



Integrirano međunarodno savetovanje
OPASAN INDUSTRIJSKI OTPAD I TRETMAN
INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA
3. savetovanje
FARMACEUTSKI I MEDICINSKI OTPAD
4. savetovanje

Integrated International Symposium
HAZARDOUS INDUSTRIAL WASTE AND
TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTE WATER
3rd Symposium
PHARMACEUTICAL AND MEDICAL WASTE
4th Symposium



22-24 maj 2017, Palić

Integrirano međunarodno savetovanje
OPASAN INDUSTRIJSKI OTPAD I
TRETMAN INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA
3. savetovanje
FARMACEUTSKI I MEDICINSKI OTPAD
4. savetovanje

Integrated International Symposium
HAZARDOUS INDUSTRIAL WASTE AND
TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTE WATER
3rd Symposium
PHARMACEUTICAL AND MEDICAL WASTE
4th Symposium

ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS

Palić, 22.-24. maj 2017.

KONCEPT UPRAVLJAЊA OTPADOM <i>WASTE MANAGEMENT CONCEPT</i> Љиљана Рудић-Микић	89
УНАПРЕЂЕЊЕ КОМУНАЛНОГ ОТПАДА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ <i>IMPROVEMENT OF MUNICIPAL WASTE IN SERBIA</i> Видослав Крвавац	94
PROBLEMI TRANSPORTA OPASNOG OTPADA <i>PROBLEMS TRANSPORT OF HAZARDOUS WASTE</i> Zoran Bundalo, Milan Milosavljević, Goran Tričković, Bogdan Cebalović	103
POSTUPCI TRETIRANJA I METODOLOŠKO UPUSTVO DEPONOVANJA ŽELEZNIČKOG OTPADA U CRNOJ GORI / <i>TREATMENT METHODS AND METHODOLOGICAL INSTRUCTION OF RAILWAY DEPOSITING WASTE IN MONTENEGRO</i> Milenko Cebalović, Radislav Vulović, Zoran Bundalo	112
OTPAD KAO POTENCIJAL ZA DOBIJANJE KRITIČNIH MATERIJALA <i>WASTE AS A POTENTIAL SOURCE OF CRITICAL MATERIALS</i> Jelisaveta Vranešević, Nikoleta Cesnak	120
UTICAJ KOMUNALNOG OTPADA NA ŽIVOTNU SREDINU <i>EFFECT OF COMMUNITY WASTE ON THE ENVIRONMENT</i> Dušan Cogoljević, Irena Nikodijević, Aleksa Ivošević, Miloš Risimović	124
TRETMAN OTPADNIH VODA IZ FABRIKE TOPIONICE I SUMPORNE KISELINE <i>TREATMENT OF WASTEWATER FROM SMELTER AND SULFURIC ACID PLANT</i> Danijela Božić, Zoran Aleksov	140
ЕФИКАСНОСТ ОБРАДЕ И БИОЛОШКОГ ТРЕТМАНА ЗА ПРЕЧИШЋАВАЊЕ ОТПАДНИХ ВОДА КЛАОНИЦЕ ЗА ПЕРАД / <i>THE EFFICIENCY OF PROCESSING AND BIOLOGICAL TREATMENT OF WASTE WATERS FROM POULTRY SLAUGHTERHOUSE</i> Душанка Данојевић, Наташа Мазалица, Милодрег Марјановић	146
PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA <i>PURIFICATION OF WASTE WATERS</i> Dragan Marinović, Vladimir Savić, Zorka Jugović, Marina Stojanović	151
IZGRADNJA POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U TE KOSTOLAC B <i>CONSTRUCTION OF THE WASTE WATER TREATMENT IN TE KOSTOLAC B</i> Dragan Živić, Pepo Stupar, Maja Plić, Irena Gavrić, Dušan Krstić, Milena Tomašević	162
UPRAVLJANJE OTPADNIM VODAMA U JP EPS OGRANAK TEKO KOSTOLAC <i>WASTE WATER MANAGEMENT IN JP EPS TEKO KOSTOLAC</i> Dejan Vitomirac	174
TRETMAN OTPADNIH VODA TEKSTILNE INDUSTRIJE PRIMENOM OTPADNOG BILJNOG MATERIJALA <i>TREATMENT OF WASTEWATER FROM TEXTILE INDUSTRY USING BIO-WASTE MATERIAL</i> Aleksandra Kulić, Milena Bečelić-Tomin, Marina Šćiban, Đurđa Kerkez, Gordana Pucar, Jovana Jokić, Božo Dalmacija	185
KARAKTERIZACIJA OTPADNIH VODA TEKSTILNE INDUSTRIJE NA TERITORIJI AP VOJVODINE <i>CHARACTERIZATION OF TEXTILE INDUSTRY WASTE WATERS IN VOJVODINA</i> Vesna Pešić, Milena Bečelić-Tomin, Božo Dalmacija, Srđan Rončević, Dejan Krčmar, Đurđa Kekez	190
HELIOSEC – SISTEM ZA KOLEKCIJU OTPADNE VODE NAKON PRIMENE SREDSTAVA ZA ZAŠTITU BILJA / <i>HELIOSEC – SYSTEM FOR COLLECTION OF EFFLUENT WATER AFTER USE OF CROP PROTECTION PRODUCTS</i> Miroslav Ivanović	194

PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

PURIFICATION OF WASTE WATERS

Dragan Marinović, Vladimir Savić, Zorka Jugović, Marina Stojanović

Apstrakt: U svim zemljama, u borbi za očuvanje zaštite životne sredine, zagađivanje voda spada u veoma ozbiljne i složene ekološke probleme. Zagađivanje voda i utvrđivanje stepena njene zagađenosti mnogobrojnim mikrobiološkim, fizičkim agensima i raznovrsnim hemijskim supstancama, postaje sve veći zdravstveni i opšte društveni problem.

Prečišćavanje otpadnih voda je od velikog značaja za utvrđivanje kontaminiranosti vodenog ekosistema i zaštite čovekovog zdravlja.

Cilj rada je prikaz karakteristika otpadnih voda i metode prečišćavanja otpadnih voda.

Gljučne reči: Otpadna voda, prečišćavanje.

Abstract: In all countries, the fight for the preservation of environment, water pollution is a very serious and complex environmental problem. Water contamination and defining the level of contamination by the means of numerous physical effects and different chemical substances, become much greater health and social problem.

Waste water purification is significant for defining contamination of water ecosystem and human health protection.

The aim is to show the characteristics of waste water and waste water treatment methods.

Key words: waste water, purification.

OTPADNE VODE

Voda koja se na bilo koji način onečisti tokom upotrebe naziva se otpadnom vodom. Ona može biti onečišćena rastvorenim i nerastvorenim organskim i neorganskim materijama i mikroorganizmima. Količina i stepen zagađenosti otpadnih voda raste uporedo sa urbanizacijom, razvojem industrije, poljoprivrede i stočarstva. Usled ispuštanja otpadnih voda rastu i štete koje nastaju u recipijentu, vodotokovima i akumulacijama vode, zemljištu, odnosno u ekosistemu u celini. Ispuštanjem neprečišćenih otpadnih voda došlo je do poremećaja ekosistema koji su vremenom narasli do takvih razmera da se prečišćavanje otpadnih voda nametnulo kao neophodnost. Proces prečišćavanje otpadnih voda je skup tako da danas u svetu imamo paradoksalnu situaciju. Razvijene zemlje u određenoj meri prečišćavaju otpadne vode, dok nerazvijene to ne čine. Zbog toga razvijene i bogate zemlje trpe manje štete od nerazvijenih, siromašnih zemalja iako u odnosu na nerazvijene imaju daleko veće količine i zagađenije otpadne vode [1].

Utvrdjivanje količine i zagađenosti naročito industrijskih otpadnih voda je osnovni korak prilikom izbora tehnologije i opreme za prihvatanje, prečišćavanje i ispuštanje otpadnih voda. Kapacitet i trajanje rada pumpi za transport otpadne vode nam govori o količini otpadne vode koja se meri, procenjuje ili proračunava na osnovu potrošene vode ili na osnovu normativa za otpadne vode (po glavi stanovnika, po jedinici proizvoda) što je, svakako, najmanje siguran način.

Svaka zajednica odgovarajućim standardima reguliše kvalitet otpadne vode koja se može ispuštati u recipijent. Kako se potrebe za svežom vodom stalno povećavaju, a njena količina je ograničena, voda počinje u sve većoj meri ponovo da se koristi, svesno ili nesvesno, tako da kvalitet otpadne vode sve više diktira kvalitet sveže vode, što nameće sve veću potrebu za prečišćavanjem otpadne vode s ciljem zaštite recipijenta, odnosno izvorišta sveže vode [2,3,4,5,6].

U zavisnosti od porekla, sastav, pogotovu industrijskih otpadnih voda, veoma varira tako da ne

postoji nijedan pokazatelj koji je zajednički za sve otpadne vode. U otpadnim vodama se određuje čitav niz parametara, kao što su boja, mutnoća, pena, ulja i masti, BPK₅, HPK, pH, suva materija, suspendovane čestice, teški metali, nutrijenti – azot i fosfor, toksične supstance...

Način na koji otpadna voda sa svojim zagađivačima utiče na recipijent, iz čega se može sagledati i značaj njihovog uklanjanja, prikazan je u tabeli 1.

Pored koncentracije pojedinih zagađivača u otpadnoj vodi, mora se uzeti u obzir i protok otpadne vode. Kod velikih protoka može doći do unošenja velikih količina zagađivača u recipijent iako je njegova koncentracija u otpadnoj vodi relativno mala [1].

Tabela 1. Zagađivači u otpadnoj vodi i njihov uticaj na ekosistem recipijenta

Zagađivač	Uticaj na recipijent
Suspendovane čestice	U recipijentu može da dođe do stvaranja naslaga mulja u kojima nastaju anaerobni uslovi ako se u njega ispuštaju otpadne vode sa povećanom koncentracijom suspendovanih čestica.
Biorazgradive organske materije	Ispuštanjem u recipijent i biološkom razgradnjom ovih organskih materija od strane mikroflora vode dolazi do smanjenja koncentracije rastvorenog kiseonika u recipijentu i do nastajanja anaerobnih uslova.
Patogeni organizmi	Patogeni organizmi otpadnih voda mogu prenositi zarazne bolesti.
Nutrijenti	Azot i fosfor su nutrijenti (hranjive materije) neophodni za rast biljaka. Unošenjem u vodu recipijenta može doći do prekomernog porasta algi i drugog vodenog bilja. Ako nutrijenti u povećanim količinama dospavaju na zemljište, zagađuju podzemne vode.
Bionerazgradive organske materije	Bionerazgradive organske materije: deterdženti, fenoli, pesticidi zagađuju recipijent jer se ne razgrađuju konvencionalnim postupkom prečišćavanja otpadne vode.
Teški metali	Industrijske otpadne vode su bogate metalima i treba ih ukloniti ako se te otpadne vode ponovo koriste.
Rastvorene neorganske materije	Industrijske otpadne vode sadrže neorganske materije kao što su kalcijum, natrijum i sulfat i treba ih ukloniti ukoliko se te otpadne vode ponovo koriste.

KARAKTERISTIKE OTPADNIH VODA

FIZIČKE KARAKTERISTIKE

U fizičke karakteristike otpadne vode spadaju sadržaj suve materije, boja, miris, temperatura, mutnoća, ukus, elektroprovodljivost, sadržaj flotirajućih materija.

Najvažnija fizička karakteristika otpadne vode je sadržaj suve materije (SM). Suva materija je ostatak nakon sušenja uzorka na 103°C do 105°C, pri čemu ovim nisu obuhvaćeni sastojci sa niskom temperaturom ključanja. Filtriranjem otpadne vode preko membrane prečnika pora 0.45 μm, suva materija se razdvaja na suspendovane čestice, sa prečnicima od oko 1 μm i većim i filtrat koji čine koloidne čestice i rastvor: organski i neorganski molekuli i joni rastvoreni u vodi.

Žarenjem na 550°C ± 50°C suva materija se dalje razdvaja. Organska (oSM) i mali deo neorganske suve materije se uklanjaju žarenjem, a ostatak posle žarenja predstavlja neorgansku frakciju suve materije koja se zove pepeo.

Jedna od fizičkih karakteristika koja nam govori o stanju otpadne vode je boja. Otpadne vode sive boje, su znak „sveže” otpadne vode, dok kod „odležalih” otpadnih voda, nakon utroška celokupnog rastvorenog kiseonika delovanjem aerobnih mikroorganizama i nakon nastanka anaerobnih uslova boja prelazi u crnu.

Miris je karakteristika otpadne vode na koji su ljudi najosetljiviji. On potiče od gasova koji nastaju raspadanjem organske materije i zavisi od tehnološkog procesa pri kom nastaju otpadne vode. Otpadne vode septičkih jama imaju karakterističan miris pokvarenih jaja od vodonik-sulfida koji nastaje mikrobiološkom redukcijom sulfata u anaerobnim uslovima.

Značajna fizička karakteristika otpadne vode je temperatura. Ispuštanje zagrejana otpadne vode ima veliki uticaj na biosvet vodotokova jer se na višim temperaturama rastvorljivost kiseonika u vodi smanjuje [1].

HEMIJSKE KARAKTERISTIKE

U zavisnosti od porekla otpadne vode razlikuje se niz hemijskih karakteristika otpadne vode. Najvažnije hemijske karakteristike otpadne vode su sadržaj neorganske i organske zagađujuće materije.

NEORGANSKE ZAGAĐUJUĆE MATERIJE

Sadržaj ukupnih neorganskih materije u otpadnim vodama je mali i ne zahteva uklanjanje, ali zato pojedine materije negativno utiču na recipijente i moraju se uklanjati prečišćavanjem.

Najvažniji biogeni elementi su azot i fosfor i unošenje azota i fosfora sa otpadnim vodama u velikim količinama dovodi do prekomernog rasta vodenog bilja i izaziva eutrofikaciju vodotokova. Otpadne vode sadrže azot u različitim oblicima – organski, amonijačni, nitritni i nitratni. Prilikom samoprečišćavanja vodotokova ili biološkog prečišćavanja otpadnih voda dolazi do prelaska azota iz jednog oblika u drugi. Negativan uticaj na recipijent je različit i zavisi od oblika u kome se azot nalazi. Amonijak je izrazitog i neprijatnog mirisa, a povećane koncentracije nitrata u vodi su veoma štetne po zdravlje dece. Redukcijom sumpora koji potiče iz sulfata u anaerobnim uslovima nastaje vodonik-sulfid koji je izrazito neprijatnog mirisa, veoma toksičan, a oksiduje se do veoma korozivne sumporne kiseline.

Važna karakteristika otpadne vode je njena pH vrednost. Ekstremno visoka ili niska pH vrednost otežava biološko prečišćavanje otpadne vode i negativno utiče na živi svet recipijenta u koji bi se takva neprečišćena otpadna voda isпустиła. Za razliku od pH vrednosti koja je kvalitativni pokazatelj, sadržaj alkalija/kiselina je kvantitativni pokazatelj koji je neophodan u procesu hemijske obrade vode. Većina industrijskih otpadnih voda ima nedozvoljeno velike koncentracije teških metala: olova, kadmijuma, hroma, žive..., koji su toksični i čije upuštanje u recipijent ima negativan uticaj na živi svet recipijenta [1].

ORGANSKE ZAGAĐUJUĆE MATERIJE

Najznačajnija hemijska karakteristika otpadne vode je sadržaj organske materije. Obično se određuje ukupan sadržaj organske materije, a ređe se radi analiza pojedinih grupa organskih materija ili analiza specifičnih organskih jedinjenja. Najvažnije je znati koji deo organske materije je biorazgradiv aerobnom mikroflorom recipijenta u koji se otpadne vode ispuštaju jer se na taj način troši rastvoreni kiseonik iz vode, što ugrožava ribe i ostali živi svet recipijenta, pa se obično određuju biohemijska potrošnja kiseonika (BPK), hemijska potrošnja kiseonika (HPK) i ukupni organski ugljenik (TOC).

Biohemijska potrošnja kiseonika (BPK) je količina kiseonika koja je potrebna mikroflori uzorka za oksidaciju organske materije u otpadnoj vodi. Iako određivanje biohemijske potrošnje kiseonika ima niz ograničenja, a prilikom ovog procesa se prave velike greške, ono ostaje najbitnija metoda na osnovu koje se procenjuje zagađenost otpadnih voda. Često se na osnovu dobijenih rezultata o biohemijskoj potrošnji kiseonika u ispitivanoj otpadnoj vodi određuje veličina i definiše efikasnost postrojenja za prečišćavanje. Biohemijska potrošnja kiseonika se najčešće određuje u trajanju od pet dana na temperaturi od 20°C, tzv. BPK5 i smatra se da se tom analizom obuhvata oko 60% do 70% biorazgradivih organskih materija.

Hemijska potrošnja kiseonika (HPK) je količina kiseonika koji se troši iz jakog oksidacionog sredstva za oksidaciju organske materije u vodi. U kiseloj sredini koristi se kalijum-dihromat, a postiže se 20% do 100% učinak oksidacije većine organskih jedinjenja. Za analizu industrijskih otpadnih voda koje sadrže toksične ili biološki nerazgradive komponente i za analizu prečišćenih otpadnih voda koristi se najčešće hemijska umesto biohemijske potrošnje kiseonika. Hemijskom potrošnjom kiseonika određuje se sva organska materija u otpadnoj vodi, dok se biohemijskom potrošnjom kiseonika određuju samo materije koje se biološki razgrađuju.

Ukupni organski ugljenik (TOC) predstavlja sadržaj organski vezanog ugljenika u otpadnoj vodi. Određuje se merenjem količine CO₂ nastalog oksidacijom organskog ugljenika. Step en oksidisanosti organskih materija ne utiče na određivanje ukupnog organskog ugljenika. Sadržaj ukupnog organskog ugljenika (TOC) ne daje istu vrstu informacije kao BPK i HPK, te se njime ne

zamenjuje određivanje BPK i HPK.

Ukupan sadržaj organskih materija u otpadnoj vodi ima izuzetno veliki značaj prilikom njenog prečišćavanja ali se ne sme zanemariti značaj poznavanja udela nekih od najvažnijih grupa organskih jedinjenja: proteina, ugljenih hidrata, ulja i masti. One imaju veliki i različiti uticaj na ekosistem i različito ponašanje prilikom prečišćavanja. Najvažniji izvor azota u vodotokovima su proteini, čijom razgradnjom nastaju veoma neprijatni mirisi. Ugljeni hidrati imaju različitu biorazgradivost. Ulja i masti spadaju u teško biorazgradive materije, a stvaraju i tanak sloj na površini vodotokova, čime otežavaju rastvaranje kiseonika ugrožavajući živi svet u vodi.

Najvažnija organska jedinjenja koja se mogu naći u otpadnim vodama različitog porekla su površinski aktivne materije, pesticidi i fenoli. Razvojem industrije i povećanjem standarda broj tih organskih materija je sve veći. Prisustvo površinski aktivnih materija u otpadnoj vodi izaziva penjenje kako u uređajima za prečišćavanje, tako i na površini vodotokova, što otežava unos kiseonika. Pesticidi i herbicidi dospevaju u recipijente spiranjem sa poljoprivrednih površina. Oni su veoma toksični za živi svet u vodi i značajno smanjuju upotrebnu vrednost te vode, a toksični su i za radnu mikrofloru bioloških postupaka prečišćavanja. Fenoli koji se nalaze u recipijentu, smanjuju upotrebnu vrednost vode recipijenta i ako se takva voda hlorige, nastaju hlorfenoli koji su veoma neprijatnog mirisa.

U zavisnosti od porekla, otpadne vode mogu sadržati veliki broj raznih toksičnih supstanci kao što su: cijanidi, hlorovana organska jedinjenja... U specifičnim otpadnim vodama moraju se identifikovati i odrediti koncentracije toksičnih materija kako bi se našao najbolji način prečišćavanja tih otpadnih voda i utvrdile štete koje nastaju ispuštanjem takvih otpadnih voda u recipijente [1].

BIOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Poznavanje biologije otpadnih voda bitno je za utvrđivanje kvaliteta otpadne vode pre i posle prečišćavanja. Sanitarni kvalitet vode zavisi od vrste i broja mikroorganizama koji se nalaze u njoj. Prisustvo patogenih mikroorganizama ima za posledicu izazivanje teških zaraznih bolesti: tifusa, kolere, a indikatori njihovog prisustva u vodi su koliformne bakterije, dok je prisustvo streptokoke indikator fekalnog zagađenja vode.

Za utvrđivanje toksičnosti otpadne vode na biosvet vodotokova koriste se biološka ispitivanja jer se toksičnost ne može oceniti samo na osnovu fizičkih i hemijskih karakteristika otpadne vode. Učinak pojedinih postupaka prečišćavanja se takođe utvrđuje na osnovu bioloških ispitivanja. Za biološke testove se koriste određene grupe organizama: plankton, alge, ribe [1].

METODE PREČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA

Ne postoji jedinstven kriterijum na osnovu koga bi se otpadne vode razvrstale na slabo, srednje i jako zagađene. Ako otpadna voda ne sadrži: toksične supstance, patogene organizme, povećanje neorganske materije, tada se potrošnja kiseonika za oksidaciju organskih i neorganskih materija iz otpadne vode uzima kao jedini kriterijum. Kao najčešći kriterijum zagađenosti otpadne vode koristi se BPK5, a radi upoređivanja industrijske otpadne vode sa komunalnom otpadnom vodom uveden je ekvivalent stanovnika. Ekvivalent stanovnika (ES) predstavlja procenjenu količinu zagađenja po glavi stanovnika u toku dana. Ta vrednost se vremenom revalorizuje, a sada se kod nas obično primenjuje 54 g BPK5. Za procenu štete koju bi neprečišćena otpadna voda izazvala upuštanjem u recipijent, kao i za izbor najboljeg načina prečišćavanja otpadnih voda, služe kriterijumi zagađenosti.

Poznavanje koncentracije zagađivača u otpadnim vodama nije dovoljno za dimenzionisanje i procenu performansi postrojenja za prečišćavanje, već se mora znati i količina zagađenja koja se unosi, takozvano opterećenje. Ono se izražava preko zapremine otpadne vode ili preko količine zagađenja koje dospeva u postrojenje u jedinici vremena: m^3/h , m^3/dan , $kg\ BPK5/dan$. Opterećenje se računa još i po jedinici zapremine ili površine uređaja za prečišćavanje: $m^3/m^3 \times h$, $m^3/m^2 \times h$.

Prečišćavanje ima za cilj da ukloni zagađenje iz otpadne vode tako da ona može da se ispušta u recipijent bez štetnih posledica ili da može da se ponovo upotrebi. Proces prečišćavanja otpadne vode se sastoji iz prethodne obrade, primarnog, sekundarnog i tercijarnog prečišćavanja i obrade i odlaganja muljeva koji nastaju tokom prečišćavanja otpadnih voda.

Uklanjanje grubog suspendovanog i plivajućeg materijala, uklanjanje inertnog materijala, uklanjanje plivajućeg ulja i ujednačavanje protoka i koncentracije otpadnih voda spada u prethodnu obradu otpadnih voda. Uklanjanje suspendovane i emulgovane materije taloženjem, filtracijom ili flotacijom čini primarno prečišćavanje otpadnih voda. Uklanjanje koloidnih i dela rastvorenih organskih materija biološkim ili hemijskim putem spada u sekundarno prečišćavanje otpadnih voda. Uklanjanje zaostalog zagađenja, kao što su biogeni elementi, bionerazgradive organske materije, patogene mikroflora, toksične materije, čini tercijarno prečišćavanje otpadnih voda.

Iako široko prihvaćena, ovakva podela ne zadovoljava uvek. Najčešće se koristi kombinovana podela. Prečišćavanje otpadne vode se vrši mehaničkim, hemijskim i biološkim metodama, a posebno se razmatraju načini obrade i odlaganja muljeva i postupci završnog prečišćavanja, ponovne upotrebe i ispuštanja otpadnih voda. Izbor načina prečišćavanja zavisi od niza činilaca: od karaktera zagađenja otpadne vode, od zahtevanog stepena prečišćavanja, od ekonomičnosti pojedinih postupaka prečišćavanja i slično (Tabela 2.) [1,2].

Tabela 2. Postupci uklanjanja zagađenja otpadnih voda

Zagađenje	Način uklanjanja
Suspendovane čestice	Taloženje Proceđivanje (sita, komimutori) Filtracija Flotacija
Biorazgradive organske materije	Fizičko-hemijski postupci uklanjanja Aerobna biološka razgradnja Anaerobna biološka razgradnja
Bionerazgradive organske materije	Adsorpcija Ozonizacija (tercijarna obrada)
Rastvorljive neorganske materije	Jonska izmena Reversna osmoza Elektrodijaliza
Teški metali	Hemijsko taloženje Jonska izmena
Nutrijenti	
Azot	Nitrifikacija-denitrifikacija Striping amonijaka Jonska izmena Hlorisanje preko završne tačke
Fosfor	Dodatak soli metala Koagulacija krečom / taloženja Biološko-hemijski postupci uklanjanja
Patogeni mikroorganizmi	Hlorisanje Ozonizacija (dezinfekcija)

MEHANIČKE METODE

Postupke koji se zasnivaju na fizičkim osobinama vode i nečistoća u njoj i na delovanju fizičkih sila – gravitacije i pritiska nazivamo mehaničkim postupcima prečišćavanja. Mehanički postupci čine osnovu takozvane prethodne obrade i procesa primarnog prečišćavanja, kao i pojedinih faza sekundarnog i tercijarnog prečišćavanja otpadnih voda. Poreklo i karakteristike otpadne vode, kao i traženi stepen prečišćenosti, diktiraju koji će se postupak mehaničkog prečišćavanja primeniti.

Prečišćavanje mnogih industrijskih otpadnih voda, započinje uklanjanjem grubog materijala iz nje, čime se olakšava dalja obrada otpadne vode i štite uređaji i cevovodi od oštećenja i zapušnja. Prolaskom otpadne vode kroz odgovarajuću dimenzionisanu rešetku ili sito uklanja se plivajući i suspendovani grubi materijal, koji se na njima zadržava i sa kojih se zatim na odgovarajući način uklanja, obrađuje i odlaže. Na glavni kanalizacioni vod fabrike na ulasku u fabričko postrojenje za obradu otpadnih voda ili pre ulivanja u komunalnu kanalizaciju postavlja se rešetka ili sito. Rešetkama se uklanja najgrublji i grubi materijal iz otpadnih voda. Efektivna površina rešetke se može povećati i do 200% postavljanjem kose ili krive rešetke. Protok otpadne vode kroz kanal sa rešetkom treba da bude oko 0.3 m/s da ne bi došlo do taloženja i stvaranja naslaga duž kanala. Pomoću uređaja različitih konstrukcija rešetke se čiste ručno ili mehanički.

Za uklanjanje suspendovanog i plivajućeg materijala veličine od oko jednog pa do nekoliko milimetara, koriste se sita. U fabrikama se često postavljaju sita da se iz otpadnih voda izdvoje neprerađene sirovine ili proizvodi i time smanje gubici u proizvodnji. Fina sita – makrosita sa prečnikom otvora od 0.1 mm i manjim koriste se za uklanjanje suspendovanih čestica malih dimenzija ali se u tu svrhu više koriste taložnice. Napravljena su od nerđajućeg čelika ili nekog drugog materijala otpornog na koroziju, u obliku žičane mreže ili perforiranog lima sa kružnim otvorima ili prorezima. Sito je napravljeno u obliku diska, bubnja ili beskrajne trake. Ono je delom uronjeno u vodu i pokretno tako da se sa sita koje je van vode uklanja nakupljeni materijal, obično mlazom vode, i na taj način se čisti njegova površina. Postavljanjem rešetke ispred sita ono se štiti od grubog materijala.

Suspendovane čestice bionerazgradivog materijala u otpadnoj vodi čije su brzine taloženja mnogo veće od brzine taloženja čestica organskog biorazgradivog materijala nazivaju se „pesak”. U njih spadaju pesak, šljunak, zemlja, pepeo i slično. Abraziju i ubrzano habanje pokretnih delova uređaja za prečišćavanje otpadnih voda izazivaju inertni materijali. Oni stvaraju naslage i taloge koji se teško čiste u cevovodima i kanalima, u biološkim reaktorima i na svim mestima gde je usporeno kretanje otpadnih voda. Taj inertni materijal se uklanja takozvanim „hvatačima peska”. Njima se uklanja i deo teško i sporo biorazgradivog materijala većih dimenzija: ljuske od jaja, ljuske, koštice i semenke voća i povrća i razni ostaci hrane.

Činjenica da se inertni materijal i čestice organskog materijala talože različitim brzinama iskorišćena je za njihovo razdvajanje tako što se pogodnom brzinom toka otpadne vode, inertni materijal izdvaja, a organske suspendovane čestice odnose vodom dalje. Inertne materije se odvajaju po režimu slobodnog taloženja. Stokesova jednačina nam koristi za izračunavanje brzine taloženja u zavisnosti od veličine i mase čestica koje se žele ukloniti. Obično se uklanjaju čestice veće od 0.15 mm ili 0.2 mm. Hvatači peska se dele na protočne, taložne i aerisane komore u zavisnosti od toga kako je regulisan tok otpadne vode.

Materije lakše od vode, kao što su ulja i masti, komadići sapuna, plute, drveta, ljuske voća i povrća, takođe treba ukloniti iz otpadne vode, ali one u znatnoj meri otežavaju njeno prečišćavanje. To se naročito odnosi na mineralna ulja u otpadnim vodama naftne industrije, prehrambene industrije, ali i velikih servisa za motorna vozila i pojedinih pogona mašinske industrije. Njihovo uklanjanje se vrši usporavanjem toka vode, što omogućava njihovo isplivavanje na površinu i sakupljanje hvatačima masti.

Posle izdvajanja grubog i inertnog suspendovanog materijala iz otpadne vode, ostaje još da se uklone suspendovane čestice čija specifična masa nije mnogo veća od specifične mase vode. Ove čestice se uklanjaju gravitacionim taloženjem, flotacijom ili filtracijom.

Pošto je filtracija skuplja od taloženja i flotacije, retko se koristi kao glavni postupak uklanjanja suspendovanih čestica iz otpadnih voda. Obično se koristi kao naknadni tretman u tehnologiji otpadnih voda. Najviše primenjivana operacija u procesu prečišćavanja voda i otpadnih voda je taloženje.

Taloženje se kod otpadnih voda koristi za:

- uklanjanje inertnog materijala u hvatačima peska u okviru prethodne obrade otpadne vode;

- uklanjanje suspendovanih čestica tokom primarnog prečišćavanja u primarnim taložnicama;
- uklanjanje biološkog mulja iz postupka aerobne i anaerobne obrade tokom sekundarnog prečišćavanja u sekundarnim taložnicama i
- uklanjanje precipitata u postupcima hemijskog taloženja.

U zavisnosti od koncentracije i taložnih karakteristika suspendovanih čestica razlikujemo:

- taloženje diskretnih čestica;
- taloženje čestica koje flokulišu i
- zonalno taloženje.

Za uklanjanje suspendovanih čestica malih specifičnih masa, emulgovanih ulja, kao i za koncentrisanje muljeva koji nastaju u procesu prečišćavanja otpadne vode koristi se flotacija vazduhom. Princip flotacije se zasniva na tome da se mehurići vazduha „lepe“ za suspendovane čestice čime one postaju lakše od vode i isplivavaju na površinu, odakle se skupljaju. Dodatkom sredstava za koagulaciju i flokulaciju često se poboljšava efekat flotacije. Najpoznatija sredstava za koagulaciju i flokulaciju su aluminijum-sulfat, ferihlorid i polielektroliti. Prema načinu stvaranja mehurića razlikujemo:

- flotaciju mehanički dispergovanim vazduhom i
- flotaciju rastvorenim vazduhom.

Prilikom flotacije dispergovanim vazduhom mehurići se stvaraju uduvavanjem vazduha kroz osovinu propellerske mešalice ili uduvavanjem vazduha kroz dizne. Ova flotacija ima malu efikasnost zbog nastanka velikih mehurića vazduha, pa se obično koristi za uklanjanje dispergovanog ulja [1].

HEMIJSKE METODE

Ukoliko se prečišćavane obavlja pomoću određenih hemijskih reakcija ili određenih fizičko-hemijskih fenomena, onda su to hemijski procesi prečišćavanja. Ukoliko se unose hemikalije u vodu da bi se uklonilo zagađenje, onda su to aktivni procesi. Samim tim dolazi do povećanja koncentracije rastvorenih materija u vodi, što je nepovoljno ukoliko se tako prečišćene otpadne vode ponovo koriste. Hemijski procesi prečišćavanja su skupi i koriste se samo tamo gde za uklanjanje pojedinih zagađenja otpadne vode nema alternative.

Hemijsko prečišćavanje otpadnih voda se primenjuje za uklanjanje suspendovanih i koloidno rastvorenih materija koagulacijom i flokulacijom, kao i uklanjanje pojedinih rastvorenih materija: hemijskim taloženjem, jonskom izmenom, oksidacijom, produvavanjem gasa, adsorpcijom.

Najzastupljeniji postupak hemijskog prečišćavanja otpadnih voda je koagulacija i flokulacija, kojom se uklanjaju suspendovane i koloidne materije. Zagađenje otpadne vode se u značajnoj meri smanjuje uklanjanjem suspendovanih i koloidnih čestica. Smanjenje BPK se kreće od 40% do 70%, HPK od 30% do 60%, a broja bakterija za 80% do 90%, za komunalnu otpadnu vodu. Umesto biološkog procesa prečišćavanja u tehnologiji otpadnih voda koristi se postupak koagulacije i flokulacije. Prednosti ovog procesa su jednostavna i jeftina oprema, jednostavno i sigurno vođenje i kontrola procesa prečišćavanja, a postrojenje se lako zaustavlja i ponovo pušta u pogon bez negativnog uticaja na proces prečišćavanja. Nedostatak je u manjoj efikasnosti i u nastanku znatne količine mulja i taloga čija je obrada skupa.

Princip hemijskog taloženja zasniva se na prevođenju rastvorenih materija prisutnih u otpadnoj vodi u nerastvorne materije korišćenjem reagenasa koje se uklanjaju taloženjem, flotacijom ili filtracijom. Ukoliko otpadne vode sadrže agresivne, toksične ili nerazgadive materija koje je nemoguće biološki prečistiti, koristi se hemijsko taloženje.

Najčešće se primena hemijskog taloženja koristi prilikom uklanjanja teških metala. Otpadne vode rudarstva, proizvodnje čelika i ostalih metala, površinske obrade metala, proizvodnje neorganskih boja, bogate su teškim metalima: olovom, živom, bakrom, hromom, niklom, selenom, srebrom, arsenom, barijumom i kadmijumom. Uklanjaju se prevođenjem teških metala u nerastvorna jedinjenja

koja se talože pogodnim sredstvima. Najčešće se prevode u hidrokside, sulfide i karbonate. Za prečišćavanje otpadnih voda površinske obrade metala i elektrolitičkih postupaka zaštite metala najčešće se koristi jonska izmena. Otpadne vode koje nastaju u postupcima površinske obrade metala su izuzetno zagađene, toksične i sadrže teške metale i ostatke rastvora za obradu metala i moraju se prečistiti pre ispuštanja u recipijent. Hemikalije koje se koriste u obradi metala su skupe i potrebno ih je izdvojiti iz otpadne vode i vratiti u proces proizvodnje. Oba ova cilja se mogu postići jonskom izmenom: (1) prečišćavanjem otpadne vode i (2) regeneracijom i recirkulacijom pojedinih hemikalija.

Nakon prečišćavanja otpadnih voda od površinske zaštite metala hemijskim taloženjem vrši se završno prečišćavanje radi uklanjanja male količine teških metala jonskom izmenom. Prečišćavanje se vrši smolama sa velikom selektivnošću, to su tzv. šelirajuće smole, koje uspevaju da izdvoje male koncentracije željenog jona u prisustvu velikih koncentracija jona nekih drugih metala. Regeneracijom smole dobijeni koncentrat metala se vraća na obradu u proces hemijskog taloženja. Rastvorene organske materije iz otpadnih voda se uklanjaju adsorpcijom. Završno, tercijarno prečišćavanje, posle biološkog prečišćavanja, vrši se adsorpcijom i njime se uklanja preostala organska materija koja nije biološki razgrađiva ili koja utiče na miris, ukus i boju vode. Adsorpcija se koristi kao glavni postupak prečišćavanja, za uklanjanje materija toksičnih za mikrofloru bioloških postupaka, odnosno opasnih po recipijente.

Adsorbent koji se najčešće koristi u prečišćavanju vode i otpadnih voda je aktivni ugalj. Aktivni ugalj se dobija iz različitih materijala: uglja, drveta, treseta, orahove ljuske. U postupku aktivacije nastaje porozna struktura, složena mreža šupljina, pora, različitih prečnika, makropore prečnika 0.1 μm i mikropore sa prečnicima od 0.001 μm do 0.1 μm , koje zajedno grade izuzetno veliku unutrašnju površinu za adsorpciju: 400 m^2/g do 1 800 m^2/g . Od primenjenog postupka aktivacije zavisi veličina pora.

Primena jonoizmenjivačkih sintetskih smola za adsorpciju organskih materija iz vode, kao što su huminske supstance, trihalometani, fenoli, deterdženti, dobija sve veći značaj. Značajnije su jer se mogu napraviti smole za specifične slučajeve adsorpcije. Smole se regenerišu u samom adsorberu. Primena jonoizmenjivačkih smola za adsorpciju je ograničena cenom i teškoćama njihove regeneracije.

Kapacitet adsorpcije zavisi od rastvorljivosti rastvorka (adsorbata) u vodi. Kod većine organskih jedinjenja sa povećanjem molekulske mase rastvorljivost opada, odnosno kapacitet adsorpcije raste. Rastvorak i adsorbent su bliski po polarnosti. Od koncentracije adsorbata u vodi, od sila adsorpcije i od veličine molekula adsorbata zavise stepen i brzina adsorpcije adsorbata.

Uklanjanje organskih materija iz vode se najčešće vrši adsorpcijom. Aktivni ugalj je neselektivan adsorbent, pa se i praćenje učinka adsorpcije vrši nespecifičnim analizama (BPK, HPK, TOC, TOX – ukupni organski halogenidi) kojima se obuhvata veliki broj različitih organskih materija, a lakše i jeftinije ih je izvesti nego meriti koncentracije pojedinačnih adsorbata. Organske materije koje utiču na miris, ukus i boju vode i niz drugih organskih jedinjenja, obično opasnih po okolinu: hlorovani fenoli, pesticidi, organski rastvarači, trihalometani, petrohemikalije, policiklični aromatski ugljovodonici, uklanjaju se aktivnim ugljem.

Neorganske materija opasne po okolinu kao što su arsen, barijum, kadmijum, hrom, selen, radionuklidi ne mogu se ukloniti aktivnim ugljem. Aktivni ugalj se može primeniti samo za uklanjanje olovo, žive i vodonik-sulfida.

Adsorpcija se izvodi na dva načina: putem kontakta adsorbenta sa dodatom otpadnom vodom, a zatim separacije zasićenog adsorbenta ili kontinualno propuštanjem otpadne vode kroz sloj adsorbenta.

Adsorpcija je reverzibilni proces i adsorbent se može regenerisati za ponovnu upotrebu. Regeneracija se obično ne isplati za male utroške adsorbenta. Regeneracija zavisi od cene adsorbenta, cene odlaganja otpadnog adsorbenta, postupka regeneracije, transportnih troškova.

Uklanjanje adsorbovanih materija žarenjem u posebno konstruisanim pećima na 870°C do 980°C,

često i uz uvođenje vodene pare u cilju bolje reaktivacije uglja, jeste najzastupljeniji postupak regeneracije aktivnog uglja.

Mnoge otpadne vode imaju veliku kiselost ili alkalitet pa bi njihovo ispuštanje ugrozilo živi svet u recipijentu, odnosno njihovo biološko prečišćavanje negativno bi uticalo na radnu mikrofloru. Kiselost i alkalitet otpadnih voda se neutralizacijom dovode u dozvoljeni opseg: za otpadne vode koje se ispuštaju u recipijent pH vrednosti je 6-8.5 ili 9, a u slučaju biološkog prečišćavanja se obično traži pH vrednost 6.5-8. Kiselost voda obično potiče od sumporne kiseline, a ona se najčešće neutrališe krečom, koji je jeftin ali je proces neutralizacije spor, a nastali kalcijum-sulfat je nerastvorljiv. Bolja ali i skuplja sredstva za neutralizaciju su natrijum-karbonat, natrijum-hidroksid, amonijak. Za neutralizaciju alkaliteta najjeftinija je sumporna kiselina ili CO₂. Najjeftinije rešenje je postojanje kiselo-alkalnih otpadnih tokova kojima se može obaviti bar delimična neutralizacija otpadne vode.

U industrijskim otpadnim vodama pojedine neorganske i organske supstance koje mogu da utiču na boju, miris i ukus vode, od kojih su mnoge i toksične, prevode se oksidacijom – dvovalentno gvožđe, dvovalentni mangan, vodonik-sulfid, formaldehid, fenoli, amini, merkaptani, hlorfenoli, pesticidi i cijanidi u jedinjenja koja daleko manje zagađuju okolinu. Hlor, vodonik-peroksid, kalijum-permanganat i ozon su najčešće primenjivani oksidanti. Od karaktera zagađenja koje se uklanja, reaktivnosti oksidanta, stvaranja sporednih produkata prilikom oksidacije, uslova čuvanja i rukovanja oksidantom, zavisi koja će se vrsta oksidanta upotrebiti. Cena oksidanta najčešće utiču na njegov izbor. Oksidacija se ne primenjuje za obradu otpadnih voda sa velikim sadržajem ukupnog zagađenja, preko 1%, jer su oksidanti neselektivni pa će pored oksidacije željene komponente oksidovati i sve druge materije koje se mogu oksidovati, što povećava utrošak oksidanta, a time i cenu postupka oksidacije.

Produvanjem vazduha ili vodene pare kroz otpadnu vodu mogu se ukloniti pojedine rastvorene materije. Usled razlike koncentracija materije koja se uklanja u otpadnoj vodi i gasu dolazi do prenosa mase iz otpadne vode u gas. Prethodnim podešavanjem pH vrednosti otpadne vode materija koja se uklanja dovodi se u stanje najpogodnije za uklanjanje gasom [1].

BIOLOŠKE METODE

Uklanjanjem suspendovanih i koloidno dispergovanih čestica taloženjem, ostaju netaložive koloidne čestice i rastvorene organske materije koje se iz vode uklanjaju sekundarnim prečišćavanjem, odnosno biološkim procesima prečišćavanja. Biološko prečišćavanje zasniva se na aktivnosti mikroflora koja u toku svog životnog ciklusa koristi organske i deo neorganskih materija iz otpadne vode, upotrebljavajući ih za održavanje životnih aktivnosti i za razmnožavanje. Posle prečišćavanja obavi se separacija mikroflora i prečišćene otpadne vode. Prečišćena otpadna voda sadrži malu količina organske nerazgradive materije, kao i produkte metabolizma koje je mikroflora izlučila u vodu. Biološkim prečišćavanjem se iz vode uklanja najveći deo organskog zagađenja ali je nije moguće u potpunosti prečistiti.

Biološki procesi prečišćavanja su isti kao i procesi samoprečišćavanja u prirodnim vodama. Razlika je u tome što kod bioloških procesa postoji veća ili manja kontrola rasta i razvoja mikroflora, pa su po tome slični procesima industrijske mikrobiologije. Od nje se razlikuju u nekoliko bitnih elemenata: mikroflora potiče iz prirodne sredine, a njen rast i razvoj se ne odvijaju u fiziološkim uslovima, koncentracija supstrata je obično preniska za optimalan rast i razvoj mikroflora, proces se vodi u cilju razgradnje organskih materija, a ne u cilju stvaranja biomase ili produkata metabolizma mikroflora.

Biološko prečišćavanje se najčešće koristi za uklanjanje organske materije iz otpadne vode i za uklanjanje azota iz otpadnih voda procesima nitrifikacije i denitrifikacije. Biološkim putem se može ukloniti i organska frakcija muljeva koji nastaju tokom primarnog prečišćavanja otpadne vode i razgraditi višak biomase mikroflora iz procesa biološkog prečišćavanja otpadne vode što se

naziva biološka stabilizacija muljeva ili digestija.

U zavisnosti od toga da li se koriste aerobni ili anaerobni mikroorganizmi razlikujemo aerobne i anaerobne biološke procese prečišćavanja. Razlika je u načinu biološke oksidacije organskih materija. Aerobni put oksidacije stvara veliku količinu slobodne energije i proizvode sa malim sadržajem energije. Anaerobni put daje produkte oksidacije sa velikim sadržajem energije, što ima za posledicu slabiji efekat prečišćavanja. On stvara malo slobodne energije, što usporava rast mikroorganizama i nastaje manje biomase, pa je proces anaerobnog prečišćavanja sporiji.

Zbog toga je aerobno prečišćavanje daleko zastupljenije od anaerobnog. Primenjuje se za prečišćavanje otpadne vode sa malom i srednjom koncentracijom organskog zagađenja. Aerobno prečišćavanje delimo na postupke sa suspendovanom mikroflorom i postupke sa imobilisanim slojem.

Anaerobni proces prečišćavanja se koristi za prečišćavanje otpadne vode sa mnogo većom koncentracijom zagađenja, odnosno za jako zagađene, najčešće industrijske otpadne vode. Anaerobno prečišćavanje je zasnovano na procesu metanskog vrenja organskog zagađenja otpadnih voda.

Proces anaerobnog prečišćavanja uspešno se može voditi i kontrolisati poznavanjem uslova rada bakterija metanskog vrenja kao što su: temperatura, pH, potrebe za nutrijentima, inhibitorne i toksične supstance [1].

ZAKLJUČAK

Prečišćene otpadne vode se ispuštaju u prijemnik (recipijent), pri čemu recipijent može da bude (i) atmosfera (isparena voda), (ii) zemljište, i podzemne vode, i (iii) površinske vode: vodotokovi i akumulacije vode. Daleko najčešći slučaj ispuštanja prečišćenih otpadnih voda je njihovo uvođenje u vodotokove i akumulacije slatke i slane vode, pri čemu se prečišćena otpadna voda razblažuje vodom recipijenta, a preostalo zagađenje uneto prečišćenom otpadnom vodom razgrađuje procesima samoprečišćavanja u recipijentu.

Važno je napomenuti da prilikom ispuštanja prečišćene otpadne vode u reku i druge vodotokove dolazi do smanjenja koncentracije rastvorenog kiseonika, čija se koncentracija može pratiti na terenu i eventualno ako dođe do smanjenja rastvorenog kiseonika ispod kritične koncentracije, mora se smanjiti količina unetog zagađenja, smanjivanjem količine prečišćene vode ili koncentracije zagađenja, odnosno povećanjem stepena prečišćenosti otpadne vode.

Važno je, takođe, da se cev za ispuštanje otpadne vode tako postavi da bude stalno uronjena, kako ne bi došlo do stvaranja pene na površini vode za nižih vodostaja, koja otežava difuziju kiseonika iz vazduha.

Sve manje količine raspoložive sveže vode željenih karakteristika uslovile su potrebu ponovnog korišćenja prečišćenih otpadnih voda. Za koje namene će se upotrebiti neka prečišćena otpadna voda zavisice od njenog kvaliteta, od zahtevanog kvaliteta vode za pojedine svrhe, raspoloživosti i cene sveže vode, cene transporta i prečišćavanja otpadne vode, itd.

LITERATURA

- [1] Dalmacija, B., Osnovi upravljanja otpadnim vodama, Štamparija „Stojkov”, Novi Sad (2010).
- [2] Gačeša, S., Klačnja, M., Tehnologija vode i otpadnih voda, Jugoslovensko udruženje pivara, Duga, Beograd (1994).
- [3] Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje, (“Sl. glasnik RS”, br. 67/11).
- [4] Uredba o izmenama i dopunama Uredbe o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje, (“Sl. glasnik RS”, br. 1/16).
- [5] Pravilnik o načinu i uslovima za merenje količine i ispitivanje kvaliteta otpadnih voda i sadržini izveštaja o izvršenim merenjima, (“Sl. glasnik RS”, br. 33/16).
- [6] Marinović, D., Stojanović, M., Popović, D., Purification of waters and elimination of organochloric insecticides by means of active coal. Journal of the Serbian Chemical Society. (2010);75(4):586-575.

- [7] Marinović, D., Prečišćavanje otpadnih voda fabrika za proizvodnju alkoholnih pića preko aktivnog uglja, Zbornik radova Vodovod i kanalizacija, glavni i odgovorni urednik Ninoslav Petrović, Tara: Akademska izdanja (2007), 173–184.
- [8] Marinović, D., Stojanović, M., Popović, D., Prečišćavanje otpadne vode i uklanjanje heksahlorcikloheksana aktivnim ugljem, Zbornik radova Ekološka istina, glavni i odgovorni urednik Zvonimir Stanković, Kladovo: Tehnički fakultet u Boru (2009), 104–107.
- [9] Marinović, D., Stojanović, M., Popović, D., Prečišćavanje otpadnih voda mesne industrije, Zbornik radova Vodovod i kanalizacija, glavni i odgovorni urednik Ninoslav Petrović, Drvengrad: Akademska izdanja (2009), 215–220.
- [10] Marinović, D., Rašljanin, R., Uticaj otpadnih voda Novog Pazara na kvalitet reke Raške, Zbornik radova Rizici i eko-bezbednost u postmodernom ambijentu, glavni i odgovorni urednik Rabe Biočanin, Novi Pazar: SaTCIP d.o.o. (2010), 447–452.
- [11] Marinović, D., Stojanović, M., Popović, D., Savić, V., Nikolić-Vujačić, V., Nikolić, S., Uticaj otpadnih voda opštine Raške i Baljevca na kvalitet reke Ibar, Zbornik radova Vodovod i kanalizacija, glavni i odgovorni urednik Ninoslav Petrović, Tara: Akademska izdanja (2013), 276-282.
- [12] Marinović D, Dimitrijević Z, Stojanović M, Nikolić S, Prečišćavanje otpadnih voda grada Kraljeva. Zbornik radova Vodovod i kanalizacija, glavni i odgovorni urednik Časlav Lačnjevac, Vrdnik; Akademska izdanja (2016), 267-275.
- [13] Marinović D, Dimitrijević Z, Stojanović M, Nikolić S, Prečišćavanje otpadnih voda grada Kraljeva, Tehnika (2016),(6), 926-933.