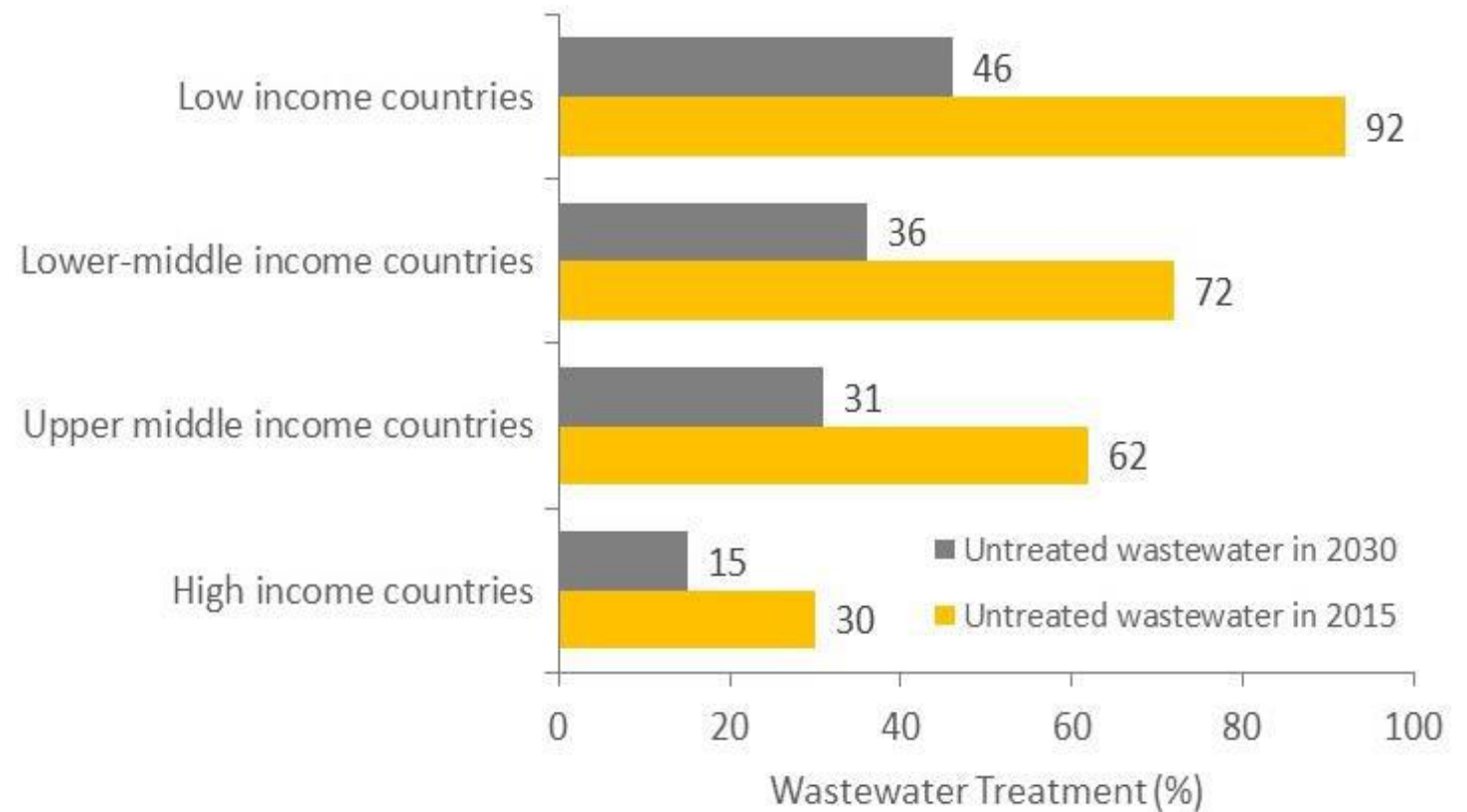
17. Septembar 2025. Novi Sad

- Svake godine u svetu se generiše 380 milijardi m³ komunalnih otpadnih voda
- Preko 80% svih proizvedenih otpadnih voda ispušta se u životnu sredinu bez adekvatnog tretmana.
- Prognoza za produkciju otpadnih voda - 24% do 2030 i 51% do 2050.
- Otpadna voda se doživljava kao rastući problem, ali i vredan i održiv izvor vode, hranljivih materija i energije.
- Promena paradigme od PPOV do *Objekata za obnavljanje vodenih resursa* (eng. Water Resource Recovery Facility, WRRF).



Prema podacima UN:

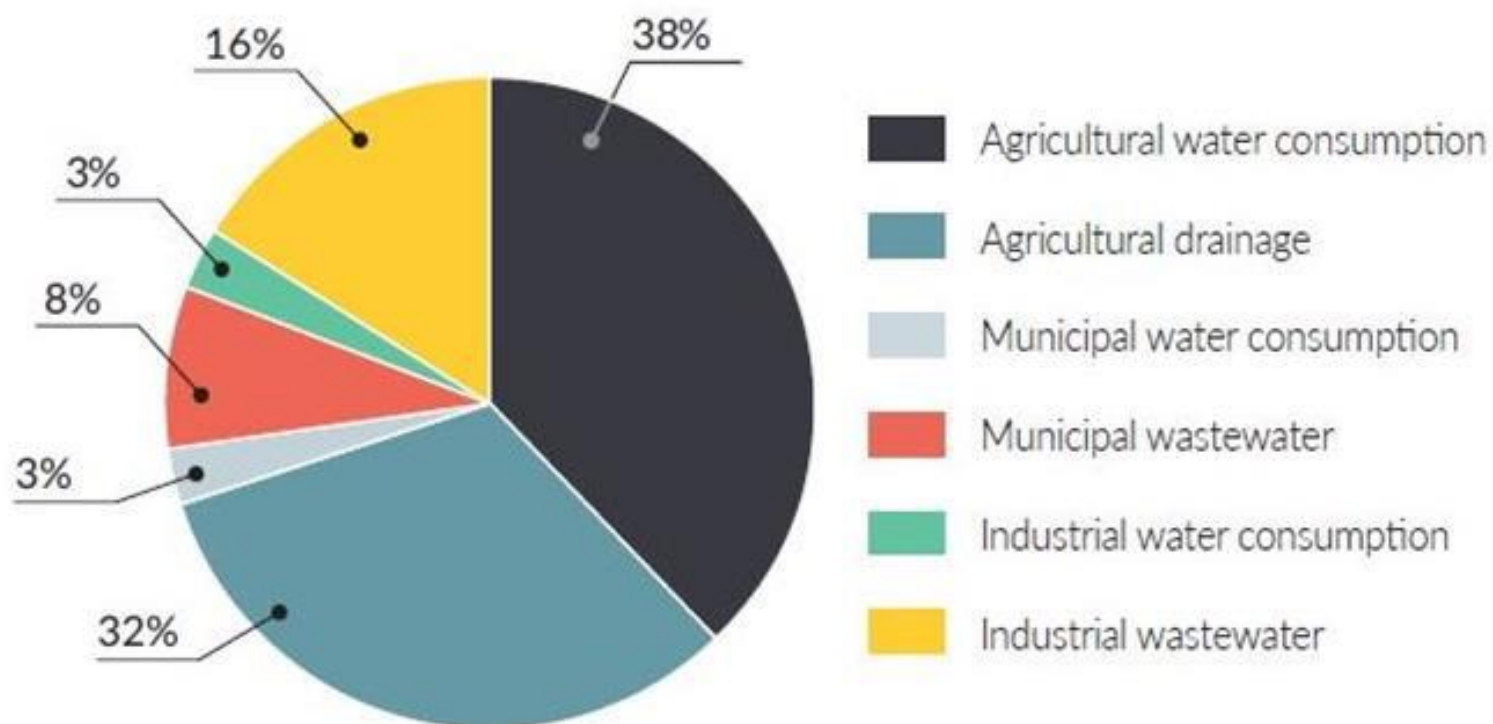
- ✓ zemlje sa visokim prihodima prečišćavaju u proseku oko 70% otpadnih voda koje generišu,
- ✓ 38% u zemljama sa višim srednjim dohotkom,
- ✓ 28% u zemljama sa nižim srednjim dohotkom,
- ✓ u zemljama sa niskim prihodima, samo 8% proizvedenih otpadnih voda prolazi kroz tretman bilo koje vrste.



Slika 1: Procenat neprečišćene otpadne vode u 2015. u zemljama sa različitim nivoima prihoda i aspiracijama za 2030. (smanjenje od 50% u odnosu na osnovnu liniju iz 2015.).

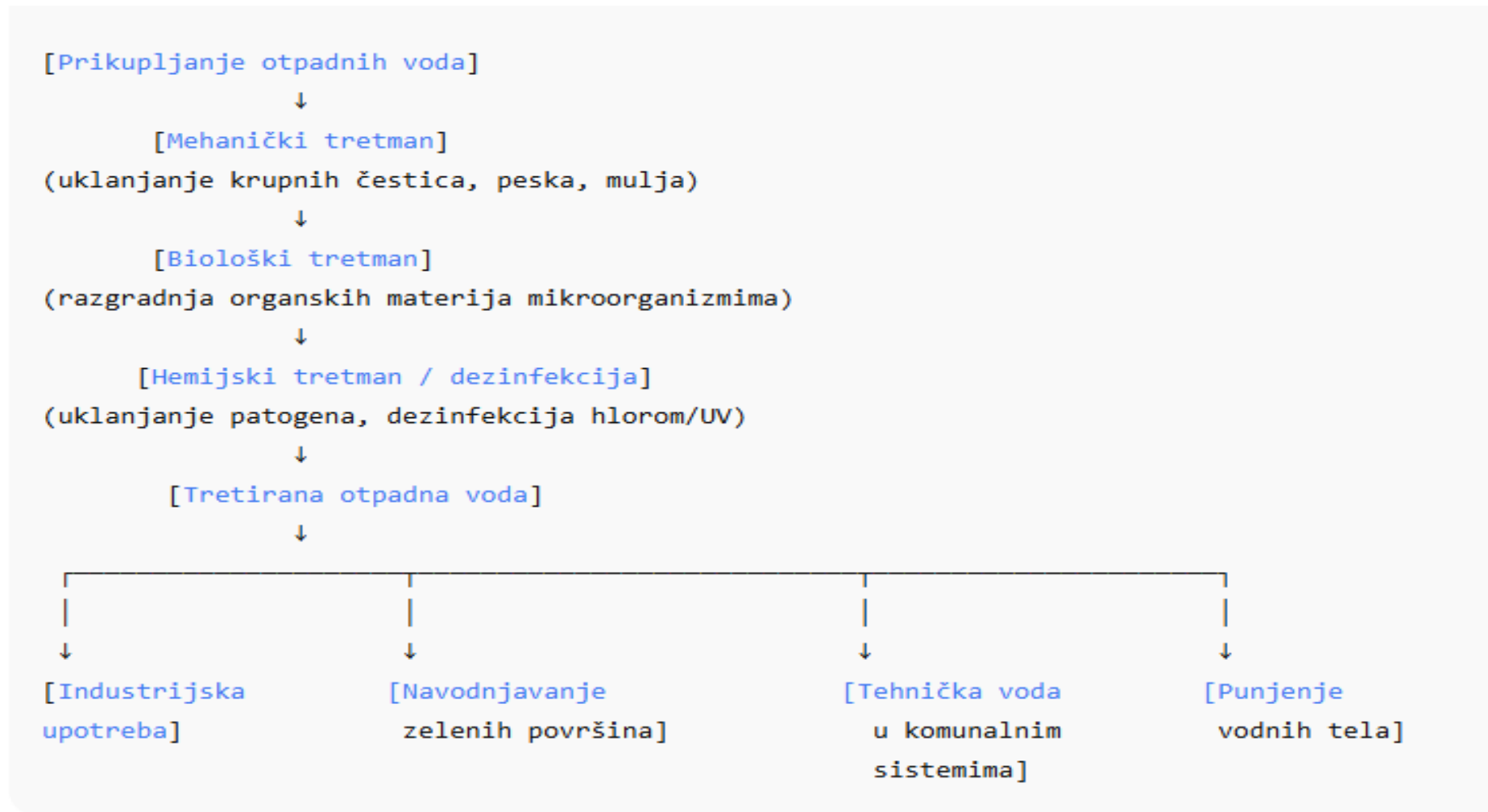
Ponovna upotreba vode

Korišćenje otpadnih voda kao alternativnog vodnog resursa



Slika 2. Globalna potrošnja i proizvodnja otpadnih voda po glavnom sektoru korišćenja vode (United Nations World Water Development Report (2017), Wastewater The Untapped Resource.)

Dijagram toka - proces ponovne upotrebe vode



Glavne industrijske namene

Hlađenje i kondenzacija

Industrije kao što su termoelektrane, rafinerije i hemijska postrojenja koriste ogromne količine vode za hlađenje. Tretirana otpadna voda može biti odlična zamena za vodu iz prirodnih izvora.

Procesna voda

U proizvodnim procesima gde nije potrebna voda za ljudsku potrošnju (npr. u papirnoj, tekstilnoj, cementnoj i metalnoj industriji).

Pranje i čišćenje

Za pranje opreme, površina, vozila, sirovina i sl.

Stvaranje pare u kotlovima

Posle dodatnog prečišćavanja (demineralizacije) tretirana voda se može koristiti za proizvodnju pare.

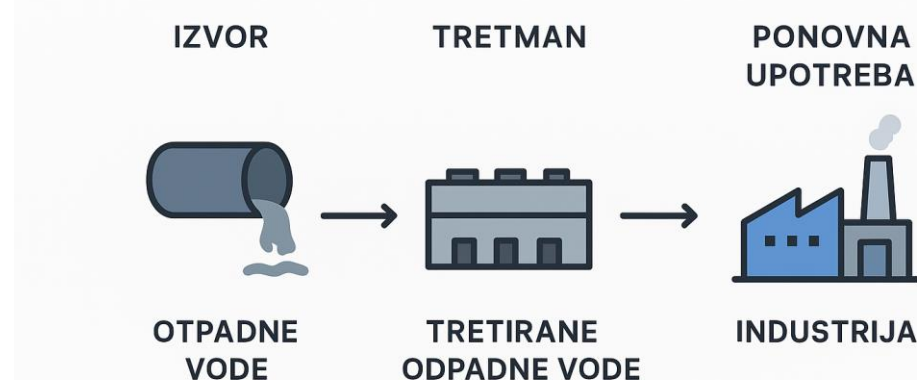
Ekološke i ekonomske koristi

Smanjenje pritiska na izvore pijaće vode.

Ušteda troškova za nabavku i prečišćavanje sveže vode.

Smanjenje zagađenja jer se otpadna voda ne ispušta direktno u prirodu.

Usklađenost sa sve strožijim propisima o zaštiti životne sredine.



Ograničenja i izazovi

Potreba za dodatnim tretmanom da bi se uklonili mikroorganizmi, metali i hemikalije.

Moguć rizik po zdravlje radnika ako se voda ne tretira dovoljno.

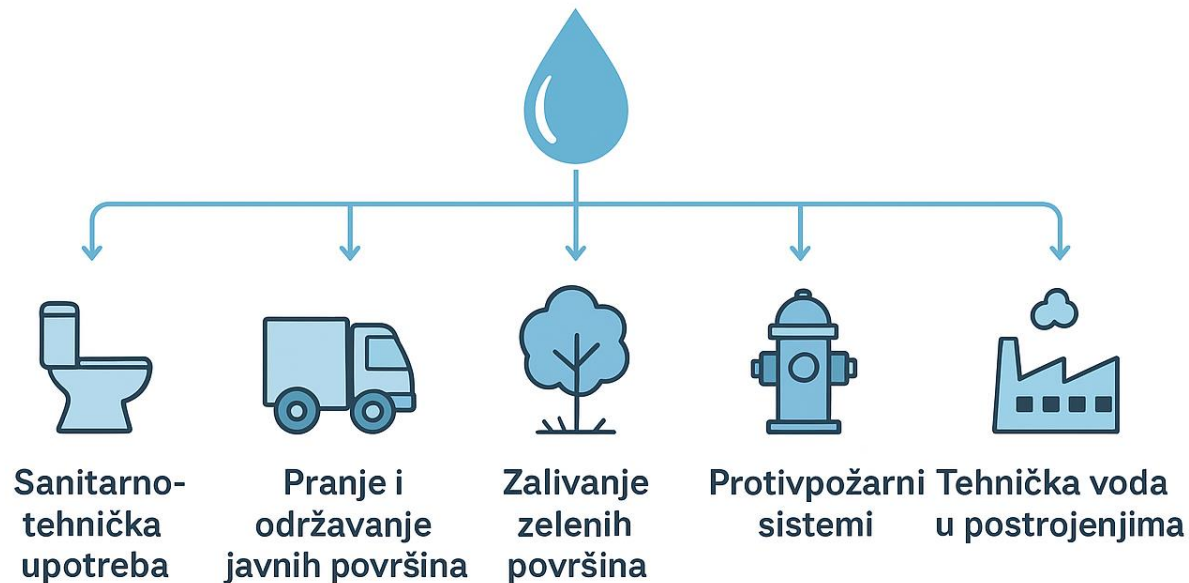
Potreba za stalnim nadzorom kvaliteta vode i održavanjem infrastrukture.

Početni troškovi izgradnje sistema za reciklažu vode mogu biti visoki.

Upotreba vode u komunalnim sistemima odnosi se na sve načine na koje se voda koristi unutar jednog grada ili naselja radi zadovoljavanja potreba stanovništva i funkcionisanja infrastrukture.

U kontekstu **ponovne upotrebe vode**, komunalni sistemi mogu značajno doprineti očuvanju resursa i smanjenju potrošnje pijaće vode.

UPOTREBA VODE U KOMUNALNIM SISTEMIMA



Upotreba vode u komunalnim sistemima

◆ Sanitarno-tehnička upotreba

Voda za ispiranje u javnim toaletima, školama, sportskim centrima i drugim objektima. Umesto pijaće vode, može se koristiti tretirana otpadna voda (tzv. tehnička voda).

◆ Pranje i održavanje javnih površina

Ulice, trgovi, parkirališta, pešačke zone i kontejnerski prostori se redovno peru radi higijene i smanjenja prašine. Za ove namene je pogodna ponovo upotrebljena voda, jer ne mora imati kvalitet pijaće vode.

◆ Zalivanje zelenih površina

Parkovi, travnjaci, drvoredi i sportski tereni zahtevaju velike količine vode, naročito leti. Korišćenje reciklirane vode značajno smanjuje potrošnju iz vodovodne mreže.

◆ Protivpožarni sistemi

Voda u rezervoarima i hidrantskoj mreži može delom poticati i od tretirane otpadne vode ako ispunjava sanitarne uslove.

◆ Tehnička voda u postrojenjima

U okviru komunalnih preduzeća (npr. pogoni za preradu otpada, postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda) često se koristi voda nižeg kvaliteta, što je idealno za ponovnu upotrebu.

Prednosti ovakvog sistema:

- smanjenje potrošnje pijaće vode
- rasterećenje vodovodne mreže i izvorišta
- smanjenje troškova i potrošnje energije
- doprinos očuvanju životne sredine

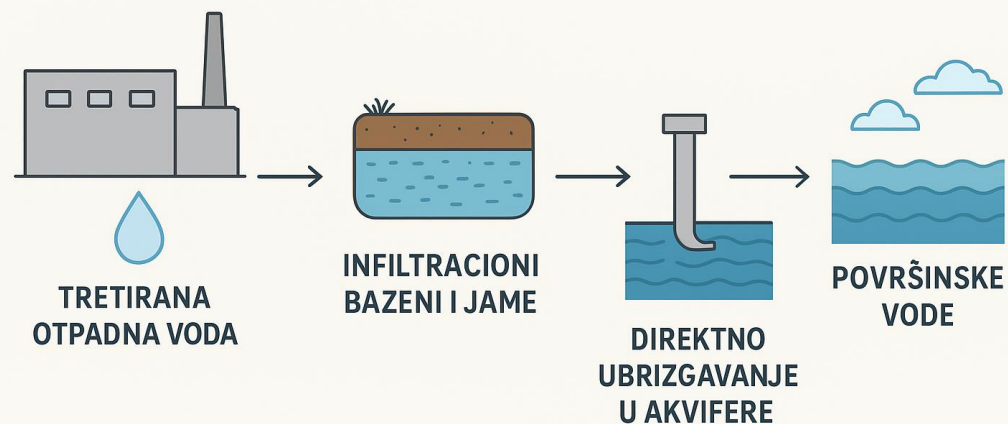
Punjenje vodnih tela tretiranom otpadnom vodom (poznato i kao **veštačko dopunjavanje vodnih tela**) je praksa vraćanja visoko prečišćene otpadne vode u prirodne vodene resurse, kao što su podzemne i površinske vode. Ovo je važna strategija u oblasti Upravljanje vodnim resursima i Hidrologija, naročito u regionima sa nestašicom vode.

Šta je punjenje vodnih tela?

To je proces u kome se **tretirana otpadna voda**, nakon što zadovolji visoke standarde kvaliteta, **vraća u prirodne rezervoare vode** radi:

- povećanja količine dostupne vode,
- poboljšanja kvaliteta postojećih vodnih tela,
- sprečavanja pada nivoa podzemnih voda.

PUNJENJE VODNIH TELA TRETIRANOM OTPADNOM VODOM



Metode dopunjavanja:

- **Infiltracioni bazeni i jame** – voda se ispušta u zemlju i prolazi kroz slojeve tla do podzemnih voda.
- **Direktno ubrizgavanje u akvifere** – pomoću bušotina se voda ubrizgava direktno u podzemne slojeve.
- **Dodavanje u reke i jezera** – uz strogu kontrolu kvaliteta, tretirana voda se koristi za podizanje nivoa površinskih voda.

Benefiti dopunjavanja vodnih tela tretiranom otpadnom vodom

- Smanjuje eksploataciju prirodnih izvora pijaće vode.
- Obnavlja iscrpljene podzemne vode.
- Pomaže u borbi protiv **intruzija slane vode** u obalskim akviferima.
- Doprinosi stabilnom snabdevanju vodom u sušnim periodima.

Rizici i mere zaštite

- Moguć unos **patogenih mikroorganizama** ili **mikropolutanata** ako tretman nije dovoljan.
- Potreban je stalni **monitoring kvaliteta vode**.
- Pravni i regulatorni okvir mora definisati uslove i dozvoljene koncentracije.

Navodnjavanje u poljoprivredi

Duga istoriju korišćenja obnovljene vode za navodnjavanje useva (nivo i vrsta tretmana i metode primene razlikuju širom sveta).

U razvijenim zemljama, kvalitet prečišćene otpadne vode koja se koristi za navodnjavanje se povećao sa poboljšanjem tretmana.

U zemljama u razvoju često se koristi voda slabijeg kvaliteta.

Voda koja se ponovo koristi u poljoprivredi može se povratiti indirektno zahvatanjem vode iz reke koja sadrži efluent iz postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda ili direktno, obično lokalno, iz efluenta postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda.

Pouzdana alternativa u suočavanju sa sve većom nestašicom vode i uticajem ekstremnih klimatskih događaja.

Glavni izazov - prelazak sa neformalne, neplanirane upotrebe neprečišćene ili delimično prečišćene otpadne vode na planiranu, bezbednu upotrebu.

Upotreba prečišćene otpadne vode (POV) u poljoprivredi



Navodnjavanje prečišćenim otpadnim vodama u poljoprivredi

BENEFITI

- Povećan NPK nivo u zemljištu
- Povećana mikrobiološka aktivnost
- Povećan sadržaj organske materije
- Poboljšana fizička struktura zemljišta
- Smanjena potreba za hemijskim đubrivima

RIZICI

- Povećana kontaminacija zemljišta
- Povećana kontaminacija useva
 - Sadržaj patogena
- Prisustvo EC, teških metala u zemljištu i biljkama

Percipiranje prečišćene otpadne vode

Rizik po zdravlje ljudi

Vrsta i obim rizika zavise od mnogih faktora, kao što su nivo tretmana, način na koji se otpadna voda koristi, vrste i koncentracije zagađujućih materija u otpadnoj vodi, nivoa izloženosti ljudi kao i regionalne relevantnosti rizika.

Da bi se zaštitilo javno zdravlje bez nepotrebnog obeshrabrivanja ponovne upotrebe otpadnih voda, potrebno je razviti standarde kvaliteta vode koji odgovaraju svrsi kako bi se zaštitilo javno zdravlje, a ti standardi treba da budu sastavni stub svakog sistema ponovne upotrebe.

Javna percepcija

Prihvatanje planirane ponovne upotrebe od strane javnosti uveliko varira i zavisi od niza faktora, kao što su stepen kontakta između vode i korisnika, obrazovanje i svest o riziku, stepen nestašice vode ili dostupnost alternativnih izvora vode, ekonomskih razloga, kulturnih barijera kao i učešće javnosti u donošenju odluka i prethodno iskustvo u sektoru otpadnih voda.



Izrael — Od nestašice vode do bezbednosti vode

Izrael je klasifikovan kao jedna od zemalja sa najvećim nedostatkom vode na svetu sa ukupnom obnovljivom godišnjom zapreminom vode po glavi stanovnika od 86 m^3 , znatno ispod granice od 500 m^3 koja definiše apsolutnu oskudicu.

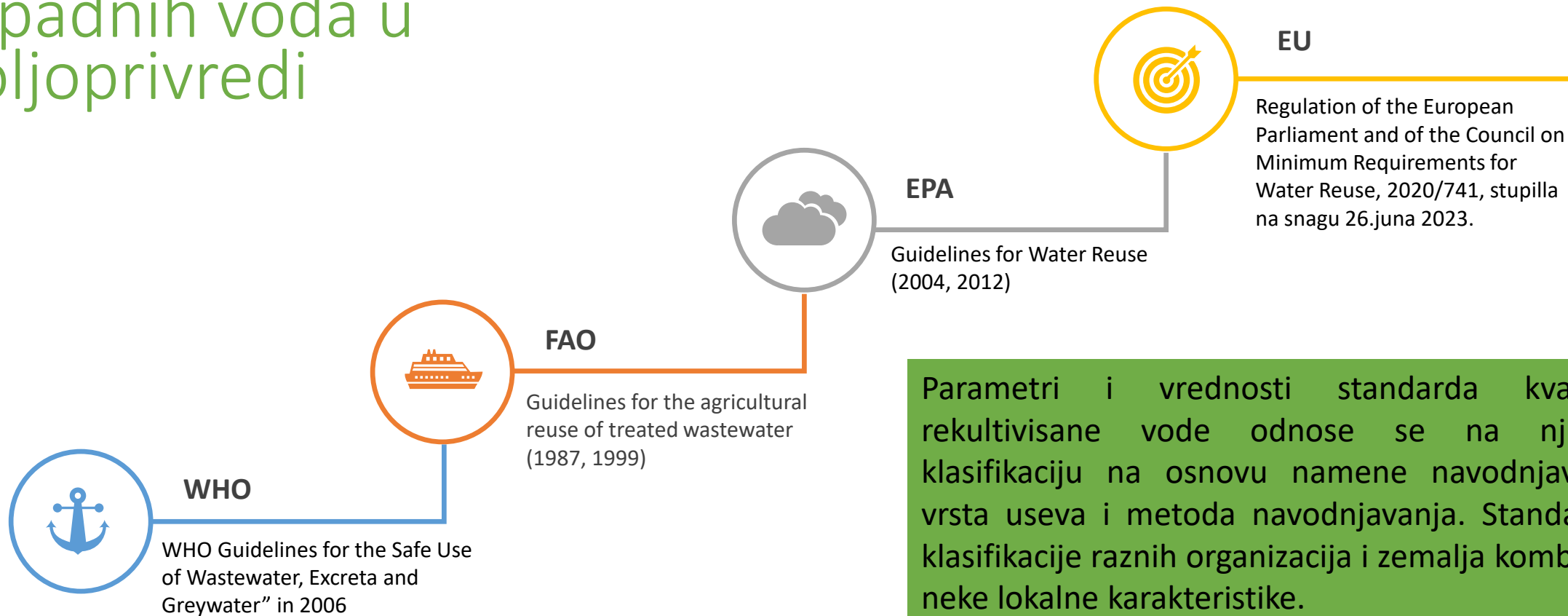
Izrael je to uspeo da postigne oslanjajući se na nekonvencionalne vodne resurse — obnovljenu vodu i desalinizaciju — kao dopunu prirodnih izvora.



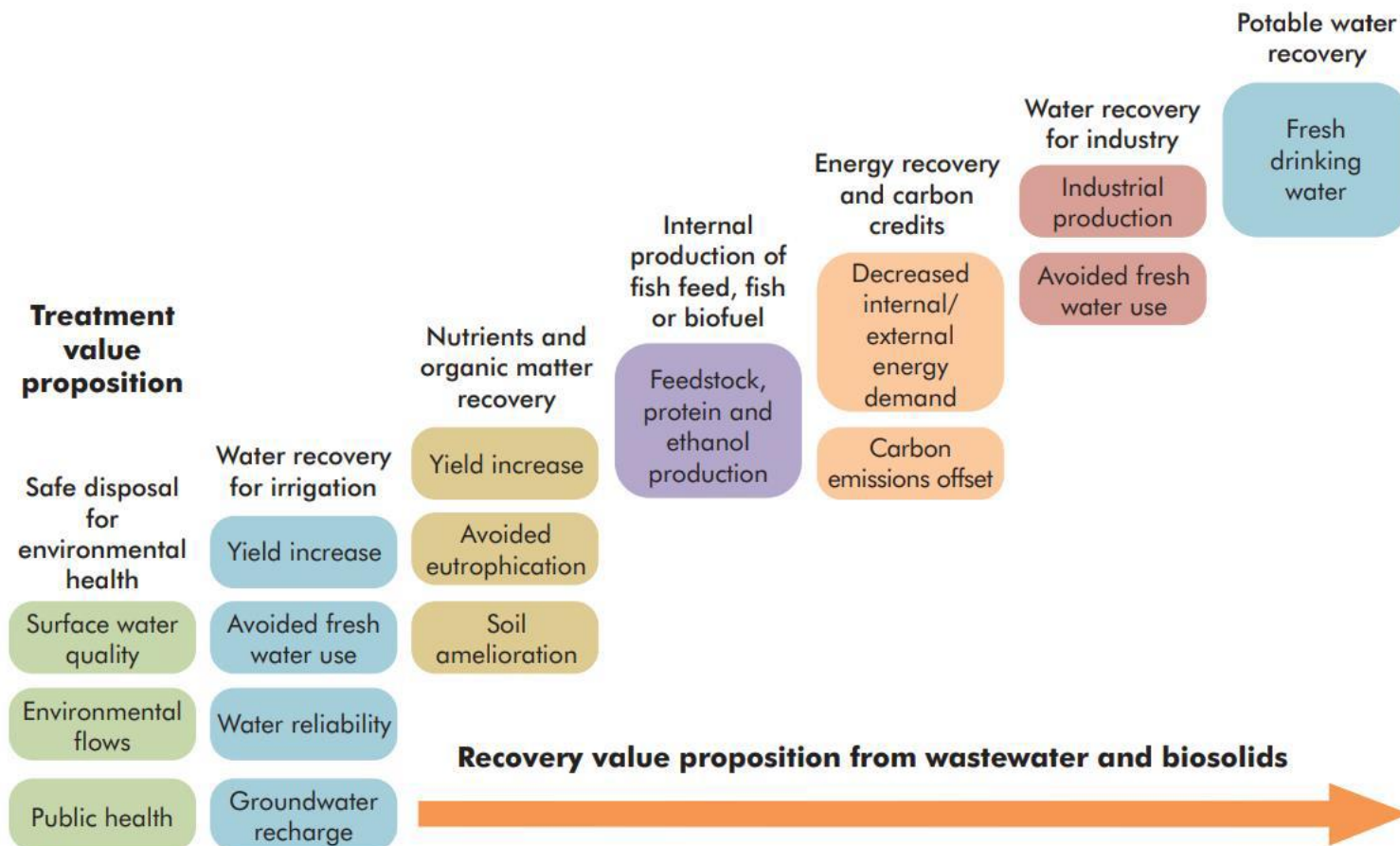
Ponovna upotreba prečišćene otpadne vode za navodnjavanje omogućava da se oskudna sveža voda koristi za kućnu upotrebu. Skoro 90% otpadnih voda u zemlji se trenutno ponovo koristi za poljoprivredu, što predstavlja otprilike polovinu ukupne vode koju farmeri koriste širom zemlje. Pored toga, punjenje vodonosnika tretiranom otpadnom vodom tokom meseci niske potražnje (upravljano punjenje vodonosnika) znači da se vodonosni slojevi mogu koristiti kao rezervoari (u nedostatku površinskih rezervoara i brana) za skladištenje vode za periode velike potražnje i/ili suše.



Smernice i kriterijumi kvaliteta za ponovnu upotrebu prečišćenih otpadnih voda u poljoprivredi



Vrednost otpadne vode



- Najdragoceniji resurs sadržan u otpadnim vodama je sama voda.
- Ponovno korišćenje otpadnih voda može da obezbedi važan alternativni izvor sveže vode u regionima koji očekuju trajne nestašice u budućnosti.

Slika 3 . Lestvica vrednosnih predloga vezanih za tretman otpadnih voda, zasnovana na povećanju ulaganja u kvalitet vode i/ili lanac vrednosti ponovne upotrebe (Wastewater as a resource, May 2022, European Investment Bank)

“Uska grla” za obnavljanje vodenih resursa

Troškovi i lanac vrednosti

- Troškovi procesa
- Količina resursa
- Kvalitet resursa
- Tržišna vrednost i kompetitivnost
- Aplikacija
- Distribucija i transport

Životna sredina i zdravlje

- Emisije
- Rizik po zdravlje

Društvo i politike

- Prihvatanje
- Politike

Slika 4. “Uska grla” za uspešan oporavak resursa iz otpadnih voda

Zaključna razmatranja

- Tretirana otpadna voda - vredan resurs i atraktivna opcija usled deficitarnosti zaliha sveže vode.
- Prednosti: ekonomske i ekološke koristi jer može sačuvati ogromnu količinu slatke vode, smanjiti ili čak eliminisati potrebu za snabdevanjem zemljišta skupim hemijskim đubrivima.
- Treba poštovati odgovarajuće smernice za ponovno korišćenje i upravljanje otpadnim vodama kako bi se ograničili negativni efekti.
- Uspešno obnavljanje resursa iz otpadnih voda doprinosi kružnoj ekonomiji i dugoročnom održivom razvoju.
- Oporavak resursa treba da bude strateški cilj od najranijih faza planiranja novih investicija gde god je to moguće.

