



Ivana Mitrović¹, Žarko Nestorović²

Pregledni stručni rad
DOI: 10.5937/VIK25327M

VLAŽNA ZEMLJIŠTA KAO PRIRODNI PREČIŠĆIVAČI OTPADNIH VODA I ODRŽIVI RAZVOJ

Rezime: Vlažna zemljišta su prirodna staništa koja su povremeno ili stalno zasićena vodom. Mogu se koristiti kao ekonomičan i ekološki prihvatljiv način pročišćavanja otpadnih voda. Ova zemljišta imaju karakteristične ekološke uslove zbog prisustva vode i specifičnih vrsta biljaka i životinja koje su se prilagodile tim uslovima. Mogu imati višestruku namenu, a njihova dominantna uloga ogleda se u mogućnosti prečišćavanja otpadnih voda. Način funkcionisanja vlažnih zemljišta daje doprinos ciljevima održivog razvoja. U ovom istraživanju sagledana je njegova uloga iz ugla prirodnog prečišćivača otpadnih voda u skladu sa načelima održivog razvoja sa teoriskog stanovišta.

Cljučne reči: vlažna zemljišta, održivi razvoj, prečišćavanje

WETLANDS AS NATURAL WASTEWATER PURIFIERS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Abstract: Wetlands are natural habitats that are either occasionally or permanently saturated with water. They serve as an economical and environmentally friendly method for purifying wastewater. These areas feature unique ecological conditions due to the presence of water and various plant and animal species that have adapted to these environments. Wetlands can fulfill multiple purposes, with their primary role being the purification of wastewater. Their functioning supports the goals of sustainable development. This research examines the role of wetlands as natural wastewater purifiers from a theoretical perspective, in alignment with the principles of sustainable development.

Key Words: Wetlands, sustainable development, purification

1. Uvod

U ovom radu istražuje se funkcija vlažnih zemljišta u kontekstu održivog razvoja sa teorijskog aspekta. Polazna pretpostavka autora u ovom radu je da su vlažna zemljišta u funkciji održivog razvoja (slika 1).

Rad je zasnovan i koncipiran na istraživanju literature i dostupnih podataka. Struktura rada zasniva se na predstavljanju relevantnih pojmova u vezi sa vlažnim zemljištima i pristupom održivog razvoja.

¹ Akcionarsko društvo „Elektroprivreda Srbije“, Ogranak HE „Đerdap“, ivana.mitrovic@eps.rs, ORCID:0009-0005-1746-0032

² Akcionarsko društvo „Elektroprivreda Srbije“, Ogranak HE „Đerdap“, zarko.nestorovic@eps.rs, ORCID: 40-0002-7928-7416



Slika 1. Odnos namenski uređenih vlažnih zemljišta i održivog razvoja [1]

Figure 1. The relationships specially managed wetlands and sustainable development [1]

Vlažna zemljišta predstavljaju mesta na kojima se omogućava prihvatanje atmosferskih i/ili otpadnih voda, njihovo oslobađanje od potencijalno štetnih materija (potpuno ili delimično), kao i gajenje biljaka koje imaju visoku potrebu za vodom i koje se mogu, po završetku njihovog biološkog ciklusa, koristiti u različite svrhe. Vlažna zemljišta imaju ulogu u hidrološkom ciklusu, kruženju i zadržavanju hemijskih i bioloških materija kao i očuvanju biološke raznovrsnosti [2] Zaštita okoline od nekontrolisanog širenja zagađenih voda na odabranom području uključujući izmenu (obogaćivanje) biološke raznovrsnosti je njihova primarna funkcija u ekosistemima u kojima se formiraju.

Prema deklaraciji iz Rio de Žaneira [3] održivi razvoj se temelji, na više principa od kojih treći princip glasi da svaka generacija ima pravo na razvoj ne ugrožavajući pri tome isto pravo budućim generacijama. Navedeni princip implicitno uspostavlja zahtev da postojeći resursi moraju biti korišćeni na odgovoran način i da budu samoodrživi u što dužem vremenskom periodu. Takođe Agenda o održivom razvoju 2030 usvojena 2015. godine precizirana su kroz 17 ciljeva Ujedinjenih nacija o održivom razvoju [4]. Vlažna zemljišta u kontekstu održivog razvoja mogu imati značaj za više ciljeva kao što su: obezbeđivanje čiste vode, održavanja biološke raznovrsnosti na zemlji i u vodi kao i obezbeđivanje čiste energije, jer se biljni ostaci prisutni na vlažnim zemljištima mogu koristiti za proizvodnju energije na biomasu.

Vlažna zemljišta se u literaturi nalaze i pod nazivom „mokra polja“. U ovom radu će ta dva naziva biti korišćeni kao sinonimi, iako pojedini autori insistiraju na razlikama u značenju ova dva termina.

2. Način primene u kontekstu održivog razvoja

U svetu, mokra polja su uspostavljena u Evropi, SAD, Kanadi, Australiji i nekim delovima Azije. U razvijenim zemljama, konstruisana mokra polja su čest izbor za prečišćavanje manjih i srednjih količina otpadnih voda, naročito u ruralnim područjima i mestima gde je pristup tradicionalnim postrojenjima ograničen.

Razlozi za češću primenu su uglavnom niska cena izgradnje i održavanja u poređenju sa konvencionalnim postrojenjima, ekološki prihvatljiv pristup koji doprinosi bioraznolikosti, mogućnost integracije u pejzaž i zelene površine kao i energetske efikasnosti (niske potrebe za energijom kada se umesto postrojenja koja koriste električnu energiju za



prečišćavanje uspostavljaju vlažna zemljišta koja se baziraju na prirodnim procesima). Ograničenja koja utiču na primenu mogu biti potreba za velikom površinom zemljišta, što nije uvek dostupno u urbanim sredinama, efikasnost zavisi od klimatskih uslova i zahteva redovno održavanje, nije pogodno za velike industrijske otpadne vode bez prethodnog tretmana. Vlažna zemljišta za prečišćavanje otpadnih voda predstavljaju prirodne tehnologije koje efikasno prečišćavaju razne vrste zagađene vode, zato se smatraju ekološki prihvatljivim i održivim rešenjima za prečišćavanje otpadnih voda. U njima biljke prečišćavaju vodu kroz niz prirodnih procesa koji uključuju fizičko filtriranje, apsorpciju hranjivih materija i razgradnju zagađivača pomoću mikroorganizama u korenovoj zoni.

3. Struktura vlažnih zemljišta

Biljke u močvari prečišćavaju vodu kroz niz prirodnih procesa koji uključuju fizičko filtriranje, apsorpciju hranjivih materija i razgradnju zagađivača pomoću mikroorganizama u korenovoj zoni. Močvarne biljke, poput trske (*Phragmites australis*), šaša (*Carex*) i rogoza (*Typha*), usporavaju protok vode. Time se omogućava da se čestice mulja, peska i druge suspendovane (lebdeće) čestice materije talože. Biljke putem korena apsorbiraju nitratre (nitrite), fosfate i teške metale iz vode. Time smanjuju eutrofikaciju, tj. prekomjerni rast algi izazvan viškom hranjivih materija. Zonu korenja (tzv. rizosfera), biljke mogu obogatiti kiseonikom koji pogoduje mikroorganizmima čija je uloga da razgrađuju organske zagađivače, razlažu organsku materiju uključujući fekalije, ostatke hrane i hemikalija. Biljke emituju rastvorene organske materije u vodu (dissolved organic matter- DOM). To mogu biti lako rastvorive materije i postati važan izvor ugljenika za mikrobe ili refaktorni-teško razgradiva materija, hemijski su stabilniji i teže se razlažu i imaju sposobnost vezivanja za teške metale uticajući na ekosistem a i na kvalitet vode nizvodno u prirodnim mokrim poljima [5]. Neke metale poput olova, kadmija i žive biljke mogu akumulirati, čime sprečavaju da završe u drugim delovima ekosistema. To je proces fitoremedijacije [6]. Makrofiti u močvarama imaju posebno anatomske prilagođavanje - gasne kanale (lakune) - koji zauzimaju i do 70% ukupnog volumena biljke. Ovi kanali služe kao „ceveni sistem“ za prenos gasova (kiseonika, ugljen-dioksida, metana, azota) između atmosfere i korena. U vlažnim, anaerobnim (bez kiseonika) sedimentima, kiseonik se brzo troši, pa je za korenje biljaka otežano dobijanje kiseonika iz tla. Gasni kanali omogućavaju kiseoniku da brzo dopre do korena, koji ga koriste za sopstveni metabolizam. Kada se prekine pristup kiseoniku (na primer, ako su listovi i korenje pod vodom bez kontakta sa vazduhom), biljke brzo propadaju i prelaze na fermentativni metabolizam - metabolički proces bez kiseonika, ovaj proces stvara toksične produkte npr. vodonik-sulfid (H_2S). Ovi produkti su štetni i za biljke i za druge organizme u zemljištu. Mikrorizosfera je mala zona oko korena biljke u kojoj biljka izbacuje kiseonik. Taj kiseonik stvara oksidacionu zonu. Međutim, količina kiseonika koju biljka može da izbaci u sediment je mala i uglavnom koristi korenu, a ne čitavom sediment [5]. Veličine BPK (biohemijska potrošnja kiseonika) - količina kiseonika potrebna mikroorganizmima da razgrade organsku materiju i HPK (hemijska potrošnja kiseonika) – količina kiseonika potrebna da se organska materija razgradi hemijski (ne samo biološki) pokazuju veličinu organskog zagađenja u vodi. Visok BPK/HPK znači da u vodi ima mnogo organskog zagađenja koje treba obraditi (razgraditi).

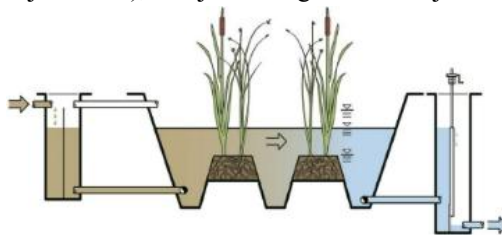
3.1. Namene i vrste vlažnih zemljišta

Zbog sposobnosti biljaka da zadržavaju, razgrađuju i apsorbiraju zagađivače, često se koriste u konstruisanim močvarama (engl. constructed wetlands) za prečišćavanje otpadnih voda. To su inženjerski sistemi koji su izgrađeni da iskoriste procese koji se odvijaju u prirodnim močvarama pomoću vegetacije, zemljišta i mikrobioloških procesa a sve u cilju tretmana otpadnih voda. Veštački močvarni sistemi (Constructed Wetlands - CWs) se koriste kao ekonomičan i ekološki prihvatljiv način za prečišćavanje otpadnih voda, u okviru tzv. ekološkog inženjeringa. To su veštački sistemi za prečišćavanje otpadnih voda, koji se mogu dizajnirati i kontrolisati. Mogu biti efikasan metod za uklanjanje zagađujućih materija, zahvaljujući zajedničkom delovanju zemljišta, močvarnih biljaka (makrofita) i mikroorganizama. Ove komponente zajedno utiču na fizičke, hemijske i biološke procese unutar sistema. Nihova pozitivna strana je što istovremeno mogu biti ekonomični, efikasni i ekološki prihvatljivi za tretman otpadnih voda. Mogu da prečiste različite vrste otpadnih voda, uključujući kanalizaciju, otpadne vode iz poljoprivrede i industrije. Uglavnom sastoje od: supstrata (matrica) – kao što su pesak, šljunak i sl. makrofita – biljke koje rastu u vodi ili na vlažnim mestima i mikroorganizama – koji razlažu zagađivače.

Proces funkcionisanja ovih sistema se sastoji od nekoliko faza. Taloženje čestica: Voda se usporava, a teže čestice se talože. Apsorpcija hranjivih materija: Koreni biljaka preuzimaju štetne supstance. Mikrobiološka razgradnja: Koreni i biljne materije pomažu bakterijama da razgrade zagađivače. Izlaz čiste vode: Nakon ovih procesa, voda izlazi znatno očišćena [7].

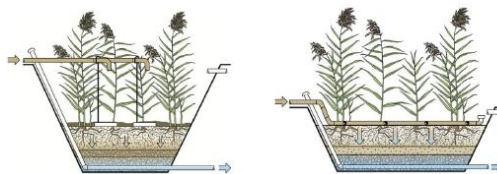
Vrste veštačkih močvarnih sistema (Constructed Wetlands - CWs):

Močvare sa površinskim protokom (Free Water Surface - FWS) gde voda teče iznad podloge (kao u prirodnoj močvari), a biljke rastu gusto i voda je izložena vazduhu [8].



Slika 2. Močvare sa površinskim protokom (Free Water Surface - FWS) [8]

Figure 2. Wetlands with surface flow (Free Water Surface - FWS) [8]



Slika 3. Močvare sa podzemnim protokom (Subsurface Flow - SF), horizontalan tok i vertikalnan tok [8]

Figure 3. Wetlands with subsurface flow (SF), horizontal flow and vertical flow [8]



Močvare sa podzemnim protokom (Subsurface Flow - SF) gde voda teče kroz porozni materijal ispod površine (npr. pesak, šljunak), a voda nije izložena direktno na površini [8].

Močvare sa podzemnim protokom se dalje dele na: Horizontalni tok (HF) – voda teče vodoravno kroz medijum i vertikalni tok (VF) – voda se raspršuje odozgo na dole kroz medijum. Da bi se sprečilo začepljenje filter materijala, HF i VF sistemi se obično koriste za sekundarni tretman (nakon što je otpadna voda već prethodno delimično prečišćena) [8].

Prirodne močvare nisu monokulture iako ponekad jedna ili dve vrste (npr. Typha – ševalj, Scirpus – slačura, Phragmites – trska) dominiraju naizgled, Unutar tih „monokulturnih“ zona ima mnogo drugih vrsta, naročito pod vodom (korenje, mikroorganizmi, semena drugih biljaka itd). Raznovrsnost je prisutna, čak i kada na površini deluje kao da dominira jedna vrsta. Makrofiti, vodene biljke koje su vidljive golim okom, imaju stalan ciklus starenja i odbacivanja tkiva. One mogu izranjati (rastu iz vode, kao trska), zatim mogu biti plutajuće (npr. lokvanj) ili biti potopljeni (npr. vodena paprat). Proces starenja kod ovih biljaka prati odbacivanje opalog lišća, delova korenja, stabljika koji završavaju u detritusu (razgrađenoj organskoj masi). Različiti „talasi“ rasta (kohorte) rastu i propadaju u različito vreme je proces koji traje u kontinuitetu na ovakvim staništima. Organska materija se delimično raspada u čestice, a veoma značajan deo u obliku rastvorene organske materije - ROM ulazi u vodu. Ona može da čini čak 30–40% ukupne produkcije i oslobađa se brzo – u roku od nekoliko sati nakon što biljka počne da stari ili se ošteti [8]. Zahvaljujući odnosima između biljaka, mikroorganizama, podloge i vode, imaju sposobnost da uklanjaju organske i mineralne materije, patogene mikroorganizme, teške metale i druge zagađujuće materije iz zagađenih voda.

Proces uzgajanja biljaka u vodi kontaminiranoj teškim metalima gde će one apsorbovati. Kako postaju zasićeni metalima, korenovi ili cele biljke se kose i uklanjaju. Biljka koja je pogodna za rizofiltraciju mora da toleriše visoke koncentracije ciljanog teškog metal, kao i da usvaja ciljani metal u velikim količinama, da brzo raste i da pri tome stvara veliku količinu biomase, te da omogućava transport usvojenog teškog metala iz korena u svoje nadzemne delove. Do danas je prijavljeno preko 400 biljnih vrsta koje mogu da akumuliraju metale. Kao najznačajnije izdvajaju se: trska, zuka, rogoz, barska perunika, sita, sočivica, vodena metvica, i vodena bokvica. Barska perunika u tretmanu otpadnih voda redukuje fenole i teške metale. Ima izvanredne sposobnosti u prečišćavanju kanalizacionih voda i uspešno redukuje teške metale poput Cr, Pb, Cd i druge. Vodena bokvica dobro uklanja teške metale, posebno Pb, Cd, Fe, Ni, Cr, Zn i Cu [9].

4. Zaključak

Kod sistematizacije vrsta mokrih polja, primećuje se osnovna podela na prirodna tj. prirodno postojeća močvarna područja, jezera, rečne delte i slični ekosistemi koji u određenoj meri prirodno pročišćavaju vode i veštačka ili konstruisana mokra polja tj. veštački sistemi posebno projektovani i građeni za tretman otpadnih voda, uz kontrolisane uslove protoka, biljnog pokrivača, dubine i trajanja zadržavanja vode. Osnovne karakteristike su da kod veštačkih postoji značajna kontrola nad procesima prečišćavanja voda, efikasnost se kontinuirano prati i usklađuje sa projektovanom i primarna upotreba im je kao planirani sistemi



za otpadne vode. Za prirodna mokra staništa karakteristična je niska kontrola nad procesom da im efikasnost prečišćavanja varira i manje je pouzdana, jer su to prirodni ekosistemi u kojima se odvijaju prirodne funkcije tog staništa i šireg ekosistema.

5. Literatura

- [1] Đorđević D, Nestorović Ž, Ivana Mitrović, Nikola Stanković, O namenski uređenim vlažnim zemljištima i održivom razvoju; *Rudarstvo 2025 - održivi razvoj u rudarstvu i energetici*; Privredna komora Srbije, Zbornik radova, str.221-230; 2025.
- [2] Đorđević D, Nestorović Ž, Marketinški pristup iskorišćenju vlažnih zemljišta, *33. Konferencija o aktuelnim problemima korišćenja i zaštite voda, VODA 2004*, Jugoslovensko društvo za zaštitu voda, Borsko jezero, Zbornik radova, str.63-68, 2004.
- [3] chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.iau-hesd.net/sites/default/files/documents/rio_e.pdf (pristupljeno: 20.04.2025)
- [4] <https://sdgs.un.org/goals> (pristupljeno: 20.04.2025)
- [5] Gerald A Moshiri, Ph.D; *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*; First issued in paperback 2019,
- [6] <https://www.industrija.rs/biljke-koje-preciscavaju-povrsinske-vode>(pristupljeno: 20.04.2025)
- [7] Constructed Wetlands: A Review on the Role of Radial Oxygen Loss in the Rhizosphere by Macrophytes, Qian Wang, Yanbiao Hu, Huijun Xie, Zhongchen Yang ; 24 May 2018.
- [8] Slađana Č. Alagić, Maja M. Nujkić, Mile D. Dimitrijević; *Strategije biljaka u borbi protiv fitotoksičnih koncentracija metala kao ključni preduslov uspešne fitoremedijacije: Ekskluderi i hiperakumulatori*, deo II, 2014.
- [9] Gerald A. Moshiri, *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, Institute for Coastal and Estuarine Research University of West Florida, 2019.