

Metode obrade otpadne vode mesne industrije

Tea Štefanac¹, Dijana Grgas¹, Tibela Landeka Dragičević^{1*}

Sažetak

Količina i sastav otpadnih voda mesne industrije ovise o vrsti mesa koje se obrađuje, načinu čišćenja opreme i veličini postrojenja. Otpadne vode mesne industrije visoko su onečišćene i opterećene proteinima, lipidima, ugljikohidratima i vlaknima. Industrija mesa obuhvaća klaonice, pogone za obradu i pogone za proizvodnju mesnih proizvoda. Istražene su brojne metode obrade otpadnih voda mesne industrije, fizikalni, kemijski i biološki procesi. Cilj obrade otpadne vode mesne industrije je postizanje kakvoće pročišćene vode koja zadovoljava zakonske propise, kvalitetno iskorištenje nusprodukata procesa, a odabrani postupak obrade treba biti ekološki, ekonomski i tehnološki najbolji. Ovaj pregledni rad dat će literaturni pregled metoda obrade otpadnih voda mesne industrije kao i kakvoću otpadnih voda mesne industrije.

Ključne riječi: otpadna voda mesne industrije, procesi obrade, kakvoća otpadne vode mesne industrije

Uvod

Industrija proizvodnje i prerade mesa generira visoko opterećenu otpadnu vodu s biološki teško razgradivim sastojcima, promjenjivog sastava i kvalitete (Bustillo-Lecompte i Mehrvar, 2015.). Američka agencija za zaštitu okoliša (US EPA, *United States Environmental Protection Agency*) definira otpadne vode klaonice industrijskim otpadom i jednom od najštetnijih otpadnih voda za okoliš (US EPA, 2004.). Europska unija (EU) i US EPA definirale su maksimalne vrijednosti onečišćujućih sastojaka u obrađenoj vodi, kako bi smanjili njihov potencijalno negativni utjecaj na okoliš. U Republici Hrvatskoj

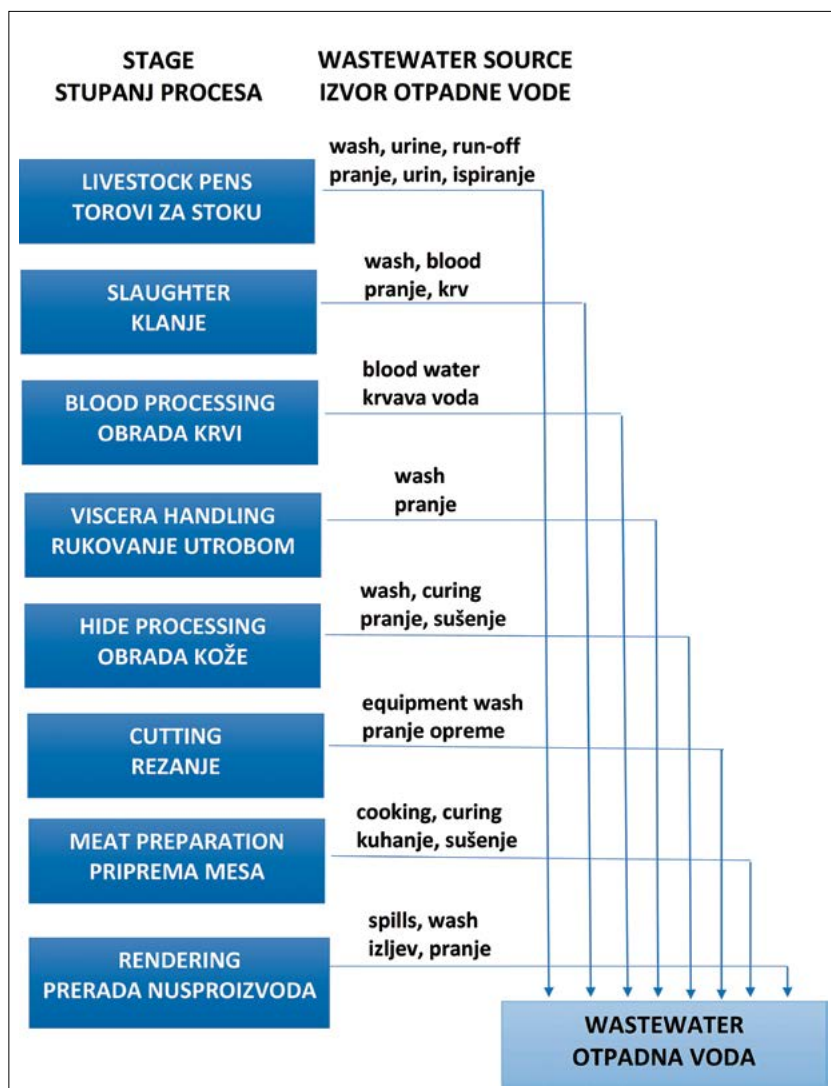
te vrijednosti određene su Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 26/2020). Prilogom 7 tog Pravilnika (NN 26/2020) definirane su „Granične vrijednosti emisija otpadnih voda iz objekata i postrojenja za preradu mesa i konzerviranje mesnih prerađevina“ za ispušt u površinske vode ili sustav javne odvodnje. Stroge kontrole i zakoni utjecali su na razvoj i usavršavanje brojnih metoda obrade otpadnih voda: fizikalne, kemijske i biološke, a postupci pročišćavanja mogu se primjenjivati kao zasebni procesi ili u različitim kombinacijama, s ciljem što bolje učinkovitosti i kvalitetnog

¹ Tea Štefanac, mag. ing., asistent; dr.sc. Dijana Grgas, poslijedoktorand; dr.sc. Tibela Landeka Dragičević, redoviti profesor; Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo, Pierottijeva 6, Zagreb, Hrvatska

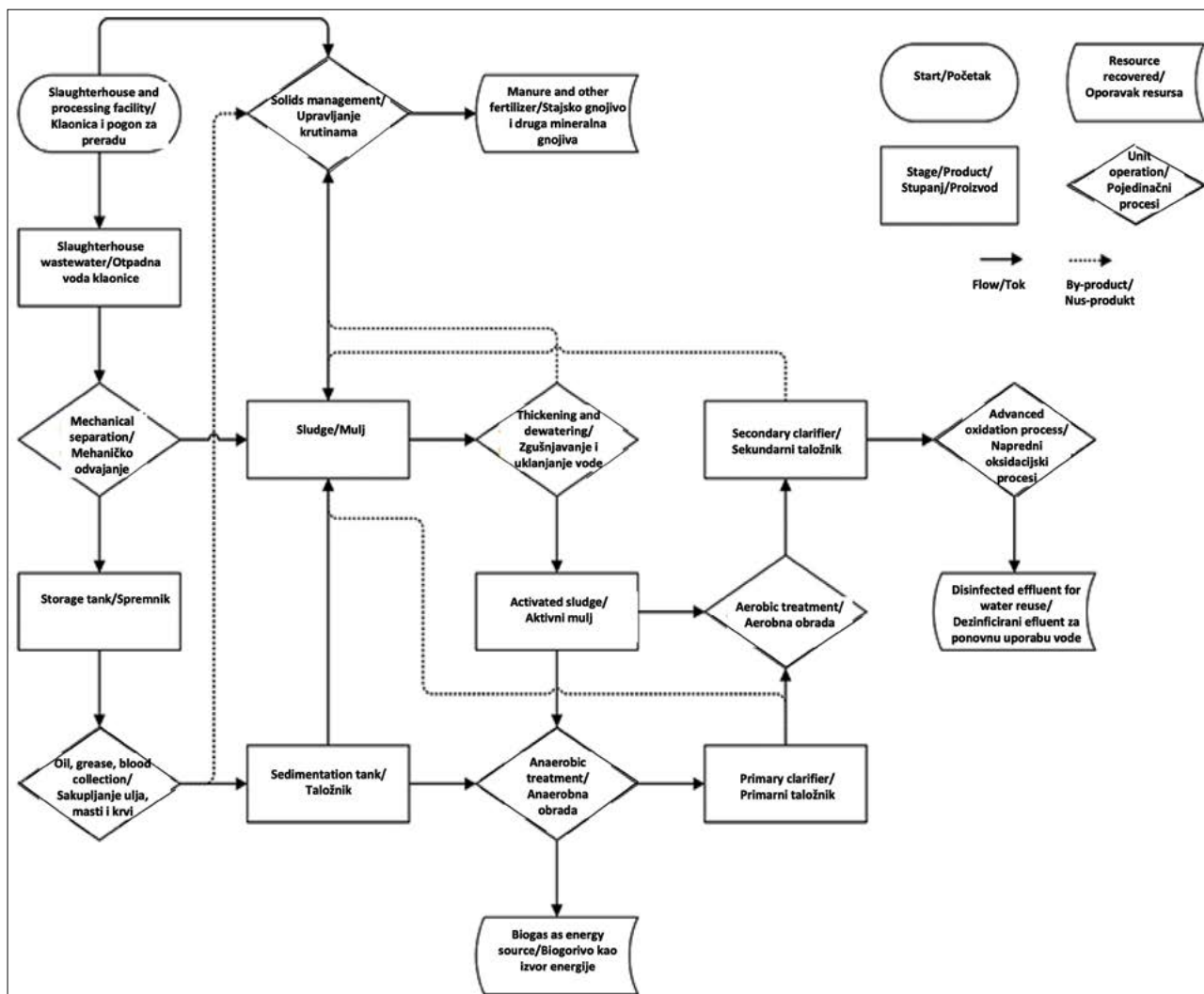
*Autor za korespondenciju: tlandekadragicevic@pbf.hr

iskorištavanja nusprodukata tih procesa. U svijetu se danas proizvodi 325 mil. t mesa, od čega je najveća proizvodnja peradi, oko 130 mil. t, slijedi svinjetina s oko 100 mil. t, govedina i teletina s 70 mil. t, te na kraju ovčetina s oko 15 mil. t (Statista, 2020.a). Stanovnici Sjedinjenih Američkih Država godišnje konzumiraju najveće količine mesa po glavi stanovnika (100 kg), dok su u Europi to Francuzi s 69,6 kg po glavi stanovnika. Prosjek Europske unije je 64,7 kg, a Republika Hrvatska troši prosječno 47,8 kg mesa po glavi stanovnika. Republika Hrvatska 2012. godine ima 184 tvrtke u području mesne industrije koje su ostvarile 22 % ukupnih prihoda prehrambene industrije (Hadelan i sur., 2015.), a najuspješnije među njima su PIK Vrbovec, MI braća Pivac te Perutnina Ptuj. Iako mesna industrija značajno doprinosi rastu ekonomije, a vrijednost globalnog mesnog sektora 2018. godine iznosi 945 mlrd. \$ (Statista,

2020.b) dok se za 2023. predviđa rast na 1 143 mlrd. \$, njeni štetni učinci na okoliš ne mogu se zanemariti. Najveći negativni učinak ostvaruje se na području onečišćenja voda, odnosno stvaranja velike količine otpadnih voda tijekom procesa prerade mesa. Shematski prikaz mjesta nastanka otpadne vode u mesnoj industriji dan je na slici 1 (FRC, 2015.), a predloženi tijek predobrade, obrade i dezinfekcije otpada klaonice dan je slikom 2 (Bustillo-Lecompte i Mehrvar, 2017.a). Količina otpadne vode razlikuje se od klaonice do klaonice i najviše ovisi o vrsti i veličini životinja koje se kolju i prerađuju, stupnju prerade, količini procesne vode i postupcima čišćenja i održavanja postrojenja, međutim njeno opterećenje organskim sastojcima uvijek je visoko i predstavlja izazov za pročišćavanje, pogotovo jer često sadrži krv, mast, perje i kosti (Massé i Masse, 2000.; Gerbens-Leenes i sur., 2013.). Za preradu govedine



Slika 1. Mjesta nastanka otpadne vode u mesnoj industriji (preuzeto i prilagođeno iz FRC, 2015.)
Figure 1 Wastewater origin in the meat industry (taken and adapted from FRC, 2015)



Slika 2. Predloženi tijek predobrade, obrade i dezinfekcije otpada klaonice (preuzeto i prilagođeno iz Bustillo-Lecompte i Mehrvar, 2017.a)

Figure 2 Proposed layout of the pretreatment, treatment, and disinfection of slaughterhouse waste for a typical meat processing plant (taken and adapted from Bustillo-Lecompte i Mehrvar, 2017a)

potrošnja vode iznosi od 680 do 2 050 L po obrađenoj životinji, dok je za perad tipa purice potrošnja između 50 i 105 L po obrađenoj životinji (Food Northwest, 2020.). Budući da je Europska industrija hrane i pića, u koju se svrstava i industrija prerađivanja mesa, odgovorna za 1,8 % ukupne potrošnje vode u Europi, a glavni otpad predstavlja otpadna voda, cilj svakog postrojenja je smanjenje količine otpadne vode, kako s ekološkog tako i s ekonomskog stajališta.

Cilj ovoga rada je dati pregled metoda obrade otpadne vode mesne industrije i istaknuti karakteristike i kakvoću otpadne vode industrije prerađivanja mesa.

Karakteristike otpadne vode mesne industrije

Otpadne vode mesne industrije karakterizira visoko organsko onečišćenje (visoke BPK vrijednosti), sadrže masti i ulja, dušik je prisutan u obliku organskog dušika, amonijevih soli i otopljenog plina, prisutne su aerobne i anaerobne bakterije, patogene i nepatogene, te su više temperature u odnosu na prirodne recipijente (Irshad i sur., 2016.). Otpadne vode mesne industrije razlikuju se po sastavu ovisno o vrsti mesa koje se prerađuje, veličini pogona za preradu, načinu prerade, te učestalosti i načinu pranja pogona i opreme (Tabli-

Tablica 1. Karakteristike otpadne vode mesne industrije
Table 1 Characteristics of meat industry wastewater

Otpadna voda Wastewater	KPK COD (mg/L)	BPK BOD (mg/L)	TN (mg/L)	TSS (mg/L)	Masti ulja Oils and fats (mg/L)	pH	TP (mg/L)	Literatura References
Klaonica peradi Poultry slaughterhouse	1820	900	190	430	170	/		Del Pozo i Diez, 2005.
	2903	1667	211	794	406	6,88	17	Basitere i sur., 2016.
	1301	875	/	589	2989	6,6	/	Aziz i sur., 2018.
Klaonica svinjetine Pork slaughterhouse	1551	/	189	521	/	7,6	28,6	Fongsatitkul i sur., 2011.
	2333	450	90	877	/	4,9	28	Massé i Masse, 2000.
	4830	3018	/	385	100	/	18,4	Joao i sur., 2020.
Obrada mesa Meat processing	15812	13659	1022		/	6,57	61	Mutua i Mwaniki Njagi, 2016.
	5000	3000	/	3000	/	6,5	50	Bustillo-Lecompte i Mehvar, 2017.a
	1084	688	/	52	/	6,9	12	Bustillo-Lecompte i Mehvar, 2017.b
Klaonice Slaughterhouse	6210	/	/	870	/	7,29	/	Merzouki i sur., 2005.
	6363	5143	/	4144	197	7,2	45,7	López-López i sur., 2010.
	2500	1400	/	530	/	6,8	/	Núñez i Martínez, 2001.
	4250	2700	/	955	474	/	/	Aziz, 2018.
Klaonice goveda Cattle slaughterhouse	32000	17158	915	22300	/	6,9	/	Musa i sur., 2019.
	5817	2543	137	/	34	7,31	/	Bazrafshan i sur., 2012.
	7693	/	155	/	/	7	23	Maroneze i sur., 2014.

ca 1). Vrijednosti parametara razlikuju se među klaonicama čak i kada se obrađuje isti tip životinja. Obrada otpadnih voda mesne industrije nije jednostavna zbog prisutnih masti, proteina, vlakana, krvi, crijevne sluzi iz procesa klanja, mikroorganizama (patogenih i ne patogenih), detergenata i dezinficijensa iz procesa pranja, te nerijetko teških metala i antibiotika (Bazrafshan i sur., 2012.; Carvalho i sur., 2013.).

Metode obrade otpadnih voda mesne industrije

Cilj primjene odabrane metode je pročišćena voda zadovoljavajuće kvalitete, te iskoristiti nusprodukata dobivenih tijekom procesa obrade. Izazov je odabrati najpovoljniju i najpogodniju metodu obrade, jer svaka metoda ima pozitivne i negativne karakteristike, prednosti i nedostatke primjene. To ovisi o sastavu i količini otpadne vode, varijacijama u opterećenosti otpadnih voda, opremljenosti pogona i financijskim aspektima. Najbolje rezultate daju kombinirani procesi prilagođeni konkretnom pogonu, odnosno otpadnoj vodi.

Prethodna obrada

Prethodna obrada uključuje uklanjanje krupnih tvari i krutih čestica iz otpadne vode nastalih tijekom procesa obrade mesa (Irshad i sur., 2016.). Koriste se rešetke i sita različitih veličina otvora. Poželjno je da se rešetke lako čiste i da su prikladne za različite brzine protoka otpadne vode. Tvari zadržane na sitima uklanjanju se manualno ili automatski kako bi se spriječilo začepljenje, te se odlažu u spremnike i dalje tretiraju kao čvrsti otpad. Budući da sastav otpadne vode nije konstantan te ovisi o stupnju procesa koji se provodi, životinjama koje se kolju i obrađuju te postupcima pranja opreme dobro je uključiti korak izjednačavanja sastava otpadnih voda kako bi proces obrade bio jednostavniji. Postupcima prethodne obrade može se ukloniti do 30 % BPK iz otpadne vode (Mittal, 2006.). Nakon prethodne obrade otpadna voda i dalje sadrži sitne suspendirane čestice, masti i ulja.

Primarna obrada

Odstranjivanje čestica preostalih nakon prethodne obrade provodi se taloženjem (neometano, slojevito ili taloženje uz dodatak sredstava za

koagulaciju) ili isplivavanjem (prirodnim ili potaknutim). Neke od najčešćih metoda primarne obrade otpadne vode mesne industrije objašnjene su u nastavku.

1. Flotacija otopljenim zrakom (DAF, engl. Dissolved Air Flotation)

Uspješna metoda uklanjanja suspendiranih čestica i masti iz otpadne vode pomoću mjehurića zraka koji se uvode s dna spremnika i vežu za čestice te ih podižu na površinu vode odakle se uklanjaju i odvoje. Metoda se može ubrzati i pospješiti dodatkom kemijskih sredstava poput željezovog klorida, željezovog sulfata, aluminijevog sulfata, natrijeva karbonata, kalcijeva karbonata i drugo. Uspješnost uklanjanja KPK i BPK varira između 30-90 % za KPK i 70-80 % za BPK (De Nardi i sur., 2011.).

2. Koagulacija i flokulacija

Dodatkom koagulanata i flokulanata poput aluminijevog sulfata ili željezovog klorida pospješuje se metoda flokulacije, uz potrebu kontrole pH vrijednosti otpadne vode. Primjenom vapna i aluminijevog sulfata kao koagulacijskog sredstva uklanja se do 85 % KPK iz otpadne vode klaonice uz malu produkciju mulja, te 85 %, 98 % i 77 % BPK, ukupnih suspendiranih čestica (TSS, engl. *Total Suspended Solids*) i ukupne otopljene tvari (TDS, engl. *Total Dissolved Solids*) (Tariq i sur., 2012.). Pri kombinaciji vapna i aluminijevog sulfata u omjeru 400:50 mL/L uklanjanje KPK iznosi 42,6 % (Satyanarayan i sur., 2005.).

3. Elektrokoagulacija (EC, engl. Electrocoagulation)

Elektrokoagulacija je ekološki prihvatljiva tehnologija uklanjanja onečišćenja poput teških metala, emulgiranog ulja ili patogenih mikroorganizama iz otpadne vode koji se ne mogu ukloniti filtracijom ili kemijskim tretmanima (Bayar i sur., 2011.; Qin i sur., 2013.). Ne zahtijeva upotrebu kemikalija ili čišćenje filtera što olakšava primjenu, smanjena je produkcija mulja i operativni troškovi su niži nego kod konvencionalnih metoda. Željezo i aluminij su najčešći materijali elektrode u procesu EC (Ozyonar i Karagozoglu, 2014.). Princip rada uključuje oslobađanje kationa potrebnih za koagulaciju i flokulaciju onečistila iz vode pod utjecajem električnog polja iz anoda. Na katodi dolazi do nastajanja H^+ i OH^- iona redukcijom vode. OH^- ioni

reagiraju s kationima tvoreći stabilne hidrokside (Ni'am i sur., 2008.).

Elektrokoagulacija se koristi za smanjenje koncentracije fosfata u otpadnim vodama. Najbolji rezultat elektrokoagulacijskog uređaja sa željeznim elektrodama postignut je nakon 120 minuta rada reaktora s protokom od 0,05 L/s i strujom jakosti 5 A uz dodatak 2 g/L NaCl kao elektrolita. Koncentracija fosfata iznosila je 10 mg/L (od početnih 50 mg/L), a nakon 24 sata taloženja 2 mg/L. NaCl u koncentraciji 2 g/L ne utječe na učinkovitost uklanjanja fosfata, ali smanjuje potrošnju električne energije (Posavčić i sur., 2018.). Pročišćavanje otpadne vode klaonice pomoću EC korištenjem željezove elektrode, ovisno o broju elektroda, vremenu rada i jakosti struje pokazalo je da povećanjem broja elektroda i produljenjem vremena rada raste i uspješnost pročišćavanja (Ahmadian i sur., 2012.). U pokusima s četiri, šest i osam elektroda, pri 10 A/m², tijekom kontaktnog vremena 10 min, 20 min, 30 min, 40 min i 50 min istražili su učinak broja elektroda i kontaktnog vremena, dok su učinak jakosti struje od 5 A/m², 10 A/m², 15 A/m², 20 A/m² i 25 A/m², tijekom 50 min istražili sa osam elektroda. Najbolji rezultati postignuti su nakon 50 minuta rada pri 25 A/m² i to uklanjanje 97 % BPK, 93 % KPK, 81 % TSS i 84 % TN (Ahmadian i sur., 2012.).

Sekundarna obrada

1. Fitoremedijacija

Fitoremedijacija je naziv za skup postupaka koji upotrebljavaju biljke, njihove enzime i prisutne mikroorganizme iz zone korijena za izolaciju, transport, detoksikaciju i mineralizaciju ksenobiotika, čime se smanjuje njihova koncentracija, pokretljivost ili toksični učinci (Milčić i sur., 2011.). Biljni uređaji naziv su za sve uređaje za pročišćavanje otpadnih voda kod kojih se koriste biljke (Geller i Honer, 2003.). Dije se prema vrsti biljaka, režimu tečenja, tipu konfiguracije, vrsti i razini obrade otpadne vode i njenom načinu distribucije, te vrsti supstrata (UN-HABITAT, 2008.). U Hrvatskoj se najčešće primjenjuju biljni uređaji s potpovršinskim tokom, s pijeskom ili šljunkom kao filterskim materijalom i močvarnim biljkama poput trske, rogoza ili oblića (Stanković, 2017.). Takvim načinom rada postiže se uklanjanje KPK i BPK, suspendiranih tvari, dušika i fosfora, patogenih mikroorganizama i teških metala. Obradom otpadne vode klaonice na biljnom uređaju s primarnim taložnikom i anaerobnom lagunom postiže se uklanjanje BPK, KPK i TSS

za 97 %, 89 % i 85 % i uklonjeni su patogeni mikroorganizmi. Tako pročišćena voda nije bila zadovoljavajuće kvalitete za ispušt u okoliš (Gutierrez-Sarabia i sur., 2004.).

2. Membranski procesi

Otpadna voda djelovanjem tlaka prolazi kroz poroznu membranu i razdvaja se u permeat i koncentrat. Prednosti procesa su nekorisćenje kemikalija, mali zahtjevi za površinom uređaja i visoka učinkovitost pročišćavanja. Negativna strana očituje se u problemu čepjenja površina membrana (He i sur., 2005.). Tipovi membranskih procesa dijele se u ovisnosti o veličini pora membrane: reverzna osmoza (RO), pore veličine 0,1-1 nm, nanofiltracija (NF), pore veličine 1-5 nm, ultrafiltracija (UF), pore veličine 5-20 nm i mikrofiltracija (MF), pore veličine 100-1 000 nm, a primadnani su za smanjenje vrijednosti KPK, BPK, TN i TOC (engl. *Total Organic Carbon*) iz otpadnih voda (Yordanov, 2010.; Almandoz i sur., 2015.). Korišćenje reverzne osmoze nakon postupka obrade otpadne vode mesne industrije s aktivnim muljem rezultira smanjenjem koncentracije KPK, BPK, TP i TN za 85,8 %, 50,0 %, 97,5 % i 90,0 % (Bohdziewicz i Sroka, 2005.).

3. Napredni oksidacijski procesi

Napredni oksidacijski procesi su procesi obrade otpadne vode u kojima se uz utrošak energije generiraju radikali (npr. hidroksilni radikal) koji neselektivno reagiraju s organskim spojevima i mineraliziraju ih (pretvaraju u vodu i CO₂). Dije se na: Fentonov proces, oksidacija ozonom (O₃), oksidacija vodikovim peroksidom (H₂O₂), UV fotoliza i drugi (Serdarević, 2018.). Njihova učinkovitost čini ih zanimljivom alternativom ili dodatkom klasičnim procesima obrade otpadnih voda (Tabrizi i Mehvar, 2004.). UV/H₂O₂ proces jedan je od najčešće korištenih naprednih oksidacijskih procesa u obradi otpadnih voda. Oksidacija i razgradnja onečistila temelji se na stvaranju hidroksilnog radikala ·OH iz reakcije H₂O₂ s UV. UV/H₂O₂ proces uzrokuje 5,2 puta bržu razgradnju organskih spojeva (aromatskih spojeva) u odnosu na samostalnu UV obradu. Maksimalno uklanjanje KPK od 95 % postignuto je nakon 5 sati naprednih oksidacijskih procesa (Luiz i sur., 2009.). Ozonizacija otpadne vode prerade mesa s 23,09 mg ozona/minL otpadne vode kroz 8 minuta inaktivira 99 % aerobnih bakterija i ukloni 10,7 % KPK i 23,6 % BPK (Wu i Doan, 2005.). Unatoč

dobrim rezultatima korišćenje procesa kao samostalnog procesa nije dovoljno učinkovito, a i financijski troškovi su preveliki pa se pristupa kombinaciji naprednih oksidacijskih procesa i biološke obrade otpadne vode.

4. Aerobna i anaerobna biološka obrada

Biološkom obradom otpadnih voda pomoću mikroorganizama dolazi do uklanjanja organskih i anorganskih sastojaka i preostalih suspendiranih čestica. Aerobni postupci temelje se na sposobnosti aerobnih organizama aktivnog mulja da koriste otopljene organske sastojke uz kisik unesen prozračivanjem zrakom. Anaerobna razgradnja organskih sastojaka otpadne vode pomoću mikroorganizama, bez prisustva kisika, rezultira produkcijom bioplina i biomase anaerobnog mulja (Mao i sur., 2015.). Anaerobni procesi pokazuju prednosti u odnosu nad aerobnim procesima poput male količine biomase anaerobnih mikroorganizama (5-20 %), male potrebe na hranjivim sastojcima, male potrošnje energije i proizvodnja bioplina (Chan i sur., 2009.). Ipak, anaerobni procesi teško zadovoljavaju postizanje dopuštenih vrijednosti onečišćenja za ispuštanje u prijemnike, te je potrebna daljnja obrada za uklanjanje preostalih organskih sastojaka, dušika i fosfora (Gomec, 2010.).

4.1. Proces s aktivnim muljem

Proces s aktivnim muljem jedan je od najčešće korištenih načina obrade otpadnih voda u svijetu zbog niskih troškova i jednostavne izvedbe (Zhao i sur., 2018.). Princip rada uključuje aeracijski spremnik (reaktor) u kojem se zbiva mikrobnna razgradnja organskih sastojaka i taložnik u kojem se odjeljuje obrađena voda od istaloženog aktivnog mulja. Dio mulja se reciklira u bioreaktor a višak se odvodi na daljnju obradu. Kod otpadnih voda mesne industrije masti otežavaju taloženje flokula aktivnog mulja, povećavaju potrebu na otopljenom kisiku, te produžuju potrebno hidrauličko vrijeme zadržavanja (HRT, engl. *Hydraulic Retention Time*) za uspješan proces (Musa i sur., 2019.).

Bolje taloženje postiže se uvođenjem anaerobnog selektora, povećanjem kapaciteta aeracijskog bazena i koncentracijom otopljenog kisika od 2 mg/L ili 4 mg/L (Al-Mutairi, 2009.). Uz protok otpadne vode od 1,38 L/s i HRT od 2 d ukloni se 89,73 % BPK, 89,03 % KPK i 94,09 % suspendiranih čestica (Pabon i Gelvez, 2009.).

4.2. Rotirajući biodisk

Rotirajući biodisk konstruiran je od jednog

ili više valjaka koji su s 40 % svog promjera uronjeni u spremnik s otpadnom vodom i smješteni na okretnoj osovinu čime se omogućava naizmjeničan pristup biofilma mikroorganizama s valjaka kisiku iz zraka i otpadnoj vodi. Prednosti rotirajućeg biodiska su mala potrošnja energije, velika površina za rast biofilma i dobra učinkovitost obrade otpadne vode. Ipak, nepoželjan je preveliki rast biofilma jer se time dijelu mikroorganizama onemogućava doticaj s otpadnom vodom i kisikom (Coetzee i sur., 2004.).

Učinkovitost obrade otpadne vode klaonice s rotirajućim biodiskom kao post-tretmanom ne ovisi značajno o brzini okretanja valjaka, dok povećanje OLR (engl. *Organic Loading Rate*) negativno utječe na uspješnost uklanjanja KPK i BPK. Najbolje uklanjanje BPK od 85 ± 3 % postiže se pri OLR $5,3 \text{ g BPK/m}^2\text{d}$ (Torkian i sur., 2003.). Za postizanje zadovoljavajućih koncentracija BPK ($<25 \text{ mg/L}$) i KPK ($<60 \text{ mg/L}$) potreban je OLR od $22 \text{ g BPK/m}^2\text{d}$ i $65 \text{ g KPK/m}^2\text{d}$ (Al-Ahmady, 2005.).

4.3. Aerobni SBR (engl. Sequencing Batch Reactor)

Rad SBR uključuje ponavljajuće korake u određenim vremenskim intervalima: punjenje, reakciju, taloženje, dekantiranje i odmaranje/odvođenje viška mulja.

Biološko uklanjanje nutrijenata iz otpadne vode mesne industrije pomoću SBR uz hidrauličko vrijeme zadržavanja od 2,5 d rezultira simultanim uklanjanjem KPK (99 %), dušika ($<10 \text{ mg/L}$) i fosfora ($<1,0 \text{ mg/L}$) (Thayalakumaran i sur., 2003.). Proces obrade otpadne vode klaonica u SBR volumena 10 L pri ambijentalnoj temperaturi uz trajanje ciklusa od 8 sati (punjenje 7 min, reakcija 393 min, taloženje 30 min i dekantiranje 50 min) uklanja 96 % KPK i TN, te 99 % TP (Li i sur., 2008.).

4.4. UASB (engl. Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor)

UASB radi na principu uvođenja otpadne vode u reaktor s donje strane, kontakta s granulama mulja i bioloških reakcija pročišćavanja otpadne vode, odvođenja pročišćene vode s gornje strane reaktora (Del Nery i sur., 2008.). Tri glavne komponente UASB su mulj, otpadna voda i plinovi CH_4 i CO_2 nastali tijekom procesa.

U obradi otpadne vode klaonica s vrijednosti KPK od $1\ 400\text{--}3\ 600 \text{ mg/L}$ i $413\text{--}645 \text{ mg/L}$ ulja i masti, u UASB reaktoru, nakon provedenog procesa koagulacije i flokulacije kao prvog koraka, posti-

gnuto je uklanjanje KPK od 70-92 % i uklanjanje ulja i masti 27-58 % (Miranda i sur., 2005.). Del Nery i sur. (2016.) su postigli ukupno uklanjanje KPK $97,9 \pm 1,0$ %, BPK $98,6 \pm 1,0$ % i masti i ulja $91,1 \pm 5,2$ % iz otpadne vode klaonica peradi u postrojenju za obradu otpadnih voda koje se sastojalo u slijedu od rotirajućih i statičnih rešetki, primarnog sustava za flotaciju otopljenim zrakom, DAF, UASB reaktora, zatim aerirane-fakultativne lagune (engl. *Aerated-Facultative Pond*) i kemijskog DAF sustava.

4.5. Anaerobni filter (AF)

Anaerobni filteri su biološki reaktori ispunjeni nosačima od inertnog materijala, primjerice keramika, staklo, plastika, na kojima raste biomasa organizama. Otpadna voda se propušta kroz reaktor s gornje ili donje strane, a organski materijal se uklanja djelovanjem mikroorganizama na filterima. Učinkovitost AF ovisi o sastavu otpadne vode, nosačima i prisutnoj mikrobnj kulturi (Mittal, 2006.).

Istražena je učinkovitost AF u obradi otpadnih voda klaonice u tri reaktora s različitim nosačima (polipropilenski prstenovi, poluretanska pjena i glinena cigla). Uklonjeno je 72 ± 8 % KPK, a nosač od glinene cigle pokazao je najveću mikrobiološku raznolikost (Stets i sur., 2014.). Obrada na AF pri mezofilnim i termofilnim uvjetima (temperatura od $37 \text{ }^\circ\text{C}$ i $55 \text{ }^\circ\text{C}$) rezultira uklanjanjem 80-90 % KPK u mezofilnim i 70-72 % u termofilnim uvjetima. Iako je uklanjanje KPK slabije u termofilnim uvjetima, uklanjanje patogenih mikroorganizama je bolje nego pri $37 \text{ }^\circ\text{C}$ (Gannoun i sur., 2009.).

4.6. Anaerobni SBR

Prema Pal i sur. (2016.) anaerobni SBR trenutno je najbolja dostupna tehnologija za obradu otpadnih voda klaonica. Punjenje, reakcija, taloženje i dekantiranje koraci su svakog SBR uređaja i ponavljaju se ciklički. Budući se svi koraci događaju u istom reaktoru nema potrebe za taložnikom i smanjeni su troškovi u odnosu na anaerobne digestore.

Istražen je učinak hidrauličkog vremena zadržavanja (HRT) i temperature (mezofilna i termofilna temperatura od $35 \text{ }^\circ\text{C}$ i $55 \text{ }^\circ\text{C}$) na uspješnost procesa u obradi otpadnih voda klaonica u anaerobnom SBR. Promjene hidrauličkog vremena zadržavanja pri mezofilnim temperaturama nisu značajno utjecale na uklanjanje organskih onečišćenja. Ipak, produkcija bioplina bila je učinkovitija pri termofilnoj temperaturi i HRT od 20 dana u odnosu na HRT od 10 dana (Bouallagui i sur., 2009.).

U anaerobnom SBR radnog volumena 10 L obrađena je otpadna voda mesne industrije i proizveden je bioplin. Trajanje svakog pojedinog koraka iznosilo je: 0,5 h punjenje, 16 h reakcija, 7 h taloženje i 0,5 h dekantiranje. Uklonjeno je 94 % KPK, 93 % BPK i 54 % suspendiranih čestica. Proizvedeni bioplin (2,7 L/dan) sadržavao je 61 % metana (Myra i sur., 2015.).

5. Kombinirani procesi obrade otpadnih voda

Iako su prethodno nabrojani procesi pokazali učinkovitost u pročišćavanju otpadne vode mesne industrije, ponekad je za zadovoljavanje zakonskih granica za ispuštavanje vode u površinske vode ili sustav javne odvodnje potrebna kombinacija metoda obrade kako bi se međusobno nadopunile i dale najbolje rezultate. Odabir kombinacija ovisi o otpadnoj vodi i financijskim aspektima, odnosno dostupnosti određenih metoda, a u ovom radu prikazane su neke od njih.

Česte su kombinacije bioloških procesa anaerobne i aerobne obrade čime se postiže uklanjanje organskih sastojaka, dušika, fosfora, teških metala, kao i proizvodnja vrijednog nusprodukta u obliku bio goriva (Shi i sur., 2014.). Korištenjem anaerobno-aerobnog sustava, kombinacijom anaerobnog filtera i aerobnog SBR postignuto je uklanjanje od preko 95 % KPK (Lopez-Lopez i sur., 2010.), dok je kombinacija anaerobnog i aerobnog SBR rezultirala uklanjanjem 99 % KPK i BPK, 96 % TN i 61 % TP (Mutua i Mwaniki Njagi, 2016.), odnosno 92 % KPK, 97 % BPK i 74 % PO_4^{3-} uz produkciju bio goriva od 3,95 L/d (Aziz, 2018.). Anaerobno-aerobni reaktor s fiksnim punjenjem uklanja 93 % organskih sastojaka uz 0,77 kg KPK/m³d i 67 % dušika uz 0,084 kg N/m³d (Del Pozo i Diez, 2005.). Utjecaj koncentracije p-nitrofenola (80 mg/L) i KPK (0,3 kg KPK/m³d – 3,16 kg KPK/m³d) uz HRT od 1 do 10,38 dana na efikasnost anaerobno-aerobnog tretmana istražili su Kuşçu i Sponza (2006.). Ukupno uklanjanje KPK i p-NP do 94 % postignuto je uz koncentraciju KPK manju od 2,1 kg KPK/m³d. Veće početne koncentracije KPK dovode do smanjenja učinkovitosti procesa. Kombinacija anaerobnog filtera i aerobnog membranskog reaktora uklanja 99 % organskih sastojaka i 46 % ukupnog dušika, uz početne koncentracije KPK od 6 000-14 500 mg/L, TN od 300-1 000 mg/L i HRT od 24 sata (Ahn i sur., 2007.). A²/O sustav (engl. *Anaerobic/Aerobic/Oxic System*) omogućuje istovremeno uklanjanje KPK, dušika i fosfora iz otpadne vode klaonice uz omje-

re KPK:TN 8,2:1 i KPK:TP 54:1 (Fongsatitkul i sur., 2011.). Tretman efluenta anaerobnog reaktora koji obrađuje otpadne vode klaonice peradi pomoću aerobnog reaktora (HRT = 24 h) uklanja do 76 % TN i 95 % KPK (Barana i sur., 2013.). Simultano uklanjanje organskih sastojaka i dušika iz otpadne vode klaonice u aerobno-anoksičnom SBR pri različitim početnim koncentracijama KPK i NH₄-N i različitim trajanjima pojedinih faza daje rezultate uklanjanja KPK i NH₄-N od 95 % i 97 % (Kundu i sur., 2013.).

Napredni oksidacijski procesi daju dobre rezultate kao samostalni procesi, ali uspješniji su u kombinaciji s aerobnim i anaerobnim biološkim procesima. Kombinacija anaerobni reaktor, aerobni aktivni mulj i UV/H₂O₂ proces uklanja 99 % TOC (Bustillo-Lecompte i sur., 2014.) odnosno 99,98 % TOC i 82,84 % TN (Bustillo-Lecompte i sur., 2013.), dok kombinacija DAF, H₂O₂/UV ili Fentonovog procesa uklanja između 87,1 % i 97,6 % KPK (De Sena i sur., 2009.). Anaerobni reaktor u kombinaciji s UV/H₂O₂ procesom uklanja do 95 % TOC i 97,7 % KPK, što predstavlja bolje uklanjanje od uklanjanja s pojedinačnim procesima pri sličnim uvjetima (Cao i Mehrvar, 2011.).

Biološki procesi mogu se kombinirati i s membranskim procesima radi dobivanja pročišćene otpadne vode klaonice. Kombinacija anaerobnog procesa i mikrofiltracije uklanja preko 95 % KPK iz otpadne vode (Jensen i sur., 2015.), a kombinacija aerobnog procesa i reverzne osmoze 85,8 % KPK, 50 % BPK, 97,5 % TP i 90 % TN (Bohdziewicz i Sroka, 2005.). Ukoliko se otpadna voda klaonice nakon aerobnog procesa DAF pročišćava ultrafiltracijom kao drugim korakom ukloni se preko 98 % KPK (Keskes i sur., 2012.).

Kemijska koagulacija kombinira se s aerobnim biološkim procesima ili elektrokoagulacijom u svrhu što boljeg pročišćavanja otpadnih voda mesne industrije. Nakon koagulacije djelomično pročišćena otpadna voda s koncentracijom KPK od 500 mg/L do 600 mg/L prolazi tretman aerobnim SBR te ukupno uklanjanje KPK nakon tih koraka iznosi 80 %, a TN 90 % (Wang i sur., 2009.). Dodatak 100 mg/L koagulant i provođenje procesa pri 40 V uklanjanja preko 99 % KPK i BPK u procesu kombinirane koagulacije i EC za otpadne vode klaonice (Bazrafshan i sur., 2012.).

Zaključak

Otpadne vode mesne industrije zbog složenog sastava predstavljaju izazov u odabiru prikladne metode obrade. Unatoč problemima poput velike potrošnje energije, pjenjenja ili mogućnosti ispiranja biomase iz sustava, biološke metode obrade zbog efikasnosti i ekonomičnosti često su prvi

izbor za obradu otpadnih voda mesne industrije. Kombinacije postojećih metoda obrade omogućavaju nadopunjavanje slabih točaka određenog procesa drugim procesom, a time i zadovoljavanje zakonskih obveza o kakvoći vode čime se osigurava ekološka održivost procesa.

Literatura

- [1] Ahmadian, M., N. Yousefi, S.W. Van Ginkel, M.R. Zare, S. Rahimi, A. Fatehizadeh (2012): Kinetic study of slaughterhouse wastewater treatment by electrocoagulation using Fe electrodes. *Water Sci Technol* 66, 754-760
- [2] Ahn, Y.T., S.T. Kang, S.R. Chae, C.Y. Lee, B.U. Bae, H.S. Shin (2007): Simultaneous high-strength organic and nitrogen removal with combined anaerobic upflow bed filter and aerobic membrane bioreactor. *Desalination* 202, 114-121
- [3] Al-Ahmady, K.K. (2005): Effect of organic loading on rotating biological contactor efficiency. *Int J Env Res Public Health* 2, 469-477
- [4] Almandoz, M.C., C.L. Pagliero, N.A. Ochoa, J. Marchese (2015): Composite ceramic membranes from natural aluminosilicates for micro-filtration applications. *Ceram Int* 41, 5621-5633
- [5] Al-Mutairi, N.Z. (2009): Aerobic selectors in slaughterhouse activated sludge systems: a preliminary investigation. *Bioresour Technol* 100, 50-58
- [6] Aziz, A. (2018): Biological treatment of slaughterhouse wastewater using sequential anaerobic and aerobic SBR. Aligarh Muslim University, India, 2018.
- [7] Aziz, A., N.N.A. Puat, M.Y.D. Alazaiza, Y. Hung (2018): Poultry slaughterhouse wastewater treatment using submerged fibers in an attached growth sequential batch reactor. *Int J Environ Res Public Health* 15, 1734
- [8] Barana, A.C., D.D. Lopes, T.H. Martins, E. Pozzi, M.H.R.Z. Damianovic, V. Del Nery, E. Foresti (2013): Nitrogen and organic matter removal in an intermittently aerated fixed-bed reactor for post-treatment of an anaerobic effluent from a slaughterhouse wastewater treatment plant. *J Environ Chem Eng* 1, 453-459
- [9] Basitere, M., Y. Williams, M.S. Sheldon, S.K.O. Ntwampe, D. De Jager, C. Dlangamandla (2016): Performance of an expanded granular sludge bed (EGSB) reactor coupled with anoxic and aerobic bioreactors for treating poultry slaughterhouse wastewater. *Water Pract Technol* 11, 86-92
- [10] Bayar, S., Y.S. Yildiz, A.E. Yilmaz, S. Irdemez (2011): The effect of stirring speed and current density on removal efficiency of poultry slaughterhouse wastewater by electrocoagulation method. *Desalination* 280, 103-107
- [11] Bazrafshan, E., F. Kord Mostafapour, M. Farzadkia, K.A. Ownagh, A.H. Mahvi (2012): Slaughterhouse wastewater treatment by combined chemical coagulation and electrocoagulation process. *PLoS One* 12 (7), e40108
- [12] Bohdziewicz, J., E. Sroka (2005): Integrated system of activated sludge-reverse osmosis in the treatment of the wastewater from the meat industry. *Process Biochem* 40, 1517-1523
- [13] Bouallagui, H., B. Rachdi, H. Gannoun, M. Hamdi (2009): Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of abattoir wastewater and fruit and vegetable waste in anaerobic sequencing batch reactors. *Biodegradation* 20, 401-409.
- [14] Bustillo-Lecompte, C.F., M. Mehvar (2015): Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. *J Environ Manage* 161, 287-302
- [15] Bustillo-Lecompte, C.F., M. Mehvar (2017a): Slaughterhouse wastewater: Treatment, management and resource recovery. U: Physico-chemical wastewater treatment and resource recovery, (Faroog, R. i Ahmad, Z., ured.) InTech, Rijeka, str. 153-165.
- [16] Bustillo-Lecompte, C.F., M. Mehvar (2017b): Treatment of actual slaughterhouse wastewater by combined anaerobic-aerobic processes for biogas generation and removal of organics and nutrients: an optimization study towards a cleaner production in the meat processing industry. *J Clean Prod* 141, 278-289
- [17] Bustillo-Lecompte, C.F., M. Mehvar, E. Quinones-Bolanos (2013): Combined anaerobic-aerobic and UV/H₂O₂ processes for the treatment of synthetic slaughterhouse wastewater. *J Environ Sci Health A* 48, 1122-1135
- [18] Bustillo-Lecompte, C.F., M. Mehvar, E. Quinones-Bolanos (2014): Cost-effectiveness analysis of TOC removal from slaughterhouse wastewater using combined anaerobic-aerobic and UV/H₂O₂ processes. *J Environ Manag* 134, 145-152
- [19] Cao, W., M. Mehvar (2011): Slaughterhouse wastewater treatment by combined anaerobic baffled reactor and UV/H₂O₂ processes. *Chem Eng Res Des* 89 (7), 1136-1143
- [20] Carvalho, P.N., A. Pirra, M.C.P. Basto, C.M.R. Almeida (2013): Activated sludge systems removal efficiency of veterinary pharmaceuticals from slaughterhouse wastewater. *Environ Sci Pollut Res* 20, 8790-8800
- [21] Chan, Y.J., M.F. Chong, C.L. Law, D. Hassell (2009): A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chem Eng J* 155, 1-18

- [22] Coetzee, G., L. Malandra, G.M. Wolfaardt, M. Viljoen-Bloom (2004): Dynamics of a microbial biofilm in a rotating biological contactor for the treatment of winery effluent. *Water SA* 30, 407-412
- [23] De Nardi, I.R., V. Del Nery, A.K.B. Amorim, N.G. dos Santos, F. Chimenes (2011): Performances of SBR, chemical DAF and UV disinfection for poultry slaughterhouse wastewater reclamation. *Desalination* 269, 184-189
- [24] De Sena, R.F., J.L. Tambosi, A.K. Genena, R.F.P.M. Moreira, H.F. Schröder, H.J. José (2009): Treatment of meat industry wastewater using dissolved air flotation and advanced oxidation processes monitored by GC-MS and LC-MS. *Chem Eng J* 152, 151-157
- [25] Del Nery, V., M.H.Z. Damianovic, R.B. Moura, E. Pozzi, E.C. Pires, E. Foresti (2016): Poultry slaughterhouse wastewater treatment plant for high quality effluent. *Water Sci Technol* 73, 309-316
- [26] Del Nery, V., E. Pozzi, M.H.R.Z. Damianovic, M.R. Domingues, M Zaiat (2008): Granules characteristics in the vertical profile of a full-scale upflow anaerobic sludge blanket reactor treating poultry slaughterhouse wastewater. *Bioresour Technol* 99, 2018-2024
- [27] Del Pozo, R., V. Diez (2005): Integrated anaerobic-aerobic fixed-film reactor for slaughterhouse wastewater treatment. *Water Res* 39, 1114-1122
- [28] Fongsatitkul, P., D.G. Wareham, P. Elefsiniotis, P. Charoensuk (2011): Treatment of a slaughterhouse wastewater: effect of internal recycle rate on chemical oxygen demand, total Kjeldahl nitrogen and total phosphorus removal. *Environ Technol* 32, 1755-1759
- [29] Food Northwest (2020): Water and wastewater use in the food processing industry. <https://www.foodnorthwest.org/index.php?option=com_content&view=article&id=83%3Awater-and-wastewater-use-in-the-food-processing-industry&catid=20%3Asite-content&limitstart=2#:~:text=Beef%20processing%20water%20usage%2C%20primarily%20from%20carcass%20washing,processed%20hamburger%20meat.%20Use%20and%20Minimization%20of%20Wastes> Pristupljeno 15. listopada 2020.
- [30] FRC (2015): Meat processing wastewater treatment applications. <<https://frcsystems.com/meat-processing-wastewater-treatment/>> Pristupljeno 16. prosinca 2020.
- [31] Gannoun, H., H. Bouallagui, A. Okbi, S. Sayadi, M. Hamdi (2009): Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of biologically pretreated abattoir wastewaters in an upflow anaerobic filter. *J Hazard Mater* 170, 263-271
- [32] Geller, G., G. Höner (2003): *Anwenderhandbuch Pflanzenkläranlagen; Praktisches Qualitätsmanagement bei Planung, Bau und Betrieb*, Springer-Verlag, Berlin, 2003.
- [33] Gerbens-Leenes, P.W., M.M. Mekonnen, A.Y. Hoekstra (2013): The water footprint of poultry, pork and beef: a comparative study in different countries and production systems. *Water Resour Ind* 1-2, 25-36
- [34] Gomec, C.Y. (2010): High-rate anaerobic treatment of domestic wastewater at ambient operating temperatures: a review on benefits and drawbacks. *J Environ Sci Health A* 45, 1169-1184
- [35] Gutiérrez-Sarabia, A., G. Fernández-Villagómez, P. Martínez-Pereda, N. Rinderknecht-Seijas, H.M. Poggi-Valardo (2004): Slaughterhouse wastewater treatment in a full-scale system with constructed wetlands. *Water Environ Res* 76, 334-343
- [36] Hadelan, L., I. Grgić, M. Zrakić, G. Salputra (2015): Financijska i perceptivna ocjena tvrtki iz mesne industrije. *Meso* 3, 226-231
- [37] He, Y., P. Xu, C. Li, B. Zhang (2005): High-concentration food wastewater treatment by an anaerobic membrane bioreactor. *Water Res* 39, 4110-4118
- [38] Irshad, A., S. Sureshkumar, B.V. Raghunath, G. Rajarajan, G. Mahes Kumar (2016): Treatment of waste water from meat industry. U: *Integrated waste management in India; Staus and future prospect for environmental sustainability*, (Prashanthi, M. Sundaram, R., ured.), Environ Eng Sci, Springer International Publishing, str. 251-533.
- [39] Jensen, P.D., S.D. Yap, A. Boyle-Gotla, J. Janoschka, C. Carney, M. Pidou, D.J. Batstone (2015): Anaerobic membrane bioreactors enable high rate treatment of slaughterhouse wastewater. *Biochem Eng J* 97, 132-141
- [40] Joao, J.J., C.S. da Silva, J.L. Vieira, M.F. da Silveira (2020): Treatment of swine wastewater using the Fenton process with ultrasound and recycled iron. *Rev Ambient Agua* 15, 2453
- [41] Keskes, S., F. Hmaied, H. Gannoun, H. Bouallagui, J.J. Godon, M. Hamdi (2012): Performance of a submerged membrane bioreactor for the aerobic treatment of abattoir wastewater. *Bioresour Technol* 103, 28-34
- [42] Kundu, P., A. Debsarkar, S. Mukherjee (2013): Treatment of slaughterhouse wastewater in a sequencing batch reactor: performance evaluation and biodegradation kinetics. *Biomed Res Int* 2013, e134872.
- [43] Kuşçu, O.S., D.T. Sponza (2006): Treatment efficiencies of a sequential anaerobic baffled reactor (ABR)/completely stirred tank reactor (CSTR) system at increasing p-nitrophenol and COD loading rates. *Process Biochem* 41, 1484-1492
- [44] Li, J., M.G. Healy, X. Zhan, D. Norton, M. Rodgers (2008): Effect of aeration rate on nutrient removal from slaughterhouse wastewater in intermittently aerated sequencing batch reactors. *Water Air Soil Pollut.* 192, 251-261
- [45] López-López, A., R. Vallejo-Rodríguez, D.C. Méndez-Romero (2010): Evaluation of a combined anaerobic and aerobic system for the treatment of slaughterhouse wastewater. *Environ Technol* 31, 319-326
- [46] Luiz, D.B., A.K. Genena, H.J. Jose, R.F.P.M. Moreira, H.F. Schroder (2009): Tertiary treatment of slaughterhouse effluent: degradation kinetics applying UV radiation or H₂O₂/UV. *Water Sci Technol* 60, 1869-1874
- [47] Mao, C., Y. Feng, X. Wang, G. Ren (2015): Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renew Sust Energ Rev* 45, 540-555
- [48] Maroneze, M.M., J.S. Barin, C.R. de Menezes, M.I. Queiroz, L.Q. Zepka, J. Eduardo (2014): Treatment of cattle-slaughterhouse wastewater and the reuse of sludge for biodiesel production by microalgal heterotrophic bioreactor. *Sci Agric* 71, 521-524
- [49] Massé, D.I., L. Masse (2000): Characterization of wastewater from hog slaughterhouses in Eastern Canada and evaluation of their in-plant wastewater treatment systems. *Can Agric Eng* 42, 139-146
- [50] Merzouki, M., N. Bernet, J.P. Delgenès, M. Benlemlih (2005): Effect of prefermentation on denitrifying phosphorus removal in slaughterhouse wastewater. *Bioresour Technol* 96, 1317-1322
- [51] Milčić, N., Z. Findrik Blažević, M. Vuković Domanovac (2019): Fitoremedijacija – pregled stanja i perspektiva. *Kem Ind* 68, 447-456
- [52] Miranda, L.A.S., J.A.P. Henriques, L.O. Monteggia (2005): A full-scale UASB reactor for treatment of pig and cattle slaughterhouse wastewater with a high oil and grease content. *Braz J Chem Eng* 22, 601-610
- [53] Mittal, G.S. (2006): Treatment of wastewater from abattoirs before land application - a review. *Bioresour Technol* 97, 1119-1135

- [54] Musa, M.A., S. Idrus, H.C. Man, N.D.N. Norsyahariati (2019): Performance comparison of conventional and modified upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors treating high-strength cattle slaughterhouse wastewater. *Water* 11, 806.
- [55] Mutua, D.N., E.N. Mwaniki Njagi (2016): Biological treatment of meat processing wastewater using lab-scale anaerobic-aerobic/anoxic sequencing batch reactors operated in series. *J Bioremediation Biodegrad* 7, 362
- [56] Myra, T., H. David, T. Judith, Y. Marina, B.J. Ricky, E. Reynaldo (2015): Biological treatment of meat processing wastewater using anaerobic sequencing batch reactor (ASBR). *Int Res J Biol Sci* 4, 66-75
- [57] Ni'am, M.F., F. Othman, J. Sohaili, Z. Fauzia (2008): Electrocoagulation technique for removal of COD and turbidity to improve wastewater quality. *UPW* 25, 36-42
- [58] Núñez, L.A., B. Martínez (2001): Evaluation of an anaerobic/aerobic system for carbon and nitrogen removal in slaughterhouse wastewater. *Water Sci Technol* 44, 271-277
- [59] Ozyonar, F., B. Karagozoglu (2014): Investigation of technical and economic analysis of electrocoagulation process for the treatment of great and small cattle slaughterhouse wastewater. *Desalin Water Treat* 52, 74-87
- [60] Pabon, S.L., J.H.S. Gelvez (2009): Starting-up and operating a full-scale activated sludge system for slaughterhouse wastewater. *Ing Invest* 29, 53-58
- [61] Pal, S., F. Banat, A. Almansoori, M. Abu Haija (2016): Review of technologies for biotreatment of refinery wastewaters: progress, challenges and future opportunities. *Environ Technol Rev* 5, 12-38
- [62] Posavčić, H., I. Halkijević, G. Lončar (2018): Primjena elektrokoagulacije u cilju smanjenja koncentracije fosfata u vodama. *ZAJEDNIČKI TEMELJI 2018 - uniSTem: Šesti skup mladih istraživača iz područja građevinarstva i srodnih tehničkih znanosti*. Split, 25.-26. rujna 2018. Zbornik radova, 186-191
- [63] Pravidnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (2020) NN 26/2020
- [64] Qin, X., B. Yang, F. Gao, G. Chen (2013): Treatment of restaurant wastewater by pilot-scale electrocoagulation- electroflotation: optimization of operating conditions. *J Environ Eng* 139, 1004-1016
- [65] Satyanarayan, S., Ramakant, A.P. Vanerker (2005): Conventional approach for abattoir wastewater treatment. *Environ Technol* 26, 441-447
- [66] Serdarević, A. (2018): Primjena naprednih oksidacijskih procesa u prečišćavanju otpadnih voda – Fenton proces. *Vodoprivreda* 50, 129-135
- [67] Shi, X., O. Lefebvre, K.K. Ng, H.Y. Ng (2014): Sequential anaerobic-aerobic treatment of pharmaceutical wastewater with high salinity. *Bioresour Technol* 153, 79-86
- [68] Stanković, D. (2017): Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda. *Građevinar* 69, 639-652
- [69] Statista (2020a): Production of meat worldwide from 2016 to 2020, by type. <<https://www.statista.com/statistics/237632/production-of-meat-worldwide-since-1990/>>. Pristupljeno 14. listopada 2020.
- [70] Statista (2020b): Meat sector value worldwide in 2018 and 2023. <<https://www.statista.com/statistics/502286/global-meat-and-seafood-market-value/>>. Pristupljeno 14. listopada 2020.
- [71] Stets, M.I., R.M. Etto, C.W. Galvão, R.A. Ayub, L.M. Cruz, M.B.R. Steffens, A.C. Barana (2014): Microbial community and performance of slaughterhouse wastewater treatment filters. *Genet Mol Res* 13, 4444-4455
- [72] Tabrizi, G.B., M. Mehrvar (2004): Integration of advanced oxidation technologies and biological processes: recent developments, trends, and advances. *J Environ Sci Health A* 39, 3029-3081
- [73] Tariq, M., M. Ahmad, S. Siddique, A. Waheed, T. Shafiq, M.H. Khan (2012): Optimization of coagulation process for the treatment of the characterized slaughterhouse wastewater. *Pak J Sci Ind Res* 55, 43-48
- [74] Thayalakumaran, N., R. Bhamidimarri, P.O. Bickers (2003): Biological nutrient removal from meat processing wastewater using a sequencing batch reactor. *Water Sci Technol* 47, 101-108
- [75] Torkian, A., K. Alinejad, S.J. Hashemian (2003): Posttreatment of upflow anaerobic sludge blanket-treated industrial wastewater by a rotating biological contactor. *Water Environ Res* 75, 232-237
- [76] UN-HABITAT (2008): *Constructed Wetlands Manual*. UN-Habitat Water for Asian Cities Programme Nepal, Kathmandu.
- [77] US EPA (2004): Effluent limitations guidelines and new source performance standards for the meat and poultry products point source category. *U. S. Environ. Prot. Agency (US EPA) Fed Regist* 69 (173)
- [78] Wang, X.W., Q.Z. Fei, Z. Xu, H.Y. Guo, S.T. Zhang (2009): Study on treatment of slaughterhouse wastewater with co-coagulation flotation and SBR process. *3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering iCBBE 2009*, 5163535.
- [79] Wu, J., H. Doan (2005): Disinfection of recycled red-meat-processing wastewater by ozone. *J Chem Technol Biotechnol* 80, 828-833
- [80] Yordanov, D. (2010): Preliminary study of the efficiency of ultrafiltration treatment of poultry slaughterhouse wastewater. *Bulg J Agric Sci* 16, 700-704
- [81] Zhao, X., J. Ma, H. Ma, D. Gao, Y. Sun, C. Guo (2018): Removal of polyacrylate in aqueous solution by activated sludge: characteristics and mechanisms. *J Clean Prod* 178, 59-66

Dostavljeno: 29.12.2020.

Prihvaćeno: 13.01.2021.

Meat industry wastewater treatment methods

Abstract

The quantity and quality of meat industry wastewater depend on the type of meat processed, the way the equipment is cleaned, and the size of the plant. The meat industry wastewater is highly polluted and rich in proteins, lipids, carbohydrates and fibers. The meat industry includes slaughterhouses, processing plants and plants for the production of meat products. Numerous methods for meat industry wastewater treatment, physical, chemical and biological processes, have been investigated. The aim of meat industry wastewater treatment is to achieve the quality of purified water that meets the legal regulations, the quality utilisation of the process by-products, and the selected treatment process should be the most ecologically, economically and technologically advanced. This review paper will provide a literature review of meat industry wastewater treatment methods, as well as the quality of the meat industry wastewater.

Key words: meat industry wastewater, treatment processes, meat industry wastewater quality

Verfahren zur Abwasserreinigung in der Fleischindustrie

Zusammenfassung

Die Menge und Qualität des Abwassers der Fleischindustrie hängt von der Art des verarbeiteten Fleisches, der Art der Reinigung der Anlagen und der Größe des Betriebes ab. Die Abwässer der Fleischindustrie sind stark verschmutzt und reich an Proteinen, Lipiden, Kohlenhydraten und Fasern. Zur Fleischindustrie gehören Schlachthöfe, Verarbeitungsbetriebe und Anlagen zur Herstellung von Fleischprodukten. Es wurden zahlreiche Methoden zur Abwasserbehandlung in der Fleischindustrie sowie physikalische, chemische und biologische Verfahren untersucht. Das Ziel der Abwasserbehandlung in der Fleischindustrie ist es, die Qualität des gereinigten Wassers zu erreichen, die den gesetzlichen Vorschriften entspricht, eine gute Verwertung der Prozessnebenprodukte, wobei das gewählte Behandlungsverfahren ökologisch, wirtschaftlich und technologisch fortschrittlich sein sollte. Diese Übersichtsarbeit gibt einen Literaturüberblick über die Methoden der Abwasserbehandlung in der Fleischindustrie sowie über die Qualität des Abwassers der Fleischindustrie.

Schlüsselwörter: Abwasser der Fleischindustrie, Behandlungsverfahren, Qualität des Abwassers der Fleischindustrie

Métodos de tratamiento de aguas residuales en la industria cárnica

Resumen

La cantidad y calidad de las aguas residuales de la industria cárnica depende del tipo de carne procesada, la forma de limpieza del equipo y del tamaño de la planta. Las aguas residuales de la industria cárnica están muy contaminadas y cargadas de proteínas, lípidos, carbohidratos y fibras. La industria cárnica incluye mataderos, plantas de procesamiento y plantas para la producción de productos cárnicos. Se han investigado numerosos métodos de tratamiento de aguas residuales de la industria cárnica, así como los procesos físicos, químicos y biológicos. El objetivo del tratamiento de aguas residuales de la

industria cárnica es lograr la calidad del agua purificada que cumpla con la legislación, la utilización de calidad de los subproductos del proceso y el procedimiento de tratamiento seleccionado debe ser el mejor del aspecto ambiental, económico y tecnológico. Esta revisión proporcionará una revisión de la literatura sobre los métodos de tratamiento de aguas residuales de la industria cárnica, así como la calidad de las aguas residuales de la industria cárnica.

Palabras claves: aguas residuales de la industria cárnica, proceso de tratamiento, calidad de las aguas residuales de la industria cárnica

Metodi di trattamento delle acque reflue dell'industria della carne

Riassunto

La quantità e la composizione delle acque reflue dell'industria della carne dipendono dal tipo della carne lavorata, dalle modalità di pulizia degli impianti e dalla grandezza dello stabilimento. Le acque di scarico dell'industria della carne sono altamente contaminate e ricche di proteine, lipidi, carboidrati e fibre. L'industria della carne comprende gli impianti della macellazione, gli impianti della lavorazione e gli impianti della produzione dei prodotti a base di carne. Sono stati studiati numerosi metodi di trattamento delle acque reflue dell'industria della carne che consistono in processi fisici, chimici e biologici. Il trattamento delle acque reflue dell'industria della carne ha, come finalità, il raggiungimento di una qualità delle acque depurate che soddisfi i parametri previsti dalla legge e lo sfruttamento ottimale dei sottoprodotti del processo, mentre il processo di trattamento prescelto deve essere il migliore possibile dal punto di vista ecologico, economico e tecnologico. Quest'articolo di rassegna fornirà un quadro bibliografico dei metodi di trattamento e della qualità delle acque reflue dell'industria della carne.

Parole chiave: acque reflue dell'industria della carne, processi di trattamento, qualità delle acque reflue dell'industria della carne