**Obrada otpadnih voda mesne industrije biljnim uređajima**

Mandić Vlasta, Habijanec Natalija, Tušek Tatjana, Stojnović Miomir, Alagić Damir, Kalember Đurica

*Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, M. Demerca 1, 48 260 Križevci, Hrvatska (vmandic@vguk.hr)*

**Sažetak**

Otpadne industrijske vode nastaju pri tehnološkim postupcima u proizvodnji, te kao takve ostavljaju posljedice na okoliš. Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda današnji su odgovor znanstvenika kao prihvatljivo rješenje povećanoj brizi za okoliš, stoga i ovo istraživanje obuhvaća najznačajnije parametre koji predstavljaju kvalitetu ispuštene otpadne vode u recipijent, kao što su ukupna suspendirana tvar, BPK5, KPK, ukupni fosfor, ukupna ulja i masti te ukupni dušik. Rezultati praćenja navedenih parametara u ovom istraživanju ukazuju na smanjene vrijednosti ukupnih suspendiranih tvari, BPK5, KPK, ukupnog fosfora, ukupnih ulja i masti te ukupnog dušika primjenom biljnog uređaja u usporedbi s mehaničkom obradom otpadnih voda koja se u Hrvatskoj primjenjuje u najvećem postotku. Osim smanjenja osnovnih parametara koji su indikatori onečišćenja otpadnih voda, biljni uređaji su niskih pogonskih troškova, pouzdani su i učinkoviti, premalo zastupljeni u Hrvatskoj te stoga i predmet od velikog interesa.

**Ključne riječi**:otpadne vode, mesna industrija,biljni uređaj za pročišćavanje.

**Uvod**

Voda je prijeko potrebna za život čovjeka, životinja i biljaka. Svi su biološki procesi izravno ili posredno vezani uz vodu (Asaj, 2003).Jedan je od najčešće korištenih prirodnih resursa, koji upotrebom u kućanstvu, stočarstvu, poljoprivredi i industriji, promijeni prvotna fizikalna i kemijska svojstva s posljedicom nastajanja otpadnih voda. Takve otpadne vode mogu uzrokovati kontaminaciju pitkih voda, eutrofikaciju i štetno utjecati na zdravlje ljudi i životinja.Onečišćenje okoliša nastaje kao rezultat sve većeg tehnološkog razvitka, intenzivnog razvoja poljoprivrede koje uzrokuju onečišćenje površinskih i podzemnih voda (Ružinski, 2010).

Prema podrijetlu, otpadne vode se dijele na sanitarne, industrijske i oborinske vode. Industrijskeotpadne vode visoko su rizične, osobito otpadne vode mesnih industrija, zbog koncentracije organskim tvarima, mikroorganizmima i reziduima.

Izvori onečišćenja otpadnim vodama primorani su potražiti učinkovitije tehnologije obrade otpadnih voda koje će biti u skladu s rastućim brojem zakona o zaštiti okoliša (Vrhovšek, 1996). Prioriteti su pri tome niski pogonski troškovi, pouzdanost i učinkovitost, a kao prihvatljivo rješenje znanstvenici za navedene zahtjeve predstavljaju ekološki sustav - biljni uređaj. U biljnom uređaju otpadna se voda obrađuje kombinacijom fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa koji uključuju taloženje, filtraciju, biodegradaciju, asimilaciju i kemijske reakcije(Matthys, 2003).

Biljnim uređajem smatra se uređaj koji je projektiran i izveden prema načelima močvarnog sustava (biljka, vodeni medij i supstrat) izvan prirodne lokacije, a radi kontroliranoga pročišćavanja otpadne vode koja prolazi kroz sustav. U biljnom uređaju otpadne se vode obrađuju prolaskom vode kroz medij koji se sastoji od biljaka, supstrata i mikroorganizama. Proces uključuje taloženje i filtraciju suspendiranih tvari, bio-degradaciju, usvajanje hranjivih tvarikorijenom biljaka.

Korištenje močvarnih sustava za obradu otpadnih voda upotrebljava se još od drevne kineske i egipatske kulture. Ranih 1950-ih godina započela su istraživanja o mogućnosti rada biljnih uređaja. Njemačka je 2001. godine imala više od 5 000 takvih sustava. Sjeverna Amerika, Danska, Velika Britanija, Češka Republika, Slovenija i mnoge druge zemlje također koriste biljne uređaje, bilo da je to upotreba u pojedinačnim domaćinstvima, za obradu komunalne otpadne vode ili za oborinske otpadne vode (Vymazal, 2005).

Za obradu otpadnih voda mogu se koristiti različite vrste biljnih uređaja, te se oni mogu podijeliti prema načinu nastanka, odnosno prema njihovom smještaju. Prirodni biljni uređaji se koriste za obradu otpadnih voda na mjestima gdje su prirodno nastali (postojeći močvarni sustavi), te umjetno izvedeni biljni uređaji koji su smješteni na lokaciji gdje nisu prirodno nastali.Umjetno izvedeni biljni uređaji mogu se podijeliti na dva osnovna tipa, a to su površinski (engl. Free Water Surface Systems) i potpovršinski biljni uređaji (engl. Subsurface Flow Systems). Površinski biljni uređaji jesu sustavi u kojih je vodeni medij koji prolazi kroz sustav izložen atmosferi, a u njemu su rijetko zasađene različite biljne vrste. Daljnja podjela površinskih biljnih uređaja je na osnovi vrsta biljaka koje su u njima zasađene. Postoje biljni uređaji s biljkama čiji dijelovi izlaze iznad razine površine vode, uređaji u kojima biljni dijelovi plutaju po površini vode i uređaji u kojima su biljke potopljene ispod razine površine vode. Najčešće korišteni biljni uređaji su oni u kojima su biljni dijelovi iznad razine površine vode, dok su uređaji u kojima su biljke potopljene za sada još u eksperimentalnoj fazi izrade (Vymazal, 1999).

Navedeni procesi omogućavaju obradu različitih vrsta otpadnih voda i s različitim mehanizmima, koji su vrlo slični ili jednaki procesima koji se odvijaju i u prirodnim sustavima – močvarama. Sve kompleksnosti sustava u kojima sudjeluju biljke, mikroorganizmi, porozni slojevi tla i tvari u otpadnoj vodi te njihove međusobne interakcije do danas još nisu potpuno razjašnjene (Stottmeister, 2003).

Autori su ovim radom nastojali utvrditi prednosti biljnih pročistača u obradi otpadnih voda mesne industrije u odnosu na klasični način obrade.

**Materijal i metode**

Istraživanje obrade otpadnih voda provedeno je u mesnoj industriji PIK Vrbovec i klaonici Kudelić. PIK Vrbovec primjenjuje mehaničku obradu (prvi stupanj čišćenja), a klaonica Kudelić koristi i biljni uređaj kao nadogradnju mehaničkoj obradi.Mehanička obrada otpadnih voda provodi se pomoću mastolova, pjeskolova i taložnica gdje nastaje mulj/talog. Rešetke su postavljene okomito na smjer toka otpadne vode, koja dalje odlazi do pjeskolova tj. uzdužne komore za taloženje pijeska. Rešetka služi za sakupljanje najvećeg dijela otpada (grubi otpad) te sakuplja veće dijelove masti. Biljni uređaj temelji se na korištenju močvarnih biljaka i mikroorganizama (denitrificirajuće i nitrificirajuće bakterije) kao nadogradnja u pročišćavanju otpadne vode klaonice Kudelić.

Prilikom terenskog uzorkovanja otpadnih voda trenutno se određuju: temperatura zraka, temperatura vode, boja, miris i pH vrijednost, kao dio utvrđivanja fizikalnih parametara. Temperatura vode mjeri se živinim termometrom kao i temperatura zraka, boju se određuje vizualno, miris senzorno i pH vrijednost pH metrom te se sve podatke upisuje u obrazac. Daljnje, kemijsko analiziranje otpadne vode, povjereno je ovlaštenom laboratoriju Veterinarskog instituta Zagreb u Veterinarskom zavodu u Križevcima. Laboratorijskim analiziranjem obuhvaćeni su sljedeći parametri; ukupna suspendirana tvar, biokemijska potrošnja kisika (BPK5), kemijska potrošnja kisika (KPK), ukupni fosfor, ukupna ulja i masti i ukupni dušik(metode su akreditirane prema normi HRN EN ISO/IEC 17025:2007).

Rezultati istraživanja obrađeni su metodama deskriptivne statistike pomoću programa Microsoft Excel 2010 i prikazani su kao: pojedinačne vrijednosti, srednja vrijednost (MEAN), standardna devijacija (STDEV), medijan (MEDIAN), minimalna (MIN) i maksimalna (MAX) vrijednost, te standardna pogreška standardne devijacije (SE).

**Rezultati i rasprava**

Rezultati analiza uzoraka, pH vrijednosti, ukupne suspendirane tvari, BPK5, KPK, ukupni fosfor, ukupna ulja i masti te ukupni dušik prikazani su u tablicama od 1-4. Tablice su posložene u 2 grupe, prema načinu obrade otpadne vode (koji ujedno predstavlja lokaciju na kojoj se provodilo uzorkovanje) i sezonskom karakteru uzorkovanja.

U tablicama 1 i 2 prikazane su dobivene vrijednosti ispitanih parametara uzoraka nakon mehaničke obrade otpadne vode u toplijem (kolovoz) i hladnijem (ožujak) dijelu godine i njihova se vrijednost kreće u okvirima koji su zakonski predviđeni za takve sustave obrade otpadnih voda i njihovo ispuštanje u recipijent. Temperature uzorkovanja za topliji dio godine iznosile su 27° C, a za hladniji dio godine 10° C.Prilikom uzorkovanja dinamika ispuštanja i količina ispuštene otpadne vode nije imala sezonski veće oscilacije.Prosječni dnevni protok iznosio je 634 m3/8h.

**Tablica 1**.Lokacija 1 (N=6), mehanička obrada otpadne vode, topliji diogodine

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | pHvrijednost | ukupna suspendiranatvar mg/L | BPK5mgO2/L | KPKmgO2/L | ukupnifosfor mgP/L | ukupna uljai masti mg/L | Ukupnidušik mgN/L |
| MEAN | 7,80 | 78 | 71 | 116 | 6,12 | 16,90 | 51,10 |
| STDEV | 0,16 | 14 | 29,50 | 71,60 | 1,52 | 15,15 | 20,70 |
| MEDIAN | 7,90 | 79 | 71,50 | 115,50 | 6,25 | 17,30 | 52,20 |
| MIN | 7,60 | 61 | 39 | 15 | 3,95 | 30,31 | 70,56 |
| MAX | 8 | 95 | 114 | 207 | 7,80 | 1,63 | 29,73 |
| SE | 0 | 6,30 | 13,22 | 32,10 | 0,70 | 6,80 | 9,30 |

**Tablica 2.** Lokacija 1 (N=6), mehanička obrada otpadne vode, hladniji dio godine

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | pHvrijednost | ukupna suspendiranatvar mg/L | BPK5mgO2/L | KPKmgO2/L | ukupnifosfor mgP/L | ukupna uljai masti mg/L | Ukupnidušik mg N/L |
| MEAN | 7,85 | 78,83 | 76,66 | 107,50 | 6,43 | 18,45 | 50,95 |
| STDEV | 0,23 | 10,49 | 24,83 | 64,47 | 1,43 | 14,95 | 17,98 |
| MEDIAN | 7,85 | 76,50 | 67,50 | 105 | 7,05 | 17,60 | 50,72 |
| MIN | 7,60 | 65 | 50 | 15 | 4 | 3,50 | 30,50 |
| MAX | 8,20 | 93 | 120 | 190 | 7,90 | 35,40 | 70,56 |
| SE | 0 | 5 | 11,21 | 29 | 0,64 | 6,70 | 8 |

U tablici 3 i 4 prikazane su vrijednosti mjerenih parametara u toplijem i hladnijem dijelu godine s lokacije 2 gdje je korišten biljni uređaj kao nadogradnja mehaničkoj obradi otpadnih voda.Prosječni dnevni protok iznosi 57,6 m3/8 h.

**Tablica 3.** Lokacija 2 (N=6), obrada otpadne vode biljnim uređajem, topliji dio godine

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | pHvrijednost | ukupna suspendiranatvar mg/L | BPK5mgO2/L | KPKmgO2/L | Ukupnifosfor mgP/L | ukupna uljai masti mg/L | Ukupnidušik mgN/L |
| MEAN | 7,15 | 27,50 | 37 | 83,50 | 1,86 | 4,74 | 18,23 |
| STDEV | 0,25 | 4,88 | 6,03 | 20,46 | 0,07 | 0,37 | 2,29 |
| MEDIAN | 7,20 | 26,50 | 35 | 86 | 1,88 | 4,83 | 18,77 |
| MIN | 6,80 | 21 | 31 | 60 | 1,72 | 4,25 | 14,10 |
| MAX | 7,60 | 35 | 45 | 115 | 1,94 | 5,12 | 20,40 |
| SE | 0 | 2,18 | 2,70 | 9,17 | 0 | 0,16 | 1,02 |

**Tablica 4.**Lokacija 2 (N=6), obrada otpadne vode biljnim uređajem, hladniji dio godine

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | pHvrijednost | ukupna suspendiranatvar mg/L | BPK5mgO2/L | KPKmgO2/L | ukupnifosfor mgP/L | ukupna uljai masti mg/L | Ukupnidušik mgN/L |
| MEAN | 7,80 | 44,83 | 32,83 | 86,67 | 5,92 | 12,37 | 54,17 |
| STDEV | 0,22 | 7,41 | 5,03 | 35,93 | 1,27 | 1,91 | 9,11 |
| MEDIAN | 7,75 | 44,50 | 32,50 | 87,50 | 6,38 | 12,63 | 56,23 |
| MIN | 7,60 | 35 | 31 | 56 | 4,32 | 9,03 | 41,20 |
| MAX | 8,20 | 56 | 40 | 130 | 7,12 | 14,56 | 64,78 |
| SE | 0 | 3,32 | 2,25 | 16,11 | 0,56 | 0,85 | 4,08 |

Rezultati ukazuju na određene različitosti dobivenih vrijednosti istraživanih parametara s obzirom na različitost obrade otpadne vode i s obzirom na sezonsko uzorkovanje.

Rezultati za pH vrijednost pokazuju veće oscilacije dobivenih vrijednosti s obzirom na sezonu,pri čemu su u hladnijem dijelu godine te vrijednosti bile veće. Ukupna suspendirana tvar pokazuje niže vrijednosti u toplijem dijelu godine (kolovoz) u odnosu na hladniji dio godine uzorkovanja (ožujak), BPK5  pokazuje niže vrijednosti u odnosu na dobivene rezultate u toplijem dijelu godine, KPK,ukupni fosfor, ukupna ulja i masti, kao i ukupni dušik također niže vrijednosti u toplijem dijelu godine.

Neki autori ukazuju da susmanjenja BPK5 i KPK izraženija u proljeće i ljeto nego u jesen i zimu, a učinkovitost uklanjanja ukupnog dušika i ukupnog fosfora povećavaju se u ljetnim i jesenskim mjesecima u odnosu na proljeće i zimu. Za ukupni dušik se navodi da su te vrijednosti 20 % manje zimi u odnosu na ljeto, a vrijednosti BPK5 10 % manje zimi.

Teorijsko objašnjenje rezultata koji se odnose na različitost dobivenih vrijednosti s obzirom na sezonsko uzorkovanje odnosi se na sami rad biljnog uređaja. Tako se može reći da se ukupna suspendirana tvar slabije taloži u hladnijem dijelu godine, stoga su i dobiveni rezultati viših vrijednosti. Proces razgradnje dušika odvija se stalnom brzinom pri temperaturi od 20° C do 40° C, a pri nižim temperaturama (ispod 10° C) proces je usporen, stoga su i dobiveni rezultati u provedenom istraživanju u skladu s literaturnim podacima, viši u hladnijem dijelu godine. Učinkovitost uklanjanja fosfora često je na početku rada uređaja vrlo visoka, a zatim pada, nakon što se iskoristi adsorpcijski kapacitet supstrata te su stoga i dobiveni rezultati u provedenom istraživanju za topliji dio godine viši.

**Zaključak**

Prateći dobivene vrijednosti istraživanih parametara u hladnijem i toplijem dijelu godine u različitim sustavima obrade otpadnih voda koje se ispuštaju u recipijent, može se zaključiti da su otpadne vode nakon pročišćavanja zadovoljavajuće kvalitete.

Rezultati istraživanja pokazuju da su otpadne vode prilikom ispuštanja u recipijent nakon mehaničke obrade bile u skladu sa zakonskim normama (Zakon o vodama, NN 107/95) glede propisanih graničnih vrijednosti. Biljni uređaj je bio uspješniji u tehnologiji obrade otpadne vode, odnosno dobivene vrijednosti bile su niže od propisanih graničnih vrijednosti.

Osnovni pokazatelji onečišćenja otpadnih voda, kao što su ukupna suspendirana tvar, BPK5 i ukupni dušik pokazuju najveće smanjenje vrijednosti prilikom obrade u biljnom uređaju. Isto tako organske tvari koje opterećuju mesne industrije pokazuju smanjene vrijednosti, što je ujedno i od najvećeg značaja obzirom da su praćeni pokazatelji onečišćenja otpadnih voda mesne industrije.

Razlike u dobivenim rezultatima za biljni uređaj koji se odnose na hladniji i topliji dio godine, bez obzira što su u hladnijem dijelu vrijednosti parametara bile veće, vrijednosti su još uvijek niže u usporedbi s mehaničkom obradom, što ukazuje na njihovu veću učinkovitost u pročišćavanju otpadnih voda.

Usporedbom dobivenih rezultata sa rezultatima iz literature, može se zaključiti da su dobivene vrijednosti u istraživanju nešto više, što se može tumačiti kratkim periodom rada biljnog uređaja, no iz iste literature doznaje se da je biljnom uređaju potrebno nekoliko godina da se uspostavi potpuna ravnoteža, pa će i rezultati zasigurno kroz određeno razdoblje biti podjednaki.

Može se zaključiti da kontinuirana briga za okoliš pretpostavlja poštivanje zakonskih propisa o kontroli i obradi emisija onečišćenja, kao i primjenu rezultata znanstvenih istraživanja, korištenje suvremenih tehnologija te upravljanje i obnavljanje najkorištenijeg prirodnog resursa - voda.

**Literatura**

**-** Asaj, A. (2003): Higijena na farmi i u okolišu. Medicinska naklada Zagreb; str.40-80.

- Henze, P., Jansen J. I. C., Arvin E. (2000): Wastewater Treatment-Biological and Chemical

Processes. Forstner U., Murphy R. J., Rulkens W. H., Editors. Berlin, Heideberg, New York:

Springer Verlag.

- Mantovi, P., Marmiroli M., Maestri E., Tagliavini S, Paccinini .S., Marmioroli N. (2003):

Application of a horizontal subsurface flow constructed wetland on treatment of dairy Parlor

wastewater. Bioresource Technology; 88(2): 85-94.

**-** Matthys, A., Parkin G., Wallace S.A. (2003): Comparison of constructedwetlandsusedusedto treatdomesticwastew: Conventonal, drawdown, and aerated systems. Reactorsdynamicinc.

**-** Ružinski, N., Anić Vučinić Aleksandra (2010): Obrada otpadnih voda biljnim uređajima,

Hrvatska Sveučilišta Naklada, Zagreb.

**-** Stottmeister, U., Weiner A., Kuschk P., Kappelmeyer U., Kastner M., Bedeski O., Muller R.,A., Moormann H. (2003): Effects of plants and microorganisms inconstructedwetlands forwastewatertreatment. Biotechnology Advances; 22 (1-2): 93-117.

**-** Tousignant, E. (1999): Guidance Manual for the desing, construction and operations of

Constructed wetlands for rural applications in Ontario: Stantek.

**-** Vrhovšek, D., Kukanja V., Bulc T. (1996): Constructed wetland (CW) for industrial waste

water treatment. Water Research, 10: 2287-2292.

**-** Vymazal, J. (2005): Constructed wetlands for wastewater treatment. EcologicalEngineering.Engineering; 25(5): 475-477.

**-** Vymazal, J. (1999): Removal of BOD5 in constructed wetlands withhorizontal sub- surface:Flow: Czechexperience. Water Science and Technology; 40 (3): 133-138.

**Abstract**

**Treatment of waste waters from meat processing industry in constructedwetlandpurificationplant**

Industrial waste waters are originated from technological procedures in meat processing industry and as such are damaging the environment. Constructed wetland purification plant is the answer offered by today's scientists as an acceptable solution in light of increased environmental care. This reaserch embodies the most significant parameters representing the quality of effluent waste water in the recipient, such as Total Solids, B.O.D.5 (Biological Oxygen Demand), C.O.D. (Chemical Oxygen Demand), Total Phosphor, Total Oil and Fats and Total Nitrogen. The results of monitoring in this research show decrease for Total Solids, B.O.D.5, C.O.D., Total Phosphor, Total Oil andFatsand for Total Nitrogen accomplished by using the constructed wetland purification plant, compared with the mechanical wastewater treatment which is far the most used in Croatia. Apart from decreasing the basic parametres which are the indicators of pollution in waste waters, constructed wetland purification plants also have low engine costs, are reliable and efficient, are insufficiently represented in Croatia and therefore are the subjectofgreatinterest.

**Key words**: waste waters, meat processing industry, constructed wetland purification plant.