

VREDNOVANJE KONSTRUISANIH MOKRIH POLJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA MANJIH RURALNIH NASELJA PRIMENOM ANALITIČKOG HIJERARHIJSKOG PROCESA

Milica ILIĆ, Bojan SRĐEVIĆ
Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet
Departman za uređenje voda
Grupa za sistemsku analizu i donošenje odluka
Trg D. Obradovića 8, 21000 Novi Sad

REZIME

U Srbiji se nedovoljno prečišćavaju otpadne vode, naročito u ruralnim sredinama gde se za njihovo odlaganje koriste septičke jame, potencijalni zagađivači podzemnih voda i, šire posmatrano, životne sredine. Uslovi u Vojvodini su pogodni za primenu konstruisanih mokrih polja koja su se u svetu pokazala kao jednostavna, ekonomična i efikasna za odlaganje i prečišćavanje otpadnih, uglavnom sanitarnih voda. Prirodna, kao i konstruisana, mokra polja su specifični biosistemi/prečistači. Izbor tipa i konstruisanje polja za date uslove nije jednostavan zbog mnogih ograničenja i interesa. Potreban je razrađen metodološki prilaz koji će, pored ostalog, obezbediti pouzdano balansiranje elemenata odlučivanja, a naročito poštovanje kriterijuma za izbor najboljeg rešenja. U radu je predložena metodologija vrednovanja više tipova konstruisanih bioprečistača (mokrih polja) korišćenjem višekriterijumskog metoda optimizacije – analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP). Razmatran je 'prosečan vojvođanski slučaj' rangiranja pet mogućih tipova polja prema grupi od 9 tipičnih kriterijuma.

Ključne reči: konstruisano mokro polje, prečišćavanje otpadnih voda, analitički hijerarhijski proces (AHP), Vojvodina

UVOD

Gradovi širom sveta se suočavaju sa ekološkim i socijalnim pritiscima kao što su nedostatak vode, degradacija vodotoka, poplave, dotrajala i nedovoljna infrastruktura [8]. U narednim godinama biće sve potrebna promena u menadžmentu voda u smeru efikasnosti i održivosti. Jedan od problema u Srbiji

jeste loše odvođenje i prečišćavanje otpadnih voda (OV). Samo oko 10% otpadnih voda se prečišćava, a veći deo malobrojnih sistema koji postoje je zastareo ili je u njima zastupljeno samo primarno (mehaničko) prečišćavanje [6], [33]. Ovaj procenat se većim delom odnosi na urbane sredine, dok je u ruralnim delovima situacija još gora.

Pored konvencionalnih sistema za tretiranje otpadne vode, postoje brojna druga rešenja koja su bazirana na prirodnim procesima prečišćavanja i mogu efikasno rešiti problem tretiranja OV. To su najčešće veštačka močvarna polja poznatija pod imenom 'constructed wetlands' (CWs). Ova polja su se pokazala kao održiva ekološka rešenja koja relativno efikasno obrađuju vodu različitog tipa i nivoa zagađenosti zbog čega su popularna u svetu [14]. Na princip održivosti ukazao je i Langergraber [15] tvrdnjom da su karakteristike CWs-a u skladu sa održivim SuSanA kriterijumima [25], odnosno da visoka efikasnost tretmana doprinosi higijeni i zdravlju, štiti se životna sredina i čuvaju (štede) vodni resursi. Isti autor takođe ukazuje da su troškovi izgradnje i održavanja ovih sistema prihvatljivi; pošto su 'prirodni', sistemi su i višestruko socijalno prihvatljivi. U poređenju sa tradicionalnim tehničkim rešenjima prečišćavanja OV, biosistemi su relativno jednostavni za projektovanje, održavanje i rukovanje. Jedna od osobina CWs je i njihova robustnost na spektar mogućih upravljačkih, organizacionih i tehničkih akcija i zahvata. Ova rešenja su otporna na kolebanja protoka i koncentraciju zagađujućih materija.

Zbog povoljnih karakteristika, među kojima su niski troškovi osnovnih ulaganja i održavanja i uglavnom lako upravljanje, mokra polja se u mnogim zemljama

decenijama primenjuju za prečišćavanje otpadnih voda domaćinstava, poljoprivrede i industrije, kao i za odvođenje i prečišćavanje procednih voda deponija [32]. Biosistemi (mokra polja) su naročito pogodna za tretman OV manjih naselja [10]. Od ukupno 467 naselja u Vojvodini, 414 naselja su ruralna i nemaju sisteme za evakuaciju i prečišćavanje OV [13]. Koriste se septičke jame za odlaganje otpada, a procedne vode odlaze u dublje slojeve i zagađuju pre svega podzemne vode. Oko 95% ruralnih naselja ima do 5.000 stanovnika. Prema [13] za sva ovakva naselja potrebno je samo oko 0,14% površine Vojvodine da bi se izgradili biosistemi pod pretpostavkom pokrivenosti od 5 m² po ekvivalentnom stanovniku.

U ruralnim naseljima Srbije gde uglavnom nema industrijskih OV, a sa brojem stanovnika od 1.500 do 5.000, biosistemi su se pokazali kao povoljniji u odnosu na druga rešenja i sa njihovim projektovanjem se počelo 2002. godine [11]. Treba podsetiti da je prvi eksperiment upotrebe močvarnih makrofita za tretman OV izveden u Nemačkoj ranih pedesetih godina prošlog veka [31]. U poređenju sa tim, situacija u Vojvodini je takva da prečišćivači ovog tipa danas postoje samo kao dva mokra polja: Gložan i Novo Miloševo. Jedno istraživanje je pokazalo da su ova polja efikasna u vršenju svoje funkcije [12].

Potrebna i uslovi za primenu biosistema, pre svega mokrih polja kao prirodnih prečišćivača otpadnih voda, u Vojvodini postoje. Koji sistem odabrati determinišu stanja i uslovi na odgovarajućim lokalitetima u pokrajini. Jedan od poslova u vezi sa time je donošenje odluke o izboru i implementaciji biosistema, što je nesumnjivo kompleksno pitanje između ostalog i zbog standarda koji se vezuju za očuvanje životne sredine. Treba poštovati brojne kriterijume na osnovu kojih se odluka donosi, potrebe za kompromisom između većeg broja zainteresovanih strana koji imaju različite prioritete i ciljeve, itd. Očigledno je potrebno uvažavati brojne faktore koji utiču na odluku (ekološki, ekonomski, socijalni, politički i sl.), istovremeno ih analizirati i po mogućstvu uključiti što veći broj interesnih grupa. Alternativna rešenja uvek postoje, ali problem je koje rešenje je najbolje odabrati i primeniti, a da se poštuju zahtevi, pravila i ograničenja. Pošto pri donošenju odluka obično postoje konfliktni zahtevi, potrebna je koherentna i konzistentna metodologija za ocenu različitih rešenja na osnovu jasnih kriterijuma. Važna je i transparentnost metodologije koja će, npr., jasno definisati koliko je koji aspekt važan pri odlučivanju.

Metodi višekriterijumske analize pružaju obilje mogućnosti vrednovanja alternativnih rešenja prema skupovima kriterijuma, sa ili bez potkriterijuma [20]. Članovi Grupe za sistemske analize i donošenje odluka Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu (Departman za uređenje voda) objavili su brojne radove u toj oblasti za individualne i grupne varijante odlučivanja, za situacije sa konsenzusom i bez konsenzusa donosilaca odluka, itd. [21,22]. Deo istraživanja obuhvatio je i varijantna kombinovanja tehnologija prečišćavanja OV kod segmentacije bioprečišćivača [19, 26, 27]. Najnoviji objavljeni rezultati odnose se i na metrike konzistentnosti pri grupnom odlučivanju o tehnologijama segmentacije [24]. U većini navedenih radova primenjivan je Analitički hijerarhijski proces (AHP) [18], samostalno ili u kombinaciji sa drugim metodima. AHP je metod pogodan za podršku procesa odlučivanja koji je stekao punu naučnu verifikaciju i ima hiljade uspešnih primena u svetu.

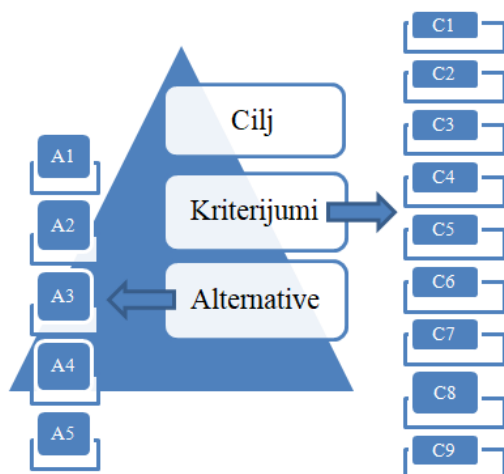
U radu se prema 9 kriterijuma direktno vrednuje pet alternativnih biosistema za prečišćavanje OV, među kojima su i mokra polja. Po metodologiji AHP prvi autor je za prosečne uslove u Vojvodini vrednovao biosisteme, a rezultati, diskusija i zaključci su na nivou koji bi, očekivano, doprineo boljem odlučivanju u oblasti izbora i primene tehnologija i sistema biološkog prečišćavanja otpadnih voda u ruralnim oblastima, pre svega izgrađenih u blizini manjih naselja sa evidentiranim problemima ove vrste.

MATERIJAL I METOD

Kao moguća rešenja problema prečišćavanja OV za prosečne uslove u Vojvodini, na osnovu devet odabranih kriterijuma (Tabela 1) vrednovano je pet alternativnih biosistema (Tabela 2). Problem odlučivanja je strukturiran kao standardna hijerarhija kao na Slici 1.

Kriterijumi

Pošto su faktori koji utiču na izbor sistema za prečišćavanje brojni, iz skupa mnogih izabrano je devet kriterijuma po kojima bi se biosistemi mogli vrednovati (videti Tabelu 2). Neki kriterijumi su izostavljeni zbog toga što je primer ilustrativan i opšteg karaktera. Za svaki konkretan lokalitet i situaciju neophodna su prilagođenja posle detaljnije analize koje od navedenih kriterijuma treba koristiti, da li skup treba širiti, vršiti modifikacije, ili deliti neke



Slika 1. Hijerarhija problema odlučivanja

Tabela 1. Kriterijumi

C1	Efikasnost (otklanjanja materija iz OV i sezonske varijacije)
C2	Cena (osnovnih ulaganja)
C3	Površina (potrebna za izgradnju)
C4	Utrošak energije
C5	Negativne nuspojave
C6	Održavanje sistema (mesečno i godišnje)
C7	Produkcija biomase
C8	Geografsko-klimatska zavisnost
C9	Ko-benefiti

Tabela 2. Alternative (biosistemi)

A1	Mokro polje sa vertikalnim (potpovršinskim) tokom
A2	Mokro polje sa otvorenim tokom
A3	Mokro polje sa povratnim tokom
A4	Sistem polja vrba
A5	Mokro polje sa horizontalnim (potpovršinskim) tokom

kriterijume na potkriterijume i dr. Npr., ovde su izostavljena razmatranja uticaja broja stanovnika i produkcije otpadne vode, kvalitet ulazne otpadne vode i zahtevani kvalitet vode na izlazu sistema. Te informacije su važne radi provere da li je sistem 'sposoban' za rad za datu veličinu naselja sa datom količinom vode i vrstom zagađenja. Kriterijum C2 (cena) korišćen kod vrednovanja prikazanih u ovom radu podrazumevao je samo osnovna ulaganja; pored toga mogu se uzeti u obzir i operativni i troškovi održavanja i iste tretirati kao potkriterijume ovog kriterijuma. Negativne nuspojave (kriterijum C5) mogu se odnositi na neprijatne mirise, staništa komaraca i dr.

Ostali navedeni kriterijumi su dovoljno jasni i ne zahtevaju poseban komentar.

Alternative/Biosistemi

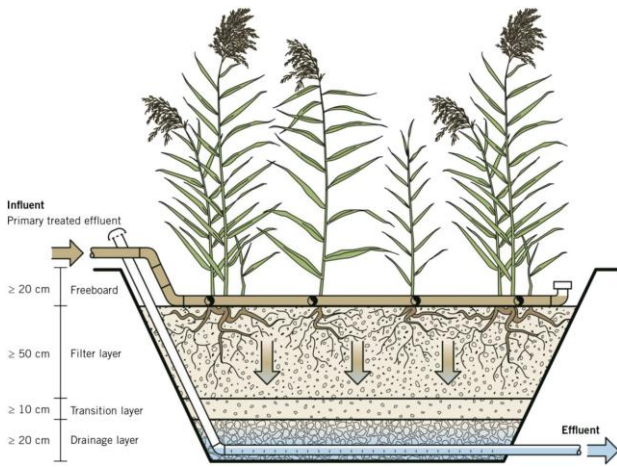
Biosistemi se terminološki i suštinski često izjednačavaju sa ekosistemima koji su kombinacija interakcija: (a) bioloških komponenata životne sredine, živih organizama (biljke i životinje) i zajednica mikroorganizama i (b) fizičkih (neživih) komponenata kao što su vazduh, zemljište, voda i drugi bazični elementi životne sredine. U Vojvodini je mnogo takvih biosistema. Na Slici 2 prikazana je Kurjačka greda kao deo šireg zaštićenog prirodnog kompleksa poznatog kao Koviljsko-petrovaradinski rit.

Veštački izgrađeni biosistemi – mokra polja imaju sve gore navedene karakteristike prirodnih biosistema. U skladu sa funkcijom prečišćavanja otpadnih voda razlikuju se razni tipovi ovih 'konstruisanih' biosistema (CWs – Constructed Wetlands). Osnovna podela je na sisteme sa potpovršinskim tokom i otvorenim – površinskim tokom. Dalja podela površinskih sistema je uglavnom na osnovu vegetacije koja se primenjuje (emerzna, flotantna, submerzna). Kod sistema sa potpovršinskim tokom razlikuju se vertikalni, horizontalni i hibridni. Kod vertikalnih potpovršinskih tokova, podela se vrši prema smeru toka (na dole, na gore ili obostrano kao povratni tok) [30].



Slika 2. Biosistem Kurjačka Greda u Koviljsko-petrovaradinskom ritu.

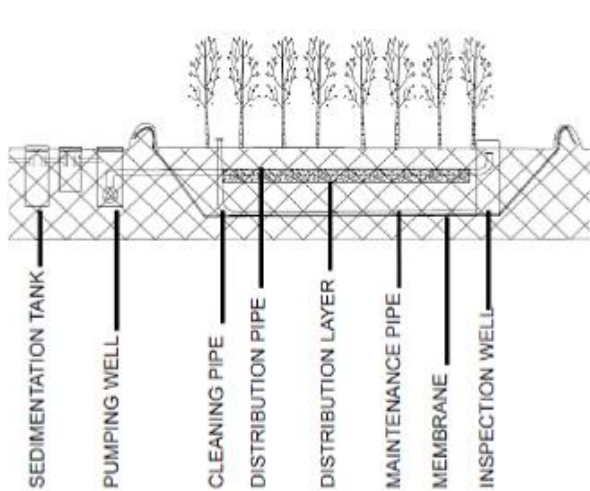
Alternativni biosistemi prečišćavanja otpadnih voda koji bi mogli biti od interesa u Vojvodini su: mokra polja sa vertikalnim (potpovršinskim) tokom [7,17], mokra polja sa otvorenim tokom [1, 5, 7], mokra polja sa povratnim tokom [2, 3], sistemi polja vrba [4, 7, 9] i mokra polja sa horizontalnim (potpovršinskim) tokom [29]. Izgled ovih bioprečišćavača OV ilustrovan je na slikama 3 do 7.



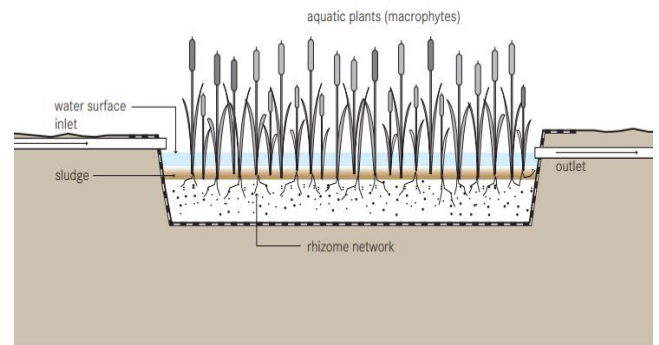
Slika 3. Mokro polje sa vertikalnim (potpovršinskim) tokom - A1 (Izvor: [7])



Slika 5. Mokro polje sa povratnim tokom –A3 (Izvor: <http://sustainablewater.com/recipe/> i PrtScr iz [16])



Slika 6. Sistem polja vrba - A4 (Izvor: PrtScr iz [7])



Slika 4. Mokro polje sa otvorenim tokom – A2 (Izvor: PrtScr iz [28])

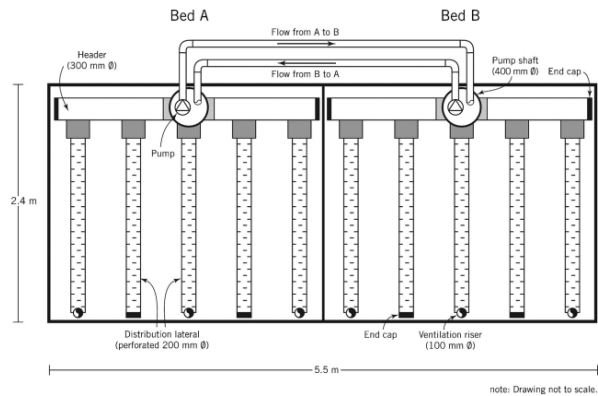
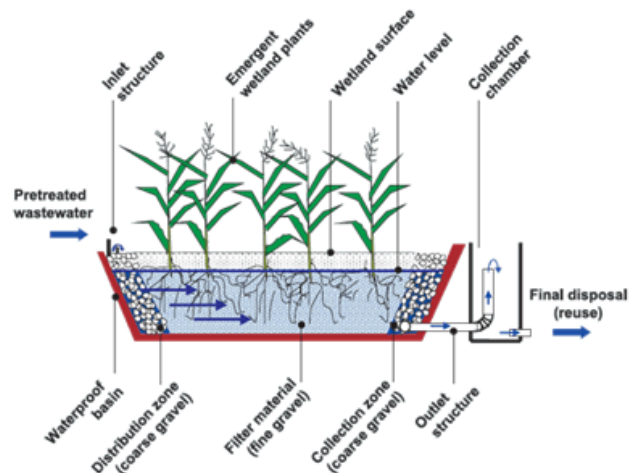


Fig. 10. Plan view of the internal recycling system for the reciprocating design (R). note: Drawing not to scale.



Slika 7. Mokro polje sa horizontalnim (potpovršinskim) tokom) – A5 (Izvor: [34])

Analitički hijerarhijski proces (AHP)

AHP je višekriterijumski metod koji uspešno podržava procese individualnog i grupnog donošenja odluka. Poštuje intuitivnu težnju čoveka da problem odlučivanja raščlani na delove i postavi ih u hijerarhiju sa ciljem na vrhu, kriterijumima (+ potkriterijumima, ako ih ima) ispod i alternativama na dnu. Da bi se vršila poređenja elemenata hijerarhije (kriterijuma u odnosu na cilj, potkriterijuma, ako ih ima, u odnosu na kriterijume i alternative na kriterijume, ili potkriterijume ako ih ima), obično se koristi Satijeva skala prikazana u Tabeli 3 [18]. Poređenja elemenata na svakom nivou hijerarhije vrše se u parovima u odnosu na nadređeni element (npr. kriterijumi u parovima u odnosu na cilj). Za n elemenata u datom nivou hijerarhije broj poređenja elemenata u parovima jednak je $n \cdot (n-1)/2$ i popunjava se odgovarajuća matrica brojevima iz skale; npr., broj međusobnih poređenja 9 kriterijuma u ovom radu je 36 (72/2), a alternativa 10 (20/2) u odnosu na svaki pojedinačni kriterijum, što znači da je izvršeno ukupno 126 poređenja, 36 za kriterijume i 90 za alternative (za svaki kriterijum po 10). Pošto se iz svake matrice vrednovanja generišu težine poređenih elemenata, AHP izračunava određene parametre koji na određeni način daju informaciju o konzistentnosti vrednovanja. Psihološki i drugi testovi pokazali su da konzistentnost vrednovanja ne može biti potpuna pre svega: (1) zbog ograničenja navedene skale (isto važi i za druge skale) i (2) jer sa povećanjem broja poređenih elementa opada kapacitet 'kratkoročnog' pamćenja odnosa već obavljenih poređenja dok traje taj process).

Parametar konzistentnosti u standardnim verzijama AHP je 'consistency ratio' (CR) koji se određuje preko sopstvene vrednosti matrice i statistički izračunatog indeksa konzistentnosti. Tolerantna vrednost za CR je 0.10 (10-procentna nekonzistentnost), ali se u praksi prihvataju i vrednosti do 0.20.

Iz svake matrice poređenja tipa A (jednačina 1) izračunavaju se težine elemenata koji su bili poređeni u parovima. Postoje mnogi metodi da se računaju težine. Jedan od jednostavnijih je aditivni metod (AN). Da bi se odredio vektor težina w dovoljno je normalizovati elemente u svakoj koloni posebno, zatim sabrati sve normalizovane vrednosti po vrstama i dobijene zbrove podeliti sa brojem poređenih elemenata. Procedura je opisana jednačinama (2) i (3).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$a'_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$w_i = (1/n) \sum_{j=1}^n a'_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Tabela 3: Satijeva skala

$$S = \left\{ \frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \right\}$$

S	Definicija
1	Isti značaj
3	Slaba dominantnost
5	Jaka dominantnost
7	Vrlo jaka dominantnost
9	Apsolutna dominantnost
2,4,6,8	Međuvrednosti

REZULTATI I DISKUSIJA

Matrice poređenja

Formirane su matrice poređenja kriterijuma u odnosu na cilj (Tabela 4) i alternativa u odnosu na kriterijume (Tabela 5) i zatim po metodu AN dobijeni vektori težina kriterijuma u odnosu na cilj i alternativa u odnosu na svaki pojedinačni kriterijum.

Tabela 4. Matrica poređenja kriterijuma u odnosu na cilj

Cilj	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1	2	5	4	9	5	4	7	3
C2		1	4	3	8	4	3	6	2
C3			1	1/2	5	1	1/2	3	1/3
C4				1	6	2	1	4	1/2
C5					1	1/2	1/6	1/3	1/7
C6						1	1/2	3	1/3
C7							1	4	1/2
C8								1	1/5
C9									1

Tabela 5. Matrice poređenja alternativa u odnosu na kriterijume

C1	A1	A2	A3	A4	A5	C2	A1	A2	A3	A4	A5	C3	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	5	2	1/4	7	A1	1	1/6	1/4	1/2	1/5	A1	1	1/2	1/4	6	4
A2		1	1/3	1/7	3	A2		1	4	5	3	A2		1	1/2	8	5
A3			1	1/5	5	A3			1	3	1/3	A3			1	9	6
A4				1	8	A4				1	1/4	A4				1	1/5
A5					1	A5					1	A5					1

C4	A1	A2	A3	A4	A5	C5	A1	A2	A3	A4	A5	C6	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	1/5	4	1/4	1/7	A1	1	5	1	1	4	A1	1	1/6	1	1/5	1/4
A2		1	7	3	1/3	A2		1	1/5	1/5	1/2	A2		1	6	2	3
A3			1	1/6	1/8	A3			1	1	4	A3			1	1/5	1/4
A4				1	1/5	A4				1	4	A4				1	2
A5					1	A5					1	A5					1

C7	A1	A2	A3	A4	A5	C8	A1	A2	A3	A4	A5	C9	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	5	8	1/5	5	A1	1	1/3	1/6	1/7	1/6	A1	1	1/7	1/5	1/3	1
A2		1	2	1/8	1	A2		1	1/3	1/5	1/3	A2		1	4	5	7
A3			1	1/9	1/2	A3			1	1/4	1	A3			1	4	5
A4				1	8	A4				1	4	A4				1	3
A5					1	A5					1	A5					1

Vrednosti parametra konzistentnosti (CR) za sve matrice prikazani su u Tabeli 6 i ne prelaze tolerantnu vrednost 0.10.

U Tabeli 7 prikazane su težine kriterijuma i alternativa. Najveću težinu ima prvi kriterijum (0.299 – efikasnost otklanjanja materija iz otpadne vode koja uključuje i sezonske varijacije efikasnosti. Drugi po težini je kriterijum ‘cena’ (0.208), a zatim ‘ko-benefiti’ (0.141). Ostali kriterijumi su imali znatno manje težine, zajedno samo 35%.

Sinteza po AHP metodu vrši se u smeru od cilja preko kriterijuma do alternativa, množenjem težina kriterijuma sa težinama alternativa iz Tabele 7. Rezultat sinteze su konačne ‘utilities’ (težine)

alternativa u odnosu na cilj. Ove vrednosti i rangiranje alternativa dati su u Tabeli 8.

Tabela 6. Vrednosti parametra konzistentnosti CR

Kriterijumi u odnosu na cilj		0.029
Alternative u odnosu na kriterijume	C ₁	0.063
	C ₂	0.055
	C ₃	0.069
	C ₄	0.096
	C ₅	0.006
	C ₆	0.018
	C ₇	0.052
	C ₈	0.051
	C ₉	0.058

Tabela 7. Težine kriterijuma u odnosu na cilj i alternativa u odnosu na kriterijume

W _i	Kriterijumi								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	Efikasnost	Cena	Površina	Energija	Nuspojave	Održ.	Biomasa	Geo-klim	Kobenefiti
	0.299	0.208	0.060	0.092	0.018	0.060	0.092	0.030	0.141
A1 – vertikalni tok	0.230	0.050	0.169	0.072	0.289	0.057	0.258	0.040	0.053
A2 – otvoreni tok	0.069	0.462	0.272	0.255	0.053	0.428	0.066	0.085	0.515
A3 – povratni tok	0.142	0.152	0.447	0.034	0.289	0.057	0.040	0.189	0.257
A4 – vrbe	0.523	0.076	0.031	0.150	0.289	0.277	0.570	0.497	0.121
A5 – horizontalni tok	0.037	0.261	0.080	0.048	0.081	0.181	0.066	0.189	0.053

Tabela 8. Konačne težine i rangovi alternativa

Alternativa	w_i	Rang
A1 – vertikalni tok	0.137	4
A2 – otvoreni tok	0.264	2
A3 – povratni tok	0.158	3
A4 – vrbe	0.294	1
A5 – horizontalni tok	0.106	5

Sinteza pokazuje da je alternativa A4 ('sistem polja vrba') u višekriterijumskom smislu najbolji izbor za implementaciju u vojvođanskim uslovima. Nedostatak ovog sistema prečišćavanja OV u ruralnoj sredini je površina potrebna za izgradnju koja je veća nego kod ostalih sistema. Ovaj rezultat je proistekao iz činjenice da je kriterijum "površina" u procesu vrednovanja dobio malu težinu (0.060, pretposlednja po veličini). To znači da taj kriterijum nije značajno uticao na krajnji ishod sinteze. Prema četiri kriterijuma mokro polje sa sistemom vrba je prvorangirana alternativa, između ostalih i prema kriterijumu efikasnost koji je imao najveću težinu. Druga alternativa (iza A4 – sistema sa vrbama, 0,294) je mokro polje sa otvorenim tokom sa neznatno manjom težinom (0,264). U razmatranjima pitanja izgradnje mokrih polja treba uzeti u obzir i ovu varijantu i konačno izabrati rešenje koje bolje odgovara lokalnim uslovima. Na izbor između jednog od dva rešenja mogu uticati i mehanizmi odlučivanja, npr. glasanje delegata zainteresovanih strana ili političkih predstavnika u relevantnim skupštinama.

ZAKLJUČAK

Da bi se pronašlo pogodno rešenje za problem prečišćavanja otpadnih voda na lokalnom nivou, u blizini manjih urbanih sredina, jedna od mogućnosti je da se analiziraju u svetu poznati bioprečišćivači, odnosno biosistemi, koji bi kasnije bili izgrađeni prema biološkim, tehničkim, ekološkim i drugim standardima.

Brojni dokumenti pokazuju da je u Srbiji prečišćavanje otpadnih voda više izuzetak nego pravilo. U manjim naseljima (sela i varoši) otpadne vode se često odlažu u septičke jame i time posredno mogu postati ozbiljni zagađivači podzemnih voda i, šire posmatrano, životne sredine. Uslovi u Vojvodini su posebno pogodni za izgradnju bioprečišćivača, poznatih i pod nazivom mokra polja, naročito u blizini manjih urbanih celina. Tokom poslednje dve decenije u Vojvodini su izgrađena samo dva takva sistema.

U svetu se koriste razne varijante tehničkih rešenja bioprečišćivača kao jednostavnih, ekonomičnih i efikasnih tretmana otpadnih voda iz domaćinstava, poljoprivrede, industrije i dr. Za date lokalne uslove uvek postoje različiti kandidat-tipovi bioprečišćivača. Evidentirani pristupi iz literature pokazuju da se po pravilu za izbor najpogodnijeg rešenja, dakle pre usvajanja nekog od mogućih, koriste kompleksne metodologije odlučivanja uz poštovanje mnogostrukih, često ekstremno konfliktnih, kriterijuma. Analiza kandidata i izbor optimalnog u višekriterijumskom smislu daju odgovor na pitanje koji sistem je najpovoljniji, najbolji ili najpoželjniji. Drugim rečima, optimum u klasičnom smislu (kada postoji samo jedan kriterijum, npr. cena) se i ne traži, a metodologije traže rešenje koje najbolje uspostavlja balans u zadovoljenju kriterijuma, poštuje više uglova tretiranja sistema kao takvih u odnosu na lokalne uslove, preference zainteresovanih strana, finansijske konstrukcije, planove operativnih i strateških mera za održavanje sistema, itd.

U ovom radu je pokazano da bi dobar pristup kod izbora bioprečišćivača bio da se koristi naučno provereni metod analitički hijerarhijski proces (AHP). Prikazana je primena ovog metoda za 'prosečan vojvođanski slučaj' izbora jednog od pet mogućih sistema bioprečišćavanja prema grupi od 9 tipičnih kriterijuma. Predložena metodologija je opšta po karakteru i primenljiva je za svaki posebni slučaj planiranja izgradnje bioprečišćivača. Kriterijumi se mogu menjati po karakteru i broju, mogu se razmatrati i drugi sistemi, a kontekst odlučivanja se može proširiti i na grupe delegiranih predstavnika zainteresovanih strana (tzv. stejkholdera). U osnovi je koncept isti ukoliko bi se umesto standardnog AHP kao ovde koristila neka od varijanti ovog metoda, npr. fazi AHP, AHP sa intervalnim matricama poređenja, multiplikativni AHP, hesitant AHP ili DEA-AHP. Mogu se definisati i nove agende istraživanja metodologija participativnog odlučivanja o gazdovanju vodnim resursima i posebno kontroli otpadnih voda i prečišćavanju pomoću mokrih polja.

ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije koje finansira istraživanja (Grant No. 451-03-68/2020-14/ 200117).

LITERATURA

- [1] Andersson, J. L., Bastviken, S. K., & Tonderski, K. S. (2005). Free water surface wetlands for wastewater treatment in Sweden: nitrogen and phosphorus removal. *Water science and technology* 51(9): 39-46.
- [2] Behrends, L. L. (1999). U.S. Patent No. 5,863,433. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [3] Behrends, L. L., & Choperena, J. (2012). Tidal-flow Constructed Wetlands (TFW), for Treating and Reusing High Strength Animal Production Wastewater. In 2012 Dallas, Texas, July 29-August 1, 2012 (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [4] Börjesson, P., & Berndes, G. (2006). The prospects for willow plantations for wastewater treatment in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 30(5): 428-438.
- [5] Crites, R. W., Middlebrooks, E. J., & Bastian, R. K. (2014). *Natural wastewater treatment systems*. CRC press.
- [6] Dalmacija, B., Bečelić – Tomin, M., Maletić, S., Agbaba, J. (2018). Mogućnosti održivog vodostabdevanja i klimatske promene. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno – matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad.
- [7] Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., & Von Sperling, M. (2017). *Treatment wetlands* (Vol. 7). London, UK: IWA publishing.
- [8] Ferguson, B. C., Brown, R. R., Frantzeskaki, N., de Haan, F. J. & Deletic, A. (2013). The enabling institutional context for integrated water management: lessons from Melbourne. *Water Research* 47(20): 7300–7314.
- [9] Gregersen, P., & Brix, H. (2001). Zero-discharge of nutrients and water in a willow dominated constructed wetland. *Water science and technology* 44(11-12): 407-412.
- [10] Haberl, R., Grego, S., Langergraber, G., Kadlec, R. H., Cicalini, A.R., Martins Dias, S., Novais, J. M., Aubert, S., Gerth, A., Hartmut, T. & Hebner, A. (2003). Constructed wetlands for the treatment of organic pollutants. *JSS – J. Soils Sediments* 3 (2): 109–124.
- [11] Ivković, P. (2006). Primena mokrih polja u prečišćavanju upotrebljenih otpadnih voda u Srbiji – praktična iskustva. Prečišćavanje otpadnih voda sistemom mokrih polja: Zbornik radova. Novi Sad, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda: 53 - 58.
- [12] Josimov-Dundžerski, J., Nikolić, L., Belić, A., Džigurski, D., & Bezdan, A. (2013). Održivost mokrog polja u uslovima letnje suše. *Letopis naučnih radova* 37(1): 53-60.
- [13] Josimov-Dundžerski, J., Grabić, J., & Belić, A. (2015). Mokra polja u očuvanju vodnih resursa Vojvodine. *Letopis naučnih radova* 39 (1): 24 – 32.
- [14] Kadlec, R. & Wallace, S. (2009). *Treatment Wetlands*. 2nd edition, CRC press, Boca Raton, FL, USA.
- [15] Langergraber, G., (2013). Are constructed treatment wetlands sustainable sanitation solutions?. *Water Science and Technology* 67(10): 2133-2140.
- [16] Nivala, J., Headley, T., Wallace, S., Bernhard, K., Brix, H., van Afferden, M., & Müller, R. A. (2013). Comparative analysis of constructed wetlands: The design and construction of the ecotechnology research facility in Langenreichenbach, Germany. *Ecological Engineering* 61: 527-543.
- [17] Prochaska, C. A., & Zouboulis, A. I. (2006). Removal of phosphates by pilot vertical-flow constructed wetlands using a mixture of sand and dolomite as substrate. *Ecological Engineering* 26(3): 293-303.
- [18] Saaty T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, Inc.
- [19] Srđević B., Suvočarev K., Srđević Z. (2008). AHP grupno odlučivanje bez konsenzusa: primer planiranja segmentacije mokrog polja, *Vodoprivreda* 40: 51-58.

- [20] Srđević B., Srđević Z., Blagojević B., Suvocarev K. (2013). A two-phase algorithm for consensus building in AHP-group decision making. *Applied Mathematical Modeling* 37: 6670-6682.
- [21] Srđević, B., Srđević, Z., Lakićević, M., & Galamboš, L. (2016). O objektivnim metodima određivanja težina kriterijuma u višekriterijumskim analizama i optimizaciji. *Letopis naučnih radova* 40(1): 78-86.
- [22] Srđević B., Srđević Z. (2016). Vodoprivredna sistemska analiza sa primenama u menadžmentu vodnih resursa, Knjiga, 321 str., Poljoprivredni Fakultet, Univerzitet u Novom Sad, Novi Sad.
- [23] Srđević B., Srđević Z., Suvocarev K. (2017). Multi-criteria evaluation of wastewater treatment technologies in constructed wetlands. *European Water* 58: 165-171.
- [24] Srđević, Z., Srđević, B., Suvočarev, K., Galamboš (2020). Hybrid Constructed Wetland Selection as a Group Decision-Making Problem. *Water Resources Management* 34: 295–310.
- [25] Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA). <https://www.susana.org/en/about/vision-mission/sustainable-sanitation>
- [26] Suvočarev K., Srđević B. (2007). Analiza varijanti mokrih polja pomoću Analitičkog hijerarhijskog procesa, *Letopis naučnih radova* 31 (1): 106-113.
- [27] Suvočarev K., Srđević Z., Srđević B. (2008). Kombinovanje metoda AHP i TOPSIS u višekriterijumskoj optimizaciji segmentacije mokrih polja, *Tematski zbornik radova Melioracije 08, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad*, 50-55.
- [28] Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrugg, C., & Schertenleib, R. (2008). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies* Dübendorf. Switzerland, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG).
- [29] Vymazal, J., & Kröpfelová, L. (2008a). Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow (Vol. 14). Springer science & business media.
- [30] Vymazal, J., & Kröpfelová, L. (2008b). Types of constructed wetlands for wastewater treatment. *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*, 121-202.
- [31] Vymazal, J. (2010). Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water* 2(3): 530-549.
- [32] Wu, H., Zhang, J., Ngo, H. H., Guo, W., Hu, Z., Liang, S., Fan, J. & Liu, H. (2015). A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: design and operation. *Bioresource technology*, 175: 594-601.
- [33] Zakon o prostornom planiranju Republike Srbije od 2010. do 2020. godine (Službeni glasnik RS 88/10) http://195.222.96.93//media/zakoni/Zakon_o_prostornom_planu_RS-cir.pdf
- [34] <https://envirobites.org/2018/02/07/wastewater-and-wetlands-a-friendship-for-the-ages/>

EVALUATING TYPES OF CONSTRUCTED WETLANDS FOR PURIFYING WASTEWATER OF RURAL SETTLEMENTS BY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

by

Milica ILIĆ and Bojan SRĐEVIĆ

University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of Water Management
Group for Systems Analysis and Decision Making
tRG d. oBRADOVICA 8, 21000 Novi Sad, Serbia

Summary

Wastewater treatment in Serbia is not significant activity, especially in rural areas where septic tanks are commonly used for their disposal. Tanks are potential polluters of groundwater and more broadly of the environment. Conditions in Vojvodina are suitable for the application of constructed wetlands (CW) for smaller rural settlements. CWs are proven worldwide as relatively simple, economic and efficient in purifying collected wastewaters, and especially for sanitary water. CWs are specific biosystems serving as wastewater treatment plants. Because there are different types of CWs, the choice of particular type of CW for given conditions is not an easy task due to many limitations and interests.

Therefore, to make a proper decision and select a particular treatment system, a coherent and consistent methodological approach is advised, based on balancing the elements of decision-making, and especially on the criteria set. Proposed approach for the assessment and selection of CW is based on the use of analytic hierarchy process (AHP). For 'average wetland implementation conditions in Vojvodina', the choice of most suitable CW (optimal one in multicriteria environment) is made from the set of five wetlands based on nine typical criteria..

Key words: constructed wetland, wastewater treatment, analytic hierarchy process (AHP), Vojvodina

Redigovno 8.11.2020.