

PROCJENA INDEKSA ODRŽIVOSTI KORIŠTENJA KANALIZACIJE ZA UPRAVLJANJE OTPADOM HRANE

prof. dr. sc. Jure Margeta
Sveučilište u Splitu,
Fakultet građevinarstva,
arhitekture i geodezije,
Matice Hrvatske 15
Split, Hrvatska
e-mail: margeta@gradst.hr

Zbrinjavanje otpada hrane je problem čije se rješavanje treba provoditi u skladu s principima hijerarhije otpada i kružnog gospodarstva. To je biološki lako razgradivi otpad koji ima štetan utjecaj na okoliš, a važan je biološki resurs koji se može koristiti za poticanje kružnog gospodarstva. Upravljanje je, zbog lake razgradivosti, zahtjevno i složeno. Postoji više rješenja s različitim učinkom na osnovne dimenzije održivosti. Jedno od rješenja koja se u svijetu koriste je upuštanje kuhinjskog otpada hrane u kanalizaciju otpadnih voda. Cilj je smanjiti štetna ispuštanja u urbani i prirodni okoliš i ojačati održivost sustava upravljanja otpadom hrane i kanalizacije. Rješenje mora biti održivo u skladu sa lokalnim prirodnim i društveno-ekonomskim značajkama. Održivost se može ocijeniti na više načina, ovisno o raspoloživosti podataka i razine obrade problema. U radu je prezentirana primjena indeksa održivosti na primjeru otoka Raba. Dobiveni indeks održivosti potvrđuje da predloženi koncept označava zadovoljavajući napredak prema održivosti.

Ključne riječi: indeks održivosti, kružno gospodarstvo, otpad hrane, kanalizacija otpadnih voda, višekriterijska analiza

1. UVOD

Otpad hrane je posebna potkategorija organskog otpada. Otpad od hrane je organska tvar visoke biološke vrijednosti koju treba korisno zbrinuti u skladu s principima hijerarhije otpada i politikom kružnog gospodarstva. Cilj je otpad hrane vratiti u ciklus korištenja i/ili je oporabiti i tako poticati razvoj ekonomije (EC, 2015.a; 2015.b). To je posebno značajno za život na otocima koji su izolirane sredine, vrlo ranjive na bilo koji poremećaj u opskrbi resursima. Lokalna proizvodnja energije i hrane je od velikog značaja za sigurnost življenja, a posebno u incidentnim situacijama uzrokovanih klimatskim promjenama i drugim ugrozama. Planom gospodarenja otpadom u Hrvatskoj zahtjeva se: 50 % smanjenje otpada, pretvaranje otpada u resurse,

prestanak odlaganja otpada na odlagališta do 2030. godine, te uporaba energije. Prioritetni cilj je što više smanjiti nastajanje otpada hrane u cijelom procesu opskrbe, a nastali otpad zbrinuti u skladu s hijerarhijom otpada (EC, 2008.; RH, 2017.). Količine otpada od hrane su značajne i svakodnevnne. U Hrvatskoj je to oko 30,9% ukupnog komunalnog otpada, što uz količinu komunalnog otpada, od 404 kg/stan./godinu, daje veličinu od 124,8 kg/stanovniku/godinu.

Za većinu aktivnosti koje se koriste kod upravljanja otpadom hrane može se smatrati da imaju štetan utjecaj na okoliš (miris, smrad, smanjenje energetske i hranidbene vrijednosti, emisije stakleničkih plinova i drugo). To se odnosi na većinu komponenti sustava:

spremanje, sakupljanje, pretovar i transport, obradu i odlagališta. Postoji više postupaka i metoda koje se koriste u upravljanju otpadom hrane. U ovom radu se obrađuje rješenje koje integrira kuhinjski otpad s lokanim kanalizacijskim sustavom. To je takozvani „mokri postupak“ (MP) u kojem se kuhinjski organski otpad usitnjava drobilicom za kuhinjski otpad, ispušta u kućnu kanalizaciju i transportira zajedno s otpadnim vodama do komunalnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV). MP se već dugo vremena koristi u USA i nekim drugim državama, a relativno malo u EU (Margeta, 2017.). Cilj je potpuno razdvojiti komunalni mokri od suhog organskog i drugog otpada na mjestu nastajanja, te na taj način racionalizirati sakupljanje, spremanje i transport komunalnog otpada te smanjiti negativni utjecaj na okoliš. Povoljan je posebno u područjima s visokim temperaturama zraka, osjetljivim okolišem i aktivnostima kao što je turizam, te siromašnima hranjivim tvarima i energijom. U Hrvatskoj su to prije svega otoci i obalna urbana područja gdje je turizam glavna privredna grana, a zdrav okoliš ključni resurs razvoja. Otpad hrane u turističkoj privredi je najzastupljenija komponenta otpada, više od 45 %, tako da se rješavanjem ove komponente uvelike rješava ukupni problem zbrinjavanja otpada. U turističkim naseljima su izražene velike sezonske razlike u količini otpada, kao i otpadnih voda, zbog čega je teško realizirati održivo racionalno rješenje uvažavajući osnovne komponente održivosti: ekonomsku, ekološku, društvenu i tehničku. Nema samo jedne metode i jasne najbolje prakse za razumijevanje složenih problema. U izboru i analizi rješenja uglavnom se koristi više metoda; ekspertni paneli, indeks održivosti, analiza uzrok-posljedice, analiza trenda, višekriterijska analiza, procjena životnog ciklusa (life cycle assessment – LCA), analiza troškova životnog ciklusa (life cycle cost analysis – LCCA), itd. (UNEP, 2009.). Izbor metode ovisi o nizu čimbenika, prije svega o ciljevima analize, te količini i raspoloživosti podataka i troškovima rada. U radu se koristi složeni pokazatelj/indeks, odnosno indeks održivosti prilagođen prirodnom i društveno-ekonomskom okruženju na otocima u Hrvatskoj. Ova metoda mjeri implementaciju hijerarhije otpada i kružnog gospodarstva, te održivost koncepta u lokalnim uvjetima rada (Diggelmann, 1998.). Koncept složenih pokazatelja uveden je devedesetih godina prošlog stoljeća u cilju rješavanja niza složenih i višedimenzionalnih razvojnih problema. U literaturi se pojam „Složeni pokazatelj“ često odnosi na indeks koji se sastoji od agregiranih podataka, ocjena, tablica i višedimenzionalnih mjerila (Nardo i sur. 2005.). Metoda je jednostavna i može se koristiti za prethodne kao i detaljne analize održivosti mogućih rješenja pa time i MP. Kod nas se ova metodologija za procjenu održivosti odabranog koncepta upravljanja otpadom rijetko koristi, a za sada nije primijenjena u analizi problema koji se obrađuje u ovom radu.

2. KANALIZACIJA I UPRAVLJANJE OTPADOM HRANE

Otpatci hrane su: ostatci mesa, voća i povrća koji se javljaju kod prodaje, pripreme, kuhanja, i konzumacije. Značajka otpada je brza razgradnja, posebno pri višim temperaturama. Razgradnja u nekontroliranim uvjetima često dovodi do pojave smrada i štetnih plinova, te drugih negativnih utjecaja. Kuhinjski otpad ima veliki utjecaj na način i učestalost sakupljanja krutog otpada i time na troškove rada. Otpad se mora prikupljati i odvoziti češće nego u slučaju suhog organskog ili drugog otpada. Poseban problem stvara miješani otpad koji bitno povećava troškove i smanjuje vrijednost organskog otpada. U Hrvatskoj kuhinjski otpad čini prosječno oko 25 % komunalnog otpada (RH, 2017.). Tipični kemijski sastav otpada hrane je: 50,5 % ugljik, 6,72 % vodik, 39,6 % kisik, 2,74 % dušik i 0,44 % sumpor te je stoga vrijedni bio-resurs (Diggelmann, 1998.).

Djelovanjem bakterija i gljiva, uz prisutnost vlage, otpad se razgrađuje u osnovne organske komponente i CO₂. To su heterotrofne bakterije (*saprofiti*) i gljive. Vlaga u hrani uvijek ima (do 80 %) tako da razgradnja nastaje brzo. Kad se potroši kisik nastaju anaerobni proces i razgradnja. Proces anaerobne razgradnje proizvodi opasne toksine, te plin metan koji je vrlo jaki staklenički plin. Brzina razgradnje ovisi o temperaturi. Temperature između 15–60 °C su povoljne za razvoj bakterija i razmnožavanje gljiva, a aktivne su i kod nižih. O svemu ovome mora se voditi računa kod upravljanja otpadom hrane kako bi posljedice za čovjeka i okoliš bile što manje. Hijerarhija upravljanja otpadom hrane je slična hijerarhiji upravljanja krutim otpadom, [slika 1.](#) (Papargyropolou i sur., 2014.).



Slika 1: Interpretacija hijerarhije za otpad hrane (prilagođeno Papargyropolou i sur., 2014.)

Sprječavanje nastajanja otpada je prioritet. Hranu bi trebalo potrošiti, a otpad nastao proizvodnjom i pripremom treba zbrinuti u skladu s hijerarhijom otpada. Ponovno koristiti gdje god je moguće, reciklirati kao hranu za životinje ili putem kompostiranja u proces uzgoja biljaka. Oporabiti kao energent korištenjem bioplina iz anaerobnog procesa obrade kao kvalitetnog zelenog energenta i time smanjiti ispuštanje stakleničkih plinova i poticati zelenu ekonomiju, te na kraju hijerarhije, ako

je neizbježno, odložiti u sanitarne deponije uz korištenje odlagališnog bioplina.

Standardni postupci obrade su: anaerobna digestija, kompostiranje, odlaganje s korištenjem odlagališnog plina te postupci u razvoju kao što su piroliza i slični termomehanički postupci (Margeta, 2017.). Obrada može biti zasebna, zajedno s drugim suhim organskim otpadom ili muljem UPOV-a. Različiti postupci imaju vrlo različite utjecaje na klimatske promjene, veličinu ponovnog korištenja nutrijenata, korištenje primarne energije, ozonski omotač, itd. U turističkim područjima utjecaj na okoliš i higijenu urbane sredine ima posebnu važnost, jer to bitno utječe na kvalitetu i konkurentnost turističke destinacije. Uz to, prirodni okoliš otoka je vrlo ranjiv na organsko i bakteriološko onečišćenje podzemnih voda, mora i tla.

Kod analize održivosti sustava upravljanja i definiranja indeksa održivosti utvrđuju se neto-efekti na prirodni okoliš i društvo u cjelini, uvažavajući pri tome sve dimenzije održivosti. Definicija indikatora/pokazatelja je „mjera, po mogućnosti kvantitativna, koja se može koristiti za ilustraciju i komunikaciju složenih pojava na jednostavan način, uključujući trendove i napredak tijekom vremena“ (Donnelly i sur., 2007.). Ključna funkcija pokazatelja je smanjenje brojnosti i složenosti informacija koje su potrebne za donošenje odluka, a koje često nisu dostupne. Pokazatelji nisu dizajnirani samo za kreiranje politika i rješenja, već pomažu i u njihovoj provedbi i oblikovanju kao i praćenju trenda učinaka. Po mogućnosti treba koristiti uobičajene indikatore za koje postoje standardne norme koje se koriste u oblikovanju i normalizaciji veličina indikatora.

Primjenom kružnog gospodarstva tradicionalni linearni koncept sustava se mijenja, jer je prioritet

vraćanje resursa u ciklus korištenja, što potiče ekonomiju. Preduvjet za dobru učinkovitost je primjena odvojenog sakupljanja što olakšava obradu i jača potencijal za ponovno korištenje. Ključno je ostvariti učinkovito odvajanje otpada hrane na mjestu nastajanja, spriječiti rasipanje u procesu prikupljanja, transporta i prethodne obrade. Time se izbjegava onečišćenje okoliša te gubitak resursa, energije i/ili nutrijenata. U slučaju kuhinjskog otpada isto zahtjeva primjenu specifične tehnologije. Cijeli proces spremanja, sakupljanja i transporta se odvija zatvorenim spremnicima kako bi se spriječio kontakt sa životinjama, kontroliralo ispuštanje plina i istjecanje otpadnih voda. Ako se otpad dulje zadrži na nekoj lokaciji, tada se mora usporiti njegova razgradnja i time umanjiti emisija plinova. Postupci su sušenje, dodavanje tvari za smanjenje aktivnosti bakterija, smrzavanje itd. Zbog toga je odvojeno sakupljanje kuhinjskog otpada složenije i skuplje od sakupljanja drugih vrsta otpada. Sustavi koji se koriste su (Karin i sur., 2012.):

- Odlaganje u papirnate vreće, sakupljanje i prijevoz kamionima na prethodni tretman i potom na anaerobnu digestiju (AD) i/ili kompostiranje.
- Isto kao A, osim što se papirnate vreće odlažu u decentralizirane jedinice za sušenje razmještene u naselju. Osušeni otpad se odvozi na AD i/ili kompostiranje bez prethodnog tretmana.
- Korištenje drobilice u sudoperima i odvodnja u taložnik. Odvoz mulja cisternama na AD. Ispuštanje vode iz jama u gradsku kanalizaciju.
- Transport organskog materijala vakuum sustavom na centralnu drobilicu i spremnik. Transport usitnjenog otpada i vode cisternama na AD.

Tablica 1: Prednosti i nedostaci zajedničkog rješenja (Thomsen i sur., 2018.; Rosenwinkler i sur., 2001.; Victoria, 2015.)

Prednosti	Nedostaci
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Korištenjem kanalizacije eliminira se mogućnost zaraze kod spremanja, sakupljanja i prijevoza otpadaka hrane, odvojenog ili miješanog otpada, jer se otpad transportira vodom kroz zatvoreni kanalizacijski sustav do UPOV-a. ▪ Smanjuju se troškovi spremanja, sakupljanja i transporta otpada, te se smanjuju potrebe za prostorom za skladištenje i manipulaciju otpadom. ▪ Smanjuje se ukupna količina, kao i broj ciklusa sakupljanja otpada. ▪ Ispuštanje u kanalizaciju je jednostavniji način zbrinjavanja otpada od procesa koji obuhvaća spremanje, sakupljanje, transport i obradu/odlaganje. ▪ Ispuštanje otpada u kanalizaciju rezultira zdravijim radnim okolišem u sustavu gospodarenja otpadom. ▪ Ispuštanje u kanalizaciju rezultira povećanjem količine organske tvari u kanalizaciji i time povećanjem energetske vrijednosti mulja koji se izdvaja u procesu pročišćavanja. ▪ Bioplin nastao na UPOV-u ima znatno veću bioenergetsku vrijednost od spaljivanja organskog otpada. ▪ Na uređaju se dobije mulj bogatiji dušikom. Ako se taj mulj koristi, dolazi do povećanja recikliranja nutrijenata u okoliš. ▪ Veća koncentracija ugljika u kanalizaciji, zbog ispuštanja otpada hrane, rezultira poboljšanjem izdvajanja dušika i fosfora na UPOV-u. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ispuštanje organskog otpada u kanalizaciju rezultira povećanjem ispuštanja organskog otpada na prelivima mješovite kanalizacije, ako ista postoji. ▪ Uređaj za ispuštanje u kanalizaciju ima potrošnju 4 - 8 L vode na minutu, tj. oko 2,5 m³ na godinu za prosječno korištenje u kućanstvu. Rezultat je povećanje vodne naknade. ▪ Zbog ispuštanja krutog organskog otpada u kanalizaciju dolazi do povećanja BPK₅ US (ukupne suspendirane tvari) i drugih organskih tvari na komunalnom uređaju. Kuhinjski organski otpad generira oko 0.25 veličine BPK₅ ekvivalentnog stanovnika (ES = 60 gBPK₅/dan). ▪ Miješanjem sa kanalizacijom otpad hrane se onečišćuje fekalnim bakterijama, što utječe na obradu i korištenje komposta. ▪ Zbog ispuštanja u kanalizaciju dolazi do povećanja potrošnje energije zbog rada samog usitnjivala i na UPOV-u. ▪ Troškovi zbrinjavanja mulja rastu s povećanjem količina mulja na uređaju. ▪ Instaliranje drobilice plaćaju korisnici, a ne komunalno poduzeće ili općina/grad. ▪ Korištenje kanalizacije može rezultirati povećanjem cijena usluge odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda.

- e) Korištenje drobilice i direktno ispuštanje u komunalni kanalizacijski sustav u kojem se organski otpad obrađuje zajedno s otpadnom vodom na UPOV-u.

Varijanta e) s direktnim ispuštanjem zdrobljenog kuhinjskog otpada u kanalizaciju je najjednostavnija. Rezultat primjene je eliminacija neugodnih mirisa, ušteda energije, smanjenje količine otpada, zdraviji okoliš, te smanjenje emisije CO₂. Ugradnja drobilica je jednostavna, a rad pouzdan (garancija najmanje 5 godina). Nužni elementi rješenja su drobilica kuhinjskog otpada te postojanje kanalizacije koja transportira otpad na obradu i zbrinjavanje. Može se koristiti komunalni kanalizacijski sustav kao i individualni. Otpad hrane se sakuplja zajedno s otpadnim vodama, odnosno sustav gospodarenja otpadom hrane se *integrira* sa sustavom gospodarenja otpadnim vodama. Ovo rješenje ima prednosti, ali i nedostatke, koje treba uzeti u obzir kod primjene kao i kod određivanja indeksa održivosti (tablica 1.).

Obrada i zbrinjavanje usitnjenog kuhinjskog otpada i otpadnih voda se može realizirati na sličan način kao komunalna otpadna voda, odnosno mulj nastao na UPOV-u. Glavni učinak usitnjenog otpada hrane na kanalizaciju je povećanje koncentracije organskih tvari (BPK₅, oko 0,25 ES) (Metcalf, 2003.; RH, 2014.). Ta činjenica ima utjecaj na potrebni stupanj pročišćavanja otpadnih voda. Povećanje količine otpadne vode nije značajno (4–8 l/dan), a odnosi se na korištenje vode radi ispiranja drobilice. Drugi utjecaj se odnosi na nastali kompost, jer po sadašnjim propisima nastali kompost se po porijeklu svrstava u III. klasu, iako po sastavu odgovara višim klasama (RH, 2014.; Grčić i sur., 2020.; Minale i Worku, 2014.). EU direktiva o mulju s komunalnih uređaja otpadnih voda ima za cilj potaknuti korištenje mulja u poljoprivredi, s time da se spriječe negativni učinci na vode, tlo i proizvode. U skladu s time, zahtjeva se odgovarajuća obrada mulja prije korištenja. EU direktiva o otpadnim vodama, članak 14 navodi „*sludge arising from waste water treatment plant shall be re-used whenever appropriate*“. Prema tome, mulj u kojem se nalazi i otpad hrane koji inače poboljšava značajke mulja se treba ponovno koristiti gdje god je to moguće. U mulju ne smije biti opasnih tvari niti patogenih organizama koji su štetni za čovjeka i okoliš. U komunalnim otpadnim vodama, koje isključivo sakupljaju upotrijebljene vode iz domaćinstva i sličnih korisnika, opasnih tvari uglavnom nema. Bakterije i patogeni organizmi se eliminiraju završnim pročišćavanjem kao što je to recimo kompostiranje, pasterizacija i slično.

MP ciljevi zbrinjavanja otpadnih voda i otpada hrane se objedinjuju pa je učinkovitost u ostvarenju politike kružnog gospodarstva značajna. Pročišćena voda se može vratiti u ciklus korištenja jednako kao i mulj koji se prethodno koristiti i za proizvodnju bioplina. Otpad hrane u kanalizaciji poboljšava značajke mulja i komposta. Međutim, otpadne vode bakteriološki onečišćuju mulj pa

se bakterije moraju eliminirati. Mulj na UPOV-u je bolje kakvoće i bogatiji nutrijentima i povoljniji za ponovno korištenje. Porijeklo otpada i otpadnih tvari u otpadnim vodama je isto hrana. Razlika je samo u razini digestije koja je veća u otpadnim vodama. Zato otpad hrane ima veću koncentraciju molekula visoke energetske vrijednosti od fekalija. Nakon obrade otpadnih voda, u mulju ostaju komponente koje mikroorganizmi ne mogu više koristiti. Biljke koriste ove komponente da procesom fotosinteze proizvedu nove molekule visoke energetske vrijednosti, te se tako proces kruženja organskih tvari neprestano ponavlja. Tehnologije koje se koriste u zbrinjavanju mulja i kuhinjskog otpada su dobro poznate i već se dugo koriste (Margeta, 2017.; RH, 2014.; Wang, 2014.). Mulj se najčešće stabilizira u anaerobnim digestorima kako bi se energetski oporabio. Nakon toga se kompostira jednom od tehnologija: statičko kompostiranje s pasivnom ili aktivnom aeracijom, te mehaničko kompostiranje (kanali, polja, rotirajući cilindri itd.). Tehnologije imaju svoje prednosti i nedostatke, a izbor najviše ovisi o količini mulja te utjecaju kompostane na okoliš. Kod malih količina koriste se jednostavne tehnologije kao što je to statičko kompostiranje s pasivnom i/ili aktivnom aeracijom (1000 - 10000 t/god.), a u slučaju velikih količina mehaničko (15000 - 100000 t/god.). U turističkim područjima gdje su sezonske varijacije velike dobar izbor je pasivno kompostiranje s aktivnom aeracijom ljeti, te pasivnom zimi, s duljim odležavanjem komposta prije korištenja.

Provedena laboratorijska ispitivanja mulja i otpada hrane su pokazala da učinkovitost izdvajanja BPK₅, KPK, i US u AD raste što je veći udio kuhinjskog otpada. Isto tako raste i količina proizvedenog metana. Uz to koncentracije teških metala i drugih štetnih supstanci su vrlo niske, a nakon 3 tjedna sušenja na suncu fekalni koliformi se smanjuju do dozvoljene razine (Minale i Worku, 2014.). Povećanjem udjela otpada hrane u donosu na otpadne vode koncentracije metala kao rezultat korištenja raznih proizvoda (higijenskih potrepština, lijekova, kozmetičkih proizvoda, ulja i drugih tvari) se smanjuju. Uz to, dodavanjem suhog organskog otpada (zeleni otpad) u procesu kompostiranja kakvoća komposta se još više poboljšava. Zato je kompost visoke kakvoće i pouzdan za korištenje. Zbog toga nadležne institucije moraju poticati rudarenje integriranog mulja, a ne ga sprječavati ili ograničavati zbog nedorečenosti propisa koji ne tretiraju ovakve slučajeve.

3. METODOLOGIJA

Za procjenu održivosti rješenja (mokri postupak) koristi se indeks održivosti koji je rezultat odgovarajuće agregacije varijabli i kriterija:

Indeks održivosti ← Kriteriji ← Korištene varijable

Konceptualno, složeni pokazatelji temelje se na indikatorima i varijablama koje ne moraju imati

zajedničke mjerne jedinice. Složeni pokazatelji su matematičke kombinacije niza višedimenzionalnih pokazatelja kojima se rješavaju pitanja složenih fenomena. To je složeni indeks koji je sličan matematičkim modelima. Međutim, njihova konstrukcija je više umijeće izvoditelja nego univerzalno prihvaćeni znanstveni postupak. Izbor indikatora održivosti (IO), ponderiranje indikatora i agregacija/združivanje indikatora u složeni indeks su glavne komponente procedure. Uobičajeni koraci su:

- Izgradnja teorijskog okvira kao osnove za odabir pokazatelja i cjelokupne strukture pokazatelja.
- Odabir pokazatelja s obzirom na njihovu relevantnost za problem koji se rješava.
- Multivarijantna analiza problema koja je nužna da bi se procijenila cjelokupna struktura indikatora, s obzirom na različite pretpostavke u procesu razvoja.
- Prikupljanje te kompletiranje nedostajućih podataka.
- Normalizacija koja uključuje pretvaranje pokazatelja i/ili varijabli u jedan usporedivi oblik, osiguravajući tako mjerljivost podataka.
- Ponderiranje koje podrazumijeva određivanje sustava agregiranja pod-indikatora i/ili varijabli, u skladu s prioritarnim pitanjima.
- Agregiranje koje se odnosi na grupiranje pokazatelja prema temeljnom konceptualnom okviru.
- Analiza otpornosti i osjetljivosti koja se provodi radi procjene otpornosti.
- Prezentacija indikatora i rezultata proračuna.

Teoretski okvir definira fenomen koji se mjeri i njegove podkomponente, odabirući pokazatelje koji odražavaju njihovu relativnu važnost i obuhvaćaju sve dimenzije problema. Postupak se temeljiti na odabiru onog što je poželjno mjeriti/procijeniti. U ovom radu mjeri se održivost integralnog koncepta, odnosno MP-a u Hrvatskoj.

Za procjenu veličine održivosti odabrano je više varijabli. Kvaliteta složenih pokazatelja u velikoj mjeri proizlazi iz valjanosti sustava varijabli. Varijable se biraju na temelju njihove relevantnosti, analitičke prihvatljivosti, pristupačnosti, itd. U radu se koriste uobičajene varijable prilagođene značajkama problema koji se rješava. Indikatori moraju biti međusobno usklađeni u odnosu na svrhu analize. Odabrana je jedna kombinacija uobičajenih koji prezentiraju održivost kanalizacije i upravljanje otpadom hrane. Normalizacija, ponderiranje i agregacija se može provesti na više načina ovisno o značajkama problema (Nardo i sur., 2005.). Predlaže se procesno orijentirani pristup za odabir svojstava prema namjeni, mjerilu i konceptu održivosti. Prvo se određuje individualni indeks svakog kriterija (prosjeck ponderiranja), a potom vrijednost agregiranog indeksa koji se pridružuje indeksu održivosti.

Normalizacija podrazumijeva konverziju kriterija i podkriterija u usporedivu formu koja osigurava usporedivost podataka [0-1], jer skup podataka pokazatelja ima različite mjerne jedinice. Kriteriji se kompariraju sa standardnim veličinama na osnovu njihovih jedinica mjerenja. Najbolje je koristiti propisane ili predložene standardne norme, ako iste postoje.

Ponderiranje podrazumijeva agregiranje kriterija i podkriterija. Koristi se pristup rangiranja u kojem su kriteriji i podkriteriji rangirani unutar svoje kategorije i zatim im je dodijeljena odgovarajuća težinska vrijednost (preferencija) na temelju mišljenja stručnjaka. Veličina preferencije je dodana svakom kriteriju i podkriteriju.

Agregacija se odnosi na grupiranje kriterija i podkriterija, dok je metodologija određivanja složenog indeksa primijenjena kod izračuna ukupnog indeksa održivosti. Normalizirana veličina svakog kriterija x_{ij} je množena s težinskom vrijednošću w_j za agregirane veličine kriterija i podkriterija. Dobiveni rezultat svakog podkriterija je pridodan da se dobije veličina indeksa održivosti.

Rezultati su normalizirani sljedećim formulama:

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{a_{jmax}} \quad (1)$$

$$x_{ij} = \frac{a_{jmin}}{a_{ij}} \quad (2)$$

Gdje je a_{ij} referentna veličina potkriterija, a a_{jmax} i a_{jmin} su rubne referentne veličine. Kada se kriterij maksimalizira koristi se formula (1), a kad se minimizira formula (2). Referentne veličine su uzete kao standardne veličine. Indeks održivosti je proračunat s formulom:

$$Indeks\ održivosti = \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot w_j; j = 1, \dots, n \quad (3)$$

Gdje je n broj kriterija, x_{ij} normalizirani rezultat za kriterij, a w_j težinska vrijednost kriterija.

Rezultat analize dosta ovisi o ulaznim podatcima. U početnim analizama uglavnom se koriste ekspertne procjene i literaturni podatci prilagođeni značajkama problema. Taj pristup je korišten u ovom radu koji prvenstveno ima za cilj da prikaže značajke primjene korištenja IO, a manje da sveobuhvatno riješi konkretan problem. Inače se vrjednovanje rješenja bazira na metodi cjelo-životnog utjecaja; Life Cycle Assessment (LCA) (ISO, 2004.). LCA je kvantifikacija Life Cycle Thinking koji označava koncept čiji je cilj utvrđivanje napretka i istovremeno smanjenje negativnih utjecaja bilo kojeg proizvoda/servisa vezanih uz taj proizvod/servis u svim etapama životnog ciklusa (Karin i sur., 2012.). Naglasak metode je na ekološkim i ekonomskim utjecajima, kriterijima, dok se socijalni, socijalno-kulturni i tehnički utjecaji-kriteriji ne uzimaju u obzir. U tome je također

prednost analize koja se bazira na IO, jer isti uzima u obzir i daje podjednaku važnost svim dimenzijama održivosti.

4. PRIMJER

4.1. Grad Rab

Kao primjer obrađuje se grad Rab u Primorsko-goranskoj županiji. Otok Rab obuhvaća 102,85 km² kopna i 424,52 km² mora, [slika 2](#). Sastoji se od sedam naselja. Po popisu stanovništva 2011. god. je imao 8.065 stanovnika, a gustoća naseljenosti je 78,4 stanovnika/km².



Slika 2: Područje naselja Barbat, Rab i Palit

Otok je poznata turistička destinacija koja ima oko 22.500 kreveta, a najbrojniji je privatni smještaj (74%). U 2105 godini grad Rab je imao 18.067 kreveta, a broj noćenja je bio 1.106.475. Poljoprivreda je druga značajnija privredna grana.

Rab se, prema Köppenovoj klasifikaciji klime, svrstava u umjereno toplu, vlažnu klimu s vrućim i sušnim ljetom (Cfsax). Srednja godišnja temperatura zraka je 15,1°C, najhladniji je siječanj sa srednjom temperaturom 7,4°C, a najtopliji srpanj s 24,3°C. Godišnji prosjek oborina iznosi oko 1100 mm. U širem području Supetarske Drage postoje dva stalna izvora te više bušotina kojima se eksploatiraju podzemne vode (oko 70 l/s). Međutim, prema karti zona sanitarne zaštite izvorišta vode u HR namijenjene ljudskoj potrošnji, područje grada se nalazi izvan zona sanitarne zaštite izvorišta pitke vode. Vodoopskrbni sustav je dio regionalnog sustava Vodovod Hrvatsko primorje (IGH, 2016.) a najveći su problemi veliki gubitci. Priključenost je skoro 100 %.

Sustav odvodnje je razdjelnog tipa, a sastoji se od tri zasebne aglomeracije i uređaja; Rab, Supetarska Draga i Lopar. Pokrivenost je od oko 62 %, a priključenost oko 55 %. Najveći uređaj je u Rabu, I. stupanj, a kapacitet

24.500 ES. U zimskim mjesecima kapacitet UPOV-a je oko 6.200 ES, a 88% opterećenja čine stanovnici. Za vrijeme sezone stanovnici čine 25% opterećenja, a 59% čine otpadne vode turista, te 319 septičkih jama. Zimi je opterećenje 480 m³/dan te 297 kgBPK₅/dan, a ljeti 1.620 m³/dan te 694 kgBPK₅/dan. Pročišćena voda se spušta u more, a mulj se odlaže na deponij. Planiran je II. stupanj pročišćavanja uz eventualno korištenje vode, te sušenje stabiliziranog mulja. Zbrinjavanje sušenog mulja nije definirano.

Upravljanje otpadom je određeno Planom gospodarenja otpadom za razdoblje 2017 – 2022. godine (H-PROJEKT, 2017.). Organiziranim sakupljanjem komunalnog otpada obuhvaćeno je 100% stanovništva te svi gospodarski subjekti. Godišnje količine su oko 10.000 t. Količine po stanovniku od 1.077 kg su znatno više od prosjeka za Hrvatsku, koji iznosi 386 kg/god, što je rezultat količina otpada od strane turista. Pretpostavlja se da je maseni dio organskog kuhinjskog otpada (mokri) oko 30,9 %, a suhog organskog (vrtini) 5,7 %, a drvo 1 %. Ostali suhi biorazgradivi otpad je papir i karton 23,2%, tekstil i odjeća 3,7 %, te koža i kosti 0,5 %. U odnosu na ukupni otpad biorazgradivi čini 65 %, a nerazgradivi 35 % (plastika, metal, gume, staklo i drugo). **Očito je da je organski otpad najvažnija komponenta i problem grada.**

Trenutno se sakuplja odvojeni otpad (24 %), te miješani (76%). Miješani se odlaže na odlagalištu Sorinj 12,5 km sjeverozapadno od centra grada (površina odlagališta je 33.000 m²). Tu se odlažu: muljevi od obrade otpadnih voda 293 t/god, kuhinjski otpad 865 t/god, miješani otpad 6.717 t/god, te muljevi septičkih jama 2.638 t/god. Odvojeni otpad se razvrstava i skladišti u naselju Palit uz prešanje i baliranje. Dugoročnim planom predviđeno je zatvaranje odlagališta, a otpad bi se odvozio na Županijski centar Marišćina kod Rijeke, koji je dosta udaljen. Za razdoblje do 2022. godine predviđene količine kuhinjskog otpada su 1.512,14 t/god, vrtnog 278,94 t/god, te drva 48,94 t/god. To su značajne količine otpada pogodne za proizvodnju kvalitetnog komposta, te proizvodnju bioplina. Ostali dio suhog biorazgradivog otpada (papir, karton, tekstil, odjeća) bi se odvojeno sakupljao radi ponovnog korištenja.

4.2. Integralno rješenje

Polazeći od dugoročnih planova odvodnje otpadnih voda i sustava gospodarenja otpadom razmatra se moguće rješenje sa zajedničkim zbrinjavanjem organskog mokrog i suhog organskog otpada sa sustavom odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda. Cilj je zajednički obraditi i potom reciklirati ukupni organski otpad u ciklus ponovnog korištenja, te oporabiti zelenu energiju, a sve u skladu s politikom kružnog gospodarstva. Koncept je tehnološki jednostavan. Domaćinstva treba opremiti s drobilicom za kuhinjski otpad ugrađenom u sudoper. Na sličan način se opremaju kantine i restorani drugih objekata. Time je u cijelosti riješeno lokalno spremanje,

sakupljanje i transport mokrog organskog otpada. Cijena usitnjivala je oko 2.500 HRK/kom, a potrebna snaga od 375 do 750 W, ovisno o kapacitetu. Promjene, kao i ulaganja u kanalizacijsku mrežu nisu potrebna, jer je dodatno hidrauličko opterećenje sustava malo i ne događa se u istim vremenskim periodima (satima) kada se u domaćinstvu i gradu generiraju najveće količine otpadnih voda.

Na UPOV-u se obrađuje mješavina kuhinjskog otpada hrane i otpadnih voda koja kanalizacijom dotječe na uređaj. Na uređaju II. stupnja pročišćavanja uklanja se biorazgradiva tvar, a nastali višak mulja se odvodi na daljnju obradu. Izdvojeni mulj se razgrađuje i stabilizira u anaerobnom digestoru gdje se kao rezultat obrade dobiva plin metan i stabilizirani mulj. Izdvojeni plin metan se sprema i koristi kao zeleni energent. Stabilizirani mulj poslije dehidracije se odvozi na kompostiranje, radi dorade za korištenje kao poboljšivač tla u poljoprivredi u

skladu s propisima i kakvoćom komposta. Mulj se miješa i sa suhim vrtnim/zelenim otpadom kako bi se poboljšao proces kompostiranja i proizveo kompost visoke kakvoće (Grčić i sur., 2020.). S obzirom na raspoloživi prostor, predlaže se jeftina i jednostavna tehnologija pasivnog kompostiranja. Proizvedeni kompost se ostavlja da odleži najmanje 6 tjedana. Kompost se sprema, koristi lokalno i šire shodno potrebama. Kompost je proizveden iz biorazgradivog otpada iz kuhinja i kantina, zelenog suhog vrtnog otpada, te mulja od obrade komunalnih otpadnih voda na koje nije priključena industrija, tako da je visoke kakvoće. Kapacitet UPOV-a se povećava, a time i troškovi investicije i rada. Kako se ne mora realizirati sustav odvojenog sakupljanja i graditi zasebno postrojenje za obradu kuhinjskog i drugog organskog otpada uštede su značajne, pa se ne može govoriti o ukupno većim investicijama, ili troškovima rada. Uz to, troškovi po jedinici obrade mulja na većim uređajima

Tablica 2: Kriteriji i podkriteriji održivosti sustava i težinske vrijednosti (u zagradama)

Indeks održivosti	Kriterij	Varijable	Veličina	Smjer
	Indeks održivosti	1. Ekonomija (W - 0,18)	1.1 Mogućnost plaćanja usluga (w - 0,19)	3
1.2 Naknada troškova (w - 0,35)			2	maks
1.3 Razina ulaganja u razvoj, izvori financiranja (w - 0,28)			3	maks
1.4 Ulaganje u istraživanje i razvoj (w - 0,18)			2	maks
2. Društvo (W - 0,22)		2.1 Priključenost na vodovod (w - 0,10)	4	maks
		2.2 Priključenost na kanalizaciju (w - 0,10)	3	maks
		2.3 Raspoloživost vode /stan/dan (w - 0,08)	3	maks
		2.4 Pokrivenost sustavom odvoza otpada (w - 0,08)	4	maks
		2.5 Odvojeno sakupljanje otpada hrane (w - 0,12)	3	maks
		2.6 Zdravlje i sigurnost na radu (w - 0,10)	4	maks
		2.7 Sigurnost i životni uvjeti (w - 0,12)	5	maks
		2.8. Zainteresiranost lokalne zajednice (w - 0,08)	5	maks
		2.9 Lokalno zapošljavanje (w - 0,10)	4	maks
		2.10 Opterećenje okoliša onečišćenjem (w - 0,12)	4	min
3. Okoliš (W - 0,24)		3.1 Recikliranje hranjivih tvari i mulja (w - 0,275)	5	max
		3.2 Ugrožavanje vodnih resursa (w - 0,08)	3	min
		3.3 Potrošnja energije (w - 0,125)	3	min
		3.4 Učinkovitost obrade mulja (w - 0,145)	4	maks
		3.5 Ponovno korištenje voda (w - 0,10)	2	maks
		3.6 Ispuštanje CO ₂ /t (w - 0,125)	4	min
		3.7 Vrijeme / prostor nužan za kućni otpad (w - 0,15)	5	min
4. Tehnika (W - 0,20)		4.1 Efikasnost koncepta (w - 0,22)	4	maks
		4.2 Pouzdanost – prekidi rada (w - 0,24)	4	maks
		4.3 Zrelost i lokana prihvatljivost tehnologije (w - 0,20)	5	maks
		4.4 Uključivanje alternativnih tehnologija otpada hrane (w - 0,16)	4	maks
		4.5 Uključivanje održivih sanitarnih tehnologija (w - 0,18)	3	maks
5. Politika i obaveze (W - 0,16)		5.1 Usklađenost s nacionalnim, regionalnim i međunarodnim politikama; Pristup sigurnoj hrani i vodi (w - 0,25)	3	maks
		5.2 Upravljanje i podjela odgovornosti (w - 0,35)	4	maks
	5.3 Usklađenost s politikom cirkularne ekonomije (w - 0,40)	5	maks	

su manji nego kod manjih ili u slučaju dva uređaja manjeg kapaciteta. Miješanjem otpada hrane i otpadnih voda poboljšava se kakvoća komposta i učinkovitost uporabe metana/energije, te smanjuje ukupno ispuštanje stakleničkih plinova.

Anaerobna digestija je metoda u kojoj se kompleksna organska tvar transformira u bioplin ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) i biomasu. Do 75% organske frakcije se transformira u bioplin koji sadrži 50-60% metana. Bioplin obično ima ogrjevnu vrijednost oko 22 MJ/m³ a ogrjevna vrijednost (OV) metana je 36 MJ/m³. Kako je standardna učinkovitost transformacije bioplina u električnu energiju oko 35%, tada proizlazi da 1 m³ bioplina daje 2,14 kWh električne energije. Radi se o zelenoj energiji čije se korištenje potiče. Značajna korist za okoliš i održivost u cjelini je vraćanje nutrijenata u hranidbeni lanac, za što se primjenjuje kompostiranje. To je jednostavan i jeftin proces prihvatljiv za manje i veće količine otpada te individualno korištenje. To su značajne prednosti analiziranog koncepta. Svi potrebni objekti se realiziraju na istim lokacijama na kojima su predviđeni dugoročnim planovima razvoja. Ispunjavaju se postavljeni ciljevi tako da nikakvih planskih izmjena u suštini nema.

4.3. Indeks održivosti

Polazeći od značajki koncepta, prije navedenih podataka i informacija napravljena je analiza održivosti predloženog koncepta. Kriteriji i podkriteriji, te korištene težinske vrijednosti navedene su u [tablici 2](#).

Korištena usklađenost između kvalitativne i numeričke ljestvice je:

Kvalitativno	Jako nisko	Nisko	Srednje	Visoko	Vrlo visoko
Brojčana skala	1	2	3	4	5

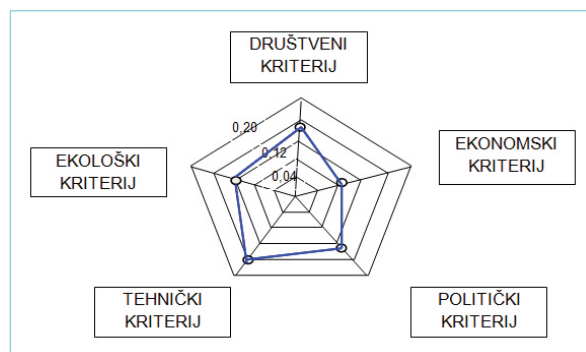
U skladu s metodom složenog indeksa izračunat je indeks održivosti, [tablica 3](#) i [slika 3](#).

Tablica 3: Vrijednost indeksa održivosti i vrijednosti kriterija

Kriterij	Pojedinačni indeksi	Srednja težinska vrijednost	Vrijednost složenog indeksa
Ekonomski	0,494	0,18	0,0889
Društveni	0,714	0,22	0,1570
Ekološki	0,560	0,24	0,1345
Tehnički	0,804	0,20	0,1608
Politička podrška i (EU)	0,830	0,16	0,1328
INDEKS ODRŽIVOSTI			0,6741

Dobivena vrijednost indeksa održivosti je 0,6741 i označava zadovoljavajući napredak prema održivosti (61-80 %). Složeni indeks ima veličine kriterija: ekonomski 0,0889, društveni 0,157, ekološki 0,1345, tehnički 0,1608 i politički 0,1328. To znači da je predloženi koncept vrlo prihvatljiv, zadovoljava ciljeve kružne ekonomije i

planove razvoja grada Raba. Pojedinačni indeksi za grad Rab su: ekonomski 0,494, društveni 0,714, ekološki 0,560, tehnički 0,804, te politički 0,830. Sve su komponente na skali održivosti dosta visoke.



Slika 3: Grafička prezentacija složenog indeksa

Ekonomska komponenta je najniža kao posljedica nedovoljnog ulaganja i visokih troškova održavanja postojećeg komunalnih sustava, tegubitaka vode. Ekološka komponenta se također može poboljšati gradnjom uređaja višeg stupnja pročišćavanja, implementacijom sustava za ponovno korištenje pročišćenih voda za zaštitu od požara, te kao tehnološka voda na kompostani, uređaju ili za navodnjavanje. Politička podrška je vrlo važna, a može se značajno poboljšati jer predloženi koncept nije direktno obuhvaćen propisima (RH, 2014.). Realizacijom projekta aglomeracije Rab stanje će se značajno poboljšati, što će ojačati indeks održivosti.

5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Upravljanje otpadom hrane je važna tema u EU i Hrvatskoj. Razmatraju se različite tehnologije, od kojih je jedna i korištenje kanalizacije za prikupljanje, transport i zbrinjavanje otpada hrane. Primjena mokrog postupka omogućava problem biološki razgradivih komunalnih otpadnih tvari sagledati cjelovito i dugoročno, u skladu s ciljevima održivosti te razvoja zelenih rješenja i ekonomije. Cjelovito višedimenzionalno sagledavanje održivosti u realizaciji nailazi na prepreke uglavnom zbog nedovoljne suradnje koja proizlazi iz različitih nadležnosti, nedovoljno fleksibilne administracije i nadležnih institucija kao i propisa. Njihovoj sinergiji opisani postupak može značajno doprinijeti.

Praktični inženjerski problem u primjeni MP je povećanje broja ES na UPOVU za oko 0,25 – 0,35 ES/stanovniku. Problem mogu biti granična stanja veličine broja ES u kojima MP može uzrokovati povećanje stupanja pročišćavanja. To ima ekonomske i inženjerske posljedice koje je nužno adekvatno analizirati (odvojeno ili skupno rješenje). Međutim, sa stanovišta politike kružnog gospodarstva, zaštite okoliša i održivog razvoja, prioritet je veći stupanj pročišćavanja. Drugi problem je činjenica da Pravilnik o nusproizvodima i ukidanje

statusa otpada ne poznaje MP niti ga obrađuje. Zato se prema Pravilniku nastali kompost svrstava u III. klasu, iako je po sastavu I. klasa, jer je nastao miješanjem mulja s UPOV-a, biorazgradivog otpada iz kuhinja i iz kantina, te zelenog suhog otpada (I. klasa komposta). Kako kompost ne sadrži teške metale ni patogene mikroorganizme, nema razloga da se ne svrsta u više klase komposta i time više doprinose provedbi politike kružnog gospodarstva. U krajnjem slučaju mulj s uređaja MP-a se može koristiti u skladu s Pravilnikom o gospodarenju muljem iz UPOV-a, kada se mulj koristi u poljoprivredi. Nastali miješani mulj (75:25; mulj: otpad hrane) kao i kompost je značajno bolje kakvoće nego mulj UPOV-a, a proizvodnja plina u AD se povećava do 20%. S većim dodavanjem otpada hrane 25:75 proizvodnja raste i do 50%, uz vrijeme zadržavanja oko 20 dana. Isto tako se povećava i efikasnost izdvajanja BPK₅, KPK, te US te šteti energija koja se troši za proizvodnju umjetnih gnojiva (dušik 13,9 kWh/kg, fosfor 4,4 kWh/kg, kalij 2,2 kWh/kg), i time smanjuje ispuštanje CO₂. Tu su i druge uštede energije vezane uz transportne troškove i obradu organskog otpada.

Otoci imaju specifičan okoliš i turističku privredu kojoj je izuzetno važna sigurnost okoliša. Sezonske promjene količina organskog otpada (krutog i tekućeg)

su značajne i otežavaju rješavanje problema. Zato se trebaju primjenjivati pouzdana i otporna rješenja od kojih je integracija s kanalizacijom obećavajuće rješenje (indeks održivosti 0,6741). Opisani koncept bitno pojednostavljuje upravljanje kuhinjskim organskim otpadom, smanjuje rizik i sve negativne utjecaje na urbani okoliš, osigurava dobre sanitarne uvjete u naseljima i stambenim objektima, opskrbljuje otok hranjivim tvarima i energijom, te jača održivost življenja u dobrim i kriznim vremenima. Njegovom realizacijom otok se približava učinkovitom korištenju resursa, zelenom i konkurentnom gospodarstvu s niskim udjelom ugljika. To je fleksibilno i dugoročno održivo rješenje.

Složeni problem gospodarenja otpadom hrane se treba rješavati višekriterijskim metodama odlučivanja. Jedna od njih je i metoda indeksa održivosti koju treba primjenjivati kako bi se provjerila održivost mogućih rješenja i tako opravdala investicija i zahtjev za sufinanciranjem EU. Izgradnja složenih pokazatelja koristan je alat u analizi politike održivog razvoja i u javnoj komunikaciji, posebno u slučajevima kada se uvode u praksu inovativna/netipična rješenja kao što je to MP. Razvojem najnovije Zelene politike EU (Green Deal) takvih rješenja će biti sve više. ■

LITERATURA

- Diggelmann, Carol. (1988.): *Life- Cycle Comparison of Five Engineered Systems for Managing Food Waste*. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Wisconsin, January 1998.
- Donnelly, A.; Jones, M.; O'Mahony T.; & Byrne G. (2007.): Selecting environmental indicator for use in strategic environmental assessment. *Environmental Impact Assessment Review*. Vol 27 pp. 161-175.
- EC – European Commission. (2015. a): Towards a circular economy. New package released on December 2nd, 2015. http://ec.europa.eu/priorities/jobs-growth-investment/circular-economy/index_en.htm, 10. 11. 2019.
- EC – European Commission. (2015. b): Communication COM(2015.) 614/2: Closing the loop in EU action plan for the Circular Economy. Available online at http://ec.europa.eu/priorities/jobs-growth-investment/circular-economy/docs/communication-action-plan-for-circular-economy_en.pdf. 10. 11. 2019.
- EC – Waste Framework Directive (WFD) 2008/98/EC
- Grčić, D.; Bera, L.; Miloloža, M.; Cvetnić, M.; Zokić, T.; Miletić, B.; Leko, T.; Bulatović, V. (2020.): Obrada aktivnog mulja s uređaja za pročišćavanja komunalnih otpadnih voda procesom kompostiranja, *Hrvatske vode*, 28, 111, pp. 1-8.
- H-PRJEKT (2017.): *Planom gospodarenja otpadom Grada Raba za razdoblje 2017–2022*, Zagreb.
- IGH (2016.): *Elaborat zaštite okoliša u postupku ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš za sustav vodoopskrbe i odvodnje otpadnih voda aglomeracija Rab, Zagreb*.
- ISO 14040:2006: International Standard – Environmental management – *Life cycle assessment – Principles and framework*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Karin, A.; Bernstad, E.; Schott, S. (2012.): *Household food waste management, Evaluation of current status and potential improvements using life-cycle assessment methodology*, Disertacija, Lund University.
- Margeta, J. (2017.): *Upravljanje krutim otpadom*, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2003.): *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, McGraw Hill, New York.
- Minale, M.; Worku, T. (2014.): Anaerobic co-digestion of sanitary wastewater and kitchen solid waste for biogas and fertilizer production under ambient temperature: waste generated from condominium house, *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 11:509–516, DOI 10.1007/s13762-013-0255-7
- Nardo, M.; Saisana, M.; Saletelli, A.; Tarantola, S.; Hoffman, H.; & Giovannini, E. (2005.): *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide*, Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Statistics Working Paper.

- Papargyropoulou, E.; Lozan, R.; Steinberg, J.K.; Wright, N. (2014.): The food waste hierarchy as a framework for the management of food surplus and food waste. *Journal of Cleaner Production*, 76, pp.106-115.
- Republika Hrvatska, (2014.): Pravilniku o nusproizvodima i ukidanje statusa otpada, NN117/2014
- Republika Hrvatska, (2017.): Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. do 2022. Narodne novine, 3/17, 2017.
- Rosenwinkel, K.-H.; Wendler, D. (2001.): *Influences of Food Waste Disposers on Sewerage System, Wastewater Treatment and Sludge Digestion*, Institute for Water Quality and Waste Management, University of Hanover (ISAH).
- Thomsen, M.; Romeo, D.; Caro, D.; Seghetta, M.; Cong, R.-G.: *Environmental-economic analysis of integrated organic waste and wastewater management systems: A case study from Aarhus City (Denmark)*, Sustainability, 10 (10) (2018), pp.1-20.
- UNEP, (2009.): *Integrating Assessment: Mainstreaming sustainability in policymaking, A guidance manual*, August 2009.
- Victoria St. Martin (2015.): Literature overview - Impacts of Disposers and Food Waste Management, http://www.insinkerator.jp/information/45/2015-Food_Waste_Disposer_Environmental_Impact.pdf, 15.02. 2020.
- Wang, J.: *Biological sludge minimization and biomaterials/bioenergy recovery technologies: Fundamentals of biological processes for wastewater treatment*, John Wiley I Sons, New Jersey, 2012.

Sustainability index assessment of using sewerage for food waste management

Abstract. Waste food disposal is a problem whose solution should be implemented according to the principles of waste hierarchy and circular economy. This is easily biodegradable waste that has an adverse impact on the environment and is an important biological resource that can be used to stimulate circular economy. Due to easy degradability, the management is challenging and complex. There are more solutions with different impacts on the basic dimensions of sustainability. One solution used globally is letting out kitchen food waste into the sewerage. The objective is to reduce harmful discharges into urban and natural environments and to strengthen the sustainability of food waste management and sewerage systems. The solution has to be sustainable according to local natural and socio-economic characteristics. Sustainability can be assessed in more manners, depending on data availability and problem processing level. The paper presents the sustainability index implementation on the example of Rab Island. The obtained sustainability index confirms that the proposed concept marks a satisfactory progress towards sustainability.

Key words: sustainability index, circular economy, food waste, sewerage, multi-criteria analysis

Berechnung des Nachhaltigkeitsindex für das Management von Speiseabfällen

Zusammenfassung. Die Entsorgung von Speiseabfällen ist ein Problem, das im Einklang mit den Prinzipien der Abfallhierarchie und der Kreislaufwirtschaft gelöst werden soll. Es handelt sich auch um biologisch leicht abbaubare Abfälle, die eine negative Auswirkung auf die Umwelt haben, sind aber eine wichtige biologische Ressource, die die Kreislaufwirtschaft fördern kann. Das Management von Speiseabfällen ist wegen ihrer leichten Abbaubarkeit anspruchsvoll und komplex. Es gibt mehrere Lösungen mit unterschiedlichen Auswirkungen auf die Grunddimensionen der Nachhaltigkeit. Ein in der Welt angewandtes Entsorgungsverfahren ist die Einleitung von Speiseabfällen in die Abwasserleitung. Das Ziel dieses Verfahrens ist, die schädliche Einleitung von Speiseabfällen in die urbane und natürliche Umwelt zu reduzieren sowie die Nachhaltigkeit der Systeme zur Management von Speiseabfällen und des öffentlichen Kanalnetzes zu stärken. Das Entsorgungsverfahren muss gesellschaftlich und wirtschaftlich nachhaltig und im Einklang mit regionalen natürlichen Merkmalen sein. Die Nachhaltigkeit kann auf mehrere Weisen berechnet werden, und zwar abhängig von der Verfügbarkeit von Angaben und der Ebene der Problembearbeitung. Im Beitrag wird die Anwendung des Nachhaltigkeitsindex am Beispiel der Insel Rab dargestellt. Der berechnete Nachhaltigkeitsindex bestätigt, dass das hier vorgeschlagene Konzept ein zufriedenstellender Fortschritt in Richtung Nachhaltigkeit ist.

Schlüsselwörter: Nachhaltigkeitsindex, Kreislaufwirtschaft, Speiseabfälle, Abwasserleitung, multikriterielle Entscheidungsanalyse