
TESTING AND CHARACTERIZATION OF SLUDGE FROM WASTEWATER TREATMENT

Matija Milošević

The Academy of Applied Technical and Preschool Studies – Department Niš, Serbia
matija.milosevic@akademijanis.edu.rs

Anica Milošević

The Academy of Applied Technical and Preschool Studies – Department Niš, Serbia
anica.milosevic@akademijanis.edu.rs

Sladjana Nedeljković

The Academy of Applied Technical and Preschool Studies – Department Niš, Serbia
sladjana.nedeljkovic@akademijanis.edu.rs

Bratimir Nešić

The Academy of Applied Technical and Preschool Studies – Department Niš, Serbia
bratimir.nesic@akademijanis.edu.rs

Novak Randelović

novak.90@hotmail.com

Abstract: The paper presents the procedure of examination and characterization of sludge from wastewater treatment. This procedure includes: sampling, identification with categorization of waste, characterization depending on the degree of danger, characterization of the subject waste as hazardous waste and determination of the concentration of hazardous substances, determination of physico-chemical and toxicological characteristics and effects on human health, determination of the impact on the environment and others procedures in accordance with the applied methodology and preparation of reports on waste testing. The testing and characterization process begins with sampling and ends with reporting. The goal of wastewater treatment is to obtain clean water, while sludge is produced as a by-product. Clean water returns to nature, and sludge goes to treatment and final disposal. The treatment can be: sanitary disposal, recycling using composting technology with the aim of obtaining compost or energy utilization as solid fuel or using anaerobic digestion with the aim of obtaining biogas.

Keywords: testing, characterization, waste sludge.

ИСПИТИВАЊЕ И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА МУЉА ИЗ ТРЕТМАНА ОТПАДНИХ ВОДА

Матија Милошевић

Академија техничко-васпитачких струковних студија – Одсек Ниш, Србија
matija.milosevic@akademijanis.edu.rs

Аница Милошевић

Академија техничко-васпитачких струковних студија – Одсек Ниш, Србија
anica.milosevic@akademijanis.edu.rs

Слађана Недељковић

Академија техничко-васпитачких струковних студија – Одсек Ниш, Србија
sladjana.nedeljkovic@akademijanis.edu.rs

Братимир Нешић

Академија техничко-васпитачких струковних студија – Одсек Ниш, Србија
bratimir.nesic@akademijanis.edu.rs

Новак Ранђеловић

novak.90@hotmail.com

Резиме: У раду је приказан поступак испитивања и карактеризације муља из третмана отпадних вода. Овај поступак обухвата: узорковање, идентификацију са категоризацијом отпада, карактеризацију у зависности од степена опасности, карактеризацију предметног отпада као опасног отпада и утврђивање концентрације опасних материја, одређивање физичко-хемијских и токсиколошких карактеристика и ефеката на људско

здравље, одређивање утицаја на животну средину и друге поступке у складу са примењеном методологијом и израду извештаја о испитивању отпада. Процес испитивања и карактеризације почиње узорковањем и завршава са извештавањем. Циљ пречишћавања отпадних вода је добијање чисте воде док као нуспроизвод настаје муљ. Чиста вода се враћа у природу, а муљ иде на третман и коначно збрињавање. Третман може да буде: санитарно депоновање, рециклажа применом технологије компостирања са циљем добијања компоста или енергетско искоришћење као чврсто гориво или применом анаеробне дигестије са циљем добијања биогаса.

Кључне речи: испитивање, карактеризација, отпадни муљ.

1. УВОД

Отпадни материјал из процеса пречишћавања отпадних вода треба да има висок удео издвојених сувих компонената и мали удео преостале влаге. Код већине постројења за пречишћавање отпадних вода продукти након процеса пречишћавања настају у виду муља са масеним уделом воде 96 – 98%. Избор поступака обраде и збрињавања муљева највише зависи од њихових карактеристика. Муљеви су, у општем случају, веома различити, нарочито муљеви након пречишћавања индустријских отпадних вода. Од количине муља и концентрације суспендованих честица највише и зависи начин обраде муља [1].

Компостирање је најједноставнији начин обраде биолошки разградивог муља а представља биохемијски процес чији је резултату стабилан производ који се назива компост и сличан је хумусу. Компост може да се користи и у пољопривреди за побољшање састава и квалитета земљишта. Једна од могућности је примена муља и пречишћене воде на пољопривредним пољима, под условом да не садрже тешке метале и друге штетне материје у недозвољеним количинама [1].

Муљеви отпадних вода могу се користити као секундарно гориво у индустријским и енергетским постројењима. У зависности од састава топлотна моћ суве материје ових муљева може износити до 13 MJ/kg. Након механичког третмана и сушења удео влаге овог отпадног материјала може се довести на вредност мању од 25%. Овако припремљен отпадни материјал представља изузетно квалитетно секундарно гориво [2].

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД

У процесима пречишћавања комуналних и индустријских отпадних вода количине и карактеристике насталог муља зависе од својстава и количине воде која се обрађује, типа постројења за пречишћавања и степена пречишћавања. Уобичајено је да муљеви отпадних вода садрже од 5 до 10% чврстог материјала. Овај материјал се састоје из минералних и органских компонената у којима се могу налазити патогени микроорганизми [2].

Муљеве који настају при третману отпадних вода потребно је обрадити тако да буду нешкодљиви по животну средину и смањити њихову запремину пре коришћења или коначног збрињавања. Трошкови обраде отпадних муљева су велики и могу износити и до 30% укупних трошкова обраде отпадних вода. Због тога је неопходно обратити посебну пажњу при пројектовању система за обраду и збрињавање муља. У односу на комуналне, индустријске отпадне воде су знатно компликованије за обраду због присуства загађујућих компонената различитог порекла. Свака грана индустрије продукује отпадне воде различитих карактеристика, што у знатној мери отежава њихову обраду и збрињавање на еколошки прихватљив начин нуспродуката који настају при њиховој обради [2].

Карактеристике муљева у значајној мери зависе од фазе обраде отпадне воде при којој настају. Сходно томе, отпадни муљеви се најчешће деле на:

- примарни муљ,
- секундарни или вишак активног муља који настаје при биолошкој обради, и
- терцијарни муљ [2].

Табела 1. Типични састав муља комуналних отпадних вода [3]

Врста муља	Састав муља				
	Азот (N) (%)	Угљеник (C) (%)	Однос C/N (-)	P ₂ O	Пепео (A) (%)
Примарни муљ	2,2-3,8	28,2-46,6	14,6-18,0	1,1-5,1	24,1-40,9
Активни муљ	2,3-4,9	30,3-44,0	5,7-14,6	3,6-11,1	29,7-34,8

Састав муља највише зависи од порекла отпадне воде. Уопште, отпадни муљ има следећи састав: органска компонента, нутријенти (N, P), микроорганизми (бактерије, вируси, протозое и др.), метали, токсичне органске компоненте и др [2]. У Табели 1, приказан је типичан саст муља пореклом од пречишћавања комуналних отпадних вода.

Поступци третмана муљева могу бити [1]:

- угушћавање (гравитационо, флотационо) односно повећање концентрације суспендованих честица и смањење запремине муља;
- стабилизација (анаеробна, аеробна), разградња муља (смањење концентрације суве материје);
- кондиционирање (додатак хемикалија, термичка обрада), промена у конзистенцији муља усмерена ка побољшању обезводњавања и повећања концентрације муља;
- обезводњавање (вакуум филтрација, центрифугирање, спори пешчани филтери), смањење запремине муља и формирање влажне муљне „погаче“;
- сушење или оксидација (спаљивање, сушење, оксидација влажним ваздухом), сушење или оксидација муљне погаче;
- одлагање (депоније, разбацивање по обрадивом земљишту, лагуне, море) или коришћење стабилизованог муља.

Према примењеној технологији, поступци прераде муља могу бити [1]:

- биолошки, у којима физичко-хемијску разградњу компоненте из муља врше живи организми (депоније, компостирање);
- технички (хемијски) поступци, код којих се физичко-хемијска разградња муља врши коришћењем хемијске енергије садржајне у муљу (сагоревање, пиролиза, хидролиза, гасификација);
- механички поступци, који имају за циљ само механичку трансформацију појединих компоненти или муља у целини.

Биолошки поступци обраде муља изводе се ради [1]: производње компоста, побољшања остатка муља за одлагање (механичко-биолошки поступци) и биолошке стабилизације остатка муља (поступак стабилизације).

Механичко-биолошка обрада муља заснива се на искуствима из развијених земаља и базира се на процесу механичке обраде муља, при чему се врши издвајање корисних компоненти из муља, као што су: метал, папир, пластика, неметал, штетне материје које није дозвољено одлагати на депоније [1]. Основне предности механичко-биолошке обраде муља су [1]:

- материјали који нису подесни за одлагање издвајају се и могу се одлагати на депоније неопасног отпада само у амбалажи од непропусног материјала;
- количина депонијског материјала у телу депоније се смањује;
- мања је продукција депонијског гаса;
- побољшава се збијање и густина муља.

За трајно решење муљева отпадних вода примењују се различите технологије и поступци. Муљеви отпадних вода најчешће се збрињавају [2]: одлагањем на уређене депоније, компостирањем након чега се примењују у пољопривреди за кондиционирање земљишта и спаљивањем у индустријским и енергетским постројењима.

Муљ је најрационалније обрадити компостирањем па га затим користити као органско ђубриво. Због високе температуре која се постиже у компостирању, муљ се стерилише са аспекта инфективности и његова примена није лимитирана. Једини ограничавајући фактор у његовој примени може бити присуство тешких метала. У том случају његова употреба у пољопривреди није дозвољена, али се може користити за ремедијацију девастираног земљишта огољеног пожаром, за побољшање квалитета земљишта непосредно уз друмске саобраћајнице и депонија шљаке, а уколико то није могуће, муљ се онда или одлаже на посебно изграђену и обезбеђену депонију или спаљује [4].

Спаљивање овог отпадног материјала у индустријским и енергетским постројењима је са еколошког аспекта једно од најприхватљивијих решења. Спаљивање у односу на остале методе има значајан број предности, али и одређене недостатке. Спаљивањем се смањује количина отпада у највећој могућој мери. Продукти који настају при спаљивању могу бити инертни материјали који се могу одлагати у животну средину. При спаљивању отпадног муља решавају се биолошки и физички аспекти, док је хемијски проблем решен само делимично. Овај проблем у највећој мери зависи од параметара сагоревања, специфичности ложишта, састава отпада, додатих реагенса и поступка обраде димних гасова. Спаљивање муља, поред употребе у пољопривреди или одлагања на депоније, представља коначно решење за његово трајно збрињавање. Муљ из постројења за третман отпадних вода када се додаје примарном гориву у мањој или већој мери мења његова својства као горива, а то су: количина произведене топлоте, потребна количина ваздуха за

сагоревање, запремина димних гасова, састав димних гасова, садржај прашине у димним гасовима, количина пепела и шљаке, као и емисија тешких метала. Због тога максимални удео отпадног муља не треба да буде већи од 5% у односу на капацитет постројења [1].

Тенденција је да муљ добије комерцијални карактер и уводи се појам референтног муља са карактеристикама приказаним у табели 2.

Табела 2. Референтни муљ [5]

Сува материја	6%
Органска материја	75% SM
Цинк	1000 mg/kg
Бакар	500 mg/kg
Никл	40 mg/kg
Жива	3 mg/kg
Кадмијум	3 mg/kg
Олово	200 mg/kg
Азот (укупни)	3,5% SM
P ₂ O ₅	3,5% SM
K ₂ O	0,2% SM

3. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

Испитивање и карактеризација отпадног муља из третмана отпадних вода обухвата: узорковање, идентификацију са категоризацијом отпада, карактеризацију у зависности од степена опасности (инертан, неопасан или опасан отпад и одређивање опасних карактеристика отпада), карактеризацију предметног отпада као опасног отпада и утврђивање концентрације опасних материја, одређивање физичко-хемијских карактеристика, одређивање токсиколошких карактеристика и ефеката на људско здравље, одређивање могућих утицаја на животну средину као и друге поступке у складу са примењеном методологијом и израду извештаја о испитивању отпада [6].

Процес испитивања и карактеризације отпадног муља почиње узорковањем и завршава са извештавањем. Извештај садржи следеће информације: податке о подносиоцу захтева (назив, адреса, име лица за контакт итд.) и опште податке (назив отпада, произвођач и власник отпада, опис поступка настајања отпада, идентификациони број узорка, количина отпада од које је извршено узорковање и физичко својство отпада) [6].

Класификација отпада је извршена према следећим критеријумима: 1) категорија отпада према листи категорија отпада (Q листа), 2) индексни број према каталогу отпада, 3) карактер отпада: опасан или неопасан, 4) Y ознака према листи категорија или сродних типова опасног отпада (Y листа), 5) C ознака према листи компонената које га чине опасним (C листа), 6) H ознака према листи карактеристика отпада које га чине опасним (H листа). Подаци о узорковању/узорку садрже следеће информације: 1) назив отпада, 2) локација на којој је извршено узорковање са GPS координатама, 3) идентификациони број узорковања, 4) име лица које је извршило узорковање, 5) начин и метода узорковања, 6) датум и време пријема узорка на испитивање, 7) остали подаци о узорку и напомене. Табела са резултатима испитивања садржи податке о параметрима као што су: садржај метала, садржај полихлорованих бифенила (PCB), садржај халогених елемената и сумпора и топлотна моћ [7].

Анализом извештаја о испитивању и карактеризацији отпадног муља утврђено је следеће [6]:

A) Општи подаци

- 1) Препоручена технологија коначног збрињавања – третман;
- 2) Назив отпада – отпадни муљ из третмана отпадне воде;
- 3) Власник отпада – ЈКП Водовод Шабац;
- 4) Поступак настанка отпада – Предметни отпад је настао из технолошког поступка прераде урбаних отпадних вода;
- 5) Идентификациони број узорка отпада – 2806210901;
- 6) Количина отпада за узорковање – 120 t (тона);
- 7) Физичко својство отпада – чврста материја;

B) Класификација отпада

- 1) Категорија отпада према листи категорије отпада (Q листа) - Q16 (отпади који нису посебно специфицирани у каталогу);

- 2) Индексни број отпада према каталогу отпада: 19 08 05 – муљеви од третмана урбаних отпадних вода;
- 3) Карактер отпада – неопасан отпад;
- 4) Y ознака према Листи категорија или сродних типова опасног отпада према њиховој природи или активности којом се стварају (Y листа) – не припада Y листи;
- 5) C ознака према Листи компонената отпада које га чине опасним (C листа) – не припада C листи;
- 6) H ознака према Листи карактеристика отпада које га чине опасним (H листа) – не припада H листи);
- 7) Напомена: Према Правилнику о категоријама, испитивању и класификацији отпада, Службени Гласник РС, 56/2010 а на основу извршеног испитивања, предметни отпад се класификује као неопасан отпад;

Резултати физичко-хемијских испитивања предметног отпада [6]:

- 1) Опис узорка – муљ, црне боје, непријатног мириса;
- 2) Садржај воде – 74%; губитак жарењем 86%.

Садржај метала (mg/kg), показује који су метали присутни у датом узорку предметног отпада. Примењене методе испитивања су: EN 15169:2007 и EPA 3051A/EPA 6010c:2007. Присутни су следећи метали: Арсен, Баријум, Кадмијум, Хром, Бакар, Жива, Никл, Олово, Антимон, Цинк, Ванадијум, Берилијум, Калај и Кобалт. Све измерене вредности садржаја метала су далеко испод референтних вредности, односно вредности за Баријум и Цинк немају задате референтне вредности, што значи да у погледу садржаја метала узорак нема опасних карактеристика [6].

Садржај полихлорованих бифенила (PCB) (mg/kg) је испитиван по Стокхолмској конвенцији о испитивању PCB-а према којој се препоручује испитивање 8 когенера полихлорованих бифенила: PCB 28, PCB52, PCB 101, PCB 118 PCB 138, PCB 153 и PCB 180. Ови когенери су изабрани зато што се углавном они у највећој концентрацији налазе у животној средини, храни и пићу. Примењена метода испитивања је: EN 15308:2008. Све измерене вредности у узорку су испод 0,05 mg/kg и далеко су испод референтних вредности што значи да у погледу садржаја PCB-а, узорак нема опасне карактеристике [6].

Садржај халогених елемената и сумпора (%) обухвата: Флуор, Хлор, Бром и Сумпор. Примењена метода је: DML 5.6:2014. Све измерене вредности су у границама или испод референтних вредности и нема директне опасности по животну средину и здравље људи [6].

Лако испарљиви угљоводоници (mg/kg) обухватају: Бензен, Толуен, Ксилен, Етилбензен, Стирен и ВТЕХ (укупно). Примењена метода је: EPA 5021A:2014. Све измерене вредности су у границама или испод референтних вредности и нема опасности по животну средину и здравље људи [6].

Топлотна моћ отпадног муља износи мање од 1MJ/kg што је мање од референтне вредности 8 MJ/kg [8] која се односи на граничне вредности које су предвиђене за суспаљивање [9,10]. На основу резултата испитивања и упоређивањем са референтним вредностима [11] закључак је да по својим физичким и хемијским особинама испитивани узорак отпадног муља не прелази референтне вредност па не представља опасан отпад [6,12].

4. ЗАКЉУЧАК

При третману отпадних вода настају муљеви које је потребно збринути на безбедан начин по човекову животну и радну средину. У зависности од порекла у муљевима се налази одговарајућа количина полутаната који загађују животну средину и изазивају непријатне мирисе. У односу на муљеве комуналних отпадних вода, муљеви индустријских отпадних вода су знатно компликованији за обраду због присуства загађујућих компонената различитог порекла. Пре завршног третмана потребно је извршити редукујућу продукцију отпадног муља, како би се смањила количина материјала којег треба збринути. Спаљивање се сматра једним од еколошки најприхватљивијих решења за трајно збрињавање муља добијеног из процеса обраде отпадних вода. Један од највећих проблема при спаљивању је настајање диоксида, фурана и других остатака из реакција које се одвијају на нижим температурама. Због тога је неопходно да су, при процесу сагоревања, температуре довољно високе како би се у што већем обиму елиминисале штетне компоненте из димних гасова. Једно од најприхватљивијих решења за збрињавање муљева из постројења за пречишћавање отпадних вода је њихово спаљивање у пећима за производњу цемента. С обзиром да су температуре у ротационим пећима високе (у појединим зонама и до 2000°C), у овим постројењима се могу спаљивати муљеви на безбедан начин по животну и радну средину.

ЛИТЕРАТУРА

Извештај о испитивању отпада број 2806210901 (2018)., Анахем ДОО Лабораторија, Београд.

- Јањушевић Стрижак, М. (2016). Одрживо управљање отпадним продуктима из постројења за производњу воде за пиће, ЈКП Београдски водовод и канализација, Београд,
- Китановић, Р., & Шуштершич, В. (2013). Третман отпадних вода, Факултет инжењерских наука, Крагујевац,
- Кнежевић, Д., et al. (2018). Карактеризација и управљање индустријским отпадом, Рударско-геолошки факултет, Београд.
- Милошевић, А., Нешић, Б., & Милошевић, М. (2021). Testing and Characterization of Waste Tetra Pack Packaging, Зборник радова 2021, Академија техничко-васпитачких струковних студија–одсек Ниш.
- Нешић, Б., & Маленовић Николић, Ј. (n.d). Превентива депонијских пожара, 18. Конференција са међународним учешћем: Заштита од пожара и експлозија, Висока техничка школа струковних студија, Нови Сад.
- Нешић, Б., & Цветановић, Б. (2021). Landfill Gas Energy Potential Exploitation Technologies, Зборник радова 2021, Академија техничко-васпитачких струковних студија–одсек Ниш.
- Орловић, М. (2021). Испитивање и карактеризација отпадне тетра пак амбалаже у циљу повећања степена рециклаже, завршни мастер рад, Академија техничко-васпитачких струковних студија, Ниш,
- Повреновић, Д., & Кнежевић, М. (2013). Основе технологије пречишћавања отпадних вода, Технолошко металуршки факултет, Београд,
- Симић, С., & Станојевић, М. (2011). Разматрање могућности употребе отпадног муља у индустрији цемента, Машински факултет Београд.
- Симичић, Х. (2002). Процеси обраде отпадних вода, Еко-Зелени, Тузла,
- Nesic, V., et al. (2022). Energy Losses due to Disposal of Municipal Solid Waste at the Regional Sanitary Landfill in Jagodina during 2021, Symposium: Air Protection and Comunal Landfill Management, Udruženje zaštite životne sredine, Beograd.