Pregledni rad/ Review paper

UDK/UDC: 502:33
338.2:502.131.1

<https://doi.org/10.5937/bizinfo2102107G>

Економски аспект еколошко одрживих процеса и имплементација концепта нulte емисије у хемијској индустрији

Economic aspect of environmentally sustainable processes and implementation of the zero-emission concept in the chemical industry

Slobodan Glišić^{a*}

^a Akademija strukovnih studija Južna Srbija, Leskovac, Srbija

Sažetak: Jedno od ključnih pitanja u polju procesnog sistemskog inženjerstva istaknuto je pitanje održivosti. Pored ekonomske i energetske efikasnosti procesi moraju da budu i ekološki održivi, čime će se postići minimiziranje štetnog uticaja na okolinu. U tu svrhu koriste se različite metode koje se baziraju na korišćenju heuristike procesa, termodinamske analize i matematičkog programiranja. One na sistemski način omogućavaju identifikovanje mesta neefikasnog korišćenja sirovih materijala, vode, i energije kao i minimiziranje ispuštanja otpadnih tokova iz procesa, uz uvažavanje principa ponovnog korišćenja, regeneracije, recirkulacije i sprečavanja nastanka zagađenja na izvoru. Iz svega navedenog se može zaključiti da sistemske metode imaju veliki značaj u razvoju ekološko održivih procesa i implementaciji koncepta nulte emisije u hemijskoj industriji. U radu je na konkretnom primeru dizajniranja i optimizacije integralne mreže vode bazirane na superstrukturi i matematičkom programiranju prikazana mogućnost dobijanja konceptualnog rešenja u kome se postiže potpuna integracija vode u procesu (zero liquid discharge).

Ključne reči: ekonomski aspekt, održivi razvoj, dimenzije održivosti, zaštita životne sredine, nulta emisija.

Abstract: One of the key issues in the field of process systems engineering is the issue of sustainability. In addition to economic and energy efficiency, the processes must also be environmentally sustainable, which will minimize the harmful impact on the environment. For this purpose, various methods are used that are based on the use of process heuristics, thermodynamic analysis and mathematical programming. In a systematic way, they enable the identification of places of inefficient use of raw materials, water and energy, as well as minimizing the discharge of waste streams from the process, while respecting the principles of

*Corresponding author
E-mail address: glisicfl@gmail.com

reuse, regeneration, recirculation and prevention of pollution at source. From all the above, it can be concluded that systemic methods are of great importance in the development of environmentally sustainable processes and the implementation of the concept of zero emissions in the chemical industry. The paper presents the possibility of obtaining a conceptual solution in which the complete integration of water in the process (zero liquid discharge) is achieved on a concrete example of designing and optimizing an integrated water network based on superstructure and mathematical programming.

Keywords: *economic aspect, sustainable development, dimensions of sustainability, environmental protection, zero emissions.*

1. Uvod

Odnos čoveka i prirode je svojevrsna konstanta, odnosno tema koja datira iz najranijih dana ljudske civilizacije i koja se razvijala uporedo sa razvojem društva, nalazeći svoje mesto u delima antičkih i srednjovekovnih mislilaca, da bi u današnjim danima dostigla neslućene razmere i izuzetan značaj. Život na Zemlji se menja iz godine u godinu. Broj njenih stanovnika raste, sve je manje obradive zemlje i šuma, hektari pustinja se umnožavaju, dok se u životnu sredinu ispuštaju otrovne hemikalije i emituju različiti oksidi. Smanjenje poljoprivrednog zemljišta dešava se usled razgradnje, odnosno erozije, salinizacije, alkalizacije i hemijske degradacije. Pored poljoprivrednog zemljišta i šuma degradirani su i vodeni sistemi u morima i kopnenim vodama, u kojima se štetne materije nalaze u nedopuštenim količinama pri čemu imaju štetan uticaj na floru, faunu i samog čoveka. A upravo je čovek sa svojim aktivnostima glavni faktor u menjanju životne sredine i zato je potrebna spremnost svakog pojedinca i svih društvenih grupa i institucija da u planove razvoja uključe radikalne mere očuvanja životne sredine. Te mere podrazumevaju nove tehnologije prilagođene ekološkim zahtevima, ali i drugačije čovekovo poimanje mogućnosti i potreba življenja na Zemlji.

U ovom radu predstavljeni su značaj, uloga i načini održivog razvoja sa aspekta zaštite životne sredine koja danas zauzima glavno mesto u programima politike svih poslovnih organizacija i društvenih subjekata, kao što su: republička administracija, lokalne samouprave, industrija, pa i sami građani.

Date su definicije i značaj održivog razvoja, sa posebnim osvrtom na koncept nulte emisije i politiku održivosti životne sredine. Održivost životne sredine je prikazana kroz proces koji čini sigurnim aktuelne interakcije privrede sa okolinom, a ostvaruje se idejom da se životna sredina zadrži netaknutom. Koncept održivog razvoja se zasniva na definiciji „zadovoljenja potreba sadašnjih generacija bez ugrožavanja mogućnosti da i buduće generacije zadovolje svoje potrebe“. Održivi razvoj se sastoji od tri komponente: društvo, životna sredina, ekonomija (Azapagić et al., 2003). Smatra se da se održivi razvoj može postići kada sve tri komponente istovremeno budu zadovoljene. Dosadašnji linearni model razvoja pokazao se neodrživim. Rezultat ovakvog pristupa je iscrpljivanje resursa i nagomilavanje otpada.

Posebno je istaknuta uloga Privredne komore, koja je prepoznala značaj sektora zaštite životne sredine i osnovala *Odbor za zaštitu životne sredine i održivi razvoj*, kao izraz potreba i zahteva privrede da se na organizovan i efikasan način objedine brojne

segmentirane aktivnosti u ovoj oblasti. U tom smislu, sagledani su trenutno stanje zagađenosti životne sredine i mogući uticaji međunarodnih korporacija. Obzirom na to, svaka kompanija mora kontinualno vršiti procenu svojih stvarnih uticaja na ekologiju (vazduh, voda, zemljište, prirodni resursi, flora, fauna, ljudi) sa ciljem eliminisanja mogućih posledica.

Koncept nulte emisije mase i energije u hemijskoj industriji takodje je opisan u radu. Pored toga, metodologija i implementacija nulte emisije u hemijskoj industriji je predstavljena na primeru potpune integracije vode u procesu. Model Nulte emisije, kao u prirodi, predviđa kružni tok materije i shodno tome smanjuje emisiju materije i energiju u okolinu na minimum, idealno nula. Koncept Nulte emisije izgleda kao pravi odgovor na održivost. Moramo imati u vidu da održive tehnologije koriste manje energije, manje resursa, ne iscrpljuju okolinu, ni posredno ni neposredno ne zagađuju okolinu, i nakon korisnog životnog veka produkti se mogu ponovo upotrebiti ili reciklirati. Važnu ulogu u realizaciji koncepta održivosti imaju obnovljivi izvori energije.

2. Održivi razvoj

Zaštita životne sredine je deo strategije svake industrije, kroz sve češću posvećenost poboljšanju zdravlja i kvaliteta života ljudi, kao etičkim principima. Industrijska zaštita životne sredine već je ostvarila izuzetan progres u mnogim zemljama. U skladu sa tim, od sredine 80-ih godina XX veka, industrija je posvećena odgovornoj brizi, što znači da dobrovoljno nastoji da ostvari poboljšanja u zaštiti i bezbednosti životne sredine. Posvećenost je podignuta na novi i viši nivo uvođenjem pojma "*održivog razvoja*", koji se odnosi na odgovornost čovečanstva za buduće generacije. Održivi razvoj je skladan odnos ekologije i privrede, kako bi se prirodno bogatstvo naše planete sačuvalo i za buduće naraštaje. Može se reći da održivi razvoj predstavlja generalno usmerenje, težnju da se stvori bolji svet, balansirajući socijalne, ekonomske i faktore zaštite životne sredine (Jovanović et al., 2012). Pre nešto više od deset godina, Svetska komisija za životnu sredinu i razvoj (World Commission on Environment and Development), poznata i kao "Bruntlendova komisija" (Brundtland Commission) objavila je izveštaj pod nazivom „Naša zajednička budućnost (Our Common Future) kojim se ukazuje na opasnost, po ljude i našu planetu, od politike ekonomskog rasta bez uzimanja u obzir mogućnosti regeneracije planete Zemlje (Milenović, 2000, Štrbac et al., 2012). Tako, zaštita životne sredine danas ponovo zauzima glavno mesto u programima politike, svih poslovnih organizacija i društvenih grupa. U procesu zaštite i očuvanja životne sredine danas, osim specifičnih sektora životne sredine, podjednak teret i odgovornost nose svi društveni subjekti, kao što su: centralne (republičke) administracije, lokalne samouprave (pokrajina, regioni), industrije pa i sami građani. Sa aspekta uloge lokalnih vlasti u evropskim integracijama u oblasti zaštite životne sredine poseban značaj ima Privredna komora. Kao servis privrede i centar privrednog potencijala, Privredna komora se stara da pružanjem pouzdanih, pravovremenih i stručnih informacija i usluga unapredi poslovanje privrednika i doprinese razvoju biznisa i povećanju konkurentne sposobnosti. Odatle je i očigledna njena uloga u održivom razvoju.

Uloga Privredne komore. Značaj sektora zaštite životne sredine postaje sve veći i vidljiviji, posebno uzimajući strateško opredeljenje Vlade Republike Srbije i države Srbije da se pridruži Evropskom ekonomskom prostoru (EEA) i priključi državama-članicama Evropske unije (EU). Privredna komora Srbije (PKS) je prepoznala značaj sektora zaštite životne sredine za svoje članove i osnovala *Centar za životnu sredinu, tehničke propise, kvalitet i društvenu odgovornost* koji je otpočeo sa radom 2005. god. (Privredna komora Srbije, 2021). Ovaj Centar nastao je kao izraz potreba i zahteva privrede i preduzeća-članica PKS sa namerom da se na organizovan, delotvoran i efikasan način objedine mnogobrojne, do sada, segmentirane aktivnosti koje tretiraju ovu oblast. U skladu sa osnovnom misijom, Centar u svojoj oblasti: zastupa interese privrede pred državnim organima i telima, pomaže u povezivanju sa međunarodnim kompanijama i organizacijama, pokreće i pomaže u realizaciji "ekoloških" projekata i programa, informiše sve zainteresovane subjekte o pitanjima u vezi sa životnom sredinom i održivim razvojem, promovise nova tehničko-tehnološka rešenja, pruža stručnu pomoć preduzećima-članicama itd. Kroz sve svoje aktivnosti Centar promovise osnovne vrednosti: dobro korporativno upravljanje, etičko ponašanje i podizanje svesti o potrebi za očuvanjem prirodnih resursa, zaštitu životne sredine, korporativnu društvenu odgovornost i dostizanje ciljeva održivog razvoja (Cakić, 2013).

2.1. Održivost okoline

Briga o okolini je takođe vrlo važna za održivost. Prirodni okolina je fizički kontekst u kojem živimo. Održivost zahteva da prepoznamo granice naše okoline. Postoje ograničene količine prirodnih resursa na ovu planetu. Neki od tih resursa, kao što su drveće i divlje životinje, su obnovljivi tako dugo dok ih ostavimo dovoljno dugo da se obnove. Ostali resursi, kao što su minerali, obnavljaju se sporo, a svaka upotreba iscrpljuje njihove ukupne zalihe. Moramo smanjiti našu potrošnju svih resursa, obnovljivih i iscrpljivih (neobnovljivih). Drugi ključni spoljašnji problem je smanjenje našeg uticaja na globalni ekosistem. Zemlja je kao organizam i moramo ga zadržati u zdravom stanju. Prirodni ekosistemi mogu preživeti neke uticaje, ali taj uticaj mora biti dovoljno mali, tako da se Zemlja može oporaviti. U nekim slučajevima postoje određeni resursi ili elementi ekosistema koji su neophodni za njegovo zdravlje. Zaštita zdravlja ekosistema može uključivati zaštitu ugroženih vrsta, očuvanje močvara, ili zaštitu biološke raznolikosti u celini. "Neodrživo stanje" se događa kada se prirodna bogatstva (zbir svih prirodnih resursa) koristi brže nego što se mogu obnoviti. Održivost zahteva da se u toku ljudskih aktivnosti prirodni resursi koriste onom brzinom kojom bi se mogli prirodnim putem na novo obnoviti. Koncept održivog razvoja nerazdvojivo je povezan s konceptom kapaciteta nosivosti. Teoretski, dugoročna posledica degradacije okoline umanjuje sposobnost održavanja ljudskog života.

2.2. Ekonomska održivost

Ekonomija je važna u održivosti zbog šireg značenja jer kao društvena nauka objašnjava proizvodnju, distribuciju i potrošnju dobara i usluga. Razmena dobara i usluga ima značajan uticaj na okolinu, budući da okolina služi kao osnovni izvor ulaza sirovina i kao spremište za odbačene robe. Deo održivosti menja način vrednovanja

stvari pri čemu treba uzeti u obzir ekonomske gubitke usled potrošnje ili degradacije prirodnih resursa, kao i brigu za dugoročne uticaje.

2.3. Održivi materijali

Jedan veliki globalni problem je neujednačena razvijenost. Rasprostranjenost siromaštva se može videti iz činjenice da samo 20% svetske populacije koristi skoro 83% od ukupnih svetskih prihoda (Azapagić, 2003). Postoji jaka veza između siromaštva i kvaliteta životne sredine, tako što nebriga o okruženju u zemljama u razvoju nastaje kao rezultat siromaštva ljudi koji se bore za osnovnu egzistenciju. Sa druge strane, zbog siromaštva čak jedna četvrtina svih bolesti koje postoje dolaze iz zemalja u razvoju. Međutim jedan od glavnih razloga ugrožavanja životne sredine je neodrživi razvoj od strane bogatih, koji čine manje od 12% svetske populacije, ali troše između 55% i 65% svetskih resursa (Azapagić, 2003). Zahvaljujući ovim i drugim svetskim problemima u ekologiji, kao što su klimatske promene i narušavanje biodiverziteta, postoje jasni podaci da je životna sredina ozbiljno ugrožena. Ovo se dodatno pogoršava na lokalnom i regionalnom nivou, što se posebno odnosi na zagađenje vazduha i stvaranje čvrstog otpada. Na primer, svake godine se u Evropi generiše oko 2,6 milijardi tona industrijskog, poljoprivrednog otpada i otpada iz domaćinstva (Azapagić, 2003). Da bi se olakšalo kretanje ka održivosti na praktičnom nivou, prvo je neophodno da se razjasne uzroci neodrživosti, a onda da se razmotre održive opcije za otpad i na kraju da se odredi koje od ovih opcija će se realizovati. Pritom se trebaju analizirati problemi koji će doprineti usvajanju rešenja uzimajući u obzir okolinu, razumevanje uticaja jedne faze životnog ciklusa (na primer, proizvodnog procesa) na celokupan životni ciklus, istovremeno ispitujući uticaj ljudskih aktivnosti na životnu sredinu od početka (nabavka sredstava) do kraja aktivnosti (nastanak otpada) (Azapagić, 2003). Teži se ka održivoj obradi materijala, tj. traže se načini obrade ili kombinacije različitih vrsta tretmana, uz mogućnost obnavljanja sirovina, u cilju očuvanja prirodnih resursa, odnosno teži se ka potpunom iskorišćenju ili recikliranju svih otpadnih materijala koji su korišteni tokom proizvodnje (Salah El-Haggar, 2007). U svakoj grani industrije neophodno je primeniti obradu otpadnih materijala, što je u skladu sa propisima za zaštitu životne sredine. Neke industrije to rade u manjem obimu, kako bi se smanjili troškovi, dok nove grane industrije planiraju obradu otpada kao integralni deo ukupnih troškova proizvodnje. Dodatni troškovi koji nastaju na ovaj način, moraju ili da se prenesu na potrošače ili da se oduzimu od profita firme, što zavisi od tržišne konkurencije. Kroz tradicionalnu hijerarhiju upravljanja otpadom, u skladu sa međunarodnim propisima, opasni otpad treba da se obradi pre odlaganja. Obrada podrazumeva pretvaranje štetnog otpada u manje štetni otpad. Drugim rečima, obrada znači pretvaranje jednog oblika otpada u drugi oblik otpada. Direktni troškovi obrade otpada se povećavaju za cenu kapitala i opreme (koja obuhvata održavanje, rad i ulaganje u radnu snagu). Ovi direktni troškovi predstavljaju samo deo ukupnih troškova. Ostali indirektni troškovi se ne mogu lako identifikovati i kvantifikovati. Indirektni troškovi su povezani sa negativnim uticajem otpada na životnu sredinu, zagađenje vazduha, vode i zemljišta. Otpad i emisije iz proizvodnje su prvobitno predstavljali sirovine i treba ih posmatrati kao sporedne proizvode, a ne kao otpad koji treba pripremiti za ponovnu upotrebu putem reciklaže ili ponovne prerade.

2.4. Uticaji i stanje zagađenosti životne sredine

Čovek je, svojim načinom egzistencije u industrijskom društvu, uveliko prekoračio granice samoreprodukcije ekosistema. On uporno zagađuje i razara životnu okolinu i bezdušno iscrpljuje vitalne sirovine i resurse, pa i one neobnovljive. Tako na primer, procena je da se u svetu godišnje preradi oko 25 milijardi tona prirodnih sirovina, a da se u vidu gotovih proizvoda od toga iskoristi oko 11,5 milijardi tona, odnosno da se najveći deo dragocenih sirovina baca u otpad. Takvim odnosom prema prirodi čovek je doveo do propasti mnogih živih vrsta na Zemlji. Zemlju danas nastanjuje oko 1,4 miliona vrsta životinja i oko pola miliona vrsta biljaka, a to predstavlja samo 1% svih biljnih i životinjskih vrsta, koje su do sada egzistirale na našoj planeti. Ostalih 99% vrsta je izumrlo ili naprasno uništeno, zahvaljujući ponajviše samom čoveku. Naravno da time čovek i samog sebe sve više dovodi u pitanje. Sve veća zagađenost i nestašica vode, vazduha, zemlje, šuma, biljnih i životinjskih vrsta, skoro potpuno iscrpljivanje nekih vitalnih sirovina i silno uvećavanje toksičnog otpada, pa i onog nuklearnog, deluje zastrašujuće i razarajuće na same osnove života.

Drastičan izraz ogromnog aerozagađenja su zaprepašćujuće pojave, kao što su (Cakić, 2013):

- ozonske rupe kroz koje prolaze štetni ultraljubičasti zraci, koji, pored ostalog, izazivaju kancerogene bolesti;
- kisele kiše koje imaju povećanu kiselost i vrlo negativan uticaj na šume i živi svet;
- fenomen staklene bašte koja produkuje povećanu temperaturu, sa takođe negativnim posledicama na životnu sredinu.

Računa se da se svake godine na Zemlji uništi oko 18 miliona hektara šume, tako da je u poslednja dva veka smanjeno oko 50% šumskih površina. A šta šuma znači za život pokazuje i podatak da jedna bukva dnevno proizvede kiseonika za potrebe 60 ljudi, ili 1 *ha* šume godišnje proizvede 21 tonu kiseonika. Uz sve to, šuma oblikuje klimu u krugu od 60 km (Cakić, 2013). Zato nije slučajno da se pokušaji pretvaranja amazonskih šuma u oranice pokazuju kao nesaglediv i nesavladiv ekološki problem, jer je u pitanju grubo narušavanje ravnoteže u ekosistemu. Nuklearni i uopšte radioaktivni otpad je ogroman problem, zbog stravičnih posledica koje proizvodi (pre svega kancerogene bolesti).

2.5. Zelena hemija i čiste tehnologije

Zelena hemija i čiste tehnologije su dve subdiscipline pod plaštom održivog razvoja, koje se odnose na hemijsku i procesnu industriju. Zelena hemija (Poliakoff & Anastas, 2001) teži da razvije sigurnije hemijske procese odnosno hemijske procese koji će biti bezopasni po ljude i okolinu koristeći 12 osnovnih principa (Anastas & Warner, 1998):

- prevencija stvaranja otpada,
- dizajniranje sigurnijih proizvoda,
- primena manje opasnih hemijskih sinteza,
- korišćenje obnovljivih sirovina,

- korištenje katalizatora,
- izbegavanje hemijskih međuproizvoda,
- minimiziranje ekonomije atoma,
- korišćenje prihvatljivijih-sigurnijih rastvarača i reakcionih uslova,
- povećanje energijske efikasnosti,
- dizajniranje hemikalija i proizvoda da se razgrađuju nakon upotrebe,
- primeniti „*real – time*“ analizu i kontrolu za prevenciju zagađenja i
- minimizirati potencijal za nesreće.

Zelena hemija treba da sagleda veću sliku održivog razvoja, ekonomske koristi i efikasnost njegove primene, što je suštinski pokretač globalnih koncepta (Bjorn Lomborg, 2001).

3. Nulta emisija materije i energije u hemijskoj industriji

U vreme kada predloženi koncepti za smanjivanje, ponovno korišćenje i recikliranje otpada generalno nisu dali očekivane rezultate za smanjivanje negativnih uticaja na životnu sredinu pojavio se koncept nulte emisije (*zero waste concept*). Termin nulte emisije je privukao posebnu pažnju i postao interesantan za istraživače različitih oblasti u celom svetu. Imajući u vidu da je poslednjih nekoliko godina količina otpada u stalnom porastu, potražnja za energijom sve veća, a raspoloživi prirodni resursi ograničeni, korišćenje otpada je postala jedna od glavnih oblasti od interesa za istraživače. Predloženi koncept podrazumeva optimizaciju integrisanog sistema procesa i zahteva industrije sa redizajniranim procesom proizvodnje uz korišćenje resursa kako sirovina u procesu tako i otpada u cilju održivosti (Tapas, 2005). U integrisanom procesu ne proizvodi se otpad. Istorijski gledano kontrola i redukcija emisija koje se javljaju usljed rada industrije išla je kroz tri faze. Prva faza je obuhvatila tehnologije kontrole zagađenja na kraju proizvodnog procesa koje su bile u mogućnosti da obrade otpade i emisije nakon što su oni stvoreni, npr. korišćenje tehnologija kontrole zagađenja za tretiranje otpada koji nastaje u procesu proizvodnje. Drugi koncept je bio da se ima čistija proizvodnja koja je bila usmerena ka redizajniranju procesa i produkata na takav način da se manje emisija proizvodi na licu mesta. Treća faza nastala je tokom razvoja tehnologija za kontrolu i redukciju emisija. Ona predstavlja nultu emisiju i to je koncept čiji je cilj da maksimizira produktivnost resursa (njihov stepen konverzije) i poveća ekološku efikasnost uz istovremeno eliminisanje otpada i zagađenja koje bi bilo posledica dobijenih produkata (Kuehr, 2007). Kada se upotrebljava koncept čistije proizvodnje neophodna je modifikacija procesnih jedinica (uređaja i aparata) koja mora da dovede do grupisanja i zatvorenog kruga u industriji a što predstavlja osnovni princip (načelo) funkcionisanja nulte emisije. Koncept čistije proizvodnje i koncept nulte emisije će zahtevati industriju sa ponovnim tehničkim prerađivanjem njenih proizvođačkih sistema tako da oni mogu potpuno koristiti sve resurse unutar te industrije kao i celog industrijskog kompleksa (celokupne industrijske mreže preduzeća). Put ka uvođenju čistije proizvodnje može se shvatiti kao prelazna faza ka uvođenju nulte emisije. Koncept nulte emisije ima za cilj da pomeri (udalji) industrijsku proizvodnju od konvencionalnog linearnog modela, u kojem sirovine završavaju kao otpad na kraju procesa. Umesto konvencionalnog linearnog modela koji je do danas najrasprostranjeniji u industrijskim procesima, koncept nulte emisije predviđa da se svi industrijski inputi (sve sirovine koje ulaze u

proces) počnu koristiti u finalnim produktima ili de se konvertuju u inpute (ulaze) za druge industrije i druge procese proizvodnje. Od industrije kao celine se očekuje da ne ispušta i ne odlaže ništa u okolinu, tako da bi trebalo da funkcioniše kao prirodni ekološki sistem (Gravitis, 2007).

Sa druge strane gledišta koncept nulte emisije zahteva adekvatne promene u društvu kao celini. U generalnom je poznato da su proizvodnja i potrošnja tesno povezane aktivnosti i da je njihova povezanost veoma kompleksna. Da bi se izvršila implementacija koncepta nulte emisije zaheva se proučavanje i istraživanje većeg broja sistema unutar kojih se dešavaju industrijske aktivnosti. Ovde se misli na proučavanje zakona, sistemskih uređenja koja se tiču zajednice na višem nivou (nivo opštine, regiona, itd). Postizanje koncepta nulte emisije na nivou zajednice (opštine, regiona i šire) upućuje na neophodnost urbanog i regionalnog planiranja, preciznog definisanja strukture potrošnje, štednje i čuvanja energije, stvaranje industrijskih klastera, ponovno korišćenje i recikliranje produkata i interakciju ovih aktivnosti sa primarnom industrijom (Tapas, 2005). Od 1997. godine krenulo je intenzivnije istraživanje ovog koncepta u svetu. Posebno aktivni u ovom polju bili su Japanci. Na njihovim univerzitetima urađeno je nekoliko projekata gde su se ispitivale oblasti (područja) gde je ekološko restrukturiranje celokupnih zajednica (opština) postignuto kroz promene u stilu života, potrošnji i modelu proizvodnje. Koncept nulte emisije u industrijskom procesu, umrežavanje različitih industrija za unapređenje (poboljšanje) iskorišćenosti resursa i projektovanje na nivou zajednice (npr., opštine) u cilju potpunog kruženja materijala bile su tri komponente gotovo svih istraživačkih projekata (Gravitis et al., 2004).

Mali sistemi - Ovo može da predstavlja jednu fabriku ili malu farmu. Zatvoreni su i materijalni i energetske tokovi. Ovo se pre svega može ostvariti u poljoprivredi i prehrambenoj industriji, gde se otpadni tokovi mogu koristiti i kao energenti.

Veliki sistemi - Vrlo često da bi se materijalni i energetske tokovi zaokružili neophodno je da više industrija formiraju klaster. U kružnom toku, otpadni i sporedni tokovi jedne industrije koriste kao sirovina za druge. Moguće je u ovakvim sistemima zaokružiti i energetske tokove.

Regionalni sistemi - Ceo koncept realizuje se na regionalnom nivou. U cilju realizacije koncepta neophodno je održivo regionalno planiranje kao i uključivanje društva u celini.

3.1. Metodologija uspostavljanja nulte emisije

Metodologija prema kojoj je koncept nulte emisije u industrijskim ekosistemima uspostavljen ima tri osnovne faze. Metodologija počinje sa postavljanjem i analiziranjem materijalnih i energetskih tokova (ulazni i izlazni tokovi iz sistema). Prva faza se delimično završava sa postavljanjem materijalnih i energetskih bilanasa za otpade i analizom postavljenih bilanasa. Druga faza predstavlja analiziranje različitih mogućnosti sprečavanja stvaranja otpada. Treća faza bavi se identifikovanjem, analiziranjem i projektovanjem mogućih opcija obnovljivosti van datog mesta i njihovog ponovnog korišćenja. To takođe iziskuje (zahteva)

identifikovanje zaostalih otpada u trećoj fazi i postupak tretiranja koji sledi je metod usmeren prema nultoj emisiji (Gravitis, 1998).

Analiza materijalnih i energetske tokova je važna iz razloga identifikacije produkata, otpada, prekomernosti (suvišnosti) potrošnje materijala i energije u proizvodnji. Ova analiza se koncentriše da se odredi vrsta kao i količina produkata, otpada, materijala i energije koji u proizvodnom procesu. Ovaj postupak počinje se analizom koja se vrši kroz celi proces da bi se dobio pregled gde se ulazne sirovine obrađuju, a gde se produkti ili otpad stvaraju. U ovoj fazi se takođe postavljaju materijalni i energetski bilansi za ulaz – izlaz procesnog dijagrama toka. Materijalni i energetski bilansi doprinose razumevanju relativne važnosti različitih uzroka stvaranja otpada, potrošnje energije kao i njihovih učestvovanja u ceni proizvodnje odnosno u ukupnim troškovima proizvodnje.

Mogućnosti sprečavanja nastajanja otpada ova faza je bazirana na analiziranju materijalnih i energetske tokova. Na osnovu te analize i podataka do kojih se dođe može se delovati u cilju sprečavanja nastanka otpada i njegovom minimiziranju, ako on ipak nastaje. Minimiziranje otpada ostvaruje se na osnovu informacija o količini, karakteristikama, metodama upravljanja otpada koje se mogu dobiti od osnovnih proizvođača ovog otpada. Zavisno od specifičnosti procesa i društveno ekonomskih uslova nekoliko alternativnih metoda za sprečavanje i minimiziranje nastajanja otpada se koristi. Kombinacijom ovih metoda dolazi se do optimalnog rešenja za sprečavanje nastajanja otpada. Individualna procena i kombinacija ovih mogućih rešenja trebala bi da rezultuje njihovom integracijom u jedan praktičan i izvodljiv model. Koje će rešenje biti prihvatljivo zavisi od ekoloških propisa i uredbi, raspoložive tehnologije, kvaliteta produkta, ekonomske efikasnosti.

Identifikacija, analiziranje i projektovanje rešenja za mogućnost ponovnog korišćenja i obnavljanje van mesta nastanka. U ovoj fazi razmatra se ponovno korišćenje, recikliranje i obnovljivost produkta. Produkti će ponovo biti korišćeni kao ulazi (*inputi*) u druge procese da bi se ostvario krajnji cilj „nulti otpad” (slučaj bez generisanja otpada u procesu). U ovoj fazi će se ostvariti i tretman otpada. Sam proces tretmana u mnogome zavisi od karakteristika i količine otpada, ekoloških standarda, zahteva koji se odnose na redukciju zagađenja, raspoloživih tehnologija. Ostvarivanje postavljenog cilja da nema otpada („bez otpada”) i ekološki i ekonomski efikasnog procesa zahtevaju korišćenje integrisanog industrijskog klastera. U ovim klasterima otpad koji se stvara i nastaje u jednoj industrijskoj grani predstavlja input (ulaznu sirovinu) u drugoj industriji.

Ukoliko je potrebno postaviti osnove koncepta nulte emisije onda se to može definisati i postići na sledeći način (Gravitis, 1998):

- definisanjem pristupa,
- menadžerskim i markentiškim pristupom,
- neutralizacijom sistema sa CO₂ i
- iskorišćenjem otpadne vode i otpada.

3.2. Proces uvođenja nulte emisije u hemijskoj industriji

Opstanak civilizacije se suočava sa glavnim izazovima koji su često protivrečni sa stanovišta ispunjenosti ekoloških zahteva, održanja zdravlja ljudi i ekonomskog razvitka dok u isto vreme treba obezbediti sigurno i nesmetano snabdevanje energijom. Situacija sa fosilnim gorivima može biti kritična u pogledu osiguranja energetske stabilnosti i ekonomskog napretka. Njihovo korišćenje ima primarni uticaj na okolinu, što je posledica emisije gasova koji izazivaju efekat staklene bašte. Koncept koji se bazira na nultoj emisiji može biti upotrebljen u svakoj industriji koja koristi fosilna goriva. Ovaj koncept se, na primer, koristi kada se ugljen dioksid, koji nastaje prilikom procesa pretvaranja energije, koristi za unapređenje obnovljivosti ulja i gasa. Isti se takođe može upotrebljavati za dobijanje snage iz bilo kog fosilnog goriva sa korišćenjem novih ciklusa konverzije (pretvaranja energije) što predstavlja zatvoreni krug za polutante.

Koncept nulte emisije treba radije upotrebljavati u poređenju sa otvorenim ciklusom koji je korišćen u tradicionalnim sistemima sagorevanja. Koncept nulte emisije pokriva sve moguće polutante. Ugljen dioksid se smatra glavnim polutantom, koji izaziva globalno zagrevanje. Ipak u cilju unapređenja strategije za smanjenje zagađenja moraju iznalaziti rešenja kako smanjivati emisije sumpornih oksida, azotnih oksida, drugih gasova koji izazivaju efekat staklene bašte kao i čestica pepela. Tehnologije koje koriste nultu emisiju za fosilna goriva su na različitom stepenu razvoja. To zahteva njihov dalji razvoj, inoviranje integracionog sistema i komercijalnu primenu. Održivost ovih goriva i naponi na ispunjavanju koncepta nulte emisije za fosilna goriva su ciljevi koji se nalaze pred svima nama u narednom periodu.

Na osnovu iskustava koja su dobijena relativno umerenim uvođenjem novih energetske resursa postavlja se pitanje kako će svet biti u mogućnosti da odgovori na zahtev za očekivanim daljim porastom potrošnje energije. U svetlu daljeg porasta svetske populacije i težnje manje razvijenih zemalja da imaju isti životni standard kao razvijene zemlje, svet će se suočiti sa ogromnim energetske potrebama.

Prema procenama Ujedinjenih nacija (UN) svetska populacija će 2050 godine brojati 11 milijardi stanovnika, a na kraju veka taj broj će preći 11 milijardi. Oko 1/3 svetske populacije danas nema pouzdano snabdevanje strujom. Uloga fosilnih goriva i ugljovodonika biće ključna za osiguranje svetske energetske potreba u 21 veku (International Energy Agency, 2000). Ugalj, ulje i gas trenutno obezbeđuju oko 85% svetske energetske potreba. Udeo ugljovodonika u obezbeđenju energije na globalnom nivou je preko 50%. Uprkos masovnoj finansijskoj podršci vlada mnogih zemalja sveta u pravcu istraživanja alternativnih goriva, danas je povećan udeo samo nuklearne energije u odnosu na fosilna goriva. Energija iz obnovljivih izvora (vetar, sunce) predstavlja samo 1% ukupne energije na globalnom nivou, pri čemu se beleži mali ili gotovo nikakav rast njenog učešća u periodu od početka 70 godina prošlog veka. U najvećem broju slučajeva, fosilna goriva su jeftina, široko rasprostranjena, fleksibilnija u poređenju sa drugim izvorima energije. Njihova ekonomska prednost u poređenju sa drugim energetske izvorima nije promenjena poslednjih 50 godina.

Iako procene variraju, smatra se da će ukupna potrošnja energije u svetu rasti za oko 57% u periodu od 1997 - 2020. godine. Fosilna goriva će obezbeđivati oko 90% svetskih potreba za energijom do 2020. godine. U razvijenom svetu će se na energetskom tržištu nastaviti favorizovanje korišćenja fosilnih goriva. Nezavisni analitičari stanja na energetskom tržištu smatraju da će se cene fosilnih goriva zadržati na niskom nivou i u narednom periodu. Zahtevi za energijom će rasti naročito brzo u zemljama u razvoju. Ove zemlje će učestvovati sa 68% u povećanju potražnje za energijom u periodu od 1997 – 2020. godine. One već imaju težište oslonca na fosilna goriva. Zemlje kao što su Kina i Indija čije ekonomije beleže izrazito veliki rast poslednjih godina će u periodu od 1997 – 2020. godine učestvovati u povećanju svetske potražnje za ugljem za oko 70%. Zbog zemalja u razvoju i njihove prevashodne orijentacije na fosilna goriva i u doglednoj budućnosti potražnja za fosilnim gorivima će zadržati svoju leadersku poziciju (International Energy Agency, 2000).

Razvoj tehnologija za korišćenje fosilnih goriva na principu nulte emisije može biti jedna od najvažnijih tehnologija koje se odnose na korišćenje fosilnih goriva u 21 veku. Koncept nulte emisije može biti upotrebljen za svako fosilno gorivo. Dati koncept ima podjednaku primenu u obnovljivosti ulja, kod dobijanja snage kao i kod transporta. Može se primenjivati u razne svrhe. Čiste, napredne tehnologije koje se koriste kod fosilnih goriva da bi imale nultu emisiju zahtevaju fleksibilnost goriva i visoku efikasnost.

4. Primer potpune integracije vode u procesu bez njenog ispuštanja u okolinu

U ovom primeru (Ahmetović & Grossmann, 2011) ilustrirane su različite mogućnosti za smanjenje potrošnje vode i ukupnih troškova mreže vode uz istovremeno zadovoljavanje ograničenja na maksimalni sadržaj kontaminanata u efluentu koji se ispušta u okolinu. Mreža vode se sastoji od tri podsistema: podsistema za predtretman vode, podsistema procesnih operacija u kojima se koristi voda i podsistema tretmana otpadne vode. Dobijanje optimalnog rešenja se bazira na optimizaciji superstrukture integralne mreže vode (Ahmetović & Grossmann, 2011) i primene metoda matematičkog programiranja (Biegler et al., 1997). U ovom primeru su predstavljeni i rezultati kompletne integracije vode u sistemu bez ispuštanja tokova efluenta u okolinu (*zero liquid discharge*) u slučaju kada su sve interkonekcije dozvoljene između prethodno navedenih podsistema u mreži. U tabeli 1 su prikazani podaci za primer koji uključuje dve procesne jedinice (PU_1 , PU_2), dve predtretman jedinice (TU_1 i TU_2), jednu tretman jedinicu (TU_3) i četiri kontaminanta.

Tabela 1. Podaci za procesne jedinice

Procesna jedinica	Protok (t/h)	Količina kontaminanata koja se prenosi na vodu (kg/h)				Maksimalna ulazna koncentracija (ppm)			
		A	B	C	D	A	B	C	D
PU_1	40	1	1.5	1	1	0	0	0	0
PU_2	50	1	1	1	1	50	50	50	50

Izvor: Bagajewicz, M. J., & Faria, D. C. (2009). On the appropriate architecture of the water/wastewater allocation problem in process plants. In *Computer aided chemical engineering* (Vol. 26, pp. 1-20). Elsevier.

Podaci za operativne i investicione troškove predtretman jedinica (TU_1 i TU_2) i tretman jedinica za prečišćavanje otpadne vode (TU_3) dati su u tabeli 2.

Tabela 2. Podaci za predtretman i tretman jedinice

Predtretman/ tretman jedinica	Koeficijent investicionih troškova	Koeficijent operativnih troškova	EkspONENT
TU_1 (Predtretman jedinica)	10,000	0.10	0.7
TU_2 (Predtretman jedinica)	25,000	1.15	0.7
TU_3 (Tretman jedinica)	30,000	1.80	0.7

Izvor: Bagajewicz, M. J., & Faria, D. C. (2009). On the appropriate architecture of the water/wastewater allocation problem in process plants. In *Computer aided chemical engineering* (Vol. 26, pp. 1-20). Elsevier.

U izvoru sveže vode nalaze se četiri kontaminanta (100 ppm A, 100 ppm B, 100 ppm C, i 100 ppm D). Cena sveže vode je uzeta da bude \$0.1/toni. Godišnji faktor investicionih troškova za tretman jedinice je 0.1 i ukupno vreme rada mreže vode u godini 8600 h. Ograničenje na maksimalan sadržaj svih kontaminanata u otpadnom toku koji se ispušta u okolinu (A, B, C, i D) je 10 ppm. Pored toga, maksimalna koncentracija kontaminata u ulaznom toku vode u predtretman jedinice TU_1 je 100 ppm i TU_2 je 10 ppm. Pretpostavljeno je da predtretman jedinica (TU_1) može prečistiti vodu do koncentracije 10 ppm za svaki kontaminant i predtretman jedinica (TU_2) do koncentracije 0 ppm. Procenat uklanjanja kontaminata u tretman jedinici (TU_3) je 95%. Za direktno rešavanje MINLP problema do globalne optimalnosti korišćen je BARON (Sahinidis, 1996).

Na slici 1 prikazan je optimalni dizajn mreže vode kada recirkulacija vode iz podsistema procesnih jedinica u kojima se koristi voda i podsistema tretmana otpadne vode u podsistem predtretmana vode nije dozvoljena. Potrošnja sveže vode je 50 t/h, a ukupni troškovi mreže su \$1,244,299.7 /godini.

Slika 1. Recikliranje vode iz podsistema jedinica u kojima se koristi voda i tretira otpadna voda u podsistem predtretmana vode nije dozvoljen

Izvor: Bagajewicz, M. J., & Faria, D. C. (2009). On the appropriate architecture of the water/wastewater allocation problem in process plants. In *Computer aided chemical engineering* (Vol. 26, pp. 1-20). Elsevier.

U sledećem slučaju (slika 2) pretpostavljena je recirkulacija vode iz podsistema procesnih i tretman jedinica u podsistem za predtretman vode. U tom slučaju potrošnja sveže vode je smanjena na 40 t/h u poređenju sa prethodnim slučajem (50 t/h). Pored toga, ukupni troškovi mreže su manji i iznose \$1,223,838.0/godini. Iz slike 2 može

videti u mreži postoji recirkulacija vode iz procesne jedinice 2 (1.5 t/h) i jedinice za tretman otpadne vode 3 (8.5 t/h) u predtretman jedinicu 2. Pored toga, dva tipa kvaliteta vode su korišćena u mreži (10 ppm u PU_2 and 0 ppm u PU_1).

Slika 2. Recikliranje vode iz podsistema jedinica u kojima se koristi voda i tretira otpadna voda u podsistem predtretmana vode je dozvoljena

Izvor: Bagajewicz, M. J., & Faria, D. C. (2009). On the appropriate architecture of the water/wastewater allocation problem in process plants. In *Computer aided chemical engineering* (Vol. 26, pp. 1-20). Elsevier.

Optimalni dizajn mreže vode sa lokalnom recirkulacijom je predstavljen na slici 3.

Slika 3. Optimalni dizajn mreže vode sa lokalnom recirkulacijom

Izvor: Bagajewicz, M. J., & Faria, D. C. (2009). On the appropriate architecture of the water/wastewater allocation problem in process plants. In *Computer aided chemical engineering* (Vol. 26, pp. 1-20). Elsevier.

Ukupni troškovi mreže su smanjeni (\$1,057,659.3/godini) u odnosu na prethodni slučaj ali je potrošnja sveže vode ostala ista (40 t/h). Usled recirkulacije vode u PU_2 protok toka otpadne vode u tretman jedinici 3 je smanjen sa 42.5 t/h na 32.28 t/h. Važno je istaći da se u mreži može postojati kompletna odnosno potpuna integracija vode, bez ispuštanja toka efluenta u okolinu, ukoliko su dozvoljene sve konekcije između navedenih podsistema u mreži. Navedeni slučaj mreže vode predstavlja specijalan slučaj minimizacije vode kome se teži u procesnoj industriji.

Na slici 4 je predstavljeno takvo optimalno rešenje za razmatrani primer. Ukupni troškovi mreže bez lokalne recirkulacije (slika 4a) su \$1,157,863.5 /godini dok za opciju sa lokalnom recirkulacijom (slika 4b) iznose \$971,320.7 /godini. Navedena razlika u troškovima je nastala kao posledica razlike u protocima vode kroz tretman jedinicu (43.77 t/h nasuprot 32.28 t/h). Važno je istaći da su u ovom primeru pretpostavljene dve predtretman jedinice, a nakon optimizacije odabrana je samo jedna predtretman jedinica (TU_2). Takođe, u oba slučaja optimalnog rešenja dizajna mreže vode, eliminisano je korišćenje sveže vode i ispuštanje toka vode u okolinu čime je postignuta potpuna integracija vode u procesu.

Slika 4. Optimalni dizajn mreže vode bez ispuštanja vode u okolinu a) Bez lokalne recirkulacije i b) Sa lokalnom recirkulacijom

Izvor: Bagajewicz, M. J., & Faria, D. C. (2009). On the appropriate architecture of the water/wastewater allocation problem in process plants. In *Computer aided chemical engineering* (Vol. 26, pp. 1-20). Elsevier.

5. Zaključak

Projekcija budućnosti treba biti bazirana na aktivnostima i projektima koji grade okolinu na principima održivog ekonomskog razvoja ali i ekološke održivosti. Bazira se na planiranju industrijske proizvodnje, arhitekturi naselja i industrije, održivim površinama i održivoj poljoprivredi, a što uključuje sektor energije i vode. Održivi razvoj je proces promena u organizovanju i regulisanju ljudskih nastojanja da mogu zadovoljiti svoje potrebe i težnje sadašnjih generacija, bez zatvaranja mogućnosti za buduće generacije, kako bi i one zadovoljile vlastite potrebe i nastojanja. Budući da je održivost dinamičan koncept, a ne statičko stanje, ona zahteva fleksibilnost u donošenju odluka i spremnost na modifikovanje pristupa u skladu s promenama u okolini, ljudskim potrebama i željama ili tehnološkog napretka.

Održive tehnologije koriste manje energije, ograničavaju korišćenje prirodnih resursa i direktno ili indirektno ne zagađuju životnu sredinu. U tokovima materijala postavlja se zahtev da se oni mogu ponovo upotrebiti i iskoristiti. Ovi zahtevi su bitni i za razvijene zemlje i zemlje u razvoju. Održive tehnologije mogu imati visoku cenu, ali i cenu njihovog održavanja. Zbog toga je održivost tehnologije posebno značajna kao kriterijum u procenama korišćenja pojedinih sirovinskih resursa u planiranju razvoja društva. Akutni problem prisutan u svetu je uticaj zagađenja životne sredine na zdravlje ljudi. Brojne bolesti nastaju kako posledica izloženosti ljudske populacije delovanju toksičnih materija u životnoj okolini. Produkti zagađenja se mogu naći u zemlji, vazduhu i vodi, a u ljudski organizam dospevaju putem hrane i vazduha. Zbog toga održive tehnologije imaju jedan od značajnih uticaja prevencije nastajanja neželjenih oboljenja.

Više projekata koji su rađeni o nultoj emisiji u industrijalizovanim i razvijenim zemljama ilustruje njihove probleme u implementaciji, ali i ukazuje da je to izvodljivo na duži rok. Jednostavno, opšti zaključak je da je to proces koji je moguć, ali za koji treba još dosta truda i posla.

Kod definisanja koncepta nulte emisije treba se držati pravila da to nije zaštićen propis, već da se on upotrebljava u različitim prilikama i za različite ciljeve. Istraživanja, koja su učinjena u prvih dvadeset godina ovih istraživanja, pokazuju izvodljivost i atraktivnost ovog koncepta. Svakako da će dalji podsticaj istraživanju biti neophodan u cilju produbljavanja znanja, veće finansiranje, započinjanje predavanja i edukacija svih relevantnih učesnika o ovom konceptu.

Reference

- Ahmetović, E., & Grossmann, I. E. (2011). Global superstructure optimization for the design of integrated process water networks. *AIChE journal*, 57(2), 434-457. <https://doi.org/10.1002/aic.12276>.
- Anastas, P., & Warner J. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press.
- Azapagic, A. (2003). Systems Approach to Corporate Sustainability: A General Management Framework. *Process Safety and Environmental Protection*, 81(5), 303-316. <https://doi.org/10.1205/095758203770224342>.
- Bagajewicz, M. J., & Faria, D. C. (2009). On the appropriate architecture of the water/wastewater allocation problem in process plants. In *Computer aided chemical engineering* (Vol. 26, pp. 1-20). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1570-7946\(09\)70006-9](https://doi.org/10.1016/S1570-7946(09)70006-9)
- Biegler, L. T., Grossmann, I. E. & Westerberg, A. W. (1997). *Systematic methods of chemical process design*. Prentice-Hall.
- Cakić, M. (2013). *Sustainable technologies in Pharmaceutical and cosmetic industry*. Book 3. University of Niš Faculty of Technology Leskovac.
- Gravitis, J. (1998, October). A biochemical approach to attributing value to biodiversity—the concept of the zero emissions biorefinery. In *Proceedings of the 4th Annual World Congress on Zero Emissions*. Windhoek, Namibia.
- Gravitis, J. (2007). Zero techniques and systems – ZETS strength and weakness. *Journal of Cleaner Production*, 15(13-14), 1190-1197. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.038>.
- Gravitis, J., Zandersons, J., Vedernikov, N., Kruma, I., & Ozols – Kalnins, V. (2004). Clustering of bio - products technologies for zero emissions and eco - efficiency. *Industrial Crops and Products*, 20(2), 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.04.019>.
- International Energy Agency. (2000). *World Energy Outlook 2000*. International Energy Agency.
- Jovanović M., V., Jovanović, S., & Krstić, B., (2012). Analiza ekološke dimenzije održivog razvoja zemalja Jugoistočne Evrope na osnovu EPI metodologije. *Teme*, 36(2), 461-481.
- Kuehr, R. (2007). Towards a sustainable society: United Nations University's Zero Emissions Approach. *Journal of Cleaner Production*, 15(13-14), 1198-1204. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.020>

- Lomborg, B. (2001) *The skeptical environmentalist: measuring the real state of the world*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139626378>
- Milenović, B. S. (2000). *Ekološka ekonomija – teorija i praksa*. Univerzitet u Nišu – Fakultet zaštite na radu, Niš.
- Poliakoff, M., & Anastas, P. (2001). A principled stance. *Nature*, 413(6853), 257-257.
<https://doi.org/10.1038/35095133>
- Privredna komora Srbije. (2021). *Centar za životnu sredinu, tehničke propise, kvalitet i društvenu odgovornost*. <https://pks.rs/strana/sekcija/sluzba-za-zivotnu-sredinu-tehnicke-propise-kvalitet-i-drustvenu-odgovornost>
- Pušić, Lj. (2012). Da li je ideja o održivom razvoju održiva?. *Teme*, 36(2), 425-442.
- Sahinidis, N. V. (1996). BARON: A general purpose global optimization software package. *Journal of global optimization*, 8(2), 201-205.
<https://doi.org/10.1007/BF00138693>
- El Hagggar, S. (2010). *Sustainable industrial design and waste management: cradle-to-cradle for sustainable development*. Academic Press.
- Štrbac, N., Vuković, M., Voza, D., & Sokić, M. (2012). Održivi razvoj i zaštita životne sredine. *Recycling and Sustainable Development*, 5(1), 18-29.
- Tapas, D. K. (2005). Process pollution prevention in pulp and paper industry. In: *Toward Zero Discharge: Innovative Methodology and Technologies for Process Pollution Prevention*. Wiley- InterScience.

Rad je primljen: 10.09.2021; Prihvaćen: 24.10.2021.

Received: 10 September, 2021; Accepted: 24 October, 2021.