

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Технологије и постројења за пречишћавање воде и ваздуха

Број индекса: 325/2017

Тамара Н. Богдановић

Прорачун потенцијала биогаса из постројења за третман отпадних вода за територију Србије по IPCC методологији

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Вања Шуштершич, ред. проф. - ментор

2. _____

3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да опише поступке третмана отпадних вода. При третману отпадних вода настаје биогаз који може да се искористи у енергетске сврхе. Кандидат треба да на основу процедура дефинисаних ИПСС методологијом опише начин прорачуна количине произведеног метана у процесима третмана отпадних вода, како комуналних тако и индустријских. Након тога, на основу података за територију Србије треба да изврши прорачун продукције метана из постројења за третман отпадних вода.

Препоручена литература:

- [1] Milasinovic M. , Jovicic N., Boskovic G., Sustersic V. and Babic M.: "Overview of the methane emissions from domestic wastewater in the Republic of Serbia", Desalination and Water Treatment, Vol. 57, No. 35, pp. 16353-16362. Taylor & Francis, 2016, ISSN 1944-3994
- [2] Josijević M., Šušteršič V., Gordić D., Babić M.: "Comunal Wastewater Biogas Energy Potential in Kragujevac", „Енергија - економија - екологија“, бр. 3-4, год. XVI, стр. 315-319, 2014
- [3] IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol. 5 Waste Chapter 6, Available from: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>>

Крагујевац, 04. 03. 2019.

Ментор:
др Вања Шуштершич, ред. проф.

Прорачун потенцијала биогаза из постројења за третман отпадних вода за територију Србије по IPCC методологији

Резиме

У оквиру овог мастер рада описан је прорачун потенцијала биогаза из постројења за третман отпадних вода за територију Србије по IPCC методологији. У првом делу рада описани су поступци третмана отпадних вода. Из процеса обраде муља настаје биогаз који може да се користи у енергетске сврхе. У даљем раду је описан начин прорачуна количине продукovanог метана у процесима пречишћавања отпадних вода на основу дефинисаних процедура IPCC методологије. Након тога, је на основу података за територију Србије извршен прорачун продукције метана. На крају рада дат је коментар за добијене резултате.

Кључне речи: отпадне воде, третман, муљ, биогаз, метан, IPCC методологије.

Calculation of biogas potential from wastewater treatment plants for the territory of Serbia according to IPCC methodology

Abstract

This master thesis describes the calculation of biogas potential from wastewater treatment plants for the territory of Serbia according to the IPCC methodology. The first part of the paper describes the treatment of wastewater. The sludge treatment process generates biogas that can be used for energy purposes. The following describes the method of calculating the amount of methane produced in wastewater treatment processes based on the defined procedures of the IPCC methodology. Subsequently, based on the data for the territory of Serbia, the calculation of methane production was made. At the end of the paper, a comment was made on the results obtained.

Keywords: wastewater, treatment, sludge, biogas, methane, IPCC methodologies

Садржај:

Увод.....	1
1. Отпадне воде	3
1.1 Настанак отпадних вода	3
1.2 Физичко – хемијске карактеристике отпадних вода	4
1.2.1 Физичке карактеристике	5
1.2.2 Хемијске карактеристике	5
1.2.3 Биолошке карактеристике.....	7
2. Третмани отпадних вода	8
2.1 Механички поступци у третману отпадних вода.....	11
2.1.1 Решетке	13
2.1.2 Песколови (хватачи песка).....	14
2.1.3 Хватачи масти и уља	16
2.1.4 Таложници	16
2.1.5 Примарни (претходни) таложници	17
2.1.6 Секундарни таложници	17
2.1.7 Уређаји за осредњавање карактеристика отпадних вода.....	18
2.2 Биолошки процеси пречишћавања отпадних вода	18
2.2.1 Аеробни процес пречишћавања отпадних вода.....	20
2.2.2 Анаеробни процеси пречишћавања отпадних вода.....	22
2.3 Хемијски поступци у третману отпадних вода.....	24
2.3.1 Хемијско таложење.....	24
2.3.2 Јонска измена	25
2.4 Остали хемијски поступци пречишћавања	25
3. Биогаз	28
3.1 Кораци процеса	29
4. Продукција биогаза из отпадних вода.....	33
4.1 Емисија метана CH_4 из кућних отпадних вода	35
4.1.1 Временски период конзистенције	38
4.1. 2 Q_A/Q_C , комплетност, извештавање и документација.....	39
4.2 Индустијске отпадне воде.....	40
4.2.1 Метода.....	40
4.2.2 Временски период конзистенције	43

4.2. 3Q _A /Q _C , комплетност, извештавање и документација.....	43
5. Студија случаја за Србију	45
5.1 Крагујевац.....	47
5.2 Аранђеловац	47
5.3 Горњи Милановац.....	47
5.4 Општина Топола, Рача, Баточина, Лапово и Кнић	48
6. Прорачун емисије метана за територију Србије	49
6.1 Коментар резултата	54
7. Закључак	56
8. Литература.....	57

Увод

„Вода је основни принципи узор свега што постоји, из које је све настало и у коју се све враћа. Она је бесконачна, вечна материја која се креће, згушњава и разређује и тако настају све појаве. Где нема воде- ту нема живота. То је прва потреба човека, коју он мора трајно да обезбеди, пре него што почне да гради своје станиште“

Талес из Милета, математичар, грчки филозоф, физичар и астроном

Вода има велики значај за људе, екосистеме и планету у целини. Она је једна од најважнијих основних материја у природи и неопходна је за одржавање биљног, животињског и људског света. Колика је њена важност за одржавање живота говори и то да су прва насеља управо појавила у близини река, језера и мора. На тај начин су настале и прве цивилизације поред река Еуфрат, Тигрис, Нил, а касније и грађевине којима је вода допремана до места, као што су царски канал у Кини и објекти за наводњавање у долини река.

Вода има најразличитију примену, како за пиће, припрему хране, за одржавање личне, стамбене и урбане хигијене, користи се такође и у пољопривреди, риболову рекреацији итд.

Повећањем броја становника и развојем индустрије, дошло је до повећане потребе за водом, што је условило повећану загађеност воде, као и њену несташицу. Вода се загађује пре свега неадекватним коришћењем, бацањем разних отпадака који садрже органске и неорганске материје, а такође и велики утицај имају и токсичне хемикалије и минерали, пестициди или неадекватна решења система канализације. Загађење воде се јавља на свим подручјима кроз која она пролази, у атмосфери и ваздуху, на тлу и у земљи. Загађење воде може бити физичко, хемијско и биолошко.

Ради заштите квалитета воде и заштите од њеног штетног деловања (поплаве и др.), стварају се услови изградњом водопривредних система, који спадају међу најсложеније творевине. За функционисање једног оваквог система потребно је уложити велика материјална средства. Процеси пречишћавања отпадних вода насеља, обухватају више повезаних поступака пречишћавања, у чијем су концептирању узети у обзир следећи чиниоци: квалитет сирове воде, захтев у погледу квалитета пречишћене отпадне воде и погодност примене датих поступака пречишћавања отпадне воде у пракси, под техничким и економским условима. Системи пречишћавања и испуштања веома се разликују између земаља. Поред тога, третмани и системи испуштања отпадних водасе разликују између руралних и урбаних корисника, као и између урбаних корисника са високим приходима и урбаних корисника са ниским приходима, [1].

Насеља се групишу према величини, а самим тим је то и груписање према количини потрошене воде по насељу, на основу чега се и одређује тип процеса пречишћавања отпадних вода насеља. У неким подацима се налази да чак 95% воде доспева у отпадне воде.

Степен пречишћавања отпадних вода у већини земаља није исти. Индустријске отпадне воде се у неким случајевима испуштају директно у резервоаре, док велики индустријски објекти могу имати и свој комплекс. Отпадне воде из домаћинства се обрађују у централизованим постројењима, септичким јамама или се одлажу унутар неконтролисаних лагуна или се испуштају у водене токове, кроз отворену или затворену канализацију. Најчешћи третмани отпадних вода у развијеним земљама су аеробни третмани из централизованих постројења и постројења за пречишћавање отпадних вода из домаћинства и индустрије.

Комуналне отпадне воде као биомаса се у данашње време све више сматрају одличним извором енергије. Резултат анаеробне дигестије биомасе је биогас (55 – 75 % CH_4). Биоенергетски потенцијал из комуналних отпадних вода може да се процени коришћењем IPCC 2006 модела. Коришћење биогаса као извора енергије пружа економски, еколошки и здравствену предност.

Отпадне воде могу бити значајан извор метана (CH_4) када се третирају или одлажу анаеробно. Такође могу бити извор азотних оксида (N_2O). Емисија угљен-диоксида (CO_2) из отпадних вода се не узима у разматрање по IPCC методологији јер има биогено порекло и не сме се укључити у националне укупне емисије. Отпадне воде у затвореним подземним канализацијама се не сматрају значајним извором метана, док је код отворених канализација другачије. Пошто су отворене и подложне загревању Сунца, и отпадна вода у канализацији може бити стагнирајућа, при анаеробним условима долази до емисије метана. За сада само неколико земаља има овај податак, колики је степен производње метана.

Са падом количина фосилних горива, данас је важно обратити пажњу на равномерну и економичну употребу постојећих ограничених извора и на откривању нових технологија као и на коришћењу обновљивих извора енергија као што је биомаса, односно на могућност коришћења енергије из отпадних вода.

1. Отпадне воде

Вода се у природи појављује у сва три агрегатна стања, течном, гасовитом и чврстом. Она је најраспрострањенија материја и чини 71 % површине Земље. Слатка вода чини само 2,4% од укупне количине и она се може користити за људске потребе. Највећи део слатке воде је заробљен у леду, док је остатак у подземним водама која се и најчешће користе као изворишта воде за пиће. Један део слатке воде се налази и у атмосфери и сматра се најчистијом, али се у последње време то доводи у питање због сталног повећања загађења атмосфере.

Мали део воде може данас да се без проблема користи за пиће или за одржавање биљног света, посебно због свести колико свакодневно човек има утицаја на њено загађење. Вода је у основи хемијско једињење кисеоника и водоника, али се као таква никад не налази у природи. Она представља раствор различитих супстанци, као што су CO_2 , O_2 , N_2 , NH_3 итд.

Природне воде могу имати различите карактеристике у зависности од свог порекла. Разлике настају због физичко – хемијских и биолошких процеса који се у њима дешавају, због међусобног мешања различитих вода, због промене хидро – метеоролошких услова, као и других фактора, [1].

1. 1 Настанак отпадних вода

Отпадним водама се сматрају воде које су искоришћене за одређену сврху и том приликом се и њихов састав мења под утицајем различитих загађивача. Током употребе се мењају њене физичке, хемијске и биолошке карактеристике, тако да она постаје неупотребљива у њеној основној намени. Канализацијска вода јесте она која се одводи канализацијским каналима и може да се састоји од неколико врста отпадних вода. Према пореклу разликујемо неколико врста отпадних вода, а то су:

- кућне или санитарне отпадне воде: потрошне и фекалне;
- индустријске отпадне воде: загађене и условно чисте;
- атмосферске воде: од кише, снега и прања улица;
- процеђене воде: од процеђивања подземних вода, [2].

Кућне отпадне воде или мешавине кућних и индустријских отпадних вода и/или атмосферских вода називају се и комуналним отпадним водама.

- *Кућне отпадне воде* обухватају воде из купатила и кухиње за испирање санитарних уређаја и од прања. То су воде које су искоришћене за обављање основних потреба као што је прање посуђа, припремање хране, производњу намирница, прање рубља, одржавање личне хигијене и воде које потичу из санитарних чворова куће (фекалне воде). Ове воде се састоје из 99,9% воде и 0,1% других материја које су пресудне за санитарно-хигијенско стање истих. Поред материја у води које су органског и минералног карактера, она још садржи и значајне количине папира, сапуна и других

средстава за прање, отпадака од хране и великог броја других отпадних материја. Органске материје подложне су аеробној и анаеробној разградњи, а делимично и минерализацији. Због процеса разградње ове воде су непријатног мириса, а такође и боје.

- *Индустријске отпадне воде* су оне воде које су искоришћене у технолошким процесима и више не одговарају првобитној употреби, а поједине се могу користити у рецикулацији за друге сврхе. Користе се и у помоћним операцијама приликом прања апарата, уређаја, хлађења у измењивачима топлоте код термоелектрана и нуклеарним електранама, транспорта сировина и слично. Постоји велики број по карактеру различитих индустријских отпадних вода, које се деле у зависности од технологије производње, па тако имамо: (а) биолошки разградиве или компатибилне, које се могу мешати са кућним отпадним водама; (б) биолошки неразградиве или инкомпатибилне, које се не мешају са кућним отпадним водама без претходног пречишћавања. У отпадним водама може се појавити велики број разноврсних загађујућих материја као што су неорганске соли, микроорганизми, тако и токсичне материје као што су цијаниди, тешки метали, киселине, радиоактивне материје. Већина ових вода делује агресивно на материјале који се најчешће примењују за изградњу канализационе мреже. Агресивност највише зависи од рН вредности, неких соли и гасовитих продуката. Битно је и да се корозија челика одвија у присуству соли бакра, олова, никла и калаја.
- *Атмосферске воде* или *кишне* су воде настале приликом атмосферских падавина (киша и снег). Ове воде никада нису чисте у градским условима, зато што се у каналима сливају и отпадне воде од прања уличних површина, тротоара. Количина и квалитет ових вода зависи од интензитета и учесталости падавина, интензитета моторног саобраћаја, врсте површинске обраде терена и саобраћајних површина, загађења атмосфере и од климатских услова. Спирањем са појединих локација, као што су индустријска постројења, вода са собом носи значајне количине арсена, бакра, олова. Такође, и са асфалтних површина долази до спирања нафтних продуката.
- *Процеђене воде* су подземне воде које продиру у канализациону мрежу преко цевних спојева, пукотина, кућних прикључака и прикључних цеви на поједине објекте. По свом квалитету су најчистије, али када су у мешавини са санитарним водама, могу да поремете биолошко пречишћавање на постројењима. Зато је веома битно да се процени количина отпадних вода због контроле пропусне моћи канала и прорачуна погонских трошкова пумпних станица и уређаја за пречишћавање отпадних вода, [3].

1.2 Физичко – хемијске карактеристике отпадних вода

Подела карактеристика отпадних вода је на физичке, хемијске и биолошке.

1.2.1 Физичке карактеристике

Најзначајнији физички параметри су садржај суве материје, боја, мирис и температура воде. Поред њих значајни су и параметри као што су мутноћа, укус, електропроводљивост и садржај флотирајућих материја.

Сува материја (СМ) се дефинише као остатак након сушења узорка на 103 – 105 °С. Сува материја се филтрацијом преко мембране одговарајућег пречника пора, обично 0,45µm, раздваја на суспендоване честице и филтрат који чине колоидне честице и раствор. Посебно се одређује и фракција суспендованих честица која се лако таложи и та фракција је приближна мера количина талога (муља) која би доспела у реципијент и која се уклања у уређајима заталожене.

Боја „свеже“ отпадне воде је обично сиве боје, али она може имати и сасвим другу боју у зависности од индустрије, док боја „одлежалих“ отпадних вода, након утрошка целокупног раствореног кисеоника деловањем аеробних микроорганизама и након настанка анаеробних услова, прелази у црну,

Мирис отпадних вода потиче од гасова који настају у току процеса распада органске материје. Мирис индустријских отпадних вода је најчешће карактеристика неког технолошког процеса.

Температура битно утиче на биосвет водотокова, јер се испуштају загрејане отпадне воде, које штетно делују, а при вишим температурама се смањује растворљивост кисеоника у води, [1].

1.2.2 Хемијске карактеристике

Постоји низ различитих хемијских карактеристика отпадних вода, посебно када се говори о пореклу где нека од тих карактеристика може бити везана и за постојање неког тешког метала.

Садржај **органске материје** представља једну од најзначајних карактеристика. Приликом анализе обично се одређује укупан садржај, а ређе на поједине групе органских материја или на специфична једињења. Битно је знати који део органске материје је биоразградив аеробном микрофлором водотокова у који се испуштају отпадне воде, јер смањују растворени кисеоник и на тај начин угрожавају живи свет водотокова. Из тог разлога се одређује биохемијска потрошња кисеоника - ВРК (*eng. Biochemical oxygen demand – BOD*). Као мера органских материја којемогу да буду биолошки оксидисане одређује се хемијска потрошња кисеоника – НРК (*eng. Chemical oxygen demand – COD*) и укупан органски угљеник - ТОС (*eng. Total Organic Carbon – TOC*), [1].

Биохемијска потрошња кисеоника (ВРК)

Количина кисеоника која је потребна за оксидацију коју врше аеробни микроорганизми, назива се биохемијска потрошња кисеоника и дефинише степен загађености воде органским једињењима. Та количина кисеоника пропорционална је количини присутних органских материја. Испитивање се врши помоћу хетеротрофних микроорганизама, у тами на 20 °C у одређеном временском периоду. Најчешће се одређује $ВРК_5$ који показује потрошњу у првих пет дана и вредности износе приближно 70 – 80 % ВРК.

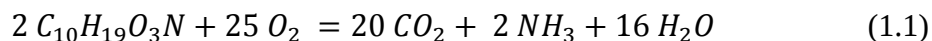
Потребно је знати потрошњу кисеоника за трансформацију угљеника у азот. Састоји се из две фазе и прва фаза у којој долази до оксидације угљеника до CO_2 и водоника до воде траје релативно кратко од 7 до 10 дана, док је друга фаза у којој азот оксидира до нитрита, а затим до нитрата – нитрификација, нешто дуже траје.

Присутност биолошки неразградивих материја у отпадној води манифестује се већом вредносћу НРК у односу на ВРК, и углавном су то целулоза, угљена прашина, лигнит, танин и већина синтетичких органских једињења, [4].

Хемијска потребна количина кисеоника (НРК)

Још два такође битна показатеља концентracије органских компонената су хемијска потребна количина кисеоника (НРК) и укупна потребна количина кисеоника (УРК). НРК се дефинише као хемијски потребна количина кисеоника за оксидацију органских компоненти и неорганских соли и изражава се потрошњом O_2 у mg/l . Најбољи показатељ је теоријска вредност и одређује се преко стехиометријских једначина реакције оксидације и карактерише је оксидација компонената само у CO_2 , H_2O и NH_3 , [4].

Испитивање у лабораторисјким условима се врши бихроматном оксидацијом у јако киселом раствору. Хемијска потребна количина кисеоника се може одредити на основу реакције потпуне оксидације $C_{10}H_{19}O_3N$:



Хемијска потребна количина кисеоника се рачуна као:

$$НРК = c \cdot m_{O_2} \cdot \left[\frac{kg}{m^3 OV} \right] \quad (1.2)$$

где је:

c - концентracија органских задрљања у води $\left[\frac{kg C_{10}H_{19}O_3N}{m^3 OV} \right]$, [1].

Укупан органски угљеник (ТОС)

Укупан органски угљеник дефинише се као мера садржаја органски везаног угљеника у отпадној води и одређује се мерењем количине CO_2 насталог оксидацијом органског угљеника. Он је бољи показатељ садржаја органских материја у отпадној води у односу на ВРК и НРК, јер одређивање укупног садржаја не зависи од степена оксидисаности органских материја. Пошто ТОС не даје исте резултате као ВРК и НРК није их могуће заменити њиме, [4].

Поред познавања садржаја органских материја у отпадној води, потребно је знати и нека од најважнијих органских једињења која такође битно утичу на екосистем. Нека од тих једињења су: протеини, угљени хидрати, уља и масти. Отпадне воде садрже и пестициде и феноле, који су продукти многих индустрија. Такође, из индустрија се могу појавити и велике концентрације тешких метала као што су: олово, кадмијум, хром, жива итд. Прекомерно уношење азота и фосфора у отпадне воде изазива прекомеран раст воденог биља и такозвану еутрофикацију („забаривање“) водотокова. Још једна битна карактеристика која утиче на отпадне воде је рН вредност, било да је она висока или ниска отежава пречишћавање и негативно утиче на екосистем, [1].

1.2.3 Биолошке карактеристике

Ради одређивања квалитета отпадних вода пре и после пречишћавања битно је знати одређене биолошке карактеристике. Да би се утврдио санитарни квалитет воде, потребно је знати који индикаторски микроорганизми и у ком броју се налазе у води. Ова испитивања су битна јер су она прави показатељ токсичности отпадне воде из биосвета водотокова. За биолошке тестове се користе одређене групе организама: планктон, алге, рибе, итд., [1].

2. Третмани отпадних вода

Под управљањем отпадним водама, сматрамо скуп објеката и мера које служе за што брже одстрањивање загађених вода из људске околине, уз што боље санитарне, техничке, технолошке и економске захтеве. Систем одстрањивања се састоји из неколико фаза:

- сакупљање отпадних вода у урбаним и индустријским срединама;
- транспорт до места пречишћавања;
- чишћење до степена одређеног законима;
- испуштања пречишћене воде у реципијент, [2].

Најбитнији задатак канализације јесте да у што краћем временском року и најкраћим путем одстрани отпадну воду из наше околине до места пречишћавања и коначног испуштања. Задатак је такође и да пречисти те скупљене воде, уклони органске материје и индустријске загађиваче до одређеног степена који ће заједно са прописаним стандардима гарантовати чистоћу.

Системом за одвођење отпадних вода се назива систем који се састоји од низа мера повезаних у целину који се односе на квалитет сирове отпадне воде и предности примене поступака третмана отпадних вода у пракси. Пречишћавање отпадних вода обавља се комбинацијом различитих физичких, хемијских и биолошких поступака и операција за уклањање чврстих загађивача и органских материја.

Поступци који се користе припречишћавању ефлуента обухватају:

- механичке поступке (претходна прерада);
- физичко – хемијске поступке;
- биолошко пречишћавање;
- прерада муља, као концентрованог отпада.

Канализација може бити отворена или затворена. У урбаним подручјима земаља у развоју и неким развијеним земљама, канализациони системи се могу састојати од мрежа отворених канала, олука и јарка, који се називају отвореним канализацијама. У већини развијених земаља и у урбаним срединама са високим приходима, канализација је обично затворена и под земљом. Отпадне воде у затвореним подземним канализацијама не сматрају се значајним извором метана. Другачија је ситуација за отпадне воде у отвореним канализацијама (каналима), зато што је она подложна загревању услед дејства сунчевог зрачења и уколико је отпадна вода у канализацији стагнирајућа, при анаеробним условима омогућава се настанак и емисија метана.

На слици 2.1 приказани су различити начини пречишћавања и испуштања отпадних вода.

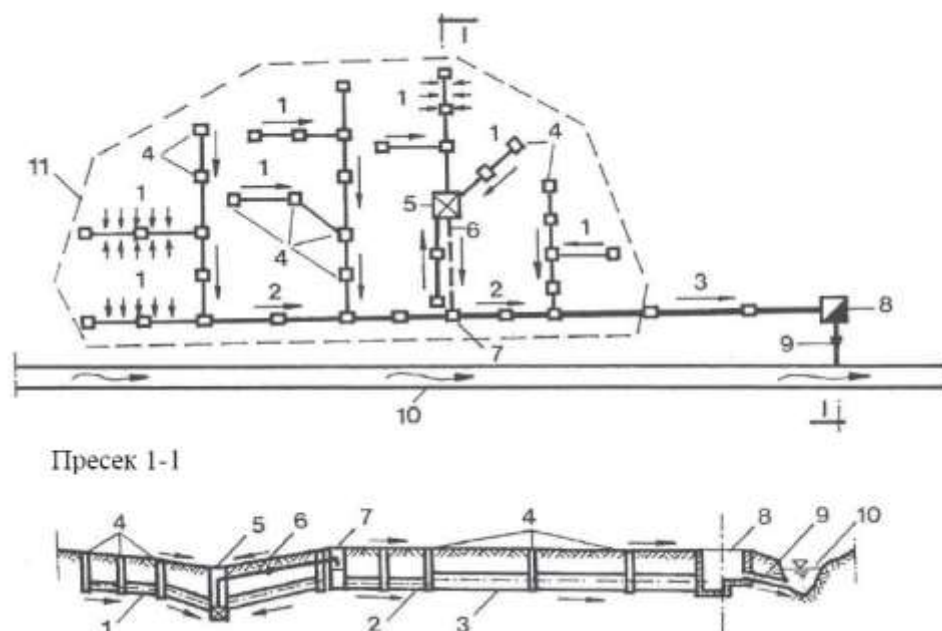


Слика 2.1 Системи третмана отпадних вода и пут одстрањивања, [5]

Одвођење отпадних вода системом јавне канализације функционално је повезано са водоснабдевањем. Да би канализација испунила све захтеве потребно је изградити читав низ објеката и канала како би био формиран један канализациони систем. Групе објекта који чине систем су (слика 2.2):

- *Канализациона мрежа*, односно споредна (секундарна) и главна (примарна) за сакупљање употребљених и атмосферских вода. Састоје се од колектора или канализацијских цеви, а то су цеви или канали одговарајућег облика, углавном затворен и углавном никад испуњен до врха, који служе за одвод отпадних и атмосферских вода. Могу бити још и колектори отпадних вода из домаћинства, колектори за прикупљање атмосферских отпадних вода, мешовити колектори, примарни (главни), секундарни (споредни) и лателарни (бочни) колектори, [6].
- *Грађевинске канализационе мреже* (пумпне станице, улазно и прекидно коло, преливне грађевине, итд.). Њима се обезбеђује исправно функционисање.
- *Постројења за пречишћавање отпадних вода* при упуштању у реципијент (скуп поступака и радњи којима се отпадне воде пречишћавају на степен који је у складу са прописаним стандардима).

- *Испусти*, објекти којима се пречишћене или непречишћене отпадне воде послепречишћавања испуштају у природни реципијент.



Слика 2.2 Дефиницијска шема система одвођења отпадних вода

1 - споредни колектори; 2 - главни колектор; 3 - главни одводни колектор; 4 - улазна окна; 5 - пумпна станица; 6 - потисни цевовод; 7 - прекидно окно; 8 - уређај за пречишћавање; 9 - испуст; 10 - пријемник; 11 - граница подручја, [6]

Постоје два система пречишћавања отпадних вода, а то су централизовани и децентрализовани. Централизовани систем за пречишћавање отпадних вода, познат и као конвенционални третман је комбиновани процес коагулације, флокулације, седиментације, филтрације и дезинфекције. Он третира воду на централним локацијама и онда се тако пречишћена вода дистрибуира кроз наменске дистрибутивне мреже, [5].

Централизоване методе пречишћавања отпадних вода могу се класификовати као примарно, секундарно и терцијарно чишћење. У примарном третману, физичке баријере отклањају веће чврсте материје из отпадних вода. Преостале честице се након тога остављају да се слегну. Секундарна обрада се састоји од комбинације биолошких процеса који промовишу биоразградњу микроорганизама. Они могу укључивати аеробне базене за стабилизацију, млазне филтере и процесе активног муља, као и анаеробни реактори и лагуне. Терцијарно чишћење се користи за додатно чишћење отпадна вода од патогена, загађивача и других хранљивих материја као мешавина азота и фосфора. Ово се постиже користећи једну или комбинацију процеса који укључују базене за зрење, биолошке процесе, пре филтрирање, адсорпцију угљеника, јонску измену и дезинфекцију.

Седимент се формира у свим примарним, секундарним и терцијарним фазама обраде. Муљ који је произведену току примарног третмана се састоји од чврстих материја које се уклањају из отпадних вода и нису узете у обзир за ову категорију. Муљ произведен у секундарној и терцијарној преради је резултатбиолошког раста у биомаси као и прикупљених ситних честица. Овај муљ мора бити даље обрађен пре него што се може безбедно одложити. Методе обраде муља укључују аеробну и анаеробну стабилизацију, кондиционирање, центрифугирање, компостирање и сушење, [5].

Код великих насеља, мисли се на насеља преко 20.000 становника, третман отпадних вода је најчешће децентрализован систем пречишћавања и данас је он доминантнији.

Све више се обраћа пажња на јефтиније, одрживе и ефикасније технологије за пречишћавање отпадних вода које су засноване на еколошким принципима и технологијама отпадних вода. Предност оваквих технологија је у њиховој способности опоравка ресурса и њихово поновно коришћење, [7].

2.1 Механички поступци у третману отпадних вода

У примарном третману, пре него што се пређе на прераду сирове воде, потребно је механичким поступцима отклонити материје које се могу лако сакупити из сирове воде пре него што оштете или блокирају уређаје за даљи третман. Због претходно подвргнутој преради ово се зове претходно пречишћавање или предтретман, [7].

У примарном третману се отклањају груби чврсти предмети, пливајуће масне материје и суспендоване материје, које се често могу наћи у сировој води. Скупом свих механичких операција утиче се на физичке нечистоће и уопштено нечистоће које се налазе у води и на деловање физичких сила (гравитације, притиска, итд.). Они су скуп претходне обраде и процеса примарног пречишћавања (слика 2.3), али могу бити и поједине фазе секундарног и терцијалног пречишћавања отпадних вода (слика 2.4). Који од поступака ће бити примењен зависи од порекла и карактеристика отпадних вода, као и од захтеваног степена пречишћавања.

У сврху отклањања свих микро и макро суспендованих честица, користе се решетке, сита, таложее, флотација, филтрирање, центрифугирање, таложници за песак, хватачи масти, претходни таложници и базени за изједначавање протока и састава суспендоване воде. У оквиру овог дела постројења могу да се нађу и уређаји за аерацију отпадне воде, којом се постиже боље издвајање инертних честица, флотација масти и уља, унос одређене количине кисеоника у воду, као и десорпција неких гасова из воде, [1].



Слика 2.3 Упростирана шема примарног пречишћавања отпадних вода, [1]



Слика 2.4 Упростирана шема секундарног пречишћавања отпадних вода, [1]

Принцип рада ових уређаја заснива се на различитим специфичним тежинама суспендованих честица и воде. У направама које се зову коминатори уклањају се све пливајуће материје, као што су папир, остаци дрвета, пластике итд., и то на систему грубих и финих уситњавања макроматерија. За одвајање материја лакших од воде, као што су разне врсте уља и масти користе се флотатори.

Механичко пречишћавање се примењује за:

- претходно пречишћавање отпадних вода на постројењу за пречишћавање;
- делимично пречишћавање кишнице (пре испуштања у реципијент) и
- претходно пречишћавање неких индустријских отпадних вода пре испуштања у градску канализацију (понекад у комбинацији са хемијским, физичко – хемијским или биолошким поступцима), [1].

2.1.1 Решетке

Овом операцијом се омогућује заштита постројења од крупних предмета које вода носи са собом и који би могли да зачепе поједине делове инсталације. Решеткама се издваја и олакшано уклања крупнији материјал, који носи природна вода и који би умањео или отежао ефекат касније прераде, [8].

Израђују се од челичних шипки, правоугаоног или кружног попречног пресека које се постављају у канал на једнаком међусобном размаку са величином отвора од 3 до 100 mm. Решетке преграђују доводни канал и постављају се вертикално или под нагибом, најчешће од 40 до 70°. Количина задржаног материјала на решетки зависи од количине у отпадној води, као и од размака шипки решетке. Решетке са мањим размаком шипки имаће већу количину задржаног материјала, [1].

Механизоване решетке се обично чисте ручно и на станицама вечих размера. Ако вода садржи велику количину крупног материјала, онда и за њих треба предвидети аутоматско чишћење.

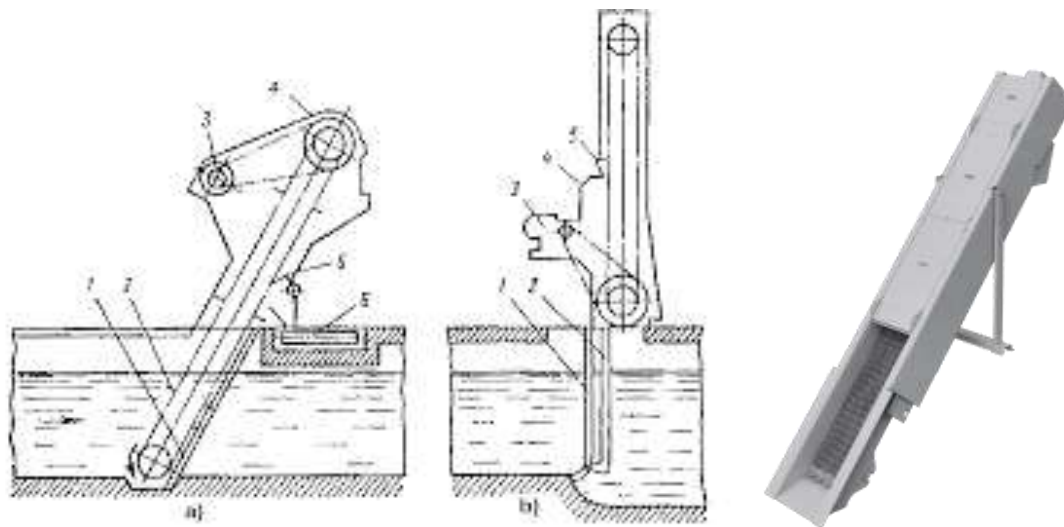
У односу на величину отвора решетке се деле на:

- грубе решетке, са ширином отвора од 50 до 100 mm,
- средње фине решетке, са ширином отвора од 10 до 25 mm,
- фине решетке, са ширином отвора од 3 до 10 mm.

У односу на конструкциона решења решетке могу бити:

- косе и вертикалне,
- покретне и непокретне,
- са ручним или механичким (аутоматским) чишћењем,
- са дробљењем наноса и др, [1].

На слици 2.5 су приказане шеме и 3Д модел косе и вертикалне решетке.



Слика 2.5 Шема и 3Д модел косе и вертикалне решетке (1 – решетка; 2 – ланац; 3, 4 – погонски механизам; 5 – грабуље; 6 – транспортна трака), [1]

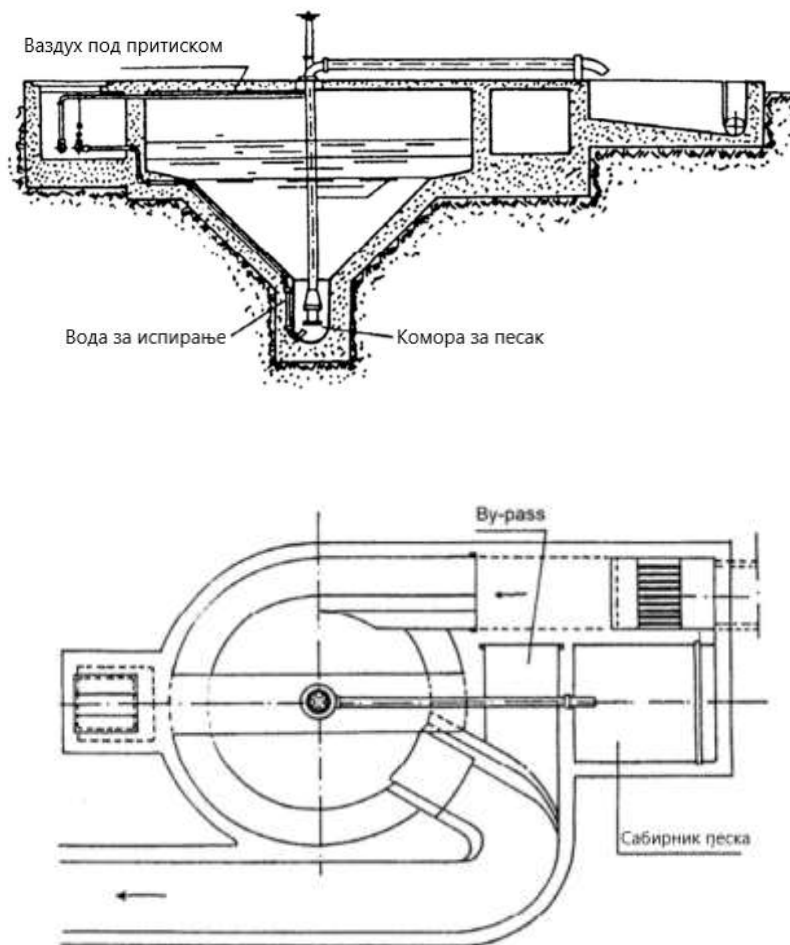
2.1.2 Песколони (хватачи песка)

Песколони служе за одвајање суспендованих честица инертног, бионеразградивог материјала у отпадној води чије су брзине таложења у односу на биоразградиве материјале много веће. У те честице спадају песак, шљунак, земља, шљака, pepeo и слично. Инертни материјали изазивају абразију и хабање покретних делова уређаја за пречишћавање отпадне воде која ствара насlage и талогe који се тешко чисте у цевоводима и каналима у биолошким реакторима, односно на свим местима где је успорено кретање воде. Ефикасно се уклањају честице средњег пречника $>200 \mu m$. Принцип рада је слободно таложење и седиментација. Базени су дубине око 1 m, док је оптерећење од 15 до $30 m^3/(m^2 \cdot h)$, [1].

У зависности од тога на који начин се регулише ток отпадне воде хватачи песка се деле на:

- проточне,
- таложне и
- аерисане коморе, [8].

На слици 2.6 је приказан округли једнокоморни хватач песка.



Слика 2.6 Округли једнокоморни песколов, [8]

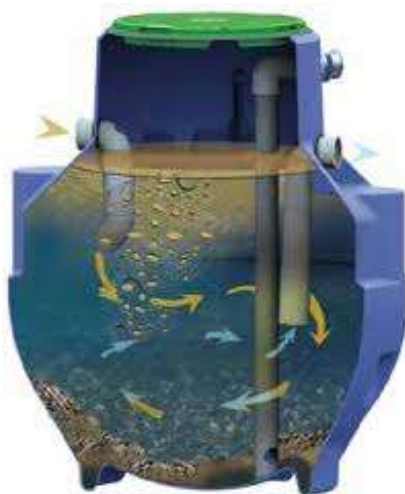
У аерисаним коморама долази до издвајања инертног талога и прања органских материја, издвајања масноћа, без механичких уређаја. Подужни аерисани песколови се изводе у две варијанте и то:

- исталожени песак се одлаже у јаму за песак, а затим се пумпом даље транспортује;
- помоћу усисне пумпе која се налази на мосту песколова, песак се за време кретања моста усисава и транспортује у силос или другу опрему за цеђење.

Аерација песколова може да се врши перфорираним цевима или мембранским аераторима. Мембрански аератори могу бити цевастог или тањирастог облика. Време задржавања је од 4 до 8 минута, при чему је меродавна брзина таложења песка, [1].

2.1.3 Хватачи масти и уља

Из отпадних вода је потребно уклонити материје које отежавају пречишћавање. То су материје које су лакше од воде, као што су уља и масти, комадићи сапуна, комадићи дрвета, плуте и слично. Нарочито се ово односи на минерална уља у отпадним водама из индустрије нафте и петрохемијске индустрије, али и у отпадним водама великих индустријских погона за моторна возила у појединим погонима машинске индустрије. Функционишуна принципу успоравања тока воде како би се омогућило њихово испливање на површину, са које се скупљају на погодан начин. На слици 2.7 приказан је сепаратор масти и уља, [1].



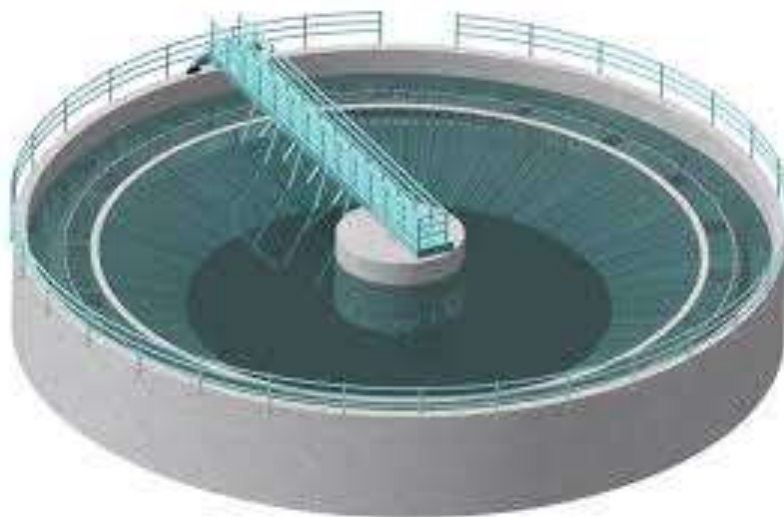
Слика 2.7 Сепаратор масти и уља, [8]

2.1.4 Таложници

Као основни поступак издвајања нерастворених таложних или пливајућих механичких примеса из отпадних вода сматра се таложење. То је поступак који може бити почетна или завршна етапа пречишћавања воде. Таложници се деле на:

- хоризонталне таложнике (примењују се за протоке отпадне воде до $20000 \text{ m}^3/\text{дан}$),
- вертикалне таложнике (примењују се за протоке отпадне воде до $10000 \text{ m}^3/\text{дан}$),
- радијалне таложнике (раде на истом принципу као хоризонтални и користе се за капацитете преко $20000 \text{ m}^3/\text{дан}$).

Недостатак хоризонталних радијалних таложника је јако изражено струјање отпадних вода, што изазива допунске отпоре (падове притиска) које спречавају таложење чврстих честица, а самим тиме и смањују и ефикасност рада таложника. Још један недостатак јесте и проблем одвођења талога из њих, па се у ту сврху користе вертикални таложници, [1].



Слика 2.8 Хоризонтални радијални таложник, [1]

2.1.5 Примарни (претходни) таложници

Примарном седиментацијом се омогућава таложење дискретних органских и неорганских суспендованих честица које се из система издвајају у облику муља. Конструкција примарних таложника треба да створи услове за успорено и равномерно кретање воде, као и довољно дуго задржавање отпадне воде, да обезбеди гравитационо таложење суспендованих честица.

Отпадна вода се уводи кроз централну, улазну зону која обезбеђује равномерну расподелу и радијалан ток флуида. По ободу таложника налазисе преливни канал који омогућавају равномерно уклањање избистрене воде из базена. Пена која се формира на површини воде механички се скупља и посебним каналом одводи у шахт. Гребачима се исталожени муљ повлачи са дна у централну комору одакле се даље пребацује пумпама, [8].

2.1.6 Секундарни таложници

У оквиру биолошких поступака, као пратећи уређаји биоаерационим базенима налазе се накнадне таложнице. Оне врше уклањање активног муља из процеса после биоаерационих базена. Најчешће су кружне бетонске таложнице са пречницима од 3 до 60 m, а најчешће од 10 до 30 m. После биоаерационих базена активни муљ се понаша по зонској теорији таложења, па су боље таложнице са вертикалним током (кружне) од хоризонталних таложница, [1].

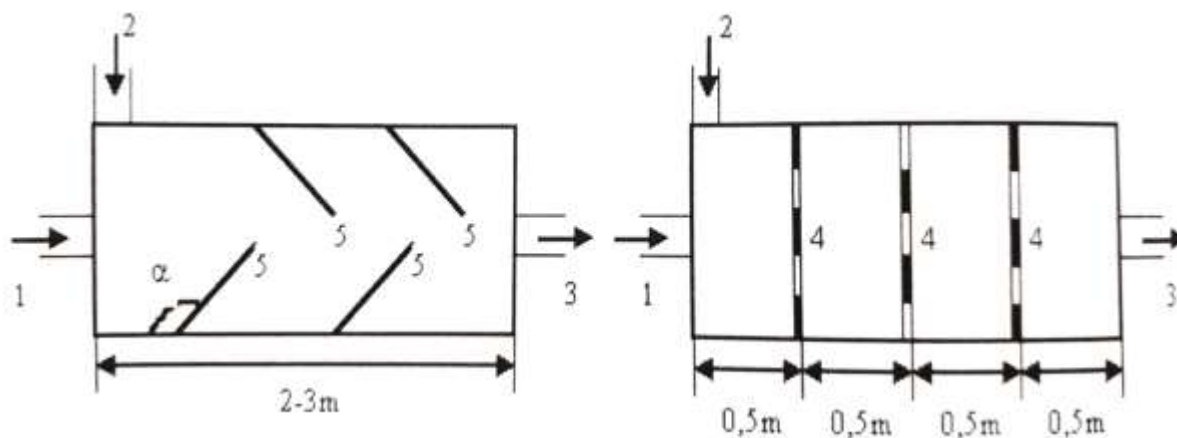
Евакуација муља из накнадне таложнице се врши централно муљном пумпом из муљне шикане, ка којој се муљ усмерава помоћу радијалних згртача који споро ротирају. Могућа је и рецикулација муља која се врши исто помоћу муљне пумпе која је дислоцирана у муљној шахти ван таложнице.

2.1.7 Уређаји за осредњавање карактеристика отпадних вода

На рад уређаја битно утиче проток и састав воде, па зато њиховим нарушавањем које може доћи при наглим променама протока отпадних вода нарушава се рад таложника и филтара. Променом састава се утиче на рад уређаја за оксидацију и неутрализацију. Мешањем вода различитог састава или увођењем реагенса усредњава се састав отпадних вода. Уређаји који се користе су мешачи са непотпуним преградама и преградама са отворима (слика 2.9). Преграде се постављају под углом од 45° - 135° у односу на смер кретања воде, [1].

Недостаци ових мешача су ти што захтевају већи простор за смештај, поготовоса великим протоцима воде. Ови недостаци вертикалних мешача отклоњени су механичким мешачима.

За осредњавање концентрације загађујућих компонената у отпадним водама користе се вештачка језера и специјални резервоари. Језера имају велике капацитете док резервоари имају релативно малу запремину. Осредњавање се постиже принудним мешањем отпадних вода. Врши се механичким мешалицама, барботирањем ваздухом или системом преграда које раздвајају воду на низ струја, [8].



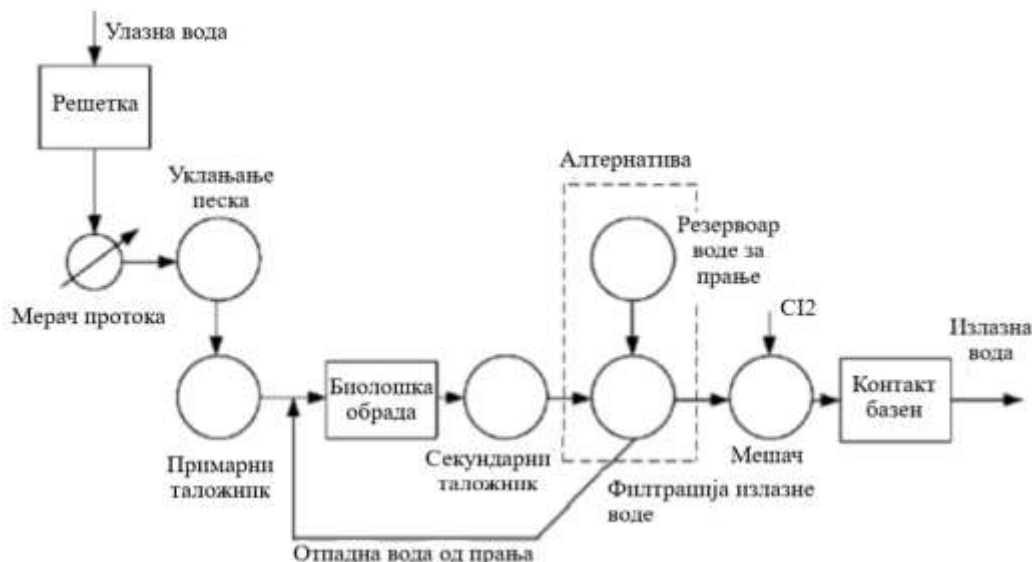
Слика 2.9 Мешачи са преградама

(1 – цев за довод воде; 2 – цевовод за реагенс; 3 – цевовод за одвод воде; 4 – преграде са отворима; 5 – преграде за усмеравање струје, [1])

2.2 Биолошки процеси пречишћавања отпадних вода

Секундарни третман или биолошко пречишћавање отпадних вода је следећи третман након примарног, чије се пречишћавање заснива на активности комплексне микрофлоре, која у току свог животног циклуса усваја органски и (мали) део неорганских материја које чине загађење отпадне воде, користећи их за одржавање животних активности и за стварање нових ћелија. Након пречишћавања следи сепарација микрофлоре и пречишћење отпадне

воде у којој заостаје мала количина органске материје која је биолошки неразградива. Овим пречишћавањем је могуће из отпадне воде отклонити највећи део органског загађења, али је није могуће у потпуности пречистити, [7].



Слика 2.10 Типична технолошка шема биолошке обраде градских отпадних вода, [1]

Биолошко пречишћавање се примењује за:

- уклањање органских материја;
- уклањање азота (као биогеног елемента) помоћу поступака нитрификације и денитрификације;
- разградња примарног муља из процеса примарне обраде отпадних вода;
- разградња секундарног муља из процеса биолошке обраде отпадних вода помоћу поступака стабилизације муљева или дигестије, [1].

Биолошки процеси пречишћавања отпадних вода у зависности од помоћи аеробних или анаеробних микроорганизама могу бити аеробни или анаеробни процеси. Ови процеси се разликују у путевима биолошке оксидације органских материја. Аеробни процеси се користе за обраду вода са малом или средњом концентрацијом органских материја, а анаеробни за процесе са већом концентрацијом. Аеробни процеси су заступљенији и они се могу одвијати на два начина:

- са суспендованом микрофлором (са активним муљем);
- са имобилисаном микрофлором на инертном носачу (биолошка филтрација).

Аеробни процеси са суспендованом микрофлором деле се на:

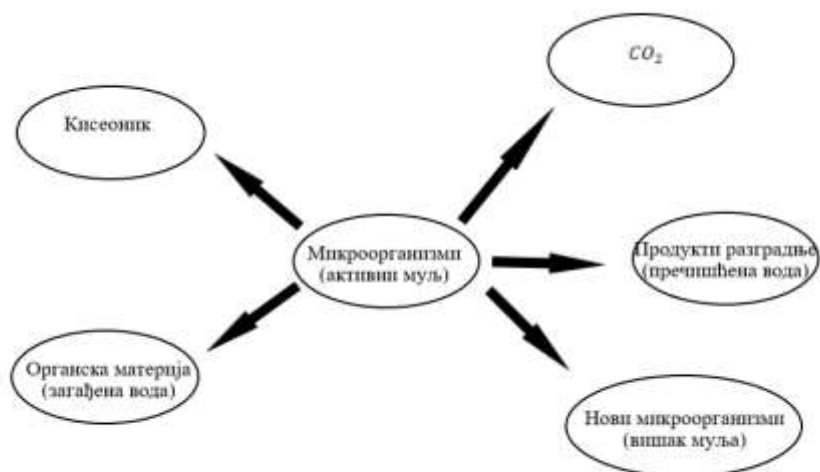
- поступке са активним муљем у биоаерационим базеним;
- поступке у аерисаним лагунама (биолошким лагунама) и
- поступке у аеробним (плитким) језерима (биолошким вештачким језерима).

Највише примењивани процеси за обраду отпадних вода су поступци са активним муљем који се одвијају у биоаерационим базенима. Потребно је обезбедити довољну количину кисеоника, који се удувавањем или мешањем додаје помоћу механичких аератора, [1].

2.2.1 Аеробни процес пречишћавања отпадних вода

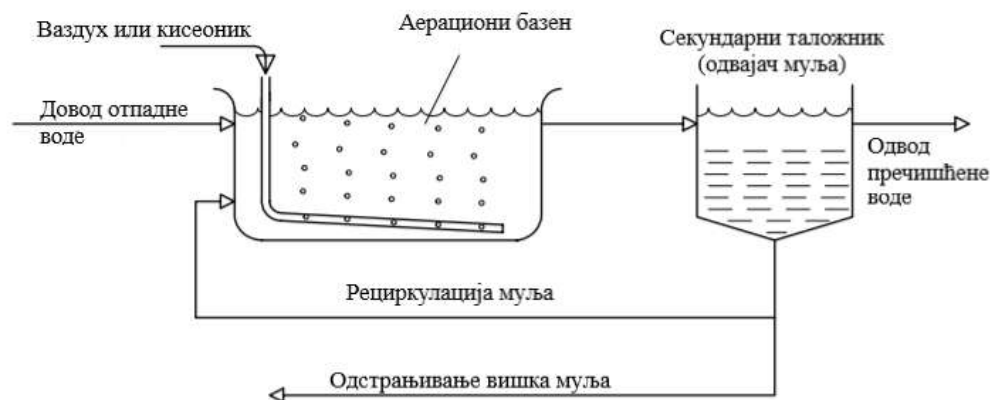
Процес са активним муљем

Ово је најраспрострањенији поступак пречишћавања воде и он се обавља, као што је већ напоменуто, помоћу аеробних микроорганизама који су у лебдећем стању са активним муљем. Уз помоћ кисеоника долази до разградње супстрата (органског загађења), и у основи микроорганизми оксидирају растворене и суспендоване органске материје у угљендиоксид и воду у присуству кисеоника (слика 2.11), [4].



Слика 2.11 Принцип биолошког поступка са применом активног муља за обраду отпадних вода, [1]

Отпадне воде се аеришу у биоаерационом базену, па после аерације следи таложење где се одваја биомаса (микробиолошки муљ од ефлуента). Део муља се враћа у процес као активатор, а остатак се одводи у уређај за обраду муља (слика 2.12). Бистра пречишћена вода се испушта у реципијент или по потреби може да се води на додатну обраду (дезинфекцију, филтрирање, и др.). Органске материје могу бити трансформисане оксидацијом у крајње продукте оксидације као CO_2 , NO_3 , SO_4 и PO_4 или биосинтезом у биомасу, [4].



Слика 2.12 Шема поступка са активним муљем, [4]

Механизам уклањања органског загађења

У процесу са активним муљем овај механизам се састоји у томе да једињења која су једноставније структуре лако пролазе кроз структуру пахуљице и ћелијске мембране, док сложенија једињења из отпадних вода се уклањају прво дејством механизма биосорпције, којим се везују за пахуљицу, а затим биодеградацијом којом се разлажу на једноставнија једињења.

Биолошки процеси прераде отпадних вода у аеробним лагунама

Аерисане лагуне су једно од јефтинијих решења пречишћавања отпадних вода поступком активног муља. Користе се за пречишћавање комуналних и биолошко високо оптерећених индустријских отпадних вода. Овај процес се примењује у подручјима са погодним климатским условима, где се могу у потпуности остварити аеробни услови. Дубина ових лагуна је од 2 до 4 m, док је хидрауличко задржавање отпадне воде од 3 до 30 дана, најчешће 5 до 8 дана. Како је део загађења задржан у суспендованим честицама, пре коначног испуштања потребно је таложењем уклонити муљ, за чије издвајање се често праве секундарни таложници, [4].

Биолошки процеси прераде отпадних вода аеробним (плитким) језерима

Аеробна језера су велики и плитки земљани базени, у којима се процес пречишћавања отпадних вода буквално одвија као процес самопречишћавања. Метаболизмом алги се обезбеђује потребна количина кисеоника за оксидацију, а бактерије разградњом загађења обезбеђују потребне материје за раст алги. Други начин обезбеђивања кисеоника је дифузијом атмосферског кисеоника кроз површину воде. Време задржавања је јако дуго и никада мање од 90 дана, [1].

2.2.2 Анаеробни процеси пречишћавања отпадних вода

Основна разлика између аеробног и анаеробног поступка пречишћавања отпадних вода је у томе што анаеробни поступак подноси већа органска оптерећења и у стању је да пречишћава воде са много већом концентрацијом загађења. Зато се овај процес користи за пречишћавање индустријских отпадних вода. Овај процес пречишћавања заснива се на метанском врењу органског загађења отпадних вода, где се органска материја преводи у смешу гасова (метан и угљен – диоксид).

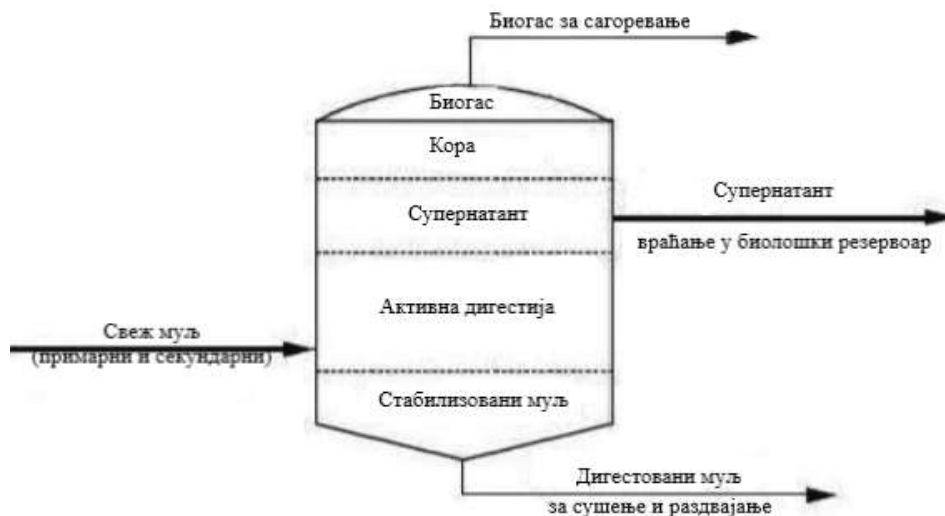
Најраспрострањенији поступак је анаеробна дигестија, која се заснива на употреби микроорганизама у одсуству кисеоника за стабилизацију органских материја превођењем у метан и неорганске продукте, укључујући угљен – диоксид. Користи се за прераду индустријских, пољопривредних и отпадних вода градова, а постоје три степена прераде који су приказани на слици 2.13, [1].



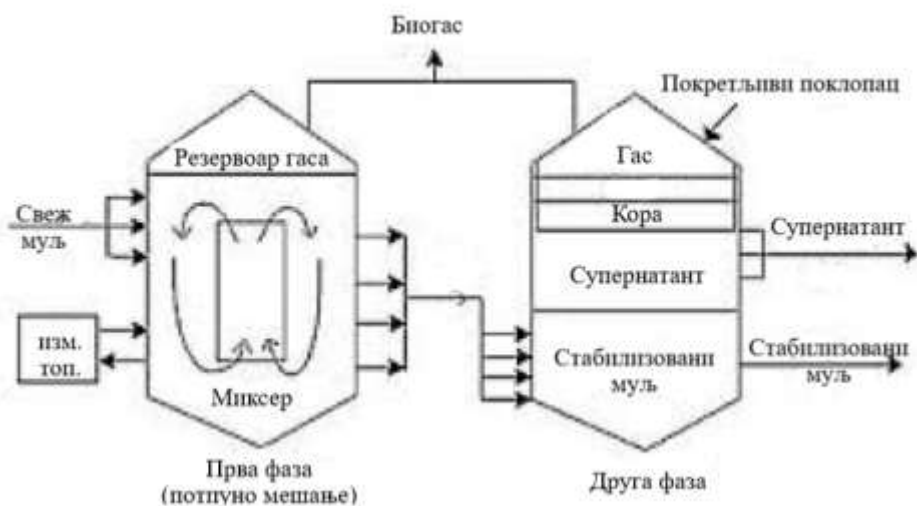
Слика 2.13 Фазе анаеробне прераде органског отпада, [1]

Са развојем технологије усавршене су и конструкције дигестора. Дигестори су херметички резервоари – ферментори, у којима се обезбеђују оптимални услови за процес анаеробне ферментације. Могу да се класификују према погонским условима у којима раде или према начину извођења. Ако се све четири фазе одвијају у једном дигестору, онда је постројење за биогаз једностепено (слика 2.14). Ако се у првом одвија хидролиза и киселинска фаза, а остале фазе су просторно раздвојене и одвијају се у анаеробном дигестору, онда је постројење за биогаз двостепено (слика 2.15). На овај начин се обезбеђује

већа разградивост супстрата. Дигестори се најчешће налазе у редној вези, где супстрат прелази из једног у други ферментор, [1].



Слика 2.14 Једноступени анаеробни дигестор са слојем муља, [1]



Слика 2.15 Двоступени анаеробни дигестор са слојем муља, [1]

У зависности од процесне температуре највечи број постројења раде у мезофилном режиму, а постојења са термофилним режимом рада најчешће садрже и један дигестор са мезофилним режимом. У зависности од садржаја суве масе супстрата могу се поделити на мокру и суву ферментацију. Начин дозирања одређује процес ферментације, па се шаржни дигестор у потпуности испуњава свежим супстратима, који се задржавају ту

до завршетка процеса ферментације. После ферментације уклања се целокупна маса, сем мале количине која служи за инокулацију (садржи бактерије за следеће пуњење).

Континуални тип дигестора је најчешћи данас код постројења за биогас, при чему се супстрат дозира више пута у току дана. Код ових дигестора се уноси иста количина супстрата и иста количина излази из њега, а то се обезбеђује испуњењем супстрата до преливног нивоа. У њима се постиже уједначена продукција и квалитет биогаса, [1].

2.3 Хемијски поступци у третману отпадних вода

Последња фаза третмана отпадних вода или терцијарни третман отпадних вода је ту да обезбеди њен виши квалитет пре него се она испусти у животну средину (реку, језера, мора итд.). Хемијски процеси су процеси у којима се пречишћавање одвија помоћу одређених хемијских реакција или одређених физичко – хемијских феномена као што је адсорпција. На овај начин долази до повећања концентрације растворених материја у води, што је неповољно, али за уклањање појединих загађења из индустријских отпадних вода, обично нема алтернативе. Хемијски процеси се користе за уклањање преосталог ВРК и НРК, и укупног органског угљеника, минералних материја, тешких метала, једињења азота и фосфора и патогених клица. Најчешће технике уклањања су: хемијско таложeње, јонска измена, оксидација, продувавањем гаса и адсорпција.

Који ће поступак бити изабран зависи пре свега од типа отпадне воде, даље од карактеристика и концентрације загађења отпадне воде, начина испуштања или употребе пречишћене отпадне воде, начина одлагања, итд. Најзасупљенији поступак је уклањање коагулацијом и флокулацијом (настале флокуле се издвајају из воде таложeњем или филтрацијом).

Предности примене хемијских процеса у односу на биолошке је: једноставнија и јефтинија опрема, једноставнија и сигурнија контрола и вођење процеса пречишћавања, постројење се лако зауставља и поново пушта у рад без негативног утицаја на процес пречишћавања, [1].

2.3.1 Хемијско таложeње

Поступак хемијског таложeња примењује се за уклањање растворених материја, која се због токсичности или неразградљивости, тешко могу биолошки пречистити. Зато се растворене материје уз помоћ одговарајућих реагенса преводе у нерастворена, које се као таква уклањају таложeњем или флотацијом (ако су веће концентрације) или филтрацијом (у случају мање концентрације).

Уклањање тешких метала

Тешки метали као што су, олово, бакар, хром, никал, селен, сребро, се налазе у отпадним водама индустрија, рударства, производње челика и осталих метала. Уклањање тешких метала се врши превођењем у хидроксиде, а затим у сулфиде, а неки метали у

карбонате. Недостатак овог уклањања је настајање гасовитог водоник - сулфида и вишак сулфида у обрађеној отпадној води.

Централни део постројења за хемијско таложење је суд са мешалицом у коме се доводе у контакт отпадна вода и суд за таложење. У склопу постројења се налази и пумпа за дозирање средства за таложење, као и судови за припрему тих средстава, [1].

2.3.2 Јонска измена

Поступак јонске измене чешће налази примену у припреми воде, односно уклањању тврдоће воде. Ако се ради о уклањању растворених материја, најшира примена је у пречишћавању отпадних вода површинске обраде метала поготову електролитичких поступака заштите метала (наношење хрома или никла на површину метала електролизом). Токсичне воде садрже тешке метале и остатке раствора за обраду метала (електролити, киселине, органске материје). Из економских разлога хемикалије које се користе у обради метала се издвајају из отпадних вода и враћају у процес. Јонском изменом могуће је постићи оба циља:

- пречишћавање отпадне воде, коју је затим могуће рециклирати као воду за процес,
- регенерација и рецикулација појединих хемикалија.

Ако се јонска измена користи за завршно пречишћавање то је онда тзв. полирање отпадне воде. За то се користе смоле са великом селективношћу, које успевају да издвоје мале концентracије жељених јона из великих концентracија неких других јона, [1].

2.4 Остали хемијски поступци пречишћавања

Неутрализација

Неутрализација се заснива на узајамном дејству воде и киселих или базних компонената додатих води, тако да се добија неутрална реакција воде. Неутрализација се остварује:

- додавањем реагенса води,
- филтрирањем воде кроз материјале за неутрализацију, [1].

За неутрализацију киселих вода примењује се креч, кречњак, мермер, доломит, а базне воде се увек неутрализују техничком сумпорном киселином. Дозирање може бити суво или мокро, а неутрализатори могу бити са вертикалним и хоризонталним кретањем отпадне воде. При неутрализацији воде у вертикалним уређајима, минимална висина слоја материјала је одређена изразом (2.1):

$$H = K \cdot D^n \cdot (3 + \log b) \cdot \sqrt{v} \quad (2.1)$$

где су:

D – пречник зрна материјала за неутрализацију (mm),

b – масена запреминска концентрација киселине (g/l),

v – брзина филтрације (m/h),

K, n – емпиријске константе, [1].

Дужина хоризонталних уређаја за неутрализацију одређује се на основу израза (2.2):

$$l = v \cdot \tau \quad (2.2)$$

где су:

v – брзина воде кроз филтар (m/s),

τ – време контакта воде и материјала за неутрализацију (s).

Постројење за неутрализацију чине: таложници, резервоари киселих и базних вода, складиште негашеног креча, суд за гешење креча, резервоар растварача, дозатори, мешачи, реактор за неутрализацију, таложник неутрализованих вода, депонија муља, [1].

Оксидација (и дезинфекција)

Оксидацијом се органске и неорганске супстанце у индустријским отпадним водама (као што су феноли, пестициди, цијанид, итд) преводе у једињења која мање загађују околину. Ове супстанце утичу на боју, мирис и укус воде. Хлор је најчешће примењиван оксидант, а такође у примени су водоник пероксид, калијум-пермаганат и озон. Од тога који ће оксидант бити примењен у многостави зависи од врсте загађења, реактивности оксиданата, стварања споредних продуката и њихове карактеристике. За дезинфекцију отпадних вода се најчешће користе хлор и деривати хлора, [1].

Систем за оксидацију се мало разликује од система за неутрализацију. Састоји се од суда (реактора) са потпуним мешањем у коме се изводи оксидација, судова за оксидационо средство и средство за корекцију рН и пумпи за дозирање (слика 2.15).

Продувавање („striping“) гасом

Продувавањем гасом, обично ваздухом или воденом паром се могу уклонити поједине растворене материје из отпадних вода. Пренос масе се остварује као последица разлике концентрације материја.

Продувавање ваздухом

Продувавање ваздухом се користи за уклањање испарљивих материја, на пример органских загађивача (метиленхлорид, бензен, толуен и др.). Овај процес се по правилу одвија на амбијенталним температурама и атмосферском притиску. Најефикаснији уређај

је колона „торањ“ пуњена инертним носачем велике површине са противструјним током воде и ваздуха.

За уклањање теже испарљивих материја и већих концентрација испарљивих материја, користи се продување воденом паром. Примењује се за уклањање материја из индустријских отпадних вода, поготовоако је потребно да се материје поново врате у процес производње или је потребно концентрисати их да би се даље обрадиле ефикасније и економичније, [1].

Уклањање азота и фосфора

У случају пречишћавања вода које ће dospети у језера и остале акумулационе воде, и ако ће та вода dospети до изворишта, подземних вода из којих се снабдевају насеља, онда је обавезно уклањање азота и фосфора.

Уклањање азота из отпадних вода се најчешће врши процесима нитрификације и денитрификације. Прво следи оксидација од амонијака до нитрата (нитрификација), а затим следи денитрификација којом се нитрати преводе у азот у гасовитом стању, који се затим испушта у атмосферу.

Фосфор се може уклонити биолошким путем, али и хемијским таложењем, обично солима гвожђа или кречом. У односу на биолошки третман, хемијски третман захтева мање опреме, лакше се изводи и често је поузданији. Други метод за уклањање фосфора је коришћење грануларног латерита. Уклоњен фосфор, може се складиштити на депонији или прерадити за употребу код минералних ђубрива. Фосфор је битан фактор за раст алги и хранљивих материја у многим воденим срединама, па се утоме и огледа важност његовог отклањања из отпадних вода, [1].

3. Биогас

Постројења за пречишћавање отпадних вода се састоје од две линије, линије воде и линије муља. Прва је линија воде, у току које се одвијају механички и биолошки третмани и друге линије, линије муља у току које се врши третман насталих муљева приликом процеса пречишћавања отпадних вода, при чему као производ настаје биогас, [11].

Анаеробна дигестија (АД) је проверена технологија за обраду муља из отпадних вода која омогућава производњу обновљиве енергије из истог процеса. Биогас настаје у анаеробним условима, без присуства кисеоника микробиолошким процесом. Настаје при распадању органских материја, уз помоћ микроорганизама који се налази у муљу из мешавине која се састоји углавном од метана и угљен диоксида, који се могу користити за производњу електричне енергије, топлоте и биогорива. Истовремено се талог стабилизира и смањује се његов садржај суве материје. Анаеробна дигестија је широко позната технологија која се примењује у многим земљама. Велики део биогаса управо настаје од отпадних вода из анаеробних дигестора и још увек постоји велики потенцијал за његову експлоатацију широм света. Појам биогаса се односи на гас који је настао у анаеробним ферменторима и контролисаним условима, односно у биогас постројењима.

Биогас је познат као еколошки извор енергије, јер смањује два главна еколошка проблема:

- глобални проблем отпада који свакодневно ослобађа опасне нивое метана и
- могућности да фосилна горива могу да задовоље потребе за енергијом.

Биогас се може добити од различитих полазних сировина са незнатним разликама, које се јављају због различитих процеса припреме и производње. Основни предуслови да би се нека отпадна материја могла користити као сировина за производњу биогаса су:

- да буде на располагању у довољним количинама преко целе године,
- да по свом саставу омогућава ефикасну и економичну производњу биогаса и
- да у њој нема супстанци које делују токсично, [12].

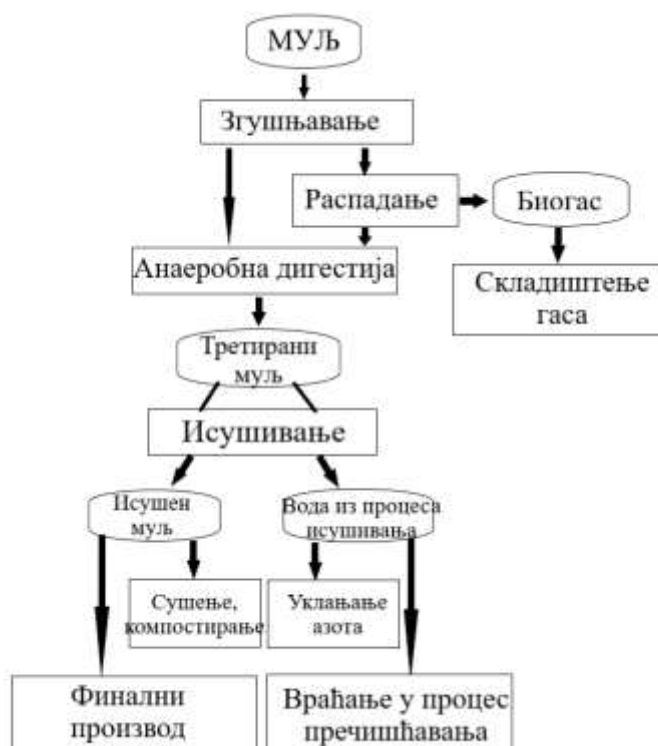
На основу сировине за продукцију биогаса, разликујемо продукцију: депонијског биогаса, пољопривредног биогаса, биогаса из дрвних остатака и биогаса отпадних вода из индустријске производње и градова.

Главна сировина анаеробног дигестора у отпадним водама је муљ из канализације, односно муљ из примарног и секундарног таложника. Примарни муљ, који се такође назива сиров муљ, настаје гравитационом седиментацијом у примарном таложнику. Има висок садржај органских материја и лако се разграђује. Секундарни муљ, који се такође назива вишак муља или активни муљ, резултат је биолошког третмана отпадних вода. Има мањи садржај разградљивих материја од примарног муља и самим тим нижи принос биогаса. Под

оптималним условима варења, може се очекивати принос метана од $190 - 240 \frac{Nm^3}{t}$ органске суве материје. Постоје органски супстрати који су помешани са главном сировином, са циљем да се повећа производња биогаза, [13].

3. 1 Кораци процеса

„Биогасни део отпадне воде” састоји се из низа корака, почевши од обраде муља из отпадних вода, након чега следи поступак анаеробне дигестије и производње биогаза, а завршава се накнадном обрадом дигестираног муља и гаса, као што је приказано шематски на слици 3.1, [14].



Слика 3.1 Кораци процеса, [14]

Припрема муља из отпадних вода

Муљ из канализације који настаје при примарном и секундарном третману воде скупља се за анаеробне дигесторе. Пре уласка у дигесторе, талог се понекад просејава и затим згушњава до садржаја од 5% суве материје како би се избегла прекомерна потрошња енергије за загревање због прекомерног садржаја воде. Ради поспешивања угушњавања муља, неопходно је додавање раствора полиелектролита.

Анаеробни процес варења

Муљ се транспортује помоћу муљних пумпи у дигесторе у зависности од употребе. После угушћивања следи једностепена анаеробна дигестија муља, где се муљ транспортује у два дигестора. Температура у дигесторима је између 33-37°C са временом задржавања од најмање 20 дана. Током тог времена задржавања, микроорганизми разграђују део органске материје која се налази у муљу и производе биогаз који се састоји од метана, угљендиоксида и гасова у траговима, [14].

Биогаз је мешавина гасова, две трећине запремине чини метан и једну трећину угљен-диоксид. Осим метана и угљен-диоксида, запремину биогаза чине и други гасови у знатно мањем делу. Удео гасова зависи од сировине, односно супстрата и условима у којим настаје биогаз, а преглед је дат у табели 3.1.

Табела 3.1 Састав биогаза, [14]

Састојак	Хемијски симбол	Запремински удео, %
Метан	CH ₄	50-75
Угљен-диоксид	CO ₂	25-45
Водена пара	H ₂ O	2-7
Кисеоник	O ₂	<2
Азот	N ₂	<2
Амонијак	NH ₃	<1
Водоник	H ₂	<1
Водоник-сулфид	H ₂ S	20-20.000*

*ppm (милионитих делова, *енг. parts per million*)

Гасови стаклене баште су угљен-диоксид, метан и азотни оксид и они се континуирано емитују из различитих антропогених извора. Удео сектора отпада и отпадних вода је 2,8% у укупним антропогеним емисијама, [14].

Обрада и конверзија гаса

Сирови биогаз треба сушити, а водоник сулфид и остале супстанце у траговима треба уклонити да би се добио добар запаљиви гас и избегла корозија или нежељено таложење у опреми за сагоревање. У биогазу произведеном из муља из отпадних вода (као и на депонијама) посебно се мора обратити пажња на концентрацију силоксана, што може довести до талоба у опреми за сагоревање и погоршања перформанси. Генерално, довољно је уклањање силоксана адсорпцијом на активном угљу, [14].

После чишћења, биогаз прелази у резервоар за биогаз, а одатле се одводи до потрошача. Он може да се користи у комбинованом постројењу за производњу топлотне и електричне енергије. Настала топлотна енергија се користи за одржавање одговарајуће температуре у дигесторима, а уколико је потребно и за грејање неког објекта. Производњом електричне енергије из биогаза добијеног пречишћавањем отпадних вода, углавном је

могуће да се покрије само део потреба оваквог постројења. Услед нехомогеног састава отпадних вода, које доспевају на биогас постројење, продукција и квалитет биогаса нису уједначени, [14].

Третман дигестираног муља

Како се око једне трећине чврсте материје у муљу током процеса претвара у биогас, што је око 50% органске материје, остатак који је настао из тог процеса поново постаје врло течан и мора се згушњавати други пут након напуштања дигестора. У зависности од даљег коришћења муља, он се центрифугира или чак топлотно суши како би се уклонило што више воде (слика 3.2). Дигестирани муљ може даље да се користи у пољопривреди, који настаје компостирањем муља (практикује се на пример у Шпанији, Италији, Француској, Белгији). У супротном, муљ се може транспортовати у спалионицу или депонију. Коначно одлагање или рециклирање муља углавном зависи од законских граница и трошкова, [14].



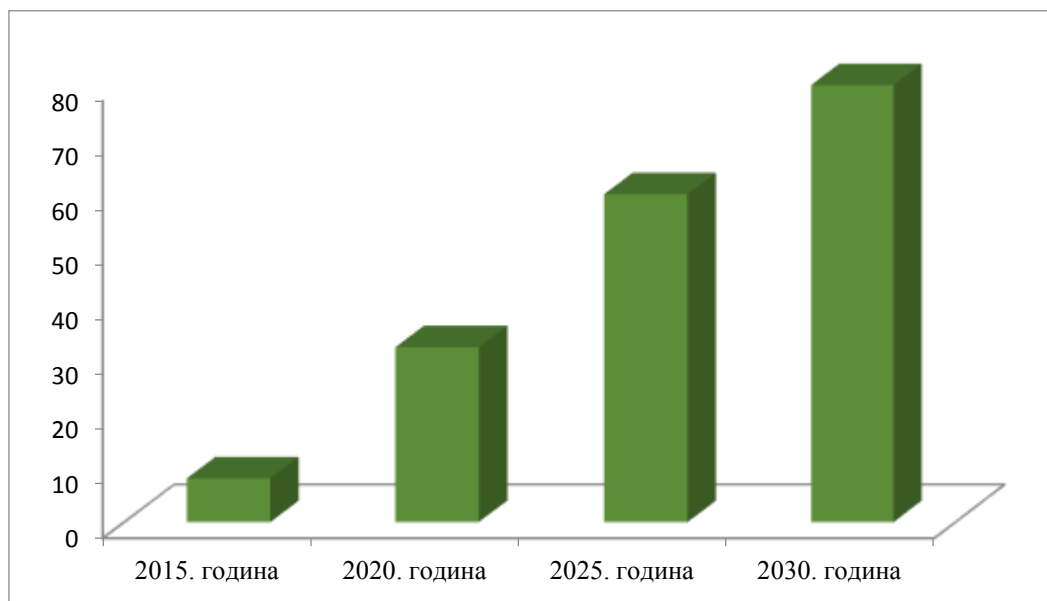
Слика 3.2 Центрифугални декантери, [14]

Вода која настаје исушивањем муља се поново враћа у процес пречишћавања отпадних вода. Концентрација амонијака је знатно виша него у сировој води, па се зато предлаже уклањање азота пре мешања. Многе отпадне воде се често испуштају у водотокове и језера, и тако штетно делују на животну средину. Већа места, адекватним процесима третирају воду пре испуштања у реципијент. Недостатак већине ових процеса јесте неодговарајуће збрињавање муља који преостаје након седиментације, а садржи загађујуће органске материје. Анаеробни третман је погодан да се муљ, настао прерадом отпадних вода, на адекватан начин стабилизује и одложи на депонију.

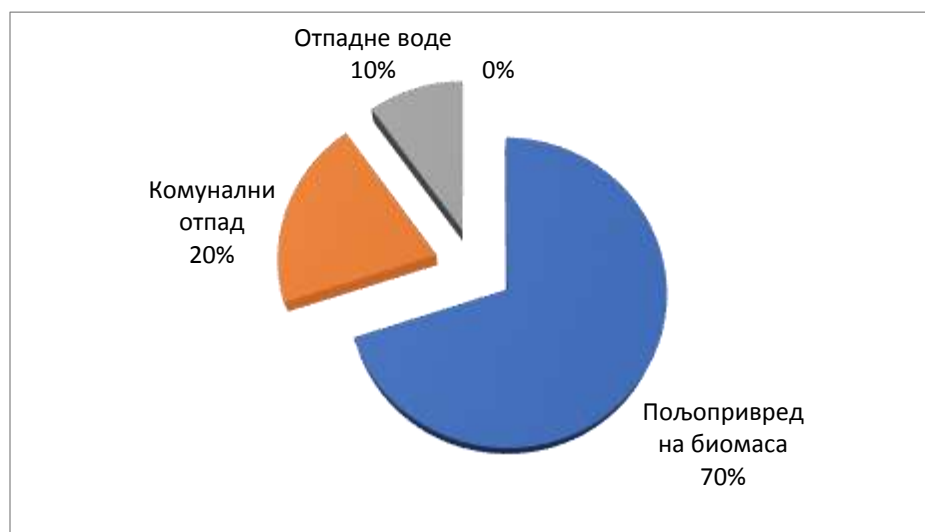
Упоређивањем анаеробне ферментације и аеробне, може се увидети значај анаеробне (као пример је узет процес компостирања), а основна разлика је у насталим продуктима. Битна је разлика да се након анаеробне ферментације ослобађа значајно мање топлотне енергије. Аеробном ферментацијом органска маса се разграђује до угљен-

диоксида, док се анаеробном добија метан. Метан је гориви гас, а циљ је управо његова производња и енергетско коришћење, [14].

План изградње биогасних постројења за производњу електричне енергије у Републици Србији до 2030. године је приказан на дијаграму 3.1. Претпостављено је да ће до тада 70% инсталираних постројења користити као сировину пољопривредну биомасу, 20% инсталираних постројења користиће комунални отпад и 10% користиће сировине из отпадних вода прехранбене индустрије које садрже органске компоненте (дијаграм 3.2), [16].



Дијаграм 3.1 План изградње биогасних постројења у Србији до 2030. године, [16]



Дијаграм 3. 2 Учешће сировина у производњи биогаса, [16]

4. Продукција биогаса из отпадних вода

У првом делу рада је напоменуто да отпадне воде могу бити значајан извор метана (CH_4), ако се воде третирају или одлажу анаеробно. Метан је значајан продукт распадања посредством микроорганизама, услед недостатка кисеоника, названог анаеробном разградњом. Као битан извор сматрају се отворени канали који су подложни загревању Сунца и који могу бити стагнирајући, чиме се омогућује да се при анаеробним условима емитује метан. Колика ће бити количина произведеног метана пре свега зависи од количине органске материје у отпадној води, температуре и типа третманског система. Са повећањем температуре расте и ниво метана. Ово је битно у неконтролисаним условима и у деловима са топлотом климом. Када је температура виша од $15^{\circ}C$ настају продукти метана, док су продукти који настају на нижим температурама непожељни. Обично се око 40 до 45% испарљивих материја у талогу претвара у метан или угљен диоксид. На већим локацијама енергетски биланс је обично повољан и омогућава коришћење гаса у комбинованом систему топлоте и енергије за производњу електричне енергије и загревање муља, [5].

Процене емисије метана морају да се базирају на некој врсти мерења. У случају прераде отпадних вода, мерења су отежана јер већина емисија долази из великих извора (отворених лагуна, залиха муља, одлагалишта или поља). Процене би требало да се утврде индиректним средствима, сматрајући тачном. Метан се генерално мери гасном хроматографијом са детекторима пламенске јонизације или детекторима термичке проводљивости, спектроскопијом итд.

Емисија метана из отпадних вода за једну годину може се проценити коришћењем методе IPCC (*IPCC 2006 model*). Емисија метана се израчунава за кућне и за индустријске отпадне воде, па тако и за две настале врсте муља, кућног и индустријског, [5].

Параметри који се користе за мерење органске компоненте отпадне воде су биолошка потрошња кисеоника ВРК и хемијска потрошња кисеоника НРК. У истим условима отпадне воде са већом ВРК или НРК концентracијом ће генерално производити више метана него отпадне воде са мањом НРК (или ВРК) концентracијом.

Концентracија ВРК указује на количину угљеника који је аеробно биоразградив, и за овај параметар стандарно мерење је петодневни тест. НРК мери укупан материјал који је на располагању за хемијску оксидацију (биоразградив и не – биоразградив). Пошто је ВРК аеробни параметар, он је мање прикладан за одређивање органских компоненти у анаеробним условима. Такође, и врста отпадне воде и врста бактерија присутних у отпадним водама утиче на концентracију ВРК отпадне воде. Обично се ВРК користи за кућне отпадне воде, док се НРК углавном користи за индустријске отпадне воде.

Азот оксид (N_2O) је повезан са деградацијом компоненти азота које се налазе у отпадној води, као што су уреа, нитрати и протеини. Директна емисија N_2O може се остварити и током нитрификације и током денитрификације присутног азота.

Пут третмана и испусног вода или система који обезбеђује анаеробно окружење генерално ће произвести метан, док ће систем који има аеробне услове производити мало или неће уопште производити метан. За лагуне без мешања или аерације, дубина је критичан фактор у производњи метана. Лагуне које су дубине до 1 m обезбедиће аеробне услове и производиће мале количине метана, док ће лагуне које су дубине од 2 до 3 m обезбедити анаеробно окружење и може се очекивати велика производња метана. За септичке и тоалетне системе, количина произведеног метана зависи од периода задржавања или температуре, [5].

Табела 4.1 Типови третмана и испусног вода приказани са својим потенцијалом емисије CH_4 и N_2O , [5]

Тип третмана и испусног вода			Потенцијали емисије CH_4 и N_2O	
Прикупљене	Без третмана	Испуст у реку		Стагнирајућа, недостатак кисеоника река и језера могу омогућити анаеробну разградњу. Реке, језера и естуари су извори N_2O .
		Канализација (затворена или испод земље)		Није извор.
		Канализација (отворена)		Стагнирајућа, препуњена отворена канализација или канал су значајни извор CH_4 .
	Са третманом	Аеробни третман	Централизовано, аеробно постројење	Може производити одређене количине CH_4 из анаеробних цепова. Лоше дизајнирани или управљани аеробни систем производи CH_4 . Биљке са уклањањем хранљивих материја (нитрификација и денитрификација) су мали, али битан извор N_2O .
			Анаеробни дигестор муља	Муљ је битан извор CH_4 , ако емитовани CH_4 није враћени и испуштен.
			Аеробна плитка јама	Лош извор CH_4/ N_2O . Лоше дизајнирани или управљани аеробни системи производе CH_4 .
		Анаеробан третман	Анаеробне лагуне	Потенцијални извор CH_4 . Мали потенцијал N_2O .
			Анаеробни реактор	Може бити битан извор CH_4 , ако емитовани CH_4 није враћени и испуштен.
Неприкупљене	Септички систем		Често уклањање чврстих материја смањује производњу CH_4 .	
	Тоалет		Јаме ће вероватно произвести CH_4 , када су температуре и време задржавања повољни.	
	Испуст у реку		Види горе.	

У табели 4.1 приказани су типови третмана и испусних водова или система у развијеним и земљама које су у развоју, са својим потенцијалима у емисији CH_4 и N_2O .

За прорачун производње потребни су подаци о годишњој маси произведеног муља за било коју земљу. Већина земаља које имају добре системе третмана за пречишћавања отпадних вода, поседују ове податке, које могу добити од самих фирми или предузећа које се баве пречишћавањем отпадних вода. Потребно је обратити пажњу на количину муља која је послата за одлагање јер неће бити иста као преоизведена, што одржаа конверзију чврстих материја у гас током анаеробног распадања.

Уколико земља не поседује овакве податке, они се могу проценити на основу података о броју становника који су прикључени на канализацију, рачунајући стварање муља по глави становника. Усваја се да је маса сувих чврстих материја по глави становника 80 грама. Индустријски допринос производњи муља може се проценити одвојено. Смернице IPCC из 1996. године предлажу одвојено рачунање ВРК насталог из главних индустрија. Потребно је знати и податке о маси талоба из отпадних вода који пролазе кроз уобичајне процесе и шаљу се заједничким путевима збрињавања, количини муља кроз сваки засебан третман. Мало је вероватно да ће се знати сви ови подаци, сем за оне земље које имају добро успостављене системе за пречишћавање отпадних вода, [5].

4.1 Емисија метана (CH_4) из кућних отпадних вода

Емисија метана представља функцију количине произведеног органског отпада и фактора емисије који карактерише у којој мери тај отпад ствара CH_4 . У даљем тексту биће описана три случаја, која су подељена на основу података који се поседују или података које је потребно прикупити.

Прва метода је метода која се користи за земље са ограниченим подацима и код ње се примењују задате вредности за фактор емисије и параметре активности.

Друга метода примењује исти начин као и прва, са разликом да је овде могуће примењивати податке о активностима или факторе емисије који су карактеристични за неку земљу и који су добијени на основу мерења која се обављају на терену. Вредности се могу добити за одређени начин пречишћавања и испуштање или начина третирања муља, на основу количине која се уклања из процеса, а затим даље одлаже на депонијама или пољопривредна земљишта, [5].

Последњи начин је начин код кога се за прорачун користе подаци и вредности које су добијене на основу мерења само за једну одређену земљу. Она је карактеристична за земље са напредним технологијама, које имају услова за оваква мерења.

Постројења за пречишћавање отпадних вода могу укључивати кораке анаеробног процеса. Метан који се генерише у таквим објектима може бити поновно искоришћен и сагорен у бакљи или енергетком уређају. Количину метана која је издвојена за коришћење,

потребно је одузети од укупне емисије коришћењем посебног параметра за опоравак метана. Количина која је добијена изражена је као R у једначини 4.1.

Само неколико земаља располаже подацима о сагоревању муља и подацима о повратку метана за производњу енергије. Подразумеване вредности и за уклањање муља и за повратак метана је нула.

$$CH_4Emissions = [\sum_{i,j}(U_i \cdot T_{i,j} \cdot EF_j)](TOW - S) - R \quad (4.1)$$

где је:

$CH_4Emissions$ – емисија метана у току једне године, $\left[\frac{kgCH_4}{god}\right]$;

TOW – укупна количина органске материје у току једне године, $\left[\frac{kgBPK}{god}\right]$;

S – органска компонента уклоњена као муљ, $\left[\frac{kgBPK}{god}\right]$;

U_i – проценат популације у појединим областима;

$T_{i,j}$ – степен утилизације (коришћења) третманског/испусног вода или система;

i – област: рурална, урбана и веома урбана;

j – сваки третмански/испусни вод или систем;

EF_j – фактор емисије, $\left[\frac{kgCH_4}{kgBPK}\right]$;

R – количина искоришћеног метана током једне године, $\left[\frac{kgCH_4}{god}\right]$, [5].

Фактор емисије третманског/испусног вода или система је функција максималног потенцијала производње метана (B_o) и метанског корекционог фактора (MCF) за сваки третмански/испусни вод или систем (једначина 4.2). Максимални потенцијал производње метана (B_o) је максимална количина метана која се може произвести за дату количину органске материје (изражене као BPK или НРК) у отпадној води. MCF показује величину потенцијала производње метана (B_o) за сваки тип третманског/испусног вода и система и представља индикатор степена анаеробности система (табела 4.2). Фактор емисије се рачуна према следећем изразу:

$$EF_j = B_o \cdot MCF_j \quad (4.2)$$

где је:

EF_j – фактор емисије, $\left[\frac{kgCH_4}{kgBPK}\right]$;

j – сваки третмански/испусни вод или систем, $\left[\frac{kgCH_4}{kgBPK}\right]$;

B_o – максимални потенцијал производње метана;

MCF_j – метански корекциони фактор, [5].

Препоручује се коришћење вредности B_0 на државном нивоу, где постоји. Уколико не постоји вредност B_0 на државном нивоу, усваја се стандардна вредност $0,6 \frac{kg CH_4}{kg BPK}$. За комуналне воде вредност B_0 изражена у НРК може се претворити у ВРК множењем са 2,4.

Табела 4.2 Стандардне MCF вредности за комуналне воде, [5]

Тип третмана и испусног вода или система	Коментар	MCF	Опсег
Без третмана			
Испуст у море, реку и језеро	Реке са високим органским оптерећењем могу бити анаеробне	0,1	0-0,2
Устајала канализација	Отворена и врућа	0,5	0,4-0,8
Проточна канализација (отворена или затворена)	Брзопловећа, чиста (незнатна количина метана из пумпне станице)	0	0
Са третманом			
Централизовано, аеробно постројење	Мора бити добро управљано. Нешто метана може бити емитовано таложењем у базену	0	0-0,1
	Лоше управљано, преоптерећено.	0,3	0,2-0,4
Анаеробни дигестор муља	Не разматра се добијање метана.	0,8	0,8-1
Анаеробни реактор			
Анаеробна плитка лагуна	Дубине испод 2m, користе експертске процене.	0,2	0-0,3
Анаеробна дубока лагуна	Дубине изнад 2m.	0,8	0,8-1
Септички систем	Половина ВРК се таложи у анаеробном базену.	0,5	0,5
Тоалет	Сува клима (3-5 корисника).	0,1	0,05-0,15
	Сува клима (више корисника).	0,5	0,4-0,6
	Влажна клима, већа потрошња воде.	0,7	0,7-1
	Редовно уклањање талога.	0,1	0,1

Укупна количина органског разградивог материјала у отпадној води (TOW) представља функцију људске популације која јесте/или није прикључена на систем за третман отпадних вода и ВРК по једном становнику (једначина 4.3).

$$TOW = P \cdot BPK \cdot 0,001 \cdot I \cdot 365 \quad (4.3)$$

где је:

TOW – укупна количина органске материје у току једне године, $\left[\frac{kg BPK}{god} \right]$;

P – популација у току једне године (еквивалентни број становника);

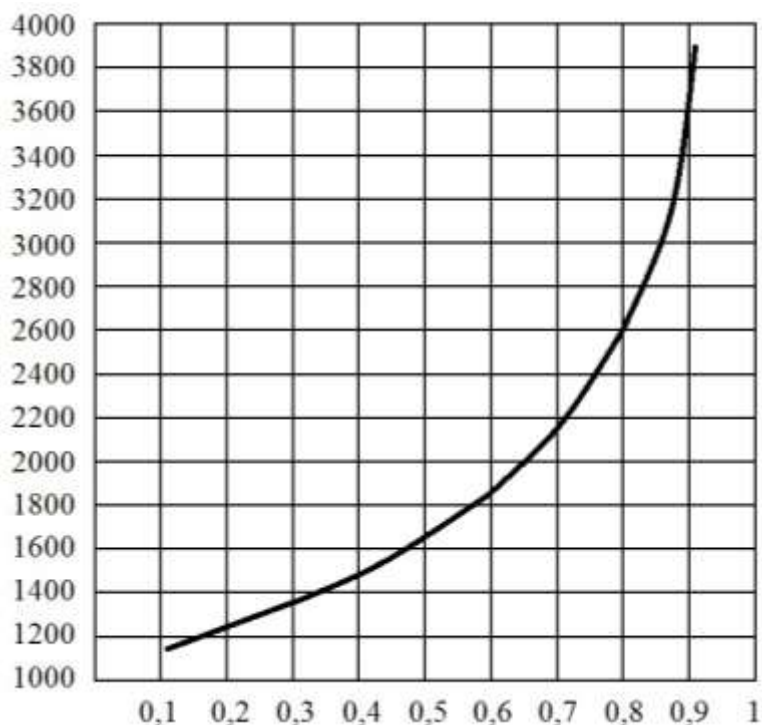
BPK – биолошка потрошња кисеоника по становнику на дан $\left[\frac{g}{st \times dan} \right]$, усвојена је вредност $60 \frac{g}{st \times dan}$;

0,001 – фактор конверзије из $BPK [g]$ у $BPK [kg]$;

I – корекциони фактор за додатни испуст индустријске BPK у канализацију (за сакупљене вредност је 1,25, а за несакупљене 1).

Органска компонента уклоњења као муљ (S) пропорционална је производу биолошке потрошње кисеоника (BPK) и специфичне производње муља (M_{sp}) (једначина 4.4). Вредност биолошке потрошње кисеоника прате националне или стране агенције, а уколико није позната државнавредност потребно је узети стандардну вредност за суседну упоредну државу. Специфична производња муља је параметар који се усваја на основу препорука и зависи од вредности органског оптерећења у базену за аерацију (дијаграм 4. 1).

$$S = BPK \cdot M_{sp} \cdot 365 \left[\frac{kgBPK}{god} \right] \quad (4.4)$$



Дијаграм 4.1 Одређивање специфичне производње муља, [5]

4. 1. 1 Временски период конзистенције

За процену емисије метана из отпадних вода за сваку годину треба користити исту методу и скупове података. MCF за различите системе третмана отпадних вода не треба мењати из годину у годину, осим ако таква промена није оправдана и документована. Ако се

удео отпадних вода које се пречишћавају током времена мења, разлози тих промена морају бити документовани, [5].

Уклањање муља и поновно коришћење метана требало би да се константно процењујетом годину дана у одређеном временском распореду. Подаци о повратку метана треба да буду укључени само ако има довољно специфичних података за постројење. Количину добијеног метана треба одузети од произведеног метана, као што је и приказано у једначини 4.1.

Пошто су сви подаци о активностима изведени из података о становништву, акоји су доступни за сваку земљу и за сваку годину, свака земља би требало да буде у могућности да прикупи податке зачитав тај временски период за сакупљене и прикупљене отпадне воде. Ако недостају подаци о учешћу не прикупљених вода које се третирају на лицу места у односу на необрађену за једну или више година, неопходни параметри се могу одредити на основу интерполације. Емисије из отпадних вода обично не варирају значајно из године у годину, [5].

4.1.2 Q_A/Q_C , комплетност, извештавање и документација

Добра пракса је да се спроводе провере квалитета и процедуре осигурања квалитета. У наставку су обухваћене неке битне Q_A/Q_C .

Подаци о активности

Неопходно је извршити карактеризацију свих отпадних вода по процентима која одлазиу различите системе за пречишћавање (аеробни и анаеробни) и одредити проценат необрађених отпадних вода. При томе треба водити рачуна да када се све отпадне воде које су описане саберу укупан проценат износи 100%.

Они који прикупљају податке би требало да изврше упоређивање података за ВРК добијених за кућне отпадне воде за одговарајућу земљу са подразумеваним вредностима које даје IPCC-а. Уколико се вредности битно разликују за одређену земљу, потребно је дати образложење зашто су њихове вредности боље за дату земљу при одговарајућим околности, [5].

Фактори емисије

За кућне отпадне воде, састављачи података могу упоредити вредности за W_o са подразумеваним вредностима IPCC-а ($0.25 \text{ kg CH}_4/\text{kg НРК}$ или $0.6 \text{ kg CH}_4/\text{kg ВРК}$). Уколико не постоје вредности IPCC-а за део - анаеробно третиране отпадне воде, препоручује се да се упореде вредности за MCF са онима из других земаља са сличним поступцима збрињавања отпадних вода.

Састављачи би требало да потврде јединице које се користе за разградњу угљеника у отпаду (TOW) са јединицама за W_o . Оба параметра би требало да се заснивају на јединицама

(ВРК или НРК) како би се израчунале емисије. Такође се ово мора узети у обзир и при поређењу емисија, [5].

Повратак метана и уклањање муља

Провера равнотеже угљеника може се користити како би се осигурало да је у дотоку и одливу упоредив. Ако се у попису налази и уклањање муља, потребно је да се провери да ли је у складу са проценом примене на пољопривредним земљиштима, спаљеног муља и талоба одложеног у одлагању чврстог отпада, [5].

Комплетност

Комплетност се може верификовати на основу степена искоришћености система за третирање или пражњења. Збир Т би требало да је једнак 100%. Свака индустријска отпадна вода која се третира у кућним постројењима за пречишћавање отпадних вода треба да се укључи у категорију. Ако се муљ уклања и шаље на спаљивање, одлагање на депоније или као ђубриво на пољопривредном земљишту, количина одстрањеног материјала као муља треба да буде у складу са подацима коришћеним у релевантним секторима.

Извештаји и документација

Добра је пракса документовати и поднети извештај о коришћеним методама, подацима и активности и факторима емисије. Када се користе методе или фактори и/или фактори емисије који су другачији, потребно је дати образложење за ту одлуку као и референце на који начин су изведени подаци специфични за дату земљу, [5].

4.2 Индустријске отпадне воде

Индустријске отпадне воде се могу пречишћавати на лицу места или испуштати у канализационе системе. Ако се испушта у канализациону мрежу домаћинства, емисије се удружују са емисијама отпадних вода у домаћинству. У даљем раду биће дате процене емисије метана из индустријских пречишћених вода на лицу места. Само индустријске отпадне воде сазначајним садржајем угљеника које се третирају у предвиђеним или ненамерним анаеробним условима ће произвести метан. Органско оптерећење у индустријским отпадним водама често се изражава са ВРК.

4.2.1 Метода

Процена производног потенцијала метана из индустријских отпадних вода заснива се на концентрацији разградиве органске материје у отпадној води, количини отпадних вода и склоности индустријског сектора да отпадне воде третира у анаеробним системима. Помоћу ових критеријума, главни индустријски извори отпадних вода са високим потенцијалом производње метана, могу се класификовати на следећи начин:

- производња целулозе и папира;

- прерада меса и живине (кланице);
- производња алкохола, пива и скроба;
- производња органских хемикалија;
- друга прерада хране и пића (млечни производи, биљно уље, воће и поврће, конзерве, прављење сокова итд).

Све горе побројане индустрије, производе велике количине отпадних вода које садрже висок ниво разградње органских материја. Постојења за прераду меса и перади обично користе анаеробне лагуне за третман отпадних вода, док индустрија папира и целулозе користи лагуне, али и анаеробне реакторе. И индустрије хране и пића које немају животињско порекло, такође производе значајан ниво органског угљеника у отпадним водама, а користе анаеробне процесе, попут лагуна и анаеробних реактора. Анаеробни реактори у којима се третирају отпадне воде са постројењима за биогас, обично су повезани са повратом генерисаног метана и његово коришћење као енергента. Емисије из процеса сагоревања треба да се пријаве у енергетском сектору, [5].

Метода која се користи за процену емисија из индустријских отпадних вода је слична оној која се користи за кућне отпадне воде. Развој фактора емисије и података о активностима је сложенији, јер постоји много врста отпадних вода и много различитих индустрија која треба пратити. Најтачнија процена емисије била би она на основу прикупљених података у самој тачки извора. Прикупљање података за оваква мерења је тешко, пре свега због високих трошкова мерења и потенцијално великог броја тих тачака извора.

Предлаже се коришћење једначине 4.5 за процену укупног органског разградљивог угљеника у отпадним водама TOW за индустријски сектор i :

$$CH_4Emissions = \sum_i [(TOW_i - S_i)EF_i - R_i] \quad (4.5)$$

где је:

$CH_4Emissions$ – емисија метана у току једне године, $\left[\frac{kgCH_4}{god}\right]$;

TOW_i – укупна количина органске материје из индустрије i у току једне године, $\left[\frac{kgBPK}{god}\right]$;

i – индустријски сектор;

S_i – органске материје као муљ уложене у току године, $\left[\frac{kgBPK}{god}\right]$;

EF_i – фактор емисије за индустрију, $\left[\frac{kgCH_4}{kgBPK}\right]$;

R_i – количина повраћеног метана у току године, $\left[\frac{kgCH_4}{god}\right]$.

Постоје велике разлике у потенцијалу за различите типове индустријских отпадних вода. Колико год је то могуће, потребно је прикупити податке да би се одредио максимални

капацитет производње метана (B_o) у свакој индустрији. Као што је већ напоменуто, MCF показује у којој је мери потенцијал за производњу метана реализован у свакој врсти третмана, па је то показатељ степена у ком је процес анаеробни (једначина 4.6).

$$EF_j = B_o \cdot MCF_j \quad (4.6)$$

Где је:

EF_j – фактор емисије за сваки третмански/испусни вод или систем, $\left[\frac{kgCH_4}{kgBPK}\right]$;

j – за сваки третман/испусни вод или систем;

B_o – максимални потенцијал производње метана, $\left[\frac{kgCH_4}{kgBPK}\right]$;

MCF_j – метански корекциони фактор.

Добро би било да се користе специјални подаци за земљу или индустријски сектор који могу бити доступни од стране државних органа, индустријских организација или неких стручњака. Међутим, често ће се наићи на препреку и да су многи од тих података или недоступни или непотпуни. Ако нема ових података, могу се користити предложене вредности IPCC НРК- фактора за B_o ($0,25 \text{ kg } CH_4/kg \text{ BPK}$), [5].

За одређивање корекцијског фактора метана MCF, потребна је стручна процена. Добра техника за одређивање ових података је спровођење стручне анкете о третирању отпадних вода у индустрији. Анкете би требало спроводити често, ради праћења нових трендова у области третмана. У табели 4.3 дате су вредности MCF добијене на основу стручне процене.

Табела 4.3 Стандардне MCF вредности за индустријске отпадне воде, [5].

Тип третмана и испусног вода или система	Коментар	MCF	Опсег
Без третмана			
Испуст у море, реку и језеро	Реке са високим органским оптерећењем могу бити анаеробне	0,1	0-0,2
Са третманом			
Аеробно постројење	Мора бити добро управљано. Нешто метана може бити емитовано таложењем у базену.	0	0-0,1
	Лоше управљано, преоптерећено.	0,3	0,2-0,4
Анаеробни дигестор муља	Не разматра се добијање метана.	0,8	0,8-1
Анаеробни реактор			
Анаеробна плитка лагуна	Дубине испод 2m, користе експертске процене.	0,2	0-0,3
Анаеробна дубока лагуна	Дубине изнад 2m.	0,8	0,8-1

Податак о активности за индустријске отпадне воде представља количина органско разградљивог материјала у отпадној води (TOW). Овај параметар је функција индустријског излазног производа $P(tona/god)$, стварања отпадних вода $W(\frac{m^3}{tona} proizvod)$ и концентрације разградиве органске материје у води $BPK(kg BPK/m^3)$ (једначина 4.7).

$$TOW_i = P_i \cdot W_i \cdot BPK_i \quad (4.7)$$

где је:

TOW_i – укупна количина органске материје из индустрије i у току једне године, $[\frac{kgBPK}{god}]$;

i – индустријски сектор;

P_i – укупна количина производа из индустријског сектора i , $[\frac{t}{god}]$;

W_i – стварање отпадне воде, $[\frac{m^3}{t}]$;

BPK_i – биолошка потрошња кисеоника, $[\frac{kgBPK}{god}]$, [5].

4.2.2 Временски период конзистенције

За сваки сектор се уносе посебно дефинисане вредности. Додавањем новог индустријског сектора, долази до дисбаланса и тада би требало да се поново израчуна читав временски низ, како би подаци били доследни из године у годину. Као и код кућних отпадних вода и овде је потребно пратити податке о повратку метана и уклањању муља.

4.2.3 Q_A/Q_C , комплетност, извештавање и документација

Добра пракса је да се спроводе провере квалитета и процедуре осигурања квалитета. У наставку су обухваћене неке битне Q_A/Q_C .

За формирање документације за процену и рангирање производње индустријског ХПК-а, могу се користити подаци из државних статистика, регулаторних агенција, удружења за прераду отпадних вода или индустријских удружења. Неке земље могу имати и дефинисану регулативу контроли над индустријским испуштањем.

Потребно је проверити унакрсно вредности MCF-а у односу на податке из других држава, за земље са сличним карактеристикама отпадних вода. Ако је у попису наведено уклањање муља, потребно је проверити да ли је одлагање у складу са прописима. За земље које користе параметре који су специфични за њу или методе вишег нивоа, потребно је да се провере националне процене за емисију користећи IPCC методу и параметре, [5].

Комплетност

Комплетност за процену емисија из индустријских отпадних вода, зависи од карактеристика индустријског сектора који производи отпадну воду која је оптерећена

органским једињењима. У већини земаља је случај, да 3 до 4 индустријска сектора представљају већину запремине органске материје у отпадним водама.

Ова категорија треба да обухвати само индустријске отпадне воде које се третирају на лицу места. Емисије из индустријских отпадних вода које се испуштају у канализационе системе треба решити и укључити у кућне отпадне воде.

Муљ из неких индустрија може се спалити или одложити на депоније или на пољопривредно земљиште. Ово је заправо количина органског отпада коју треба одузети од раположивог.

Извештај и документација

За индустријске отпадне воде важе исти услови, као и за комуналне отпадне воде, да се све активности, процеси или било какве промене бележе и подносе у извештају, [5].

5. Студија случаја за Србију

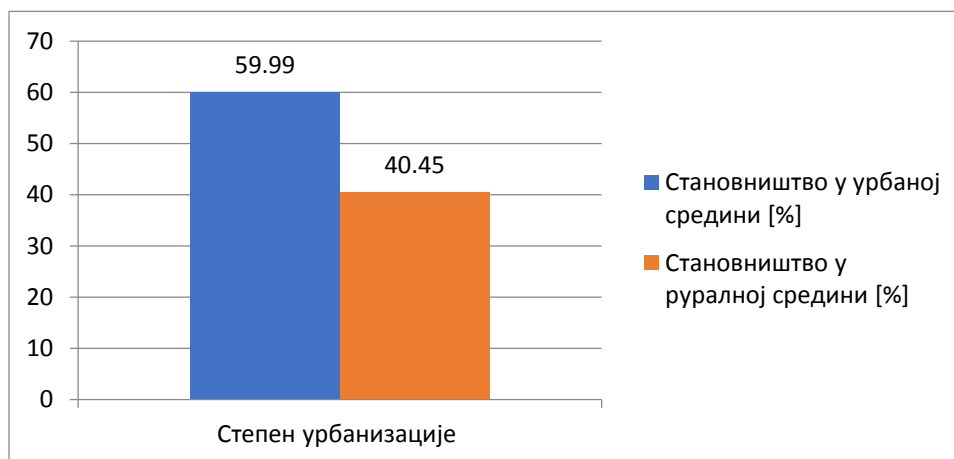
Према попису из 2011. године, Република Србија има укупно 7 186 862 становника. Регион Шумадије и Западне Србије има највише становника од 2 026 751, затим следи Војводина са 1 922 093, београдски регион са 1 649 121 и регион Јужне и Источне Србије са 1 588 897, [18].

По методологији IPCC из 2006. годину препоручује се подела становништва у три групе, али у Републици Србији та подела је извршена на две области, на урбану и руралну. Укупан број потребних система за пречишћавање је мањи од броја насеља, јер се неки системи користе за пречишћавање неколико насеља. У Србији су изграђена постројења за пречишћавање градских отпадних вода у 37 места са укупним капацитетом од 1 000 000 ЕС (еквивалентних становника) (табела 5.1). Ефекат рада ових предузећа је изузетно лош и у просеку је испод 50 % ЕУ, [19].

Табела 5.1 Преглед ППОВ Србије са капацитетом по еквивалтном становнику, [20]

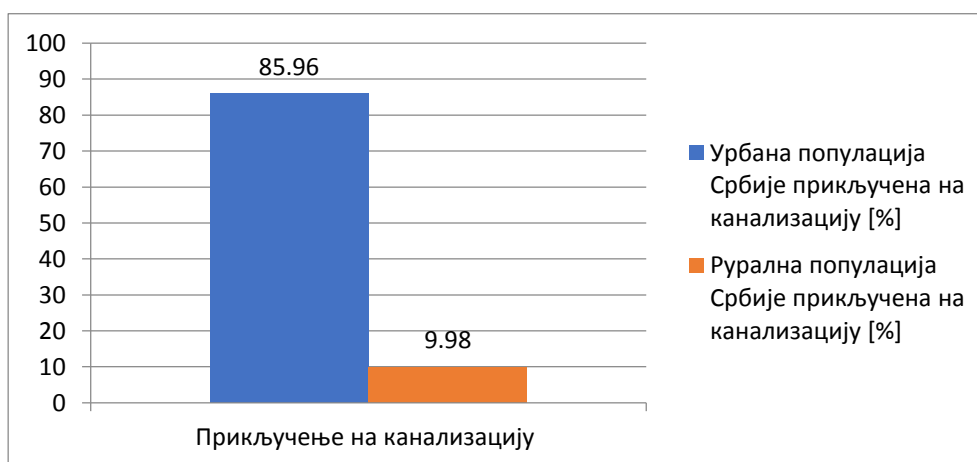
ОКРУГ	ГРАДСКА ППОВ		
	Бр.	Капацитет (ЕС)	Назив
Београдски	-		
Борски	1	10. 000	Кладово
Браничевски	-		
Зајечарски	1	5. 000	Цоко Бања
Златиборски	-		
Јабланички	2	10. 000 6. 000	Власотинце Медвеђа
Колубарски	1	110. 000	Ваљево
Мачвански	-		
Моравички	1	50. 000	Г. Милановац
Нишавски	-		
Пиротски	2	9. 500 20. 000	Димитровград Бела Паланка
Подунавски	1	35. 000	Велика Плана
Поморавски	2	45. 000 35. 000	Јагодина Параћин
Пчињски	-		
Расински	-		
Рашки	-		
Топлички	-		
Шумадијски	4	25. 000 4. 000 125. 000 8. 000	Аранђеловац Аранђеловац Крагујевац Топола
Северна Бачка	1	160. 000	Суботица
Западна Бачка	1	180. 000	Сомбор
Јужна Бачка	2	50. 000 13. 000	Бечеј Беч
Северни Банат	1	60. 000	Кикинда
Средњи Банат	-		
Јужни Банат	1	110. 000	Вршац
Срем	-		
Укупно	21	1. 070. 500	

Око 75% градског становништва је повезано на јавни канализациони систем, док тај показатељ износи само 9% за сеоско становништво. Београдски регион има највећи ниво урбанизације са 81%, затим следи Војводина са 59%, регион Јужне и Источне Србије са 53%, а Шумадија и Западна Србија са 17%. Према дијаграму 5.1, 59,99% становника живи у урбаним срединама, а 40,45% у руралном, [18].



Дијаграм 5.1 Степен урбанизације

Регион Шумадије и Западне Србије има 93% градског становништва прикљученог на канализацију, регион Јужне и Источне Србије има 91%, београдски округ 89%, а војвођански 74%. Када говоримо о проценту прикључења руралног становништва, београдски регион је заступљен са 17%, Шумадија и регион западне Србије са 11%, Јужни и Источни са 10%, а Војводина само са 6%. На нивоу земље 85,96% урбаног становништва прикључено је на канализацију, док је само 9,98% руралног становништва прикључено на канализацију (дијаграм 5.2). У 19 општина у Србији постоје постројења за пречишћавање отпадних вода, 14 са биолошким и 5 са механичким пречишћавањем. Ради поређења наше ситуације, пречишћава се свега 7,6% укупног органског загађења, [18].



Дијаграм 5.2 Степен прикључења на канализацију

На почетку разматрања, потребно је нагласити да канализационом мрежом није покривено целокупно становништво централне Србија, па је из тог разлога пре свега за израчунавање емисије метана потребно посебно разматрати рурално, а посебно урбано становништво. Одавде произилази да је метански корекциони фактор за рурално становништво, које отпадне воде одлаже у септичке јаме, $MCF=0,5$.

5.1 Крагујевац

Крагујевац поседује централно постројење за пречишћавање комуналних и предтретираних индустријских отпадних вода секундарног типа у коме се отпадна вода пречишћава у аерационом базену са активним муљем па је $MCF=0$. Постојење је пројектовано за 250. 000 еквивалентних становника, а инсталирани капацитет је 125.000ЕС.

У канализацију се испуштају индустријске отпадне воде. Примарним таложењем уклања се 25% органског оптерећења. Остатак органског оптерећења уклања се у аерационом базену и секундарном таложнику тако да се испоштују законом прописане вредности органског оптерећења у пречишћеној води. Добијени муљ се након стабилизације одвози на градску депонију. Постојење у Крагујевцу поседује два дигестора и годишња производња метана износи око 314 тона. Како је метански корекциони фактор постројења 0, то значи да нема емисије метана од стране урбаног становништва, [17, 18, 19].

5.2 Аранђеловац

У општини Аранђеловац је 57% становништва прикључено на канализациону мрежу. Аранђеловац је један од малог броја градова у Србији, који има два постројења за пречишћавање отпадних вода, у Бањи капацитета 25.000 прикључака и у Даросави за 8000, што је знатно мањег капацитета 45. 000ЕС, па у овом случају нема емисије метана урбаног становништва. У канализацији се испуштају индустријске отпадне воде.

Емисија метана из отпадних вода руралног становништва износи 133 тона на годишњем нивоу, [17, 18].

5.3 Горњи Милановац

Постојење је пројектовано за еквивалентно оптерећење од укупно 100.000 ЕС. Постојење просечно пречишћава 130 l/s отпадних вода. Контрола квалитета отпадних вода које надлазе на постројење као и оне која се испушта у реку врши се 2 пута дневно у лабораторији, док званичну контролу отпадне воде пре и после постројења, као и речне воде врши завод за јавно здравље сваког другог месеца, [17, 18].

Централно постројење за пречишћавање отпадних вода Горње Милановца ЦППОВ „Млаковац“ пројектовано је у две фазе. На постројењу се врши обједињени третман домаћих употребљених вода (санитарна вода), отпадних вода индустрије, инфилтрованих вода, као и дела атмосферских вода.

На линији воде постројење је пројектовано у две идентичне процесне линије, свака максималног хидрауличног капацитета од по 250 l/s. У свакој линији се налазе решетке, песколов, примарни таложник, базени за биолошку аерацију (2 комада) и секундарни таложник. Ови објекти и уређаји су изведени у I фази, укључивши и ЦС сирове воде и ЦС за рецикулацију и вишак муља (коначна фаза).

Третман муља обухвата примарно угушћавање примарног муља и вишка активног муља у примарном угушћивачу, анаеробну дигестију угушћеног муља у дигесторима, секундарног угушћавања преврелог муља у секундарном угушћивачу и механичку дехидратацију угушћеног муља на филтер пресама.

У процесу анаеробне дигестије као нуспродукт настаје биогас. Пројектом је предвиђено да се биогас пречишћава и користи за грејање дигестора и за производњу електричне енергије за потребе рада постројења, [17, 18].

5.4 Општина Топола, Рача, Баточина, Лапово и Кнић

У општини Топола само 15% становништва је прикључено на канализациону мрежу. Непостоји централно постројење за пречишћавање отпадних вода. Емисија метана из канализације руралног становништва износи 161 t.

У општини Рача је 24% становништва прикључено на канализациону мрежу. Отпадна вода комуналног и индустријског типа се испушта у реку па је $MCF=0,1$.

У општини Баточина 15% становништва је прикључено на канализациону мрежу. У канализацију се испуштају индустријске отпадне воде. Отпадне воде се испуштају у реку па је $MCF=0,1$, а укупна емисија метана износи 69t.

У општини Лапово је на канализациону мрежу прикључено 20% становништва. Отпадна вода се испушта у језеро па је $MCF=0,1$, [17,18].

6. Прорачун емисије метана за територију Србије

Крагујевац

На основу података за постројење које се налази у Крагујевцу, можемо уз помоћ приказаног прорачуна доћи до процена емисије метана. Усвојено је да рурално становништво користи септички систем, па је зато усвојено да је $MCF=0,5$, што је обележено и у табели 6.1.

Табела 6. 1 Стандардне MCF вредности за комуналне воде

Тип третмана и испусног вода или система	Коментар	MCF	Опсег
Без третмана			
Испуст у море, реку и језеро	Реке са високим органским оптерећењем могу бити анаеробне	0,1	0-0,2
Устајала канализација	Отворена и врућа	0,5	0,4-0,8
Проточна канализација (отворена или затворена)	Брзопловећа, чиста (незнатна количина метана из пумпне станице)	0	0
Са третманом			
Централизовано, аеробно постројење	Мора бити добро управљано. Нешто метана може бити емитовано таложењем у базену	0	0-0,1
	Лоше управљано, преоптерећено.	0,3	0,2-0,4
Анаеробни дигестор муља	Не разматра се добијање метана.	0,8	0,8-1
Анаеробни реактор			
Анаеробна плитка лагуна	Дубине испод 2m, користе експертске процене.	0,2	0-0,3
Анаеробна дубока лагуна	Дубине изнад 2m.	0,8	0,8-1
Септички систем	Половина ВРК се таложи у анаеробном базену.	0,5	0,5
Тоалет	Сува клима (3-5 корисника).	0,1	0,05-0,15
	Сува клима (више корисника).	0,5	0,4-0,6
	Влажна клима, већа потрошња воде.	0,7	0,7-1
	Редовно уклањање талога.	0,1	0,1

Емисија метана руралног становништва се добијазаменом одговарајућих вредности у једначини. Подаци који се уносе у једначину су:

- Проценат популације руралног становништва $U_i = 0,25$;
- Степен утилизације третманског/испусног вода или система $T = 1$;
- Фактор емисије $EF_i = B_o \cdot MCF_i = 0,6 \cdot 0,5 = 0,3 \frac{kg CH_4}{kg BPK}$;

- Укупна количина органске материје у току једне године

$$TOW = P \cdot U_i \cdot I \cdot 365 = 179417 \cdot 0,25 \cdot 0,06 \cdot 365 = 982308 \frac{kg BPK}{god};$$

Органска компонента уклоњена као муљ ($S=0$) и количина искоришћеног метана током једне године ($R=0$) не фигурише у једначини за процену емисије метана у току једне године, када је у питању рурално становништво. Уношењем наведених вредности у једначину, добија се вредност емисије метана руралног становништва.

$$CH_4 Emissions = EF_j \cdot TOW = 0,3 \cdot 982308 = 294692,4 \frac{kg CH_4}{god}.$$

Емисија метана добијена на основу прорачуна представља теоријску вредност. Стварна вредност је мања за степен ефикасности система за третман отпадних вода, а најчешће износи од 70% до 90%. Ако усвојимо вредност 80% издвојеног органског оптерећења, добијамо да је потенцијал продукције метана у дигестору $235.754 \frac{kg CH_4}{god}$. Пошто се проценат метана у биогасу креће у границама од 55% до 75%, добијамо да је могућа продукција биогаса $362698,5 \frac{kg}{god}$ ($471.037 Nm^3$).

Топлотна моћ биогаса зависи од садржаја метана и за просечан садржај од 65% метана износи $6,4 \frac{kWh}{Nm^3}$. Коришћењем добијеног биогаса за погон когенеративног постројења, могуће је произвести $1,2 \frac{GWh}{god}$ електричне енергије и $1,6 \frac{GWh}{god}$ топлотне енергије.

Београд

Број популације београдског округа је 1 649 121 лица, од чега је 313.542 лица из руралног подручја. Из овог податка следи да је проценат популације руралног становништва $U_i = 0,19$.

Ако максимални капацитет производње метана (B_o) није доступан за одређену земљу, онда се предлаже усвајање референтне вредности, која у овом случају износи $0,6 \frac{kg CH_4}{kg BPK}$.

Фактор емисије за београдску област је:

$$EF_i = B_o \cdot MCF_i = 0,6 \cdot 0,5 = 0,3 \frac{kg CH_4}{kg BPK}.$$

Укупна количина органске материје у току једне године:

$$TOW = P \cdot U_i \cdot I \cdot 365 = 1649121 \cdot 0,19 \cdot 0,06 \cdot 365 = 6861992 \frac{kg BPK}{god}.$$

Органска компонента уклоњена као муљ ($S=0$) и количина искоришћеног метана током једне године ($R=0$) не фигурише у једначини за процену емисије метана у току једне године, када је у питању рурално становништво. Уношењем наведених вредности у једначину, добија се вредност емисије метана руралног становништва.

$$CH_4Emissions = EF_j \cdot TOW = 0,3 \cdot 6861992 = 2058597 \frac{kg CH_4}{god}.$$

Емисија метана добијена на основу прорачуна представља теоријску вредност. Стварна вредност је мања за степен ефикасности система за третман отпадних водаи најчешће износи од 70% до 90%. Ако усвојимо вредност 80% издвојеног органског оптерећења, добијамо да је потенцијал продукције метана у дигестору $1\,646\,877 \frac{kg CH_4}{god}$. Пошто се проценат метана у биогасу креће у границама од 55% до 75%, добијамо да је могућа продукција биогаса $2\,635\,003,2 \frac{kg}{god}$.

Јужнобачка и Северно Бачка област

Број становника јужнобачког и севернобачког округа је 449 148, од чега је 95.558 становника из руралног подручја. Из овог податка следи да је проценат популације руралног становништва $U_i = 0,21$.

Максимални капацитет производње метана (B_o) износи $0,6 \frac{kg CH_4}{kg BPK}$.

Фактор емисије за јужнобачку и северно бачку област је:

$$EF_i = B_o \cdot MCF_i = 0,6 \cdot 0,5 = 0,3 \frac{kg CH_4}{kg BPK}.$$

Укупна количина органске материје у току једне године:

$$TOW = P \cdot U_i \cdot I \cdot 365 = 449148 \cdot 0,21 \cdot 0,06 \cdot 365 = 2065631 \frac{kg BPK}{god}.$$

Уношењем наведених вредности у једначину, добија се вредност емисије метана руралног становништва

$$CH_4Emissions = EF_j \cdot TOW = 0,3 \cdot 2065631 = 619689,5 \frac{kg CH_4}{god}.$$

Ако усвојимо вредност 80% издвојеног органског оптерећења, добијамо да је потенцијал продукције метана у дигестору $495.751 \frac{kg CH_4}{god}$. Пошто се проценат метана у биогасу креће у границама од 55% до 75%, добијамо да је могућа продукција биогаса $793.201,6 \frac{kg}{god}$.

Аранађеловац

Број становника Аранађеловца је 46.164, од чега је 21.413 становника из руралног подручја. Из овог податка следи да је проценат популације руралног становништва $U_i = 0,46$.

Максимални капацитет производње метана (B_o) износи $0,6 \frac{kg CH_4}{kg BPK}$.

Фактор емисије за Аранађеловац је:

$$EF_i = B_o \cdot MCF_i = 0,6 \cdot 0,5 = 0,3 \frac{kg CH_4}{kg BPK}$$

Укупна количина органске материје у току једне године:

$$TOW = P \cdot U_i \cdot I \cdot 365 = 46164 \cdot 0,46 \cdot 0,06 \cdot 365 = 464874 \frac{kg BPK}{god}$$

Уношењем наведених вредности у једначину, добија се вредност емисије метана руралног становништва

$$CH_4 Emissions = EF_j \cdot TOW = 0,3 \cdot 464874 = 139462 \frac{kg CH_4}{god}$$

Ако усвојимо вредност 80% издвојеног органског оптерећења, добијамо да је потенцијал продукције метана у дигестору $111569,6 \frac{kg CH_4}{god}$. Пошто се проценат метана у биогасу креће у границама од 55% до 75%, добијамо да је могућа продукција биогаса $178511 \frac{kg}{god}$.

Србија

Број становника Србије, као што је већ напоменуто према попису из 2011. године је 7 186 862, од чега је 2 907 086 становника из руралног подручја. Из овог податка следи да је проценат популације руралног становништва $U_i = 40,45$.

Ако максимални капацитет производње метана (B_o) није доступан за одређену земљу, онда се предлаже усвајање референтне вредности, која у овом случају износи $0,6 \frac{kg CH_4}{kg BPK}$.

Усвојено је да рурално становништво користи септички систем па је зато усвојено да је $MCF=0,5$.

Фактор емисије Србије је:

$$EF_i = B_o \cdot MCF_i = 0,6 \cdot 0,5 = 0,3 \frac{kg CH_4}{kg BPK}$$

Укупна количина органске материје у току једне године:

$$TOW = P \cdot U_i \cdot I \cdot 365 = 7186862 \cdot 0,40 \cdot 0,06 \cdot 365 = 62956911 \frac{kg BPK}{god}$$

Уношењем наведених вредности у једначину, добија се вредност емисије метана руралног становништва

$$CH_4 Emissions = EF_j \cdot TOW = 0,3 \cdot 62956911 = 18887073 \frac{kg CH_4}{god}$$

Ако усвојимо вредност 80% издвојеног органског оптерећења, добијамо да је потенцијал продукције метана у дигестору $15109659 \frac{kg CH_4}{god}$. Пошто се проценат метана у биогасу креће у границама од 55% до 75%, добијамо да је могућа продукција биогаса $24\ 175\ 454 \frac{kg}{god}$.

Комплетан прорачун је извршен у Excel-у. На слици 6.1 је приказан део прорачуна за могућу продукцију биогаса на територији Републике Србије.

The image shows a complex Excel spreadsheet with numerous columns and rows. The columns are organized into several groups, likely representing different stages of the calculation or different types of data. Some cells are highlighted in yellow, possibly indicating specific data points or results. The overall layout is typical of a large-scale data analysis or calculation tool.

Слика 6.1 Прорачун могуће продукција биогаса на територији Републике Србије

Слика 6.2 Прорачун коефицијената за израчунавање продукције биогаса на територији Републике Србије

6. 1 Коментар резултата

Главни фактор који утиче на производњу метана је степен урбанизације неког града, региона или целе земље. Још један од битних фактора јесте начин третмана и испусног вода. Гледано према градовима Београд има највећи степен урбанизације, прати га Војводина, затим следи јужна Србија и Шумадија и на крају западна Србија.

Емисија метана из система за третман отпадних вода на основу методологије IPCC 2006, за Србију према подацима из 2013 је 24.175 тона по години. На основу приказаних прорачуна за неколико изабраних градова, емисија метана за Крагујевац је 362 тоне по години, за Београд је 2.635 тона по години, за Јужно Бачку и Севернобачку област је 793 тона по години и за Аранђеловац је 178 тона по години.

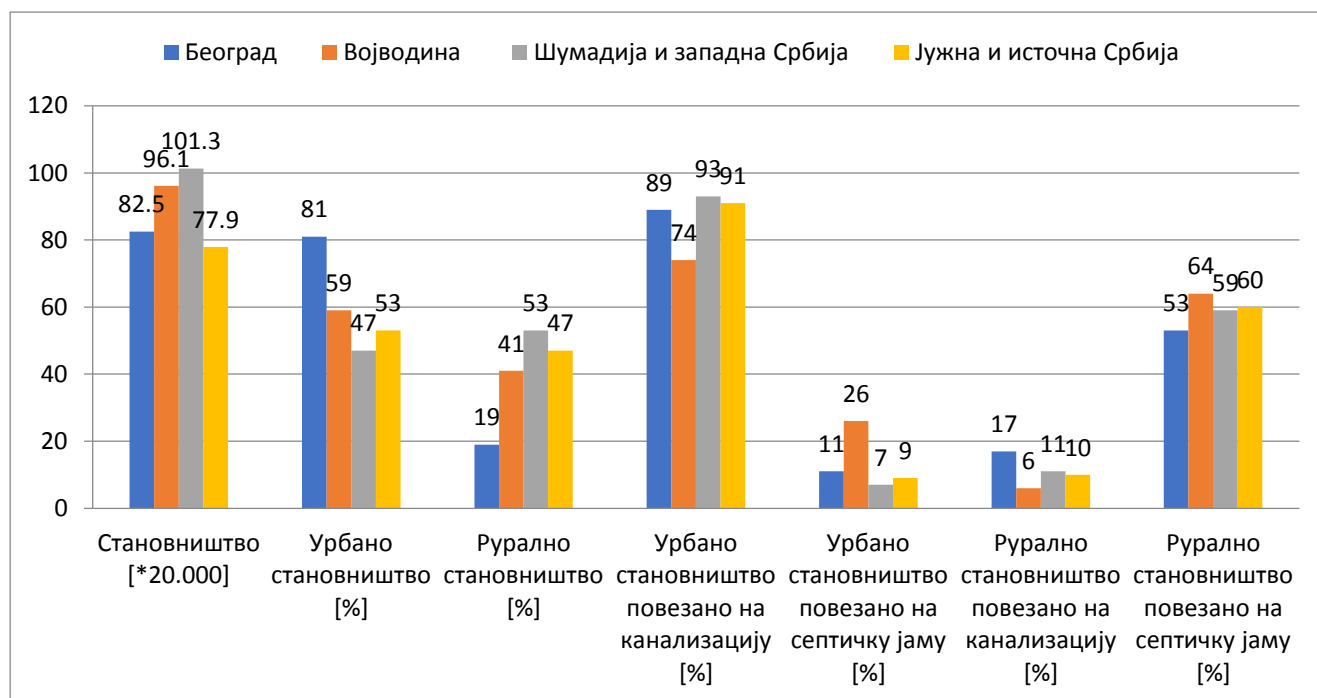
Највећи проценат емисије метана на нивоу округа потиче из септичких јама. У београдском округу чини се да су доприноси емисије метана из канализације и септичке јаме приближно једнаки упркос великом проценту градског становништва који је прикључен на канализацију. Главни фактор који утиче на тако велике пропорције емисије метана из канализације је недостатак одговарајућих уређаја за пречишћавање отпадних вода. У осталим регионима, на основу прорачуна приказаног у табели 6.1, емисије метана из септичких јама крећу се у распону од 67 % до 77% од укупног резултата.

Иако је отприлике једна трећина општина у војвођанском округу покривена постојењима за пречишћавање отпадних вода, емисија метана из канализација је резултат нижег процента градског становништва и испуштање непрочишћених отпадних вода у отворене устајале канализације.

Регион Шумадије и западне Србије има највише становника и петина општина у том региону има постројења за пречишћавање отпадних вода, па су зато емисије метана из канализације најмање. Постојења се налазе у општинама са већим бројем становништва,

па је зато количина емисија у овом региону смањена. Насупрот њима, регион јужне и источне Србије има постројења за третман отпадних вода која се налазе у општинама са мањим бројем становника, што изазива већу количину емисије метана из канализације.

На основу резултата прорачуна који су приказани у табели направљен је дијаграм 6.1 у коме је дат приказ процента урбаног и руралног становништва у одређеним регионима. За сваку од подела, односно урбаног и руралног дат је податак који проценат становништва је прикључен на канализацију, а који проценат има септичку јаму.



Дијаграм 6.1 Проценат урбаног и руралног становништва и проценат њихог прикључења на канализацију или септичку јаму

7. Закључак

Отпадне воде су воде које су искоришћене за одређену сврху и том приликом су промењене њихове физичке, хемијске и биолошке карактеристике. Физичке карактеристике су садржај суве материје, боја, мирис и температура воде. Садржај органске материје је једна од најбитнијих карактеристика. Одређује се биохемијска потрошња кисеоника (ВРК), хемијска потрошња кисеоника (НРК) и укупан органски угљеник (ТОС).

Поступци који се користе за пречишћавање су: механички поступци, физичко – хемијски, биолошки и прерада муља, као концентрованог материјала. У примарном третману, механичким поступцима се отклањају материје као што су груби, чврсти предмети, пливајуће материје и суспендоване материје које се могу често наћи у води. Секундарни третман или биолошко пречишћавање представља процесе којим се отклања највећи део органског загађења. Последњи третман је терцијални третман који је ту да обезбеди само виши ниво квалитета отпадне воде пре њеног испуштања у реципијент.

Током процеса пречишћавања настају велике количине муља који мора даље да се третира. Анаеробна дигестија је технологија која се примењује у обради муља, где уз помоћ микороорганизама који разграђују део органске материје долази до производње биогаса. Биогас је мешавина гасова, где највећи удео заузима метан. Емисија метана из отпадних вода одређује се коришћењем методе IPCC (*IPCC 2006 model*). Количина метана пре свега зависи од настале количине муља, система за третман отпадних вода и испусног вода.

Према IPCC методологији потребно је прикупити одређене податке о начину третману и испусног вода. Уколико нема тих података, тада се узимају подаци који су препоручени у функцији од технологија које се користе, начина на који се третира муљ и одакле се може после добити метан.

У Србији је изграђено 37 постројења за третман отпадних вода са капацитетом од 100.000 еквивалентних становника. Према подели која је извршена ради прорачуна, становништво се дели на урбано и рурално, па одатле следи према подацима за Србију да 59,99 % становништва припада урбаној средини, а 40,45 % руралној средини. Од тога је 85,96 % урбане популације повезано на канализацију, док је за рурално становништво тај проценат знатно мањи и износи само 9,98 %.

На основу приказаних прорачуна у раду, изведен је закључак да је пресудан фактор који утиче на производњу метана урбанизација неког града. Емисија метана из система за пречишћавање отпадних вода према прорачуну износи 24.175 тона годишње. Највећи проценат емисије метана према прорачуну потиче из септичких јама. Узрок повећане емисије у нашој земљи, је пре свега недовољан број адекватних постројења, а и лош рад постојећих постројења.

8. Литература

- [1] В. Шуштершич: „Технологије и постројења у припреми воде за пиће и третману отпадних вода“, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2014.
- [2] В. Шуштершич: „Канализација-скрипта“, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2015.
- [3] Ekologija, Centar za ekologiju i energiju, приступљено у јулу, 2017. године, <http://ekologija.ba/>
- [4] Пречишћавање вода, приступљено у јуну, 2019. године, <https://www.scribd.com/document/326530426/pzss-predavanja-II-1-dop-1-pdf>
- [5] IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol. 5 Waste Chapter 6, приступљено у мају 2019, https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_6_Ch6_Wastewater.pdf
- [6] Ј. Маргета: „Канализација насеља: одводња и збрињавање отпадних и оборинских вода“, Грађевинско-архитектонски факултет, Сплит, 2009
- [7] Д. Николић, Ј. Скрелић, В. Шуштершич: „Системи за пречишћавање отпадних вода у великим и малим насељима“, Водопривреда, 44, 2012.
- [8] Water Workshop, С. Рончевић, Прелиминарни и примарни третман отпадних вода, ПМФ, Нови Сад, 2014, приступљено у јуну, 2019. године, <http://www.waterworkshop.pmf.uns.ac.rs/radionice/ww2014/cetvrtak/04%20Roncevic%20ww2014.pdf>
- [9] Р. Китановић, В. Шуштершич, Третман отпадних вода, Војнотехнички гласник, Вол. LXIII, бр. 3, 2013
- [10] ЈКП Водовод и Канализација Суботица, приступљено у августу, 2019. године, <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0042-8469/2013/0042-84691303122K.pdf>
- [11] HOMEBIOGAS, приступљено у августу, 2019. године, https://www.homebiogas.com/Blog/142/What_is_Biogas%7Cfq%7C_A_Beginners_Guide
- [12] Green Group, приступљено у августу, 2019. године, <https://www.green-group.rs/>
- [13] IEA Bioenergy, приступљено у августу, 2019. године, <https://www.ieabioenergy.com/>
- [14] М. Мартинов, К. Ковач, Ђ. Ђатков, Биогас технологија, Факултет тејничких наука, Нови Сад, 2012. приступљено у августу, 2019. године, http://www.bioenergy-serbia.rs/images/documents/standards/biogas_tehnologija_martinov.pdf
- [15] Е. Карловић, Муљеви од пречишћавања комуналних отпадних вода – легислатива, коришћење и третман муљева, ПМФ, Нови Сад, 2010. приступљено у августу, 2019. године, <http://www.cecra.dh.pmf.uns.ac.rs/pdfww2010/ELVIRA%202010%20MULJEVI%20OD.pdf>

- [16] Ч. Лаловић, Г. Бошковић, Производња биогаса на постројењима за третман отпадних вода у Централној Србији, 32. Међународни конгрес о процесној индустрији, 2019.
- [17] Републички завод за статистику, Република Србија, приступљено у септембру, 2019. године, <http://www.stat.gov.rs/sr-Cyrl/oblasti/popis/popis-2011>
- [18] Milasinovic M., Jovicic N., Boskovic G., Sustersic V. and Babic M.: "Overview of the methane emissions from domestic wastewater in the Republic of Serbia", Desalination and Water Treatment, Vol. 57, No. 35, pp. 16353-16362. Taylor & Francis, 2016, ISSN 1944-3994
- [19] Josijević M., Šušteršič V., Gordić D., Babić M.: "Comunal Wastewater Biogas Energy Potential in Kragujevac", „Енергија - економија - екологија“, бр. 3-4, год. XVI, стр. 315-319, 2014